T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

TÜRKİYE'DE YAYGIN YETİŞTİRİLEN ÇELTİK (*Oryza sativa* L.) ÇEŞİTLERİNİN BOR NOKSANLIĞI VE TOKSİSİTESİNE DUYARLILIKLARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YILMAZ UZUN

Tez Danışmanı

Dr. Öğretim Üyesi YAKUP ÇIKILI

ÇANAKKALE – 2023

T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

TÜRKİYE'DE YAYGIN YETİŞTİRİLEN ÇELTİK (*Oryza sativa* L.) ÇEŞİTLERİNİN BOR NOKSANLIĞI VE TOKSİSİTESİNE DUYARLILIKLARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YILMAZ UZUN

Tez Danışmanı
Dr. Öğretim Üyesi YAKUP ÇIKILI

Bu çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.
Proje No: FYL-2022-3980

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.

Yılmaz UZUN
23/08/2023

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 Ömer ERSOY'a ve bana bu süreçte yardımları dokunan Muhammet İkbal GÜMÜŞ, Berkay BAYTOK, Mustafa MERT, Şevval DEMİROL ve Melek ÇETİN'e teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak maddi ve manevi desteklerini bir an olsun esirgemeyen değerli annem Mukatdes UZUN ile babam Ömer UZUN'a ve eğitim hayatım boyunca bana inanan ve ışık olan kıymetli ablam Selime UZUN ile ağabeyim Mehmet UZUN'a sonsuz teşekkürü borç bilirim.

Yılmaz UZUN

Çanakkale, Ağustos 2023

ÖZET

TÜRKİYE'DE YAYGIN YETİŞTİRİLEN ÇELTİK (*Oryza sativa* L.)
ÇEŞİTLERİNİN BOR NOKSANLIĞI VE TOKSİSİTESİNE DUYARLILIKLARI

Yılmaz UZUN
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr Üyesi Yakup ÇIKILI
23/08/2023, 108

Bor (B) hem eksikliğinde hem de fazlalığında, çeşitli ürünlerin verimini önemli şekilde kısıtlayabilen küresel tarımsal sorunlardan biridir. Bu çalışmada, Türkiye'de yaygın yetiştirilen 30 çeltik (*Oryza sativa* L.) çeşidinin bazı agronomik ve fizyolojik parametreleri değerlendirilerek erken gelişme döneminde B-noksanlık ve B-toksisitesine duyarlılıkları araştırılmıştır. Bu amaçla; her çeşide ait tohumlar perlit ortamına üç tekerrürlü olarak ekilmiş, kontrol (23 µM H_3BO_3), B-noksanlığı (0 µM H_3BO_3) ve B-toksisitesi (1000 µM H_3BO_3) uygulama çözeltileri eklenmiş ve besin çözeltileriyle sulanarak 30 gün boyunca yetiştirilmiştir. B-noksan koşullarda; çeşitlerin ortalaması olarak bitki boyu (%6.2), gövde yaş ve kuru ağırlığı (%10.2 ve %7.7), kök yaş ve kuru ağırlığı (%11.2 ve %9.7), kök uzunluğu (%8.9) ve hacmi (%10.7), gövde B-konsantrasyonunda (%22.0) önemli azalmalar belirlenirken, kök B-konsantrasyonu (%4.1), toplam klorofil (%1.2) ve karotenoid (%1.2) içeriklerinde belirlenen artışlar önemsiz bulunmuştur. B-toksik koşullarda; çeşitlerin ortalaması olarak bitki boyu (%8.6), gövde yaş ve kuru ağırlığı (%10.5 ve %10.2), kök yaş ve kuru ağırlığı (%24.9 ve %23.6), kök uzunluğu (%21.5), kök hacmi (%23.0) ve toplam klorofil (%2.0) içeriklerinde önemli azalmalar ve karotenoid içeriği (%9.7) ile gövde ve kök B-konsantrasyonlarında (13.7 kat ve 2.2 kat) ise önemli artışlar belirlenmiştir. Erken gelişme döneminde çeltik çeşitlerinin agronomik, morfolojik ve fizyolojik özellikleri B-noksanlığına göre B-toksisitesinden daha fazla olumsuz etkilenmiştir. Çeltik çeşitlerinin toprak üstü aksam gelişimi için stres-duyarlılık-indeksine göre B-noksanlığına duyarlılık sıralaması; Vasco> Özgür-CL> Efsane-CL> Kikko> Baldo> Köprü-CL> Yatkın> Casanova> Gönen> Gemici> Virgilo>

Fedra> Ülfet> Cameo> RG-201> Efe> Aga> Zeybek> Osmancık-97> Gümüşcan> Güneş-CL> Proteo>Keshan> Turbo-CL> Değirmen-CL> Edirne> Borandotto> Rekor> Colombo-CL> Halilbey olarak belirlenmiştir. Çeltik çeşitlerinin B-toksisitesine duyarlılık sıralaması ise; Vasco> Kikko> Rekor> Casanova> Yatkın> Turbo-CL> Borandotto> Efe> Colombo-CL> RG-201> Keshan> Ülfet> Osmancık-97> Köprü-CL> Değirmen-CL> Edirne> Cameo> Gönen> Zeybek> Güneş-CL> Proteo> Baldo> Özgür-CL> EfsaneCL> Gemici> Fedra> Virgilo> Aga> Halilbey> Gümüşcan olarak saptanmıştır. Çalışmamız sonucunda ürün kayıplarını azaltmak için Halilbey, Colombo-CL ve Rekor çeşitlerinin B-noksan koşullarda, Gümüşcan, Halilbey ve Aga çeşitlerinin ise B-toksik koşullarda yetiştirilmesinin uygun olacağı kanaatine varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: . Çeltik Çeşitleri, Bor Toksisitesi, Bor Noksanlığı, Stres Duyarlılık İndeksi, Stres Tolerans İndeksi

ABSTRACT

WIDELY GROWN IN TURKEY RICE (*Oryza sativa* L.) VARIETIES OF BORON DEFICIENCY AND TOXICITY

Yılmaz UZUN

Çanakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

Master of Science Thesis in Soil Science and Plant Nutrition

Advisor: Assist. Prof. Dr. Yakup ÇIKILI

23/08/2023, 108

Both boron (B) deficiency and toxicity are one of the global agricultural problems that can significantly limit the yield of various crops. In this study, some agronomic and physiological parameters of 30 rice (*Oryza sativa* L.) cultivars grown widely in Turkey has evaluated and their susceptibility to B-deficiency and B-toxicity in early growth stage has investigated. For this purpose; by sowing in perlite medium seeds of each cultivars were grown 30-days as three replications by irrigating with nutrient solutions added to treatment solutions: control (23 µM H_3BO_3), B-deficiency (0 µM H_3BO_3) and B-toxicity (1000 µM H_3BO_3). In B-deficient conditions; significant decreases were detected in plant height (6.2%), shoot-fresh and -dry weight (10.2% and 7.7%), root-fresh and -dry weight (11.2% and 9.7%), root length (8.9%), root volume (10.7%) and shoot-B concentration (22.0%) of rice cultivars, while increases in root-B concentration (4.1%), total chlorophyll (1.2%) and carotenoid (1.2%) contents were found to be insignificant. In B-toxic conditions, plant height (8.6%), shoot-fresh and dry weight (10.5% and 10.2%), root-fresh and dry weight (24.9% and 23.6%), root length (21.5%), root volume (23.0%) and total chlorophyll (2.0%) contents of rice varieties were significantly decreased; however, significant increases were determined in carotenoid content (9.7%), shoot and root B concentrations (13.7-fold and 2.2-fold). In the early growth stage, agronomic, morphological and physiological parameters of rice cultivars has affected more negatively by B-toxicity than B-deficiency. Susceptibility ranking of B-deficiency considering the stress sensitivity index (SDI) for aboveground component growth of rice cultivars determined to be Vasco> Özgür-CL> Efsane-CL> Kikko>

Baldo> Köprü-CL> Yatkın> Casanova> Gönen> Gemici> Virgilo> Fedra> Ülfet> Cameo> RG-201> Efe> Aga> Zeybek> Osmancık-97> Gümüşcan> Güneş-CL> Proteo> Keshan> Turbo-CL> Değirmen-CL> Edirne> Borandotto> Rekor> Colombo-CL> Halilbey. Susceptibility ranking of rice cultivars to B-toxicity has determined as Vasco> Kikko> Rekor> Casanova> Yatkın> Turbo-CL> Borandotto> Efe> Colombo-CL> RG-201> Keshan> Ülfet> Osmancık-97> Köprü-CL> Değirmen-CL> Edirne> Cameo> Gönen> Zeybek> Güneş-CL> Proteo> Baldo> Özgür-CL> Efsane-CL> Gemici> Fedra> Virgilo> Aga> Halilbey> Gümüşcan. It is considered that it would be appropriate to grow Halilbey, Colombo-CL and Rekor cultivars in B-deficient conditions and Gümüşcan, Halilbey and Aga cultivars in B-toxic conditions to minimize crop losses.

Keywords: Rice Cultivars, Boron Toxicity, Boron Deficiency, Stress Sensitivity Index, Stress Tolerance Index

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 19

3.1. Materyal 19
3.2. Yöntem 20
3.2.1. Morfolojik Ölçümler 21
3.2.2. Bitki Analizleri 22
3.2.3. İstatistik Analizler 23

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA 25

4.1. Bor Noksanlığı ve Toksisitesinin Çeltik Çeşitlerinin Toprak Üstü Aksam ve Kök Gelişimine Etkisi 25
4.1.1. Gövde Yaş ve Kuru Ağırlıkları 25
4.1.2. Bitki Boyu 29
4.1.3. Kök Yaş ve Kuru Ağırlığı 31

4.1.4. Gövde/Kök Oranı 36
4.1.5. Kök Uzunluğu 36
4.1.6. Kök Hacmi ve Kök Membran Geçirgenliği 41
4.2. Bor Noksanlığı ve Toksisitesinin Çeltik Çeşitlerin Fotosentetik Pigment İçeriklerine Etkisi 46
4.2.1. Klorofil *a* ve *b* İçerikleri 46
4.2.2. Toplam Klorofil İçeriği 50
4.2.3. Karotenoid İçeriği 52
4.3. Bor Noksanlığı ve Toksisitesinin Çeltik Çeşitlerinin Stres Tolerans ve Stres Duyarlılık İndekslerine Etkisi 55
4.3.1. Stres Tolerans İndeksleri 55
4.3.2. Stres Duyarlılık İndeksleri 59
4.4. Bor Noksanlığı ve Toksisitesinin Çeltik Çeşitlerinin Gövde ve Kök Bor Konsantrasyonları ve Alımlarına Etkisi 65
4.4.1. Gövde ve Kök Bor Konsantrasyonları 65
4.4.2. Gövde ve Kök Bor Alımları 69
4.5. Bor Noksanlığı ve Toksisitesinin Çeltik Çeşitlerinin Gövde ve Kök Alkali Metal Konsantrasyonlarına Etkisi 74
4.5.1. Gövde ve Kök Potasyum Konsantrasyonları 74
4.5.2. Gövde ve Kök Kalsiyum Konsantrasyonları 79
4.5.3. Gövde ve Kök Sodyum Konsantrasyonları 83
4.6. İncelenen Özelliklere göre GGE-Biplot Analiz Yöntemiyle Değerlendirme 88
4.6.1. Bor Noksanlığı 89
4.6.2. Bor Toksisitesi 91

BEŞİNCİ BÖLÜM
SONUÇ VE ÖNERİLER 94

5.1. Bor Noksanlığı 94
5.2. Bor Toksisitesi 96
KAYNAKÇA 100
ÖZGEÇMİŞ I

SİMGELER VE KISALTMALAR

+B	Bor toksisitesi
-B	Bor noksanlığı
%EC	Yüzde elektirik iletkenliği
>	Büyüktür
<	Küçüktür
%	Yüzde oranı
µg	Mikrogram
µM	Mikro molar
°C	Santigrat derece
$(NH_4)_2Mo_7O_{24}.4H_2O$	Amonyum molibdat tetra hidrat
$[B(OH)_4^-]$	Borat
$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	Kalsiyum nitrat tetra hidrat
$CuSO_4.5H_2O$	Bakır sülfat penta hidrat
$FeSO_4.7H_2O$	Demir sülfat hepta hidrat
H_3BO_3	Borik asit
HCl	Hidroklorik asit
KCl	Potasyum klorür
KH_2PO_4	Potasyum di hidrojen fosfat
KNO_3	Potasyum nitrat
KOH	Potasyum hidroksit
$MgSO_4.7H_2O$	Magnezyum sülfat hepta hidrat
$MnSO_4.H_2O$	Mangan sülfat mono hidrat
NaCl	Sodyum klorür
$Na_2EDTA.2H_2O$	Etilen diamin tetra asetik asit di hidrat di sodyum tuzu
NO_3	Nitrat
NH_4	Amonyum
$(NH_4)_2SO_4$	Amonyum sülfat
$NiCl_2.6H_2O$	Nikel di klorür hexa hidrat
SO_4	Sülfat
$ZnSO_4.7H_2O$	Çinko sülfat hepta hidrat
B	Bor

C	Karbon
Ca	Kalsiyum
Chl	Klorofil
Cl	Klor
cm	Santimetre
cm^3	Santimetreküp
Cu	Bakır
FAO	Birleşmiş milletler gıda ve tarım örgütü
Fe	Demir
g	Gram
H	Hidrojen
K	Potasyum
KA	Kuru ağırlık
Mg	Magnezyum
Mn	Mangan
Mo	Molibden
mL	Mili litre
N	Azot
Na	Sodyum
Ni	Nikel
O	Oksijen
P	Fosfor
S	Kükürt
STİ	Stres tolerans indeksi
SDİ	Stres duyarlılık indeksi
YA	Yaş ağırlık
Zn	Çinko

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo No	Tablo Adı	Sayfa No
Tablo 1	Türkiye'de çeltik ekim alanları, üretim ve verim verileri (TÜİK, 2021)	1
Tablo 2	Bitki materyali olarak kullanılan çeltik çeşitleri	19
Tablo 3	B-noksanlığı ve B-toksisitesinin çeltik çeşitlerinin gövde yaş ve kuru ağırlıkları ve bitki boyuna etkisine ait varyans analiz sonuçları	25
Tablo 4	B-noksanlığı ve B-toksisitesinin çeltik çeşitlerinin kök yaş ve kuru ağırlıkları ile kök uzunluklarına etkisine ait varyans analiz sonuçları	32
Tablo 5	B-noksanlığı ve B-toksisitesinin çeltik çeşitlerinin kök membran geçirgenliği ve kök hacmine etkisine ait varyans analiz sonuçları	42
Tablo 6	Bor noksanlığı ve fazlalığının çeltik çeşitlerinin klorofil *a* ve klorofil *b* içeriklerine etkisine ait varyans analiz sonuçları	47
Tablo 7	Bor noksanlığı ve fazlalığının çeltik çeşitlerinin toplam klorofil ve karotenoid içeriklerine etkisine ait varyans analiz sonuçları	51
Tablo 8	Bor noksanlığı ve fazlalığının çeltik çeşitlerinin gövde ve kök B konsantrasyonlarına etkisine ait varyans analiz sonuçları	65
Tablo 9	Bor noksanlığı ve fazlalığının çeltik çeşitlerinin gövde ve kök B alımına etkisine ait varyans analiz sonuçları	69
Tablo 10	Bor noksanlığı ve fazlalığının çeltik çeşitlerinin gövde ve kök K konsantrasyonlarına etkisine ait varyans analiz sonuçları	75
Tablo 11	Bor noksanlığı ve fazlalığının çeltik çeşitlerinin gövde ve kök Ca konsantrasyonlarına etkisine ait varyans analiz sonuçları	79
Tablo 12	Bor noksanlığı ve fazlalığının çeltik çeşitlerinin gövde ve kök Na konsantrasyonlarına etkisine ait varyans analiz sonuçları	84

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1	Türkiye topraklarındaki yarayışlı B haritası (Anonim, 2010).	3
Şekil 2	B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin gövde yaş ağırlıklarına etkisi	27
Şekil 3	B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin gövde kuru ağırlıklarına etkisi	28
Şekil 4	B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin bitki boylarına etkisi	30
Şekil 5	B-noksanlığı (-B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin kök yaş ağırlıklarına etkisi	34
Şekil 6	B-noksanlığı (–B) ve toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin kök kuru ağırlıklarına etkisi	35
Şekil 7	B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin gövde/kök oranlarına etkisi	38
Şekil 8	B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin kök uzunluklarına etkisi	39
Şekil 9	B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin kök hacimlerine etkisi	44
Şekil 10	B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin kök membran geçirgenliklerine etkisi	45
Şekil 11	B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin klorofil *a* içeriklerine etkisi	48
Şekil 12	B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin klorofil *b* içeriklerine etkisi	49
Şekil 13	B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin toplam klorofil içeriklerine etkisi	53
Şekil 14	B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin karotenoid içeriklerine etkisi	54
Şekil 15	Çeltik çeşitlerinin gövde, kök ve toplam biokütlesi için stres tolerans indekslerine (STİ) B-noksanlığının etkisi	57
Şekil 16	Çeltik çeşitlerinin gövde, kök ve toplam biokütlesi için stres tolerans indekslerine (STİ) B-toksisitesinin etkisi	58
Şekil 17	Çeltik çeşitlerinin gövde, kök ve toplam biokütlesi için stres duyarlılık indekslerine (SDİ) B-noksanlığının etkisi	62
Şekil 18	Çeltik çeşitlerinin gövde, kök ve toplam biokütlesi için stres duyarlılık indekslerine (SDİ) B-toksisitesinin etkisi	63
Şekil 19	B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin gövde B konsantrasyonlarına etkisi	67

Şekil 20 B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin kök B konsantrasyonlarına etkisi 68
Şekil 21 B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin gövde B alımlarına etkisi 71
Şekil 22 B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin kök B alımlarına etkisi 72
Şekil 23 B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin gövde K konsatrasyonlarına etkisi 77
Şekil 24 B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin kök K konsatrasyonlarına etkisi 78
Şekil 25 B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin gövde Ca konsatrasyonlarına etkisi 81
Şekil 26 B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin kök Ca konsatrasyonlarına etkisi 82
Şekil 27 B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin gövde Na konsatrasyonlarına etkisi 85
Şekil 28 B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin kök Na konsatrasyonlarına etkisi 86
Şekil 29 Kontrol (a) ve B-noksanlığı koşullarında (b) 30 çeltik çeşidinin incelenen özelliklerine göre GGE-biplot analiz yöntemiyle değerlendirilmesi....90
Şekil 30 B-noksanlığı koşullarında 30 çeltik çeşidinin stres duyarlılık ve stres tolerans indekslerine göre GGE-biplot analiz yöntemiyle gruplandırılması....91
Şekil 31 Kontrol (a) ve B-toksisitesi koşullarında (b) 30 çeltik çeşidinin incelenen özelliklerine göre GGE-biplot analiz yöntemiyle değerlendirilmesi....92
Şekil 32 B-toksisitesi koşullarında 30 çeltik çeşidinin stres duyarlılık ve stres tolerans indekslerine göre GGE-biplot analiz yöntemiyle gruplandırılması....93

BİRİNCİ BÖLÜM
GİRİŞ

İnsanlığın temel besin kaynağı olan, buğdaygiller (*Poaceae*) arasında yer alan, tek yıllık ve yazlık bir bitki olan çeltik (*Oryza sativa* L.), insan beslenmesinde oldukça önemli bir yere sahiptir. Yarı-tropikal ve tropikal iklim şartlarında, Güney ve Güneydoğu Asya ile Afrika'da yaygın olarak yetiştirilmektedir. İnsanların tükettiği ve çeltik bitkisinin dane kısmı olan pirincin yaklaşık %90'ı nişastadan oluşmakta olup, protein (%5.3-10.2) ve vitamin içeriği bakımından zayıf bir gıda türüdür (Juliano, 1994). Ayrıca, ülkemizde ve dünyanın birçok bölgesinde kaliteli kaba yem noksanlığı nedeniyle, ruminantların ve otçul (herbivor) hayvanların beslenmesi, düşük kaliteli kaba yem kaynağı olan buğdaygil samanları tarafından, doğrudan besleme ve rasyon dolgu maddesi olarak karşılanmaktadır (Şehu vd., 1996). Bilhassa Güney Asya ve Doğu ülkelerinin yaklaşık %90'ı ruminantların kaba yem kaynağı olarak çeltik samanını kullanmakta (Van Soest, 2006) ve genellikle yem rasyonlarının içerisine 100 kg canlı ağırlığa 1.0-1.2 kg miktarlarında ilave edilmektedir (Devendra, 1997).

Dünyada, 2019 sezonunda 162 milyon hektar (ha) ekim alanında ve 755 milyon ton çeltik üretilmiştir (FAO, 2020). Bu verilere göre, ülkemizin dünya çeltik ekim alanı ve üretimdeki payı sırasıyla % 0.077 ve % 0.132'dir (FAO, 2020). Ülkemizde çeltik üretim alanı, verim ve üretim parametrelerine ait veriler Tablo 1'de sunulmuştur (TÜİK, 2021).

Tablo 1

Türkiye'de çeltik ekim alanları, üretim ve verim verileri (TÜİK, 2021)

Yıllar	**2005**	**2010**	**2015**	**2018**	**2019**	**2020**
Alan (10^3 ha)	85.0	99.0	115.9	120.1	126.4	125.4
Üretim (10^3 ton)	600	860	920	940	1000	980
Verim (kg/ha)	7070	8690	7940	7820	7910	7820

Ülkemizde, 2019 sezonu çeltik üretim alanlarına göre iller; Edirne (%40,4), Samsun (%15,0), Balıkesir (%12,7), Çanakkale (%6,9), Çorum (%6,3), Sinop (%3,5), Tekirdağ (%3,2), Bursa (%2,3), Kırklareli (%2,1) ve Çankırı (%2,0) olarak sıralanırken, aynı sezonda üretim miktarlarına göre iller; Edirne (%43,7), Samsun (%14,2), Balıkesir (%12,2), Çanakkale (%6,7), Çorum (% 6,4), Sinop (%3,4), Tekirdağ (%3,1), Kırklareli (%2,2), Bursa (%2,1) ve Çankırı (%1,7) şeklinde sıralanmıştır (Yazıcı, 2020).

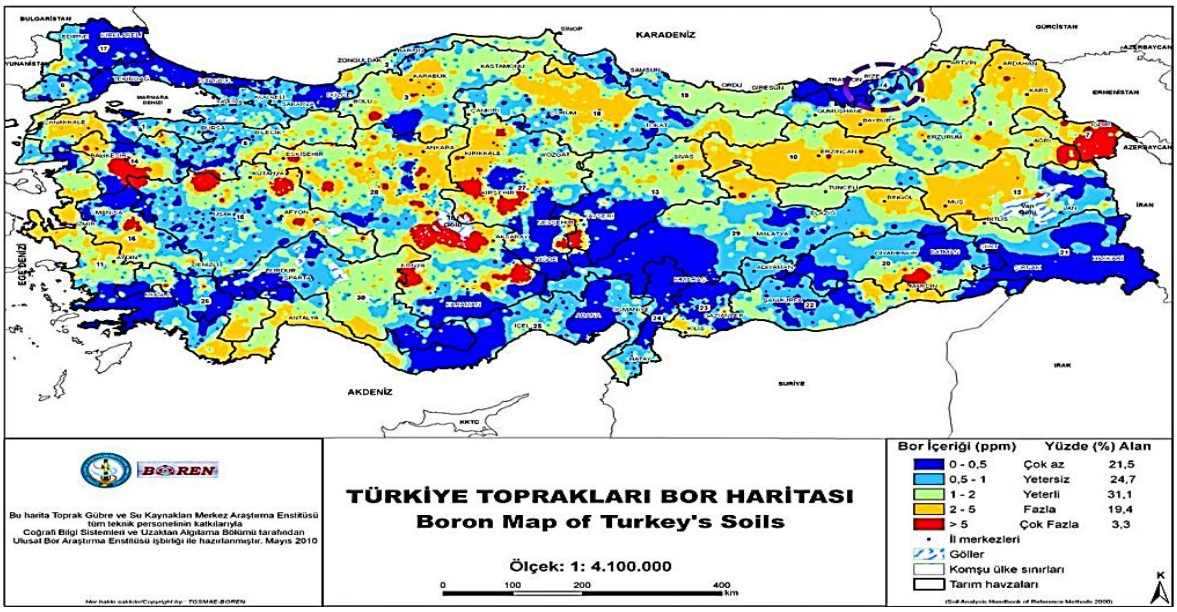
Birçok bitkinin gelişimi için gerekli bitki besin elementleri; hidrojen (H), karbon (C), oksijen (O), azot (N), fosfor (P), potasyum (K), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), kükürt (S), demir (Fe), bakır (Cu), çinko (Zn), mangan (Mn), molibden (Mo), klor (Cl), nikel (Ni) ve bor (B)'dur (Epstein ve Bloom, 2005). Bu bitki besin elementleri bitki tür ve çeşitlerine göre değişmekle birlikte yüksek dozlarda zehir etkisi oluşturabildiği gibi düşük dozlarda da bitki gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir.

Mikro bitki besin elementleri arasında yer alan B elementine bitkiler eser miktarda ihtiyaç duymakta olup toksisite ve eksiklik sınır değerleri birbirine çok yakındır (Brown vd., 2002). Borun bitki büyüme ve gelişmesindeki önemi biyokimyasal ve fizyolojik olaylardaki rolünden kaynaklıdır (Cakmak ve Römheld, 1997). Bor bitki fizyolojisinde karbonhidrat metabolizmasında, solunumda, membran bütünlüğünde, indol asetik asit metabolizmasında, hücre duvarının yapısında, şekerlerin taşınmasında, ligninleşmede, hücre duvarı sentezinde ve fenol metabolizmasında rol almaktadır (Marschner, 2012).

Dünyada en fazla B rezervine sahip ülke Türkiye'dir ve 3.3 milyar ton B rezervi ile dünyada %73'lük paya sahiptir (Keleşer, 2006). Ülkemiz sulama sularında ve topraklarında B fazlalığına daha çok sıcak su kaynakları olan yerlerde rastlanmaktadır (Harite, 2008). Dünyada tarım topraklarında genel olarak B noksanlığı görüldüğünden, bilimsel çalışmalarında B noksanlığı üzerine olduğu bilinmektedir (Harite, 2008). Bor noksanlığı ülkemiz tarım topraklarının %46.2'sinde görülmektedir (Anonim, 2010). Ülkemiz Orta-Güney Anadolu tarım topraklarında yarayışlı B miktarları 0.01-63.9 mg kg^{-1} arasında değiştiği ve bölgede yetiştiriciliği yapılan tahıllar için B noksanlığı (<0.5 mg kg^{-1}) toprakların %26.6'sında görülmekte olup ve %18'inde ise B toksisitesi (>3.0 mg kg^{-1}) bulunmaktadır (Gezgin vd., 2002). Ayrıca ülkemiz topraklarının bitkilere yarayışlı B dağılımını gösteren harita Şekil 1'de sunulmuştur. Bu harita ile yukarıda verilen çeltik yetiştirme alanları karşılaştırıldığında, çeltik yetiştirme alanlarında B kaynaklı bitki beslenme probleminin olduğu açıkça anlaşılmaktadır.

Bitkisel üretimde ekonomik açıdan önem arz eden bor ve bor elementinden kaynaklı beslenme bozukluklarına ilişkin dünyada çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bitki tür ve çeşitlerinin, B gereksinimleri değişmekle birlikte B noksanlığında çiçek oluşumu gerilemekte, tomurcuklar normal gelişememekte, polenler kısır, tohumlar zayıf, buruşuk ve deforme olmaktadır (Rerkasem vd., 1993). Aynı zamanda çiçek sayısı ve büyüklüğü belirgin şekilde

azalmaktadır (Zhang vd., 1994). Bunların yanında yeteri kadar fotosentez ürünü taşınamadığı için çoğu meyve ağaçlarında meyve şekilsiz, kalitesiz ve küçük olmakla birlikte olgunlaşmadan dökülmelerde görülmektedir. Hücre duvarının yapısında B temel element olarak yer aldığından, noksanlık koşullarında hücre duvarının yapısı bozulmakta ve hücre dışına fenolik bileşikler sızmaktadır (Kacar, 2019). Bor toksisitesi ise hücre duvarlarının işlevini bozmakta, B alımı ve taşınmasını olumsuz etkilenmekle birlikte büyüme ve gelişmeyi engellemektedir (Kacar, 2019).



Şekil 1. Türkiye topraklarındaki yarayışlı B haritası (Anonim, 2010).

İnsanlığın temel besin kaynağı olan, buğdaygiller (*Poaceae*) arasında yer alan, tek yıllık ve yazlık bir bitki olan çeltik (*Oryza sativa* L.), B'ye karşı nispi duyarlılıklarına göre bitkilerin gruplandırılmasında, orta derecede duyarlı bitkiler grubunda yer almaktadır (Adriano, 2001). Bor noksanlığı ve toksisitesi koşullarında yetiştirilen çeltik çeşitlerinin tepkilerinin karşılaştırılmaları ve çeltik çeşitlerinin B stresine duyarlılıkları ile ilgili çalışmalar oldukça sınırlı olmakla birlikte, Türkiye'de de B'den kaynaklı beslenme bozukluğu görülen topraklarda yetiştirme potansiyeli olan ve bu bölgelerin bazılarında yaygın yetiştirilen çeltik çeşitlerinin B stresine duyarlılıklarının tespitine dair bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenlerden dolayı, üretilecek bilgi ve verilerin çeltik üretimi, verimi, ıslah çalışmaları ve gen çalışmaları gibi alanlarda kullanılması potansiyelinin yüksek olması bakımından yürütülen tez çalışmasının gerekli olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışmada; yarı kontrollü sera şartlarında ve yetiştirme ortamı olarak perlit kullanılan 1.5 litrelik saksılara çeltik çeşitleri ekilerek, kontrol (20 µM H_3BO_3), B noksanlığı (0 µM H_3BO_3) ve B toksisitesi (1000 µM H_3BO_3) koşullarının sağlandığı modifiye edilmiş Kimura-B besin çözeltisi ile sulanmak suretiyle 30 gün boyunca yetiştirilmiştir. Yetiştirilen çeşitlere ait bazı agronomik (bitki boyu, gövde ve kök yaş ve kuru madde miktarı, stres duyarlılık indeksi, stres tolerans indeksi), morfolojik (gövde/kök oranı), fizyolojik (klorofil *a* ve *b*, karotenoidler) ve mineral beslenme (toplam B, K, Ca ve Na konsantrasyonu) özelliklerine ait parametreler hasat öncesi veya sonrası belirlenmiştir. Kontrol grubuna göre yapılan değerlendirmeyle, çeltik çeşitlerinin B toksisitesi ve B noksanlığına duyarlılıkları araştırılmıştır.

Yetiştirilecek bitki türü ve/veya çeşidinden elde edilecek ürün miktarı ve verimi kısıtlayan en önemli etkenlerden biri olarak bitkilerin genetik özellikleri ile biyotik ve abiyotik stres koşullarına dayanıklılık ve duyarlılıkları gelmektedir. Planlanan bu tez çalışma ile ülkemizde insan beslenmesinde önemli karbonhidrat kaynaklarından biri olarak kullanılan ve son 15 yılda ekim alanı (%50) ve üretim miktarı (%67) giderek artan çeltik (*Oryza sativa* L.) bitkisinin bazı agronomik, morfolojik, fizyolojik ve beslenme özelliklerine B noksanlığı ve toksisitesinin etkileri belirlenerek yetiştiricilikte yaygın olarak kullanılan yerli ve yabancı orijinli çeltik çeşitlerinin B noksanlığı ve toksisitesine duyarlılıkları ortaya konulmuştur. Hem B noksanlığı hem de B toksisitesinin olduğu koşullarla karşılaşmanın ülkemizde sıklıkla rastlanan bir durum olması, tarım yapılan alanlarında yetiştirilecek bitki tür veya çeşitlerinden elde edilecek ürün miktarı ve verimi kısıtlayan etmen olarak B noksanlığı ya da toksisitesi öne çıkarmaktadır. Dolayısıyla çeltik çeşitlerinin B noksanlığı ya da toksisitesine duyarlılıkların bilinmesi, stres koşullarına dayanıklı çeşit seçiminde üreticinin ürün miktarındaki azalmaya bağlı olarak ekonomik zararlanmasını en aza indireceği düşünülmüştür. Ayrıca, elde edilen sonuçlar, çeltik çeşitleri için B beslenmesinde sürdürülebilir tarımsal üretim açısından yeterli miktarda verinin üretilmesini sağlayabilecektir. Bununla birlikte, daha önceki çalışmalarda çeltik çeşitlerinin B noksanlığı ya da fazlalığına duyarlılıklarının bu kadar geniş ölçüde ve çok sayıda çeşit ile belirlenmemiş olması çalışmanın özgünlüğünü daha da artırmaktadır.

İKİNCİ BÖLÜM
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Dünyada 80'den fazla ülkede yaygınlık gösteren özellikle yoğun yağış alan bölgelerde B'un borik asit [H_3BO_3] şeklinde yıkanması sonucunda B noksanlığı ortaya çıkmaktadır. Kireçli ve yüksek kil içeren topraklarda pH artışı, borat [$B(OH)_4^-$] anyonunun oluşması ve anyon adsorpsiyonunun artması da B noksanlığına neden olan sebeplerden biri olarak gösterilebilir. Bor seviyesi düşük sulama sularında veya yağışın yoğun olduğu bölgelerde noksanlık problemi karşımıza çıkmaktadır (Kacar vd., 2009). Bor eksiklik belirtilerine neden olan miktarı ile toksik etki yapan miktarının bitki için gerekli tüm besin elementleri içerisinde birbirine en yakın (noksan <1 ppm - toksik >2 ppm) olan besin elementidir.

Nable (1988), çözelti kültüründe ve 35 gün boyunca farklı B dozları (15, 200, 500, 1000, 2000 ve 5000 μM B) uygulayarak yetiştirilen fazla B arzına karşı geniş duyarlılık aralığı sergileyen 5 arpa ve 6 buğday çeşidinin B toksisitesine karşı direnç mekanizmasını belirlemek amacıyla bitkilerin kuru madde üretimi, kök ve sürgünlerde B dağılımını incelediği çalışmasında; her iki türde de artan B dozlarına göre ortaya çıkan B toksisitesi ile B konsantrasyonlarının arttığı ve büyümenin engellendiğini, her B seviyesinde dayanıklı çeşitlerin hassas çeşitlere göre hem kök hem de sürgünlerde daha az B biriktirdiğini, B toksisite belirtilerinin gelişmediği ve büyümenin etkilenmediği en düşük B seviyesinde bile dayanıklı çeşitlerin nispeten daha düşük doku B konsantrasyonlarını koruduğunu, hiç bir çeşidin yüksek dozda B seviyelerini tolere edemediğini ve sonuç olarak arpa ve buğdayda B toksisitesine duyarlılığın çeşitlerin B alımına göre değiştiğini rapor etmiştir.

Güneş vd. (2000) tarafından Türkiye'de yaygın olarak yetiştirilen sekiz mısır çeşidinin B fazlalığına duyarlılıklarını belirlemek amacıyla toprağa 0, 10 ve 30 mg kg^{-1} düzeylerinde H_3BO_3 uygulayarak sera koşullarında yürütülen araştırmada; bitkilerin yaş ve kuru ağırlıkları ile uygulanan B konsantrasyonları ve bitkilerin B kapsamları arasındaki ilişkilerden yararlanılarak, mısır çeşitlerinin yaş ve kuru ağırlık bakımından B fazlalığına duyarlılıklarının yüksekten düşüğe doğru, Helix, Riogrande, Furio, Poker, Sele, Missouri, DK 743 ve Betor şeklinde sıralandığı ve genel olarak B'a duyarlılıkları düşük olan çeşitlerin yüksek olan çeşitlere göre bünyelerinde daha fazla B içerdiklerinin tespit edildiği rapor edilmiştir.

Yau (2000), sera koşullarında iki arpa çeşidine (Galleon ve Harmal) birinci denemede toprağa üç farklı B (0, 25 ve 50 mg B kg^{-1}) dozu ve ikinci denemede ise bu dozlara ilave olarak 12.5 mg B kg^{-1} uygulayarak yürüttüğü çalışmasında; birinci denemede 50 mg B kg^{-1} dozunun arpanın sap kalitesini artırdığını ve sap verimini etkilemediğini ancak dane verimi ve hasat indeksini azalttığını, bu dozun uygulandığı her iki denemede de Galleon çeşidinin Harmal çeşidine göre B'u daha az aldığını ve bundan dolayı köklerde B miktarının daha düşük olduğunu ve böylece Harmal çeşidinin kontrole göre daha iyi geliştiğini tespit etmiştir.

Mahboobi vd. (2000) tarafından B-tolerant (dayanıklı) Anadolu ve B-duyarlı Hamidiye arpa (*Hordeum vulgare* L.) çeşitlerinin toksik B konsantrasyonunda yetiştirilmesinin total protein miktarına etkisini incelemek amacıyla yapılan çalışmada; toksik B konsantrasyonunda bitkilerdeki protein miktarının artığı ve artan protein içeriğinde B toksisitesine ilişkin bazı yeni proteinlerin varlığının tespit edildiği ve arpa çeşitlerinin B'a gösterdikleri tepkilerin farklı olmasına karşılık yüksek dozda B uygulamasının çeşitlerde kuru ağırlığı azalttığı belirtilmiştir.

Taban ve Erdal (2000), sera koşullarında killi ve tınlı bünyeli , pH'sı 7.91, %12 kireç içeren ve bitkiye yarayışlı B miktarı 1.52 mg kg^{-1} olan toprakta, dört ekmeklik (*Triticum aestivum* L. cv. Bolal-2973, Kıraç, Bezostaya, Gerek-79) ve iki makarnalık (*T. durum* L. cv. Kızıltan-91 ve Çakmak-79) buğday çeşitlerine uygulanan üç doz borik asidin (0, 1 ve 10 mg H_3BO_3 kg^{-1}), çeşitlerin gelişimi ve toprak üstü aksamda B dağılımına etkisini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada; makarnalık çeşitlerin ekmeklik çeşitlere göre B'dan daha fazla etkilendiğini, B uygulamasının Bolal-2973 ve Gerek-79 çeşitlerinde kuru ağırlık artışına, Çakmak-79 ve Kızıltan-91 çeşitlerinde ise kuru ağırlık azalışına neden olduğunu ve tüm çeşitlerde ve uygulama dozlarında en fazla B birikiminin yaprak uçlarında olduğunu bildirmişlerdir.

Ismail (2003), mısır (*Zea mays* L.) ve sorgumun (*Sorghum bicolor* L.) gelişimine artan B (0, 5, 10, 15 ve 20 mM B) ve tuz (0 ve 50 mM NaCl) düzeylerinin etkisini araştırdığı çalışmada; tuzlu ve tuzun olmadığı şartlarda artan B düzeylerinin çimlenme oranını azalttığını, sorgum bitkisinde tuzun olmadığı 10 mM B düzeyinden itibaren artışa paralel olarak kök uzunluğu ve kuru madde miktarında önemli azalmalar bulunduğunu, sorgumun B içeriklerinin tuzsuz şartlara göre tuzlu şartlardan daha çok arttığını, artan B düzeyleriyle Na ve Cl konsantrasyonlarının arttığını ancak K konsantrasyonlarının ise azaldığını saptamıştır.

Soylu vd. (2005) tarafından makarnalık (Kızıltan-91, Ç-1252, Selçuklu-97, Kunduru-1149, Yılmaz-98 ve Çakmak-79) ve ekmeklik (Kınacı-97, Göksu-99, Türkmen, Bezostaja-1 ve Sultan-95) buğday çeşitlerinin B uygulamalarına (3 kg ha^{-1}) tepkilerini belirlemek için B noksan ve kireç oranı yüksek topraklarda iki yıl süre ile yürütülen tarla denemeleri sonucunda; dane veriminin makarnalık buğdaylarda ortalama %9.6 ve ekmeklik buğdaylarda ise ortalama %10.9 artış gösterdiği, makarnalık buğday çeşitlerinden Kızıltan-91 ve Yılmaz-98 B eksikliğine hassas çeşitler olarak belirlenirken Ç-1252 ve Çakmak-79 dayanıklı çeşitler olarak saptanmıştır.

Baykal ve Öncel (2006), sera koşullarında 7.97 pH ve 4 mg B kg^{-1} içeren toprağa uygulanan B düzeyleri (0, 15, 45, 60 ve 75 mg kg^{-1}) ile altı hafta süreyle yetiştirilen iki buğday türüne ait iki genotipin (*Triticum durum* Desf. cv. Kunduru 1149 ve *T. aestivum* L. cv. Kıraç 66) B toksik koşullara tepkisini belirlemek amacı ile yaptıkları çalışmada; B toksisitesi altındaki bitkilerin % kuru madde miktarı ve fide boyu azalırken B miktarının arttığını, oransal su içeriğinde önemli bir değişikliğin olmadığını, Kıraç 66 genotipinde çözünür fenolik madde miktarının 15 mg B kg^{-1} dozunda artığını, Kunduru 1149 genotipinde ise çözünür fenolik madde miktarının 30 mg B kg^{-1} dozunda azaldığını ve 60 mg B kg^{-1} dozunda arttığını, çözünür protein miktarının Kunduru 1149 genotipinde 45 ve 75 mg B kg^{-1} dozunda azalırken, Kıraç 66 genotipine uygulanan 60 mg B kg^{-1} dozunda arttığını saptamışlardır.

Ceyhan vd. (2007), B noksanlığı olan (0.19 mg kg^{-1}) bir alanda yetiştirilen beş nohut (*Cicer arietinum* L.) genotipinin artan B (0, 1, 3 ve 6 kg B ha^{-1}) uygulamalarına tepkilerinin farklı olduğunu, 1 kg B ha^{-1} uygulamasında çeşitlerin ortalaması olarak verimin %5 arttığını, Akçin-91 çeşidinde en yüksek verime 3 kg B ha^{-1} uygulamasıyla ulaşılırken, Nüfus, İzmir-92 ve Menemen-92 çeşitlerinin 1 kg B ha^{-1} uygulamasıyla ve Gökçe çeşidi ise kontrol uygulamasıyla birlikte en yüksek verime ulaştığını ve Gökçe çeşidinin B noksanlığına dayanıklı fakat diğer çeşitlerin ise yüksek hassasiyetli olduğunu rapor etmişlerdir.

Hamurcu ve Gezgin (2007), Türkiye'de ekimi yapılan tescilli ve yerel popülasyon niteliğindeki 25 bodur fasulye genotipine kontrollü sera şartlarında uygulanan üç B (0, 5, 10 mg kg^{-1}) ve üç Zn (0, 5, 10 mg kg^{-1}) dozunun biyolojik verim değerlerine etkilerini incelediklerı çalışmalarında: Fasulye genotiplerinin Zn ve B uygulamalarından önemli ölçüde etkilendiğini, Terzibaba, Karacaşehir-90, Eskişehir-855, Noyanbey, Horoz fasulye, Zülbiye,

Kana, Yunus-90, Akman-98, Romano, Seminis Gina, Nazende, Yakutiye, Yalova-17 ve Fasulye genotiplerinin B noksanlığına toleranslı olduğunu, Efsane, May Gina, Aras-98, Magnum, Sarıkız, Göynük-98, Akdağ, Şahin-90, Şehirali-90 ve Önceler-98 genotiplerinin ise B noksanlığına hassas genotipler olduğunu tespit etmişlerdir.

Hosseini vd. (2007)' nin sera koşullarında ve kalkerli bir toprakta 70 gün süre ile yedi B (0, 2.5, 5, 10, 20, 40 ve 80 mg H_3BO_3 kg^{-1}) ve iki farklı Zn ($ZnSO_4$ ve ZnO) kaynağından üç Zn (0, 5 ve 10 mg kg^{-1}) dozu uygulanarak yetiştirilen mısır (*Zea mays* L.) bitkisi üzerindeki Zn ve B etkileşimini incelemek amacıyla yaptıkları çalışmalarında; uygulanan Zn'nun mısırın bitki boyunu ve kuru madde verimini önemli ölçüde artırdığını, Zn kaynağının büyümeyi ve besin konsantrasyonunu önemli ölçüde etkilemediğini, yüksek B seviyelerinin kuru madde verimini ve bitki boyunu azalttığını, bitki büyümesi ve hıza bağlı doku besin konsantrasyonu üzerinde önemli bir B×Zn etkileşiminin olduğunu, Zn varlığının düşük ve B varlığının yüksek olduğu topraklardaki yetiştirilen bitkilere yeterli seviyede Zn verilmesi gerektiğini rapor etmişlerdir.

Harite (2008), perlit-kum karışımı ortamda yetiştirilen ve dört B (0.5, 7.5, 15 ve 22.5 mg L^{-1}) düzeyinin sekiz pamuk çeşidi (Barut-2005, Gossipolsüz Nazilli, Gürel Bey, Nazilli-143, Nazilli-342, Nazilli-39, Nazilli-503, STN-8A) gelişimine etkisini incelediği çalışmasında; artan B düzeyleriyle B toksisitesinden zarar görmüş yaprak sayısı, kök, gövde ve yaprakta B içeriklerinin arttığını ancak yaş ağırlık, bitki boyu ve yaprak sayılarının ise azaldığını, Gürel Bey ve Gossipolsüz Nazilli çeşitlerinin B toksisitesine dayanıklı olduğunu, Nazilli çeşidinin ise hassas olarak belirlendiğini rapor etmiştir.

Cervilla vd. (2008), B toksik alanlarda sıklıkla yetiştirilen iki domates (*Lycopersicon esculentum*) çeşidinin N asimilasyonuna B toksisitesinin (0.5 mM ve 2.0 mM B) etkilerini incelemek amacıyla yaptıkları çalışmada; B toksisitesinin yaprak biyokütlesi, bağıl yaprak büyüme oranı, organik N, çözünür proteinler, nitrat redüktaz (NR) ve nitrit redüktaz (NiR) aktivitelerini önemli ölçüde azalttığını, toplam B, amino asitler, glutamin sentetaz (GS), glutamat sentetaz (GOGAT) ve glutamat dehidrojenaz (GDH) aktivitelerini artırdığını, bitki yapraklardaki en düşük NH_4^+ ve NO_3^- konsantrasyonunun 2.0 mM B uygulamasında görüldüğünü ve B toksisitesinin NO_3^- indirgenmesinin engellenmesine neden olurken NH_4^+ asimilasyonunu artırdığını tespit etmişlerdir.

Günlü ve Öztürk (2008), dört farklı haşhaş (*Papaver somniferum* L.) çeşidine (Ankara 94, Kocatepe 96, Afyon Kalesi 95 ve Karahisar 96) uygulanan B dozlarının (0, 0.1, 0.3, 0.9, 3.6 kg B da^{-1}) verim, verim unsurları ve fenolojik özelliklerine etkilerini belirlemek amacı ile yürüttükleri çalışmada; B uygulamalarının çeşitlerde kapsül-tohum oranı, tohum verimi, hasat döneminde bitki sayısı ve kapsül verimine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmasına karşın bitki boyu ve bitkideki kapsül sayısına etkisinn önemsiz bulunduğunu, 0.1 kg B da^{-1} uygulanan çeşitlerde bu değerler artarken yükselen B dozlarında değerlerin azaldığını, 3.6 kg B da^{-1} uygulamasının verim değerlerine toksik etki yaptığını, çeşitler arasında B uygulamasına tepki yönünden önemli genetik varyasyonlar görüldüğünü ve Karahisar-96 çeşidinin tohum ve kapsül verimi yönünden ilk sırada yer aldığını saptamışlardır.

