



T.C.

KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AĞIR METAL BULAŞIK TOPRAKLARDA BAZI
BRASSICACEAE TÜRLERİNİN
FİTOREMEDİASYON POTANSİYELLERİNİN
BELİRLENMESİ**

TAMMAM İSMAIL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
BAHÇE BİTKİLERİ ANABİLİM DALI**

KAHRAMANMARAŞ 2019

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AĞIR METAL BULAŞIK TOPRAKLARDA BAZI
***BRASSICACEAE* TÜRLERİNİN FİTOREMEDİASYON**
POTANSİYELLERİNİN BELİRLENMESİ

TAMMAM ISMAIL

Bu tez,
Bahçe Bitkileri Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS
derecesi için hazırlanmıştır.

KAHRAMANMARAŞ 2019

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi Tammam ISMAIL tarafından hazırlanan “Ağır Metal Bulaşık Topraklarda Bazı *Brassicaceae* Türlerinin Fitoremediasyon Potansiyellerinin Belirlenmesi” adlı bu tez, jürimiz tarafından 20/08/2019 tarihinde oy birliği/oy çokluğu ile Bahçe Bitkileri Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof.Dr. İrfan Ersin AKINCI (DANIŞMAN)
K.S.Ü, Bahçe Bitkileri ABD

.....

Prof.Dr. Kadir YILMAZ (EŞ DANIŞMAN)
K.S.Ü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme ABD

.....

Prof.Dr. Kadir SALTALI (ÜYE)
K.S.Ü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme ABD

.....

Prof.Dr. Köksal DEMİR (ÜYE)
Ankara Üniversitesi, Bahçe Bitkileri ABD

.....

Prof.Dr. Ertan YILDIRIM (ÜYE)
Atatürk Üniversitesi, Bahçe Bitkileri ABD

.....

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa YAZICI

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada, alıntı yapılan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Tammam ISMAIL



Bu çalışma KSÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi tarafından desteklenmiştir.
Proje No: 2018/7-20 YLS

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

AĞIR METAL BULAŞIK TOPRAKLARDA BAZI *BRASSICACEAE* TÜRLERİNİN FİTOREMEDİASYON POTANSİYELLERİNİN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TAMMAM ISMAIL

ÖZET

Bu araştırmada önemli hiperakümülatör bitkilerini bünyesinde barındıran *Brassicaceae* familyasının birer üyesi olan brokoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*; Naxos F1), karnabahar (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis*; Arizona F1), beyaz baş lahana (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* L. f. *alba*; Fieldglory F1) ve kırmızı baş lahana (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* L. f. *rubra*; Rondale F1)'nın fitoremediasyon potansiyelleri araştırılmıştır.

Bu amaçla *Brassicaceae* türleri bakır (kontrol, 75, 150, 300 mg kg⁻¹ Cu), demir-Fe (kontrol, 250, 500, 1000 mg kg⁻¹ Fe), nikel-Ni (kontrol, 50, 100, 200 mg kg⁻¹ Ni), çinko-Zn (kontrol, 250, 500, 1000 mg kg⁻¹ Zn) ile bulaşık topraklarda yetiştirilmiştir. Türlerin fitoremediasyon kabiliyetleri, hasatlarının tamamlanmasının ardından aynı metal ve dozların bulunduğu topraklarda kültüre alınan ıspanak (*Spinacia oleracea* L; Matador F1) bitkileri ile test edilmiştir. Tüm denemeler faktöriyel deneme deseninde 3 tekerrürlü olarak sera ortamında, saksılarda yürütülmüştür.

Araştırmada yürütülen *Brassicaceae* ve ıspanak denemelerinde metal dozları arttıkça bitkilerin bakır, demir, nikel ve çinko içerikleri yükselmiştir. *Brassicaceae* ve ıspanak denemelerinde artan bakır, demir ve nikel (önemsiz de olsalar) ile çinko dozları bitkilerin Ca alımını arttırmıştır. Bitkilerin potasyum alımları da her iki denemedeki (ıspanak denemesindeki bakırın olumsuz etkisi hariç) ortamların metal dozlarındaki artışa bağlı olarak arttırmıştır. Topraklara eklenen bakır dozlarındaki artışla birlikte *Brassicaceae* denemesi bitkilerinin magnezyum alımları artarken, demir-nikel-çinkodaki artışla magnezyum alımları azalmış; ıspanak denemesi bitkilerindeki magnezyum alımları ise metal bulaşık topraklarda artmıştır.

Brassicaceae ve ıspanak denemelerinde metalle bulaşık topraklarda kültüre alınan bitkilerin genel olarak kök özelliklerinde olumsuzluklar görülmüş; üst aksam gelişimlerinde kısıtlamalar ortaya çıkmıştır.

Brassicaceae türlerinin fitoremediasyon performansları kümülatif tolerans indeksi değerleri ile belirlenmiş; bakır için beyaz baş lahanının, demir-nikel-çinko için karnabaharın fitoremediasyon kabiliyetinin diğer türlere göre daha iyi olduğu yorumu yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Metal, toksisite, fitoremediasyon, Cu, Fe, Ni, Zn, *Brassicaceae*, ıspanak

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Ağustos/ 2019

Danışman: Prof.Dr. İrfan Ersin AKINCI

Eş Danışman: Prof.Dr. Kadir YILMAZ

Sayfa sayısı: 132

DETERMINATION OF FITOREMEDIATION POTENTIALS OF SOME BRASSICACEAE SPECIES IN SOILS WITH HEAVY METAL CONTAMINATION

M.Sc. THESIS

TAMMAM ISMAIL

ABSTRACT

In this research, the phytoremediation potentials broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *Italica*; Naxos F1), cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis*; Arizona F1), white head cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* L. f. *alba*; Fieldglory F1) and red head cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* L. f. *rubra*; Rondale F1), which are the members of *Brassicaceae* family, were investigated that contains important hyperaccumulator plants.

For this purpose, *Brassicaceae* species were grown in contaminated soils with copper (control, 75, 150, 300 mg kg⁻¹ Cu), iron-Fe (control, 250, 500, 1000 mg kg⁻¹ Fe), nickel-Ni (control, 50, 100, 200 mg kg⁻¹ Ni), zinc-Zn (control, 250, 500, 1000 mg kg⁻¹ Zn). The phytoremediation ability of the species was tested with spinach (*Spinacia oleracea* L; Matador F1) plants that were cultured in the same soils after the completion of harvest. All experiments were carried out as factorial experimental design with 3 replications in greenhouse environment and in pots.

Copper, iron, nickel and zinc contents of the plants increased with to the metal doses increased in *Brassicaceae* and spinach experiments. Ca uptake of the plants were triggered increased by the application of increasing doses of copper, iron, nickel and zinc in *Brassicaceae* and spinach experiments, although the increase in iron and nickel supplemented samples were insignificant. Potassium uptake of the plants also increased due to the increase in metal doses of both trials (except the negative effect of copper in the spinach experiment). Magnesium uptake of *Brassicaceae* plants were elevated with increasing copper doses added to the soils, while magnesium uptake decreased with increasing iron, nickel and zinc. However, magnesium uptake of spinach experiment plants was found to be higher in the soils contaminated with metals.

Brassicaceae and spinach experiments showed that the root characteristics of the plants were negatively affected by metal contaminated soils; besides there were constraints on the development of upper parts.

When the phytoremediation performance of *Brassicaceae* species was determined by the cumulative tolerance index values, it was commented that the white head cabbage and cauliflower had better phytoremediation ability than other species with copper and iron-nickel-zinc, respectively.

Key Words: Metal, toxicity, phyremediation, Cu, Fe, Ni, Zn, , *Brassicaceae*, spinach

Kahramanmaraş Sütçü İmam University
Institute for Graduate Studies in Science and Technology
Department of Horticulture August/2019

Supervisor: Prof.Dr. İrfan Ersin AKINCI

Co-supervisor: Prof.Dr. Kadir YILMAZ

Page number: 132

ÖNSÖZ

Bu tez konusu bana vererek ve tezim süresince her aşamada yardım ve desteklerini esirgemeyen, her aşamada bana yol gösteren Danışman hocalarım Prof. Dr. İrfan Ersin AKINCI ve Prof. Dr. Kadir YILMAZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın yürütülmesi ve yazım aşamalarında yardımlarını esirgemeyen Arş.Gör. Ömer Faruk DEMİR ve Arş.Gör. Hava Şeyma YILMAZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin her aşamasında bana sabır gösteren ve yanımda olan annem, babam ve kardeşlerime ayrı ayrı sevgilerimi sunuyorum.

Tammam ISMAIL

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	III
ÖNSÖZ.....	V
İÇİNDEKİLER.....	VI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XV
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	9
3. MATERYAL ve METOT.....	20
3.1. Bitkilerin Yetiştirilmesi ve Denemelerin kurulması.....	20
3.2. İncelenen özellikler.....	22
3.2.1. Ağır metallerin belirlenmesi.....	22
3.2.2. Bitkisel Özelliklerin Belirlenmesi.....	23
3.3. İstatistiki analizler.....	24
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	25
4.1. Bulgular.....	25
4.1.1. Bakır (Cu)	25
4.1.1.1. Bakır (Cu) İçeriği	25
4.1.1.2. Ca, K ve Mg İçeriği	26
4.1.1.3. Kök Boyu, Yaş ve Kuru Ağırlığı.....	30
4.1.1.4. Bitki Boyu.....	34
4.1.1.5. Yaprak Sayısı, Genişliği ve Uzunluğu.....	36
4.1.1.6. Yaprak Yaş ve Kuru ağırlığı	40
4.1.1.7. Tolerans İndeks.....	43
4.1.2. Demir (Fe)	43
4.1.2.1. Demir (Fe) İçeriği	43
4.1.2.2. Ca, K ve Mg İçeriği	45
4.1.2.3. Kök Boyu, Yaş ve Kuru Ağırlığı.....	49
4.1.2.4. Bitki Boyu.....	53
4.1.2.5. Yaprak Sayısı, Genişliği ve Uzunluğu.....	54
4.1.2.6. Yaprak Yaş ve Kuru ağırlığı	58
4.1.2.7. Tolerans İndeks.....	61

4.1.3. Nikel (Ni)	61
4.1.3.1. Nikel (Ni) İçeriği	61
4.1.3.2. Ca, K ve Mg İçeriği	63
4.1.3.3. Kök Boyu, Yaş ve Kuru Ağırlığı	67
4.1.3.4. Bitki Boyu.....	71
4.1.3.5. Yaprak Sayısı, Genişliği ve Uzunluğu.....	72
4.1.3.6. Yaprak Yaş ve Kuru ağırlığı	76
4.1.3.7. Tolerans İndeks.....	79
4.1.4. Çinko (Zn)	80
4.1.4.1. Çinko (Zn) İçeriği (mg kg ⁻¹)	80
4.1.4.2. Ca, K ve Mg İçeriği	82
4.1.4.3. Kök Boyu, Yaş ve Kuru Ağırlığı	86
4.1.4.4. Bitki Boyu.....	90
4.1.4.5. Yaprak Sayısı, Genişliği ve Uzunluğu.....	91
4.1.4.6. Yaprak Yaş ve Kuru ağırlığı	95
4.1.4.7. Tolerans İndeks.....	98
4.2. Tartışma.....	99
4.2.1. Bakır	99
4.2.2. Demir.....	104
4.2.3. Nikel.....	108
4.2.4. Çinko.....	111
4.3. Sonuç.....	116
KAYNAKLAR.....	118
ÖZGEÇMİŞ.....	132

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Cu	Bakır
Fe	Demir
Ni	Nikel
Zn	Çinko
Cd	Kadmiyum
Cr	Krom
Mo	Molibden
Mn	Manganez
Pb	Kurşun
Co	Kobalt
Se	Selenyum
Mg	Magnezyum
K	Potasyum
Ca	Kalsiyum
Na	Sodyum
$\text{CuSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Bakır Sülfat
$\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Çinko Sülfat
$\text{Fe SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Demir Sülfat
$\text{Ni SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Nikel Sülfat
°C	Santigrat Derece, sıcaklık birimi
HClO_4	Perklorik asit
HNO_3	Nitrik Asit
ppm	mg kg^{-1} (milyonda bir)
μg	Mikrogram
μm	Mikromol
mm	Milimetre
ml	Mililitre
cm	Santimetre
g	Gram
%	Yüzde

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 3.1. Denemede kullanılan ağır metaller, dozları (mg kg ⁻¹ toprak) ve etken maddeleri	21
Çizelge 4.1. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin bakır (Cu, mg kg ⁻¹) içerikleri	25
Çizelge 4.2. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin bakır (Cu, mg kg ⁻¹) içerikleri	26
Çizelge 4.3. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin kalsiyum (Ca, %) içerikleri	27
Çizelge 4.4. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin kalsiyum (Ca, %)	27
Çizelge 4.5. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin potasyum (K, %) içerikleri	28
Çizelge 4.6. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin potasyum (K, %) içerikleri	28
Çizelge 4.7. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin magnezyum (Mg, %) içerikleri	29
Çizelge 4.8. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin magnezyum (Mg, %) içerikleri	30
Çizelge 4.9. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin kök boyları (cm)	31
Çizelge 4.10. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin kök boyları (cm)	31
Çizelge 4.11. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin kök yaş ağırlıkları (g)	32
Çizelge 4.12. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin kök yaş ağırlıkları (g)	33
Çizelge 4.13. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin kök kuru ağırlıkları (g)	33
Çizelge 4.14. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin kök kuru ağırlıkları (g)	34
Çizelge 4.15. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin bitki boyları (cm)	35
Çizelge 4.16. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin bitki boyları (cm)	35

Çizelge 4.17. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin yaprak sayıları (adet)	36
Çizelge 4.18. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak sayıları (adet)	37
Çizelge 4.19. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin yaprak genişlikleri (cm)	37
Çizelge 4.20. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak genişlikleri (cm)	38
Çizelge 4.21. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin yaprak uzunlukları (cm)	39
Çizelge 4.22. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak uzunlukları (cm)	39
Çizelge 4.23. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin yaprak yaş ağırlıkları (g)	40
Çizelge 4.24. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak yaş ağırlıkları (g)	41
Çizelge 4.25. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin yaprak kuru ağırlıkları (g)	41
Çizelge 4.26. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak kuru ağırlıkları (g)	42
Çizelge 4.27. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin tolerans indeksleri	43
Çizelge 4.28. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin tolerans indeksleri	43
Çizelge 4.29. Demir bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin demir (Fe, mg kg ⁻¹) içerikleri	44
Çizelge 4.30. Demir bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin demir (Fe, mg kg ⁻¹) içerikleri	44
Çizelge 4.31. Demir bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin (Ca, %) içerikleri	45
Çizelge 4.32. Demir bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin kalsiyum (Ca, %) içerikleri	46
Çizelge 4.33. Demir bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin potasyum (K, %) içerikleri	46
Çizelge 4.34. Demir bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin potasyum (K, %) içerikleri	47