Dursun vd. (2009), sera koşullarında yetiştirilen domates (*Lycopersicon esculentum* L.), biber (*Capsicum annum* L.) ve hıyara (*Cucumis sativus* L.) uygulanan B dozlarının verim ve kaliteye etkisini incelemek amacıyla yaptıkları çalışmada; optimum ekonomik B oranlarının 2.3, 2.6, 2.4 kg B ha^{-1} olduğunu, bunun da toprak B konsantrasyonlarının 0.33, 0.34 ve 0.42 mg kg^{-1} olmasına neden olduğunu, bitki türlerinden bağımsız olarak B uygulamasının bitkide N, Ca ve Mg konsantrasyonlarını azalttığını ancak bitkide P, K, Fe, Mn, Zn ve Cu konsantrasyonlarını artırdığını, 2.5 kg B ha^{-1} ilavesinin toprak B seviyelerini yeterli düzeye yükseltmek için önerilmesi gerekli olduğu tespit edilmiştir.

Ardıc vd. (2009), toksik B şartlarında kuraklığa toleransı farklı iki nohut (*Cicer arietinum* L.) çeşidinin üç haftalık fidelerine uygulanan B'nin (0.05, 1.6 ve 6.4 mM H_3BO_3) köklerin antioksidan sistemlerindeki değişimlerine etkisini belirmek amacıyla yaptıkları çalışmada; kuraklığa dayanıklı çeşidin (Gökçe) kök uzunluğunun 1.6 mM B düzeyinin altında değişmediği ancak 6.4 mM B düzeyinin altında arttırdığını, kuraklığa duyarlı çeşidin (Küsmen) her iki toksik B konsantrasyonunda da kök uzunluğunu azalttığını, kök kuru ağırlığının Gökçe'de etkilenmezken Küsmen'de her iki B konsantrasyonunda da azaldığını, Küsmen'de Gökce'ye göre her iki B seviyesindeki B konsantrasyonunun önemli ölçüde yüksek olduğunu ve Gökçe'nin köklerinin yüksek B seviyeleri altında gelişmiş süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve peroksidaz (POX) aktiviteleri nedeniyle B stresi kaynaklı oksidatif stresten daha iyi korunduğunu rapor etmişlerdir.

Rajaie vd. (2009), sera koşullarında beş B dozu (0, 2.5, 5, 10 ve 20 μg g^{-1}) ve üç Zn dozunun (0, 5 ve 10 μg g^{-1}) limon (*Citrus aurantifolia* L.) fidelerinin büyümesi ve mineral

bileşimine etkisini incelemek amacı ile yaptıkları çalışmada; bitkilerin yaş ve kuru ağırlıklarının 5 µg g^{-1} daha yüksek B dozlarında azaldığını, bununla birlikte bahsi geçen B dozlarında limon fidelerinin hafif ve şiddetli B toksisitesi belirtileri gösterdiğini, Zn uygulamalarının B birikimini ve buna bağlı bitki büyümesine olumsuz etkiyi azalttığını, Zn yokluğunda artan B dozlarının bitki sürgünlerindeki B konsantrasyonunu daha fazla arttırdığını, Zn yokluğunda bitki kök ve sürgün analizlerine bakıldığında B taşınımında artış gözlendiğini, en iyi bitkisel üretimin birlikte uygulanan 2.5 µg B g^{-1} ve 10 µg Zn g^{-1} ile elde edildiğini, bunun sebebinin ise en yüksek Zn, N, P, K, Fe, Mn ve Cu alımının ve en iyi beslenme dengesinin bu kombinasyonda olmasıyla ilişkilendirildiğini ve Zn noksanlığı ile B toksisitesi koşullarında yetiştirilen bitkilerde B absorpsiyonu ve toksisitesinin kontrolünde Zn ilavesinin potansiyel ve pratik öneme sahip olduğunu saptamışlardır.

Palta ve Gezgin (2011), artan düzeylerde B (0, 0.625, 1.25, 2.5, 5, 10 ve 40 mg H_3BO_3 kg^{-1}) uygulaması yapılarak 13 adet at dişi melez mısır çeşidinin B toksisitesine duyarlılıklarını bitkilerin B konsantrasyonlarını ve B içerikleri ile kuru ağırlıkları arasındaki ilişkileri değerlendirmek amacıyla yürüttükleri çalışmalarında; 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 içerdiklerini rapor etmişlerdir.

Valenciano vd. (2011), 2006-2008 yılları arasında İspanya'nın Leòn eyaletinde asit karakterli topraklarda yetiştirilen nohut (*Cicer arietinum*) bitkisine uygulanan Zn (0, 120.5, 241, 482 ve 964 g ha^{-1}), B (0 ve 241 g ha^{-1}) ve molibdenin (Mo) (0 ve 241 g ha^{-1}) nohut verimine etkisini incelemek amacı ile yaptıkları çalışmada; nohut bitkisinin sadece Zn ve Mo uygulamalarına olumlu tepki verdiğini, Mo ve Zn ile gübrelenen bitkilerin esas olarak bakla kuru maddesindeki artıştan dolayı daha büyük bir toplam kuru madde üretimine ve tohum verimine sahip olduğunu, Zn uygulaması için bitki başına 2 mg Zn (6.80 g) ile en yüksek verimin elde edildiğini, Mo uygulaması için ise en yüksek verimin bitki başı 1 mg Mo (6.73 g) ile elde edildiğini, B ve Mo arasında bir etkileşimin olduğunu ve bu etkileşimin Mo'nun B uygulamasının etkisini ortadan kaldırabileceği yönünde olduğunu rapor etmişlerdir.

Lordkaew vd. (2011), beş kıtada B noksanlığından etkilenen mısır (Zea mays L.) bitkisine B uygulaması yapılmadan (B0) ve 20 µM B (B20) uygulaması yapılarak yürütülen

bir dizi kum kültürü denemesi ile B noksanlığının mısırda tane verimini nasıl etkilediğini ve vejetatif kuru ağırlık üzerindeki etkilerini incelemek amacı ile yaptıkları çalışmada; her bitkinin koçan püskülüne B0 uygulamasında 0.4 tane/başak üretilirken B20 uygulamasında ise 410 tane/başak üretildiğini, B0 uygulamasında yapraklarda dar beyazdan şeffaf uzunlamasına çizgiler, çok kısa püsküllü çok sayıda ama küçük ve anormal koçanlar ve bazı dallarda ölü görünen küçük tepe püskülü ile küçük ve buruşuk anterler gibi B noksanlık belirtilerinin gözlendiğini, B0 uygulanan bitkilerinin tepe püskülü, koçan püskülü ve polenleri yalnızca 3-4 mg kg^{-1} B içerirken, B0 bitkilerinin koçan püsküllerinde B20 bitkilerindeki polenlere göre neredeyse hiç tane üretilmediğini, fakat B20 bitkilerinin koçan püsküllerinde oluşan tane sayısını %37 oranında olduğunu rapor etmişlerdir.

Karaman vd. (2012)'nin kalkerli bir toprakta yetiştirilen ekmeklik (*Triticum aestivum*) ve makarnalık (*Triticum durum*) buğdaylara ait 20 farklı genotipine uygulanan 0 (-B) ve 30 mg kg^{-1} (+B) seviyelerindeki borik asidin, buğday genotiplerinin agronomik ve fizyolojik özelliklerine etkilerini incelemek amacıyla yaptıkları çalışmada; bitki kuru madde verimi ve buğday genotiplerinin tepe kısımlarındaki toplam B konsantrasyonlarından elde edilen veriler değerlendirlerek, buğday genotipleri arasında B toksisitesine karşı fizyolojik ve agronomik duyarlılıklarında büyük bir genotipik çeşitliliğin varlığını ortaya koyduğunu rapor etmişlerdir.

Haque vd. (2014), üç B (0, 6 ve 8 kg ha^{-1}) ve üç Zn (0, 7 ve 12 kg ha^{-1}) seviyeleriyle gübrelenen soğan bitkisinin (*Allium cepa* L., cv. Taherpuri) tohum üretimi ve kalitesinin incelenmesi amacıyla yaptıkları çalışmada; en fazla tohum verimi (3.67 g $bitki^{-1}$), tohum verimi (1073 kg ha^{-1}) ve çimlenme yüzdesinin (%89.82) 12×8 kg ha^{-1} Zn ve B kombinasyonundan elde edildiğini, soğan tohumu miktarı ve kalitesinden Zn ve B kombinasyonu orta ila yüksek seviyelerde uygulandığında yararlanılabileceğini rapor etmişlerdir.

Lordkaew vd. (2013) tarafından Chiang Mai (Tayland) da, iki soğuk ve bir sıcak sezonda üç çeltik çeşidine (KDML105, CNT1, SPR1) iki farklı B dozu (0 ve 10 µM H_3BO_3) içeren besin çözeltisini kum kültüründe uygulamak suretiyle, çeltikte B noksanlığı etkilerinin ekim mevsimi ve çeşidine göre nasıl değiştiğini ortaya koymak amacıyla yapılan çalışmada; B noksanlığı nedeni ile tane ağırlığının SPR1 çeşidinde %28'e ve CNT1 çeşidinde ise %79'a kadar azaldığını, verimin soğuk mevsimde sıcak mevsim ekimlerine göre çok daha düşük

olduğunu, tane ağırlığındaki değişimin tane olumu ve başakcık sayısı ile doğrudan ilişkili olduğunu ancak sürgün kuru ağırlığı ve kardeşlenme ile ilişkili olmadığını, B noksanlığının buğday ve mısırda olduğu gibi dane tutumuna ek olarak salkım ve başakcık oluşumu ve tane dolgusu üzerindeki olumsuz etkiler yoluyla çeltik dane verimini baskıladığını rapor edilmiştir.

Ashagre vd. (2014), laboratuvar koşullarında farklı B (0, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8 ve 16 mg L^{-1}) dozlarının buğday (*Triticum aestivum* L.) bitkisinin çimlenmesi ve fide gelişimine etkisini tespit etmek amacıyla yaptıkları çalışmada; çimlenme yüzdesi ve oranı, sürgün ve kök uzunlukları, sürgün ağırlıkları, kök taze ve kuru ağırlıkları, kök sayısı, kök-sürgün oranı ve fide canlılık indeksinin 0.25 mg L^{-1}'nin üzerinde düştüğünü ve çimlenme ortamındaki B konsantrasyonunun artışıyla birlikte fitotoksisitenin önemli ölçüde arttığını rapor etmişlerdir.

Hamideldin ve Hussein (2014), susam (*Sesamum indicum* L.) bitkisine yetişme süresi içinde farklı zamanlarda (1., 2. ve 3. aylarda) yapraklardan uygulanan B (20, 30 ve 40 ppm) dozlarının, verim ve bazı verim ölçütlerine etkisini incelemek amacıyla yaptıkları çalışmada; uygulama yapılan bitkilerin kontrollere kıyasla büyüme ve verimlerinin artış gösterdiğini, büyüme ölçütlerindeki en yüksek sonuçların 20 ppm B dozunda elde edildiğini, farklı B dozu altındaki bitkilerin nem ve yağ düzeylerindeki değişimlerin önemsiz olduğunu, en yüksek yağ viskozitesinin 30 ppm B dozunda görüldüğünü, B uygulamalarının etkisi ile yağ asitlerinin azaldığını, 40 ppm B uygulaması altındaki bitkilerin amino asit içeriklerinde önemli ölçüde artışın gözlemlendiğini, B uygulamalarının Fe, K, Mg ve P içeriklerini azalttığını, en düşük B dozunun (20 ppm) Ca içeriğini artırırken en yüksek B dozunun (40 ppm) ise Cl ve Na içeriklerini artırdığını rapor etmişlerdir.

Sharma vd. (2014), tuzluluğa ve B'a toleranslı yedi farklı buğday çeşidinin [Schomburgk (B-hassas), BT-Schomburgk (B-dayanıklı), KRL-99, KRL-240, KRL-3-4, Kharchia-65, KRL-238 (tuza dayanıklı) ve HD-2009 (tuza hassas)] çözelti ortamındaki farklı B konsantrasyolarının [2.5 (kontrol), 50, 100, 150 ve 200 ppm] kök ve sürgün uzunluğu, kök sayısı, kök ve sürgün kuru ağırlığı ve endosperm ağırlığına etkilerini incelemek amacıyla yaptıkları çalışmada; B-toleransı için seçilen ana kriterin kök uzunluğu olduğunu, KRL-99, Kharchia-65 ve BT-Schomburgk çeşitlerinde kök gelişiminin baskılanmasının daha az olduğunu ve bu çeşitlerin B- dayanıklı olarak değerlendirilebileceğini, B uygulamalarının HD-2009, KRL-240 ve Schomburgk çeşitlerinin köklerinde daha yüksek azalmalara neden

olmasından dolayı B-hassas olarak gösterilebileceğini ve KRL-238 ve KRL-3-4 çeşitlerinin ise B fazlalığına orta derece dayanıklı çeşitler olarak belirlendiğini rapor etmişlerdir.

Wang vd. (2014), hidrofonik ortamda dört B seviyesi (5, 10, 20 ve 100 μmol L^{-1}) uygulanarak 117 gün süre ile yetiştirilen B'ye karşı aşırı hassas ve dünyanın başlıca narenciye anacı olan üç yapraklı portakal (*Pincers trifoliata* L. Raf) bitkisinin yüksek B'ye verdiği tepkiyi belirlemek amacı ile yaptıkları çalışmada; artan B seviyeleri ile bitkide fide boyunun, yaprak sayısının ve kuru ağırlığın azaldığını, yaprak B konsantrasyonlarının genellikle kök ve gövdedeki B konsantrasyonlarından fazla olduğunu, farklı B seviyelerinde bitkilerin genç yapraklarındaki B konsantrasyonunda farklılık bulunmadığı ve genç yaprakların yaşlı yapraklardan daha düşük B konsantrasyonuna sahip olduğunu, borun kök ve gövdede bağlı-B formunda yapraklarda ise esas olarak serbest-B formda bulunduğunu, serbest-B, yarı bağlı-B ve bağlı-B formlarının farklı B uygulamalarında kökler ve gövdelerde çok az değişiklik gösterdiğini, yaprak klorozu arttıkça yapraklardaki serbest-B miktarının arttığını ve bu durumun yaprak klorozu ile yapraklardaki serbest-B miktarı ile yakından ilişkili olduğunu rapor etmişlerdir.

Nasim vd. (2015), iki arpa çeşidine dört B (0.1, 0.5, 1.5 ve 3.0 mg kg^{-1}) ve iki Zn (0.1 ve 1.0 mg kg^{-1}) seviyelerindeki çözeltisinin uygulanması ile B toksisitesinin Zn tarafından hafifletilmesini değerlendirmeyi amaçladıkları çalışmada; Clipper'da yüksek B oranlarının, bitki kuru maddesini önemli ölçüde azalttığını, Zn uygulamasının, tüm B uygulamalarındaki Clipper çeşidinde sürgün ve kök kuru maddesini önemli ölçüde iyileştirdiğini, B uygulamasının, her iki genotipin sürgün ve köklerinde B'u önemli ölçüde artırdığını, ancak bu artışın, Clipper'da daha belirgin olduğunu, Clipper'ın köklerindeki bor konsantrasyonu, Zn ve B uygulamalarına bakılmaksızın Sahra'dakinin neredeyse iki katı olduğunu ve 3.0 mg kg^{-1} Zn uygulamasının her iki çeşitte de B konsantrasyonunu azalttığını tespit etmişlerdir.

Ali vd. (2015a), Bangladeş'te yaz sezonunda yetiştirilen BARI hibrit domates-4 bitkisine yapraktan Zn ve B (T0: kontrol, T1: 25 ppm $ZnSO_4$, T2: 25 ppm H_3BO_3 ve T3: 12.5 ppm $ZnSO_4$ + 12.5 ppm H_3BO_3) uygulamalarının verim artışına etkisini belirlemek amacı ile yaptıkları çalışmada; en yüksek değerlerin kontrole nazaran Zn+B uygulanan bitkilerde belirlendiğini ve bitki boyu 106.9 cm, yaprak alanı 48.2 cm^2, bitkide yaprak sayısı 68.9,

bitkide dal sayısı 11.9, salkımda meyve sayısı 1.8 ve bitkide meyve sayısı 33.6, bitkide salkım sayısı 21.6, meyve uzunluğu 5.3 cm, meyve çapı 5.1 cm, tek meyve ağırlığı 60.4 g, verim 1.9 g bitki^{-1}, 25.7 kg Parsel^{-1}, 58.3 t ha^{-1}, erken çiçeklenme 49.3 gün, en az hastalıklı bitkinin %9.4 olduğunu ve bu değerlerin sonucu olarak yapraktan Zn+B uygulamasının yaz sezonu domatesinin büyümesi ve verimi üzerinde tekil Zn veya B uygulamasından daha etkili olduğunu saptamışlardır.

Koohkan ve Maftoun (2015), sera koşullarında ve saksılarda kireçli toprakta yetiştirilen çeltik (*Oryza sativa* L.) bitkisine yetiştirme süresi boyunca uygulanan kombine edilmiş B (0, 2.5, 5, 10, 20 ve 40 mg H_3BO_3 kg^{-1}) ve N (0, 75, 150 ve 300 mg üre kg^{-1}) dozlarının sonucunda B toksisitesine N'un etkisini incelemek amacıyla yaptıkları çalışmada; 2.5 mg kg^{-1}'dan fazla B ilavesinin tohum verimini önemli ölçüde düşürdüğünü, N ilavesinin B takviyelerinin neden olduğu büyüme baskısını hafiflettiğini, verimin tüm N seviyelerinde 2.5 mg B kg^{-1} uygulamasıyla artmasına karşın artan B seviyelerinde verimin önemli ölçüde düştüğünü, N seviyeleri arttıkça B konsantrasyonlarının azaldığını, uygulanan B'un bitkide B, K, P ve Zn konsantrasyonlarını artırdığını, N uygulamasının ise Zn konsantrasyonunu düşürürken N ve P konsantrasyonunu artırdığını saptamışlardır.

Yıldıztekin vd. (2015a), ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) bitkisinin tek ekiminin yanı sıra, yonca (*Medicago sativa* L.) ve buğday (*Triticum aestivum* L.) ile birlikte ekimi yapılarak yapraktan üç farklı düzeyde B (25, 50, 75 mg H_3BO_3 L^{-1}) uygulanması ile bitkilerin kuru ve yaş ağırlıkları, klorofil, karotenoid ve prolin miktarlarının yanında bitki yapraklarındaki B, Ca, K, P içeriklerindeki değişimi belirlemek amacı ile yaptıkları çalışmada; tek ekim yetiştirilen ayçiçeğinin yapraklarında % kuru madde ile birlikte karotenoid ve klorofil miktarları azalırken polikültür yetiştirilen ayçiçeğinde bu parametrelerdeki değerlerin arttığını, tek ekim yetiştirilen ayçiçeğinin yapraklarında % EC ve prolin kapsamlarında da artışın olduğunu fakat polikültür yetiştirilmesi ile bu değerlerin düştüğünü, ayçiçeği polikültür olarak yetiştirildiğinde yaprak B kapsamının önemli oranda azaldığını, bazı makro elementlerin alımının olumlu etkilendiğini ve sonuç olarak B sorununun varlığında farklı bitkilerle birlikte yetiştiriciliğin ayçiçeği bitkisinin B alımını azaltarak B toksisitesine bağlı sorunları azaltabileceğini rapor etmişlerdir.

Hamurcu vd. (2016), farklı B düzeylerindeki (kontrol, 2.5, 25, 50 ve 100 mg B L^{-1}) 1/5 Hoagland çözeltisinde yetiştirilen B toksisitesine duyarlılıkları farklı iki hibrit mısır çeşidinin (B-tolerant RX 770 ve B-hassas TTM 81.19) kök ve gövde anatomisine B'un etkisini belirlemek amacı ile yaptıkları çalışmada; bitkiler ilk üç yapraklı evrelerinde uygulanan B seviyelerinin 0. gününde, ilk tepkilerin görülmeye başlandığı 5. günde ve son olarak 10. günde alınan kök, gövde ve yaprak örneklerinde, artan seviyelerde B uygulamalarının her iki mısır çeşidinde de kök metaksilem, gövde trake ve korteks çaplarını önemli düzeylerde azalttığını, azalmaların B toksisitesine toleranslı RX 770 çeşidinde hassas TTM 81.19 çeşidine göre daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir.

Görmüş ve Barutçular (2016), Türkiye'nin güneyindeki killi ve orta bünyeli topraklarda yetiştirilen, pamuk ve ayçiçeği bitkilerine dikimle birlikte topraktan uygulanan B (0, 1, 2 ve 3 kg ha^{-1}) gübrelemesinin verim ve verim bileşenlerine etkilerini incelemek amacıyla yaptıkları çalışmada; 3 ve 2 kg ha^{-1} B uygulamalarında pamuk ve ayçiçeği tohum veriminde %31.0 ve %31.9'luk bir artış görüldüğünü, 2 kg B ha^{-1} uygulaması ile koza ağırlığında ortalama %61.4'lük bir artış olduğunu, uygulanan farklı B seviyelerinin elyaf uzunluğu, elyaf mukavemeti ve elyaf uzunluğu homojenliği için önemli bir etkiye sahip olmadığını, 3 kg ha^{-1} seviyesinde uygulanan B'nin %18'lik bir artışla 47.5 g ile en yüksek bin dane ağırlığını ürettiğini, bir miktar B alımı gerçekleşmesine rağmen deneysel koşullar altında ayçiçeği için B'un gübre olarak değerinin olmadığını ve pamuk verimini artırmada B gübrelemesinin etkili olduğunu rapor etmişlerdir.

Jankowski vd. (2016) tarafından yürütülen üç yıllık tarla denemelerinde, orta düzey B içeren tarla topraklarında yetiştirilen kışlık yağlı tohum kolza (*Brassica napus* L.) bitkisinin yapraklarına püskürtülerek uygulanan B (0, 150 ve 300 g ha^{-1}) seviyelerinin kolza bitkisinin tohum verimi, verim bileşenleri, besin değeri ve yem değeri üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla yapılan çalışmada; tomurcuk oluşumunun başlangıcı sırasında B'un yapraktan uygulanması, tohum verimini düşük B gübreleme seviyesinde 0.19 (%3) artırdığı ve daha yüksek B uygulama seviyesinde (0.26 Mg ha^{-1}) ise %4yükselttiği, B uygulamasının kolza tohumlarında B içeriğini artırdığı, Zn ve Fe düzeylerini düşürdüğünü, 150-300 g ha-1 oranında B uygulandığında değerlendirilen tohumların N ve Ca içeriklerinin artış gösterdiğini, uygulanan B seviyelerinin tohumların besin değerlerini iyileştirdiğini ancak yem değerlerini

(toplam protein içeriği, nitel lif konsantrasyonu, nötr nitel lif konsantrasyonu, glukozinolatların kantitatif ve kalitatif bileşimi) bozduğunu saptamışlardır.

Khan vd. (2016)'nin B noksan bir alanda ketencik (*Camelina sativa* L.) bitkisinin gövde uzaması ve çiçeklenme dönemi olmak üzere topraktan (0, 1 ve 2 kg B ha^{-1}) ve yapraktan (0, 100, 200 mg B L^{-1}) iki kere uygulanan B gübrelemesinin yetiştirilen bitkilerin fenolojik ve verim parametrelerindeki değişimleri incelemek amacıyla yaptıkları çalışmada; kontrole göre topraktan (2 kg ha^{-1}) ve yapraktan (200 mg L^{-1}) B uygulamalarının daha erken çimlenmeye ve olgunluğa neden olduğunu, meyve veren dallarda %19.68, silika sayısı ve silika başına tohum veriminde %4.6, biyolojik verimde %15.0, tohum veriminde %24.0, hasat indeksinde %11.4 ve yağ içeriğinde %23.0 artışlara neden olduğunu ve meyve taşıyan dallardaki artışları, tohumla dolmuş silika veya tohum sayılarını, hasat indeksi ve yağ kalitesini, yaprak veya topraktan B uygulandığındaki silika kuru ağırlığındaki artışlarla gövdede biriken kuru maddedeki değişikliklere bağlanabileceğini açıklamışlardır.

Metwally vd. (2017), B-duyarlı (Gemmeza 9) ve B-tolerant (Sakha 93) buğday (*Triticum aestivum* L.) çeşitlerine kum kültüründe 10 gün boyunca vejetatif gelişme aşaması ve 35 gün boyunca kardeşlenme aşamasında uygulanan B (1, 3, 6, 8 ve 10 mg kg^{-1}) içeren çözeltilerle (pH 5.7) ile yetiştirilmesi sonucu çeşitlerin B-toksisite belirtileri, kardeş sayıları, B konsantrasyonları, çözünür şeker, çözünür protein, prolin ve serbest amino asit içeriklerini belirleyerek B'ye verdikleri tepkiler arasındaki farklılıkları belirlemeyi amaçladıkları çalışmada; yüksek B seviyelerinde çeşitler arasındaki farkların belirginleştiğini, B-tolerant çeşitte kloroz seviyesi %7 iken B-hassas çeşitte ise klorozun %70 seviyelerinde olduğunu, B-tolerant çeşitte kardeş sayısı kademeli olarak azalırken B-hassas çeşitte ise yetiştirme ortamındaki B seviyesinin artmasıyla şiddetli bir azalma görüldüğünü, çoğu B dozunda B-hassas çeşidin sürgünlerinde çözünür karbonhidrat birikimi teşvik edilmesine rağmen B-tolerant çeşidin sürgünlerindeki birikimde önemli bir fark olmadığını, her iki çeşitte de çözünür protein üretiminin çoğu B seviyesinden etkilenmediği, çeşitli konsantrasyonlardaki B varlığı her iki çeşidin de sürgünlerindeki serbest amino asitlerin üretimini etkilediği ve her iki çeşidin de kardeş sayısının (verim indeksi) B-tolerant çeşitte %50-59 seviyesinde ve B-duyarlı çeşitte ise %84-92 seviyesinde azaldığını tespit etmişlerdir.

Turan vd. (2018), makarnalık buğday (*Triticum durum* L. cv. Çakmak-79) ve ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L. cv. Gerek-79) çeşitlerine sera koşullarında uygulanan farklı

dozlarda H_3BO_3'in (0, 1 ve 10 mg B kg^{-1}) etkilerini incelemek amacıyla yaptıkları çalışmada; makarnalık buğdayda ekmeklik buğdaya göre B toksisitesi belirtilerinin güçlü bir şekilde ortaya çıktığını, 1 mg B kg^{-1} uygulamasının her iki çeşidin kuru ağırlıklarını uyardığını ve artırdığını, yüksek seviye B uygulamasının (10 mg B kg^{-1}) her iki çeşidin de kuru ağırlıklarını önemli ölçüde azalttığını, B uygulamasındaki artışla yaprak ucundaki B konsantrasyonu ve alımının artarken, her iki çeşitte de Ca konsantrasyonu ve alımının azaldığını, bitki hücre duvarında önemli miktarda B biriktiğini, yaprak uçlarına benzer şekilde hücre duvarındaki B konsantrasyonlarının B uygulaması ile artarken Ca konsantrasyonunun azaldığını rapor etmişlerdir.

Hamurcu vd. (2019), soya fasulyesi (*Glycine max* L. Merr.) çeşitlerine (13935, Türksoy, ME 3399 ve Deficiency) uygulanan B (0, 2 ve 12 mg B kg^{-1}) dozlarının etkilerini incelemek amacıyla yaptıkları çalışmada; tüm çeşitlerin tohum protein içeriğinin B uygulaması ile arttığını ve kuru sürgün ağırlığının ise azaldığını, Türksoy çeşidinin tohum yağının en yüksek stearik ve oleik asit oranına 2 mg B kg^{-1} uygulamasında sahip olduğunu, 12 mg B kg^{-1} muamelesi altında en yüksek toplam yağ içeriğinin, % 8 daha yüksek toplam yağ içeriğine sahip olan Deficiency çeşidinde gözlendiğini, B uygulamaları altındaki soya fasulyesi bitkilerinin doymuş yağ asitlerinin doymamış yağ asitlerine oranının 13935 ve ME 3399 çeşitlerinde azalırken Türksoy ve Deficiency çeşitlerinde artış gösterdiğini, 13935 ve ME 3399 çeşitlerinin tohum yağı, sırasıyla 2 mg B kg^{-1} ve 12 mg B kg^{-1} uygulamaları altında en yüksek α-linolenik asit seviyelerini gösterdiğini ve sonuç olarak yüksek B konsantrasyonlarının tohum verimi (Türksoy çeşidi hariç) üzerinde azaltıcı, protein içeriğini artırıcı, doymuş ve doymamış yağ asidi kompozisyonları üzerinde değişken etkiye sahip olduğunu saptamışlardır.

Choudhary vd. (2020) tarafından tıbbi değerlere sahip aromatik ve antimikrobiyal bakımdan iki önemli uçucu yağ içerikli bitkiler olan Japon nanesi (*Mentha arvensis*) ve doğu Hint limon otunun (*Cymbopogon fexuosus*) uygulanan yüksek B (2.5, 5, 10, 20 ve 30 mg kg^{-1}) konsantrasyonlarının büyüme, oksidatif hasar, antioksidan enzimler ve uçucu yağ bileşenlerine etkilerini incelemek amacı ile yapılan çalışmada; B uygulamalarının toplam klorofil ve karotenoid içeriği düşürdüğü, karbonik anhidraz (CA) ve NR enzimlerinin aktivitelerini azalttığı, B stresinin prolin içeriğini ve lipid peroksit içeriğini artırdığı, CAT, POD ve SOD gibi antioksidan enzimlerin aktivitelerini arttırdığı, her iki bitkide de uçucu yağ içe-

riğinin 2.5 mg B kg^{-1} düzeyinde arttığı ancak artan B konsantrasyonlarında uçucu yağ içeriğinin azaldığı, artan B konsantrasyonlarının büyümeyi ve fotosentetik pigmentleri inhibe ettiği, oksidatif hasarı ve antioksidan enzimlerin aktivitelerini artırdığı belirtilmiştir.

Karahan ve Çıkılı (2021) tarafından B-noksan (0 µM H_3BO_3) ve B-toksik (1000 µM H_3BO_3) koşullarda yetiştirilen dokuz sorgum (*Sorghum bicolor* L.) çeşidinin bazı agronomik, morfolojik ve beslenme özelliklerini incelemek amacıyla yapılan çalışmada; B noksanlığı koşullarında, bitki boyu (%2.3), gövde yaş ve kuru ağırlığı (%10.9 ve %16.8), kök yaş ve kuru ağırlığı (%21.8 ve %21.1), toplam yaş ve kuru ağırlığı (%15.1 ve %16.4), gövde ve kök B konsantrasyonları (%63.5 ve %21.5), klorofil *a*+*b* (%6.2) ve karotenoid içeriklerinde (%3.2) önemli artışlar tespit edildiği, B fazlalığı koşullarında ise, bitki boyu (%8.0), gövde yaş ve kuru ağırlığı (%14.8 ve %26.0), kök yaş ve kuru ağırlığı (%37.8 ve %36.8), toplam yaş ve kuru ağırlığı (%23.8 ve %29.5), klorofil *a*+*b* (%19.4) ve karotenoid (%19.4) içeriklerinde önemli azalmalar saptanırken, gövde ve kök B konsantrasyonları (16.0 kat ve 4.3 kat) ve gövde/kök oranında (%22.5) önemli artışlar belirlendiği, B noksanlığında B konsantrasyonu ve alımları ile gövde Ca konsantrasyonunda önemli azalmalar ve B fazlalığında ise bu parametrelerde önemli artışlar belirlendiği, birim B'a karşılık oluşturulan kuru madde miktarı B noksanlığında artarken B fazlalığında ise azaldığı, kök Ca ve Na konsantrasyonlarında B fazlalığında önemli artışlar belirlenirken, B noksanlığında ise değişimlerin önemsiz bulunduğu rapor edilmiştir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Tez çalışmasında bitki materyali olarak ülkemizde yetiştiriciliği yapılan 30 adet çeltik çeşidi kullanılmıştır. Bitki materyali olarak kullanılan çeltik çeşitlerinin tez çalışmasında kullanılan çeşit numaraları, çeşit adları ve orijinleri / temin edildiği kuruluşlar Tablo 2'de toplu olarak sunulmuştur

Tablo 2

Bitki materyali olarak kullanılan çeltik çeşitleri

Çeşit No	*Çeşit Adı*	*Orijin / Haksahibi Kuruluş*
C01	Aga	Türkiye / Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü
C02	Edirne	Türkiye / Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü
C03	Efe	Türkiye / Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü
C04	Gemici	Türkiye / Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü
C05	Gümüşcan	Türkiye / Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü
C06	Gönen	Türkiye / Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü
C07	Halilbey	Türkiye / Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü
C08	Keshan	Türkiye / Tekcan Tohumculuk Gıda ve Tarım Ürünleri San. Tic. Ltd. Şti.
C09	Osmancık-97	Türkiye / Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü
C10	Rekor	Türkiye / Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü
C11	Ülfet	Türkiye / Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü
C12	Yatkın	Türkiye / Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü
C13	Zeybek	Türkiye / Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü
C14	Colombo-CL	İtalya / Tekcan Tohumculuk Gıda ve Tarım Ürünleri San. Tic. Ltd. Şti.
C15	Fedra	Türkiye / Sarıköy Gıda Ltd. Şti.
C16	Kikko	Türkiye / Sarıköy Gıda Ltd. Şti.
C17	Borandotto	Türkiye / Sarıköy Gıda Ltd. Şti.
C18	Proteo	Türkiye / Sarıköy Gıda Ltd. Şti.
C19	RG-201	Türkiye / S.G.P Tohumculuk
C20	Virgilo	İtalya / S.G.P Tohumculuk
C21	Vasco	Türkiye / Tekcan Tohumculuk Gıda ve Tarım Ürünleri San. Tic. Ltd. Şti.
C22	Cameo	Türkiye / Harman Tarım Tohumculuk ve Gıda Paz. Tic. Ltd. Şti.
C23	Casanova	Türkiye / Tekcan Tohumculuk Gıda ve Tarım Ürünleri San. Tic. Ltd. Şti.
C24	Baldo	İtalya / S.G.P Tohumculuk
C25	Değirmen-CL	Türkiye / Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü
C26	Efsane-CL	Türkiye / Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü
C27	Güneş-CL	Türkiye / Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü
C28	Köprü-CL	Türkiye / Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü
C29	Özgür-CL	Türkiye / Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü
C30	Turbo-CL	Türkiye / Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü

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

Besin Çözeltisi: Hidroponik tarım yöntemleriyle yetiştirilen bitkilerin ihtiyaçların karşılamak için, bitkiler tarafından alınan besin maddesi ve minerallerin su ile birlikte çözülerek verilmesi için hazırlanan ve topraksız tarım sistemlerinde kullanılan çözeltiye besin çözeltisi denir ve en çok bilineni ise Hoagland besin çözeltisidir. Bu tez çalışmasında, çeltik ile ilgili yapılan araştırmalarında sıklıkla kullanılan modifiye edilmiş Kimura-B besin çözeltisi kullanılmıştır (Chen vd. 2006; Hoagland ve Arnon 1950).

***B-Toksisitesi*:** Bor kaynağı olarak analitik saflıkta borik asit (H_3BO_3) kimyasalı 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 24/32 °C ve minumum/maksimum bağıl nem ise %64/%48 olarak belirlenmiştir. Perlit doldurulmuş 1.5 litre hacmi olan saksılara Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü ve çeşitli ithalatçı firmalardan sağlanan çeltik çeşitlerine ait tohumlar 24 saat saf suda şişirildikten sonra deneme planına göre her saksıya 20 tohum hesabıyla ekilmiştir. Çimlenme ve bitkilerin çıkışından sonra her saksıda 10 bitki kalacak şekilde seyreltme yapılmıştır. Bitkiler deneme süresince modifiye edilmiş tam Kimura-B çözeltisi ile sulanmıştır. Modifiye edilmiş Kimura-B çözeltisi bileşiminde; makro element bileşimleri Kimura-B çözeltisi ve mikro element bileşimleri ise Hoagland çözeltisi içeriklerinden kullanılmıştır.

Modifiye edilmiş Kimura-B besin çözeltisi bileşiminde; makro besin elementleri olarak 0.20 mM KNO_3, 0.40 mM $Ca(NO_3)_2.4H_2O$, 0.55 mM $MgSO_4.7H_2O$, 0.20 mM KH_2PO_4, 0.37 $(NH_4)_2SO_4$ ve 0.10 KCl ve mikro besin elementleri olarak 45.0 µM $FeSO_4.7H_2O$, 9.0 µM $MnSO_4.H_2O$, 0.77 µM $ZnSO_4.7H_2O$, 0.32 µM $CuSO_4.5H_2O$, 0.17 µM $NiCl_2.6H_2O$, 0.10 µM $(NH_4)_2Mo_7O_{24}.4H_2O$, 30 µM NaCl ve 55.0 µM $Na_2EDTA.2H_2O$ içeren besin çözeltisinin pH'sı 6.0'a HCl veya KOH kullanılarak ayarlanmıştır.

Tez çalışması kapsamında birer faktör olarak belirlenen ve deneme konularına ait koşullar, aşağıda açıklandığı şekilde hazırlanmış ve uygulama çözeltileri Tablo 2'de sunulan deneme konularına göre çeltik çeşitlerine uygulanmıştır.

Kontrol: Yetiştirilecek olan türlerin besin maddesi ihtiyacı 20 µM H_3BO_3 içeren modifiye edilmiş Kimura-B çözeltisinin, gelişmenin her gününde 100 mL çözelti olarak perlit ortamına sulama şeklinde verilmesi ile sağlanmıştır.

B-noksanlığı (–B) koşulları: Bor içermeyen modifiye edilmiş Kimura-B çözeltisinin, gelişmenin her gününde 100 mL çözelti olarak perlit ortamına sulama şeklinde verilmesi ile sağlanmıştır.

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

Tohum ekiminden itibaren 30 gün boyunca deneme konularına uygun olarak uygulama çözeltileri eklenmiş besin çözeltileri ile sulanan bitkiler kök boğazından kesilerek hasat edilmiştir. Usulüne uygun olarak yıkanan ve kurutulan bitki örnekleri kuru yakma yöntemine göre yakılarak analize hazırlanmış (Müftüoğlu vd., 2014) ve elde dilen süzüklerde toplam B ve bazı besin maddeleri aşağıda belirtilen uygun analiz yöntemleri kullanılarak belirlenmiştir.

3.2.1. Morfolojik Ölçümler

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

Gövde ve kök biyolojik verimi: Kök boğazından kesilerek hasadı yapılan bitkilerin gövde ve kök yaş ağırlıkları (YA, g saksı$^{-1}$) hassas terazide (0.001 g duyarlı) tartılarak belirlenmiş ve gövde ve kök biyolojik verimi olarak kaydedilmiştir.

Gövde ve kök kuru madde miktarı*:* Yaş ağırlıkları belirlenen ve sırasıyla iki kez musluk suyu, iki kez saf su ve bir kez de deiyonize su ile yıkanarak kese kâğıtlarına konulan bitki-

lerin gövde ve kökleri kurutma dolabında 70 °C'de sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Kuruyan gövde ve kök örneklerinin kuru ağırlıkları (KA, g saksı$^{-1}$) 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 10 bitki^{-1}) / Kök KA (g 10 bitki^{-1}) (3.1)

Kök hacmi: Köklerin belirli hacimdeki ölçü silindiri içerisindeki suya daldırılmasıyla taşırdıkları su miktarının cm^3 (mL) olarak ölçülmesi ile belirlenmiştir.

3.2.2. Bitki Analizleri

Bitki örneklerinin analize hazırlanması: Çeltik çeşitlerine ait kurutulan gövde ve kökleri bulaşmaya yol açmayacak uygun bir öğütücü (çelik bıçaklı bitki değirmeni) yardımıyla öğütülmüştür. Daha sonra gövde ve kök örneklerinden porselen kroze içerisine 500 mg tartılmış ve sıcaklığı kademeli olarak artırılan (50-500 °C) kül fırınında kuru yakma yöntemine göre yakılmıştır. Yakılan örneklere 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).

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

Bitkide B alımı: Bitkinin B içeriği ve kuru madde miktarı dikkate alınarak aşağıdaki formüle (3.2) göre belirlenmiştir.

B alımı (µg saksı$^{-1}$) = B kapsamı (µg g^{-1}) × KA (g) (3.2)

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

Toplam klorofil ve karotenoid konsantrasyonlarının belirlenmesi: Fizyolojik analizler hasattan önce taze yaprak örnekleri üzerinde yapılmıştır. Yıkanmış taze yaprak örnekleri (W = 100 mg) küçük parçalara bölünerek bir homojenizatör yardımıyla 10 mL (V) %90 (v/v)'lık aseton ile homojenize edilmiş ve filtre kâğıdından süzülmüştür. Homojenatların 663, 652, 645 ve 470 nanometre dalga boylarındaki absorbansları bir spektrofotometrede belirlenerek klorofil *a* (3.3), klorofil *b* (3.4), klorofil *a*+*b* (3.5) ve karotenoidlerin (3.6) konsantrasyonları aşağıda detayları sunulan Lichtenthaler (1987)'in formülüne göre hesaplanmıştır.

$$\textit{Toplam Klorofil (mg/g YA)} = (27.8 \times A_{652}) \times V\,(mL) / W\,(mg) \quad (3.3)$$

$$\textit{Klorofil a (mg } g^{-1} \textit{ YA)} = (11.75 \times A_{663}) - (2.35 \times A_{645}) \times V / W \quad (3.4)$$

$$\textit{Klorofil b (mg } g^{-1} \textit{ YA)} = (18.61 \times A_{645}) - (3.96 \times A_{663}) \times V / W \quad (3.5)$$

$$\textit{Karotenoid (mg } g^{-1} \textit{ YA)} = [(1000 \times A_{470}) - (2.27 \times \text{Chl } a)] - (81.4 \times \text{Chl } b/227) \times V / W \quad (3.6)$$

Stres Tolerans İndeksi (STİ) belirlenmesi: Test edilen her bir çeşit için kontrol ve stres koşullarındaki kuru ağırlık verimleri ve çeşitlerin ortalama kuru ağırlık verimi dikkate alınarak aşağıda detayları sunulan Fernandez (1992)'in formülüne (3.7) göre hesaplanmıştır.

$$\textit{Stres Tolerans İndeksi (STİ)} = (Ys \times Yp) / (\bar{Y}p^2) \quad (3.7)$$

Stres Duyarlılık İndeksi (SDİ) belirlenmesi: Test edilen her bir çeşit için kontrol ve stres koşullarındaki kuru ağırlık verimleri ve çeşitlerin ortalama kuru ağırlık verimi dikkate alınarak aşağıda detayları sunulan Fischer ve Maurer (1978)'in formülüne (3.8) göre hesaplanmıştır.

$$\textit{Stres Duyarlılık İndeksi (SDİ)} = [1 - (Ys / Yp)] / [(1 - (\bar{Y}s / \bar{Y}p)] \quad (3.8)$$

Bu formüllerdeki parametreler aşağıda açıklanmıştır.

Ys: Her bir çeşit için, stres koşullarındaki kuru ağırlık verimini,

Yp: Her bir çeşit için, kontrol koşullarındaki kuru ağırlık verimini,

$\bar{Y}s$: Stres koşullarında, tüm çeşitlerin ortalama kuru ağırlık verimini,

$\bar{Y}p$: Kontrol koşullarda, tüm çeşitlerin ortalama kuru ağırlık verimini temsil etmektedir.

3.2.3. İstatistik Analizler

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

Tez çalışmasında incelenen özellikler arası ilişkileri görsel olarak değerlendirmek amacıyla biplot analiz yöntemi kullanılmıştır (Akçura, 2011). Biplot analizi, temel bileşenler analizi ile toplam varyasyonu açıklama oranına bağlı olarak elde edilen matrislerin grafiksel olarak gösterimidir (Akçura, 2011). Bu nedenle eksenler PC1 ve PC2 olarak ifade edilmektedir. Bu çalışmada GGE-biplot analizinde, çeltik çeşitlerinin PC1 > 0.0 değerleri B uygulamalarında incelenen özelliklerin yüksek ve B-noksanlığı/B-toksisitesi uygulamalarına toleransı, çeltik çeşitlerinin PC1 < 0.0 değerleri ise B-uygulamalarında incelenen özelliklerin düşük ve B-noksanlığı/B-toksisitesi uygulamalarına hassasiyetini açıklamaktadır. Çeltik çeşitlerinin PC2 değerlerinin 0.0'a yakın olması B-uygulamalarında stabil olduğunu, PC2 değerlerinin mutlak değerinin büyük olması ise çeltik çeşitlerinin B-uygulamalarına vermiş olduğu tepkilerinin kararsız olduğunu ifade etmektedir. Bu çalışmada, GGE-biplot yönteminde kontrol, B-noksanlığı, B-toksisitesi uygulamaları bir çevre olarak kabul edilmiştir. B-noksanlığı/B-toksisitesi uygulamaları çevre olarak kabul edildiğinden hangi B-uygulamasında hangi çeltik çeşidinin daha iyi olduğu, B-noksanlığı/B-toksisitesi uygulamaları hangi çeltik çeşitlerinin toleranslı/duyarlı olduğu, B-uygulamalarıyla incelenen özellikler arasındaki ilişkilerin nasıl olduğunu tespit etmek için biplot grafikler oluşturulmuştur.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Bor Noksanlığı ve Toksisitesinin Çeltik Çeşitlerinin Toprak Üstü Aksam ve Kök Gelişimine Etkisi

4.1.1. Gövde Yaş ve Kuru Ağırlıkları

B-noksanlığı ve B-toksisitesinin çeltik çeşitlerinin gövde yaş ve kuru ağırlıklarına etkisine dair varyans analiz sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. Gövde yaş ağırlıklarına ait ortalamalar Şekil 2'de, gövde kuru ağırlıklarına ait ortalamalar ise Şekil 3'te sunulmuştur. Tablo 3 ve Şekil 2 ve 3 birlikte değerlendirildiğinde; çeltik çeşitlerine uygulanan B-noksanlığı ve B-toksisitesinin gövde yaş ve kuru ağırlıklarına çeşitlerin etkisi ($p \leq 0.001$), B uygulamalarının etkisi ($p \leq 0.001$) ve çeşit x bor interaksiyonunun etkisinin ($p \leq 0.001$) istatistiki olarak önemli olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 3
B-noksanlığı ve B-toksisitesinin çeltik çeşitlerinin gövde yaş ve kuru ağırlıkları ve bitki boyuna 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	269	30.02	-	1.81	-	972.82	-
Çeşit (Ç)	29	17.93	32.33***	1.18	40.88***	651.08	37.44***
Bor (B)	2	5.41	141.44***	0.25	126.41***	84.35	70.33***
Ç×B İnteraksiyonu	58	3.24	2.92***	2.434	3.46***	129.45	3.72***
Hata	180	3.44	-	1.387	-	107.94	-

Çeltik çeşitleri birlikte değerlendirildiğinde; kontrole göre (2.85 g 10 bitki^{-1}) B-noksanlığı uygulaması ile ortalama gövde yaş ağırlığında %10.18 düzeyinde ve B-toksisitesi uygulaması ile %10.53 düzeyinde önemli azalmalar tespit edilmiştir (Şekil 2).

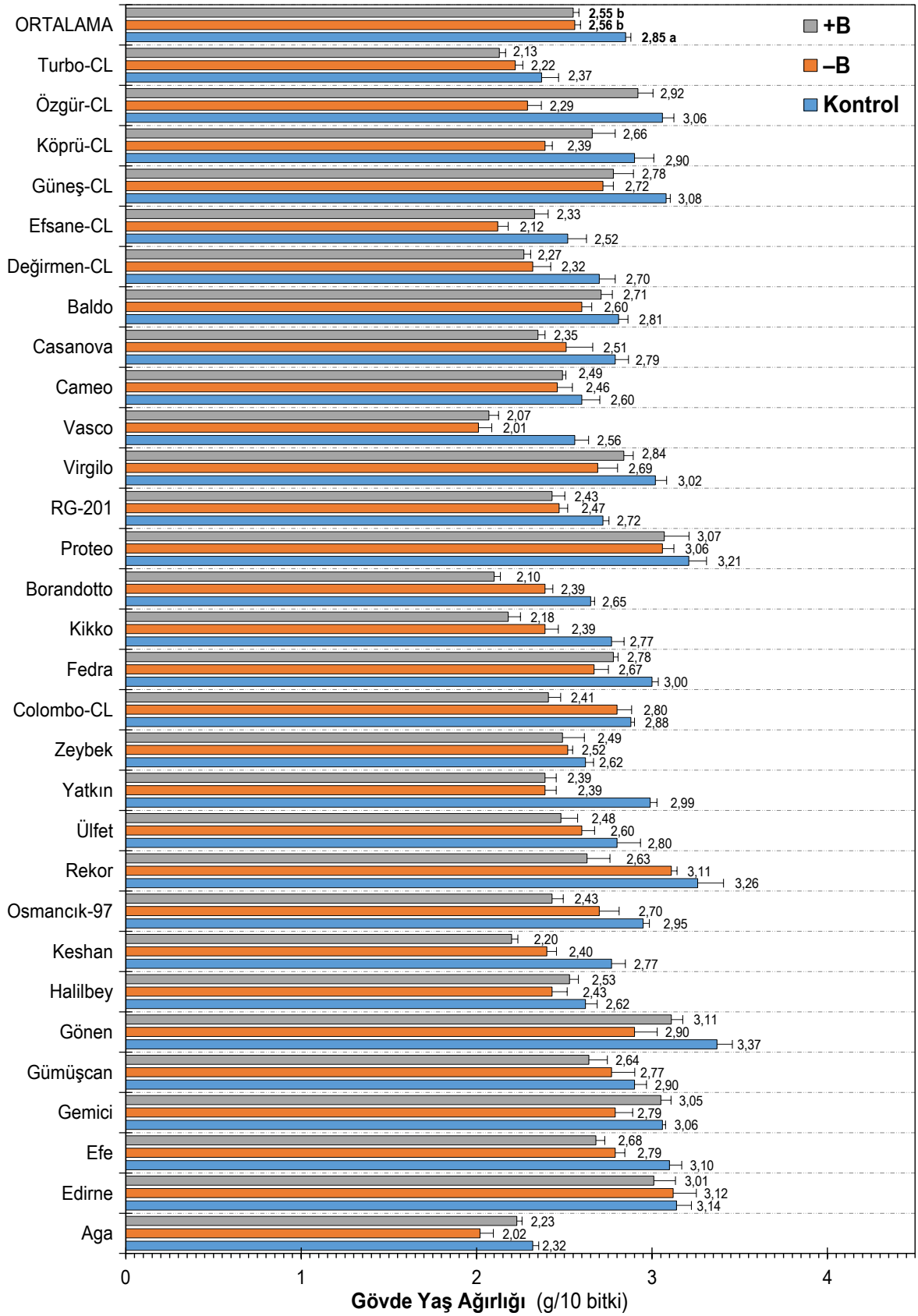
B-noksanlığı uygulamasında gövde yaş ağırlığında en fazla azalma görülen çeşit Özgür-CL (%25.16) olarak belirlenirken, bu çeşidi sırası ile Vasco (%21.48), Yatkın (%20.07), Köprü-CL (%17.59), Efsane-CL (%15.87), Değirmen-CL (%14.07), Gönen (%13.95),

Kikko (%13.72), Keshan (%13.36), Aga (%12.93), Güneş-CL (%11.69), Fedra (%11.00), Virgilo (%10.93), Casanova (%10.04), Efe (%10.00), Borandotto (%9.81), RG-201 (%9.19), Gemici (%8.82) ve Osmancık-97 (%8.47) çeşitleri izlemiş ve kontrol uygulamasına göre B-noksanlığı uygulamasında gövde yaş ağırlığında belirlenen bu azalmalar önemli bulunmuştur (Şekil 2). Bununla birlikte, kontrol uygulamasına göre B-noksanlığı koşulları ile Baldo (%7.47), Halilbey (%7.25), Ülfet (%7.14), Tubo-CL (%6.33), Cameo (%5.38), Proteo (%4.67), Rekor (%4.60), Gümüşcan (%4.48), Zeybek (%3.82), Colombo-CL (%2.78) Edirne (%0.64) çeşitlerinin gövde yaş ağırlığında tespit edilen azalmalar ise önemsiz bulunmuştur (Şekil 2).

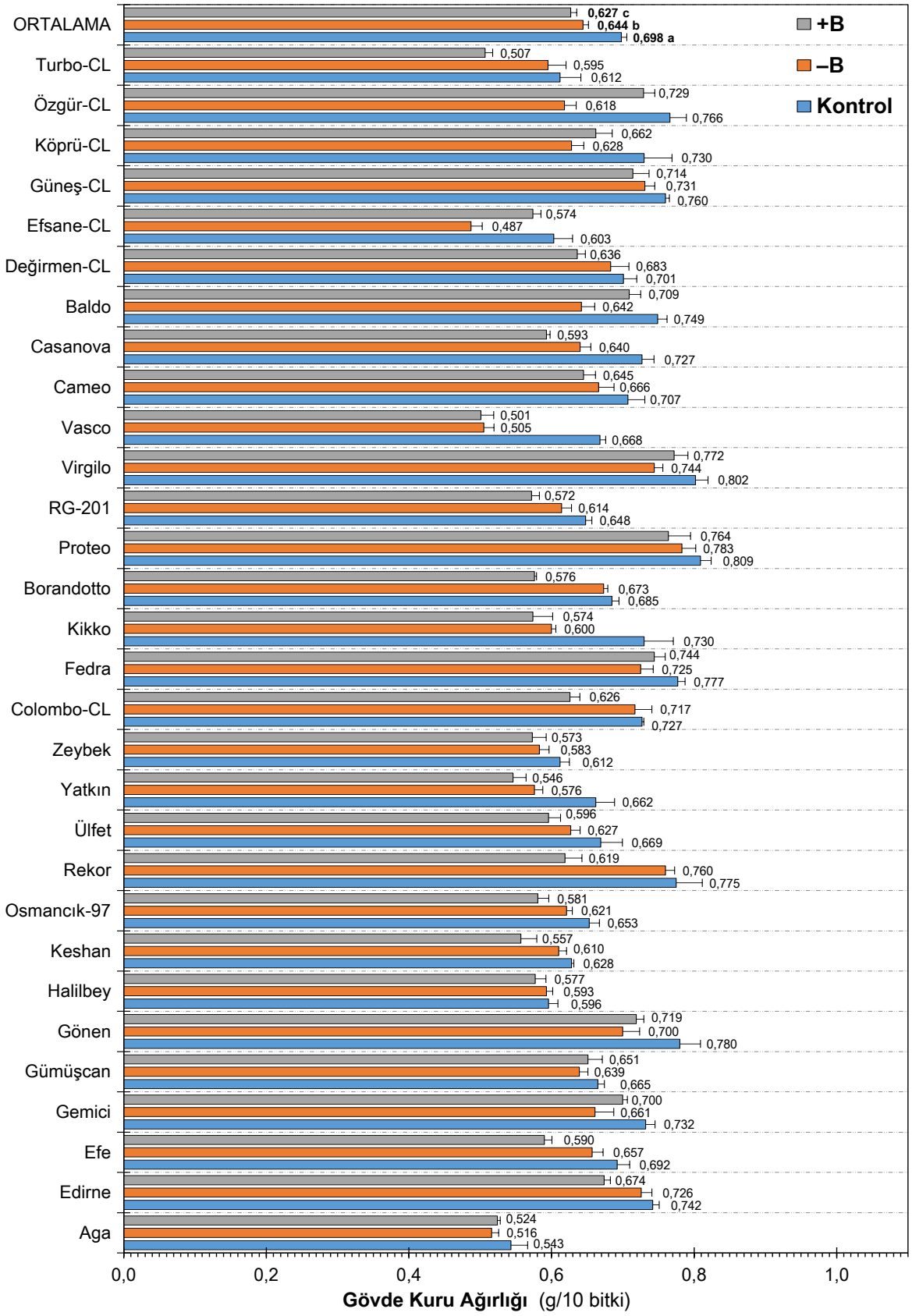
B-toksisitesi uygulaması ile kontrole göre gövde yaş ağırlığında en fazla azalma Kikko çeşidinde (%21.30) tespit edilirken, bu çeşidi sırası ile Borandotto (%20.75), Keshan (%20.58), Yatkın (%20.07), Rekor (%19.33), Vasco (%19.14), Osmancık-97 (%17.63), Colombo-CL (%16.32), Değirmen-CL (%15.93), Casanova (%15.77), Efe (%13.55), Ülfet (%11.43), RG-201 (%10.66), Turbo-CL (%10.13), Güneş-CL (%9.74), Gümüşcan (%8.97), Köprü-CL (%8.28) ve Gönen (%7.72) çeşitleri takip etmiş ve kontrole göre B-toksisitesi koşullarında gövde yaş ağırlığında saptanan bu azalmalar önemli bulunmuştur (Şekil 2). Ayrıca, kontrole göre B-toksisitesi uygulaması ile Efsane-CL (%7.54), Fedra (%7.33), Virgilo (%5.96), Zeybek (%4.96), Özgür-CL (%4.58), Proteo (%4.36), Cameo (%4.23), Edirne (%4.14), Aga (%3.88), Baldo (%3.56), Halilbey (%3.44) ve Gemici (%0.33) çeşitlerinin gövde yaş ağırlığında belirlenen azalmalar ise önemsiz bulunmuştur (Şekil 2).

Çeltik çeşitleri ortalaması olarak; kontrol uygulamasına göre (0.698 g 10 bitki^{-1}) B-noksanlığı uygulaması ile gövde kuru ağırlığında %7.74 oranında ve B-toksisitesi uygulaması ile %10.17 oranında belirlenen azalmalar önemli bulunmuştur (Şekil 3).

B-noksanlığında kontrole göre gövde kuru ağırlığında en fazla azalma belirlenen çeşit olarak Vasco (%24.40) belirlenmiş, bu çeşidi sırası ile Özgür-CL (%19.32), Efsane-CL (%19.24), Kikko (%17.81), Baldo (%14.29), Köprü-CL (%13.97), Yatkın (%12.99), Casanova (%11.97), Gönen (%10.26), Gemici (%9.70), Virgilo (%7.23), Fedra (%6.69) ve çeşitleri takip etmiş ve kontrole göre B-noksanlığı uygulamasında gövde kuru ağırlığında belirlenen bu azalmalar önemli bulunmuştur (Şekil 3). Bununla beraber, Ülfet (%6.28), Cameo (%5.80), RG-201 (%5.25), Efe (%5.06), Aga (%4.97), Osmancık-97 (%4.90), Zeybek (%4.74),



Şekil 2. B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin gövde yaş ağırlıklarına etkisi



Şekil 3. B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin gövde kuru ağırlıklarına etkisi

Gümüşcan (%3.91), Güneş-CL (%3.82), Proteo (%3.21), Keshan (%2.87), Turbo-CL (%2.78), Değirmen-CL (%2.57), Edirne (%2.16), Rekor (%1.94), Borandotto (%1.75), Colombo-CL (%1.38) ve Halilbey (%0.50) çeşitlerinin gövde kuru ağırlığında kontrole göre B-noksanlığı koşullarında tespit edilen bu azalmalar önemsiz bulunmuştur (Şekil 3).

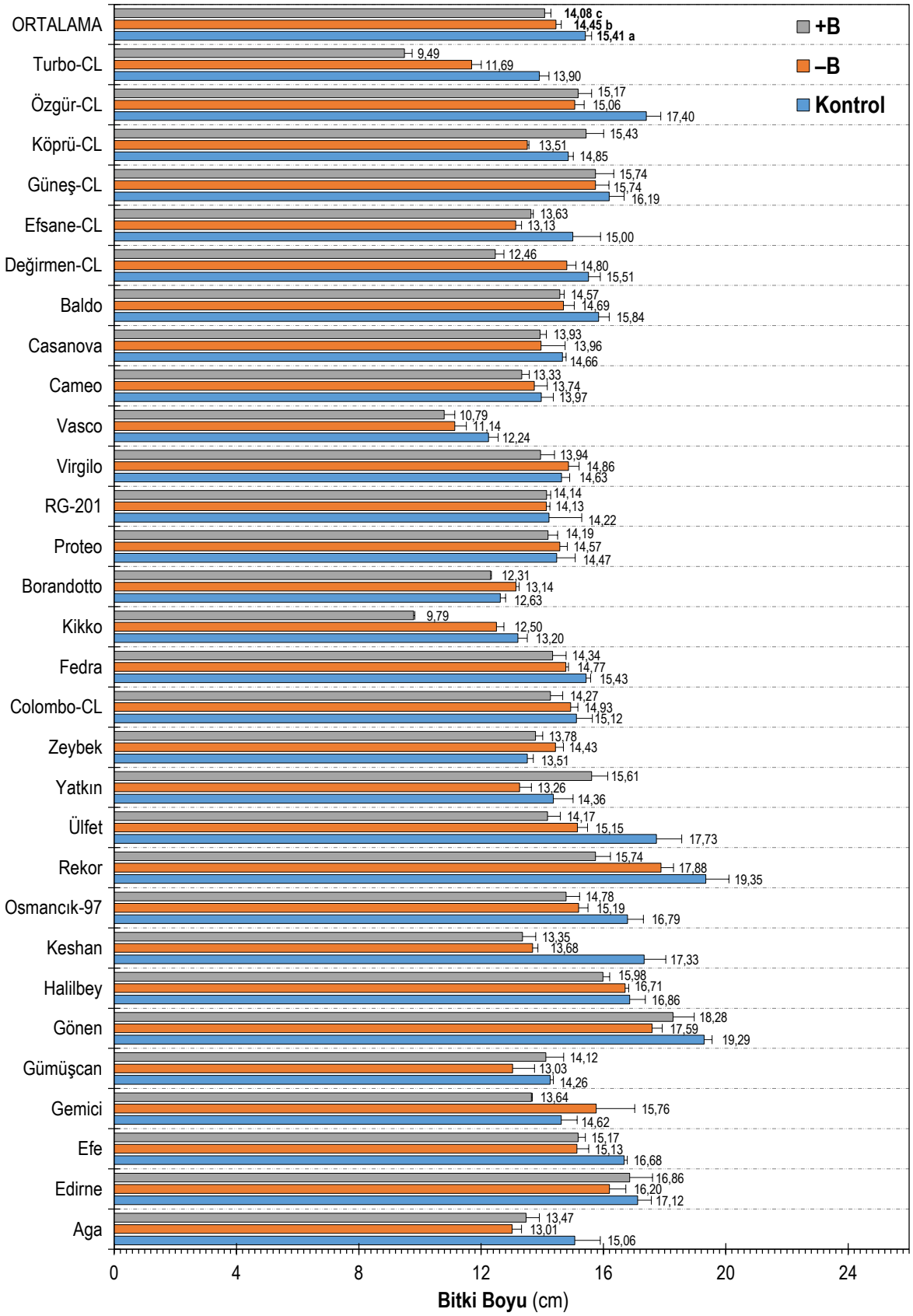
Kontrole göre B-toksisitesi koşullarında gövde kuru ağırlığında en fazla azalma gösteren çeşit olarak Vasco (%25.00) belirlenmiş ve bu çeşidi sırası ile Kikko (%21.37), Rekor (%18.43), Casanova (%18.43), Yatkın (%17.52), Turbo-CL (%17.16), Borandotto (%15.91), Efe (%14.74), Colombo-CL (%13.89), RG-201 (%11.73), Keshan (%11.31), Osmancık-97 (%11.03), Ülfet (%10.91), Köprü-CL (%9.32), Değirmen-CL (%9.27), Edirne (%9.16), Cameo (%8.77) ve Gönen (%7.82) çeşitleri izlemiş ve kontrole göre B-toksisitesi uygulaması ile gövde kuru ağırlığındaki bu azalmalar önemli bulunmuştur (Şekil 3). Kontrole göre B-toksisitesi koşullarında Zeybek (%6.37), Güneş-CL (%6.05), Proteo (%5.56), Baldo (%5.34), Özgür-CL (%4.83), Efsane-CL (%4.81), Gemici (%4.37), Fedra (%4.25), Virgilo (%3.74), Aga (%3.50), Halilbey (%3.19) ve Gümüşcan (%2.11) çeşitlerinin gövde kuru ağırlığında da azalmalar belirlenmiş ancak belirlenen bu azalmalar önemsiz bulunmuştur (Şekil 3).

4.1.2. Bitki Boyu

B-noksanlığı ve B-toksisitesinin çeltik çeşitlerinin bitki boyuna etkisine dair varyans analiz sonuçları Tablo 3'te verilmiş ve bitki boyuna ait ortalamalar Şekil 4'te sunulmuştur. Tablo 3 ve Şekil 4 birlikte değerlendirildiğinde; çeltik çeşitlerine uygulanan B-noksanlığı ve B-toksisitesinin bitki boyuna çeşitlerin etkisi ($p \leq 0.001$), B uygulamalarının etkisi ($p \leq 0.001$) ve çeşit x bor interaksiyonunun etkisinin ($p \leq 0.001$) istatistiki olarak önemli olduğu belirlenmiştir.

Çeltik çeşitleri birlikte incelendiğinde; kontrol uygulamasına (15.41 cm) göre B-noksanlığı uygulamasında (14.45 cm) ortalama bitki boyunda %6.23 seviyesinde ve B-toksisitesi uygulamasında (14.08 cm) ise %8.63 seviyesinde önemli azalmalar saptanmıştır (Şekil 4).

B-noksanlığı koşullarında kontrole göre bitki boyu en fazla azalan çeşit Keshan (%21.06) olurken, bu çeşidi sırası ile Turbo-CL (%15.90), Ülfet (%14.55), Aga (%13.61), Özgür-CL (%13.45), Efsane-CL (%12.47), Osmancık-97 (%9.53), Efe (%9.29), Köprü-CL (%9.02), Gönen (%8.81) ve Rekor (%7.60) çeşitleri izlemiş ve kontrole göre B-noksanlığı



Şekil 4. B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin bitki boylarına etkisi

koşullarında bitki boyunda saptanan bu azalmalar önemli bulunmuştur (Şekil 4). Bununla birlikte, Vasco (%8.99), Gümüşcan (%8.63), Yatkın (%7.66), Baldo (%7.26), Edirne (%5.37), Kikko (%5.30), Casanova (%4.77), Değirmen-CL (%4.58), Fedra (%4.28), Güneş-CL (%2.78), Cameo (%1.65), Colombo-CL (%1.26), Halilbey (%0.89) ve RG-201 (%0.63) çeşitlerinin bitki boylarında kontrole göre B-noksanlığı koşullarında belirlenen bu azalmalar ise önemsiz bulunmuştur (Şekil 4). Ayrıca, kontrole göre B-noksanlığı koşullarında Gemici (%7.8), Zeybek (%6.81), Borandotto (%4.04), Virgilo (%1.57) ve Proteo (%0.69) çeşitlerinin bitki boylarında artışlar tespit edilmiştir (Şekil 4).

B-toksisitesi uygulaması ile kontrole göre bitki boyu en fazla azalan çeşit olarak Turbo-CL (%31.73) belirlenmiş, bu çeşidi sırası ile Kikko (%25.83), Keshan (%22.97), Ülfet (%20.08), Değirmen-CL (%19.66), Rekor (%18.66), Özgür-CL (%12.82), Osmancık-97 (%11.97), Vasco (%11.85), Aga (%10.56), Efsane-CL (%9.13), Efe (%9.05) ve Baldo (%8.02) çeşitleri takip etmiş ve kontrole göre B-toksisitesi uygulaması ile bitki boylarındaki bu azalmalar önemli bulunmuştur (Şekil 4). Kontrole göre B-toksisitesi koşullarında Fedra (%7.06), Gemici (%6.70), Colombo-CL (%5.62), Gönen (%5.24), Halilbey (%5.22), Casanova (%4.98), Virgilo (%4.72), Cameo (%4.58), Güneş-CL (%2.78), Borandotto (%2.53), Proteo (%1.94), Edirne (%1.52), Gümüşcan (%0.98) ve RG-201 (%0.56) çeşitlerinin bitki boylarında da azalmalar saptanmış ancak saptanan bu azalmalar önemsiz bulunmuştur (Şekil 4).

4.1.3. Kök Yaş ve Kuru Ağırlığı

B-noksanlığı ve B-toksisitesinin çeltik çeşitlerinin kök yaş ve kuru ağırlıklarına etkisine dair varyans analiz sonuçları Tablo 4'te, kök yaş ağırlıklarına ait ortalamalar Şekil 5'te, kök kuru ağırlıklarına ait ortalamalar ise Şekil 6'da sunulmuştur. Tablo 4 ve Şekil 5 ve 6 birlikte değerlendirildiğinde; çeltik çeşitlerine uygulanan B-noksanlığı ve B-toksisitesinin kök yaş ve kuru ağırlıkları üzerine çeşitlerin, B uygulamalarının ve çeşit x bor interaksiyonunun etkilerinin %0.1 düzeyinde istatistiki olarak önemli olduğu saptanmıştır.

Çeltik çeşitleri birlikte değerlendirildiğinde; kontrol uygulamasına göre (5.46 g 10 bitki^{-1}) B-noksanlığı koşullarında ortalama kök yaş ağırlığında %11.17 düzeyinde ve B-toksisitesi koşullarında %24.91 düzeyinde önemli azalmalar tespit edilmiştir (Şekil 5).

Tablo 4

B-noksanlığı ve B-toksisitesinin çeltik çeşitlerinin kök yaş ve kuru ağırlıkları ile kök uzunluklarına etkisine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	**Kök Yaş Ağırlığı**		**Kök Kuru Ağırlığı**		**Kök Uzunluğu**	
		Kareler Toplamı	*F* Değeri	Kareler Toplamı	*F* Değeri	Kareler Toplamı	*F* Değeri
Genel	269	378.99	-	1.96	-	412.23	-
Çeşit (Ç)	29	239.85	160.86***	0.98	54.63***	127.10	14.81***
Bor (B)	2	83.71	814.04***	0.68	545.52***	122.90	238.74***
Ç×B İnteraksiyonu	58	46.17	15.48***	0.196	5.44***	129.45	7.96***
Hata	180	9.26	-	0.11	-	47.91	-

B-noksanlığı koşullarında kontrole göre kök yaş ağırlığında en fazla azalma belirlenen çeşit Özgür-CL (%42.91) olarak tespit edilmiş, bu çeşidi sırası ile Turbo-CL (%36.74), Efe (%19.05), Aga (%19.03), Casanova (%17.02), Osmancık-97 (%15.78), Fedra (%15.74), Colombo-CL (%14.33), Rekor (%14.10), Vasco (%14.06), Proteo (%14.02), Virgilo (%13.73) ve Cameo (%12.61), Ülfet (%10.61), Kikko (%10.39), Köprü-CL (%8.93), Gümüşcan (%8.46), Keshan (%8.04), Halilbey (%7.98) ve Gemici (%6.42) çeşitleri takip etmiş ve kontrole göre B-noksanlığı koşullarında kök yaş ağırlığında belirlenen bu azalmalar önemli bulunmuştur (Şekil 5). Bununla beraber, RG-201 (%5.81), Borandotto (%5.15), Edirne (%4.60), Baldo (%3.61), Değirmen-CL (%3.56), Yatkın (%3.24), Efsane-CL (%2.49), Zeybek (%2.21) ve Gönen (%1.07) çeşitlerinin kök yaş ağırlığında kontrole göre B-noksanlığı koşullarındaki belirlenen azalmalar önemsiz bulunmuştur (Şekil 5). Bununla birlikte, kontrole göre B-noksanlığı koşullarında Güneş-CL (%21.60) çeşidinde ise inemli bir artış tespit edilmiştir (Şekil 5).

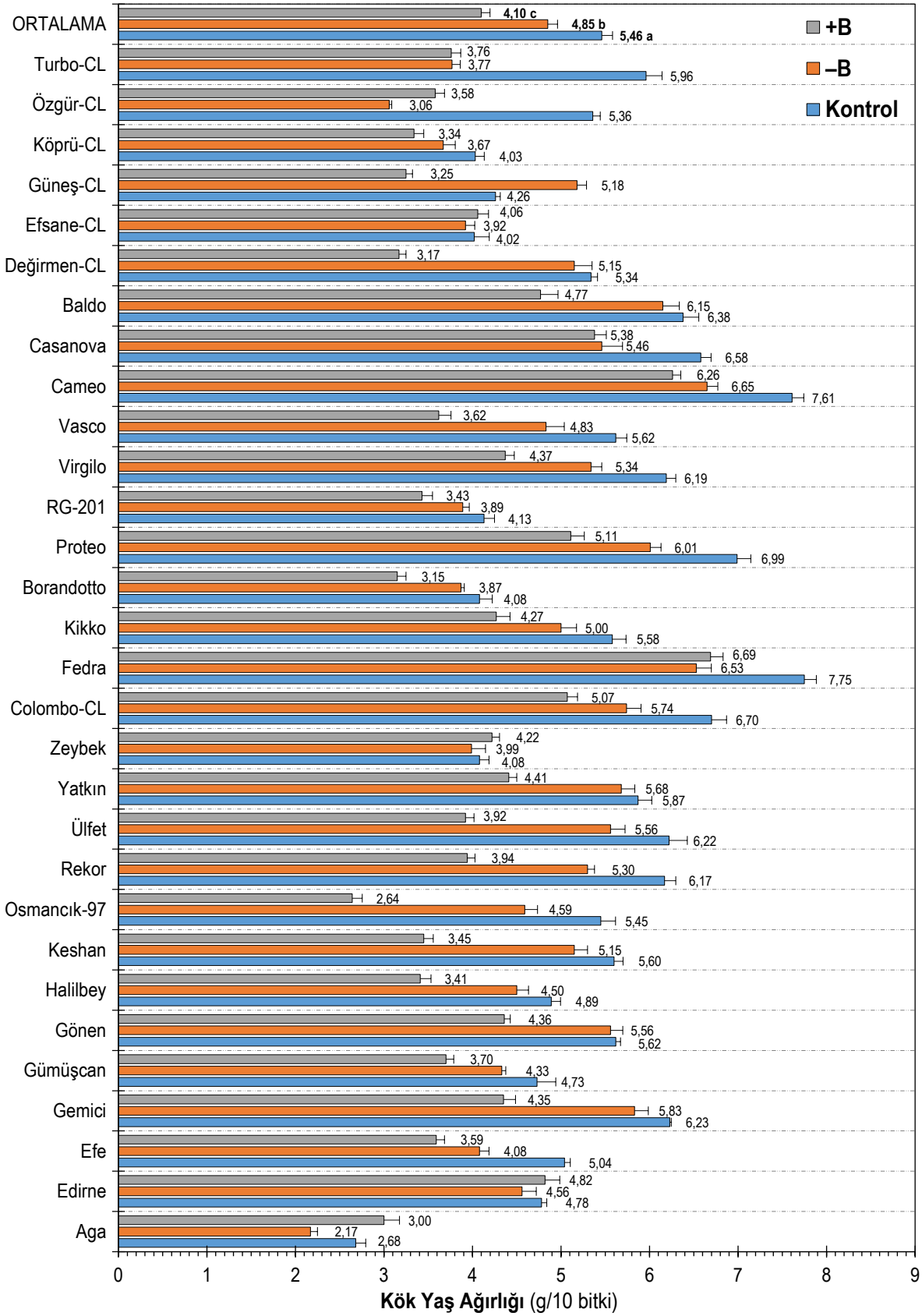
B-toksisitesi uygulaması ile kontrole göre kök yaş ağırlığında en fazla azalma görülen çeşit Osmancık-97 (%51.56) olarak belirlenmiş ve bu çeşidi sırası ile Değirmen-CL (%40.64), Keshan (%38.39), Ülfet (%36.98), Turbo-CL (%36.91), Rekor (%36.14), Vasco (%35.59), Özgür-CL (%33.21), Halilbey (%30.27), Gemici (%30.18), Virgilo (%29.40), Efe (%28.77), Proteo (%26.90), Baldo (%25.24), Yatkın (%24.87), Colombo-CL (%24.33), Güneş-CL (%23.71), Kikko (%23.48), Borandotto (%22.79), Gönen (%22.42), Gümüşcan (%21.78), Köprü-CL (%17.12), Fedra (%13.68), RG-201 (%16.95), Casanova (%18.24) ve Cameo (%17.74) çeşitleri takip etmiş ve kontrole göre B-toksisitesi uygulaması ile kök yaş ağırlığında belirlenen bu azalmaların önemli olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5). Ayrıca, kontrole göre B-noksanlığı koşullarında Aga (%11.94), Zeybek (%3.43), Efsane-CL (%1.00) ve

Edirne (%0.84) çeşitlerinin kök yaş ağırlıklarında önemli olmayan artışlar belirlenmiştir (Şekil 5).

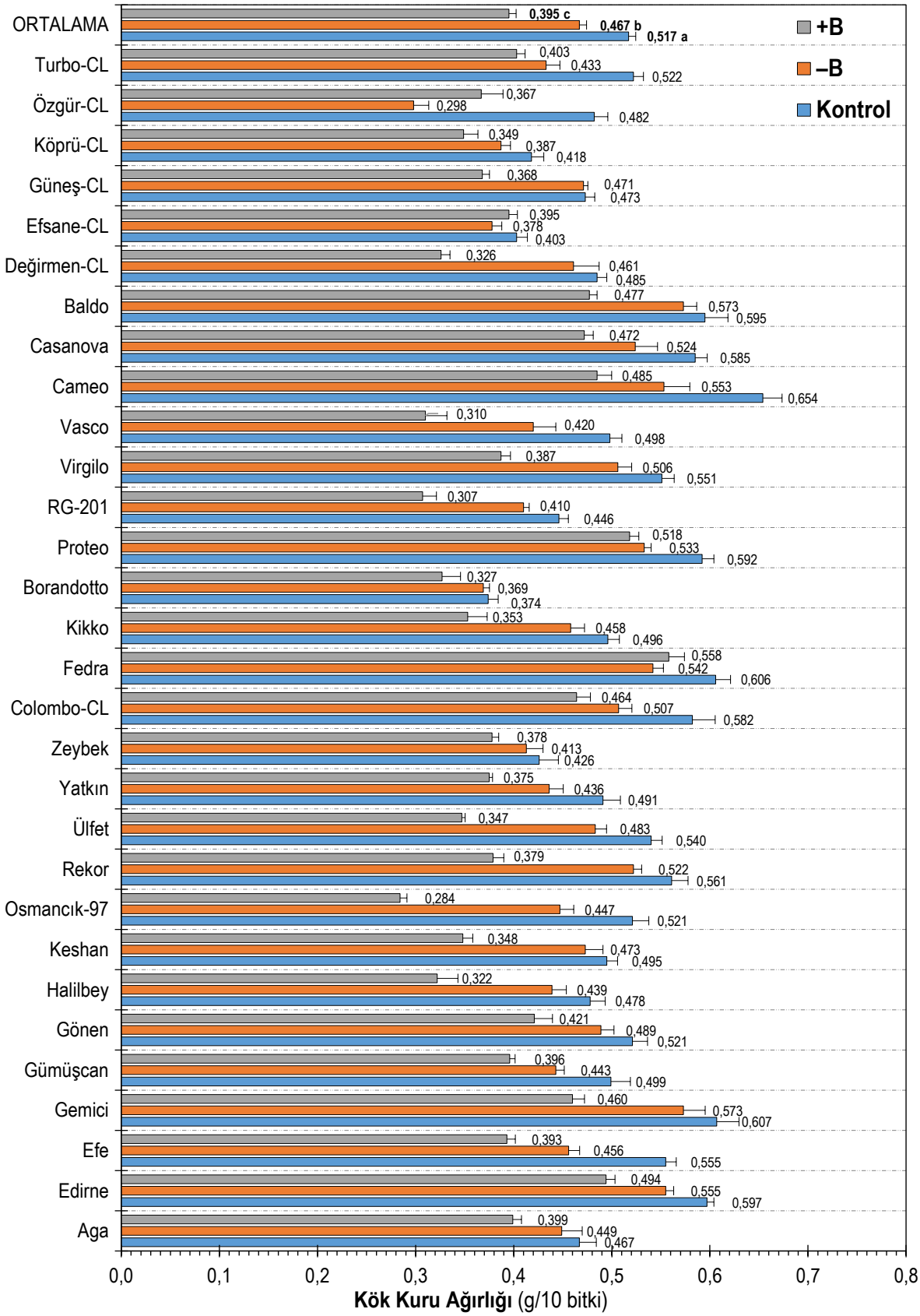
Çeltik çeşitleri birlikte değerlendirildiğinde; kontrol uygulamasına göre (0.517 g 10 bitki^{-1}) B-noksanlığı uygulamasında ortalama kök kuru ağırlığında %9.67 oranında ve B-toksisitesi uygulamasında %23.60 oranında önemli azalmalar tespit edilmiştir (Şekil 6).

B-noksanlığı ile kontrole göre kök kuru ağırlığında en fazla azalma tespit edilen çeşit Özgür-CL (%38.17) olurken, bu çeşidi sırası ile Efe (%37.75), Turbo-CL (%17.05), Vasco (%15.66), Cameo (%15.44), Osmancık-97 (%14.20), Colombo-CL (%12.89), Gümüşcan (%11.22), Yatkın (%11.20), Fedra (%10.56), Ülfet (%10.56), Casanova (%10.43), Proteo (%9.97), Virgilo (%8.17) ve Edirne (%7.04) çeşitleri takip etmiş ve kontrole göre B-noksanlığı uygulaması ile kök kuru ağırlığında belirlenen bu azalmalar önemli bulunmuştur (Şekil 6). Bununla beraber, Halilbey (%8.16), RG-201 (%8.07), Kikko (%7.66), Köprü-CL (%7.42), Rekor (%6.95), Efsane-CL (%6.20), Gönen (%6.14), Gemici (%5.60), Değirmen-CL (%4.95), Keshan (%4.44), Aga (%3.85), Baldo (%3.70), Zeybek (%3.05), Borandotto (%1.34) ve Güneş-CL (%0.42) çeşitlerinin kök kuru ağırlığında kontrole göre B-noksanlığı uygulaması ile belirlenen azalmaların önemli olmadığı belirlenmiştir (Şekil 6).

B-toksisitesi koşullarında kontrole göre kök kuru ağırlığında en fazla azalma görülen çeşit Osmancık-97 (%45.49) olarak belirlenmiş ve bu çeşidi sırası ile Vasco (%37.75), Ülfet (%35.74) Değirmen-CL (%32.78), Halilbey (%32.64), Rekor (%32.44), RG-201 (%31.17), Virgilo (%29.76), Keshan (%29.70), Efe (%29.19), Kikko (%28.83), Cameo (%25.84), Gemici (%24.22), Özgür-CL (%23.86), Yatkın (%23.63), Turbo-CL (%22.80), Güneş-CL (%22.20), Gümüşcan (%20.64), Colombo-CL (%20.27), Baldo (%19.83), Casanova (%19.32), Gönen (%19.19), Edirne (%17.25), Köprü-CL (%16.51), Aga (%14.56), Borandotto (%12.57), Proteo (%12.50), Zeybek (%11.27) ve Fedra (%7.92) çeşitleri takip etmiş ve kontrole göre B-toksisitesi uygulaması ile kök kuru ağırlığında belirlenen bu azalmalar önemli bulunmuştur (Şekil 6). Bununla birlikte, Efsane-CL (%1.99) çeşidinin kök kuru ağırlığında kontrole göre B-noksanlığı koşulları ile belirlenen azalma önemli bulunmamıştır (Şekil 6).



Şekil 5. B-noksanlığı (-B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin kök yaş ağırlıklarına etkisi



Şekil 6. B-noksanlığı (–B) ve toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin kök kuru ağırlıklarına etkisi

4.1.4. Gövde/Kök Oranı

Çeltik çeşitleri birlikte değerlendirildiğinde; kontrol uygulamasına göre (1.367 g 10 bitki^{-1}) B-noksanlığı koşulları ile çeşitlerin ortalama gövde/kök oranında %2.49 düzeyinde ve B-toksisitesi uygulaması ile %18.29 düzeyinde bir artış tespit edilmiştir (Şekil 7).

Kontrole göre B-noksanlığı koşullarında gövde/kök oranı en fazla azalan çeşit olarak Efsane-CL (%14.10) tespit edilmiş ve bu çeşidi sırası ile Baldo (%10.95), Kikko (%10.84), Vasco (%9.61), Köprü-CL (%6.94), Gönen (%4.45), Gemici (%3.93), Güneş-CL (%3.45), Yatkın (%1.80), Casanova (%1.54), Zeybek (%1.48), Aga (%0.68) ve Borandotto (%0.48) çeşitleri takip etmiştir (Şekil 7). Buna karşın, kontrole göre B-noksanlığı koşulları ile gövde/kök oranı en fazla artan çeşit olarak Özgür-CL (%30.78) belirlenmiş ve bu çeşidi sırası ile Turbo-CL (%17.56), Efe (%15.53), Colombo-CL (%13.33), Cameo (%11.89), Osmancık-97 (%10.97), Halilbey (%8.55), Gümüşcan (%8.13), Proteo (%7.65), Rekor (%5.44), Edirne (%5.25), Ülfet (%4.69), Fedra (%4.03), RG-201 (%3.16), Değirmen-CL (%3.01), Keshan (%1.89) ve Virgilo (%1.20) çeşitleri izlemiştir (Şekil 7).

Kontrole göre B-toksisitesi koşulları ile Osmancık-97 (%63.24), Halilbey (%45.04), Değirmen-CL (%35.05), RG-201 (%28.63), Keshan (%26.41), Gemici (%26.16), Özgür-CL (%24.99), Cameo (%23.31), Gümüşcan (%23.26), Vasco (%21.72), Güneş-CL (%20.73), Efe (%20.30), Rekor (%17.88), Baldo (%17.86), Gönen (%14.48), Aga (%13.21), Kikko (%10.64), Edirne (%9.92), Köprü-CL (%9.31), Proteo (%8.15), Colombo-CL (%7.83), Yatkın (%7.65), Turbo-CL (%7.08), Zeybek (%5.34), Fedra (%3.89) ve Casanova çeşitlerinin gövde/kök oranlarında artışlar belirlenirken, buna karşın Borandotto (%3.33) ve Efsane-CL (%3.23) çeşitlerinin gövde/kök oranlarında ise azalmalar tespit edilmiştir (Şekil 7).

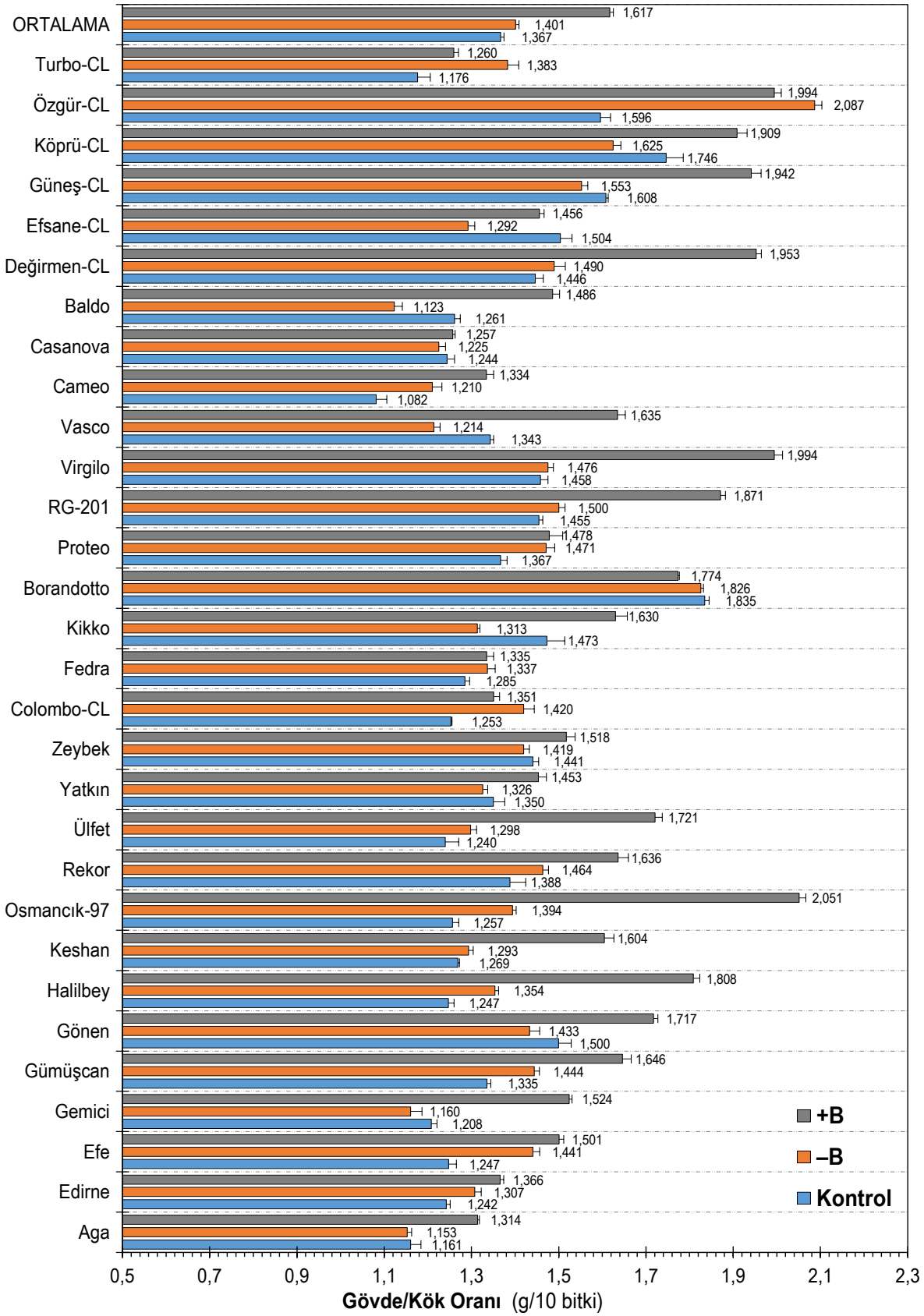
4.1.5. Kök Uzunluğu

B-noksanlığı ve B-toksisitesinin çeltik çeşitlerinin kök uzunluğuna etkisine dair varyans analiz sonuçları Tablo 4'te, kök uzunluğuna ait ortalamalar ise Şekil 8'de sunulmuştur. Tablo 4 ve Şekil 8 birlikte değerlendirildiğinde; çeltik çeşitlerine uygulanan B-noksanlığı ve B-toksisitesinin kök yaş ve kuru ağırlıkları ile kök uzunlukları üzerine çeşitlerin, B uygulamalarının ve çeşit x bor interaksiyonunun etkilerinin %0.1 düzeyinde istatistiki olarak önemli olduğu saptanmıştır.

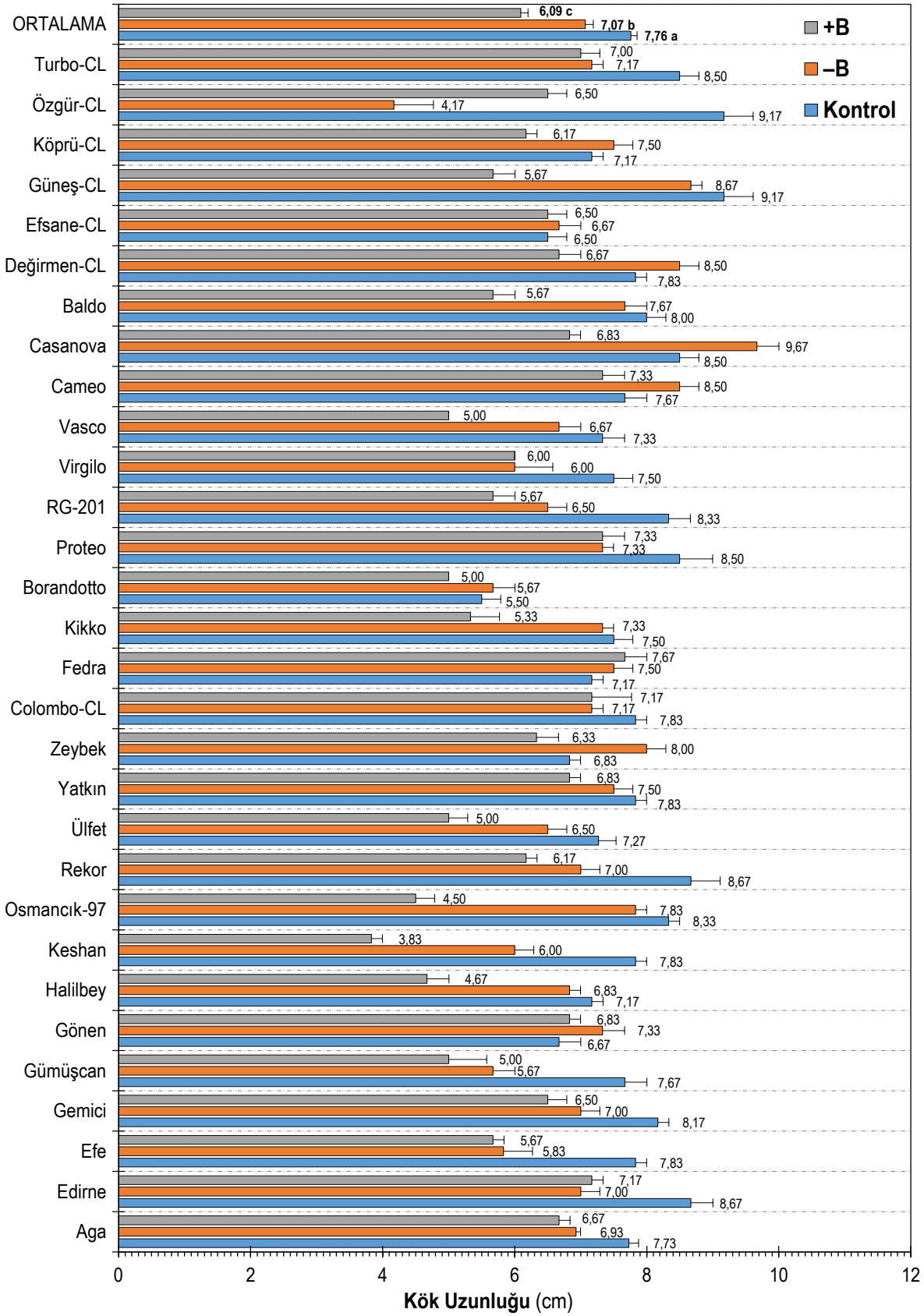
Çeltik çeşitleri birlikte değerlendirildiğinde; kontrol uygulamasına göre (7.76 cm) B-noksanlığı uygulamasında ortalama kök uzunluğunda %8.89 düzeyinde ve B-toksisitesi uygulamasında %21.52 oranında önemli azalmalar belirlenmiştir (Şekil 8).