Çizelge 4.35. Demir bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin magnezyum (Mg, %) içerikleri	48
Çizelge 4.36. Demir bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin magnezyum (Mg, %) içerikleri	48
Çizelge 4.37. Demir bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin kök boyları (cm)	49
Çizelge 4.38. Demir bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin kök boyları (cm)	49
Çizelge 4.39. Demir bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin kök yaş ağırlıkları (g)	50
Çizelge 4.40. Demir bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin kök yaş ağırlıkları (g)	51
Çizelge 4.41. Demir bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin kök kuru ağırlıkları (g)	52
Çizelge 4.42. Demir bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin kök kuru ağırlıkları (g)	52
Çizelge 4.43. Demir bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin bitki boyları (cm)	53
Çizelge 4.44. Demir bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin bitki boyları (cm)	54
Çizelge 4.45. Demir bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin yaprak sayıları (adet)	54
Çizelge 4.46. Demir bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak sayıları (adet)	55
Çizelge 4.47. Demir bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin yaprak genişlikleri (cm)	56
Çizelge 4.48. Demir bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak genişlikleri (cm)	56
Çizelge 4.49. Demir bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin yaprak uzunlukları (cm)	57
Çizelge 4.50. Demir bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak uzunlukları (cm)	58
Çizelge 4.51. Demir bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin yaprak yaş ağırlıkları (g)	59
Çizelge 4.52. Demir bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak yaş ağırlıkları (g)	59

Çizelge 4.53. Demir bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin yaprak kuru ağırlıkları (g)	60
Çizelge 4.54. Demir bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak kuru ağırlıkları (g)	60
Çizelge 4.55. Demir bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin tolerans indeksleri	61
Çizelge 4.56. Demir bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin tolerans indeksleri	61
Çizelge 4.57. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin nikel (Ni, mg kg ⁻¹) içerikleri	62
Çizelge 4.58. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin nikel (Ni, mg kg ⁻¹) içerikleri	62
Çizelge 4.59. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin kalsiyum (Ca, %) içerikleri	63
Çizelge 4.60. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin kalsiyum (Ca, %) içerikleri	64
Çizelge 4.61. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin potasyum (K, %) içerikleri	65
Çizelge 4.62. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin potasyum (K, %) içerikleri	65
Çizelge 4.63. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin magnezyum (Mg, %) içerikleri	66
Çizelge 4.64. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin magnezyum (Mg, %) içerikleri	67
Çizelge 4.65. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin kök boyları (cm)	67
Çizelge 4.66. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin kök boyları (cm)	68
Çizelge 4.67. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin kök yaş ağırlıkları (g)	69
Çizelge 4.68. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin kök yaş ağırlıkları (g)	69
Çizelge 4.69. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin kök kuru ağırlıkları (g)	70
Çizelge 4.70. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin kök kuru ağırlıkları (g)	70

Çizelge 4.71. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin bitki boyları (cm)	71
Çizelge 4.72. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin bitki boyları (cm)	72
Çizelge 4.73. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin yaprak sayıları (adet)	73
Çizelge 4.74. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak sayıları (adet)	73
Çizelge 4.75. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin yaprak genişlikleri (cm)	74
Çizelge 4.76. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak genişlikleri (cm)	75
Çizelge 4.77. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin yaprak uzunlukları (cm)	75
Çizelge 4.78. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak uzunlukları (cm)	76
Çizelge 4.79. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin yaprak yaş ağırlıkları (g)	77
Çizelge 4.80. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak yaş ağırlıkları (g)	77
Çizelge 4.81. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin yaprak kuru ağırlıkları (g)	78
Çizelge 4.82. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak kuru ağırlıkları (g)	79
Çizelge 4.83. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin tolerans indeksleri	79
Çizelge 4.84. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin tolerans indeksleri	80
Çizelge 4.85. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin çinko (Zn, mg kg ⁻¹) içerikleri	80
Çizelge 4.86. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin çinko (Zn, mg kg ⁻¹) içerikleri	81
Çizelge 4.87. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin kalsiyum (Ca, %) içerikleri	82
Çizelge 4.88. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin kalsiyum (Ca, %) içerikleri	82

Çizelge 4.89. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin potasyum (K, %) içerikleri	83
Çizelge 4.90. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin potasyum (K, %) içerikleri	84
Çizelge 4.91. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin magnezyum (Mg, %) içerikleri	85
Çizelge 4.92. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin magnezyum (Mg, %) içerikleri	85
Çizelge 4.93. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin kök boyları (cm)	86
Çizelge 4.94. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin kök boyları (cm)	87
Çizelge 4.95. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin kök yaş ağırlıkları (g)	87
Çizelge 4.96. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin kök yaş ağırlıkları (g)	88
Çizelge 4.97. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin kök kuru ağırlıkları (g)	89
Çizelge 4.98. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin kök kuru ağırlıkları (g)	89
Çizelge 4.99. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin bitki boyları (cm)	90
Çizelge 4.100. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin bitki boyları (cm)	91
Çizelge 4.101. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin yaprak sayısı (adet)	91
Çizelge 4.102. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak sayısı (adet)	92
Çizelge 4.103. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin yaprak genişliği (cm)	93
Çizelge 4.104. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak genişliği (cm)	93
Çizelge 4.105. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin yaprak uzunluğu (cm)	94
Çizelge 4.106. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak uzunluğu (cm)	95

Çizelge 4.107. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin yaprak yaş ağırlıkları (g)	95
Çizelge 4.108. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak yaş ağırlıkları (g)	96
Çizelge 4.109. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin yaprak kuru ağırlıkları (g)	97
Çizelge 4.110. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak kuru ağırlıkları (g)	97
Çizelge 4.111. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen <i>Brassicaceae</i> denemesinde, bitkilerin tolerans indeksleri	98
Çizelge 4.112. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin tolerans indeksleri	98



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Bitki örneklerinin analiz aşamaları

Sayfa No
23



1. GİRİŞ

Yoğunluğu 5.0 g/cm³'ten büyük olan metallere "ağır metaller" denmektedir. Bazı kaynaklar ayrıca 4.5 g/cm³'ten daha büyük yer çekimli metalleri de işaret etmektedirler. Cu, Cd, Cr, Co, Fe, Mn, Ni, Se, Pb ve Zn gibi 60 tan fazla element buna örnek olarak verilebilir (Kahvecioğlu ve ark., 2001; Azevedo ve Lea, 2005).

Doğada Cd, Cr, Hg ve Pb gibi ağır metaller canlılar için gerekli değildir eser miktarları toksisite etkisi göstermektedir. Bakır, krom, demir (Fe), manganez (Mn), molibden (Mo), çinko (Zn) ve nikel (Ni) gibi ağır metaller ise belirli bir doza kadar gerekli olmaktadır. Bu öğeler “iz” veya “eser” öğeleri olarak adlandırılmaktadır (Asri ve Sönmez, 2007).

Toprağa bulaşan ağır metallerin en tehlikeli yönü, bitki tarafından alınıp besin zincirine katılarak diğer canlı organizmalar üzerinde olumsuz bir etki yapmalarıdır. Ağır metaller topraktaki konsantrasyonlarının artmasıyla, yeraltı sularına sızarak, tarımsal su ve içme suyunun kalitesini bozarlar. Topraktaki canlı organizmaların faaliyetlerine müdahale eder ve çalışmalarını engeller, ekolojik dengeyi olumsuz yönde etkilerler. Bazı ağır metaller (çinko, Zn; demir, Fe; bakır, Cu; nikel, Ni; vb) düşük dozlarda bitkiler için de önemli mikro-elementlerdir; fakat yüksek dozlarda bitki türlerinin çoğunun büyümesini engeller ve metabolik düzensizliğe sebep olabilirler (Okçu ve ark., 2009; Eren ve Mert, 2016).

Bitki bünyesinde biriken ağır metaller, bazen bitkilerin fizyolojik aktivitelerini önleyerek veya yavaşlatarak verimlerini düşürür ve uzun bir süreçte ölüme neden olurlar. Bitkilerin ağır metallerin toksisitesine karşı toleransı bitkinin türüne, elementin tipine, strese maruz kalma süresine ve dokuya veya strese maruz kalan organa bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle, ağır metallerin türü ve miktarı, yararlılığı, şiddeti, hasarın türü, hasar oluşumu sürecinin bilgisi, bitkilerin gelişimi ve fizibilitesi önemlidir (Merian, 1982; Asri ve Sönmez, 2007).

Gelişmiş sanayi ve madencilik faaliyetleri, ekosistemlerde artan Cu oluşumuna katkıda bulunmuştur. Madencilik faaliyetleri, yüzeyde biriken büyük miktarda atık kayalar ve tortular oluşturmaktadır. Bakır, içerdiği cevherlerin madenciliği ve eritilmesi de dahil olmak üzere farklı insan faaliyetleri sonucu ortaya çıkar ve topraklara eklenerek, kirliliğe neden olur. Bakır, tarımda mantar ilaçları ve mikrobiosit içeren gübrelerin yaygın olarak kullanılması en büyük etkenlerdendir. Bakır, bitki dokusundaki konsantrasyonu optimal seviyelerin üzerine çıktığı zaman toksik hale gelmektedir (Lombardi ve ark., 2005).

Topraklarda birçok formda bulunur, fakat bitkilerce esas olarak alımı Cu^{+2} şeklindedir (Maksymiec, 1997). Topraktaki bakır konsantrasyonu 2 ile 250 $\mu\text{g g}^{-1}$ arasındadır ve sağlıklı bitkiler 20-30 $\mu\text{g g}^{-1}$ absorbe edebilmektedir (Azooz ve ark., 2012). Bakır etkisi büyük ölçüde toprak pH'sına bağlıdır ve bitkilere yarayışlılığı azalan pH ile artmaktadır (Sheldon ve ark., 2005). Topraktaki Cu fazlalığı sitotoksik bir rol oynamakta, stresi indüklemekte ve böylece bitkilere zarar vermektedir. Bakır fotosentetik sistemin plastoksiyanin ve respiratuar elektron transport zincirinin sitokrom oksidazı gibi çeşitli proteinlerin de önemli bir bileşenidir (Demirevska-kepova ve ark., 2004). Yüksek bakır konsantrasyonları bitkide büyüme geriliği ve yaprak klorozuna yol açmaktadır (Lewis ve ark., 2001; Sönmez ve ark., 2006).

Demir, toprak ve kayaçların yapısında oksit ve hidroksit bileşikleri şeklinde bulunmaktadır. Demir insan faaliyetleri sonucunda ortaya çıkmakta ve bu ise toprağa dahil edilmekte önemli bir rol oynamaktadır (Kabata-Pendias ve Mukherjee, 2007). Demir gübrelerinin ticari olarak birçok kaynağı bulunmakta; en yaygın olarak demir sülfat (Mono veya heptahidrat), demir amonyum sülfat, ferrik sülfat ve çeşitli demir-şelat formları kullanılmaktadır (Fageria ve ark., 2002). Bitkiler için standart demir kaynağı demir sülfat heptahidrat ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) olup, suda çözünür formdadır. Ancak topraktaki bu demirin, kil mineralleri tarafından çabucak absorbe edilmesi, oksitler ve hidroksitler yanında az bir oranda da karbonatlar ve fosfatlar ile reaksiyona girmesi sonucu bitkilerdeki yarayışlılığı azalmaktadır (Lombardi ve Sebastiani, 2005; Godsey ve ark., 2003). Demir bitkilerdeki besleyici bir rol üstlenen, birçok fizyolojik ve biyokimyasal süreç için gerekli olan maddedir. Biyokimyasal olarak Fe, klorofil sentezi, elektron transportu, fotosentez, azot (N_2) fiksasyonunda işlev görür ve sitokromlar da dahil olmak üzere birçok heme ve nonheme demir (Fe) enzimleri ve taşıyıcılarının bir bileşenidir (Mengel ve ark., 2001) Demirin yaklaşık % 80'i, sitokromların ve klorofil, elektron taşıma sistemi ve Fe-S kümelerinin yapımı da dahil olmak üzere diğer hemalim moleküllerinin biyosentezi için gerekli olduğu fotosentetik hücrelerde bulunmaktadır (Briat ve ark., 2007). Fotosentetik aparatta, fotosistem II ile doğrudan ilişkili moleküller içinde iki veya üç demir atomu, fotosistem I'de 12 atom (sitokrom kompleksi içinde 5 atom) ve ferredoksin molekülünde iki tane bulunmaktadır (Varotto ve ark., 2002). Demir toprakların çoğunda asitlik problemlerinin olması ve aşırı demir toksisitesinin topraktaki düşük pH değerleriyle ilişkili sık bir sınırlama olduğu göz önüne alındığında (Casierra-Posada ve ark., 2008; Nenova, 2006). Topraktaki aşırı demir konsantrasyonları, esas olarak klorofilin ve dolayısıyla fotosentezin gerilemesinde etki yaparak ortaya çıkmaktadır (Peña-Olmos ve Casierra-

Posada, 2014). Demir toksisitesi altındaki bitkilerde fizyolojik yapıda sınırlanma, kuru ve taze biyomas, kök ve sürgün uzaması, yaprak sayısı ve yaprak alanı gibi özelliklerde kayıplar şeklinde görülmektedir (Nenova, 2006).

Nikel periyodik tablonun 28. ögesidir. Birkaç formu bulunan gümüş-beyaz bir metaldir, biyolojik sistemlerde Ni (II) formu en yaygın olanıdır (Denkhaus ve Salnikow, 2002). Ortamdan havaya olan başlıca nikel emisyon kaynakları, ısı veya elektrik üretimi, madencilik, çelik ve çimento üretimi olabilmektedir (Bhalerao ve ark., 2015). Nikel, yüksek bitkilerde üreaz ve hidrojenaz gibi önemli enzimlerin yapısında yer almaktadır. Azot metabolizması için gerekli bir metaldir. Nikel, bitki tarafından toprak ve besin çözeltisinden kolayca emilmektedir. Yüksek nikel konsantrasyonları, bitki büyümesi üzerinde toksik bir etkiye sahiptir. Yaklaşık 400 tür kara bitkisinin, çeşitli ağır metalleri biriktiren bitkiler olarak tanımlanmakta, bunlardan 300'ü Ni hiperakümülatör olarak kabul edilmektedir (Baker ve Brooks 1989). Aşırı nikel fotosentezi ve membran fonksiyonlarını yok etmekte; tohum çimlenmesini, bitki büyümesini ve gelişimini engelleyerek bitkilerin verimini önemli ölçülerde azaltmaktadır (Boominathan ve Doran 2002). Bitkide nikel toksisitesinin en yaygın belirtileri tohum çimlenmesinin, büyümenin, fotosentezin, şeker iletiminin engellenmesi; kloroz, solgunluk ve nekrozların uyartımıdır (Takishima ve ark.,1988).

Çinko toprak atık çamur, kentsel kompostlar, gübreler, atık yakma fırınlarından kaynaklanan emisyonlar, metalik atıklardan elde edilen artıklar, metal eritme endüstrisi ve diğer insan faaliyetlerinin bir sonucu ortaya çıkan önemli bir kirleticidir. Zn, yaşayan organizmalar için gerekli bir besin maddesidir. Ancak kirlenmiş topraklarda bulunan Zn konsantrasyonları çoğu zaman besin maddesi olarak gerekli olanlara ulaşır ve fitotoksositeye neden olabilmektedir. Kirlenmiş topraklarda 150 ila 300 mg kg⁻¹ aralığında Zn konsantrasyonları ölçülmüştür (De Vries ve ark., 2007; Warne ve ark., 2008). Topraktaki yüksek Zn seviyeleri birçok bitki metabolik fonksiyonunu inhibe etmekte; büyümeyi geciktirmekte ve yaşlanmaya neden olmaktadır. Bitkilerde çinko toksisitesi hem kök hem de sürgün büyümesini sınırlandırmaktadır. Çinko toksisitesi, genç yapraklarda klorozun artmasına neden olur. Kloroz çinko iyonlarının etkisi ile ortaya çıkan demir eksikliğinden kaynaklanabilmektedir. Fazla çinko, kökten bitki sürgünlerine tansferin engellenmesi sonucu mangan ve bakır eksikliklerine de yol açabilmektedir. Zn toksisitesinin bir diğer tipik etkisi, yapraklarda fosfor eksiliği sonucu morumsu-kırmızı bir rengin ortaya çıkmasıdır (Clarkson ve Hanson, 1980; Lee ve ark., 1996; Ebbs ve Kochian, 1997; Fontes ve Cox, 1998)

Bitkilerden faydalanmak yoluyla ağır metallerle kirlenmiş alanların temizlenmesi veya olabildiğince kullanılabilir hale getirilmesinde son zamanlarda üzerinde durulan en önemli konulardan birisi haline gelmiştir. Fito-ıslah yöntemleri olarak adlandırılan bu yöntemlerde kullanılan bitki türlerinin sayısı yapılan araştırmalar ile gün geçtikçe artmaktadır. Yeşil ıslah, özellikle düşük ve orta risk grubundaki kontamine alanları iyileştirmek için bitkileri kullanan etkili bir yöntemdir. Yöntem “Fitoremediasyon” olarak isimlendirilmekte ve metallerle kirlenmiş alanlarda, bitkiler tarafından absorbe edilen ağır metaller topraktan uzaklaştırılmaktadırlar (Kuşutan, 2017).

Fitoremediasyon kirletici maddenin kontrolünün ve iyileştirilmenin gerçekleştirileceği yerde neler yapılması gerektiğini, kirleticilerin eliminasyonu için nelere ihtiyaç duyulduğunu, etkin bir işleyişle kullanılacak uygun bitki türlerinin belirlenmesini ve potansiyellerinin ortaya çıkarılması süreçlerini anlamak ve netleştirmek için kullanılmaktadır (Oh ve ark., 2013b).

Bu amaçlara yönelik olarak fitoremediasyonun farklı tipleri ortaya çıkmıştır. Fitoelekstraksiyon (Bitkisel Özümleme); bitki kökleri tarafından kirleticilerin alınımını ve sonrasında toprak üstü organlarda biriktirilmesini takiben bitkilerin hasat edilerek yok edilmesini içermektedir. Bu yöntem için uygun ve çoğu *Brassicaceae*, *Euphorbiaceae*, *Asteraceae*, *Lamiaceae* ve *Scrophulariaceae* familyalarından 400 kadar tür bulunmaktadır. Yöntemde hasat edilen bitkiler kurutularak, yakılarak, komposta dönüştürülerek ve biyolojik metal madeni formunda yeniden dönüşüme sokularak izole edilmektedir. Rizofiltrasyon (Köklerle Süzme); köklerce sıvı ortamlardan aşırı düzeydeki besin elementlerinin veya metallerin alınıp alıkonması yöntemidir. *Brassica juncea* (hint hardalı), *Phaseolus vulgaris* (fasulye) ve *Helianthus annuus* (ayçiçeği) gibi bitkiler kullanılmaktadır. Fitostabilizasyon (Köklerle Sabitleme); bitki köklerinin kirleticileri immobilize etmesi, böylece erozyonun önlenmesi, yeraltı sularına kirleticilerin sızarak toprakla temasın önlenmesi için toprak yüzeyinin bitkilerle örtülmesi esasına dayanmaktadır. Fitovolatilizasyon (Bitkisel Buharlaştırma); *Brassica juncea* (hint hardalı) ve *Arabidopsis thaliana* (fare kulağı teresi) gibi bitkiler kullanılarak topraktaki metallerin ayrışması ve atmosfere verilmesi işlemi olup, absorbe edilen metallerin uçucu formlara dönüştürülerek transpirasyonla atmosfere verilmesi hedeflenir. Fitotransformasyon-Fitodegradasyon (Bitkilerde Bozunum); bitki dokuları içerisinde kirleticilerin metabolik işlevler ve toprak mikroorganizmaları arasındaki rizosferik birliktelikle organik kirleticiler parçalanmakta ve metabolize edilmektedir. Rizodegradasyon (Köklerle Bozunum); Degradasyon, ile oluşuyorsa bu olay rizodegradasyon olarak isimlendirilir. Toprakta

köklerden bırakılan aminoasit, organik asit, yağ asitleri, sterol, şeker, nükleotid, flavanoid ve enzim gibi organik kirleticilerin mikroorganizma veya bitki kökleri etkisi ile degradasyonudur. Kırmızı dut (*Morus rubra*), nane (*Mentha spicata*), yonca (*Medicago sativa*) ve su kamışı (*Typha latifolia*) kullanılan bitkilere örnektir. Hidrolik Kontrol (Fitohidrolik veya hidrolik kök kontrolü); bitkilerden yararlanarak yer altı sularında kirleticilerin birikmesini ve taşınmasını engellemek/kontrol altında tutma metodudur. Vegetatif Örtü Sistemleri; kirleticileri toprak yüzeyinde kendiliğinden yetişen uzun süreli bitki sistemleri ile kontrol işlemidir. Kıyı Tampon Şeritleri; akarsuların kıyılarında akıntı boyunca, şeritler halinde kavak gibi bitkiler yetiştirilerek akarsulara doğru akan yeraltı veya yüzeysel sular içerisindeki kirleticilerin çevreye ve taban suyuna karışmadan giderilmesi amacıyla taşır (Hamutoğlu ve ark., 2012)

Fitoremediasyon süreçleri, bitkilerin kirletici maddeleri daha az alma ve/veya aldıkları maddeleri metabolize etme yeteneklerine dayanmaktadır. Kirletici maddelerin alınması, birikmesi ve parçalanması bitkiden bitkiye değişmektedir. Bitki geliştirmede kullanılan bitkiler genellikle büyüme oranları ve biyokütle, kirletici maddeleri tolere etme ve biriktirme kabiliyetleri, kök bölgelerinin derinliği ve yeraltı sularını çıkarma potansiyeli temelinde seçilmektedir (Oh ve ark., 2013b). Bu tür bitkiler dokularında yüksek konsantrasyonda ağır metal biriktirebilirler ve "hiperakümülatör bitkiler" olarak adlandırılırlar (Reeves ve Brooks, 1983).

Hiperakümülatörler ağır metalleri herhangi bir toksisite semptomu göstermeksizin toprak üstü organlarında diğer bitki türlerine göre 100 ila 1000 kat daha fazla biriktirebilen bitkilerdir Yaklaşık 450 bitki türü hiperakümülatör olarak tanımlanmıştır. Çoban dağarcığı (*Thlaspi caerulescens*), fare kulağı teresi (*Arabidopsis thaliana*), hint hardalı (*Brassica juncea*) (*Brassicaceae*), domates (*Lycopersicon esculentum*) (*Solanaceae*), mısır (*Zea mays*), arpa (*Hordeum vulgare*), pirinç (*Oryza sativa*) (*Poaceae*), bezelye (*Pisum sativum*) (*Fabaceae*), dam kuruğu (*Sedum alfredii*) (*Crassulaceae*) gibi birçok bitkinin farklı ağır metaller bakımından fitoremediasyon potansiyelleri değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, birçok hiperakümülatör türün fitoremediasyon potansiyeli yavaş büyüme hızı, düşük biyokütle ve genellikle belirli bir habitatla sıkı bir ilişki nedeniyle sınırlanmaktadır. Bu nedenle derin kök sistemi, hızlı büyüme oranı ve ağır metal toleransı gibi fitoremediasyon için gerekli özelliklere sahip bitkilerin geliştirilmesi gerekmektedir (Terzi ve Yıldız, 2011).

Fitoremediasyonda kullanılan bitkiler, kirletici maddeleri sadece biriktirmek, bozmak veya uçucu hale getirmekle kalmamalı, aynı zamanda farklı koşullarda hızlı büyümelidir. Başarılı bitki gelişimi, kirleticilerin yeraltı sularına doğru hareketini azaltabilmekte, toprak

yapısını koruyabilmekte, toprak kalitesini ve üretkenliğini arttırabilmektedir (Oh ve ark., 2013a; Wang ve ark., 2003).

Kadmiyum, bakır, kurşun, nikel ve çinko gibi ağır metalleri bünyelerinde biriktirebilme yeteneklerine sahip *Asteraceae*, *Brassicaceae*, *Fabaceae*, *Lamiaceae*, *Scrophulariaceae*, *Euphorbiaceae* familyalarındaki bazı türler önemli hiperakümülatör bitkiler kullanılmaktadır (Kuştutan, 2017). Bu fitoremediasyon bitkilerinin, yeşil aksamı bol ve yüksek oranda metal biriktirebilen, ağır metallere toleransı iyi, hızlı büyüyen, derin köklü ve hasatı kolay türler olması istenmektedir (Dağhan ve ark., 2007).

Ne yazık ki, bu özelliklerin ortak olduğu nokta yabancı bitkiler olmasıdır veya kültür bitkileri içinde olanlar henüz tanımlanmamıştır (Li ve ark., 2003); Dahası, hiperakümülatörler her biri, tek metal için daha seçicidir (Baker ve Brooks, 1989). Fitoremediasyonda sadece doğal bitkilerin değil insanların yararı için kültürü yapılan bitkilerin de araştırılması ve ele alınmasında faydalar sağlanabilecektir.

Bitkiler alemi içerisinde *Brassicaceae* ailesi, *Brassicaceae* (*Cruciferae*) veya haçlı çiçekliler, hardalgiller familyası, yaklaşık 338 cins ve dünyaya dağılmış 3709 türden oluşan bir gruptur. Ekonomik açıdan önemli birçok tarımsal türe ait bitkiler (süs, sebze, endüstriyel ve yemeklik yağ, yem ve çeşni kaynakları) bu familyadadır (Al-Shehbaz ve ark., 2006).

Brassica cinsinden bazı türler dünyanın farklı yerlerinde çok önemli tarımsal ürünlerdir ve aynı zamanda ağır metal akümülatörleri olarak bilinmektedir. Ağır metallerin neden olduğu strese karşı *B. juncea* ve *B. napus* gibi türlerde tolerans, alım ve savunma mekanizması ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır. Bu türlerin, bitkisel beslenme amaçlı yanlarını ortaya koymaya yönelik çalışmalar bir bütünlük arz etmemektedir. *Brassicaceae* familyasında ağır metal toksisitesine yönelik alım kapasitesi, oksidatif hasar ve biyokimyasal ve fizyolojik tolerans ve savunma mekanizmalarının açığa çıkarmak ve tür sayısını genişletmek için amacıyla için hint hardalı (*B. juncea*), kolza (*B. napus*), lahanası (*B. oleracea*), habes hardalı (*B. Carinata*), şalgam (*B. rapa*) ve kara hardal (*B. Nigra*) türleri de araştırmalara konu olmuştur (Mourato ve ark., 2015).

Ağır metallerin neden olduğu strese karşı *Brassica* türlerin bazılarında tolerans, alım ve savunma mekanizmasıyla ilgili çalışmalar ve fitoremediasyondaki (özellikle fito-ekstraksiyon) potansiyel kullanımları oldukça önemlidir. Çünkü bu türlerin topraklardaki yüksek metal konsantrasyonlarına toleransları, yaprak gibi üst aksamalarda ağır metal biriktirme yetenekleri, hızlı büyüebilmeleri ve yüksek biyokütle oluşturabilmeleri ve kolay yetiştirilmeleri özelliklerine sahip olmaları onları avantajlı yapmaktadır. Bu nedenle

Brassica'lardaki bu özelliklerden hareketle diğer bitki türlerinin de metal biriktirme potansiyellerinin olabileceğini akla getirmektedir (Marchiol ve ark., 2004; Mourato ve ark., 2015).

Yeşil ıslahta kullanılmakta olan *Brassicaceae* türleri arasında tarımsal amaçlı kullanımları olanların da araştırılmasında fayda bulunmaktadır. *Brassica carinata*, bir yağ bitkisi olarak yetiştirilmekle birlikte, biyoyakıt üretiminde de bir kaynak olarak dikkat çekmektedir (Cardone ve ark, 2003). şalgam (*B. rapa*) ve kara hardal (*B. nigra*), tohumları yağ içeriği ile son derece önemli türlerdir (Kopsell ve ark., 2007). Diğer taraftan lahanası, brokoli, karnabahar ve brüksel lahanası da insan beslenmesinde sebze olarak değerlendirilen türlerdir. Bu türler antioksidan aktiviteye sahip bileşiklerin, insan sağlığı için yararlı olduğu kabul edilen bazı glukozinolatlar gibi birçok biyoaktif bileşiğin ve besin maddesinin önemli kaynağıdır (Halkier ve Gershenzon, 2006; Goncalves ve ark., 2013). Ağır metallerin farklı *Brassica* türlerindeki etkilerini tanımlayan, gittikçe geniş bir literatür gövdesi vardır ve bu abiyotik strese karşı nispeten yüksek toleransı teyit etmektedir, ancak bu tolerans için tam mekanizma tam olarak açıklığa kavuşturulmamaktadır (Gall ve Rajakaruna, 2013; Kumar ve ark., 2012).