B-noksanlığı ile kontrole göre kök uzunluğunda en fazla azalma gözlenen çeşit Özgür-CL (%54.53) olurken, bu çeşidi sırası ile Gümüşcan (%26.08), Efe (%25.54), Keshan (%23.37), RG-201 (%21.97), Virgilo (%20.00), Edirne (%19.26), Rekor (%19.26), Turbo-CL (%15.65), Gemici (%14.32) ve Proteo (%13.76), çeşitleri takip etmiş ve kontrole göre B-noksanlığı uygulaması ile kök uzunluğunda belirlenen bu azalmalar önemli bulunmuştur (Şekil 8). Bununla beraber, Ülfet (%10.59), Aga (%10.35), Vasco (%9.00), Colombo-CL (%8.43), Osmancık-97 (%6.00), Güneş-CL (%5.45), Halilbey (%4.74), Yatkın (%4.21), Baldo (%4.13) ve Kikko (%2.27) çeşitlerinin kök kuru ağırlığında kontrole göre B-noksanlığı uygulaması ile belirlenen azalmalar ise önemli bulunmamıştır (Şekil 8). Ayrıca, kontrole göre B-noksanlığı koşullarında Efsane-CL (%2.62), Borandotto (%3.09), Fedra (%4.60), Köprü-CL (%4.60), Değirmen-CL (%8.56) ve Gönen (%9.90) çeşitlerinde önemli olmayan ve Cameo (%10.82), Casanova (%13.76) ve Zeybek (%17.13) çeşitlerinde ise önemli artışlar saptanmıştır (Şekil 8).

B-toksisitesi uygulamasında kontrole göre kök uzunluğunda en fazla azalma görülen çeşit Keshan (%51.09) olarak belirlenmiş ve bu çeşidi sırası ile Osmancık-97 (%45.98), Güneş-CL (%38.17), Halilbey (%34.87), Gümüşcan (%34.81), RG-201 (%31.93), Vasco (%31.79), Ülfet (%31.22), Baldo (%29.13), Özgür-CL (%29.12), Kikko (%28.93), Rekor (%28.84), Efe (%27.59), Gemici (%20.44), Virgilo (%20.00), Casanova (%19.65), Turbo-CL (%17.65), Edirne (%17.30), Değirmen-CL (%14.81), Köprü-CL (%13.95), Proteo (%13.76), Aga (%13.71) ve Yatkın (%12.77) çeşitleri takip etmiş ve kontrole göre B-toksisitesi uygulaması ile kök uzunluğunda belirlenen bu azalmalar önemli bulunmuştur (Şekil 8). Bununla birlikte, Borandotto (%9.09), Colombo-CL (%8.43), Zeybek (%7.32) ve Cameo (%4.43) çeşitlerinin kök uzunluğunda kontrole göre B-toksisitesi uygulaması ile belirlenen azalmalar önemli bulunmamıştır (Şekil 8). Ayrıca, kontrole göre B-toksik koşullarda Efsane-CL çeşidinin kök uzunluğunda değişim gözlenmezken, Gönen (%2.40) ve Fedra (%6.97) çeşitlerinde ise saptanan artışlar önemli bulunmamıştır (Şekil 8).



Şekil 7. B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin gövde/kök oranlarına etkisi



Şekil 8. B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin kök uzunluklarına etkisi

B-noksanlığı koşullarında bitkilerde, kök sistemi gelişememekte, floem ve ksilem yapısal olarak bozulmakta, su taşınması azalmakta, transprasyon olumsuz şekilde etkilenmekte, yapraklarda stoma miktarı azalmakta, bekçi hücrelerinin yapıları bozulmakta, fotesentezi olumsuz etkilenmekte ve bunların sonucunda bitki gelişimi olumsuz şekilde etkilenmektedir (Kacar, 2019). Mısırın koçanda tane sayısı (Lordkaew vd., 2011), domates, biber ve hıyarın meyve verimi (Dursun vd., 2009), ketencik (*Camelina sativa* L.) bitkisinin tohum verimi ve biyolojik verimi (Khan vd., 2016), tütün bitkisinin verimi (Ali vd., 2015b), hibrit domatesin bitki boyu, yaprak sayısı, dal sayısı ve meyve sayısı (Ali vd., 2015a), pamuk ve ayçiçeğinin tohum verimi, koza ağırlığı, elyaf uzunluğu ve mukavemeti (Görmüş ve Barutçular, 2016) ve susamın büyüme ve tane veriminin (Hamideldin ve Hussein, 2014) B-noksanlığı koşulları ile azaldığı çok sayıda araştırıcı tarafından rapor edilmiştir.

Çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar, aynı türe ait farklı çeşit/genotiplerin B istekleri ve B-noksanlığı ile B-toksisitesine karşı verdikleri tepkilerin farklılık gösterebileceğini ortaya koymuştur. B-noksan koşullarının dokuz sorgum çeşidinin bitki boyu, gövde/kök yaş ve kuru ağırlıklarını azalttığı, Agacan çeşidin B-noksan koşullara dayanıklı, Tracy ve Roma çeşitlerinin ise hassas olduğu bildirilmiştir (Karahan ve Çıkılı, 2021). Ceyhan vd. (2007) tarafından beş nohut genotipinin B uygulamalarına tepkilerinin farklı olduğu ve Gökçe çeşidinin B-noksanlığına dayanıklı ve diğer çeşitlerin ise yüksek hassasiyetli olduğu rapor edilmiştir. Yapılan başka bir çalışmada, altı makarnalık ve beş ekmeklik buğday çeşidinin, türler ve çeşitler arasında farklılık göstermekle birlikte dane verimini azalttığı, Kızıltan-91 ve Yılmaz-98 çeşitlerinin B-noksanlığına hassas olarak belirlenirken Ç-1252 ve Çakmak-79 çeşitlerin ise B-noksan koşullara dayanıklı olduğu tespit edilmiştir (Soylu vd., 2005). Dört farklı haşhaş çeşidine uygulanan B'nin çeşitlerde kapsül/tohum oranı, tohum verimi, hasat döneminde bitki sayısı ve kapsül verimine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu rapor edilmiştir (Günlü ve Öztürk, 2008). B-noksan koşullarda yetişen üç çeltik çeşidinde tane ağırlığının azaldığı belirlenmiştir (Lordkaew vd., 2013).

Toksik koşullarda gereğinden fazla B, bitkilerin hücre duvarlarında işlevlerin bozulmasına sebep olmak sureti ile B alımı ve taşınmasına olumsuz etki yaparak bitkilerin büyüme ve gelişmesini engellemektedir (Kacar, 2019). B-toksik koşullarda; limon fidelerinin yaş ve kuru ağırlıklarında (Rajaie vd., 2009), üç yapraklı portakalın (*Pincers trifoliata* L. Raf) fide kuru ağırlığı ve boyunda (Wang vd., 2014), çeltiğin tohum veriminde (Koohkan ve Maftoun,

2015), makarnalık buğdayın kuru ağırlığında (Torun vd., 2006) ve mısır ile sorgumun kök uzunluğu ve kuru madde miktarında (Ismail, 2003) azalmalar rapor edilmiştir.

Yapılan çok sayıda çalışmada, farklı bitkilerin çeşit/genotiplerinde toprak üstü ve toprak altı aksam parametreleri değerlendirilerek B-toksik koşullara çeşit/genotiplerin hassasiyetlerinin farklı olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmalarda farklı araştırmacılar, yedi buğday çeşidinin (Sharma vd., 2014), iki nohut çeşidinin (Ardıc vd., 2009), ekmeklik ve makarnalık buğday türlerine ait 20 genotipin (Karaman vd., 2012), dört soya fasulyesi çeşidinin (Hamurcu vd., 2019), dokuz sorgum çeşidinin (Karahan ve Çıkılı, 2021), iki arpa çeşidinin (Mahboobi vd., 2000) ve iki makarnalık buğday çeşidinin (Taban ve Erdal, 2000) B-toksik koşullarda bitki kuru ağırlıklarının azaldığını tespit etmişlerdir. Bunlara ek olarak araştırmacılar, sekiz pamuk çeşidinin (Harite, 2008) ve dokuz sorgum çeşidinin (Karahan ve Çıkılı, 2021) yaş ağırlıkları ile bitki boylarının ve iki nohut çeşidi (Ardıc vd., 2009) ile yedi buğday çeşidinin (Sharma vd., 2014) ise kök uzunluklarının azaldığını rapor etmişlerdir. B-toksik koşulların, iki buğday çeşidinin (Sakha 93 ve Gemmeza 9) kardeş sayılarında (Metwally vd., 2017) ve iki hibrit mısır çeşidinin (B-tolerant RX 770 ve B-hassas TTM 81.19) kök metaksilem, gövde trake ve korteks çaplarında (Hamurcu vd., 2016) azalmalara neden olduğuda çeşitli araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir.

4.1.6. Kök Hacmi ve Kök Membran Geçirgenliği

B-noksanlığı ve B-toksisitesinin çeltik çeşitlerinin kök membran geçirgenlikleri ve kök hacimlerine etkisine dair varyans analiz sonuçları Tablo 5'te verilmiştir. Kök membran geçirgenliklerine ait ortalamalar Şekil 9'da ve kök hacimlerine ait ortalamalar ise Şekil 10'da sunulmuştur. Tablo 5 ile Şekil 9 ve 10 birlikte değerlendirildiğinde; çeltik çeşitlerine uygulanan B-noksanlığı ve B-toksisitesinin kök membran geçirgenlikleri ve kök hacimlerine çeşitlerin ($p \leq 0.001$), B uygulamalarının ($p \leq 0.001$) ve çeşit x bor interaksiyonunun ($p \leq 0.001$) etkilerinin istatistiki olarak önemli olduğu saptanmıştır.

Çeltik çeşitleri birlikte değerlendirildiğinde; kontrol uygulamasına göre (6.95 cm^3) B-noksanlığı uygulamasında ortalama kök hacminde %10.65 oranında ve B-toksisitesi uygulamasında ise %23.02 oranında önemli azalmalar bulunmuştur (Şekil 9).

Tablo 5

B-noksanlığı ve B-toksisitesinin çeltik çeşitlerinin kök membran geçirgenliği ve kök hacmine etkisine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	**Kök Membran Geçirgenliği**		**Kök Hacmi**	
		Kareler Toplamı	*F* Değeri	Kareler Toplamı	*F* Değeri
Genel	269	6786.00	-	724.67	-
Çeşit (Ç)	29	5061.58	216.71***	442.67	75.19***
Bor (B)	2	49.32	30.62***	115.06	283.37***
Ç×B İnteraksiyonu	58	1530.14	32.76***	130.40	11.07***
Hata	180	144.97	-	36.54	-

B-noksanlığı ile kontrole göre kök hacminde en fazla azalma gözlenen çeşit Özgür-CL (%40.09) olurken, bu çeşidi sırası ile Osmancık-97 (%33.86), Keshan (%30.03), Rekor (%29.51), Halilbey (%28.96), Turbo-CL (%24.56), RG-201 (%22.13), Ülfet (%20.79), Virgilo (%19.70), Borandotto (%19.17), Aga (%16.04), Colombo-CL (%15.40), Yatkın (%13.43), Fedra (%13.27), Baldo (%11.71) ve Proteo (%10.51) çeşitleri izlemiş ve kontrole göre B-noksanlığı uygulaması ile kök hacminde belirlenen bu azalmalar önemli bulunmuştur (Şekil 9). Bununla beraber, Efe (%10.31), Köprü-CL (%6.19), Vasco (%5.45), Güneş-CL (%3.73), Gemici (%3.34), Zeybek (%2.90) ve Casanova (%1.68) çeşitlerinin kök hacminde kontrole göre B-noksanlığı uygulaması ile belirlenen azalmalar ise önemsiz bulunmuştur (Şekil 9). Ayrıca, kontrole göre B-noksanlığı koşulları ile Cameo (%29.75) ve Efsane-CL (%22.91) çeşitlerinin kök hacminde önemli artışlar saptanırken, Gümüşcan (%14.89), Gönen (%11.28), Edirne (%10.33), Değirmen-CL (%6.67) ve Kikko (%3.04) çeşitlerinde saptanan artışlar ise önemli bulunmamıştır (Şekil 9).

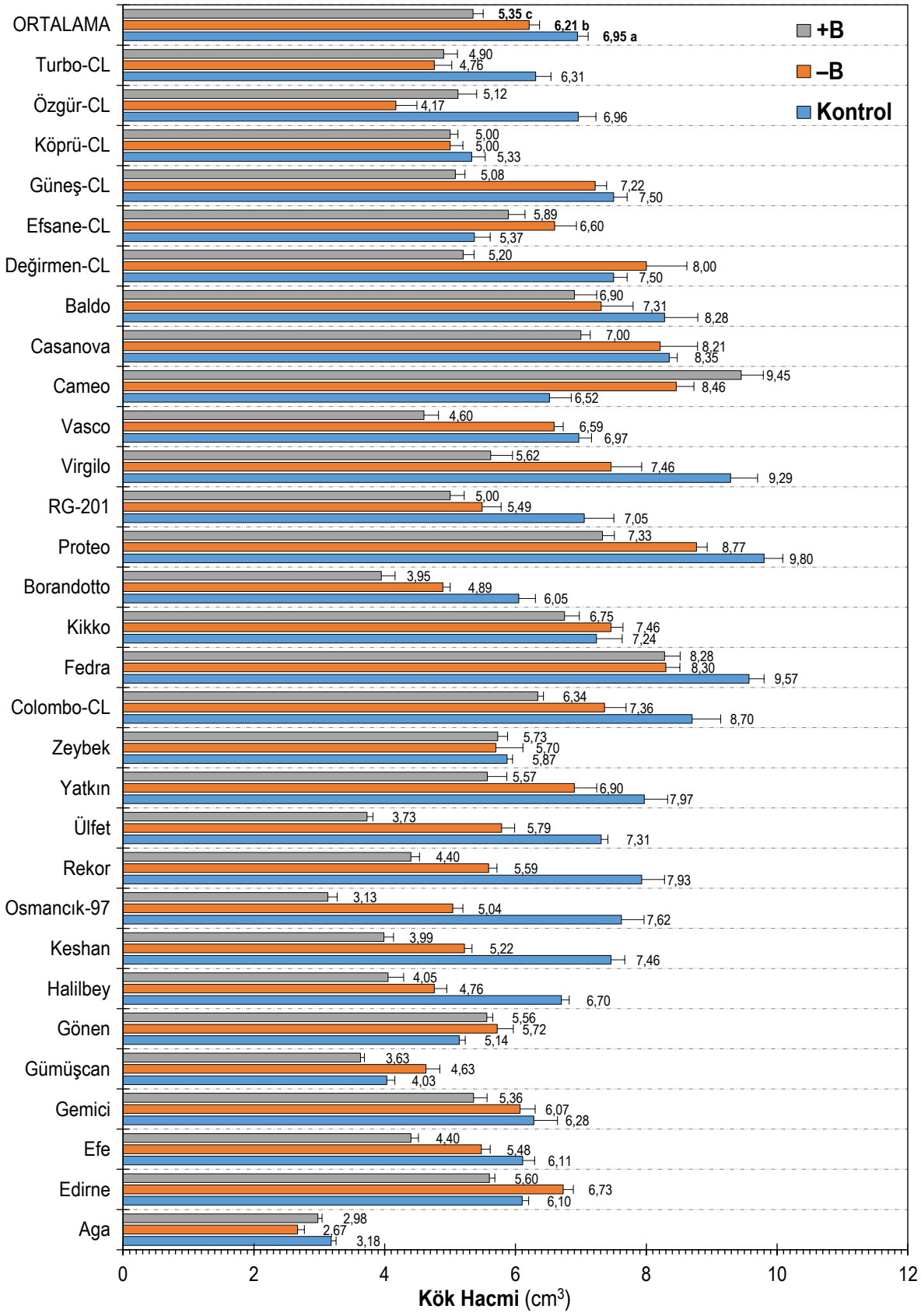
B-toksisitesi uygulaması ile kontrole göre kök hacminde en fazla azalma görülen çeşit Osmancık-97 (%58.92) olarak belirlenmiş ve bu çeşidi sırası ile Ülfet (%48.97), Keshan (%46.51), Rekor (%44.51), Halilbey (%39.55), Virgilo (%39.50), Borandotto (%34.71), Vasco (%34.00), Güneş-CL (%32.27), Değirmen-CL (%30.67), Yatkın (%30.11), RG-201 (%29.08), Efe (%27.99), Colombo-CL (%27.13), Özgür-CL (%26.44), Proteo (%25.20), Turbo-CL (%22.35), Baldo (%16.67), Casanova (%16.17), Gemici (%14.65) ve Fedra (%13.48) çeşitleri takip etmiş ve kontrole göre B-toksisitesi uygulaması ile kök hacminde belirlenen bu azalmaların önemli olduğu tespit edilmiştir (Şekil 9). Bununla birlikte, Gümüşcan (%9.93), Edirne (%8.20), Kikko (%6.77), Aga (%6.29), Köprü-CL (%6.19) ve

Zeybek (%2.39) çeşitlerinin kök hacminde kontrole göre B-toksisitesi uygulaması ile belirlenen azalmalar önemli bulunmamıştır (Şekil 9). Ayrıca, kontrole göre B-noksanlığı koşullarında Cameo (%44.94) çeşitinin kök hacminde önemli bir artış saptanmış, buna karşın Efsane-CL (%9.68) ve Gönen (%8.17) çeşitlerinin kök hacimde belirlenen artışlar ise önemli bulunmamıştır (Şekil 9).

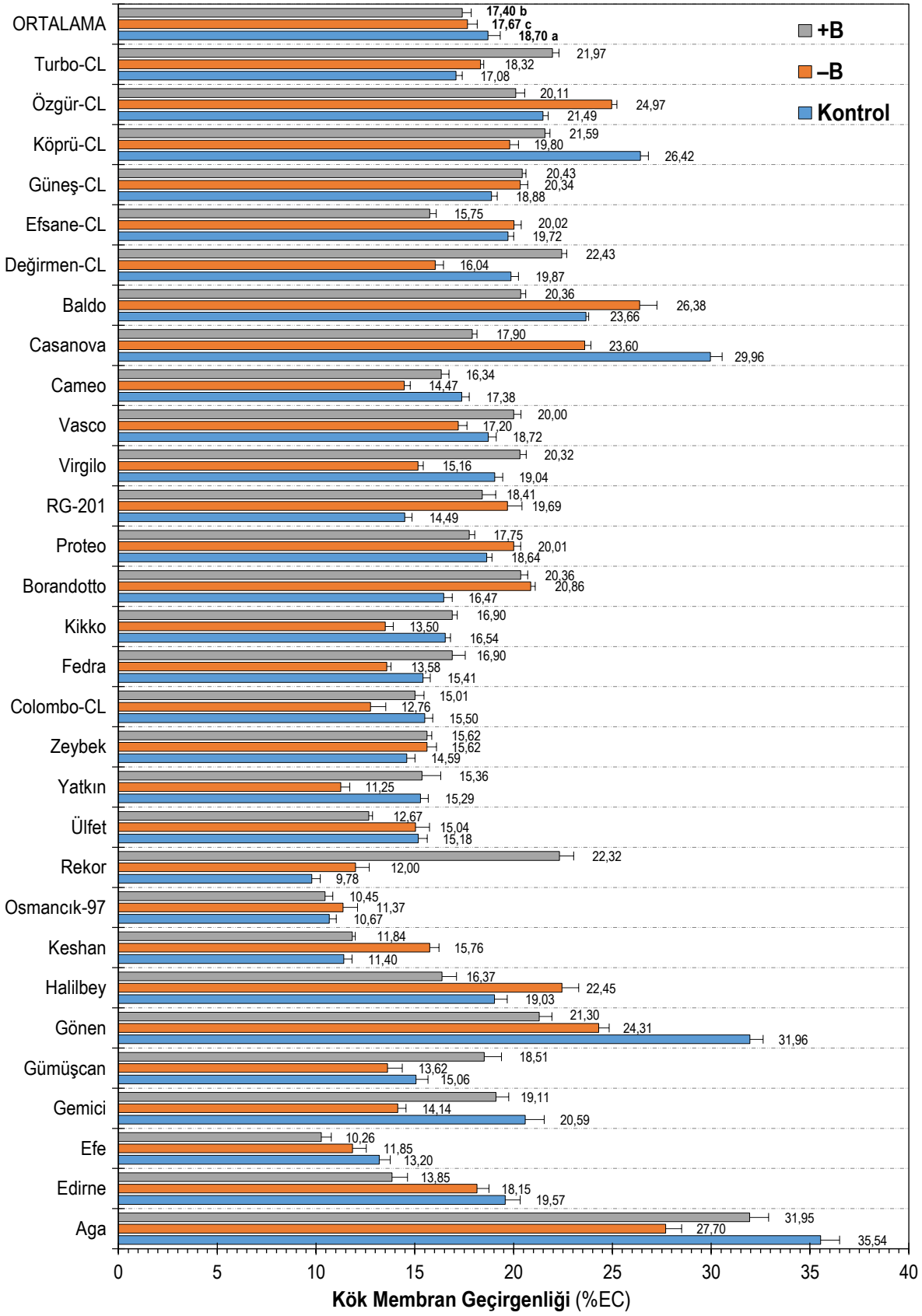
Çeltik çeşitleri birlikte değerlendirildiğinde; kontrol uygulamasına göre (18.70 %EC) B-noksanlığı koşullarında ortalama kök membran geçirgenliğinde %5.51 seviyesinde ve B-toksisitesi koşullarında ise %6.95 seviyesinde önemli azalmalar saptanmıştır (Şekil 10).

Kontrole göre B-noksanlığı koşullarında kök membran geçirgenliğinde en fazla azalma belirlenen çeşit Gemici (%31.33) olarak tespit edilmiş, bu çeşidi sırası ile Yatkın (26.42), Köprü-CL (%25.06), Gönen (%23.94), Aga (%22.06), Casanova (%21.23), Virgilo (%20.38), Değirmen-CL (%19.28), Kikko (%18.38), Colombo-CL (%17.68), Cameo (%16.74), Fedra (%11.88) ve Vasco (%8.12) çeşitleri takip etmiş ve kontrole göre B-noksanlığı koşullarında kök membran geçirgenliğinde belirlenen bu azalmalar önemli bulunmuştur (Şekil 10). Bununla beraber, Efe (%10.23), Gümüşcan (%9.56), Edirne (%7.26) ve Ülfet (%0.92) çeşitlerinin kök membran geçirgenliklerinde kontrole göre B-noksanlığı koşullarında önemli olmayan azalmalar saptanmıştır (Şekil 10). Ayrıca, kontrole göre B-noksanlığı koşullarında Keshan (%38.25), RG-201 (%35.89), Borandotto (%26.65), Rekor (%22.70), Halilbey (%17.97), Özgür-CL (%16.19), Baldo (%11.50) ve Güneş-CL (%7.73) çeşitlerinin kök membran geçirgenliklerinde önemli artışlar ve Proteo (%7.35), Turbo-CL (%7.26), Zeybek (%7.06), Osmancık-97 (%6.56) ve Efsane-CL (%1.52) çeşitlerinin kök membran geçirgenliklerinde ise önemli olmayan artışlar saptanmıştır (Şekil 10).

B-toksisitesi uygulamasında kontrole göre kök membran geçirgenliğinde en fazla azalma belirlenen çeşit Rekor (%76.28) olarak saptanmış ve bu çeşidi sırası ile Casanova (%40.25), Gönen (%33.35), Edirne (%29.23), Efe (%22.27), Efsane-CL (%20.13), Köprü-CL (%18.28), Ülfet (%16.53), Halilbey (%13.98), Baldo (%13.95), Aga (%10.10) ve Gemici (%7.19) çeşitleri takip etmiş ve kontrole göre B-toksisitesi uygulamasında kök membran geçirgenliğinde belirlenen bu azalmalar önemli bulunmuştur (Şekil 10). Bununla birlikte, Özgür-CL (%6.42), Cameo (%5.98), Proteo (%4.77), Colombo-CL (%3.16) ve Osmancık-97



Şekil 9. B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin kök hacimlerine etkisi



Şekil 10. B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin kök membran geçirgenliklerine etkisi

(%2.06) çeşitlerinin kök membran geçirgenliklerinde kontrole göre B-toksisitesi uygulaması ile belirlenen azalmalar önemli bulunmamıştır (Şekil 10). Ayrıca, kontrole göre B-toksisitesi uygulaması ile Turbo-CL (%28.63), RG-201 (%27.05), Borandotto (%23.62), Gümüşcan (%22.91), Değirmen-CL (%12.88), Fedra (%9.67) ve Güneş-CL (%8.21) çeşitlerinin kök membran geçirgenliklerinde önemli artışlar ve Zeybek (%7.06), Vasco (%6.84), Virgilo (%6.72), Keshan (%3.86), Kikko (%2.18) ve Yatkın (%0.42) çeşitlerinin kök membran geçirgenliklerinde ise önemli olmayan artışlar bulunmuştur (Şekil 10).

Bor noksanlığı ve toksisitesi koşullarında bitkilerde hücre duvarı, floem, ksilem ve bekçi hücreleri yapısal olarak bozulmakta ve bunlara bağlı olarak membran geçirgenliğinde farklılıklar gözlenmektedir (Kacar, 2019). Yapılan araştırmalarda, marul (Eraslan vd., 2007a), domates ve biber (Eraslan vd., 2007b), fıstık (Çikili vd., 2015), asma anacı (Soylemezoglu vd., 2009), arpa (Inal vd., 2009) bitkileri ve iki bezelye çeşidinin (Oliveira, 2019) B-toksik koşullarda yetiştirilmeleriyle birlikte bitkilerin membran geçirgenliklerinde artış rapor edilmiştir.

4.2. Bor Noksanlığı ve Toksisitesinin Çeltik Çeşitlerin Fotosentetik Pigment İçeriklerine Etkisi

4.2.1. Klorofil *a* ve *b* İçerikleri

B-noksanlığı ve B-toksisitesinin çeltik çeşitlerinin klorofil *a* ve klorofil *b* içeriklerine etkisine dair varyans analiz sonuçları Tablo 6'da, klorofil *a* içeriğine ait ortalamalar Şekil 11'da ve klorofil *b* içeriğine ait ortalamalar ise Şekil 12'de sunulmuştur. Tablo 6 ile Şekil 11 ve 12 birlikte değerlendirildiğinde; çeltik çeşitlerine uygulanan B-noksanlığı ve B-toksisitesinin klorofil *a* ve klorofil *b* içeriklerine çeşitlerin, uygulamaların ve çeşit x bor interaksiyonunun etkisi %0.1 düzeyinde istatistiki olarak önemli bulunmuştur.

Çeltik çeşitleri birlikte değerlendirildiğinde; kontrole göre (1.116 mg g^{-1} YA) B-noksanlığı uygulaması ile ortalama klorofil *a* içeriğinde belirlenen %1.08 düzeyindeki artış önemli bulunmazken, B-toksisitesi koşulları ile ortalama klorofil *a* içeriğinde %4.57 düzeyinde önemli bir azalma saptanmıştır (Şekil 11).

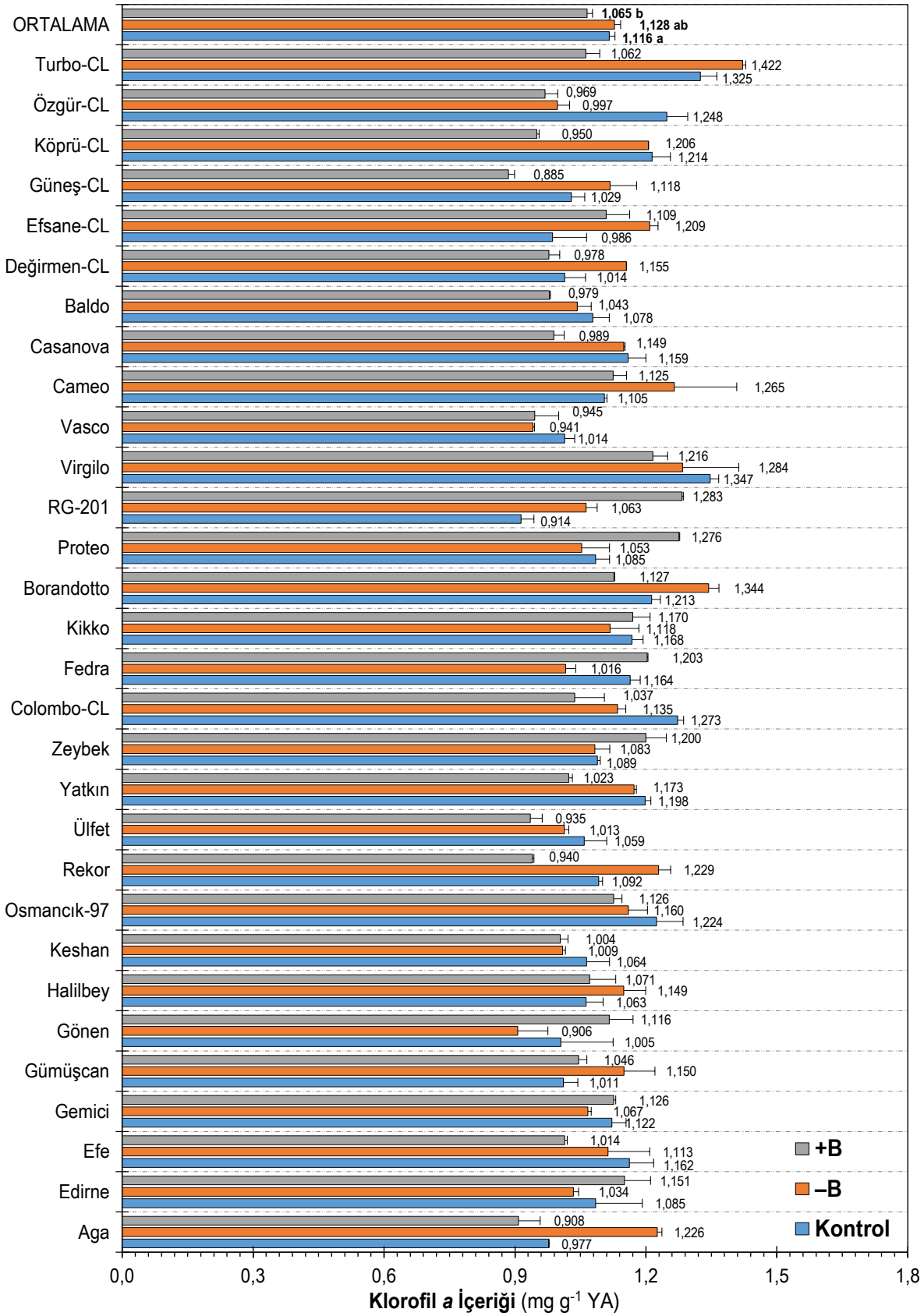
Tablo 6

Bor noksanlığı ve fazlalığının çeltik çeşitlerinin klorofil *a* ve klorofil *b* içeriklerine etkisine ait varyans analiz sonuçları

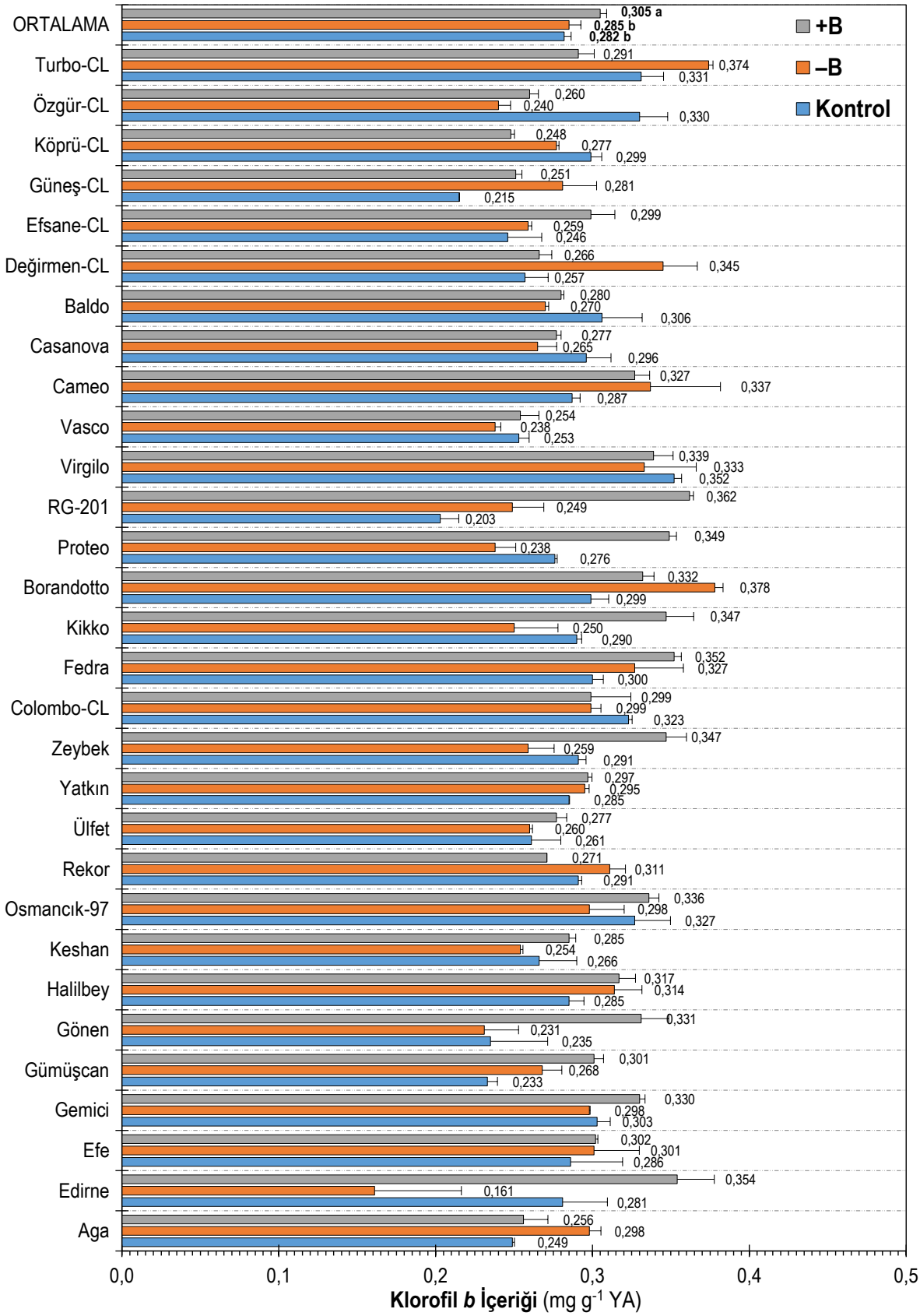
Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	**Klorofil *a* İçeriği**		**Klorofil *b* İçeriği**	
		Kareler Toplamı	*F* Değeri	Kareler Toplamı	*F* Değeri
Genel	269	4.463	-	0.570	-
Çeşit (Ç)	29	1.433	8.23***	0.167	7.34***
Bor (B)	2	0.197	16.40***	0.029	18.47***
Ç×B İnteraksiyonu	58	1.753	5.03***	0.232	5.07***
Hata	180	1.081	-	0.142	-

B-noksanlığı koşullarında kontrole göre Özgür-CL (%20.11), Fedra (%12.71) ve Colombo-CL (%10.84) çeşitlerinin klorofil *a* içeriklerindeki belirlenen bu azalmalar önemli bulunurken, bununla birlikte Gönen (%9.85), Vasco (%7.20), Osmancık-97 (%5.23), Keshan (%5.17), Edirne (%4.70), Virgilo (%4.68), Ülfet (%4.34), Kikko (%4.28), Efe (%4.22), Baldo (%3.25), Proteo (%2.95), Yatkın (%2.09), Casanova (%0.86), Köprü-CL (%0.66) ve Zeybek (%0.55) çeşitlerinin klorofil *a* içeriklerinde kontrole göre B-noksanlığı koşulları ile saptanan azalmalar ise önemli bulunmamıştır (Şekil 11). Buna karşın, kontrole göre B-noksanlığı koşulları ile Aga (%25.49), Efsane-CL (%22.62), RG-201 (%16.30), Cameo (%14.48), Değirmen-CL (%13.91), Gümüşcan (%13.75), Rekor (%12.55) ve Borandotto (%10.80) çeşitlerinin klorofil *a* içeriklerinde önemli artışlar tespit edilirken, Güneş-CL (%8.65), Halilbey (%8.09), Turbo-CL (%7.32) ve Gemici (%2.50) çeşitlerinin klorofil *a* içeriklerinde belirlenen artışlar ise önemli bulunmamıştır (Şekil 11).

Kontrole göre B-toksisitesi uygulaması ile Özgür-CL (%22.36), Köprü-CL (%21.75), Turbo-CL (%19.85), Colombo-CL (%18.54), Casanova (%14.67), Yatkın (%14.61), Güneş-CL (%13.99), Rekor (%13.92), Efe (%12.74), Ülfet (%11.71) ve Virgilo (%9.73) çeşitlerinin klorofil *a* içeriklerinde önemli azalmalar tespit edilirken, Baldo (%9.18), Osmancık-97 (%8.01), Borandotto (%7.09), Aga (%7.06), Vasco (%6.80), Keshan (%5.64) ve Değirmen- CL (%3.55) çeşitlerinin klorofil *a* içeriklerinde saptanan azalmalar ise önemli bulunmamıştır (Şekil 11). Ayrıca, kontrole göre B-toksik koşullar ile RG-201 (%40.37) ve Proteo (%17.60) çeşitlerinin klorofil *a* içeriklerinde önemli artışlar belirlenirken, Efsane-CL (%12.47), Gönen (%11.04), Zeybek (%10.19), Edirne (%6.08), Gümüşcan (%3.46), Fedra (%3.35), Cameo (%1.81), Halilbey (%0.75), Gemici (%0.36) ve Kikko (%0.17) çeşitlerinin klorofil a içeriklerinde ise önemli olmayan artışlar tespit edilmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin klorofil a içeriklerine etkisi



Şekil 12. B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin klorofil b içeriklerine etkisi

Çeltik çeşitleri birlikte değerlendirildiğinde; kontrol koşullarına göre (0.282 mg g^{-1} YA) B-noksanlığı uygulamasında ortalama klorofil *b* içeriğinde %1.06 seviyesinde önemli olmayan bir artış saptanırken, B-toksisitesi uygulamasında ise %8.16 seviyesindeki artış önemli bulunmuştur (Şekil 12).

B-noksanlığı koşulları ile kontrole göre Edirne (%42.70) ve Özgür-CL (%27.27) çeşitlerinin klorofil *b* içeriklerinde önemli azalmalar saptanırken, Kikko (%13.79), Proteo (%13.77), Baldo (%11.76), Zeybek (%11.00), Casanova (%10.47), Osmancık-97 (%8.87), Colombo-CL (%7.43), Köprü-CL (%7.36), Vasco (%5.93), Virgilo (%5.40), Keshan (%4.51), Gönen (%1.70), Gemici (%1.65) ve Ülfet (%0.38) çeşitlerinin klorofil *b* içeriklerinde belirlenen azalmalar ise önemli bulunmamıştır (Şekil 12). Ayrıca, kontrole göre B-noksanlığı koşulları ile Değirmen-CL (%34.24), Güneş-CL (%30.70), Borandotto (%26.42), RG-201 (%22.66), Aga (%19.68) ve Cameo (%17.42) çeşitlerinin klorofil *b* içeriklerinde önemli artışlar saptanırken, Gümüşcan (%15.02), Turbo-CL (%12.99), Halilbey (%10.18), Fedra (%9.00), Rekor (%6.87), Efsane-CL (%5.28), Efe (%5.24) ve Yatkın (%3.51) çeşitlerinin klorofil *b* içeriklerinde belirlenen artışlar ise önemli bulunmamıştır (Şekil 12).

B-toksisitesi uygulaması ile kontrole göre Özgür-CL (%21.21) ve Köprü-CL (%17.06) çeşitlerinin klorofil *b* içeriklerinde önemli azalmalar tespit edilirken, Turbo-CL (%12.08), Baldo (%8.50), Colombo-CL (%7.43), Rekor (%6.87), Casanova (%6.42) ve Virgilo (%3.69) çeşitlerinin klorofil *b* içeriklerinde belirlenen azalmaların ise önemli olmadığı saptanmıştır (Şekil 12). Buna karşın, kontrole göre B-toksisitesi koşulları ile RG-201 (%78.33), Gönen (%40.85), Gümüşcan (%29.18), Proteo (%26.45) Edirne (%25.98), Efsane-CL (%21.54), Kikko (%19.66), Zeybek (%19.24) ve Fedra (%17.33) çeşitlerinin klorofil *b* içeriklerinde önemli artışlar tespit edilmiştir (Şekil 12). Ancak, kontrole göre B-toksisitesi koşulları ile Güneş-CL (%16.74), Cameo (%13.94), Halilbey (%11.23), Borandotto (%11.04), Gemici (%8.91), Keshan (%7.14), Ülfet (%6.13), Efe (%5.59), Yatkın (%4.21), Değirmen-CL (%3.50), Aga (%2.81), Osmancık-97 (%2.75) ve Vasco (%0.40) çeşitlerinin klorofil *b* içeriklerinde belirlenen artışların ise önemli olmadığı saptanmıştır (Şekil 12).

4.2.2. Toplam Klorofil İçeriği

B-noksanlığı ve B-toksisitesinin çeltik çeşitlerinin toplam klorofil ve karotenoid içeriklerine etkisine dair varyans analiz sonuçları Tablo 7'de verilmiştir. Çeltik çeşitlerinin toplam klorofil içeriklerine ait ortalamalar Şekil 13'de ve karotenoid içeriklerine ait ortalamalar

ise Şekil 14'de sunulmuştur. Tablo 7 ile Şekil 13 ve 14 birlikte değerlendirildiğinde; çeltik çeşitlerine uygulanan B-noksanlığı ve B-toksisitesinin toplam klorofil içeriklerine çeşitler (p<0.001), B uygulamaları (p<0.050) ve çeşit x bor interaksiyonunun (p<0.001) etkilerinin istatistiki olarak önemli olduğu ve bununla birlikte karotenoid içeriklerine çeşitler, B uygulamaları ve çeşit x bor interaksiyonunun etkilerinin de istatistiki olarak %0.1 düzeyinde önemli olduğu saptanmıştır.

Tablo 7

Bor noksanlığı ve fazlalığının çeltik çeşitlerinin toplam klorofil ve karotenoid içeriklerine etkisine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	**Toplam Klorofil İçeriği**		**Karotenoid İçeriği**	
		Kareler Toplamı	*F* Değeri	Kareler Toplamı	*F* Değeri
Genel	269	10.229	-	0.683	-
Çeşit (Ç)	29	3.399	8.08***	0.169	7.09***
Bor (B)	2	0.124	4.26*	0.096	58.17***
Ç×B İnteraksiyonu	58	4.094	4.86***	0.270	5.64***
Hata	180	2.612	-	0.148	-

Çeltik çeşitleri birlikte değerlendirildiğinde; kontrol uygulamasına göre (1.635 mg g^{-1} YA) B-noksanlığı koşullarında çeşitlerin ortalama toplam klorofil içeriğinde belirlenen artış (%1.22) ve B-toksisitesi uygulamasında tespit edilen azalma (%1.96) önemli bulunmamıştır (Şekil 13).

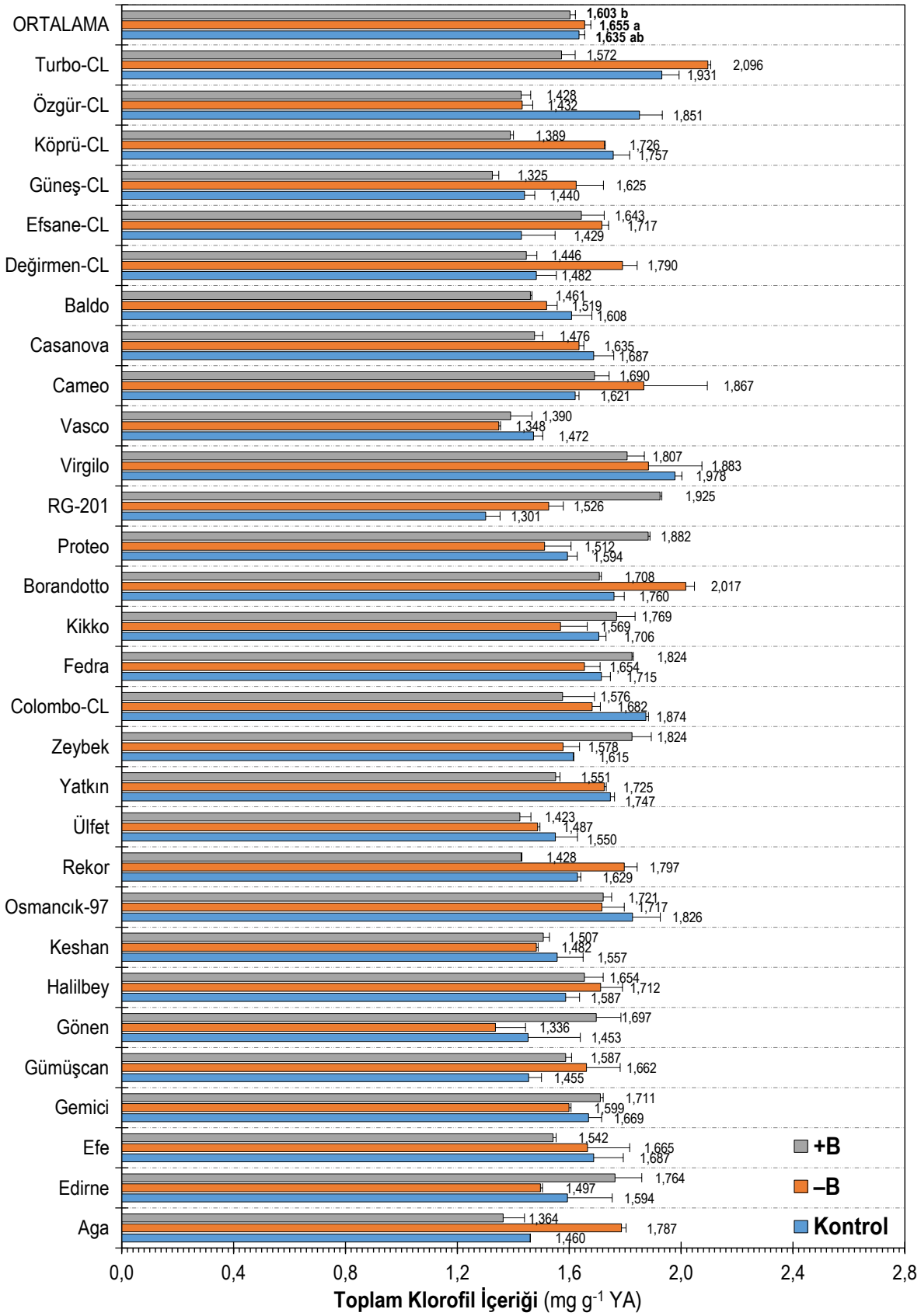
B-noksanlığı koşulları ile kontrole göre Özgür-CL çeşidinin toplam klorofil içeriğinde önemli bir azalma (%22.64) bulunurken, bun karşın Colombo-CL (%10.25), Vasco (%8.42), Gönen (%8.05), Kikko (%8.03), Edirne (%6.09), Osmancık-97 (%5.97), Baldo (%5.53), Proteo (%5.14), Keshan (%4.82), Virgilo (%4.80), Gemici (%4.19), Ülfet (%4.06), Fedra (%3.56), Casanova (%3.08), Zeybek (%2.29), Köprü-CL (%1.76), Efe (%1.30) ve Yatkın (%1.26) çeşitlerinin toplam klorofil içeriklerinde belirlenen azalmaların ise önemli olmadığı tespit edilmiştir (Şekil 13). Ayrıca, Aga (%22.40), Değirmen-CL (%20.78), Efsane-CL (%20.15), RG-201 (%17.29), Cameo (%15.18), Borandotto (%14.60) ve Gümüşcan (%14.23) çeşitlerinin toplam klorofil içeriklerinde kontrole göre B-noksanlığı uygulaması ile belirlenen artışlar önemli bulunurken, Güneş-CL (%12.85), Rekor (%10.31), Turbo-CL (%8.54) ve Halilbey (%7.88) çeşitlerinde belirlenen artışların ise önemli olmadığı saptanmıştır (Şekil 13).

B-toksisitesi uygulaması ile kontrole göre Özgür-CL (%22.85), Köprü-CL (%20.94), Turbo-CL (%18.59), Colombo-CL (%15.90), Casanova (%12.51), Rekor (%12.34) ve Yatkın (%11.22) çeşitlerinin toplam klorofil içeriklerinde önemli azalmalar belirlenirken, Baldo (%9.14), Virgilo (%8.65), Efe (%8.60), Ülfet (%8.19), Güneş-CL (%7.99), Aga (%6.58), Osmancık-97 (%5.75), Vasco (%5.57), Keshan (%3.21), Borandotto (%2.95) ve Değirmen-CL (%2.43) çeşitlerinin toplam klorofil içeriklerinde tespit edilen azalmalar ise önemli bulunmamıştır (Şekil 13). Buna karşın, B-toksik koşullar ile kontrole göre RG-201 (%47.96), Proteo (%18.07), Gönen (%16.79), Efsane-CL (%14.98) ve Zeybek (%12.94) çeşitlerinin toplam klorofil içeriklerinde önemli artışlar saptanırken, Edirne (%10.66), Gümüşcan (%9.07), Fedra (%6.36), Cameo (%4.26), Halilbey (%4.22), Kikko (%3.69) ve Gemici (%2.52) çeşitlerinin toplam klorofil içeriklerinde saptanan artışların ise önemli olmadığı tespit edilmiştir (Şekil 13).

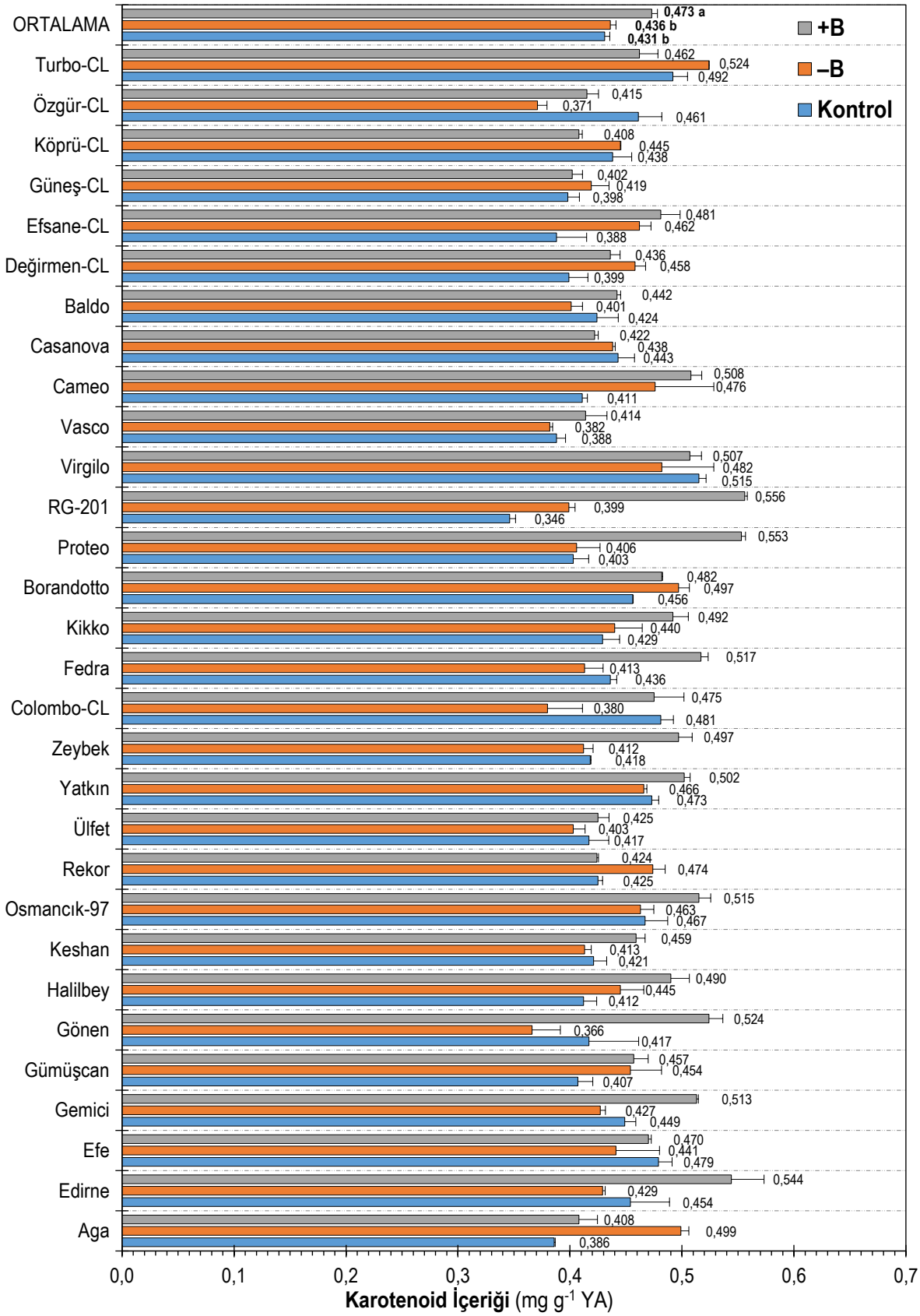
4.2.3. Karotenoid İçeriği

Çeltik çeşitleri birlikte değerlendirildiğinde; kontrol uygulamasına göre (0.431 mg g^{-1} YA) B-noksanlığı koşullarında çeşitlerin ortalama karotenoid içeriğinde tespit edilen artış (%1.16) önemli bulunmazken, B-toksisitesi uygulaması ile belirlenen artış (%9.74) ise önemli olarak saptanmıştır (Şekil 14).

B-noksanlığı koşullarında kontrole göre Colombo-CL (%21.00), Özgür-CL (%19.52) ve Gönen (%12.23) çeşitlerinin karotenoid içeriklerinde belirlenen azalmalar önemli bulunurken, Efe (%7.93), Virgilo (%6.41), Edirne (%5.51), Baldo (%5.42), Fedra (%5.28), Gemici (%4.90), Ülfet (%3.36), Keshan (%1.90), Vasco (%1.55), Yatkın (%1.48), Zeybek (%1.44), Casanova (%1.13) ve Osmancık-97 (%0.86) çeşitlerinin karotenoid içeriklerinde tespit edilen azalmaların ise önemli olmadığı saptanmıştır (Şekil 14). Buna karşın, Aga (%29.27), Efsane-CL (%19.07), Cameo (%15.82), RG-201 (%15.32), Değirmen-CL (%14.79), Gümüşcan (%11.55) ve Rekor (%11.53) çeşitlerinin karotenoid içeriklerinde kontrole göre B-noksanlığı koşullarında tespit edilen artışların önemli olduğu, ancak Borandotto (%8.99), Halilbey (%8.01), Turbo-CL (%6.50), Güneş-CL (%5.28), Kikko (%2.56), Köprü-CL (%1.60) ve Proteo (%0.74) çeşitlerinin karotenoid içeriklerinde belirlenen artışların ise önemli olmadığı tespit edilmiştir (Şekil 14).



Şekil 13. B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin toplam klorofil içeriklerine etkisi



Şekil 14. B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin karotenoid içeriklerine etkisi

B-toksisitesi koşullarında kontrole göre Özgür-CL (%9.98), Köprü-CL (%6.85), Turbo-CL (%6.10), Casanova (%4.74), Efe (%1.88), Virgilo (%1.55), Colombo-CL (%1.25) ve Rekor (%0.24) çeşitlerinin karotenoid içeriklerinde görülen azalmalar önemli bulunmamıştır (Şekil 14). Ayrıca, kontrole göre B-toksisitesi koşulları ile RG-201 (%60.69), Proteo (%37.22), Gönen (%25.66), Efsane-CL (%23.97), Cameo (%23.60), Edirne (%19.82), Halilbey (%18.93), Zeybek (%18.90), Fedra (%18.58), Kikko (%14.69), Gemici (%14.25), Gümüşcan (%12.29) ve Osmancık-97 (%10.28) çeşitlerinin karotenoid içeriklerinde önemli artışlar tespit edilirken, buna barşın Değirmen-CL (%9.27), Keshan (%9.03), Vasco (%6.70), Yatkın (%6.13), Borandotto (%5.70), Aga (%5.70), Baldo (%4.25), Ülfet (%1.92) ve Güneş-CL (%1.01) çeşitlerinin karotenoid içeriklerinde belirlenen artışların önemli olmadığı saptanmıştır (Şekil 14).

B-noksanlığı koşullarında bitkilerde ksilem ve floem iletim borularının hasar görmesi sonucunda yeteri kadar fotosentez ürünü taşınamamakta ve bitki gelişimi olumsuz etkilenmektedir (Kacar, 2019). B-noksanlığı koşullarında yetiştirilen dokuz sorgum çeşidinin klorofil ve karotenoid içeriklerinde artışlar rapor edilmiştir (Karahan ve Çıkılı, 2021).

B-toksisitesi koşullarında yetiştirilen bitkilerde klorofil azalmasından kaynaklı fotosentezin engellediği bildirilmiştir (Reid, 2007). Yapılan çalışmalarda araştırmacılar, ayçiçeğinin (Yıldıztekin vd., 2015a), fıstığın (Çikili vd., 2015), Japon nanesi ile Doğu Hint limon otunun (Choudhary vd., 2020), iki bezelye çeşidinin (Oliveira, 2019) ve dokuz sorgum çeşidinin (Karahan ve Çıkılı, 2021) klorofil ve karotenoid içeriklerinde B-toksik koşullardan kaynaklı azalmalar tespit etmişlerdir.

4.3. Bor Noksanlığı ve Toksisitesinin Çeltik Çeşitlerinin Stres Tolerans ve Stres Duyarlılık İndekslerine Etkisi

4.3.1. Stres Tolerans İndeksleri

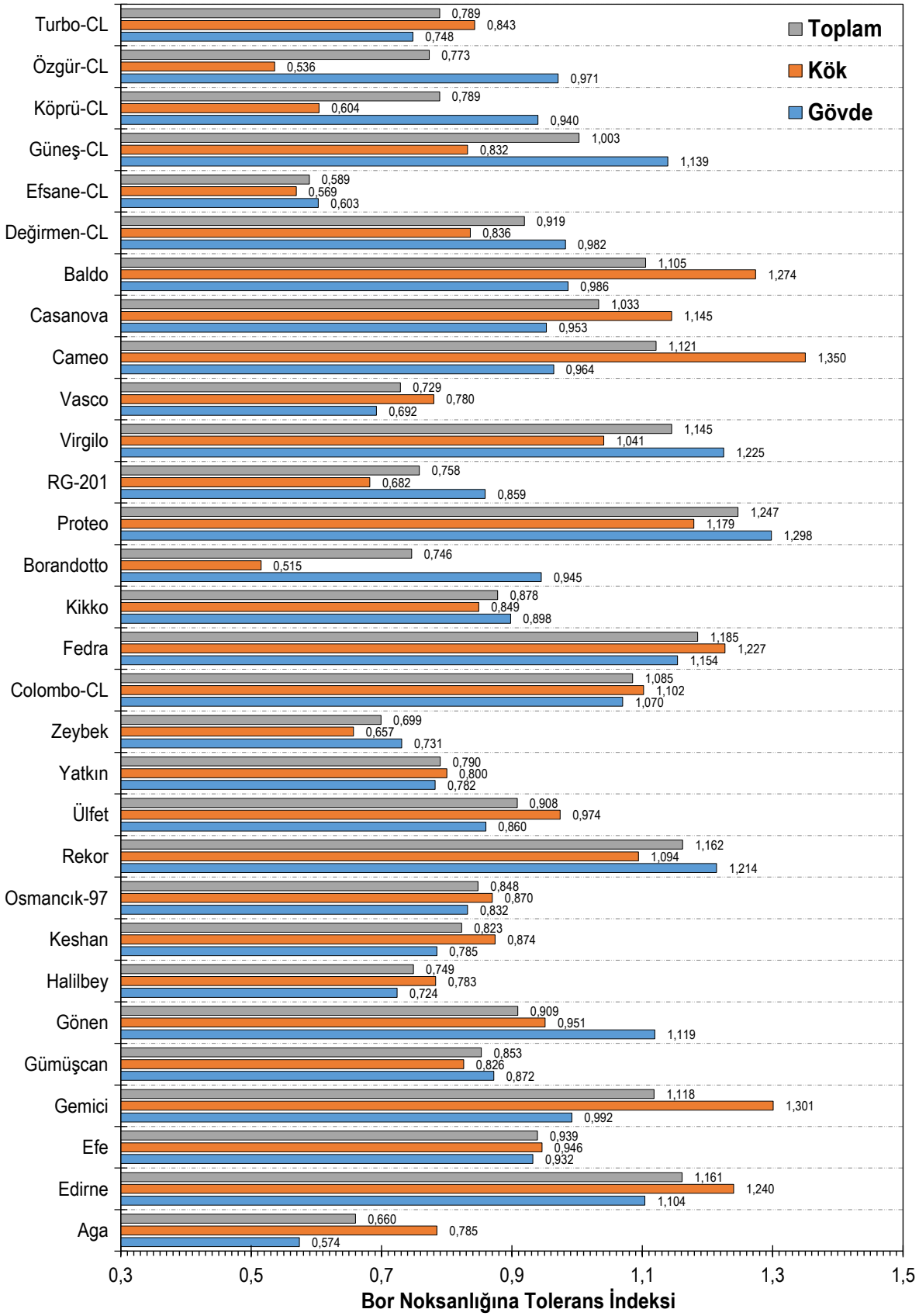
Çeltik çeşitlerinin toprak üstü aksam (gövde) gelişimi için B-noksan koşullarda en yüksek stres tolerans indeksine (STİ) sahip çeşit olarak Proteo (1.298) ve buna karşın en düşük stres tolerans indeksine sahip çeşit olarak ise Aga (0.574) tespit edilmiştir (Şekil 15). Çeltik çeşitlerinin gövde gelişimi için B-noksan koşullara stres tolerans indeksi değerlerine göre bir dayanıklılık sıralaması yapıldığında; çeşitlerin Proteo> Virgilo> Rekor> Fedra> Gü-

neş-CL> Gönen> Edirne> Colombo-CL> Gemici> Baldo> Değirmen-CL> Özgür-CL> Cameo> Casanova> Borandotto> Köprü-CL> Efe> Kikko> Gümüşcan> Ülfet> RG-201> Osmancık-97> Keshan> Yatkın> Turbo-CL> Zeybek> Halilbey> Vasco> Efsane-CL> Aga olarak sıralandığı görülmüştür (Şekil 15).

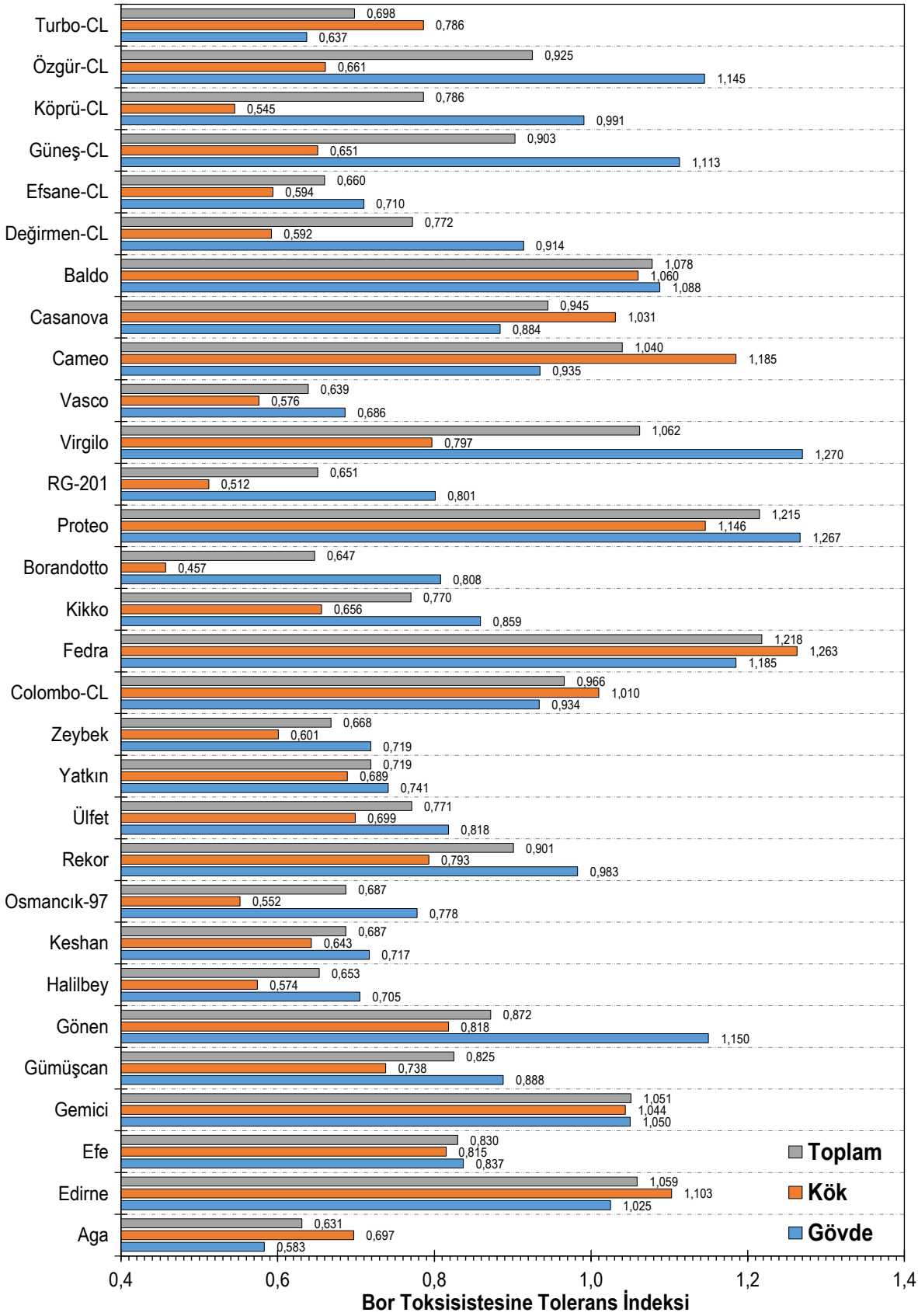
Bununla birlikte, toprak altı aksam (kök) gelişimi için B-noksan koşullarda en yüksek stres tolerans indeksine (STİ) sahip çeşit olarak Cameo (1.350) ve buna karşın en düşük stres tolerans indeksine sahip çeşit olarak ise Borandotto (0.515) belirlenmiştir (Şekil 15). Çeltik çeşitlerinin kök gelişimi için B-noksan koşullara stres tolerans indeksi değerlerine göre bir dayanıklılık sıralaması yapıldığında; çeşitlerin Cameo> Gemici> Baldo> Edirne> Fedra> Proteo> Casanova> Colombo-CL> Rekor> Virgilo> Ülfet> Gönen> Efe> Keshan> Osmancık-97> Kikko> Turbo-CL> Değirmen-CL> Güneş-CL> Gümüşcan> Yatkın> Aga> Halilbey> Vasco> RG-201> Zeybek> Köprü-CL> Efsane-CL> Özgür-CL> Borandotto olarak sıralandığı saptanmıştır (Şekil 15).

Ayrıca, B-noksan koşullarda çeltik çeşitlerinin toplam biyokütle (gövde+kök) üretimlerine bakıldığında; en yüksek stres tolerans indeksine (STİ) sahip çeşit olarak Proteo (1.247) ve buna karşın en düşük stres tolerans indeksine sahip çeşit olarak ise Efsane-CL (0.589) bulunmuştur (Şekil 15). Çeltik çeşitlerinin toplam biyokütle üretimleri için B-noksan koşullara stres tolerans indeksi değerlerine göre bir dayanıklılık sıralaması yapıldığında; çeşitlerin Proteo> Fedra> Rekor> Edirne> Virgilo> Cameo> Gemici> Baldo> Colombo-CL> Casanova> Güneş-CL> Efe> Değirmen-CL> Gönen> Ülfet> Kikko> Gümüşcan> Osmancık-97> Keshan> Yatkın> Köprü-CL> Turbo-CL> Özgür-CL> RG-201> Halilbey> Borandotto> Vasco> Zeybek> Aga> Efsane-CL olarak sıralandığı tespit edilmiştir (Şekil 15).

Çeltik çeşitlerinin toprak üstü aksam (gövde) gelişimi için B-toksik koşullarda en yüksek stres tolerans indeksine (STİ) sahip çeşit olarak Virgilo (1.270) ve buna karşın en düşük stres tolerans indeksine sahip çeşit olarak ise Aga (0.583) bulunmuştur (Şekil 16). Çeltik çeşitlerinin gövde gelişimi için B-toksik koşullara stres tolerans indeksi değerlerine göre bir dayanıklılık sıralaması yapıldığında; çeşitler Virgilo> Proteo> Fedra> Gönen> Özgür-CL> Güneş-CL> Baldo> Gemici> Edirne> Köprü-CL> Rekor> Cameo> Colombo-CL> Değirmen-CL> Gümüşcan> Casanova> Kikko> Efe> Ülfet> Borandotto> RG-201> Osmancık-97> Yatkın> Zeybek> Keshan> Efsane-CL> Halilbey> Vasco> Turbo-CL> Aga olarak sıralanmıştır (Şekil 16).



Şekil 15. Çeltik çeşitlerinin gövde, kök ve toplam biokütlesi için stres tolerans indekslerine (STİ) B-noksanlığının etkisi



Şekil 16. Çeltik çeşitlerinin gövde, kök ve toplam biokütlesi için stres tolerans indekslerine (STİ) B-toksisitesinin etkisi

Bununla birlikte, toprak altı aksam (kök) gelişimi için B-toksik koşullarda en yüksek stres tolerans indeksine (STİ) sahip çeşit olarak Fedra (1.263) ve buna karşın en düşük stres tolerans indeksine sahip çeşit olarak ise Borandotto (0.457) belirlenmiştir (Şekil 16). Çeltik çeşitlerinin kök gelişimi için B-toksik koşullara stres tolerans indeksi değerlerine göre dayanıklılık sıralaması yapıldığında; çeşitler Fedra> Cameo> Proteo> Edirne> Baldo> Gemici> Casanova> Colombo-CL> Gönen> Efe> Virgilo> Rekor> Turbo-CL> Gümüşcan> Ülfet> Aga> Yatkın> Özgür-CL> Kikko> Güneş-CL> Keshan> Zeybek> Efsane-CL> Değirmen-CL> Vasco> Halilbey> Osmancık-97> Köprü-CL> RG-201> Borandotto olarak sıralanmıştır (Şekil 16).

Ayrıca, B-toksik koşullarda çeltik çeşitlerinin toplam biyokütle (gövde+kök) üretimlerine bakıldığında; en yüksek stres tolerans indeksine (STİ) sahip çeşit olarak Fedra (1.218) ve buna karşın en düşük stres tolerans indeksine sahip çeşit olarak ise Aga (0.631) tespit edilmiştir (Şekil 16). Çeltik çeşitlerinin toplam biyokütle üretimleri için B-toksik koşullara stres tolerans indeksi değerlerine göre dayanıklılık sıralaması yapıldığında; çeşitler Fedra> Proteo> Baldo> Virgilo> Edirne> Gemici> Cameo> Colombo-CL> Casanova> Özgür-CL> Güneş-CL> Rekor> Gönen> Efe> Gümüşcan> Köprü-CL> Değirmen-CL> Ülfet> Kikko> Yatkın> Turbo-CL> Keshan = Osmancık-97> Zeybek> Efsane-CL> Halilbey> RG-201> Borandotto> Vasco> Aga olarak sıralanmıştır (Şekil 16).

4.3.2. Stres Duyarlılık İndeksleri

Çeltik çeşitlerinin toprak üstü aksam (gövde) gelişimi için B-noksan koşullarda en yüksek stres duyarlılık indeksine (SDİ) sahip çeşit olarak Vasco (3.137) ve buna karşın en düşük stres duyarlılık indeksine sahip çeşit olarak ise Halilbey (0.067) saptanmıştır (Şekil 17). Çeltik çeşitlerinin gövde gelişimi için B-noksan koşullada stres duyarlılık indeksi değerlerine göre duyarlılık sıralaması yapıldığında; çeşitlerin Vasco> Özgür-CL> Efsane-CL> Kikko> Baldo> Köprü-CL> Yatkın> Casanova> Gönen> Gemici> Virgilo> Fedra> Ülfet> Cameo> RG-201> Efe> Aga> Zeybek> Osmancık-97> Gümüşcan> Güneş-CL> Proteo> Keshan> Turbo-CL> Değirmen-CL> Edirne> Borandotto> Rekor> Colombo-CL> Halilbey olarak sıralandığı tespit edilmiştir (Şekil 17).

Bununla birlikte, B toprak altı aksam (kök) gelişimi için B-noksan koşullarda en yüksek stres duyarlılık indeksine (SDİ) sahip çeşit olarak Özgür-CL (3.883) ve buna karşın en düşük stres duyarlılık indeksine sahip çeşit olarak ise Güneş-CL (0.053) belirlenmiştir (Şekil 17). Çeltik çeşitlerinin kök gelişimi için B-noksan koşullara stres duyarlılık indeksi değerlerine göre duyarlılık sıralaması yapıldığında; çeşitlerin Özgür-CL> Efe> Turbo-CL> Vasco> Cameo> Osmancık-97> Colombo-CL> Gümüşcan> Yatkın> Fedra> Ülfet> Casanova> Proteo> Halilbey> Virgilo> RG-201> Kikko> Köprü-CL> Edirne> Rekor> Gönen> Efsane-CL> Gemici> Değirmen-CL> Keshan> Aga> Baldo> Zeybek> Borandotto> Güneş-CL olarak sıralandığı tespit edilmiştir (Şekil 17).

Ayrıca, B-noksan koşullarda toplam biyokütle (gövde+kök) üretimlerine bakıldığında; en yüksek stres duyarlılık indeksine (SDİ) sahip çeşit olarak Özgür-CL (3.078) ve buna karşın en düşük stres duyarlılık indeksine sahip çeşit ise Borandotto (0.188) olarak bulunmuştur (Şekil 17). Çeltik çeşitlerinin toplam biyokütle (gövde+kök) üretimleri için B-noksan koşullara stres duyarlılık indeksi değerlerine göre duyarlılık sıralaması yapıldığında; çeşitlerin Özgür-CL> Vasco> Efsane-CL> Kikko> Yatkın> Köprü-CL> Casanova> Efe> Cameo> Baldo> Turbo-CL> Osmancık-97> Gönen> Fedra> Ülfet> Gemici> Virgilo> Gümüşcan> Colombo-CL> RG-201> Proteo> Aga> Edirne> Zeybek> Halilbey> Rekor> Keshan> Değirmen-CL> Güneş-CL> Borandotto olarak sıralandığı belirlenmiştir (Şekil 17).

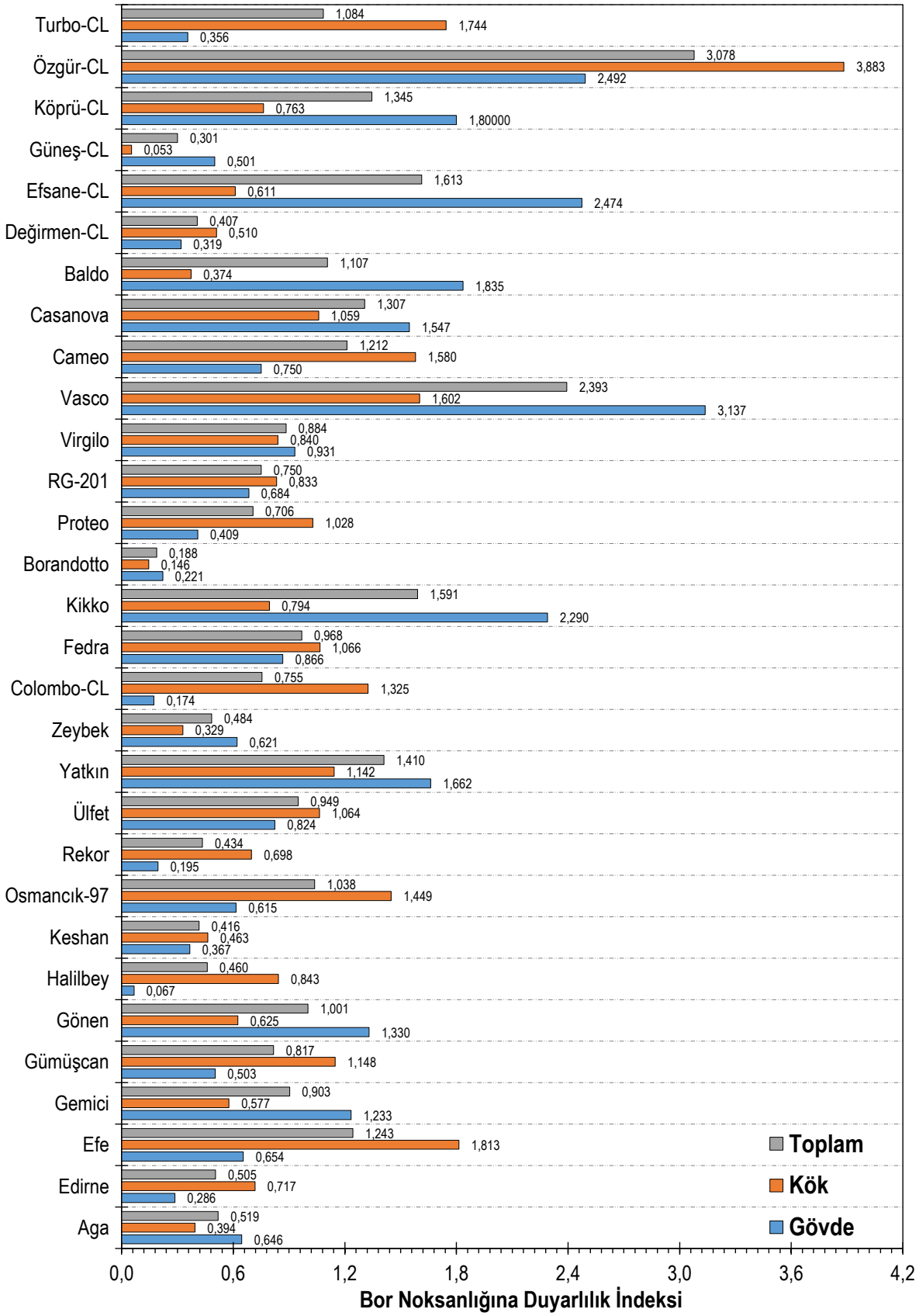
Çeltik çeşitlerinin toprak üstü aksam (gövde) gelişimi için B-toksik koşullarda en yüksek stres duyarlılık indeksine (SDİ) sahip çeşit olarak Vasco (2.442) ve buna karşın en düşük stres duyarlılık indeksine sahip çeşit olarak ise Gümüşcan (0.209) bulunmuştur (Şekil 18). Çeltik çeşitlerinin gövde gelişimi için B-toksik koşullara stres duyarlılık indeksi değerlerine göre duyarlılık sıralaması yapıldığında; çeşitler Vasco> Kikko> Rekor> Casanova> Yatkın> Turbo-CL> Borandotto> Efe> Colombo-CL> RG-201> Keshan> Ülfet> Osmancık-97> Köprü-CL> Değirmen-CL> Edirne> Cameo> Gönen> Zeybek> Güneş-CL> Proteo> Baldo> Özgür-CL> Efsane-CL> Gemici> Fedra> Virgilo> Aga> Halilbey> Gümüşcan olarak sıralanmıştır (Şekil 18).

Bununla birlikte, toprak altı aksam (kök) gelişimi için B-toksik koşullarda en yüksek stres duyarlılık indeksine (SDİ) sahip çeşit olarak Osmancık-97 (1.933) ve buna karşın en

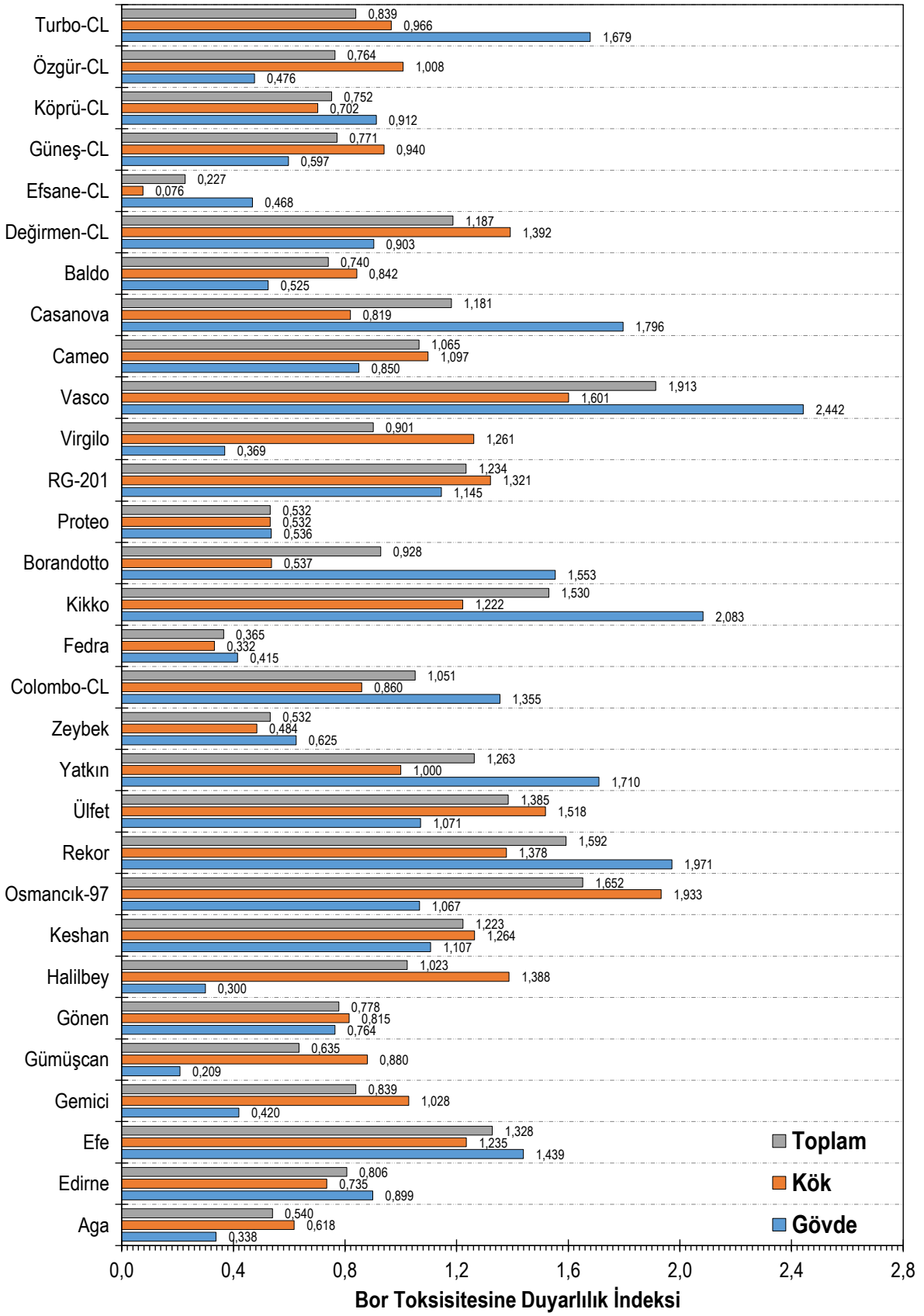
düşük stres duyarlılık indeksine sahip çeşit olarak ise Efsane-CL (0.076) belirlenmiştir (Şekil 18). Çeltik çeşitlerinin kök gelişimi için çeşitlerin stres duyarlılık indeksi değerlerlerine göre duyarlılık sıralaması yapıldığında; çeşitler Osmancık-97> Vasco> Ülfet> Değirmen-CL> Halilbey> Rekor> RG-201> Keshan> Virgilo> Efe> Kikko> Cameo> Gemici> Özgür-CL> Yatkın> Turbo-CL> Güneş-CL> Gümüşcan> Colombo-CL> Baldo> Casanova> Gönen> Edirne> Köprü-CL> Aga> Borandotto> Proteo> Zeybek> Fedra> Efsane-CL olarak sıralanmıştır (Şekil 18).

Ayrıca, B-toksik koşullarda toplam biyokütle (gövde+kök) üretimlerine bakıldığında; en yüksek stres duyarlılık indeksine (SDİ) sahip çeşit olarak Vasco (1.913) ve buna karşın en düşük stres duyarlılık indeksine sahip çeşit olarak ise Efsane-CL (0.227) saptanmıştır (Şekil 18). Çeltik çeşitlerinin toplam biyokütle üretimleri için B-toksik koşullara stres duyarlılık indeksi değerlerine göre duyarlılık sıralaması yapıldığında; çeşitler Vasco> Osmancık-97> Rekor> Kikko> Ülfet> Efe> Yatkın> RG-201> Keshan> Değirmen-CL> Casanova> Cameo> Colombo-CL> Halilbey> Borandotto> Virgilo> Gemici> Turbo-CL> Edirne> Gönen> Güneş-CL> Özgür-CL> Köprü-CL> Baldo> Gümüşcan> Aga> Zeybek> Proteo> Fedra> Efsane-CL olarak sıralanmıştır (Şekil 18).

B-noksanlığı koşullarında bitkilerde yeterli fotosentez ürünü taşınamamakla birlikte döllenme olumsuz etkilenmekte ve bunlara bağlı olarak verim kayıpları gözlenmektedir (Kacar, 2019). Yapılan çalışmalarda araştırmacılar, bitkilerin tür ve çeşitleri arasında B-tolerans ve B-duyarlılık bakımından farklılık gözlendiğini ve bu farklılığın bitkide büyüme ve gelişmeye yansıdığını rapor etmişlerdir. Ceyhan vd. (2007), B-noksanlığı olan bir alanda yetiştirilen beş nohut genotipinden Gökçe genotipi B-noksanlığına dayanıklı Nüfus, İzmir-92, Akçin-91 ve Menemen-92 genotipleri ise hassas olarak bildirmişlerdir. Harmankaya vd. (2008), B-noksanlığı koşullarında yetiştirilen altı fasulye genotipinden Yunus-90 genotipinin B-noksanlığına dayanıklı ve Önceler-98, Karacaşehir-90, Göynük-98, Şehirali-90, Akman-98 genotiplerinin ise yüksek derecede hassas olduğunu rapor etmişlerdir. Karahan ve Çıkılı (2021), dokuz sorgum çeşidinden Tracy, Agacan ve Teide çeşitlerini B-noksanlığına dayanıklı olarak belirlemişler ve bahsi geçen çeşitlerin B-noksan topraklarda yetiştirilmesinin uygun olacağını rapor etmişlerdir.



Şekil 17. Çeltik çeşitlerinin gövde, kök ve toplam biokütlesi için stres duyarlılık indekslerine (SDİ) B-noksanlığının etkisi



Şekil 18. Çeltik çeşitlerinin gövde, kök ve toplam biokütlesi için stres duyarlılık indekslerine (SDİ) B-toksisitesinin etkisi

B-toksik koşullarda yetişen bitkilerde hücre duvarı yapısının bozulması ve enzim aktivitelerinin azalması nedeniyle büyüme ve gelişme olumsuz etkilenmektedir (Kacar, 2019). Araştırmacılar yapılan çalışmalarda, bitki tür ve çeşitleri arasında B istekleri ve B-toleransı ile B-duyarlılıkları bakımından farklılık olduğunu tespit etmişlerdir. Taban ve Erdal (2000), makarnalık buğday çeşitlerinin ekmeklik buğday çeşitlerine göre B'den daha fazla etkilendiğini, B uygulamasının Bolal-2973 ve Gerek-79 çeşitlerinde kuru ağırlık artışına, Çakmak-79 ve Kızıltan-91 çeşitlerinde ise kuru ağırlıkların azalmasına neden olduğunu rapor etmişlerdir. Karahan ve Çıkılı (2021), dokuz sorgum çeşidinin bitki boyların, gövde yaş ve kuru ağırlıklarının, kök yaş ve kuru ağırlıklarının azaldığını, ancak gövde/kök oranının arttığını ve Agacan çeşidinin B-toksik koşullara dayanıklı Aldarı, Tracy ve Roma çeşitlerinin ise hassas olduğunu bildirmişlerdir. Metwally vd. (2017), B-duyarlı (Gemmeza 9) ve B-tolerant (Sakha 93) buğday çeşitlerinin B-toksik koşullarda yetişmesi ile B-tolerant çeşitte kardeş sayısı kademeli olarak azalırken B-hassas çeşitte ise şiddetli bir azalma görüldüğünü tespit etmişlerdir. Palta ve Gezgin (2011), mısır bitkisinin TTM-8119 ve DK-647 çeşitlerinin B-toksik koşullara hassas, Plave, LG-55, T-1595, DK-585 ve LG-60 çeşitlerinin yarı hassas, MAT-97, Luce, TTM-815 ve BC-566 çeşitlerinin toleranslı ve RX770 ile P-3394 çeşitlerinin ise dayanıklı olduğunu rapor etmişlerdir. Sharma vd. (2014), B-toleransı için seçilen ana kriterin kök uzunluğu olduğu bir çalışmada, yedi buğday çeşidinden, KRL-99, Kharchia-65 ve BT-Schomburgk çeşitlerinde kök gelişiminin baskılanmasının daha az olduğunu ve bu çeşitlerin B-dayanıklı olarak değerlendirilebileceğini, B uygulamalarının HD-2009, KRL-240 ve Schomburgk çeşitlerinin köklerinde daha yüksek azalmalara neden olmasından dolayı B-hassas olarak gösterilebileceğini ve KRL-238 ve KRL-3-4 çeşitlerinin ise B fazlalığına orta derece dayanıklı çeşitler olarak belirlendiğini saptamışlardır. Harite (2008), sekiz pamuk çeşidinin yaş ağırlıklarının ve bitki boylarının azaldığını ve Gürel Bey ile Gossipolsüz Nazilli çeşitlerinin B-toksisitesine dayanıklı fakat Nazilli çeşidinin ise hassas olduğunu bildirmiştir. Güneş vd. (2000), Türkiye'de yaygın olarak yetiştirilen sekiz mısır çeşidinin B fazlalığına duyarlılıklarının yüksekten düşüğe doğru, Helix, Riogrande, Furio, Poker, Sele, Missouri, DK 743 ve Betor şeklinde sıralandığını ve genel olarak B'a duyarlılıkları düşük olan çeşitlerin yüksek olan çeşitlere göre bünyelerinde daha fazla B içerdiklerini rapor etmişlerdir.

4.4. Bor Noksanlığı ve Toksisitesinin Çeltik Çeşitlerinin Gövde ve Kök Bor Konsantrasyonları ve Alımlarına Etkisi

4.4.1. Gövde ve Kök Bor Konsantrasyonları

B-noksanlığı ve B-toksisitesinin çeltik çeşitlerinin gövde ve kök B konsantrasyonlarına etkisine dair varyans analiz sonuçları Tablo 8'de verilmiştir. Gövde B konsantrasyonuna ait ortalamalar Şekil 19'de ve kök B konsantrasyonuna ait ortalamalar ise Şekil 20'da sunulmuştur. Tablo 8 ile Şekil 19 ve 20 birlikte değerlendirildiğinde; çeltik çeşitlerine uygulanan B-noksanlığı ve B-toksisitesinin gövde ve kök B konsantrasyonlarına çeşitlerin ($p \leq 0.001$), B uygulamalarının ($p \leq 0.001$) ve çeşit x bor interaksiyonunun ($p \leq 0.001$) etkilerinin istatistiki olarak önemli olduğu saptanmıştır.

Tablo 8

Bor noksanlığı ve fazlalığının çeltik çeşitlerinin gövde ve kök B konsantrasyonlarına etkisine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	**Gövde B Konsantrasyonu**		**Kök B Konsantrasyonu**	
		Kareler Toplamı	*F* Değeri	Kareler Toplamı	*F* Değeri
Genel	269	9242999.2	-	23479.7	-
Çeşit (Ç)	29	136814.4	36.9***	7672.9	266.7***
Bor (B)	2	8814415.6	35474.8***	10569.8	5326.1***
Ç×B İnteraksiyonu	58	269293.1	37.8***	5058.4	87.9***
Hata	180	22476.1	-	178.6	-

Çeltik çeşitleri birlikte değerlendirildiğinde; kontrole göre (30.09 µg g^{-1}) B-noksanlığı uygulaması ile çeşitlerin ortalama gövde B konsantrasyonunda %29.48 düzeyinde bir önemli azalma ve buna karşın B-toksisitesi koşulları ile çeşitlerin ortalama gövde B kontrasyonununda ise 12.59 kat düzeyinde önemli bir artış saptanmıştır (Şekil 19).