Brassica bitkileri, aşağıda sıralana özelliklerinden dolayı ağır metaller için etkili akümülatörlerdir:

- Büyük bir biyokütle üretir, çabuk büyür
- Kirlilik etmenlerine toleranslıdır
- Glutasyon, fitoklain ve metallothionein proteinleri gibi metal bağlayıcı bileşikler içerir
- Kapsamlı bir kök sistemi vardır
- Hasatı kolaydır
- Küçük, kompakt ve küresel başlık içine yerleştirilmiş sahip olduğu büyük bir biyokütlesi ile içinde biriktirdiği kirleticilerin bertaraf edilmesine kadar güvenli bir şekilde saklandığı bitkilerdir (Szczygłowska ve ark., 2011).

Brassica türleri yapısını uzun süre korur ve ölü yaprakları bile hemen parçalanmaz. Bu nedenle birikmiş ağır metallerin çevreye yayılma tehlikesi, alandan uzaklaştırılınca kadar yoktur. Çünkü bir hidroliz ürünü olan izotiyosiyanat ve biyofümifikasyon sürecinde çok etkili biyosit olan glikosinolat sinigrin içermektedir (Penas ve ark., 2011).

Spinacia oleracea, temel besinlerle dolu, en değerli yeşil sebzelerden biridir. Tüm dünyada yaygın olarak yetiştirilmektedir. Mg, Na, K, P, Ca, Cu, I, Zn, Mn ve Fe gibi

mineraller, folik asit ve A, E, K, C, B kompleksi vitaminleri, amino asitler ve lif bakımından çok zengindir. Ayrıca lipidlere, mineral tuzlara ve diğer temel elementlere sahiptir. Ispanak (*Spinacia oleracea*) insan sağlığı bakımından da sayılamayacak faydalara sahiptir (Perez-Espinosa ve ark., 1999; Yadav ve ark., 2002; Tandi ve ark., 2004).

Spinacia oleracea, oldukça yüksek ağır metal emme kabiliyetine sahiptir. Son zamanlarda ıspanağın bu özelliklerini ve toksisite tepkilerini ortaya koyma amacıyla bilimsel araştırmalara konu olmaya başlamıştır (Dhongade ve Nandkar, 2011). Bununla birlikte, metal kirletici içeren ortamlarda büyüme davranışları, metal biriktirme potansiyelleri; bunlara karşı tepki olarak toplam protein içeriği, lif özellikleri, nem içeriği ve inorganik besin kapsamı gibi bilgilerde eksiklikler bulunmaktadır. Ispanaktaki ağır metallerle olan tepkinin belirlenmesinde faydalar elde edilebilecektir (Alia ve ark., 2015).

İşte tüm bu konular dikkate alınarak yeşil ıslah (fitoremediasyon) üzerinden hareketle kültür bitkilerinden de faydalanma amacıyla yürütülen bu araştırmada *Brassicaceae*'ler ile birlikte kombine edilen ıspanaklarında potansiyelinin belirlenmesine çalışılmıştır. Çalışma *Brassicaceae* familyası türleri içinde yer alan ve kültür bitkileri içerisinde önemli sebze türlerinden olan, karnabahar (*Brassica oleracea* var. *botrytis*), brokoli (*Brassica oleracea* var. *italica*), kırmızı baş lahana (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* subvar. *Rubra*) ve beyaz baş lahana'nın (*Brassica oleracea* var. *capitata*) fitoremediasyon yani metalleri biriktirebilme ve tolere kabiliyetleri araştırılmış; fitoremediasyon başarısı çalışmanın ikinci aşamasına konu olan ıspanak ile ölçülmeye çalışılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yakıotu (*Epilobium hirsutum*)'ndaki demir birikiminin, demir açısından zengin koşullarda yetişen bitkilerin sürgün ve köklerinde, demir toksisitesinin “doğrudan” varlığını işaret ettiğini rapor etmektedir (Wheeler, 1985).

Yüksek Ni^{+2} içeren toprakta yetiştirilen bitkiler besin dengesinde bozulma olduğunu ve hücre zarının işlev bozukluğu ile sonuçlandığını göstermiştir. Böylece, Ni^{+2} , *Oryza sativa* sürgünlerinde rapor edildiği gibi plazma membranının lipid kompozisyonunu ve H-ATPase aktivitesini etkilemiştir (Roos ve ark., 1994).

İki deneysel sistemde asetrazin kullanarak kontamine olmuş alanların temizliğinde bitki arıtımının potansiyelinin ve kaynak olmayan kontaminasyonun önlenmesi araştırılmıştır. İki toprak tipinde yetiştirilmiş kavak ve hibrit kavak ağaçları kullanılarak yapılan toplu deneylerde absorpsiyon miktarları belirlenmiştir. Sonuçlar kavak bitkileri üzerinde görünür herhangi bir zararlı etki olmadan, toprağın organik kısmında sıkı bir şekilde bağlı olan ve emilemeyen atrazinlerin çoğunun emilebildiğini göstermiştir. Deneysel olarak elde edilen verilerden kinetik hız sabitleri elde etmek için matematiksel bir model geliştirilmiştir. Bu araştırma, rizosferdeki vejetatif alım ve bozulmanın tehlikeli atık sahalarındaki ıslahta önemli bir rol oynayabileceğini göstermiştir (Burken ve Schnoor, 1996).

$\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ($10\text{-}20 \text{ g m}^{-3}$) varlığında, hücre içi boşluklar ve palisade ve sünger mezofil hacimleri kontrol bitkilerine göre azalmıştır (Molas, 1997).

Topalak otu (*Cyperus difformis*), ak kazayağı (*Chenopodium ambrosioides*) ve tüylü şeytan otu (*Digitaria sanguinalis*) yabancı ot çeşitleri ile kurulan bir çalışmada, nikelin (0, 50, 100 ve 200 mg kg^{-1}) bitki büyümesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu çalışmanın sonucunda nikelin artan dozlarının, kontrol uygulamasındaki tüm türler için bitki büyümesinde önemli düşüslere yol açtığı bildirilmiştir (Ewais, 1997).

Esansiyel olan ve esansiyel olmayan eser elementlerin tarımsal ekosistemler ve besin zincirleri yoluyla hareketi karmaşık bir olgudur. As, B, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se ve Zn gibi elementler doğal işlemler yanında fosil yakıtların kullanılması, madencilik, eritme, toprakta çamur tadilatı, gübre uygulaması ve tarım uygulamaları gibi insan faaliyetleri sonucunda ortaya çıkmakta topraklarda düşük konsantrasyonlarda birikmesine yol açmaktadır. Tarımsal ekosistemdeki eser elementlerin hareketinin tahmininde kimyasal

form ve bitkilerdeki eser elementlerin alınması ve davranışını düzenleyen toprak ve bitki süreçlerini anlamaya çalışılma prensibine baş vurulmaktadır (Bañuelos ve Ajwa, 1997).

Espen ve ark. (1997) çalışmalarında, ilk 48 saat boyunca turp tohumlarında artan nikel konsantrasyonlarının (0, 80, 100, 200 ve 400 μm) çimlenme üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Turp (*Raphanus sativus*) fidelerinin büyüme ve gelişiminin, artan nikel dozlarıyla doğru orantılı olarak sınırlandığı tespit edilmiştir.

Ağır metal tanımı, daha çok çevresel problemler sonusunda ortaya çıkar. Düşük konsantrasyonlarda bile yüksek yoğunluklu ve toksik (zehirleyici olan) metalleri ifade etmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu tür metaller kurşun, kadmiyum, krom, demir, kobalt, bakır, nikel, cıva ve çinko da dahil olmak üzere 60'tan fazla metal içermektedir (Kahvecioğlu ve ark, 2001).

Dunand ve ark. (2002), bakır toksisitesinin hıyar bitkisinde fotosentez üzerindeki etkisi 0 ve 10 $\mu\text{g g}^{-1}$ Cu dozlarında karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Salatalık (*Cucumis sativus*) yapraklarının artan bakır dozlarına göre bakır stresi değişmiştir. Fotosentezin kontrole göre bakır stresi uygulamasında yapraklarda % 52, genç yapraklarda % 27 azaldığı belirlenmiştir. Fotosentez oranının olgun yapraklarda daha fazla azalmasının nedeni olarak; stoma hareketinin olgun yapraklarda olması ve bu nedenle CO_2 emiliminin çok daha fazla azalması göstermesi şeklinde yorumlanmıştır.

Mangrov (*Avicennia marina*) bitkisinde uygulanan bakır (Cu) 400 $\mu\text{g g}^{-1}$ seviyelerinde, toplam biyokütlede bir düşüş ve kök büyümesinde inhibisyona neden olduğu gözlenmiştir. Bakırın 100 $\mu\text{g g}^{-1}$ seviyesinde fide boyu, yaprak sayısı ve alanı özelliklerinde önemli azalmalar, dokulardaki Cu konsantrasyonlarında önemli artışlar elde edilmiştir (MacFarlane ve Burchett, 2002).

Ağır derecede kirletilmiş ortamlar için ümit verici olarak görülen metal hiperakümülatör bitkiler, etkili bitkisel temizleme teknolojisinin geliştirilmesi için umut verici bir strateji olmuşlar; transjenik bir yaklaşımla biriktirme özelliklerini daha fazla biyokütle üretecek mekanizmaların kazandırılması ile geliştirilebilir hale getirilmişlerdir. Bir fito-düzenleyici tesisin genetik manipülasyonu, eser elementlerin/metal iyonların harekete geçirilmesi, kök, sap ve bitkinin diğer canlı parçalarının bu mekanizma içine alınması, bunların bitki içindeki detoksifikasyonu ve biriktirilmesi gibi birtakım optimizasyon işlemlerine ihtiyaç duymaktadır. Teknoloji yeni ve düşük maliyetli

iyileştirme seçenekleri sundukça, bu bilim dalı hızla genişleme göstermeye devam edecektir (Singh ve ark., 2003).

Çoğu araştırmacı, fitoremediasyon için kullanılan bitkilerin yalnızca köklerinde metal biriktirmesinin gerekliliğine inanmaktadır. Birer sucul tür olan su sümbülü (*Eichhornia crassipes*); gotu kola (*Hydrocotyle umbellata* L.) ve su mercimeği (*Lemna minor* L.) sudaki ağır metalleri elemine etme kabiliyetine sahiptir. Ayrıca hint hardalı bitkisi köklerinde Cd, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn'nin biriktirmesiyle sudaki ağır metalleri bertaraf etmede etkilidir. Yine ayçiçeği bitkileri, hidrofobik çözeltilerden Pb, U, Cs ve Sr'yi bünyelerinde toplayabilmektedir (Prasad ve ark., 2003).

Açık ve serada yürütülen denemeler, kirli topraklardan arsenik ve kurşunun fitoremediasyonun performansını değerlendirmek için bitkisel materyal olarak kullanılan eğreltiotlarının (*Pteris vittata*) ve hint hardalı bitkileri (*Brassica juncea*) performansları değerlendirilmiştir. Çalışmalarda toprak pH'sının arsenik ekstraksiyonu üzerine etkisi yanında toprağa EDTA (Etilendiamintetraasetik asit) uygulamasının kurşun ekstraksiyonunu iyileştirme durumları belirlenmeye çalışılmıştır. Fitoremediasyonun daha etkili olmasına yönelik bu uygulamaların geleneksel iyileştirme tekniklerine göre özellikle acil iyileştirmeye ihtiyaç duyulmayan topraklar için iyi birer alternatif olabileceği ifade edilmektedir (Salido ve ark., 2003)

Metal biriktirmede potansiyelleri bilinen *Brassica* türlerinin üst aksamlarındaki ağır metal biriktirme yeteneği, topraklardaki yüksek metal konsantrasyonlarına toleransları, hızlı büyüme ve yüksek biyokütle geliştirmeleri ve yetiştirilmelerinin kolaylığı ile avantajlı bitkilerdir. Bu türlerin yanında farklı türlerin de benzer kabiliyetlerinin olabileceği ve araştırılması gerektiği söylenmektedir (Marchiol ve ark., 2004)

Fitoekstraksiyon amaçlı bir bitki pratikte (a) toprak yüzeyinde mevcut olan ve ekstrakte edilmesi gereken metali biriktirme yeteneğinde (b) topraktaki yüksek metal konsantrasyonlarına toleranslı (c) hızlı gelişen ve yüksek biyomasa sahip (d) bir tarımsal ürün olarak kolay yetişen ve tüm aksamı hasat edilebilen özelliklere sahip olmalıdır. Bitki iyileştirme, kirleticileri zararsız hale getirmek için kirli maddeleri yeşil bitki olarak kullanmak anlamına gelir. Fito-ekstraksiyon kirletici biriktirebilen, hasat edilebilen ve ayrılabilen organlarıyla elemeine edilmesini sağlayan bitkiler olarak ifade etmektedir. Fito ekstraksiyonunun pratik olması için (a) tercihen ekstrakte edilmesi amaçlanan metal biriktirme kabiliyeti yüksek (b) topraklardaki yüksek metal konsantrasyonlarına toleranslı

(c) hızlı büyüme ve yüksek biyokütle oluşturma kabiliyetinde (d) tarımsal bir ürün olarak kolayca yetiştirilir ve hasat edilebilir özelliklere sahip bir bitkilere ihtiyaç bulunmaktadır (Marchiol ve ark., 2004).

İnsan faaliyetlerinden sonucu ortaya çıkan endüstriyel ve kentsel atık kaynaklı en büyük çevresel sorunlardan birisi toprağın kirlenmesidir. Ekosistemimizin kirleticilerle bulaşması; kontrollü ve kontrolsüz ortaya çıkan atık yönetimi işlemleri; atıkların kazayla veya proses ile çevreye dökülmesi, madencilik ve maden cevherlerinin eritilmesi, tarımsal alanlara atık çamur uygulamaları sonucu ortaya çıkan bulaşık alanlardan bulaşık olmayan alanlara toz ve sızıntı ile taşınan kirleticilerden kaynaklanmaktadır. Kontaminasyona ağır metaller, hızlı tutuşan ve yanıcı maddeler, tehlikeli atıklar, patlayıcılar ve petrol ürünleri gibi çok çeşitli inorganik ve organik bileşikler neden olmaktadır. İnorganik kontaminatların ana bileşeni ağır metallerdir ve organik kirleticilerden farklı bir problem oluştururlar. Organik kirleticiler toprak mikroorganizmaları tarafından bozulabilirken, metallerin hareketsiz hale getirilmesi veya fiziksel olarak uzaklaştırılması gerekmektedir. Bazıları esansiyel olmasına rağmen, tüm metaller serbest radikallerin oluşumuyla oksidatif strese neden olduklarından yüksek konsantrasyonlarda toksiktirler. Metallerin zehirli olmasının bir başka nedeni de, temel metallerin yerini alabilmeleri ve pigment veya enzim sistemlerinde işleyişi bozmalarıdır. Böylece, metaller araziye bitki büyümesi için uygunsuz hale getirmekte ve biyoçeşitliliği tahrip etmektedirler (Ghosh ve Singh, 2005).