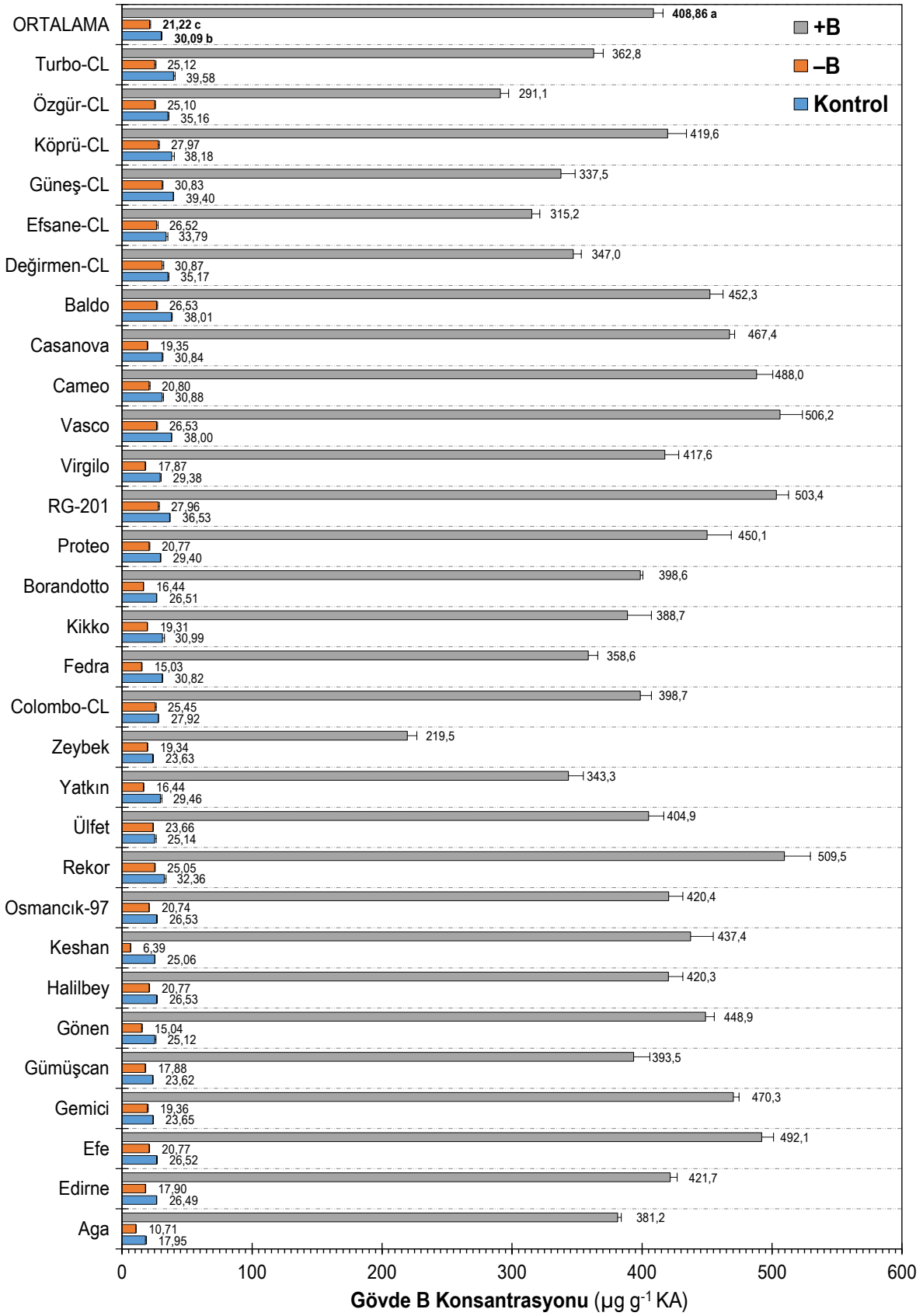
B-noksanlığı koşulları ile kontrole göre Keshan (%74.50) çeşidinin gövde B konsantrasyonunda önemli bir azalma belirlenirken, Fedra (%51.23), Yatkın (%44.20), Aga (%40.33), Gönen (%40.13), Virgilo (%39.18), Borandotto (%37.99), Kikko (%37.69), Casanova (%37.26), Turbo-CL (%36.53), Cameo (%32.64), Edirne (%32.43), Baldo (%30.20), Vasco (%30.18), Proteo (%29.35), Özgür-CL (%28.61), Köprü-CL (%26.74), Gümüşcan (%24.30),

RG-201 (%23.46), Rekor (%22.59), Osmancık-97 (%21.82), Güneş-CL (%21.75), Halilbey (%21.71), Efe (%21.68), Efsane-CL (%21.52), Zeybek (%18.15), Gemici (%18.14), Değirmen-CL (%12.23), Colombo-CL (%8.85) ve Ülfet (%5.89) çeşitlerinin gövde B konsantrasyonlarında belirlenen azalmalar ise önemli bulunmamıştır (Şekil 19).

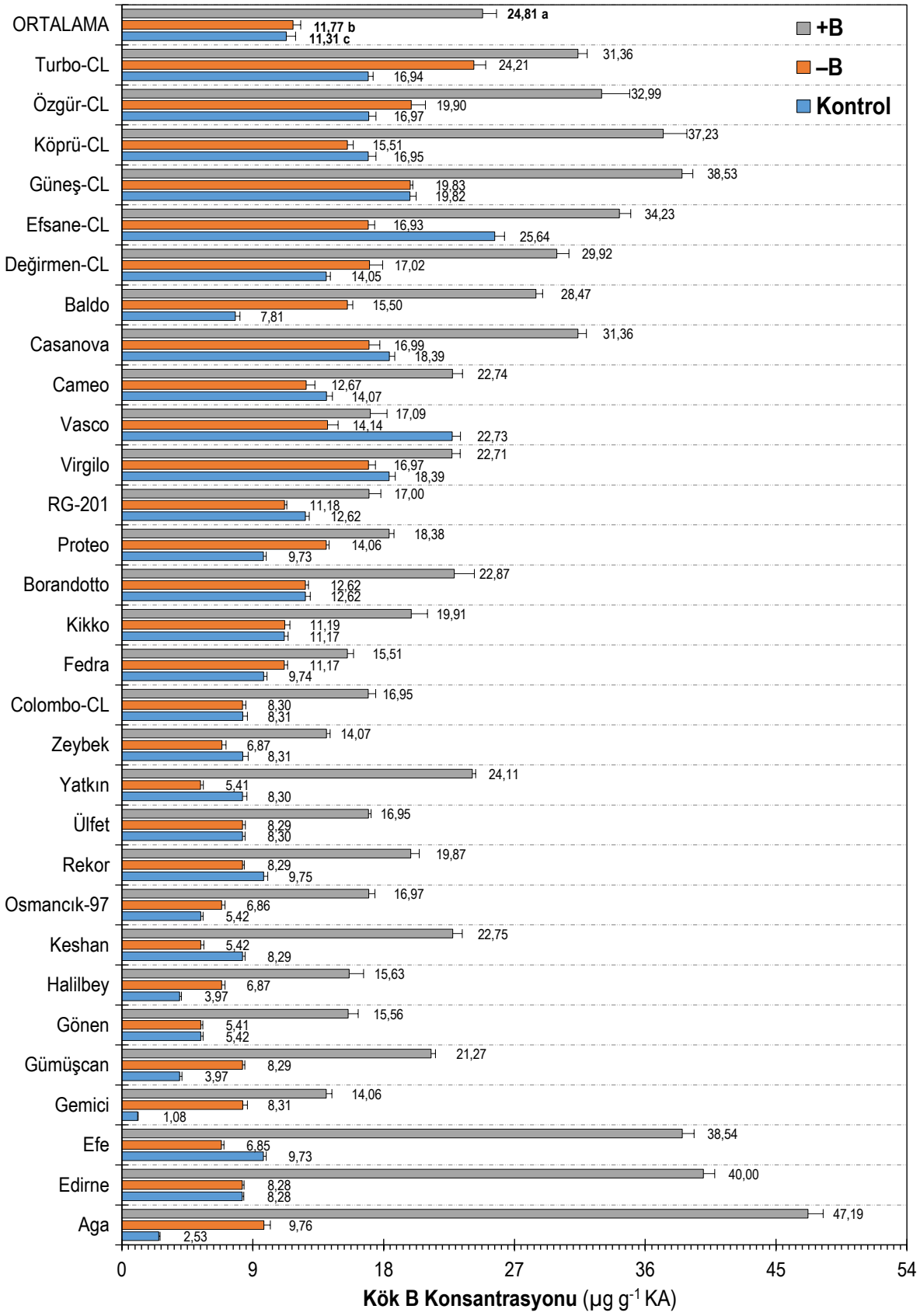
B-toksisitesi uygulaması ile kontrole göre gövde B konsantrasyonunda en fazla artış belirlenen çeşit Aga (20.24 kat) olarak bulunmuş ve bu çeşidi sırası ile Gemici (18.89 kat), Efe (17.56 kat), Gönen (16.87 kat), Keshan (16.45 kat), Gümüşcan (15.66 kat), Ülfet (15.11 kat), Edirne (14.92 kat), Osmancık-97 (14.85 kat), Halilbey (14.84 kat), Cameo (14.80 kat), Rekor (14.74 kat), Proteo (14.31 kat), Casanova (14.15 kat), Borandotto (14.04 kat), Colombo-CL (13.28 kat), Virgilo (13.21 kat), RG-201 (12.78 kat), Vasco (12.32 kat), Kikko (11.54 kat), Baldo (10.90 kat), Yatkın (10.65 kat), Fedra (10.64 kat), Köprü-CL (9.99 kat), Değirmen-CL (8.87 kat), Efsane-CL (8.33 kat), Zeybek (8.29 kat), Turbo-CL (8.17 kat), Güneş-CL (7.57 kat) ve Özgür-CL (7.28 kat) çeşitleri takip etmiştir. Kontrole göre B-toksisitesi koşulları ile bahsi geçen çeşitlerin gövde B konsantrasyonlarında belirlenen bu artışlar önemli bulunmuştur (Şekil 19).

Çeltik çeşitleri birlikte değerlendirildiğinde; kontrole göre (11.31 $\mu g\ g^{-1}$) hem B-noksanlığı hem de B-toksisitesi uygulamaları ile ortalama kök B konsantrasyonlarında önemli artışlar (sırasıyla %4.08 ve 2.19 kat) tespit edilmiştir (Şekil 20).

B-noksanlığı ile kontrole göre Vasco (%37.79), Yatkın (%34.80), Keshan (%34.58), Efsane-CL (%33.95) ve Efe (%29.64) çeşitlerinin kök B konsantrasyonlarında belirlenen azalmalar önemli bulunurken, Zeybek (%17.31), Rekor (%15.01), RG-201 (%11.39), Cameo (%9.94), Köprü-CL (%8.48), Virgilo (%7.72), Casanova (%7.61), Ülfet (%0.10), Colombo-CL (%0.07) ile Gönen (%0.04) çeşitlerinin kök B konsantrasyonlarında belirlenen azalmaların ise önemli olmadığı tespit edilmiştir (Şekil 20). Buna karşın, kontrole göre B-noksanlığı koşulları ile Gemici (6.66 kat), Aga (2.86 kat), Gümüşcan (1.09 kat), Baldo (%98.62), Halilbey (%72.92), Proteo (%44.55), Turbo-CL (%42.85), Osmancık-97 (%26.67), Değirmen-CL (%21.20) ve Özgür-CL (%17.27) çeşitlerinin kök B konsantrasyonlarında önemli artışlar saptanırken, Fedra (%14.64), Kikko (%0.22), Güneş-CL (%0.03), Edirne (%0.01) ve Borandotto (%0.01) çeşitlerinin kök B konsantrasyonlarında belirlenen artışlar ise önemli bulunmamıştır (Şekil 20).



Şekil 19. B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin gövde B konsantrasyonlarına etkisi



Şekil 20. B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin kök B konsantrasyonlarına etkisi

B-toksisitesi uygulaması ile kontrole göre Aga (17.68 kat), Gemici (11.97 kat), Gümüşcan (4.35 kat), Edirne (3.83 kat), Efe (2.96 kat), Halilbey (2.94 kat), Baldo (2.65 kat), Osmancık-97 (2.13 kat), Yatkın (1.90 kat), Gönen (1.87 kat), Keshan (1.74 kat), Köprü-CL (1.20 kat), Değirmen-CL (1.13 kat), Ülfet (1.04), Colombo-CL (1.04 kat), Rekor (1.04 kat), Özgür-CL (%94.42), Güneş-CL (%94.36), Proteo (%88.94), Turbo-CL (%85.07), Borandotto (%81.20), Kikko (%78.26), Casanova (%70.54), Zeybek (%69.23), Cameo (%61.61), Fedra (%59.14), RG-201 (%34.69), Efsane-CL (%33.49) ve Virgilo (%23.49) çeşitlerinin kök B konsantrasyonlarında önemli artışlar belirlenmiştir (Şekil 20). Buna karşın, kontrole göre B-toksisitesi koşulları ile Vasco çeşidinin kök B konsantrasyonunda ise önemli bir azalma (%24.79) tespit edilmiştir (Şekil 20).

4.4.2. Gövde ve Kök Bor Alımları

B-noksanlığı ve B-toksisitesinin çeltik çeşitlerinin gövde ve kök B alımlarına etkisine dair varyans analiz sonuçları Tablo 9'da, çeşitlerin gövde B alımlarına ait ortalamalar Şekil 21'de ve çeşitlerin kök B alımlarına ait ortalamalar ise Şekil 22'de sunulmuştur. Tablo 9 ile Şekil 21 ve 22 birlikte değerlendirildiğinde; çeltik çeşitlerine uygulanan B-noksanlığı ve B-toksisitesinin gövde ve kök B alımlarına çeşitlerin ($p \leq 0.001$), B uygulamalarının ($p \leq 0.001$) ve çeşit x bor interaksiyonunun ($p \leq 0.001$) etkilerinin istatistiki olarak önemli olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 9

Bor noksanlığı ve fazlalığının çeltik çeşitlerinin gövde ve kök B alımına etkisine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	**Gövde B Alımı**		**Kök B Alımı**	
		Kareler Toplamı	F Değeri	Kareler Toplamı	*F* Değeri
Genel	269	3696954	-	3827.2	-
Çeşit (Ç)	29	87690	20.9***	1538.6	109.4***
Bor (B)	2	3431191	11803.5***	1092.7	1126.0***
Ç×B İnteraksiyonu	58	151970	18.1***	1108.6	39.4***
Hata	180	26103	-	87.3	-

Çeltik çeşitleri birlikte değerlendirildiğinde; kontrole göre (21.13 µg 10 bitki^{-1}) B-noksanlığı uygulaması ile çeşitlerin ortalama gövde B alımında önemli bir azalma (%35.21)

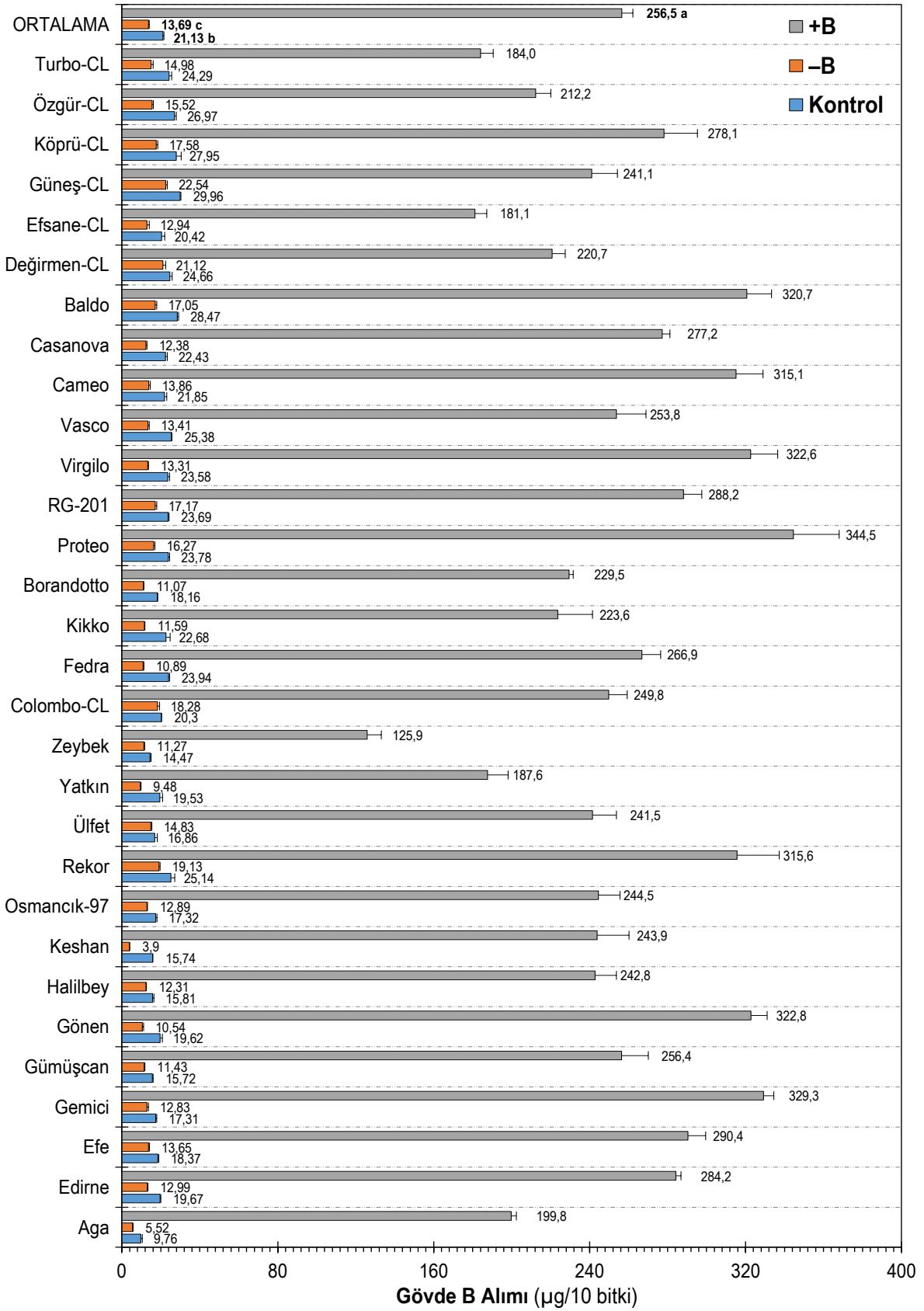
belirlenirken, buna karşın B-toksisitesi koşulları ile çeşitlerin ortalama gövde B alımında ise 11.14 kat seviyesinde önemli bir artış tespit edilmiştir (Şekil 21).

B-noksanlığı ile kontrole göre gövde B alımında en fazla azalma gözlenen çeşit Keshan (%75.22) olurken, bu çeşidi sırası ile Fedra (%54.51), Yatkın (%51.46), Kikko (%48.90), Vasco (%47.16), Gönen (%46.28), Casanova (%44.81), Virgilo (%43.55), Aga (%43.44), Özgür-CL (%42.45), Baldo (%40.11), Borandotto (%39.04), Turbo-CL (%38.33), Köprü-CL (%37.10), Efsane-CL (%36.63), Cameo (%36.57), Edirne (%33.96), Proteo (%31.58), RG-201 (%27.52), Gümüşcan (%27.29), Gemici (%25.88), Efe (%25.69), Osmancık-97 (%25.58), Güneş-CL (%24.77), Rekor (%23.91), Halilbey (%22.14), Zeybek (%22.11), Değirmen-CL (%14.36), Ülfet (%12.04) ve Colombo-CL (%9.95) çeşitleri takip etmiştir (Şekil 21). Kontrole göre B-noksanlığı uygulaması ile bahsi geçen çeşitlerin gövde B alımlarında belirlenen bu azalmalar önemli bulunmamıştır (Şekli 21).

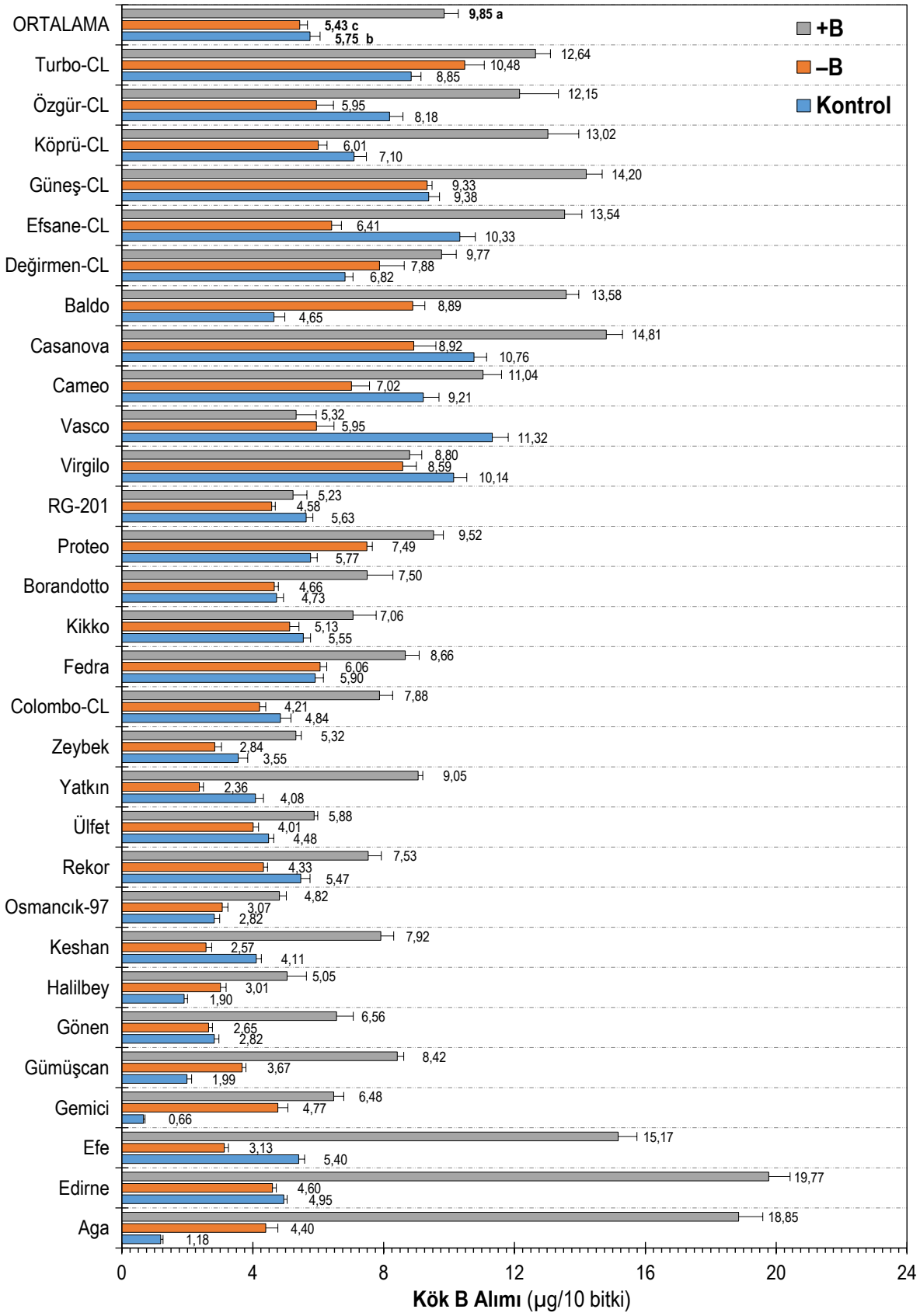
B-toksisitesi uygulaması ile kontrole göre gövde B alımında en fazla artış gözlenen çeşit Aga (19.47 kat) olarak belirlenmiş ve bu çeşidi sırası ile Gemici (18.02 kat), Gönen (15.45 kat), Gümüşcan (15.31 kat), Efe (14.81 kat), Keshan (14.49 kat), Halilbey (14.36 kat), Proteo (13.49 kat), Edirne (13.45 kat), Cameo (13.42 kat), Ülfet (13.32 kat), Osmancık-97 (13.12 kat), Virgilo (12.68 kat), Borandotto (11.64 kat), Rekor (11.56 kat), Casanova (11.36 kat), Colombo-CL (11.30 kat), RG-201 (11.16 kat), Baldo (10.26 kat), Fedra (10.15 kat),Vasco (9.00 kat), Köprü-CL (8.95 kat), Kikko (8.86 kat), Yatkın (8.61 kat), Değirmen-CL (7.95 kat), Efsane-CL (7.87 kat), Zeybek (7.70 kat), Güneş-CL (7.05 kat), Özgür-CL (6.87 kat) ve Turbo-CL (6.58 kat) çeşitleri takip etmiş ve kontrole göre B-toksisitesi koşulları ile bahsi geçen çeşitlerin gövde B alımlarında belirlenen bu artışlar önemli bulunmuştur (Şekil 21).

Çeltik çeşitleri birlikte değerlendirildiğinde; kontrole göre (5.75 µg 10 bitki^{-1}) B-noksanlığı uygulaması ile çeşitlerin ortalama kök B alımında belirlenen azalma (%5.58) ve B-toksisitesi koşulları ile çeşitlerin ortalama kök B alımında belirlenen artış (%71.24) önemli olarak tespit edilmiştir (Şekil 22).

B-noksanlığı koşulları ile kontrole göre Vasco (%47.46), Efe (%42.14), Yatkın (%42.13), Efsane-CL (%37.91), Keshan (%37.50), Özgür-CL (%27.29), Cameo (%23.82),



Şekil 21. B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin gövde B alımlarına etkisi



Şekil 22. B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin kök B alımlarına etkisi

Rekor (%20.88), Zeybek (%20.02), RG-201 (%18.65), Casanova (%17.08), Köprü-CL (%15.37) ile Virgilo (%15.30) çeşitlerinin kök B alımlarında önemli azalmalar saptanırken, Colombo-CL (%13.11), Ülfet (%10.52), Kikko (%7.54), Edirne (%7.01), Gönen (%6.17), Borandotto (%1.48) ve Güneş-CL (%0.52) çeşitlerinin kök B alımlarında belirlenen azalmalar ise önemli bulunmamıştır (Şekil 22). Buna karşın, kontrole göre B-noksanlığı koşulları ile Gemici (6.23 kat), Aga (2.72 kat), Baldo (%91.12), Gümüşcan (%84.90), Halilbey (%58.63), Proteo (%29.92) ve Turbo-CL (%18.51) çeşitlerinin kök B alımlarında önemli artışlar tespit edilirken, Değirmen-CL (%15.45), Osmancık-97 (%8.68) ve Fedra (%2.63) çeşitlerinin kök B alımlarında belirlenen artışların ise önemli olmadığı saptanmıştır (Şekil 22).

B-toksisitesi uygulaması ile kontrole göre kök B alımında en fazla artış gözlenen çeşit Aga (14.94 kat) olarak belirlenmiş, bu çeşidi sırası ile Gemici (8.83 kat), Gümüşcan (3.24 kat), Edirne (3.00 kat), Baldo (1.92 kat), Efe (1.81 kat), Halilbey (1.66 kat), Gönen (1.32 kat), Yatkın (1.22 kat), Keshan (%92.74), Köprü-CL (%83.44), Osmancık-97 (%70.57), Proteo (%65.20), Colombo-CL (%62.59), Borandotto (%58.71), Güneş-CL (%51.34), Zeybek (%49.63), Özgür-CL (%48.56), Fedra (%46.71), Değirmen-CL (%43.19), Turbo-CL (%42.93), Rekor (%37.62), Casanova (%37.62), Ülfet (%31.19), Efsane-CL (%31.06), Kikko (%27.29) ve Cameo (%19.80) çeşitleri takip etmiş ve kontrole göre B-toksisitesi koşulları ile kök B alımlarında belirlenen bu artışlar önemli bulunmuştur (Şekil 22). Bununlabirlikte, kontrole göre B-toksisitesi koşulları ile Vasco (%52.99) ve Virgilo (%13.22) çeşitlerinin kök B alımlarında önemli azalmalar belirlenirken, RG-201 çeşidinin kök B alımında saptanan azalma (%7.09) ise önemli bulunmamıştır (Şekil 22).

B-noksanlığı koşullarında bitkilerin hücre membranlarında gerçekleşen enzim aktivitelerinin azalmasından kaynaklı B alımlarında olumsuz etkilerin olabileceği bildirilmiştir (Brown vd., 2002). Karahan ve Çıkılı (2021), B-noksan koşullarda yetiştirilen dokuz sorgum çeşidinin gövde ve kök B konsantrasyonlarında azalma tespit etmişlerdir. Harmankaya vd. (2008), B-noksan koşullarda yetişen fasulye genotiplerinin yaprak B konsantrasyonunda azalma tespit etmişlerdir. Soylu vd. (2005), makarnalık ve ekmeklik buğday çeşitlerinin B-noksan koşullarda yetiştiğinde bayrak yapraklarındaki B miktarının azaldığını bildirmişlerdir. Ali vd. (2015b), B-noksanlığında tütün çeşitlerinin B konsantrasyonlarında azalma belirlemişlerdir. Ahmed vd. (2011) B-noksan koşullardan kaynaklı pamuk bitkisinin bor alımında azalmalar tespit etmişlerdir.

B-toksisitesi koşullarında gereğinden fazla B hücre duvarının işlevinde bozulmaya sebep olmakta ve bitkilerde B alımı ve taşınmasını olumsuz etkilemektedir (Kacar, 2019). Yau (2000), iki arpa çeşidine (Galleon ve Harmal) uygulanan B dozları sonucunda; Galleon çeşidinin Harmal çeşidine göre B'u daha az aldığını, bundan dolayı köklerde B miktarının daha düşük olduğunu ve böylece Harmal çeşidinin kontrole göre daha iyi geliştiğini tespit etmiştir. Harite (2008), sekiz pamuk çeşidine uygulanan artan B düzeyleriyle B-toksisitesinden zarar görmüş yaprak sayısı, kök, gövde ve yaprakta B içeriklerinin arttığını ancak yaş ağırlık, bitki boyu ve yaprak sayılarının ise azaldığını, Gürel Bey ve Gossipolsüz Nazilli çeşitlerinin B toksisitesine dayanıklı ve Nazilli çeşidinin ise hassas olarak belirlendiğini rapor etmiştir. Cervilla vd. (2008), iki domates çeşidinin B-toksik koşullarda yetişmesi ile toplam B konsantrasyonlarının arttığını tespit etmişlerdir. Palta ve Gezgin (2011), 13 adet at dişi melez mısır çeşidi incelendiğinde genel olarak B toksisitesine duyarlılığı düşük olan çeşitlerin yüksek olan çeşitlere göre daha fazla B içerdiklerini saptamışlardır. Nasim vd. (2015), B-toksik koşullarda iki arpa çeşidinin sürgün ve kök B konsantrasyonlarında artışlar belirlemişlerdir. Koohkan ve Maftoun (2015), B-toksik koşullarda uygulanan B'nin çeltik bitkisinin B konsantrasyonunu arttırdığını bildirmişlerdir. Karahan ve Çıkılı (2021), B-toksik koşullarda yetiştirilen dokuz sorgum çeşidinin gövde ve kök B konsantrasyonlarında artışlar tespit etmişlerdir.

4.5. Bor Noksanlığı ve Toksisitesinin Çeltik Çeşitlerinin Gövde ve Kök Alkali Metal Konsantrasyonlarına Etkisi

4.5.1. Gövde ve Kök Potasyum Konsantrasyonları

B-noksanlığı ve B-toksisitesinin çeltik çeşitlerinin gövde ve kök K konsatrasyonlarına etkisine dair varyans analiz sonuçları Tablo 11'de, çeşitlerin gövde K konsantrasyonlarına ait ortalamalar Şekil 23'de ve çeşitlerin kök K konsantrasyonlarına ait ortalamalar ise Şekil 24'da sunulmuştur. Tablo 10 ile Şekil 23 ve 24 birlikte değerlendirildiğinde; çeltik çeşitlerine uygulanan B-noksanlığı ve B-toksisitesinin gövde ve kök K konsantrasyonlarına çeşitlerin ($p \leq 0.001$), B uygulamalarının ($p \leq 0.001$) ve çeşit x bor interaksiyonunun ($p \leq 0.001$) etkilerinin istatistiki olarak önemli olduğu tespit edilmiştir.

Çeltik çeşitleri birlikte değerlendirildiğinde; kontrole göre (21.84 mg g^{-1} KA) B-noksanlığı uygulaması ile çeşitlerin ortalama gövde K konsantrasyonunda önemli bir azalma (%1.92) ve B-toksisitesi koşulları ile çeşitlerin ortalama gövde K konsantrasyonunda önemli bir artış (%3.11) saptanmıştır (Şekil 23).

Tablo 10

Bor noksanlığı ve fazlalığının çeltik çeşitlerinin gövde ve kök K konsantrasyonlarına etkisine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	**Gövde K Konsantrasyonu**		**Kök K Konsantrasyonu**	
		Kareler Toplamı	*F* Değeri	Kareler Toplamı	*F* Değeri
Genel	269	1119.2	-	1075.7	-
Çeşit (Ç)	29	667.1	20.76***	673.0	37.59***
Bor (B)	2	55.9	25.23***	93.7	75.88***
Ç×B İnteraksiyonu	58	196.7	3.06***	197.9	5.53***
Hata	180	199.5	-	111.1	-

B-noksanlığı ile kontrole göre Edirne (%14.21), Özgür-CL (%13.84), Güneş-CL (%11.81) ve Keshan (%9.09) çeşitlerinin gövde K konsantrasyonlarında önemli azalmalar belirlenirken, Borandotto (%7.24), RG-201 (%6.66), Efe (%6.33), Ülfet (%6.07), Halilbey (%5.07), Cameo (%4.16), Osmancık-97 (%3.93), Rekor (%3.12), Fedra (%3.08), Yatkın (%2.20), Baldo (%2.07), Gönen (%1.04), Aga (%0.82), Virgilo (%0.34) ve Gemici (%0.05) çeşitlerinin gövde K konsantrasyonlarında belirlenen azalmalar ise önemli bulunmamıştır (Şekil 23). Buna karşın, kontrole göre B-noksanlığı koşulları ile Casanova (%10.96), Vasco (%10.71) ve Turbo-CL (%9.76) çeşitlerinin gövde K konsantrasyonlarında önemli artışlar tespit edilirken, Köprü-CL (%6.41), Efsane-CL (%5.72), Değirmen-CL (%3.31), Proteo (%1.54), Kikko (%1.11), Gümüşcan (%1.00), Colombo-CL (%0.20) ve Zeybek (%0.08) çeşitlerinin gövde K konsantrasyonlarında belirlenen artışlar ise önemli bulunmamıştır (Şekil 23).

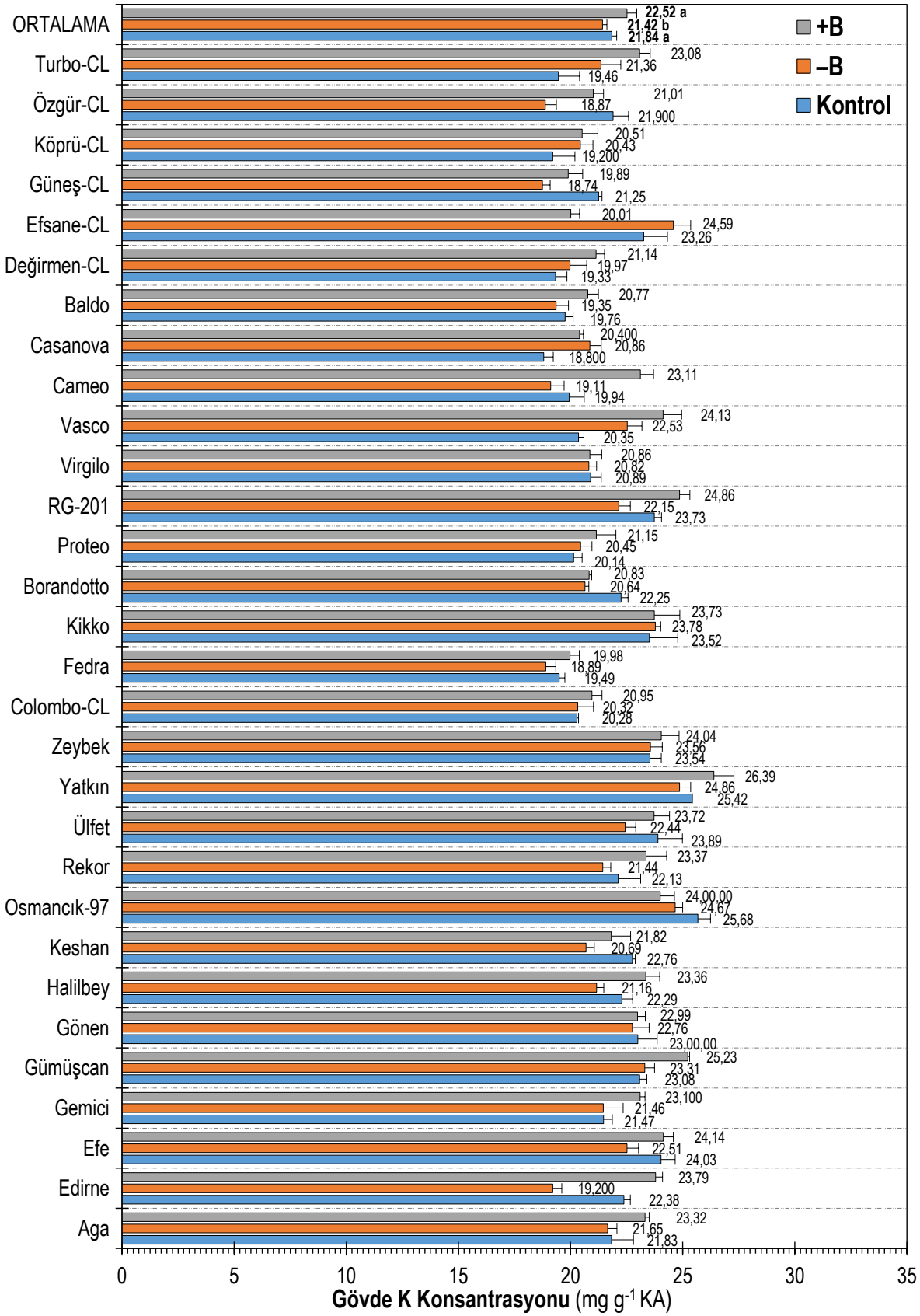
Kontrole göre B-toksisitesi uygulaması ile Efsane-CL çeşidinin gövde K konsantrasyonunda önemli bir azalma (%13.97) belirlenken, Osmancık-97 (%6.54), Güneş-CL (%6.40), Borandotto (%6.38), Keshan (%4.13), Özgür-CL (%4.06), Ülfet (%0.71), Virgilo (%0.14) ve Gönen (%0.04) çeşitlerinin gövde K konsantrasyonlarında belirlenen azalmalar ise önemli bulunmamıştır (Şekil 23). Ayrıca, kontrole göre B-toksik koşullarda Turbo-CL (%18.60), Vasco (%18.57), Cameo (%15.90), Değirmen-CL (%9.36) ve Gümüşcan (%9.32) çeşitlerinin gövde K konsantrasyonlarında önemli artışlar tespit edilirken, Casanova (%8.51), Gemici (%7.59), Aga (%6.83), Köprü-CL (%6.82), Edirne (%6.30), Rekor (%5.60), Baldo (%5.11), Proteo (%5.01), Halilbey (%4.80), RG-201 (%4.76), Yatkın (%3.82), Colombo-

CL (%3.30), Fedra (%2.51), Zeybek (%2.12), Kikko (%0.89) ve Efe (%0.46) çeşitlerinin gövde K konsantrasyonlarında tespit edilen artışlar ise önemli bulunmamıştır (Şekil 23).

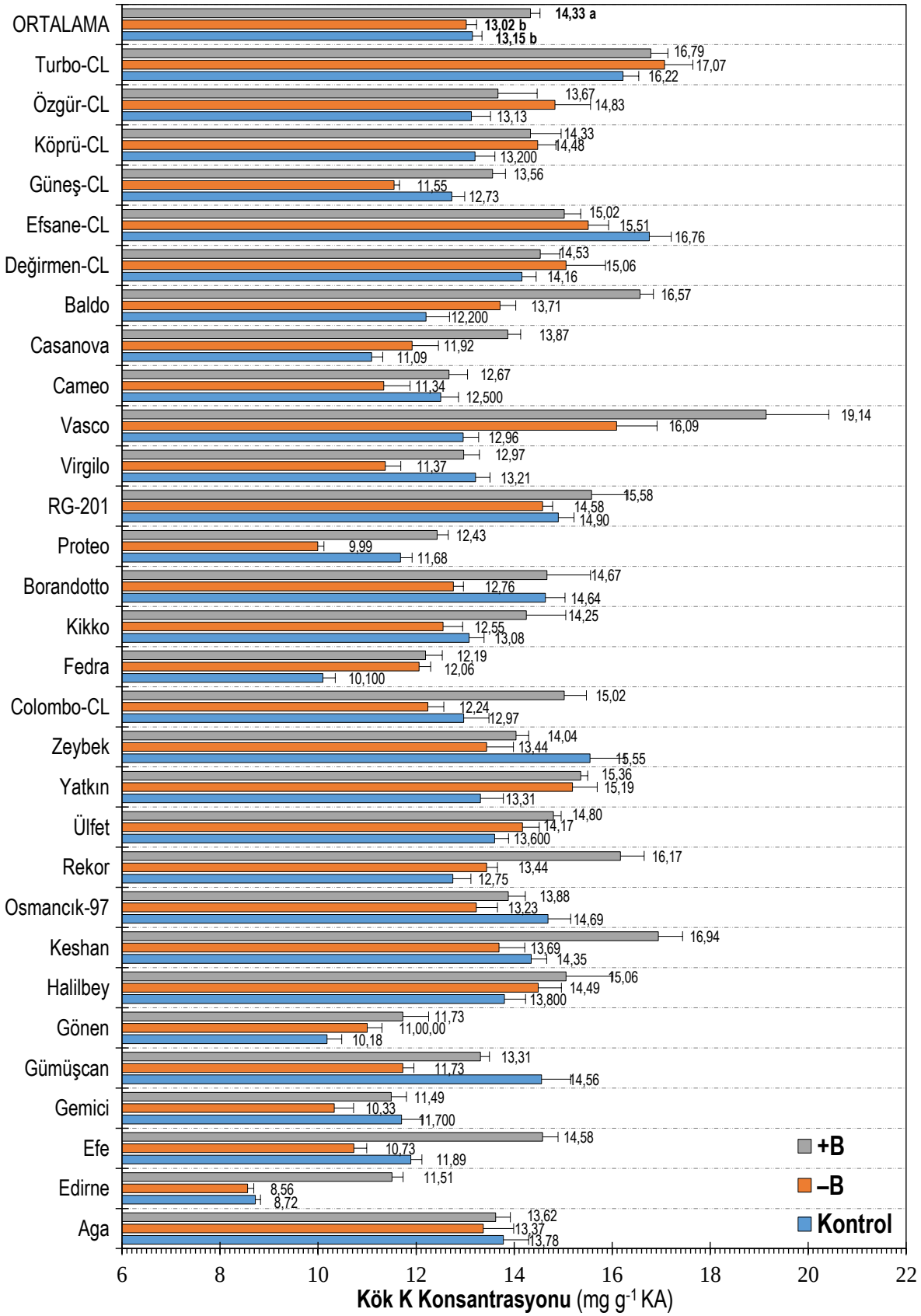
Çeltik çeşitleri birlikte değerlendirildiğinde; kontrole göre (13.15 mg g^{-1} KA) B-noksanlığı uygulaması ile çeşitlerin ortalama kök K konsantrasyonunda önemli olmayan bir azalma (%0.99) ve B-toksisitesi koşulları ile çeşitlerin ortalama kök K konsantrasyonunda önemli bir artış (%8.97) tespit edilmiştir (Şekil 24).

B-noksanlığı ile kontrole göre Gümüşcan (%19.44), Proteo (%14.47), Virgilo (%13.93), Zeybek (%13.57), Borandotto (%12.84), Gemici (%11.71) ve Osmancık-97 (%9.94) çeşitlerinin kök K konsantrasyonlarında önemli azalmalar tespit edilirken, Efe (%9.76), Cameo (%9.28), Güneş-CL (%9.27), Efsane-CL (%7.46), Colombo-CL (%5.63), Keshan (%4.60), Kikko (%4.05), Aga (%2.98), RG-201 (%2.15) ve Edirne (%1.83) çeşitlerinin kök K konsantrasyonlarında belirlenen azalmaların ise önemli olmadığı belirlenmiştir (Şekil 24). Buna karşın, kontrole göre B-noksanlığı koşulları ile Vasco (%24.15), Fedra (%19.41), Yatkın (%14.15), Özgür-CL (%12.95), Baldo (%12.38) ve Köprü-CL (%9.70) çeşitlerinin kök K konsantrasyonlarında önemli artışlar belirlenirken, Gönen (%8.06), Casanova (%7.48), Değirmen-CL (%6.36), Rekor (%5.41), Turbo-CL (%5.24), Halilbey (%5.00) ve Ülfet (%4.19) çeşitlerinin kök K konsantrasyonlarında belirlenen ise önemli olmadığı saptanmıştır (Şekil 24).

Kontrole göre B-toksisitesi uygulaması ile Efsane-CL (%10.38) ve Zeybek (%9.71) çeşitlerinin kök K konsantrasyonlarında belirlenen azalmalar önemli bulunurken, Gümüşcan (%8.59), Osmancık-97 (%5.51), Virgilo (%1.82), Gemici (%1.79) ve Aga (%1.16) çeşitlerinin kök K konsantrasyonlarında belirlenen azalmaların ise önemli olmadığı saptanmıştır (Şekil 24). Ayrıca, kontrole göre B-toksik koşullarda Vasco (%47.69), Baldo (%35.82), Edirne (%32.00), Rekor (%26.82), Casanova (%25.07), Efe (%22.62), Efe (%22.62), Fedra (%20.69), Keshan (%18.05), Colombo-CL (%15.81), Yatkın (%15.40) ve Gönen (%15.23) çeşitlerinin kök K konsantrasyonlarında önemli artışlar tespit edilirken, Halilbey (%9.13), Kikko (%8.94), Ülfet (%8.82), Köprü-CL (%8.56), Güneş-CL (%6.52), Proteo (%6.42), RG-201 (%4.56), Özgür-CL (%4.11), Turbo-CL (%3.51), Değirmen-CL (%2.61), Cameo (%1.36) ve Borandotto (%0.20) çeşitlerinin kök K konsantrasyonlarında belirlenen artışlar ise önemli bulunmamıştır (Şekil 24).



Şekil 23. B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin gövde K konsatrasyonlarına etkisi



Şekil 24. B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin kök K konsatrasyonlarına etkisi

4.5.2. Gövde ve Kök Kalsiyum Konsantrasyonları

B-noksanlığı ve B-toksisitesinin çeltik çeşitlerinin gövde ve kök Ca konsantrasyonlarına etkisine dair varyans analiz sonuçları Tablo 11'de, çeşitlerin gövde Ca konsantrasyonlarına ait ortalamalar Şekil 25'de ve çeşitlerin kök Ca konsantrasyonlarına ait ortalamalar ise Şekil 26'da sunulmuştur. Tablo 11 ile Şekil 25 ve 26 birlikte değerlendirildiğinde; çeltik çeşitlerine uygulanan B-noksanlığı ve B-toksisitesinin gövde ve kök Ca konsantrasyonlarına çeşitlerin ($p \leq 0.001$), B uygulamalarının ($p \leq 0.001$) ve çeşit x bor interaksiyonunun ($p \leq 0.001$) etkilerinin istatistiki olarak önemli olduğu saptanmıştır.

Çeltik çeşitleri birlikte değerlendirildiğinde; kontrole göre (3.59 mg g^{-1} KA) B-noksanlığı uygulaması ile çeşitlerin ortalama gövde Ca konsantrasyonunda önemli bir azalma (%1.84) ve B-toksisitesi koşulları ile çeşitlerin ortalama gövde Ca konsantrasyonunda önemli bir artış (%3.99) tespit edilmiştir (Şekil 25).

Tablo 11
Bor noksanlığı ve fazlalığının çeltik çeşitlerinin gövde ve kök Ca konsantrasyonlarına etkisine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	**Gövde Ca Konsantrasyonu**		**Kök Ca Konsantrasyonu**	
		Kareler Toplamı	*F* Değeri	Kareler Toplamı	*F* Değeri
Genel	269	48.22	-	7.68	-
Çeşit (Ç)	29	33.68	40.58***	4.91	28.50***
Bor (B)	2	2.05	35.88***	0.30	25.51***
Ç×B İnteraksiyonu	58	7.34	4.42***	1.40	4.06***
Hata	180	5.15	-	1.07	-

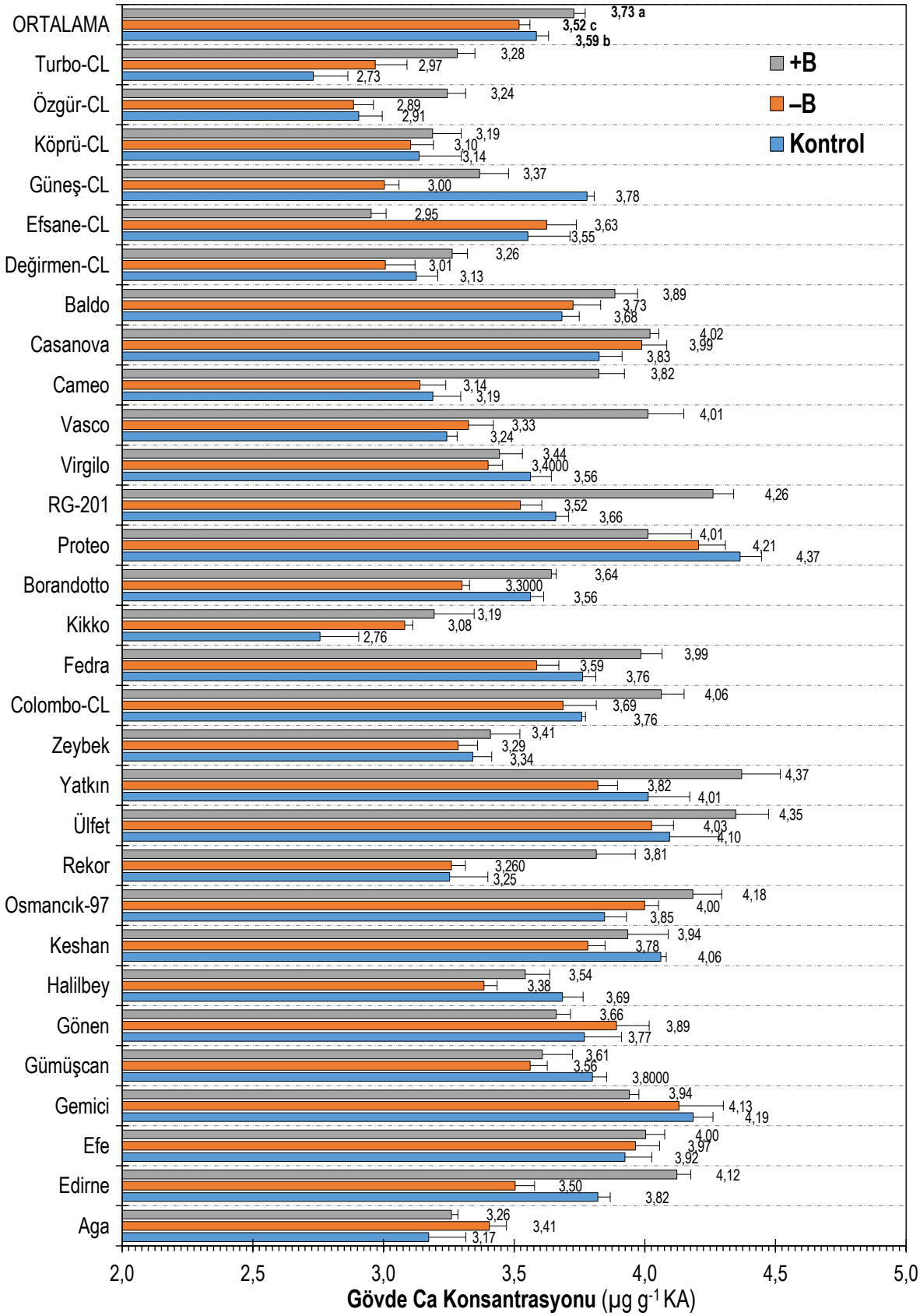
B-noksanlığı ile kontrole göre Güneş-CL (%20.53), Halilbey (%8.17) ve Edirne (%8.27) çeşitlerinin gövde Ca konsantrasyonlarında önemli azalmalar tespit edilirken, Borandotto (%7.36), Keshan (%6.87), Gümüşcan (%6.29), Yatkın (%4.81), Fedra (%4.68), Virgilo (%4.55), Değirmen-CL (%3.81), RG-201 (%3.69), Proteo (%3.64), Colombo-CL (%1.92), Ülfet (%1.68), Zeybek (%1.68), Cameo (%1.57), Gemici (%1.29), Köprü-CL (%1.02) ve Özgür-CL (%0.69) çeşitlerinin gövde Ca konsantrasyonlarında belirlenen azalmaların ise önemli olmadığı saptanmıştır (Şekil 25). Buna karşın, kontrole göre B-noksanlığı koşulları ile Kikko çeşidinin gövde Ca konsantrasyonunda önemli bir artış (%11.75) belir-

lenirken, Turbo-CL (%8.68), Aga (%7.31), Casanova (%4.26), Osmancık-97 (%3.98), Gönen (%3.24), Vasco (%2.56), Efsane-CL (%2.06), Baldo (%1.14), Efe (%1.04) ve Rekor (%0.22) çeşitlerinin gövde Ca konsantrasyonlarında belirlenen artışların ise önemli olmadığı tespit edilmiştir (Şekil 25).

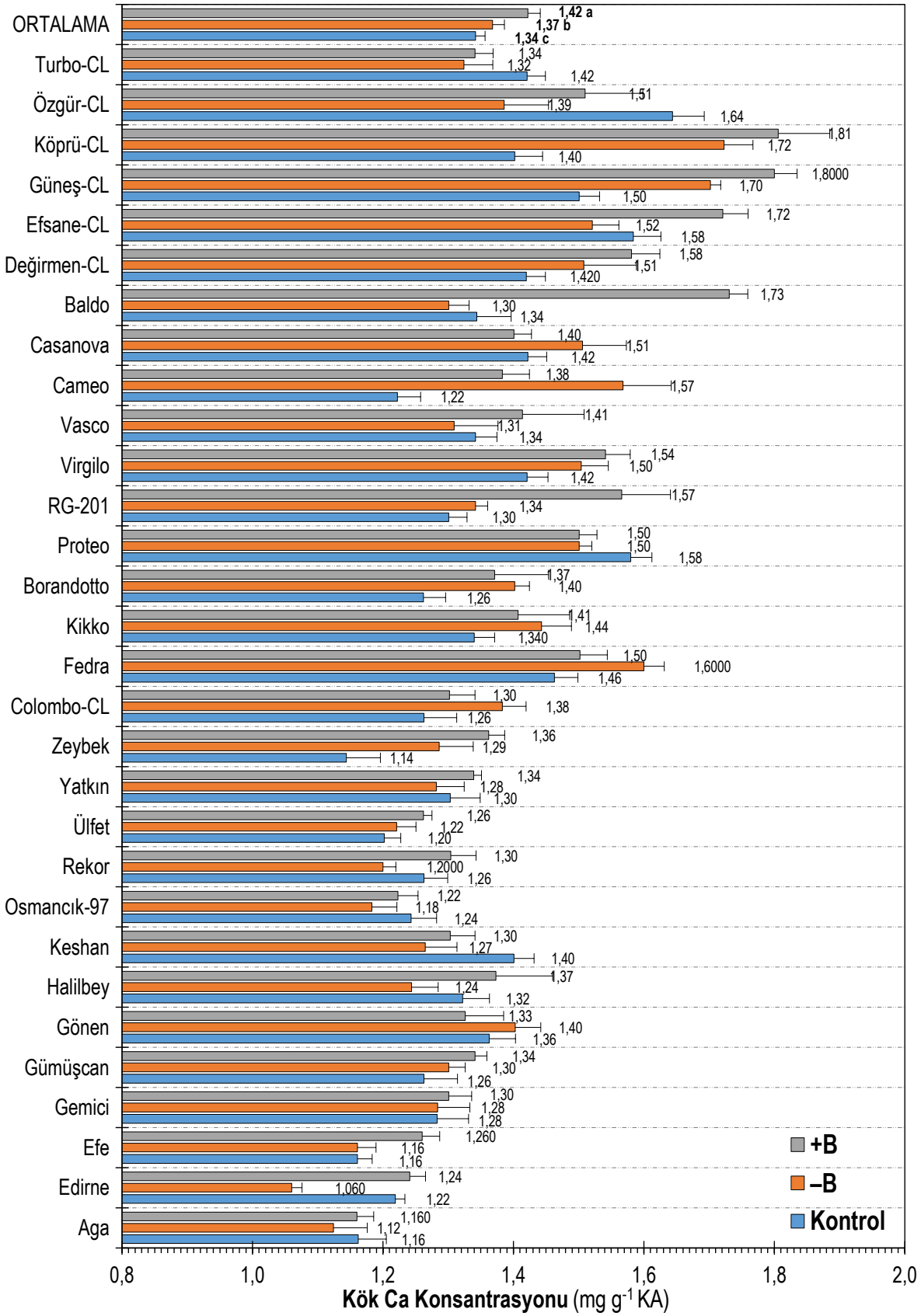
Kontrole göre B-toksisitesi uygulaması ile Efsane-CL (%16.86), Güneş-CL (%10.88) ve Proteo (%8.09) çeşitlerinin gövde Ca konsantrasyonunlarında önemli azalmalar belirlenken, Gemici (%5.83), Gümüşcan (%5.05), Halilbey (%3.85), Virgilo (%3.31), Keshan (%3.10) ve Gönen (%2.87) çeşitlerinin gövde Ca konsantrasyonlarında belirlenen azalmalar ise önemli bulunmamıştır (Şekil 25). Ayrıca, kontrole göre B-toksik koşullarda Vasco (%23.75), Turbo-CL (%20.21), Cameo (%19.91), Rekor (%17.25), RG-201 (%16.45), Kikko (%15.85), Özgür-CL (%11.67), Yatkın (%8.92), Osmancık-97 (%8.79), Colombo-CL (%8.09) ve Edirne (%7.93) çeşitlerinin gövde Ca konsantrasyonlarında önemli artışlar tespit edilirken, Ülfet (%6.18), Fedra (%5.93), Baldo (%5.51), Casanova (%5.10), Değirmen-CL (%4.38), Aga (%2.74), Borandotto (%2.25), Efe (%2.01), Zeybek (%2.00) ve Köprü-CL (%1.66) çeşitlerinin gövde Ca konsantrasyonlarında tespit edilen artışların ise önemli olmadığı belirlenmiştir (Şekil 25).

Çeltik çeşitleri birlikte değerlendirildiğinde; kontrole göre (1.34 mg g^{-1} KA) B-noksanlığı ve B-toksisitesi koşulları ile çeltik çeşitlerinin ortalama kök Ca konsantrasyonlarında önemli artışlar (sırasıyla %1.94 ve %5.96) saptanmıştır (Şekil 26).

B-noksanlığı ile kontrole göre Özgür-CL (%15.69), Edirne (%13.04), Keshan (%9.71) ve Halilbey (%5.90) çeşitlerinin kök Ca konsantrasyonlarında önemli azalmalar belirlenirken, Turbo-CL (%6.83), Proteo (%5.00), Rekor (%4.99), Osmancık-97 (%4.83), Efsane-CL (%3.98), Aga (%3.27), Baldo (%3.20), Vasco (%2.46) ve Yatkın (%1.61) çeşitlerinin kök Ca konsantrasyonlarında belirlenen azalmaların ise önemli olmadığı belirlenmiştir (Şekil 26). Buna karşın, kontrole göre B-noksanlığı koşulları ile Efe çeşidinin kök Ca konsantrasyonunda değişim gözlenmezken, Cameo (%28.31), Köprü-CL (%22.90) ve Güneş-CL (%13.39) çeşitlerinin kök Ca konsantrasyonlarında önemli artışlar belirlenmiş ve Zeybek (%12.41), Borandotto (%11.09), Colombo-CL (%9.50), Fedra (%9.36), Kikko (%7.69), Değirmen-CL (%6.20), Casanova (%5.91), Virgilo (%5.84), RG-201 (%3.15), Gümüşcan (%3.01), Gönen (%2.93), Ülfet (%1.58) ve Gemici (%0.08) çeşitlerinin ise kök Ca konsantrasyonlarında bulunan artışların önemli olmadığı tespit edilmiştir (Şekil 26).



Şekil 25. B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin gövde Ca konsatrasyonlarına etkisi



Şekil 26. B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin kök Ca konsatrasyonlarına etkisi

Kontrole göre B-toksisitesi uygulaması ile Özgür-CL çeşidinin kök Ca konsantrasyonunda belirlenen azalma (%8.15) önemli bulunurken, Keshan (%7.00), Turbo-CL (%5.63), Proteo (%5.00), Gönen (%2.71), Osmancık-97 (%1.61), Casanova (%1.48) ve Aga (%0.17) çeşitlerinin kök Ca konsantrasyonlarında belirlenen azalmaların ise önemli olmadığı saptanmıştır (Şekil 26). Ayrıca, kontrole göre B-toksik koşullarda Köprü-CL (%28.82), Baldo (%28.79), RG-201 (%20.37), Güneş-CL (%19.92), Zeybek (%19.06), Cameo (%13.18), Değirmen-CL (%11.34) ve Efsane-CL (%8.65) çeşitlerinin kök Ca konsantrasyonlarında önemli artışlar tespit edilirken, Borandotto (%8.64), Efe (%8.53), Virgilo (%8.44), Gümüşcan (%6.18), Vasco (%5.37), Kikko (%5.00), Ülfet (%4.99), Halilbey (%3.86), Rekor (%3.25), Colombo-CL (%3.09), Yatkın (%2.76), Fedra (%2.67), Edirne (%1.80) ve Gemici (%1.40) çeşitlerinin kök Ca konsantrasyonlarında belirlenen artışlar ise önemli bulunmamıştır (Şekil 26).

4.5.3. Gövde ve Kök Sodyum Konsantrasyonları

B-noksanlığı ve B-toksisitesinin çeltik çeşitlerinin gövde ve kök Na konsatrasyonlarına etkisine dair varyans analiz sonuçları Tablo 12'de, çeşitlerin gövde Na konsantrasyonlarına ait ortalamalar Şekil 27'de ve çeşitlerin kök Na konsantrasyonlarına ait ortalamalar ise Şekil 28'de sunulmuştur. Tablo 11 ile Şekil 27 ve 28 birlikte değerlendirildiğinde; çeltik çeşitlerine uygulanan B-noksanlığı ve B-toksisitesinin gövde ve kök Na konsantrasyonlarına çeşitlerin ($p \leq 0.001$), B uygulamalarının ($p \leq 0.001$) ve çeşit x bor interaksiyonunun ($p \leq 0.001$) etkilerinin istatistiki olarak önemli olduğu belirlenmiştir.

Çeltik çeşitleri birlikte değerlendirildiğinde; kontrole göre (1.78 mg g^{-1} KA) B-noksanlığı ve B-toksisitesi koşulları ile çeltik çeşitlerinin ortalama gövde Na konsantrasyonlarında önemli artışlar (sırasıyla %0.45 ve %10.71) tespit edilmiştir (Şekil 27).

B-noksanlığı ile kontrole göre Güneş-CL (%12.11) ve Edirne (%11.44) çeşitlerinin gövde Na konsantrasyonlarında önemli bir azalmalar belirlenirken, Rekor (%5.79), Borandotto (%4.50), Keshan (%4.25), RG-201 (%4.11), Yatkın (%3.65), Efe (%2.88), Gönen (%2.86), Fedra (%1.11), Köprü-CL (%0.38) ve Cameo (%0.36) çeşitlerinin gövde Na konsantrasyonlarında belirlenen azalmalar ise önemli bulunmamıştır (Şekil 27). Buna karşın, kontrole göre B-noksanlığı koşulları ile Halilbey, Değirmen-CL ve Özgür-CL çeşitlerinin

gövde Na konsantrasyonlarında değişim gözlenmezken, Gümüşcan ve Aga çeşitlerinin gövde Na konsantrasyonlarında önemli artışlar (sırasıyla %10.47 ve %10.31) tespit edilmiş ve Turbo-CL (%8.66), Zeybek (%7.01), Proteo (%5.88), Efsane-CL (%5.09), Virgilo (%4.59), Kikko (%4.35), Colombo-CL (%3.89), Casanova (%3.63), Gemici (%3.31), Osmancık-97 (%2.94), Ülfet (%1.93), Vasco (%0.12) ve Baldo (%0.06) çeşitlerinin gövde Na konsantrasyonlarında belirlenen artışlar ise önemli bulunmamıştır (Şekil 27).

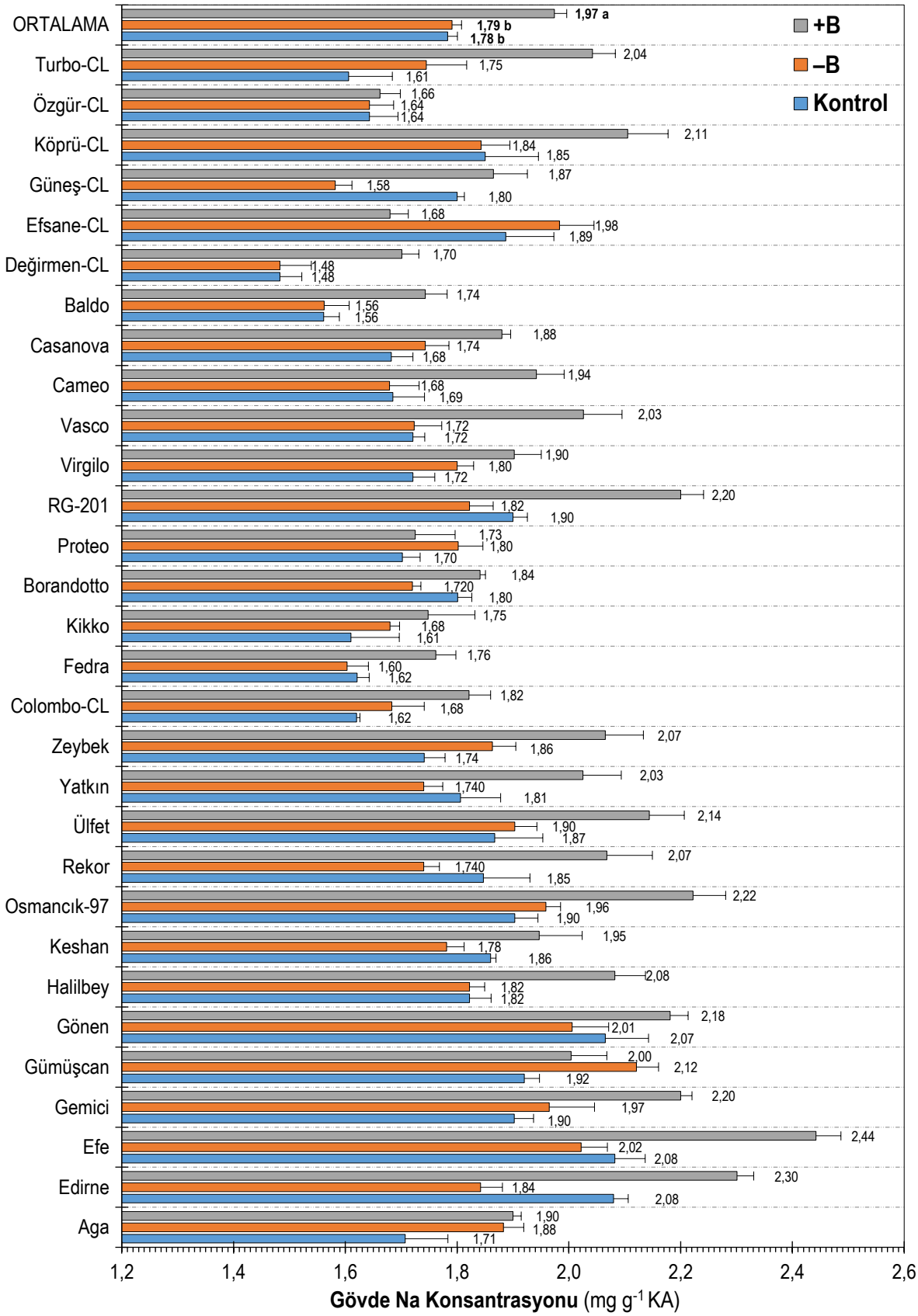
Tablo 12

Bor noksanlığı ve fazlalığının çeltik çeşitlerinin gövde ve kök Na konsantrasyonlarına etkisine ait varyans analiz sonuçları

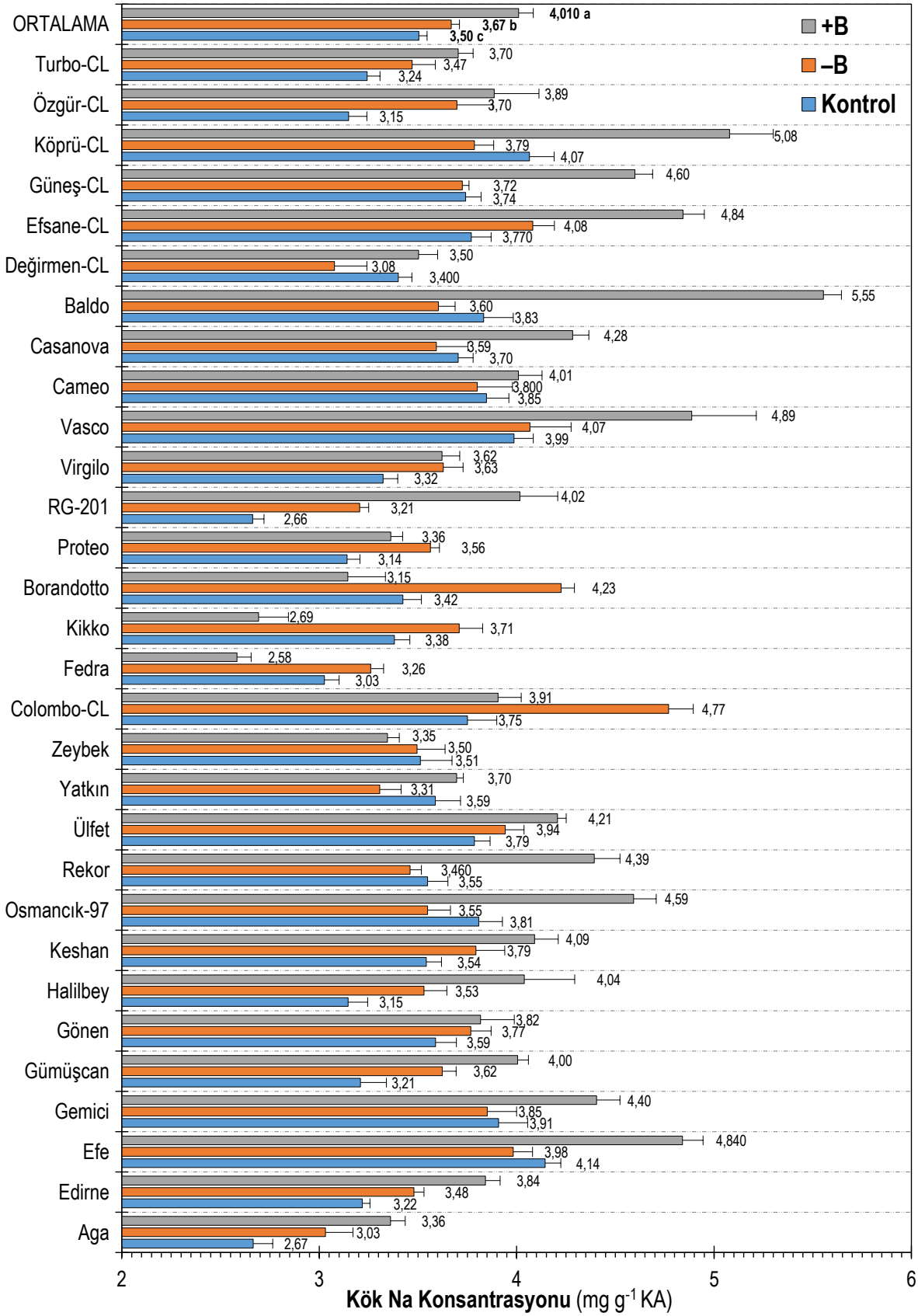
Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	**Gövde Na Konsantrasyonu**		**Kök Na Konsantrasyonu**	
		Kareler Toplamı	*F* Değeri	Kareler Toplamı	*F* Değeri
Genel	269	10.90	-	82.79	-
Çeşit (Ç)	29	5.90	26.45***	39.11	30.79***
Bor (B)	2	2.10	136.44***	12.00	137.02***
Ç×B İnteraksiyonu	58	1.51	3.39***	23.79	9.36***
Hata	180	1.38	-	7.88	-

Kontrole göre B-toksisitesi uygulaması ile Efsane-CL çeşidinin gövde Na konsantrasyonunda önemli bir azalma (%10.97) belirlenmiştir. Buna karşın, Turbo-CL (%27.15), Zeybek (%18.61), Vasco (%17.72), Efe (%17.29), Osmancık-97 (%16.76), RG-201 (%15.79), Gemici (%15.67), Cameo (%15.25), Ülfet (%14.84), Değirmen-CL (%14.70), Halilbey (%14.27), Köprü-CL (%13.78), Colombo-CL (%12.41), Yatkın (%12.13), Rekor (%11.97), Casanova (%11.77), Baldo (%11.66), Aga (%11.31), Edirne (%10.63) ve Virgilo (%10.52) çeşitlerinin gövde Na konsantrasyonlarında önemli artışlar tespit edilirken, Fedra (%8.70), Kikko (%8.57), Gönen (%5.62), Keshan (%4.68), Gümüşcan (%4.38), Güneş-CL (%3.61), Borandotto (%2.22), Proteo (%1.35) ve Özgür-CL (%1.16) çeşitlerinin gövde Na konsantrasyonlarında tespit edilen artışlar ise önemli bulunmamıştır (Şekil 27).

Çeltik çeşitleri birlikte değerlendirildiğinde; kontrole göre (3.50 mg g^{-1} KA) B-noksanlığı ve B-toksisitesi koşulları ile çeltik çeşitlerinin ortalama kök Na konsantrasyonlarında önemli artışlar (sırasıyla %4.71 ve %14.44) saptanmıştır (Şekil 28).



Şekil 27. B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin gövde Na konsatrasyonlarına etkisi



Şekil 28. B-noksanlığı (–B) ve B-toksisitesinin (+B) çeltik çeşitlerinin kök Na konsatrasyonlarına etkisi

B-noksanlığı ile kontrole göre Değirmen-CL (%9.50), Yatkın (%7.86), Köprü-CL (%6.86), Osmancık-97 (%6.83), Baldo (%5.98), Efe (%3.89), Casanova (%3.00), Rekor (%2.51), Gemici (%1.46), Cameo (%1.22), Zeybek (%0.48) ve Güneş-CL (%0.48) çeşitlerinin kök Na konsantrasyonlarında belirlenen azalmaların önemli olmadığı tespit edilmiştir (Şekil 28). Bununla birlikte, kontrole göre B-noksanlığı koşulları ile Colombo-CL (%27.17), Borandotto (%23.39), RG-201 (%20.35), Özgür-CL (%17.44), Aga (%13.73), Proteo (%13.44), Gümüşcan (%12.90) ve Halilbey (%12.24) çeşitlerinin kök Na konsantrasyonlarında önemli artışlar belirlenirken, Kikko (%9.73), Virgilo (%9.18), Efsane-CL (%8.28), Edirne (%8.11), Fedra (%7.77), Keshan (%7.11), Turbo-CL (%7.03), Gönen (%4.96), Ülfet (%4.12) ve Vasco (%2.03) çeşitlerinin ise kök Na konsantrasyonlarında saptanan artışların önemli olmadığı tespit edilmiştir (Şekil 28).

Kontrole göre B-toksisitesi uygulaması ile Kikko ve Fedra çeşitlerinin kök Na konsantrasyonunda belirlenen azalmalar (sırasıyla %20.33 ve %14.64) önemli bulunurken, Borandotto ve Zeybek çeşitlerinin kök Na konsantrasyonlarında belirlenen azalmaların (sırasıyla %8.15 ve %4.76) ise önemli olmadığı tespit edilmiştir (Şekil 28). Ayrıca, kontrole göre B-toksik koşullarda RG-201 (%50.81), Baldo (%44.94), Efsane-CL (%28.44), Halilbey (%28.35), Aga (%26.12), Köprü-CL (%24.92), Gümüşcan (%24.77), Rekor (%23.78), Özgür-CL (%23.44), Güneş-CL (%22.90), Vasco (%22.60), Osmancık-97 (%20.59), Edirne (%19.39), Efe (%16.80), Casanova (%15.66), Keshan (%15.50), Turbo-CL (%14.18), Gemici (%12.69) ve Ülfet (%11.09) çeşitlerinin kök Na konsantrasyonlarında önemli artışlar belirlenirken, Virgilo (%9.00), Proteo (%7.04), Gönen (%6.35), Cameo (%4.19), Colombo-CL (%4.13), Değirmen CL (%3.03) ve Yatkın (%3.01) çeşitlerinin kök Na konsantrasyonlarında belirlenen artışlar ise önemli bulunmamıştır (Şekil 28).

B-noksanlığı koşullarının ATPaz enzim aktivitesini etkilemek suretiyle köklerin besin elementi alımını ve hücre membranlarının iyon alımını etkilediği rapor edilmektedir (Cakmak ve Römheld, 1997). Hamideldin ve Hussein (2014), susam bitkisine yetişme süresi içinde farklı zamanlarda yapraklardan uygulanan B (20, 30 ve 40 ppm) dozlarının Fe, K, Mg ve P içeriklerini azalttığını, en düşük B dozu (20 ppm) Ca içeriğini artırırken en yüksek B dozunun (40 ppm) ise Cl ve Na içeriklerini artırdığını bildirmişlerdir. Dursun vd. (2009) B-noksan (0.1 mg kg^{-1}) topraklara sahip bir serada domates, biber ve hıyar bitkilerine uygulanan B'nin (2.0 kg ha^{-1}) bitkilerin N, Ca ve Mg konsantrasyonlarını azalttığını ancak K, P,

Fe, Mn, Zn ve Cu konsantrasyonlarını ise arttırdığını tespit etmişlerdir. Jankowski vd. (2016) B-noksan alanda (0.50 mg kg^{-1}) yapraktan B (0, 150 ve 300 g ha^{-1}) uygulanan kışlık yağlı tohum kolza bitkisinin tohumlarındaki Ca içeriğinin arttığını belirlemişlerdir. Ali vd. (2015b), B-noksan (0.65 mg kg^{-1}) alanda yetişen tütün bitkisine uygulanan B'nin (1 kg B ha^{-1}) bitki K içeriğini arttırdığını rapor etmişlerdir.

B-toksik koşullar bitkiler tarafından diğer besin elementlerinin alımını B ile olan ilişkilerine bağlı olarak olumlu ya da olumsuz yönde etkilemektedir. Ismail (2003), mısır ve sorgum bitkilerinin B-toksik koşullarda Na ve Cl konsantrasyonlarının arttığını ancak K konsantrasyonlarının ise azaldığını rapor etmiştir. Koohkan ve Maftoun (2015), B-toksik koşullarda çeltik bitkisinin B, K, P ve Zn konsantrasyonlarını artırdığını bildirmişlerdir. Turan vd. (2018), B-toksik koşullarda makarnalık ve ekmeklik buğday bitkilerinin Ca konsantrasyonu ve alımlarının azaldığını tespit etmişlerdir. Ahmed vd. (2008), artan B uygulamaları ile pamuk bitkisinde Ca ve K konsantrasyonunun arttığını rapor etmişlerdir. Sarı (2009), buğday bitkisine uygulanan B'nin bitki Na ve Ca konsantrasyonunda azalmaya neden olduğunu saptamıştır. Çikili vd. (2015) fıstık bitkisinde artan B (0, 4, 8, 16, 32 mg/kg) uygulamalarının fıstık sürgünlerinde P, K, Ca, Na, Zn, Fe ve Cu içeriklerini artırdığını rapor etmişlerdir. Eraslan vd. (2007b) domates ve biber bitkisine uygulanan B'nin (50 mg kg^{-1}) domateste N, K ve P konsantrasyonlarını ve biberde ise N, S, Mg ve P konsantrasyonlarını arttırdığını tespit etmişlerdir. Yıldıztekin ve Tuna (2015b), artan B düzeyleriyle yoncanın yaprak Ca ve K kapsamlarının azaldığını bildirmişlerdir.

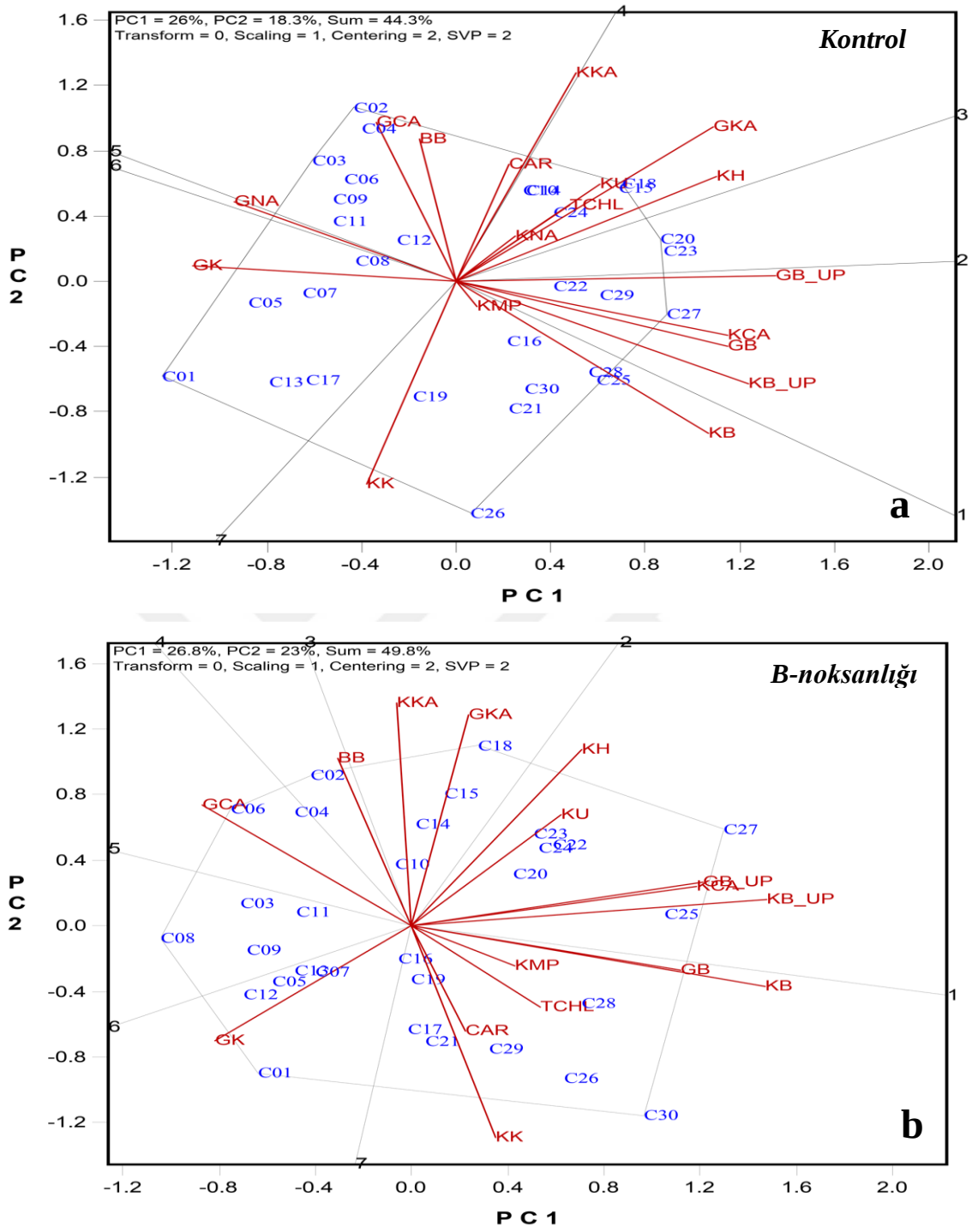
4.6. İncelenen Özelliklere Göre GGE-Biplot Analiz Yöntemiyle Değerlendirme

Çeşitler ile incelenen özellikler arasındaki ilişki büyük bölge (dilim) çizgileri aracılığıyla yorumlandığında uygulama koşullarında hangi çeşidin hangi özellik bakımından öne çıktığı açıkça saptanabilmektedir (Akçura, 2011). Büyük bölge dilimleri 0°-90° arasında açıya sahip olduğunda bu bölgedeki özelliklerin birbiri ile pozitif bir ilişki, 90°-180° arasında bir açıya olursa negatif bir ilişki ve bu açı 90° olursa herhangi bir ilişki olmadığı şeklinde yorumlanmaktadır (Yan ve Tinker, 2006; Aktaş, 2017). Scatter biplot yöntemi ile yapılan analizde, merkeze en uzak çeşitlerin köşegen poligon çizgisi oluşturularak her bölgede yer alan özellikler yönünden diğer genotiplerden ayrılan ve söz konusu özellikler yönünden en iyi olan çeşitler belirlenmiştir (Akçura, 2011).

4.6.1. Bor Noksanlığı

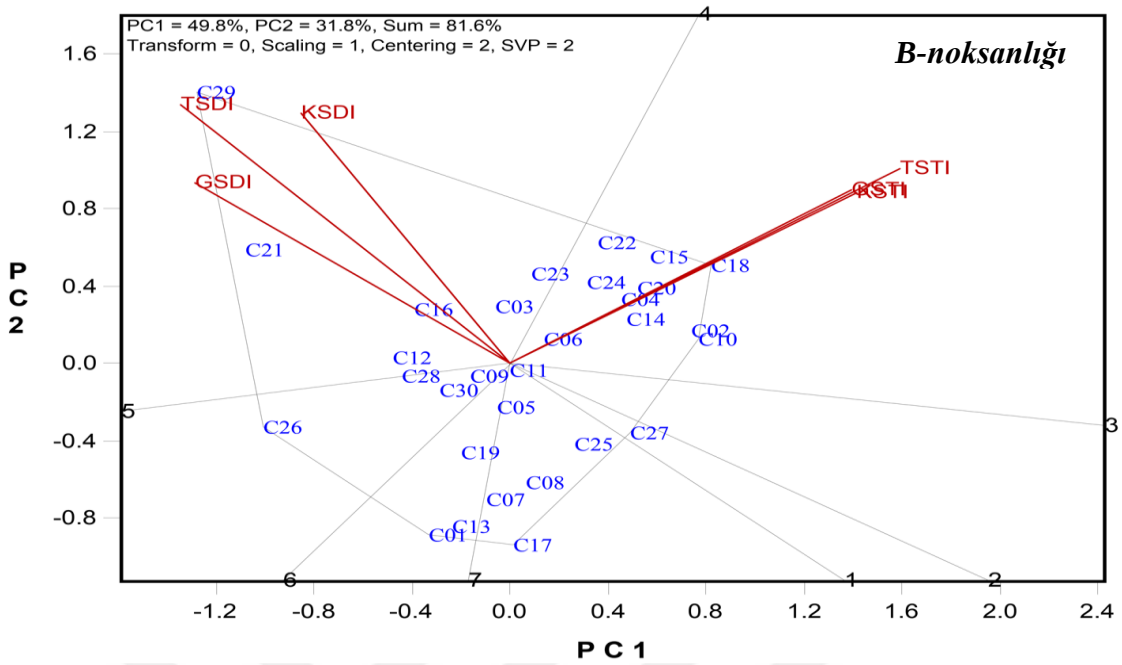
Çalışmamızda incelenen 18 özelliğin çeltik çeşitlerine göre sınıflandırılması ve çeşitlerin özelliklere göre değişimi Şekil 29'da sunulmuştur. B-noksanlığı koşullarında, I. ana bileşen (PC1) %26.8, II. ana bileşen (PC2) %20.0 ve toplamda varyasyonun %49.8'ini oluşturmuştur. Şekil 29b incelendiğinde görüleceği gibi, çeltik çeşitlerine göre incelenen özellikler temel olarak 7 büyük-bölgeye ayrılmış ve çeşitlerin dağılımları bakımından farklılık göstermiştir. B-noksanlığı koşullarında; C27, C25, C22, C23, C24 ve C20 çeşitlerinin gövde ve kök B alımları, kök Ca konsantrasyonları, kök hacimleri ve uzunlukları yüksek çeşitler olduğu ve bu parametrelerle ilişkilendirilebileceği belirlenmiştir. C18, C15, C14 ve C10 çeşitlerinin gövde ve kök kuru ağırlıkları; C02 ve C04 çeşitlerinin bitki boyu; C06 çeşidinin bitki boyu gövde Ca konsantrasyonu; C01, C12, C05, C13 ve C04 çeşitlerinin gövde K konsantrasyonu; C26, C29, C28, C21, C17, C19 ve C16 çeşitlerinin gövde ve kök B konsantrasyonları, toplam klorofil ve karotenoid konsantrasyonları, kök K konsantrasyonu ve kök membran geçirgenliği yüksek çeşitler olduğu ve bu parametrelerle ilişkilendirilebileceği tespit edilmiştir.

B-noksanlığı koşullarında, stres tolerans indeksi (STİ) ve stres duyarlılık indeksi (SDİ) parametreleri arasındaki ilişkilerinin görsel olarak değerlendiği Şekil 30 incelendiğinde; B-noksanlığı koşullarında I. ana bileşen (PC1) %49.8, II. ana bileşen (PC2) %31.8 ve toplamda varyasyonun %81.6'ini oluşturmuştur. Çeltik çeşitlerine göre incelenen STİ ve SDİ değerleri temel olarak 2 büyük-bölgeye ayrılmış ve çeşitlerin dağılımları bakımından farklılık göstermiştir (Şekil 30). B-noksanlığı koşullarında C29, C21 ve C16 çeşitleri toplam stres duyarlılık indeksi (TSDI), gövde stres duyarlılık indeksi (GSDI) ve kök stres duyarlılık indeksi (KSDI) yüksek çeşitler olurken, C18, C20, C15, C02, C10, C22, C04, C24 ve C14 çeşitleri ise toplam stres tolerans indeksi (TSTI), gövde stres tolerans indeksi (GSTI) ve kök stres tolerans indeksi (KSTI) yüksek çeşitler olarak belirlenmiştir. Ayrıca, B-noksanlığı koşullarında gövde, kök ve toplam biokütle için stres duyarlılık indeksi (Şekil 17) ve stres tolerans indeksi (Şekil 18) parametrelerinde belirlenen tolerans ve duyarlılık sıralamaları ile GGE-Biplot analizinde saptanan çeşitler benzerlik göstermiştir.