Birçok çalışma, bazı metallerin yüksek oranlarda alınımının diğer bazı metallerin alınımını engellediğini de göstermiştir. Metal antagonizmi olarak bilinen bu fenomen, bu metalleri içeren moleküllerin, metallerin bu reaksiyonlarını azaltmak ve durdurmak için sentezine neden olan, mikro besin olarak alınması gereken metallerin (demir, çinko, bakır) eksikliğine neden olur, hücresel düzeyde bir çok zarara yol açmaktadırlar. Metallerle karşı dirençli bitki türlerinin belirlenmesi, direnç mekanizmalarının ortaya konulması, minerallerin biriken bitkileri kullanılarak doğanın temizlenmesi ve metallerin geri kazanılması için yapılan araştırmalar, henüz ciddi boyutlara ulaşmamış metallerin kirlenmesinin, ilerde tüm canlılar için büyük bir sorun haline gelmesini önlemede önemli bir rol oynayacaktır (Ayhan ve ark., 2006).

Metal hasarı; metala maruz kalma derecesi, bitkinin türüne, maruz kalan metallerin çeşidine ve konsantrasyonuna bağlı olarak değişir. Bazı bitkiler metalleri yüksek oranda biriktirebilir. Diğer bitkilerden en az yüz kat daha fazla miktarda bir ya da birden fazla

metali, hiçbir zarar görmeden biriktirebilen bu tip bitkilere hiperakümülatör-metal biriktirici bitkiler denilmektedir (Ayhan ve ark., 2006).

Topraklarda ağır metal birikimi yalnızca toprakların üretkenliğini ve ekosistemin işlevleri üzerinde değil aynı zamanda gıda zincirleri vasıtasıyla hayvanların ve insanların sağlığı üzerinde de önemli bir etkiye sahiptir. Bitki yapısındaki ağır metaller, bitki fizyolojik aktivitesinin engellenmesi, üretkenliklerinin azalması ve ölmesinden dolayı ürün kalitesinde ve verimde önemli düşüşlere neden olmaktadırlar. Bitkinin ağır metal toksisitesine toleransı; bitki çeşidine, element türüne, stres zamanına, bitki dokusuna ve organa bağlıdır (Asri ve ark., 2006).

Büyüme üzerindeki nikelin toksik etkilerine ek olarak, ağır metaller bitki morfolojisi ve anatomisinde değişikliklere neden olabilir. Bu teoriden hareketle yürütölen bir araştırmada, 1 mM NiSO₄ solüsyonuna maruz bırakılan buğday (*Triticum aestivum*) ve lahana (*Brassica oleracea*) yapraklarında mezofil kalınlığını, vasköler demetlerin boyutunu, ana ve yanal damar demetlerindeki damar çapını ve epidermal hücrelerin genişliğini azalttığı ortaya konulmuştur. (Seregin ve Kozhevnikova, 2006).

Yüksek miktarda Ni⁺² konsantrsyonuna maruz bırakılan dikotiledon ve monokotiledon bitki türlerinin su içeriğinde düşüşe neden olamkatdır. Su alımındaki azalma, bitkilerde Ni²⁺ toksisitesinin ilerlemesinin bir göstergesi olarak kullanılmaktadır (Gajewska ve Skłodowska, 2007).

Pb, Cd ve B elementleri ile kirlenmiş toprakların elementlerin topraklardan şelat destekli fitoremediasyon yöntemiyle giderilmesi projesi altında fitoremediasyon yöntemi ile temizlenmesi araştırılmıştır. Bu amaçla Pb, Cd ve B elementleri eklenmiş topraklarda, mısır (*Zea mays*), ayçiçeği (*Helianthus annuus*) ve kanola/kolza (*Brassica napus*) bitkileri teste tabi tutularak, fitoremediasyon performansları incelenmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında bitkilerin kuru ağırlıkları başına aldıkları element miktarları tesbit edilmiş; fitoremediaasyon durumları ortaya konulmuştur (Vanli, 2007).

Ağır metaller toprak kirliliğinin ana faktörleridir. Bunun nedenleri olarak şunlar gösterilebilir: (a) kirlilik makro ve mikro ölçekte sıkça heterojendir (b) metaller biyolojik olarak parçalanamaz, ancak yalnızca bir oksidasyon durumu veya organik kompleksten diğerine dönüştürölür (c) metal formların değişkenliği ve toprak matrisi, çevresel risk değerlendirmesini ve toprak işleme fizibilitesini etkilemektedir. Toprak-metal arasındaki etkileşimler, partiköl boyutu, katyon değişim kapasitesi, pH, toprak mineralojisi ve

organik içerik gibi spesifik metal formu ve zemin özelliklerine bağlıdır (Lebeau ve ark., 2008).

Metal ile ilgili yürütülen ve Rodos çimleri (*Chloris gayana* Knuth), karanfil (*Syzygium aromaticum* L.), hıyar (*Cucumis sativus*), bazı okaliptüs türleri gibi değişik bitkilerin yer aldığı çalışmaların çokça olduğu söylenebilir. Sürgünlerle karşılaştırıldığında metallerin yukarı doğru taşınmasının sınırlı olması ile kök dokularda birikme eğiliminin daha çok olduğu görüşü önemlidir. Özellikle, Cu toksisitesinin karakterizasyonu, kök uzamasının ve büyümesinin engellenmesi şeklindedir. Sonraki semptomlar arasında kloroz, nekroz ve yaprak renk değişikliği bulunmaktadır (Yruela, 2009).

Saxena ve Saiful-Arfeen, (2009), çalışmalarında *Racomitrium crispulum* bitkisine bakır ve kadmiyum uygulamışlar ve bu minerallerin bitki fotosentezi, antioksidan değerleri ve üretkenlik üzerindeki etkilerinin olduğu ortaya koymuşlardır.

Ispanak tohumları (*Spinacia oleracea* L.) ile çalışan (Sharma ve ark., 2010), Cu miktarının artmasıyla kök ve sürgün uzaması ile bitki taze biyoması gözle görülür bir şekilde strese girerek aaldığı belirlenmiştir.

Hiperakümülatör bitki çalışmalarında en sık üzerinde durulan türlerin hint hardalı (*Brassica juncea*), ayçiçeği (*Helianthus annuus*), kolza (*Brassica napus*) ve mısır (*Zea mays*) olduğu söylenebilmektedir. *Brassicaceae*'ye olan büyük ilgi, özellikle *Brassica juncea*'daki çalışmaların daha erken başlamasından kaynaklanmaktadır. Bitkiler arasında, *Brassica* türlerinin ağır metallerin topraktaki fitoekstraksiyonu ile ilgili veriler birçok çalışmada teyit edildiğinden özel bir öneme sahiptir (Vamerali ve ark., 2010).

Akıncı ve ark. (2011) araştırmalarında, fazla nikelin çimlenme üzerindeki etkisini ve ıspanakta (*Spinacia oleracea*) erken fide döneminin bazı büyüme parametrelerini tanımlamak için incelenmiştir. Ni konsantrasyonlar çimlenme aşamasında 0 (kontrol), 25, 50, 100, 200, 400 ve 800 mg l⁻¹ ve erken fide aşamasında 0 (kontrol), 2.5, 5, 10, 20, 40 ve 80 mg l⁻¹'dir. Çalışmada nikelin her iki aşamada da olumsuz etki yaptığı, bu etkinin erken fide aşamasına kıyasla çimlenme aşamasında daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Büyüme parametreleri ve bitki parçalarının yapısının Zn toksisitesinden olumsuz etkilendiği gösterilmiştir. Kavaktaki (*Populus alba*) artan Zn'nun yaprak morfolojisini ve ultrastrüktürünü büyük ölçüde değiştirdiğini ve kalsiyum-oksalat kristallerinin oluşumuna neden olduğunu, Zn toksisitesinin, domatesin (*Solanum lycopersicum* L.) yapraklarının

yanı sıra kök uzunluğunu ve filiz süresini de azalttığını göstermiştir (Todeschini ve ark., 2011).

Brassica juncea bitkileri, ortamda bulunan ağır metal kirleticilerinin biriktirilmesi ve bitkinin hasat edilmesinin ardından uzaklaştırılması şeklindeki fitoekstraksiyon için cazip bir bitkidir. Bu yargıya bitkinin ağır metal bulaşık ortamlarında Cu, Zn, Mn, Mg, Na ve P gibi mineral element alım durumu, protein içeriği, amino asit içeriği ve klorofil içeriklerine bakılarak karar verilmiş; fitoremediasyon potansiyelleri ortaya konulmuştur. (Kamaraj ve ark., 2012).

Lalelou ve ark. (2013) kabak (*Cucurbita pepo*) bitkilerine uygulanan Zn^{+2} 'nin aşırı konsantrasyonlarının, bitkilerdeki klorofil a ve klorofil b miktarlarında düşüslere neden olması yanında fotosentetik pigmentlerin içeriğindeki Fe ve Mg'un kloroplast içine emilmesini ve translokasyonu mekanizmaları üzerine bozucu etkilerde bulunduğunu ve bitkilerin fotosentez yapmalarını sınırlandırdığını bildirmektedirler.

Kolza tohumu (*Brassica napus* L.) ile elde edilen sonuçlar, klorofillerin (Chl a ve Chl b) ve karotenoidlerin içeriğinin $6 \mu \text{mol dm}^{-3}$ Cu konsantrasyonuna maruz kaldığında belirgin bir şekilde düştüğünü göstermiştir (Peško ve ark., 2013).

Ağır metaller, yapraklı sebzelerin ve tıbbi bitkilerin başlıca kirleticiler arasında yer almaktadır. Tıbbi bitki ürünlerinin ağır metal kontaminasyonundan kaynaklanan zehirlenme, karaciğer ve böbrek yetmezliği ve hatta ölüm gibi sayısız sağlık sonuçlarına neden olmaktadır. Bitkiler, çevredeki potansiyel olarak toksik iyonları tolere etme kabiliyetleri nedeniyle dokularında ve onlarda eser elementleri, özellikle ağır metalleri toplamaktadır (Haghighitalab ve ark., 2014).

Fitoremediasyon, çeşitli organik ve inorganik kontaminantlarla kontamine olmuş alanların restorasyonu için yeni bir yeşil teknolojidir. Bununla birlikte, fitoraminasyon verimliliği, kirletici konsantrasyonu, toksisite ve biyoyararlanım, bitki seçimi ve stres toleransı ve yerli mikroorganizmaların yeterliliği gibi faktörlerle sınırlıdır. Bu kısıtlamaların üstesinden gelmek için bir takım olası çözüm önerileri getirilmiştir. Bitki büyüme inhibisyonu/fitotoksitesini bastırmak ve rizosfer etkisiyle kirleticilerin bozunmasını arttırmak için hoşgörülü bitki adaları, karışık bitki toplulukları ve mikroplar ve/veya bitki büyümesini teşvik eden bakteriler (PGPB) ile biyolojik aktivatörlerin kullanılması önerilmektedir ancak daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir (Afegbua, 2014).

Toksisite etkisini incelemek için besin çözeltisinde farklı seviyelerde demir (0, 50, 100 ve 200 mM) kullanarak 51 çeşit pirincin taraması yapılmıştır. Prinçlerin 51 çeşidinden 16'sı toleranslı bulunmuş (> 200 mM Fe), 11'i çeşitte orta toleranslı bir durum sergilemiştir (< 200 mM Fe). Geriye kalan 24 çeşit ise seçilen demir konsantrasyonlarına karşı hassas (< 100 mM) bulunmuştur (Rout ve ark., 2014).

Brassica cinsinden bazı türler dünyanın farklı yerlerinde çok önemli tarımsal ürünlerdir ve aynı zamanda ağır metal akümülatörleri olarak bilinirler. Ağır metallerin neden olduğu strese karşı *Brassica* türlerin bazılarında tolerans, alım ve savunma mekanizması ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır. Hint hardalı (*Brassica juncea*), bu amaca en uygun bir bitki olarak kabul edilir ve çalışmaların bir çoğubu türe odaklanmıştır. Birkaç *Brassica* türü de metal akümülatörü olarak çalışmalara konu olmuştur. *Brassica* türlerinin fitoremedasyondaki (özellikle fito-ekstraksiyon) potansiyel kullanımı, ağır metallere karşı içsel toleransından ve yer üstü biyokütle üretiminden kaynaklanmaktadır (Mourato ve ark., 2015).

Cd ve Zn Ağır metal toksisitesinin budler ve kök uzunlukları, toplam protein, lif özellikleri, nem içeriği ve ıspanağın (*Spinacia oleracea*) besin bileşimi üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Ağır metal konsantrasyonlarının hem bireysel olarak hem de karışımlar halinde artması, ıspanağın (*Spinacia oleracea*) büyüme parametrelerini ve besin içeriğini önemli ölçüde azaltmıştır (Alia ve ark., 2015).

İki *Brassica* türünün ak hardal (*B. alba*) ve kolza (*B. napus*) 'un çevredeki daha yüksek bakır konsantrasyonlarında bitki direnci karşılaştırması yapılmış ve iki bitkinin bakır ile orta derecede kirli alanların fitoremediasyonu için potansiyel olarak yararlı oldukları rapor edilmiştir. *Brassica* cinsi bitkilerde hidrofobik bir kültürde yetiştirme, metallere karşı fitoremediasyon bitkisi olarak kullanım olanaklarının yüksek olacağı kanısına yol açmaktadır. Bu sonuçlar, incelenen bitkilerin, prolin biriktirme kabiliyetlerine bakıldığında, aşırı bakır düzeylerinin toksik etkilerine kararlı olduklarının göstermektedir (Alobaidi, 2015).

Son yıllarda birçok ülkede yaygınlaşan fito-ıslah, ağır metallerle kirlenmiş toprağın temizlenmesi için pasif bir teknolojidir. Fitoremediasyon, çevrede kirletici maddelerin uzaklaştırılması veya bu kirletici maddelerin önlenmesinde aşırı yoğunluklu bitkilerin kullanılması. Farklı ıslah yöntemleriyle kıyaslandığında oldukça düşük masraflı, estetik olarak memnun edici olmasıyla beraber uygulama kolaylığı ve uygulama süresinin kısıllığı gibi birçok avantaja sahiptir. Fitoremediasyon yöntemi ile kirleticilerin ıslahı yeni bir

tekniktir ancak birçok avantaj ve dezavantajı vardır. Bu faktörler, çevresel gelişme adı altındaki diğer ıslah yöntemleriyle karşılaştırıldığında daha belirgin hale gelecektir (Aybar ve ark., 2015).

Kunjam ve ark. (2015) tarafından bezelye bitkisinin (*Pisum sativum*) çinko kontamine topraklarda yetiştirilebilme kabiliyeti test edilmiştir. Bu çalışma için, katı büyüme ortamı) kullanılarak değişik çinko dozları (0, 20, 40, 60 ve 80 mg kg⁻¹) kullanılmıştır. Çinko tohum çimlenmesini etkilememiştir. Artan çinko dozlarından 20 ile 40 mg kg⁻¹ Zn dozuna maruz kalan bitkilerin kökleri kontrol bitkilerine göre % 30'dan daha fazla büyümüştür. Zn sadece Zn, 40 ve 60 mg kg⁻¹ dozunda sürgün büyümesini teşvik etmiş; bitki boyunu % 37.5 oranında arttırmıştır. Çalışmadan elde edilen bulgular, bezelye bitkisinin (*Pisum sativum*) çinko kontamine topraklarda yetişebileceğini göstermiştir.

Toplam demirin (FeSO₄.7H₂O olarak ilavesiyle) bir su kamışı türü olan *Phragmites australis* üzerindeki etkilerini incelenen bir araştırmada toplam demir konsantrasyonunun 1 mg l⁻¹'in üzerine çıkarılması dırımında büyümede inhibisyonun ortaya çıktığı kayıt edilmiştir (Rout ve Sahoo, 2015).

Yüksek demir konsantrasyonları, bitkilerde temel besinlerin (örneğin Mn, P, K, Ca ve Mg) eksikliklerine neden olabilmektedir. Bununla birlikte, bitki analizleri merakülü (*Epilobium hirsutum*)'daki bu gibi eksikliklere yeterli düzeyde destek vermemektedir. Tipik bir sulak alan bitkisi olan merakülünde (*Epilobium hirsutum*) doğrudan demir toksisitesi, demir çözünürlüğünün oldukça yüksek olduğu yüksek pH ortamında bile şaşırtıcı bir şekilde bitkilerde fazla olumsuz etkiye yol açmamıştır. Ancak demirde çözünürlüğün çok yüksek olabileceği (örneğin su basmış asit topraklarda 6000 mg l⁻¹) yani demir bakımından zengin koşullarda (pH <6) yetiştirilen pirinçte ise büyümede çeşitli bozukluklarla karşılaşmıştır (Rout ve Sahoo, 2015)

Fitoremediasyonun Avantajları;

- Diğer ıslah tekniklerinden daha ekonomiktir.
- Sahayı istila etmek için yeni bir bitki grubuna gerek yoktur.
- Atıkları dökümü için ek alana gerek yoktur.
- Diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında halk tarafından da kabul gören estetik bir görünüm meydana gelir ve kabul edilmektedir.
- Alanı iyileştirerek kirlenmiş alanı başka bir yere taşımak zorunda kalmadan kirleticilerin yayılmasını önlemektedir.

- Bir kirletici türüne ek olarak, birçok kirletici ile aynı anda mücadele ederek kirlilik sağlanabilmektedir.

Fitoremediasyonun Dezavantajları;

Herhangi bir sakatlık (*Cucumis sativus*), başarısızlık bilinmeyen yanıt, bitki türlerine bir faktör olarak katkıda bulunabilmektedir ve aynı zamanda fitatorizasyonun dezavantajlarının artmasına neden olabilmektedir. Literatür, kontaminasyon konsantrasyonunun, toksisitenin ve biyoyararlanımın ve bitki seçimi ve stres toleransının, aşağıdaki ipuçlarını içeren fito-düzenlenmenin ana dezavantajları olduğunu göstermektedir (Farraji H ve ark., 2016).

- Meyvede kirletici madde ve ekin ve sebzelerin yenilebilir diğer kısımlarında birikme.
- Fitoremediator bitkilerin (hiperakümülatörler) şimdiye kadar büyümesi.
- Fitoremediatorlarda düşük biyokütle üretimi, dekontaminasyon için birkaç ekim ve hasat gerekli.
- Genellikle, hiperakcumülatörde bir metalik elementin spesifik seçici benzersiz birikimi.
- Şelatla güçlendirilmiş bitki ıslahının neden olduğu çevre kirliliği.
- Çok yavaş ve mevsimsel olarak etkili bir tedavi yöntemi.
- Kirlenmiş bitkilerin bitki ıslahı yoluyla ele alınması ve atılması, bu yeşil teknolojinin ana ayak izidir.
- Radyonüklidlerin bitkilerde yer değiştirerek mobilizasyonu.
- Tüm bileşikler için geçerli değildir.
- Yeraltı sularında çözünmüş kirletici maddeler, suda yaşayan bitki örtüsü düzenleme için uygun değildir.

Ağır metallerin oluşturduğu antropojenik kirlilik genellikle endüstri, ulaşım, atık depolarının dolması ve aşırı gübre kullanımı gibi nedenlerle oluşmaktadır. Kirleticiler çevreye, toz ve gazların yayıldığı havadaki kirletici parçacıkların çökeldiği su ve toprak vasıtasıyla veya yüzey akışı ile taşınırlar; daha sonra toprağa sızarlar. Bitkiler ve hayvanlar çevredeki bu zararlı maddeleri de iletmede aracılırlar. Nihai alıcı olan insanlar; havayı soluyup, suyu içip, bu hayvansal ve bitkisel yiyecekleri tüketerek çevre kirliliğinden etkilenmektedir. Kirleticilerin en önemlilerinden ağır metaller, insan ve hayvan sağlığına

yönelik uzun yıllar tehdit oluşturmaktadır. Örneğin, kalıcı metallerden biri olan Pb'nin yaklaşık 150-5000 yıllık bir süreçte toprakta tutulabilmektedir. Cd'nin insan vücudunda ortalama biyolojik yarılanma ömrünün yaklaşık 10-18 yıl olduğu tahmin edilmektedir (Eren ve Mert, 2016).

Atıksu çamurunda yetiştirilen ıspanakta (*Spinacia oleracea L.*) ağır metallerin etkileri değerlendirilen bir araştırmada kanalizasyon çamuru kullanılmış ağır metallerin incelemesi yapılmıştır. Ispanaktaki Cd, Cr, Cu, Mn ve Zn içerikleri, % 5'den % 100 konsantrasyonlarda tutularak düşük ve yüksek ağır metal ortamları oluşturulmuştur. Atık su çamurunun kullanılması toprakta ve ıspanak bitkilerinde ağır metal konsantrasyonlarını arttırmıştır (Kumara ve ark., 2016).

Demirin buğday ve fasulye türleri üzerindeki etkisini değerlendirmek için yürütülen bir araştırmada Demir stresi altında her iki türün çimlenme ve kök boylarında inhibasyonlarla karşılaşılmış; etkinin 500 mg Fe l⁻¹'den sonra meydana geldiği ortaya çıkarılmıştır. Türlerin demir toleransları karşılaştırıldığında, demir konsantrasyonlarındaki artışa bağlı olarak fasulyenin, buğdaydan daha fazla toleranslı olduğu saptanmıştır (El Rasafi ve ark., 2016).

3. MATERYAL ve METOT

3.1. Bitkilerin Yetiştirilmesi ve Denemelerin kurulması

Denemeler 2018-2019 yıllarında, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü seralarında yürütülmüştür.

Araştırmada iki farklı deneme kurulmuştur. İlk denemede kontrolle birlikte üç farklı dozda metal ile bulaşık toprakların brokoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*), karnabahar (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis*), beyaz baş lahana (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* L. f. *alba*) ve kırmızı baş lahana (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* L. f. *rubra*) üzerindeki etkileri ve türlerin metal alım (fitoremediasyon) potansiyelleri incelenmiş; bu denemeler “*Brassicaceae* denemesi” olarak adlandırılmıştır. *Brassicaceae* denemeleri, bitkiler söküldükten sonra sonlandırılmış; akabinde bu bitkilerin söküldüğü saksılara ve içerisindeki metal bulaşık topraklara dokunulmamış, ıspanak tohumları ekilerek üzerlerinde “Ispanak denemesi” adıyla yeniden bir deneme kurulmuştur. Ispanak denemelerindeki faktörleri, daha önce farklı *Brassicaceae* türlerinin bir miktar metalden temizlediği topraklar (fitoremediasyon sağlanmış) ve bu topraklarda kalıntı halde mevcut olan metaller oluşturmuştur.

Brassicaceae (Fitoremediasyon) denemeleri: Bu denemelerde ağır metaller olarak çinko (Zn), demir (Fe), nikel (Ni), bakır (Cu) ve bunların 4'er dozu kullanılmıştır. Bitkisel materyal ise *Brassicaceae* familyasının önemli türlerinden beyaz baş lahana (Fieldglory F1), kırmızı baş lahana (Rondale F1), karnabahar (Arizona F1) ve brokoli (Naxos F1) olmuştur. Denemeler faktöriyel deneme deseninde 3 tekerrürlü olarak saksılarda yürütülmüştür. Deneme konuları, her bir ağır metal için; 4 bitki türü ve 4 ağır metal dozundan oluşmuş; toplam 48 (4 tür x 4 metal dozu x 3 tekerrür) uygulama denemeye alınmıştır. Denemelerde hazır fide kullanılmış ve yetiştiricilik saksılara 24.10.2017 tarihinde yapılan dikimlerle başlatılmıştır. Her saksıda 10'ar bitki bulundurulmuştur. Denemede yetiştirme ortamı olarak 3:1 oranında 2 cm'lik elekten elenmiş kırmızı bahçe toprağı ve ahır gübresi kullanılmış; her saksıda 11 kg'lık harç (20 x 15 x 70 cm) bulundurulmuştur.

Ağır metaller, ilki fideler 3-4 yapraklı hale geldikleri 48. günde (11.12.2017) ve ikincisi bitkilerin aniden toksisiteye uğramaması için 57. (20.12.2017) günde olmak üzere iki seferde uygulanmıştır. Uygulamalarda metallerin 0.5 l sudaki çözeltilerinin saksılardaki 11 kg'lık topraklara alttan sızmaya imkan vermeyecek şekilde eklenmesine dikkat

edilmiştir (Çizelge 3.1). Metal uygulamalarının dışında kalan diğer sulamalarda şebeke suyu (saksılardan sızmanın gerçekleşmediği 0.5 litrelik miktarda ve 3 günde bir olacak şekilde) kullanılmıştır. Böylece metal çözeltileri dışında bitkilere 26 defa sulama yapılmıştır.

Çizelge 3.1. Denemede kullanılan ağır metaller, dozları (mg kg⁻¹ toprak) ve etken maddeleri

CuSO ₄ .2H ₂ O	FeSO ₄ .2H ₂ O	NiSO ₄ .6H ₂ O	ZnSO ₄ .H ₂ O
0 (Kontrol)	0 (Kontrol)	0 (Kontrol)	0 (Kontrol)
75	250	50	250
150	500	100	500
300	1000	200	1000

Bitkilerin gelişimlerinin iyi olması nedeniyle gübrelemeye başvurulmamıştır. Bitkilerde herhangi bir hastalık ve zararlı ile karşılaşmadığından bitki koruma mücadelesi yapılmamış; sadece yabancı otların elle mekanik kontrolü sağlanmıştır. Denemeler, bitkilerin metalden zarar görmeye başladıkları 104. günde (05.02.2018) sökülmesiyle sonlandırılmış; sökülen bitkilerde bitki gelişimi, biyomas ve yapraklarda metal ve element içeriklerinin belirlenmesine yönelik analizler ile tamamlanmıştır.

Ispanak (Fitoremediasyon etkisi) denemeleri: Fitoremediasyon denemelerinin etkisini görmek üzere kurulan denemede ise Matador F1 çeşidine ait ıspanak bitkileri kullanılmıştır. Ispanak denemeleri daha önceki *Brassicaceae* türleri ile yürütülen denemelerdeki bitkilerin hasat edilmesinden sonra çinko (Zn), demir (Fe), nikel (Ni), bakır (Cu) ve bunların 4'er dozu (Çizelge 3.1) ile bulaşık bulunan saksılardaki toprağa 01.10.2018 tarihinde doğrudan tohum ekimi ile başlatılmıştır. Tohum ekimini takip eden 6. günden itibaren çimlenmeler başlamış ve her saksıda 10 bitki olacak şekilde denemeler devam ettirilmiştir.

Ispanakla kurulan fitoremediasyon etki çalışmaları, faktöriyel deneme deseninde 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Deneme konuları, her bir ağır metal için 4'er dozdan oluşmuş; toplamda 48 (4 *Brassicaceae* türü toprağı x 4 doz x 3 tekerrür) saksı denemeye alınmıştır.

Ispanak yetiştiriciliği sırasında tohum ekim sonrası, çıkışların homojen olması için ekimden bir ay sonra toprağın hafif bir şekilde çapalaması yapılmıştır. Sulamalarda saksı başına 0.5 litre olacak şekilde şebeke suyu kullanılmıştır. Sulamalar saksılardan sızmaya izin verilmeyecek şekilde, başlangıçta her üç günde bir ve havaların serinlemesi nedeniyle

daha sonraları haftada bir olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Böylece bitkiler toplamda 31 defa sulanmıştır. Bitkilere yavaş gelişmeleri nedeniyle her seferinde 5 g/saksı olmak üzere 3 defa (05.11.2018, 07.12.2018 ve 10.01.2019) üre verilmiştir. Yetiştirme periyodu boyunca sadece yeşil kurtla karşılaşmış ve mücadelesi için 23.11.2018 tarihinde 30 ml/da Cypermethrin 250 g/l uygulanmıştır. Denemeler kontrol bitkilerin hasat aşamasına geldiği 143. günde (21.02.2019) bitirilmiş, hasat edilen bitkilerde bitki gelişimi, biyomas ve metal konsantrasyonlarının belirlenmesine yönelik analizler ile sonlandırılmıştır.

3.2. İncelenen özellikler

3.2.1. Ağır metallerin belirlenmesi

Brassicaceae sebzeleri ve ıspanak bitkilere ait örnekleri, Jones ve Case (1990) tarafından açıklandığı üzere aşağıdaki gibi analize hazırlanmıştır.