BB - bitki boyu	GB_UP - gövde B alımı	C01 - Aga	C11 - Ülfet	C21 - Vasco
GKA - gövde kuru ağırlığı	KB_UP - kök B alımı	C02 - Edirne	C12 - Yatkın	C22 - Cameo
KKA - kök kuru ağırlığı	GK - gövde K konsantrasyonu	C03 - Efe	C13 - Zeybek	C23 - Casanova
KU - kök uzunluğu	KK - kök K konsantrasyonu	C04 - Gemici	C14 - Colombo-CL	C24 - Baldo
KH - kök hacmi	GCA - gövde Ca konsantrasyonu	C05 - Gümüşcan	C15 - Fedra	C25 - Değirmen-CL
KMP - kök membran geçirgenliği	KCA - kök Ca konsantrasyonu	C06 - Gönen	C16 - Kikko	C26 - Efsane-CL
TCHL - toplam klorofil konsantrasyonu	GNA - gövde Na konsantrasyonu	C07 - Halilbey	C17 - Borandotto	C27 - Güneş-CL
CAR - karotenoid konsantrasyonu	KNA - kök Na konsantrasyonu	C08 - Keshan	C18 - Proteo	C28 - Köprü-CL
GB - gövde B konsantrasyonu		C09 - Osmancık-97	C19 - RG-201	C29 - Özgür-CL
KB - kök B konsantrasyonu		C10 - Rekor	C20 - Virgilo	C30 - Turbo-CL

Şekil 29. Kontrol (a) ve B-noksanlığı koşullarında (b) 30 çeltik çeşidinin incelenen özellik-lerine göre GGE-biplot analiz yöntemiyle değerlendirilmesi

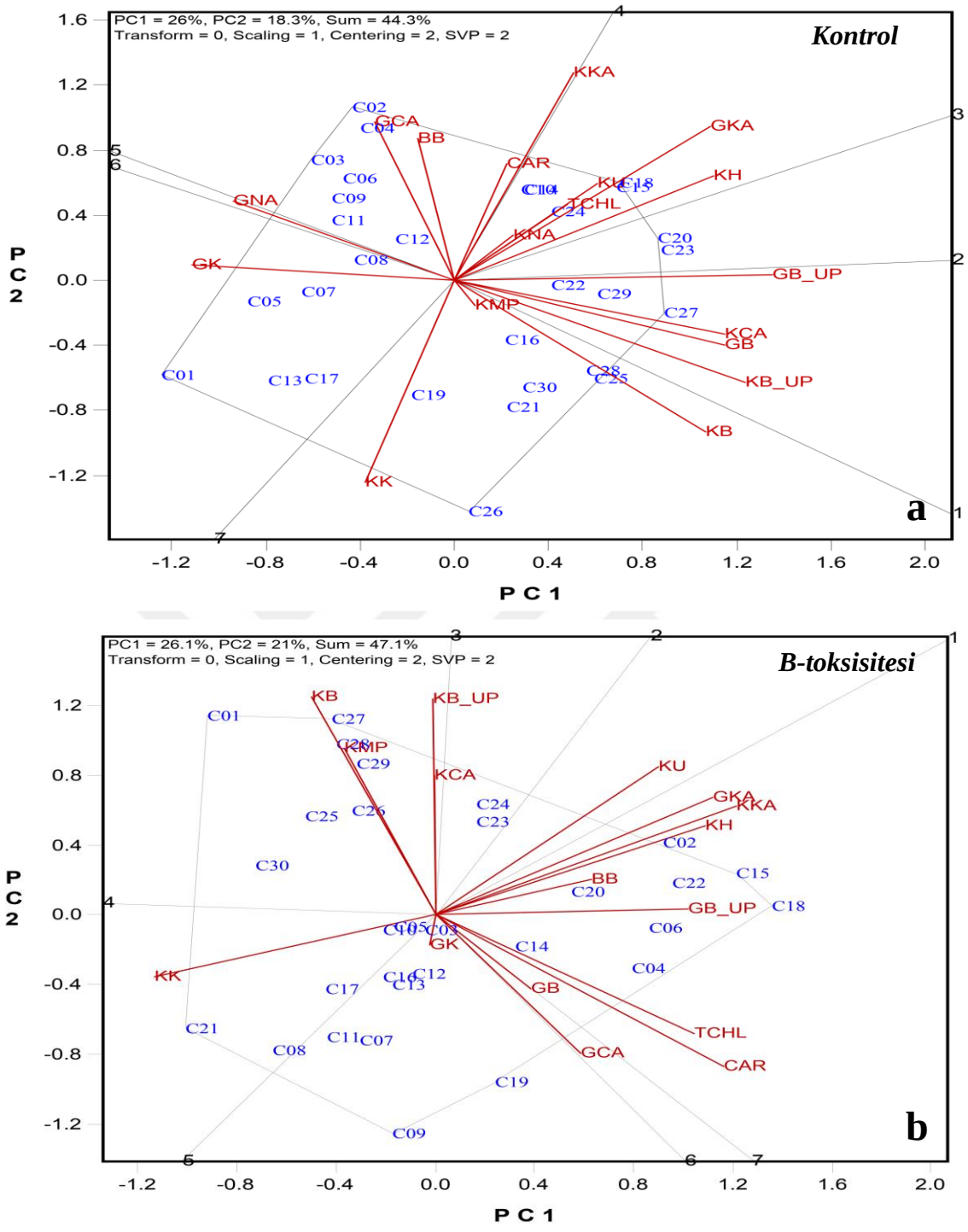


GSDI - gövde için stres duyarlılık indeksi	C01 - Aga	C11 - Ülfet	C21 - Vasco
KSDI - kök için stres duyarlılık indeksi	C02 - Edirne	C12 - Yatkın	C22 - Cameo
TSDI - toplam biyokütle için stres duyarlılık indeksi	C03 - Efe	C13 - Zeybek	C23 - Casanova
GSTI - gövde için stres tolerans indeksi	C04 - Gemici	C14 - Colombo-CL	C24 - Baldo
KSTI - kök için stres tolerans indeksi	C05 - Gümüşcan	C15 - Fedra	C25 - Değirmen-CL
TSTI - toplam biyokütle için stres tolerans indeksi	C06 - Gönen	C16 - Kikko	C26 - Efsane-CL
	C07 - Halilbey	C17 - Borandotto	C27 - Güneş-CL
	C08 - Keshan	C18 - Proteo	C28 - Köprü-CL
	C09 - Osmancık-97	C19 - RG-201	C29 - Özgür-CL
	C10 - Rekor	C20 - Virgilo	C30 - Turbo-CL

Şekil 30. B-noksanlığı koşullarında 30 çeltik çeşidinin stres duyarlılık ve stres tolerans indekslerine göre GGE-biplot analiz yöntemiyle gruplandırılması

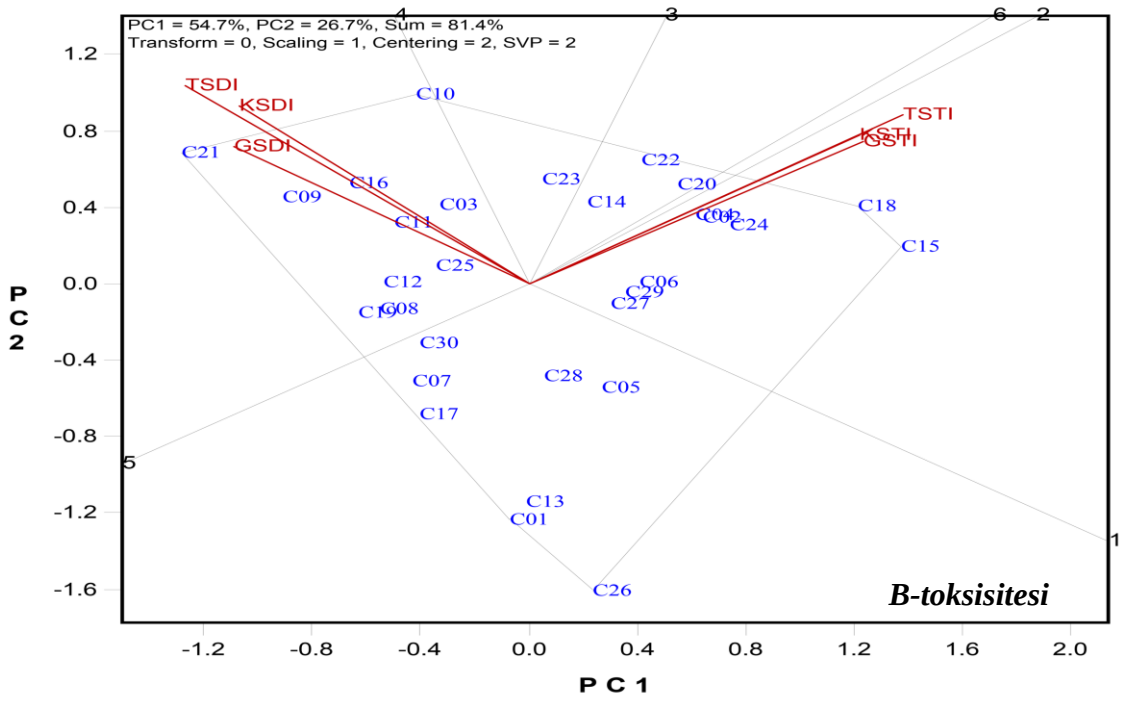
4.6.2. Bor Toksisitesi

Çalışmamızda incelenen 18 özelliğin çeltik çeşitlerine göre sınıflandırılması ve çeşitlerin özelliklere göre değişimi Şekil 31'de sunulmuştur. B-toksisitesi koşullarında, I. ana bileşen (PC1) %26.1, II. ana bileşen (PC2) %21.0 ve toplamda varyasyonun %47.1'ini oluşturmuştur. Şekil 31b incelendiğinde görüleceği gibi, çeltik çeşitlerine göre incelenen özellikler temel olarak 7 büyük-bölgeye ayrılmış ve çeşitlerin dağılımları bakımından farklılık göstermiştir. B-toksisitesi koşullarında; C18, C15, C02, C22, C06, C20, C04 ve C14 çeşitlerinin gövde B alımları, kök hacimleri, gövde ve kök kuru ağırlıkları, bitki boyları, toplam klorofil ve karotenoid konsantrasyonları ile gövde B konsantrasyonları yüksek çeşitler olduğu ve bu parametrelerle ilişkilendirilebileceği belirlenmiştir. C01, C27, C28, C29, C26, C25 ve C30 çeşitlerinin kök B konsantrasyonları ve alımları, kök Ca konsantrasyonları ve kök membran geçirgenlikleri ile C21, C08 ve C17 çeşitlerinin kök K konsantrasyonları yüksek çeşitler olduğu ve bu parametrelerle ilişkilendirilebileceği tespit edilmiştir.



BB - bitki boyu	GB_UP - gövde B alımı	C01 - Aga	C11 - Ülfet	C21 - Vasco
GKA - gövde kuru ağırlığı	KB_UP - kök B alımı	C02 - Edirne	C12 - Yatkın	C22 - Cameo
KKA - kök kuru ağırlığı	GK - gövde K konsantrasyonu	C03 - Efe	C13 - Zeybek	C23 - Casanova
KU - kök uzunluğu	KK - kök K konsantrasyonu	C04 - Gemici	C14 - Colombo-CL	C24 - Baldo
KH - kök hacmi	GCA - gövde Ca konsantrasyonu	C05 - Gümüşcan	C15 - Fedra	C25 - Değirmen-CL
KMP - kök membran geçirgenliği	KCA - kök Ca konsantrasyonu	C06 - Gönen	C16 - Kikko	C26 - Efsane-CL
TCHL - toplam klorofil konsantrasyonu	GNA - gövde Na konsantrasyonu	C07 - Halilbey	C17 - Borandotto	C27 - Güneş-CL
CAR - karotenoid konsantrasyonu	KNA - kök Na konsantrasyonu	C08 - Keshan	C18 - Proteo	C28 - Köprü-CL
GB - gövde B konsantrasyonu		C09 - Osmancık-97	C19 - RG-201	C29 - Özgür-CL
KB - kök B konsantrasyonu		C10 - Rekor	C20 - Virgilo	C30 - Turbo-CL

Şekil 31. Kontrol (a) ve B-toksisitesi koşullarında (b) 30 çeltik çeşidinin incelenen özellik-lerine göre GGE-biplot analiz yöntemiyle değerlendirilmesi



GSDI - gövde için stres duyarlılık indeksi	C01 - Aga	C11 - Ülfet	C21 - Vasco
KSDI - kök için stres duyarlılık indeksi	C02 - Edirne	C12 - Yatkın	C22 - Cameo
TSDI - toplam biyokütle için stres duyarlılık indeksi	C03 - Efe	C13 - Zeybek	C23 - Casanova
GSTI - gövde için stres tolerans indeksi	C04 - Gemici	C14 - Colombo-CL	C24 - Baldo
KSTI - kök için stres tolerans indeksi	C05 - Gümüşcan	C15 - Fedra	C25 - Değirmen-CL
TSTI - toplam biyokütle için stres tolerans indeksi	C06 - Gönen	C16 - Kikko	C26 - Efsane-CL
	C07 - Halilbey	C17 - Borandotto	C27 - Güneş-CL
	C08 - Keshan	C18 - Proteo	C28 - Köprü-CL
	C09 - Osmancık-97	C19 - RG-201	C29 - Özgür-CL
	C10 - Rekor	C20 - Virgilo	C30 - Turbo-CL

Şekil 32. B-toksisitesi koşullarında 30 çeltik çeşidinin stres duyarlılık ve stres tolerans indekslerine göre GGE-biplot analiz yöntemiyle gruplandırılması

B-toksisitesi koşullarında STİ ve SDİ birlikte değerlendirildiğinde; I. ana bileşen (PC1) %54.7, II. ana bileşen (PC2) %26.7 ve toplamda varyasyonun %81.4'ünü oluşturmuştur. Şekil 32 incelendiğinde görüleceği gibi, çeltik çeşitlerine göre incelenen STİ ve SDİ değerleri temel olarak 2 büyük-bölgeye ayrılmış ve çeşitlerin dağılımları bakımından farklılık göstermiştir. B-toksisitesi koşullarında; C21, C09, C16, C11, C03, C25, C12, C08 ve C19 çeşitleri toplam stres duyarlılık indeksi (TSDİ), gövde stres duyarlılık indeksi (GSDİ) ve kök stres duyarlılık indeksi (KSDİ) yüksek çeşitler olurken, C18, C15, C04, C02, C24, C20, C22, C06, C29, C27 ve C14 çeşitleri ise toplam stres tolerans indeksi (TSTİ), gövde stres tolerans indeksi (GSTİ) ve kök stres tolerans indeksi (KSTİ) yüksek çeşitler olduğu ve bu parametrelerle ilişkilendirilebileceği tespit edilmiştir. Ayrıca B-toksisitesi koşullarında GGE-Biplot analizi ile araştırma bulguları ve tartışma kısmında verilen tolerans ve duyarlılık sıralamaları benzerlik göstermektedir.

BEŞİNCİ BÖLÜM
SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, insanlığın temel besin kaynağı olan buğdaygiller (*Poaceae*) arasında yer alan, tek yıllık ve yazlık bir bitki olan ve Türkiye'de yaygın olarak yetiştirilen çeltik bitkisine ait 30 çeşidin (Aga, Edirne, Efe, Gemici, Gümüşcan, Gönen, Halilbey, Keshan, Osmancık-97, Rekor, Ülfet, Yatkın, Zeybek, Colombo-CL, Fedra, Kikko, Borandotto, Proteo, RG-201, Virgilo, Vasco, Cameo, Casanova, Baldo, Değirmen-CL, Efsane-CL, Güneş-CL, Köprü-CL, Özgür-CL, Turbo-CL) B-noksanlığı ve B-toksisitesi koşullarında yetiştirilmesi ile bazı agronomik, morfolojik, biyokimyasal ve beslenme özelliklerinin değerlendirilmesi sonucunda çeşitlerin B-noksanlığı ve B-toksisitesine duyarlılıklarının tespiti amaçlanmıştır. Bahsi geçen çeşitlere ait değerlendirmeler ve sonuçlarımız aşağıda sunulmuştur.

5.1. Bor Noksanlığı

B-noksanlığı koşullarında yetiştirilen 30 çelitk çeşidinin ortalaması değerlendirildiğinde; gövde yaş ve kuru ağırlığı (sırasıyla %10.18 ve %7.74), bitki boyu (%6.23), kök yaş ve kuru ağırlığı (sırasıyla %11.17 ve %9.67), kök membran geçirgenliği (%5.51), kök uzunluğu (%8.89), kök hacmi (%10.65), gövde ve kök B alımı (sırasıyla %35.21 ve %5.58), gövde B konsantrasyonu (%29.48), gövde K konsantrasyonu (%1.92) ve gövde Ca kansantrasyonunda (%1.84) önemli azalmalar tespit edilmesine karşın, kök K konsantrasyonunda (%0.99) belirlenen azalma önemli bulunmamıştır. Ayrıca B-noksanlığı koşullarında çeşitlerin ortalaması olarak kök Ca konsantrasyonu (%1.94), kök Na konsantrasyonu (%4.71) ve kök B konsantrasyonunda (%4.08) belirlenen artışlar önemli bulunurken klorofil *a* ve *b* (sırasıyla %1.08 ve %1.06), toplam klorofil (%1.22), karotenoid içeriği (%1.16) ve gövde Na konsantrasyonunda (%0.45) tespit edilen artışların önemli olmadığı saptanmıştır.

B-noksanlığı koşullarında çeltik çeşitlerinin bazı agronomik, morfolojik, biyokimyasal ve beslenme parametreleri karşılaştırıldığında; en fazla klorofil *a*, toplam klorofil, karotenoid içeriği, kök B alımı ve B konsantrasyonu ve kök K konsantrasyonuna sahip çeşit Turbo-CL, en fazla gövde kuru ağırlığı, kök hacmi ve gövde Ca konsantrasyonuna sahip çeşit Proteo, en uzun köklere sahip çeşit Casanova, en uzun bitki boyuna sahip çeşit Rekor, en fazla kök yaş ağırlığına sahip çeşit Cameo, en fazla kök kuru ağırlığına sahip çeşit Gemici,

en fazla klorofil *b* içeriğine sahip çeşit Borandotto, en fazla kök Ca konsantrasyonuna sahip çeşit Köprü-CL, en fazla gövde Na konsantrasyonuna sahip çeşit Gümüşcan ve en fazla kök Na konsantrasyonuna sahip çeşit ise Colombo-CL olarak belirlenmiştir. Ayrıca B-noksanlığı koşullarında en az klorofil *a*, toplam klorofil ve karotenoid içeriğine sahip çeşit Gönen, en az gövde B alımı ve gövde B konsantrasyonuna sahip çeşit Keshan, en düşük gövde/kök oranına sahip çeşit Baldo, en az gövde yaş ağırlığı ve bitki boyuna sahip çeşit Vasco ve en az gövde kuru ağırlığına sahip çeşit ise Efsane-CL olarak tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak, B-noksanlığı koşullarında Edirne çeşidi en fazla gövde yaş ağırlığına ve en az klorofil *b* içeriği ve kök K ve Ca konsantrasyonlarına sahip çeşit olurken, Özgür-CL çeşidi en yüksek gövde/kök oranı ve en az kök kuru ağırlığı, kök uzunluğu ve gövde Ca konsantrasyonuna sahip çeşit olmuş ve Yatkın çeşidi ise en fazla gövde K konsantrasyonuna ve en az kök membran geçirgenliği ve kök B alımı ve konsantrasyonuna sahip çeşit olarak belirlenmiştir. Bunlarla birlikte B-noksanlığı koşullarında Aga çeşidi en fazla kök membran geçirgenliğine ve en az kök yaş ağırlığı, kök hacmi ve kök Na konsantrasyonuna sahip çeşit olurken, Güneş-CL çeşidi en fazla gövde B alımı ve en az gövde K konsantrasyonuna sahip çeşit olmuş ve Değirmen-CL çeşidi ise en fazla gövde B konsantrasyonuna ve en az gövde Na konsantrasyonuna sahip çeşit olarak saptanmıştır.

Proteo çeşidi B-noksanlığı koşullarında gövde ve toplam biyokütle için en yüksek stres tolerans indekslerine (STİ) sahip çeşit (sırasıyla 1.298 ve 1.247) olurken kök için en yüksek STİ'ye sahip çeşit Cameo (1.350) olarak tespit edilmiştir. Bunlara karşın gövde, kök ve toplam biyokütle için en düşük STİ'ye sahip çeşitler ise sırasıyla Aga (0.574), Borandotto (0.515) ve Efsane-CL (0.589) olarak belirlenmiştir. Gövde için STİ değerlerine göre B-noksanlığına tolerans sıralaması Proteo> Virgilo> Rekor> Fedra> Güneş-CL> Gönen> Edirne> Colombo-CL> Gemici> Baldo> Değirmen-CL> Özgür-CL> Cameo> Casanova> Borandotto> Köprü-CL> Efe> Kikko> Gümüşcan> Ülfet> RG-201> Osmancık-97> Keshan> Yatkın> Turbo-CL> Zeybek> Halilbey> Vasco> Efsane-CL> Aga olarak belirlenirken kök için ise STİ sıralaması Cameo> Gemici> Baldo> Edirne> Fedra> Proteo> Casanova> Colombo-CL> Rekor> Virgilo> Ülfet> Gönen> Efe> Keshan> Osmancık-97> Kikko> Turbo-CL> Değirmen-CL> Güneş-CL> Gümüşcan> Yatkın> Aga> Halilbey> Vasco> RG-201> Zeybek> Köprü-CL> Efsane-CL> Özgür-CL> Borandotto olarak tespit edilmiştir. B-noksanlığı koşullarında toplam biyokütle için STİ sıralaması ise Proteo> Fedra> Rekor> Edirne> Virgilo> Cameo> Gemici> Baldo> Colombo-CL> Casanova> Güneş-CL> Efe> Değirmen-

CL> Gönen> Ülfet> Kikko> Gümüşcan> Osmancık-97> Keshan> Yatkın> Köprü-CL> Turbo-CL> Özgür-CL> RG-201> Halilbey> Borandotto> Vasco> Zeybek> Aga> Efsane-CL olarak saptanmıştır.

Özgür-CL çeşidi B-noksanlığı koşullarında kök ve toplam biyokütle için en yüksek stres duyarlılık indekslerine (SDİ) sahip çeşit (sırasıyla 3.883 ve 3.078) olurken gövde için en yüksek SDİ'ye sahip çeşit ise Vasco (3.137) olarak belirlenmiştir. Bunlara karşın gövde, kök ve toplam biyokütle için en düşük SDİ'ye sahip çeşitler ise sırasıyla Halilbey (0.067), Güneş-CL (0.053) ve Borandotto (0.188) olarak tespit edilmiştir. Gövde için SDİ değerlerine göre B-noksanlığına duyarlılık sıralaması Vasco> Özgür-CL> Efsane-CL> Kikko> Baldo> Köprü-CL> Yatkın> Casanova> Gönen> Gemici> Virgilo> Fedra> Ülfet> Cameo> RG-201> Efe> Aga> Zeybek> Osmancık-97> Gümüşcan> Güneş-CL> Proteo> Keshan> Turbo-CL> Değirmen-CL> Edirne> Borandotto> Rekor> Colombo-CL> Halilbey olarak belirlenirken kök için ise SDİ sıralaması Özgür-CL> Efe> Turbo-CL> Vasco> Cameo> Osmancık-97> Colombo-CL> Gümüşcan> Yatkın> Fedra> Ülfet> Casanova> Proteo> Halilbey> Virgilo> RG-201> Kikko> Köprü-CL> Edirne> Rekor> Gönen> Efsane-CL> Gemici> Değirmen-CL> Keshan> Aga> Baldo> Zeybek> Borandotto> Güneş-CL olarak saptanmıştır. B-noksanlığı koşullarında toplam biyokütle için SDİ sıralaması ise Özgür-CL> Vasco> Efsane-CL> Kikko> Yatkın> Köprü-CL> Casanova> Efe> Cameo> Efe> Cameo> Baldo> Turbo-CL> Osmancık-97> Gönen> Fedra> Ülfet> Gemici> Virgilo> Gümüşcan> Colombo-CL> RG-201> Proteo> Aga> Edirne> Zeybek> Halilbey> Rekor> Keshan> Değirmen-CL> Güneş-CL> Borandotto olarak tespit edilmiştir.

5.2. Bor Toksisitesi

B-toksisitesi koşullarında yetiştirilen 30 çelitk çeşidinin ortalaması değerlendirildiğinde; gövde yaş ve kuru ağırlığı (sırasıyla %10.53 ve %10.17), bitki boyu (%8.63), kök yaş ve kuru ağırlığı (sırasıyla %24.91 ve %23.60), kök membran geçirgenliği (%6.95), kök uzunluğu (%21.52), kök hacmi (%23.02) ve klorofil *a* içeriğinde (%4.57) önemli azalmalar tespit edilirken, toplam klorofil içeriğinde (%1.96) önemli olmayan azalmalar belirlenmiştir. Ayrıca, B-toksisitesi koşullarında çeşitlerin ortalaması olarak gövde/kök oranı (%18.29), klorofil *b* ve karotenoid içeriği (sırasıyla %8.16 ve %9.74), gövde ve kök B alımı (sırasıyla 11.14 kat ve %71.24), gövde ve kök B konsantrasyonu (sırasıyla 12.59 kat ve 1.19 kat), gövde ve kök

Na konsantrasyonu (sırasıyla %10.71 ve %14.44), kök K konsantrasyonu (%8.97) ve gövde ve kök Ca konsantrasyonunda (sırasıyla %3.99 ve %5.96) önemli artışlar belirlenirken gövde K konsantrasyonunda önemli olmayan artışlar saptanmıştır.

B-toksisitesi koşullarında çeltik çeşitlerinin bazı agronomik, morfolojik, biyokimyasal ve beslenme parametreleri karşılaştırıldığında; en fazla gövde yaş ağırlığı ve bitki boyuna sahip çeşit Gönen, en fazla gövde kuru ağırlığına sahip çeşit Virgilo, en fazla klorofil *a* ve *b*, toplam klorofil ve karotenoid içeriğine sahip çeşit RG-201, en fazla kök hacmine sahip çeşit Cameo, en fazla gövde B alımına sahip çeşit Proteo, en fazla kök B alımına sahip çeşit Edirne, en fazla gövde B konsantrasyonuna sahip çeşit Rekor, en fazla kök Na konsantrasyonuna sahip çeşit Baldo ve en fazla gövde Ca ve K konsantrasyonlarına sahip çeşit ise Yatkın olarak belirlenmiştir. Ayrıca, B-toksisitesi koşullarında en az klorofil *a* ve *b*, toplam klorofil, karotenoid içeriği ve gövde K konsantrasyonuna sahip çeşit Güneş-CL, en az kök uzunluğuna sahip çeşit Keshan, en düşük gövde/kök oranına sahip çeşit Casanova, en düşük bitki boyuna sahip çeşit Turbo-CL, en az gövde B alımı ve konsantrasyonuna sahip çeşit Zeybek, en az kök B ve K konsantrasyonlarına sahip çeşit Gemici, en az gövde Na konsantrasyonuna sahip çeşit Özgür-CL ve en az gövde Ca konsantrasyonuna sahip çeşit ise Efsane-CL olarak tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak B toksisitesi koşullarında Fedra çeşidi en fazla kök yaş ve kuru ağırlığı ve kök uzunluğuna ve en az kök Na konsantrasyonuna sahip çeşit olurken, Osmancık-97 çeşidi en yüksek gövde/kök oranına ve en az kök yaşve kuru ağırlığı ve kök B alımına sahip çeşit olmuş ve Aga çeşidi ise en fazla membran geçirgenliği ve kök B konsantrasyonuna ve en az kök hacmi ve kök Ca konsantrasyonuna sahip çeşit olarak saptanmıştır. Bunlarla birlikte, B-toksisitesi koşullarında Efe çeşidi en fazla gövde Na konsantrasyonuna ve en az membran geçirgenliğine sahip çeşit olurken, Vasco çeşidi en fazla gövde K konsantrasyonu ve en az gövde yaş ve kuru ağılığına sahip çeşit olmuş ve Köprü-CL çeşidi ise en fazla kök Ca konsantrasyonu ve en az klorofil *b* içeriğine sahip çeşit olarak belirlenmiştir.

Virgilo çeşidi B-toksisitesi koşullarında gövde için en yüksek STİ'ye sahip çeşit (1.270) olurken, kök ve toplam biyokütle için en yüksek STİ'ye sahip çeşit ise Fedra (sırasıyla 1.263 ve 1.218) olarak tespit edilmiştir. Buna karşın, Aga çeşidi B-toksisitesi koşullarında gövde ve toplam biyokütle için en düşük STİ'ye sahip çeşit (sırasıyla 0.583 ve 0.631) olurken kök için en düşük STİ'ye sahipvçeşit ise Borandotto (0.457) olarak saptanmıştır.

Gövde için STİ değerlerine göre B-toksisitesine tolerans sıralaması Virgilo> Proteo> Fedra> Gönen> Özgür-CL> Güneş-CL> Baldo> Gemici> Edirne> Köprü-CL> Rekor> Cameo> Colombo-CL> Değirmen-CL> Gümüşcan> Casanova> Kikko> Efe> Ülfet> Borandotto> RG-201> Osmancık-97> Yatkın> Zeybek> Keshan> Efsane-CL> Halilbey> Vasco> Turbo-CL> Aga olarak belirlenirken, kök için ise STİ sıralaması Fedra> Cameo> Proteo> Edirne> Baldo> Gemici> Casanova> Colombo-CL> Gönen> Efe> Virgilo> Rekor> Turbo-CL> Gümüşcan> Ülfet> Aga> Yatkın> Özgür-CL> Kikko> Güneş-CL> Keshan> Zeybek> Efsane-CL> Değirmen-CL> Vasco> Halilbey> Osmancık-97> Köprü-CL> RG-201> Borandotto olarak tespit edilmiştir. B-toksisitesi koşullarında toplam biyokütle için STİ sıralaması ise Fedra> Proteo> Baldo> Virgilo> Edirne> Gemici> Cameo> Colombo-CL> Casanova> Özgür-CL> Güneş-CL> Rekor> Gönen> Efe> Gümüşcan> Köprü-CL> Değirmen-CL> Ülfet> Kikko> Yatkın> Turbo-CL> Keshan= Osmancık-97> Zeybek> Efsane-CL> Halilbey> RG-201> Borandotto> Vasco> Aga olarak saptanmıştır.

Vasco çeşidi B-toksisitesi koşullarında gövde ve toplam biyokütle için en yüksek SDİ'ye sahip çeşit (sırasıyla 2.442 ve 1.913) olurken, kök için en yüksek SDİ'ye sahip çeşit ise Osmancık-97 (1.933) olarak belirlenmiştir. Buna karşın Gümüşcan çeşidi B-toksisitesi koşullarında gövde için en düşük SDİ'ye sahip çeşit (0.209) olurken, kök ve toplam biyokütle için en düşük SDİ'ye sahip çeşit ise Efsane-CL (sırasıyla 0.076 ve 0.227) olarak tespit edilmiştir. Gövde için SDİ değerlerine göre B-toksisitesine duyarlılık sıralaması Vasco> Kikko> Rekor> Casanova> Yatkın> Turbo-CL> Borandotto> Efe> Colombo-CL> RG-201> Keshan> Ülfet> Osmancık-97> Köprü-CL> Değirmen-CL> Edirne> Cameo> Gönen> Zeybek> Güneş-CL> Proteo> Baldo> Özgür-CL> Efsane-CL> Gemici> Fedra> Virgilo> Aga> Halilbey> Gümüşcan olarak belirlenirken, kök için ise SDİ sıralaması Osmancık-97> Vasco> Ülfet> Değirmen-CL> Halilbey> Rekor> RG-201> Keshan> Virgilo> Efe> Kikko> Cameo> Gemici> Özgür-CL> Yatkın> Turbo-CL> Güneş-CL> Gümüşcan> Colombo-CL> Baldo> Casanova> Gönen> Edirne> Köprü-CL> Aga> Borandotto> Proteo> Zeybek> Fedra> Efsane-CL olarak saptanmıştır. B-toksisitesi koşullarında toplam biyokütle için SDİ sıralaması ise Vasco> Osmancık-97> Rekor> Kikko> Ülfet> Efe> Yatkın> RG-201> Keshan> Değirmen-CL> Casanova> Cameo> Colombo-CL> Halilbey> Borandotto> Virgilo> Gemici> Turbo-CL> Edirne> Gönen> Güneş-CL> Özgür-CL> Köprü-CL> Baldo> Gümüşcan> Aga> Zeybek> Proteo> Fedra> Efsane-CL olarak tespit edilmiştir.

Çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar, aynı türe ait farklı çeşit/genotiplerin B isteklerinin yanı sıra B-noksanlığı ile B-toksisitesine karşı verdikleri tepkilerinde farklılık gösterebileceğini ve bu farklılığın ürün miktarına olumsuz olarak yansıyacağını ortaya koymuştur. Dünyada B-noksan ve B-toksik tarım alanlarına sıklıkla rastlandığından çeşit ve genotipler arası B isteği farklılığından yararlanılarak B-noksan veya B-toksik tarım alanlarında uygun çeşit/genotipler kullanılmak suretiyle B-noksanlığı/B-toksisitesinden kaynaklı ürün/verim kayıplarının giderilebileceği günümüzde kabul görmüş ürün kayıplarını azalma stretejilerinden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Stress tolerans indeksi (STİ) değerlerine göre Proteo, Fedra, Edirne, Rekor ve Gemici çeşitleri ve stress duyarlılık indeksi (SDİ) değerlerine göre Borandotto, Değirmen-CL, Güneş-CL, Keshan ve Rekor çeşitlerinin B-noksan tarım alanlarında yetiştirilebileceği düşünülmektedir. Ayrıca, STİ ile SDİ değerleri birlikte değerlendirilmesinin sonucu olarak B-noksan tarım alanlarında Rekor, Edirne ve Güneş-CL çeşitlerinin yetiştirilmesinin uygun olacağı kanatine varılmıştır. Bunun yanında, STİ değerlerine göre Fedra, Proteo, Gemici, Baldo ve Virgilo çeşitlerinin, SDİ değerlerine göre Efsane-CL, Fedra, Zeybek, Aga ve Gümüşcan çeşitlerinin ve STİ ile SDİ değerleri birlikte değerlendirildiğinde ise Fedra, Proteo ve Virgilo çeşitlerinin B-toksik tarım alanlarında yetiştirilmesinin uygun olacağı kanatine varılmıştır. Sera koşullarında ve çeltik çeşitlerinin erken gelişme döneminde yürütülen çalışmamızda elde edilen bulguların tarla koşullarında yürütülecek çalışmalarla teyit edilmesi gerektiği göz önünde bulundurulmalıdır.

KAYNAKÇA

Adriano, D. C. (2001). Trace elements in Terrestrial Environments. Biogeochemistry. Bioavailability and Risks of Metals. 2nd ed. p. 1-867, Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-21510-5_9

Ahmed, N., Abid, M. ve Ahmad, F. (2008). "Boron toxicity in irrigated cotton (*Gossypium hirsutum* L.)". *Pakistan Journal of Botany*, 40 (6), 2443-2452.

Ahmed, N., Abid, M., Ahmad, F., Ullah, M. A., Javaid, Q. ve Ali M. A. (2011). "Impact of boron fertilization on dry matter production and mineral constitution of irrigated cotton". *Pakistan Journal of Botany*, 43 (6), 2903-2910.

Akçura, M. (2011). "The relationships of some traits in Turkish winter bread wheat landraces." *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 35(2), 115-125. http://dx.doi.org/10.3906/tar-0908-301

Aktaş, H., Erdemci, İ., Karaman, M., Kendal, E. ve Tekdal, S. (2017). "Bazı Kışlık Ekmeklik Buğday Genotiplerinin Tane Verimi ve Bazı Kalite Özellikleri Bakımından GGE Biplot Analiz Yöntemi ile Değerlendirilmesi". *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 6(1), 43-51.

Ali, M. R., Mehraj, H. and Jamal Uddin, A. F. M. (2015a). "Effects of foliar application of zinc and boron on growth and yield of summer tomato." *Journal Bioscience and Agriculture Research*, 6(01), 512-517. http://dx.doi.org/10.18801/jbar.060115.61

Ali, F., Ali, A., Gul, H., Sharif, M., Sadiq, A., Ahmed, A., Ullah, A., Mahar, A. ve Kalhoro, S. A. (2015b). "Effect of boron soil application on nutrients efficiency in tobacco leaf". *American Journal of Plant Sciences*, 6, 1391-1400. http://dx.doi.org/10.4236/ajps. 2015.69139

Anonim (2010). "Tarımsal Araştırma ve Politikalar Genel Müdürlüğü" https://arastirma.tarimorman.gov.tr. Erişim tarihi: 28.07.2021

Ardıc, M., Sekmen, A. H., Turkan, I., Tokur, T. and Ozdemir, F. (2009). "The effects of boron toxicity on root antioxidant systems of two chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars." *Plant Soil*, 314, 99-108. https://doi.org/10.1007/s11104-008-9709-y

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. http://dx.doi.org/10.5897/AJPS2014.1148

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

Brown, P. H., Bellaloui, N., Wimmer, M. A., Bassil, E. S., Ruiz, J., Hu, H., Pfeffer, H., Dannel, F. and Römheld, V. (2002). "Boron in plant biology". *Plant Biology,* 4, 205–223. https://doi.org/10.1055/s-00000057

Cakmak, I. and Römheld, V. (1997). "Boron deficiency-induced impairments of cellular functions in plants." *Plant and Soil,* 193, 71-83. https://doi.org/10.1023/A:10042598 08322

Cervilla, M. L., Blasco, B., Rios, J. J., Rosales, M. A., Rubio-Wilhelmi. M. M., Sanchez-Rodriguez. E., Romero. L., and Ruiz. M. J. (2008). "Response of nitrogen metabolism to boron toxicity in tomato plants." *Plant Biology (Stuttg),* 11(5), 671-677. https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2008.00167.x

Ceyhan, E., Önder, M., Harmankaya, M., Hamurcu, M. and Gezgin, S. (2007). "Response of chickpea cultivars to application of boron in boron-deficient calcareous soils." *Communications in Soil Science and Plant Analysis,* 38, 2381-2399. https://doi.org/10.1080/00103620701588734

Chen, R. F., Shen, R. F., Gu, P., Dong, X. Y., Du, C. W., Ma, J. F. (2006). Response of rice (*Oryza sativa*) with root surface iron plaque under aluminium stress. *Annals of Botany,* 98(2), 389-395. https://doi.org/10.1093/aob/mcl110

Choudhary, S., Zehra, A., Naeem, M., Masroor, M., Khan, A. and Aftab, T. (2020). "Effects of boron toxicity on growth. oxidative damage. antioxidant enzymes and essential oil fingerprinting in *Mentha arvensis* and *Cymbopogon fexuosus*." *Chemical and Biological Technologies in Agriculture,* 7, 8. https://doi.org/10.1186/s40538-019-0175-y

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

Devendra, C. (1997). "Crop residues for feeding animals in Asia: Technology development and adoption in crop/livestock systems." *In*: Crop Residuals in Sustainable Mixed Crop/livestock Farming System (Ed. C. Renard)." *CAB International*; Wallingford, UK. pp, 241-267.

Dursun, A., Turan, M., Ekinci, M., Gunes, A., Ataoglu, N., Esringü, A. and Yildirim, E. (2009). "Effects of boron fertilizer on tomato. pepper and cucumber yields and chemical composition." *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 41(13), 1576-1593. https://doi.org/10.1080/00103624.2010.485238

Epstein, E. and Bloom, A. J. (2005). "Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives 2nd Edition." *Sinauer Associates Incorporated*, Sunderland, MA, USA.

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

FAO, (2020). "Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü" http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC. Erişim tarihi: 01.07.2021

Fernandez, G. C. J. (1992). "Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance." *Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress*. August 13-18, 1992, Taipei and Shanhua, Taiwan, 257-270.

Fischer, R. A. and Maurer, R. (1978). "Drought resistance in spring wheat cultivars: I. grain yield responses." *Australian Journal of Agricultural Research*, 29, 897-912. https://doi.org/10.1071/AR9780897

Gezgin, S., Dursun, N., Hamurcu, M., Harmankaya, M., Önder, M., Sade, B., Topal, A., Soylu, S., Akgün, N., Yorgancılar, M., Ceyhan, E., Çiftçi, N., Acar, B., Gültekin, İ., Işık, Y., Şeker, C. and Babaoğlu, M. (2002). "Determination of b contents of soils in central Anatolian cultivated lands and its relations between soil and water characteristics." Goldbach et al. (eds.). *Boron in Plant and Animal Nutrition*, pp. 391-400. Kluwer Academic/Plenum Publishers: New York, USA.

Görmüş, Ö. and Barutçular, C. (2016). "Boron Nutrition Studies with Cotton and Sunflower in Southern Turkey." *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47(7), 915-929. https://doi.org/10.1080/00103624. 2016.1147 046

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.

Günlü, H. ve Öztürk, Ö. (2008). "Bor uygulamasının bazı haşhaş (*Papaver somniferum* L.) çeşitlerinin verim ve kalitesi üzerine etkisi." *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(44), 48-55

Hamideldin, N. and Hussein, O. S. (2014). "Response of sesame (*Sesamum indicum* L.) plants to foliar spray with different concentrations of boron." *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 91. 1949–1953. https://doi.org/10.1007/s11746-014-2538-7

Hamurcu, M. ve Gezgin, S. (2007). "Bor ve çinko uygulamasının bazı bodur fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) genotiplerinin biyolojik verim değerlerine etkisi." *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi,* 21(41), 11-22.

Hamurcu, M., Arslan, D., Hakki, E. E., Özcan, M. M., Pandey, A., Khan, M. K. and Gezgin, S. (2019). "Boron application affecting the yield and fatty acid composition of soybean genotypes." *Plant. Soil & Environment*. 65(5), 238-243. https://doi.org/10.17221/679/2018-PSE

Hamurcu, M., Özdemir, C., Kocabaş, O., Hakkı, E. E., Demiral, T. ve Gezgin, S. (2016). "Toksisite düzeyinde bor uygulamalarının besin çözeltisi koşullarında hibrit mısır çeşitlerinin anatomik özellikleri üzerine etkisi." *Bor Dergisi* 1(2), 53-59

Haque, R., Robbani, M., Hasan, M., Asaduzzaman, M., Hasan, M. M. and Teixeira da Silva. J. A. (2014). "Zinc and boron affect yield and quality of onion (*Allium cepa* L.) seed." *International Journal of Vegetable Science*, 20, 131–140. https://doi.org/10.1080/19315260.2013.780197

Harite, Ü. (2008). "Pamukta Bor Toksisitesine Dayanıklılık." Yüksek Lisans Tezi. Adnan Menderes Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Toprak Anabilim Dalı. Türkiye.

Harmankaya, M., Önder, M., Hamurcu, M., Ceyhan, E. ve Gezgin, S. (2008). "Response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars to foliar and soil applied boron in boron-deficient calcareous soils". *African Journal of Biotechnology*, 7(18), 3275-3282.

Hoagland, D. R. and Arnon, D. I. (1950). The Water-Culture Method for Growing Plants without Soil. *California Agricultural Experiment Station*, Circular-347. No. 2nd edit, 32 p.

Hosseini, S. M., Maftoun, M., Karimian, N., Ronaghi, A. and Emam, Y. (2007). "Effect of zinc × boron interaction on plant growth and tissue nutrient concentration of corn." *Journal of Plant Nutrition,* 30, 773-781. https://doi.org/10.1080/01904160701289974

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 salinity." *Biologia Plantarum.* 47(2), 313-316. https://doi.org/10.1023/B:BIOP.0000022274.72111.12

Jankowski, K. J., Sokólski, M., Dubis, B., Krzebietke, S., Żarczyński, P., Hulanicki, P. and Hulanicki, P. S. (2016). "Yield and quality of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) seeds in response to foliar application of boron." *Agricultural and Food Science,* 25, 164-176. https://doi.org/10.23986/afsci.57413

Juliano, B. O. (1994). "Polysaccarides. Proteins and lipids of rice. In rice chemistry and technology." *ed. Juliona, B.O.* pp. 59-174.

Kacar, B. (2019). Sürdürülebilir Tarımda Mikro Besin Maddeleri (s. 351-432). *Nobel Akademik Yayıncılık:* Ankara.

Kacar, B., Katkat, A. V. ve Öztürk, Ş. (2009). Bitki fizyolojisi (s. 171-172). *Nobel Yayın Dağıtım*: Ankara.

Karahan, R. G. and Çıkılı, Y. (2021). "Susceptibilities of Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) Varieties to Boron Deficiency and Toxicity." *ISPEC 6th International Conference on Agriculture. Animal Science and Rural Development*, pp. 43-45, 16-18 May 2021. Siirt, Turkey.

Karaman, M. R., Zengin, M. ve Horuz, A. (2012). "Assessment of resistance of wheat genotypes (*T. aestivum* and *T. durum*) to boron toxicity". *International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering,* 6(10), 925-928. http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.1086059

Keleşer, S. (2006). "Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü 2006 Faaliyet Raporu." s. 8. https://www.etimaden.gov.tr. Erişim tarihi: 21.04.2021

Khan, S., Rehman, H. U., Wahid, M. A., Saleem, M. F., Akhtar Cheema, M., Basra, S. M. A. ve Nadeem, M. (2016). "Boron fertilization improves seed yield and harvest index of *Camelina sativa* L. by affecting source-sink". *Journal of Plant Nutrition*, 39(12), 1681-1687. https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1161787

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, 1323–1335. https://doi.org/10.1080/01904167.2014.991035

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

Lordkaew, S., Dell, B., Jamjod, S. ve Rerkasem, B. (2011). "Boron deficiency in maize". *Plant and Soil*, 342, 207-220. https://doi.org/10.1007/s11104-010-0685-7

Lordkaew, S., Konsaeng, S., Jongjaidee, J., Dell, B., Rerkasem, B. ve Jamjod, S. (2013). "Variation in responses to boron in rice". *Plant and Soil*, 363, 287-295. https://doi.org/10.1007/s11104-012-1323-3

Mahboobi H., Yucel, M. and Öktem, H. A. (2000). "Changes in total protein profiles of barley cultivars in response to toxic boron concentration." *Journal of Plant Nutrition*, 23(3), 391-399. https://doi.org/10.1080/01904160009382025

Marschner, P., (2012). "Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants." *Academic Press*, London. Waltham, MA, pp. 235-246. https://doi.org/10.1016/C2009-0-63043-9

Metwally, A. M., El-Shazoly, R. M. ve Hamada, A. M. (2017). "Physiological responses to excess boron in wheat cultivars". *European Journal of Biological Research*, 7(1), 1-8. http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.200373

Müftüoğlu, N. M., Türkmen, C. ve Çıkılı, Y. (2014). Toprak ve Bitkide Verimlilik Analizleri (s. 103-191). 2. Baskı, *Nobel Akademik Yayıncılık*: Ankara.

Nable, R. O. (1988). "Resistance to boron toxicity amongst several barley and wheat cultivars: a preliminary examination of the resistance mechanism". *Plant and Soil*, 112(1), 45-52. https://doi.org/10.1007/BF02181751

Nasim, M., Rengel, Z., Aziz, T., Regmi, B. D. and Saqib, M. (2015). "Boron toxicity alleviation by zinc applıcatıon in two barley cultivars differing in tolerance to boron toxicity." *Pakistan Journal of Agricultural Sciences,* 52(1), 151-158

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

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.

Rajaie, M., Ejraie, A. K., Owliaie, H. R. ve Tavakoli, A. R. (2009). "Effect of zinc and boron interaction on growth and mineral composition of lemon seedlings in a calcareous soil". *International Journal of Plant Production,* 3(1), 39-50. http://doi.org/10.22069/IJPP.2012.630

Rerkasem, B., Bell, R. W., Lodkaew, S. and Loneragan, J. F. (1993). "Boron deficiency in soybean (*Glycine max* L. Merr.). peanut (*Arachis hypogae*a L.) and black gram (*Vigna mungo* L. Hepper): Symptoms in seeds and differences among soybean cultivars in susceptibility to boron deficiency." *Plant and Soil, 150, 289-294.* https://doi.org/10.1007/BF00013026

Reid, R. (2007). Update on Boron Toxicity and Tolerance in Plants. F.S. Xu, H. Goldbach, P. Brown et al (ed.) in: *Proceedings of the 3rd International Symposium on all Aspects of Plant and Animal Boron Nutrition*. (s.83-90). Springer: Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5382-5

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

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

Şehu, A., Sakine, Y. ve Önol, A. G. (1996). "Bazı buğdaygil samanlarının in vivo sindirilme dereceleri ve rumende parçalanma özellikleri." *Ankara Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi*, 43, 469-477.

Sharma, S. K., Kumar, A., Setter, T. L., Singh, M., Lata, C., Prasad, K. R. K. ve Kulshrestha, N. (2014). "Boron tolerance in wheat varieties 7". *Vegetos*, 27(2), 322-328. http://doi.org/10.5958/2229-4473.2014.00052.4

Soylu, S., Sade, B., Topal, A., Akgün, N., Gezgin, S., Hakkı, E. E. and Babaoğlu, M. (2005). "Responses of irrigated durum and bread wheat cultivars to boron application in a low boron calcareous soil." *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 29, 275-286.

Taban, S. ve Erdal, İ. (2000). "Bor Uygulamasının Değişik Buğday Çeşitlerinde Gelişme ve Toprak Üstü Aksamda Bor Dağılımı Üzerine Etkisi." *Turk Journal of Agricultural Forestry*, 24, 255–262.

Torun, A. A., Yazıcı, A., Erdem, H. ve Çakmak, İ. (2006). "Genotypic variation in tolerance to boron toxicity in 70 durum wheat genotypes". *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 30, 49-58.

TÜİK, (2021). "Türkiye İstatistik Kurumu" https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr. Erişim tarihi: 12.07.2021

Turan, M. A., Taban, S., Kayın. G. B. ve Taban, N. (2018). "Effect of boron application on calcium and boron concentrations in cell wall of durum (*Triticum durum*) and bread (*Triticum aestivum*) wheat." *Journal of Plant Nutrition*, 41(11), 1351-1357. https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1450424

Valenciano, J. B., Boto, J. A. ve Marcelo, V. (2011). "Chickpea (*Cicer arietinum* L.) response to zinc, boron and molybdenum application under field conditions". *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 39(4), 217-229. https://doi.org/10.1080/ 01140671.2011.577079

Van Soest, P. J. (2006). "Review: rice straw. The role of silica and treatments to improve quality." *Animal Feed Science and Technology*, 130, 137-171. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.01.023

Wang, R., Liu, G., Liu, L. and Jiang, C. (2014). "Relationship between leaf chlorosis and different boron forms in trifoliate orange seedlings under excessive boron supply". *Soil Science and Plant Nutrition*, 60, 325-332. https://doi.org/10.1080/00380768. 2014.893536

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

Yan, W. ve Tinker, N. A. (2006). "Biplot Analysis of Multi-environment Trial Data: Principles and Applications". *Canadian Journal of Plant Science*, 86, 623-645. https://doi.org/10.4141/P05-169

Yau, S. K. (2000). "Soil-boron affects straw quality and other agronomic traits in two cultivars of barley." *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 31(5), 591-604. https://doi.org/10.1080/00103620009370462

Yazıcı, E. (2020). "Çeltik. Ocak 2020. Ürün No: BÜ-05. Tarım Ürünleri Piyasa Raporu." s. 2. https://arastirma.tarimorman.gov.tr. Erişim Tarihi: 28.04.2021

Yıldıztekin, M. ve Tuna, A. L. (2015a). "Ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) bitkisi polikültür koşullarda yetiştirildiğinde bor alımı etkilenir mi?". *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 52(1), 99-106. https://doi.org/10.20289/euzfd.82883

Yıldıztekin, M. ve Tuna, A. L. (2015b). "Farklı ekim sisteminde yetiştirilen yonca (*Medicago sativa* L.) bitkisinin bor alımı yönünden değerlendirilmesi". *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*, 8 (1), 29-34.

Zhang, X., Shen, Z. and Shen, K. (1994). "Effect of boron on floral organ development and seed setting of rape seed (*Brasica napus* L.)." *Turang Xuebas*, 31, 146-152.