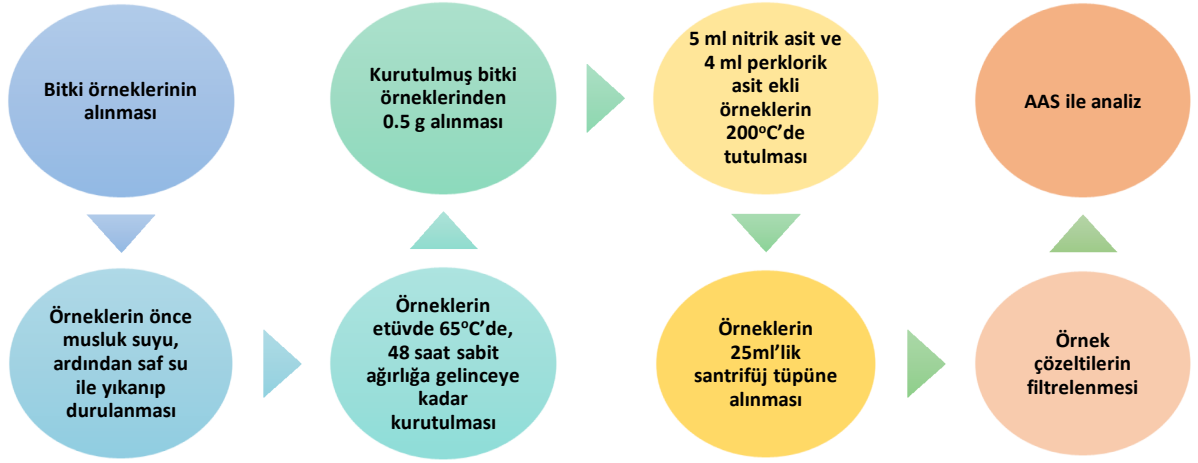
Toprak ve toz kirlenmiş bitki örnekleri öncekleri olarak 3 defa çeşme suyundan ve 3 defa saf sudan geçirildikten sonra kurutma kağıtları ile durulanmıştır. Bitki yine ayrı ayrı kese kağıtları içerisine yerleştirilerek 65°C'de kurumaya bırakılmıştır. Bitki örnekleri 48 saat boyunca kurutulduktan sonra etüvden alınarak, porselen havan yardımıyla öğütülmüştür. Öğütülen bitki örnekleri, kilitli naylon poşetlerde karanlık ve serin bir ortamda muhafaza edilmiştir.

Brassicaceae grubu sebzeleri ve ıspanak bitkilerin yapraklarına ait numuneler, Jones ve Case (1990) tarafından tanımlanan HNO₃ ve HClO₄ kullanılarak yapılan blok-parçalama prosedürü izlenerek yakılmış ve örneklerle ait süzükler elde edilmiştir.

Bitki örneğinin 0.5 g kuru haldeki kısmının üzerine 5 ml konsantre HNO₃ ilave edilmiş ve erlenmayerlerin ağzına huniler yerleştirilmiştir. Bir gece bekledikten sonra üstü örtülü erlenmayerler hot plate üzerine yerleştirilmiş ve 100°C'de 1 saat yakılmıştır. Örnekler hot plateden alınarak soğuması beklenmiştir. Daha sonra örnekler üzerine 4 ml HClO₄ ilave edilerek, huni yerleştirilmiş ve 200°C'de 2-3 saat veya berraklaşınca kadar yakılmıştır. HClO₄ dumanları dağılınca ısı 100°C'ye düşürülerek huni kaldırılmış ve örnekler hot plateden alınarak soğumaya bırakılmıştır.

Örneklerle 25 ml hacme getirmek için saf su eklenmiştir. Berrak solüsyon Perkin Elmer 3110 Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi ve Spektrofotometrede elementel Cu, Fe, Ni ve Zn okumalar için hazır hale getirilmiştir (Demir, 2014).

Makro elementlerin Ca, Mg ve K okuması için hem *Brassicaceae* grubu sebzelerin, hem de ıspanak bitkilerinde ana süzük sulandırılmıştır.



Şekil 3.1. Bitki örneklerinin analiz aşamaları

3.2.2. Bitkisel özelliklerin belirlenmesi

Kök boyu (cm): Bitkilerin sökülmesinden sonra 5 bitkiye ait kökte, toprak seviyesinden köklerin ucuna kadar kısımlarının bir cetvel yardımıyla ölçülmesiyle belirlenmiştir.

Kök yaş ve kuru ağırlığı (g): Bitkilerin sökülmesi, yıkanması ve suyunu çekinceye kadar bekletildikten sonra 5 adet bitkiye ait kökün yaş ağırlıklarının ve kurutulmasından sonraki kuru ağırlıklarının hassas bir terazi kullanılarak tartılmasıyla belirlenmiştir.

Bitki boyu (cm): Bitkilerin sökülmesinden sonra 5 bitkide, toprak seviyesinden bitkinin en üst ucuna kadar kısımlarının bir cetvel yardımıyla ölçülmesiyle belirlenmiştir.

Yaprak sayısı (adet): Bitkilerin sökülmesinden sonra her uygulamadaki tüm bitkilerdeki yaprakların sayımı ile belirlenmiştir.

Yaprak uzunluğu ve genişliği (cm): Bitkilerin sökülmesinden sonra her bitkiden birer adet olmak üzere 5 yaprakta, en geniş ve en uzun mesafelerin bir cetvel yardımıyla ölçülmesiyle belirlenmiştir.

Yaprak yaş ve kuru ağırlığı (g): Bitkilerin sökülmesi, köklerinden ayrılması, yıkanması ve suyunu çekinceye kadar bekletilmesinden sonra tüm bitkilere ait yaprak yaş ağırlıklarının

ve kurutulmasından sonra kuru ağırlıklarının hassas bir terazi kullanılarak tartılmasıyla belirlenmiştir.

Tolerans indeksi: Türlerin metallere tepkilerini ayırt edebilmek amacıyla metal uygulamasındaki değerlerin, kontrol değerlerine bölünmesiyle elde edilmiştir.

3.3. İstatistiki analizler

Araştırmada elde edilen verilerin istatistiki analizinde varyans analizinden (ANOVA) yararlanılmış, faktörlerin ortalamaları arasındaki farklılıkların belirlenmesinde $p < 0.05$ düzeyinde Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi uygulanmıştır. Analizlerde JMP 7.0 istatistik programı kullanılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Bulgular

Araştırmada bakır, demir, nikel ve çinko bulaştırılmış topraklardan bu metallerin uzaklaştırılmasını sağlamak ve bu amaçla brokoli, beyaz baş lahanası, karnabahar ve kırmızı baş lahananın fitoremediasyon potansiyellerini belirlemek hedeflenmiştir. Kurulan iki farklı denemenin ilkinde metallerin biriktirilme düzeyleri, önemli makro elementler olan Ca-K-Mg'nin alınması ve bitki büyüme-gelişmesindeki tepkilerden yararlanılmaya çalışılmıştır. *Brassicaceae* türlerinin fitoremediasyon kabiliyetlerinin belirlenmesi ikinci bir denemeye pekiştirilmiş; denemeye konu olan metallerin farklı dozlarının bulunduğu ortamlarda yetiştirilen brokoli, beyaz baş lahanası, karnabahar ve kırmızı baş lahananın ardından ıspanak denemesi kurulmuştur. Ispanak denemesinde de metal ve element alınma durumu ile bitkisel özelliklere bakılarak sonuca gidilmeye çalışılmıştır.

4.1.1. Bakır (Cu)

4.1.1.1. Bakır (Cu) İçeriği

Araştırmada farklı bakır dozlarının *Brassicaceae* denemesindeki brokoli, karnabahar, beyaz baş lahanası ve kırmızı baş lahanası bitkilerinin, bakır alımı üzerine etkilerine ilişkin bulgular Çizelge 4.1'de verilmiştir. İstatistiki analizlere göre türlerin bakıra karşı tepkileri önemsiz; dozlar ve bakır dozu x tür interaksyonu $p < 0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

Bakır bulaşık topraklarda yetiştirilen *Brassicaceae* denemesi türlerinin fitoremediasyon etkilerinin ve bu bulaşık topraklardaki bakır dozlarının; sonradan kurulan ıspanak denemesi bitkilerinin bakır içeriklerine ait bulgular ise Çizelge 4.2'de verilmiştir. Ispanak bitkilerinin bakır içerikleri türler ve bakır dozu x tür interaksyonu bakımından önemsiz, bakır dozları bakımından $p < 0.01$ düzeyinde düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.1. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin bakır (Cu, mg kg⁻¹) içerikleri

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	2.00b	1.80b	2.40b	1.40b	1.90b
75	2.40b	2.80b	3.20b	3.40b	2.95b
150	4.00b	3.80b	2.80b	3.80b	3.60ab
300	4.00b	9.20a	4.20ab	5.80ab	5.80a
Ortalama	3.10	4.40	3.15	3.60	

Tür: ÖD, Doz: $p < 0.01$, Tür x Doz: $p < 0.01$

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre $p < 0.05$ düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.1’de türler istatistiki olarak önem arz etmese de, en fazla miktarda bakır biriktiren tür 4.40 mg kg⁻¹ ile karnabahar olmuştur. Karnabaharı, 3.60 mg kg⁻¹ ile kırmızı baş lahana izlemiş, diğerleri daha sonra gelmiştir.

Bitkilerde bakır içeriği açısından, en fazla etki 300 mg kg⁻¹ (5.80 mg kg⁻¹) konsantrasyonunda bulunmuş; bu uygulamayı 150 mg kg⁻¹ (3.60 mg kg⁻¹) izlemiş, farklı grupta yer alan 75 mg kg⁻¹ (2.95 mg kg⁻¹) ve kontrol (1.90 mg kg⁻¹) sonraki sıralarda yer almıştır.

Doz ve tür interaksyonu bakımından 9.20 mg kg⁻¹ bakır içeriği ile karnabahar x 300 mg kg⁻¹ uygulaması ilk sırada gelmiştir. Bu uygulamayı istatistiksel olarak aynı grubu oluşturan kırmızı baş lahana x 300 mg kg⁻¹ (5.80 mg kg⁻¹) ve beyaz baş lahana x 300 mg kg⁻¹ (4.20 mg kg⁻¹) izlemiştir. Bitkilerdeki bakır içeriği, bakır dozlarının düşmesine ve türlere bağlı olarak azalmış, farklı istatistiksel gruplar oluşmuştur.

Çizelge 4.2. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin bakır (Cu, mg kg⁻¹) içerikleri

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	9.50	10.00	10.66	10.33	10.12b
75	14.50	15.16	14.00	14.50	14.54a
150	17.50	16.00	15.83	14.66	16.00a
300	16.33	17.00	14.50	16.83	16.16a
Ortalama	14.45	14.54	13.75	14.08	

Tür: ÖD, Doz: p<0.01, Tür x Doz: ÖD

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey’e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.2’den ıspanak bitkilerinde bakır içeriği üzerine türlerin etkisini olmadığı anlaşılmıştır. Yine de bir en fazla etki karnabaharda (14.54 mg kg⁻¹) görülmüş, bunu brokoli (14.54 mg kg⁻¹) ve kırmızı baş lahana (14.08 mg kg⁻¹) izlemiş; beyaz baş lahana ise en düşük bakır içeriği ile (13.75 mg kg⁻¹) sonda yer almıştır.

İspanakta bakır içeriği, bakır uygulamalarında kontrole göre yüksek bulunmuştur. En fazla birikim sırasıyla 300, 150 ve 75 mg kg⁻¹ dozları şeklinde gerçekleşmiştir.

Doz ve tür interaksyonları istatistiki anlamda önemsiz bulunmuştur. Ancak miktar olarak brokoli x 150 mg kg⁻¹, karnabahar x 300 mg kg⁻¹ ve kırmızı baş lahana x 300 mg kg⁻¹ dikkat çeken uygulamalar olmuşlardır.

4.1.1.2. Ca, K ve Mg içeriği

Araştırmada farklı bakır dozlarının *Brassicaceae* denemesinde Ca alımına etkisi üzerine bulgular Çizelge 4.3’te ve ıspanak denemesinde Ca alımı etkinliğine ilişkin bulgular ise Çizelge 4.4’te verilmiştir. Yapılan istatistiki analizlere göre *Brassicaceae* denemesinde bakıra karşı tepki bakımından türler p<0.01 düzeyinde, bakır dozları p<0.05

düzeyinde ve bakır dozu x tür interaksyonu önemsiz bulunmuştur. Bakırla bulaşık topraklarda *Brassicaceae* türlerinin ardından kültüre alınan ıspanak bitkilerinde kalsiyum içerikleri türler bakımından önemsiz, bakır dozları ve bakır dozu x tür interaksyonu bakımından $p<0.01$ düzeyinde önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.3. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin kalsiyum (Ca, %) içerikleri

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	2.07	2.70	2.18	2.76	2.43
75	1.92	2.35	2.88	2.78	2.48
150	2.40	2.58	2.74	3.36	2.77
300	2.48	2.68	2.90	2.94	2.75
Ortalama	2.22c	2.58b	2.67ab	2.96a	

Tür: $p<0.01$, Doz: $p<0.05$, Tür x Doz: ÖD

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre $p<0.05$ düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.3'deki verilere göre en fazla Ca içeriği kırmızı baş lahanada (% 2.96) elde edilmiş; farklı gruplarda yer alan beyaz baş lahanada (% 2.67), karnabahar (% 2.58) ve brokoli (% 2.22) bunu izleyen türler olmuştur.

Dozlar ve interaksyon istatistikleri olarak önemsiz bulunsa da uygulamalar incelemeye alındığında; bakır dozları arttıkça Ca içeriği de artmış, en fazla Ca içeriği 150 mg kg⁻¹ uygulamasında (% 2.77) bulunmuştur. Doz ve tür interaksyonlarında ise en fazla Ca içeriği kırmızı baş lahanada x 150 mg kg⁻¹ (% 3.36), kırmızı baş lahanada x 300 mg kg⁻¹ (% 2.94) ve beyaz baş lahanada x 300 mg kg⁻¹ (% 2.90) kombinasyonlarında ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.4. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin kalsiyum (Ca, %) içerikleri

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	1.29f	1.45ef	1.64d-f	1.50ef	1.47b
75	2.06b-d	2.22a-c	2.49ab	2.21a-c	2.24a
150	1.60d-f	1.65d-f	1.61d-f	1.72d-f	1.64b
300	2.45ab	2.62a	1.55ef	1.88c-e	2.13a
Ortalama	1.85	1.98	1.82	1.83	

Tür: ÖD, Doz: $p<0.01$, Tür x Doz: $p<0.01$

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre $p<0.05$ düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.4'te ıspanak bitkisinin Ca içeriği üzerine türlerin etkisi olmamakla birlikte en fazla etkiyi yapan tür karnabahar (% 1.98) olmuştur. Bunu sırasıyla brokoli, kırmızı baş lahanada ve beyaz baş lahanada izlemiştir.

Bakır dozlarında en fazla Ca içeriği 75 mg kg⁻¹ (% 2.24) ve 300 mg kg⁻¹ (% 2.13) dozlarında ortaya çıkmıştır. Bu dozu aynı istatistiksel grupta yer alan 150 mg kg⁻¹ (% 1.64) ve kontrol (% 1.47 dozlarının takip ettiği belirlenmiştir.

Doz ve tür interaksyonunda ise Ca içeriği en yüksek uygulama karnabahar x 300 mg kg⁻¹ (% 2.62) olmuş; bunu beyaz baş lahanada x 75 mg kg⁻¹ (% 2.49) ve brokoli x 300 mg kg⁻¹

¹ (% 2.45) kombinasyonları izlemiştir. Diğer interaksyonlar ise farklı grupları oluşturarak sonraki sıralarda yer bulmuşlardır.

Farklı bakır dozlarının K alımı üzerine etkisine dair *Brassicaceae* denemesi sonuçları Çizelge 4.5'te ve ıspanak denemesi sonuçları Çizelge 4.6'da özetlenmiştir. *Brassicaceae* denemesinde potasyum alımında bakıra karşı tepki bakımından türler ve bakır dozu x tür interaksyonu önemsiz, bakır dozları $p < 0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Bakırla bulaşık topraklarda *Brassicaceae* türlerinin ardından kültüre alınan ıspanak bitkilerinde potasyum içerikleri türler, bakır dozları ve bakır dozu x tür interaksyonu bakımından $p < 0.01$ düzeyinde önemli oldukları anlaşılmıştır.

Çizelge 4.5. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin potasyum (K, %) içerikleri

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	0.94	1.18	1.19	1.18	1.12b
75	1.43	1.17	1.62	1.47	1.42a
150	1.33	1.40	1.40	1.52	1.41a
300	1.49	1.39	1.43	1.40	1.43a
Ortalama	1.30	1.28	1.41	1.39	

Tür: ÖD, Doz: $p < 0.05$, Tür x Doz: ÖD

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre $p < 0.05$ düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.5'ten görüldüğü üzere türler istatistiki anlamda önemsiz bulunmuştur. Yine de değerlendirme yapılacak olursa en yüksek K içeriği % 1.41 ile beyaz baş lahanada olmuş ve %1.39 ile kırmızı baş lahanada bulunmuş, diğer türler daha sonra gelmiştir.

Bakır dozlarına gelince K miktarları bakır uygulamalarında kontrole göre yüksek bulunmuştur. Dozların 300 mg kg⁻¹ (% 1.43), 70 mg kg⁻¹ (% 1.42) ve 150 mg kg⁻¹ (% 1.41) şeklinde sırandığı tespit edilmiştir.

Tür ve doz interaksyonu da istatistiki olarak önem arz etmese de, en yüksek K miktarının belirlendiği beyaz baş lahanada x 75 mg kg⁻¹ (% 1.62) interaksyonu ile en düşük K miktarı miktarının elde edildiği brokoli x kontrol (% 0.94) kombinasyonu arasında belirli bir farkın olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4.6. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin potasyum (K, %) içerikleri

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	1.14gh	1.37bc	1.33b-e	1.53a	1.34a
75	1.18f-h	1.25d-f	1.09h	0.94i	1.11d
150	1.11h	1.33b-e	1.25e-g	1.27c-f	1.24c
300	1.18fh	1.38b	1.36b-d	1.27c-f	1.29ab
Ortalama	1.15c	1.33a	1.25b	1.25b	

Tür: $p < 0.01$, Doz: $p < 0.01$, Tür x Doz: $p < 0.01$

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre $p < 0.05$ düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.6'deki verilere göre en fazla K içeriğinin karnabaharda (% 1.33) olduğu belirlenmiştir. Beyaz baş lahana (% 1.25) ile kırmızı baş lahana (% 1.25) sonraki grupta yer alarak bunu izlemiş; brokoli en son sırada (%1.15) gelmiştir.

Bakır dozlarında en yüksek K miktarının elde edildiği uygulama (% 1.34) ile kontrol olmuştur. Bu uygulamayı % 1.29 ile 300 mg kg⁻¹ dozu takip etmiştir. K miktarı 150 ve 75 mg kg⁻¹ dozlarında sırasıyla % 1.24 ve % 1.11 olarak belirlenmiştir.

Tür x doz interaksyonunda ise en yüksek K içeriği kırmızı baş lahana (% 1.53) x kontrol kombinasyonundan elde edilmiştir. Bu kombinasyonu izleyen brokoli (% 1.38) x 300 mg kg⁻¹ ve beyaz baş lahana x 300 mg kg⁻¹ (% 1.36) diğer dikkat çeken interaksyonlar olmuşlardır.

Bitkilerde farklı bakır dozlarının *Brassicaceae* denemesinde magnezyum alımına etkisi üzerine bulgular Çizelge 4.7'de ve ıspanak denemesindeki Mg alımı etkinliğine ilişkin bulgular ise Çizelge 4.8'den görülebilmektedir. *Brassicaceae* denemesinde bakıra karşı tepki bakımından türler p<0.01 düzeyinde, bakır dozları p<0.05 düzeyinde ve bakır dozu x tür interaksyonu önemsiz bulunmuştur. Bakırla bulaşık topraklarda *Brassicaceae* türlerinin ardından kültüre alınan ıspanak bitkilerinde magnezyum içerikleri türler bakımından p<0.05 düzeyinde, bakır dozları bakımından p<0.01 düzeyinde ve bakır dozu x tür interaksyonu bakımından p<0.05 düzeyinde önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.7. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin magnezyum (Mg, %) içerikleri

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	0.31	0.48	0.39	0.59	0.44bc
75	0.29	0.46	0.44	0.54	0.43c
150	0.40	0.52	0.48	0.60	0.50ab
300	0.44	0.54	0.51	0.59	0.52a
Ortalama	0.36d	0.50b	0.46c	0.58a	

Tür: p<0.01, Doz: p<0.05, Tür x Doz: ÖD

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.7'de, en yüksek Mg içeriğinin kırmızı baş lahanadan (% 0.58) elde edildiği saptanmış; denemeye konu olan diğer *Brassicaceae* türlerinden % 0.50 ile karnabahar, % 0.46 ile beyaz baş lahana ve % 0.36 ile brokoli daha sonraki sıralarda yer bulmuşlardır.

Bakır dozları bakımından, en yüksek Mg içeriği 300 mg kg⁻¹ konsantrasyonunda (% 0.52) bulunmuş, bu uygulamayı 150 mg kg⁻¹ (% 0.50) izlemiş, sırasıyla kontrol (% 0.44) ve 75 mg kg⁻¹ (% 0.43) uygulamaları daha sonraki sıralarda yer almıştır.

Doz ve tür interaksiyonları istatistiki anlamda önemsiz bulunmuştur. Ancak miktar olarak kırmızı baş lahananın sırasıyla 150 mg kg⁻¹, 300 mg kg⁻¹ ve kontrol ile interaksiyonları dikkat çeken uygulamalar olmuşlardır.

Çizelge 4.8. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin magnezyum (Mg, %) içerikleri

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	0.36d	0.37cd	0.43b-d	0.38cd	0.38c
75	0.45a-d	0.45a-d	0.53a	0.49ab	0.48a
150	0.43b-d	0.51ab	0.46a-c	0.38cd	0.44b
300	0.51ab	0.48ab	0.44a-d	0.42b-d	0.46ab
Ortalama	0.44ab	0.45a	0.46a	0.41c	

Tür: p<0.05, Doz: p<0.01, Tür x Doz: p<0.05

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.8'de en yüksek Mg içeriği aynı grupta yer alan % 0.46 ile beyaz baş lahana ve % 0.45 ile karnabahardan elde edilmiştir. Mg içeriği sırasıyla brokolide (% 0.44) ve kırmızı baş lahanada (% 0.41) şeklinde gerçekleşmiştir.

Bakır dozlarına göre en yüksek Mg içeriği 75 mg kg⁻¹ (% 0.48) konsantrasyonunda bulunmuş; bu uygulamayı % 0.46 ile 300 mg kg⁻¹, % 0.44 ile 150 mg kg⁻¹ ve nihayet % 0.38 ile kontrol takip etmiştir.

Doz ve tür interaksiyonu bakımından, en fazla Mg içeriği beyaz baş lahana x 75 mg kg⁻¹ uygulamasında olduğu anlaşılmıştır. Takip eden grubun birer üyesi olan brokoli x 300 mg kg⁻¹ (% 0.51), karnabahar x 150 mg kg⁻¹ (% 0.51), kırmızı baş lahana x 75 mg kg⁻¹ (% 0.49) ve karnabahar x 300 mg kg⁻¹ (% 0.48) diğer dikkat çeken interaksiyonlar olmuşlardır. Diğer kombinasyonlar bunları izlemiştir.

4.1.1.3. Kök Boyu, Yaş ve Kuru Ağırlığı

Araştırmada farklı bakır dozlarının *Brassicaceae* ve ıspanak denemesindeki kök boyuna etkilerine ilişkin bulgular sırasıyla Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10'dan izlenebilmektedir. *Brassicaceae* denemesinde kök boyları bakımından türlerin bakıra karşı tepkileri p<0.05 düzeyinde, bakır dozları p<0.01 düzeyinde ve bakır dozu x tür interaksiyonu önemsiz bulunmuştur. Ispanak denemesinde ise kök boylarının türler, bakır dozları ve bakır dozu x tür interaksiyonunda p<0.01 düzeyinde önemli olduğu anlaşılmıştır.

Çizelge 4.9. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin kök boyları (cm)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	22.13a	20.50a-c	20.10a-d	21.27ab	21.00a
75	17.57a-f	19.74a-e	17.93a-f	19.06a-f	18.57b
150	15.64d-f	16.33c-f	15.40ef	18.43a-f	16.45c
300	14.80f	17.40b-f	14.80f	17.06b-f	16.03c
Ortalama	17.55ab	18.49ab	17.05c	18.96a	

Tür: p<0.05, Doz: p<0.01, Tür x Doz: ÖD

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.9'daki verilere göre bakır bulaşık topraklarda yetiştirilen lahanalarda kök boyu en yüksek türün kırmızı baş lahana (18.96 cm) olduğu belirlenmiştir. Bu türü aynı istatistiki grupta yer alan 18.49 cm ile karnabahar ve 17.55 cm ile brokoli; en kısa kök boyu ile farklı bir grupta beyaz baş lahana (17.05 cm) izlemiştir.

Dozlar bakımından en yüksek kök boyu 21.00 cm ile kontrol kontrolde kaydedilmiştir. Bu dozu (18.57 cm) ile 75 mg kg⁻¹ takip etmiştir. Aynı istatistiki grupta yer oluşturan 150 ve 300 mg kg⁻¹ dozları sırasıyla 16.45 ve 16.03 cm ile sonraki sıraları oluşturmuştur.

Tür ve doz interaksiyonunda ise en yüksek kök boyunun 22.13 cm ile brokoli x kontrol uygulamasında olduğu anlaşılmıştır. Bu interaksiyonu kırmızı baş lahana x kontrol (21.27 cm) interaksiyonu takip ettiği belirlenmiştir. Karnabahar x kontrol (20.50 cm) ve beyaz baş lahana x kontrol (20.10 cm) diğer dikkat çeken kombinasyonlar olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.10. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin kök boyları (cm)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	16.70bc	16.83bc	20.10a	17.90b	17.88a
75	15.50cd	15.60cd	14.93d	16.46bc	15.62b
150	12.30e-g	11.50fh	13.40e	12.90ef	12.52c
300	10.50hi	9.86i	11.20g-i	10.50hi	10.51d
Ortalama	13.75b	13.45b	14.90a	14.44a	

Tür: p<0.01, Doz: p<0.01, Tür x Doz: p<0.01

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.10'den en yüksek kök boyuna sahip ıspanak bitkilerinin daha önce bakır bulaşık olan beyaz baş lahana (14.90 cm) ve kırmızı baş lahana (14.44 cm) yetiştirilmiş topraklarda olduğu anlaşılmıştır. Brokoli (13.75 cm) ve karnabahar (13.45 cm) yetiştirilmiş topraklarda ise kök boylarının ise daha kısa olduğu saptanmıştır.

En yüksek kök boyunun elde edildiği uygulama 17.88 cm ile kontrol olmuş, bu uygulamayı artan bakır bulaşık toprakların izlediği görülmüştür. Buna göre kök boyları 75 mg kg⁻¹'da 15.62 cm, 150 mg kg⁻¹'da 12.52 cm ve 300 mg kg⁻¹'da 10.51 cm olarak gerçekleşmiştir.

Tür x doz interaksyonu bakımından bakır bulaşık topraklarda *Brassicaceae* türleri sonrası ıspanak yetiştirilmesi durumunda kök boylarının istatistiki analizlere göre önemli düzeylerde etkilendiği saptanmıştır. Kök boyu en uzun ıspanak bitkilerinin 20.10 cm ile beyaz baş lahana x kontrol uygulamasında olduğu kaydedilmiştir. Bu interaksyonu kırmızı baş lahana x kontrol 17.90 cm ile takip ettiği belirlenmiştir. Karnabahar x kontrol (16.83 cm), brokoli x kontrol (16.70 cm) ve kırmızı baş lahana x 75 mg kg⁻¹ (16.46 cm) diğer dikkat çeken kombinasyonlar olarak tespit edilmiştir.

Brassicaceae denemesinde kök yaş ağırlığı üzerine bakırın etkileri incelendiğinde *Brassicaceae* türlerin % 1 düzeyinde önemli, dozların önemsiz ve tür x doz interaksyonunun da önemsiz olduğu belirlenmiştir. Ispanak denemesinde ise türler ve dozların % 5 düzeyinde önemli; tür x doz interaksyonlarının ise önemsiz olduğu bulunmuştur. (Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12).

Çizelge 4.11. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin kök yaş ağırlıkları (g)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	5.00cd	6.00a-e	7.23a-d	6.50a-e	6.18
75	5.00cd	5.83a-e	7.06a-d	8.00ab	6.47
150	4.83cd	5.33b-e	7.00a-d	7.66a-c	6.20
300	4.16e	5.16c-e	6.83a-e	8.50a	6.16
Ortalama	4.75b	5.58b	7.03a	7.66a	

Tür: p<0.01, Doz: ÖD, Tür x Doz: ÖD

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.11'deki verilerin detaylı incelenmesi durumunda *Brassicaceae* türleri içerisinde en fazla kök yaş ağırlıklarının aynı istatistiki grupta yer alan kırmızı baş lahana 7.66 g) ve beyaz baş lahanada (7.03 g) olduğu belirlenmiştir, Diğerleri daha sonra gelmişlerdir.

Brassicaceae türleriyle yürütülen araştırmada Kök yaş ağırlığı üzerine bakır dozların etkisinin istatistiksel değerlendirmeler ışığında olmadığı anlaşılmıştır. Yine de en fazla kök yaş ağırlığının 6.47 g ile 75 mg kg⁻¹ dozunda olduğu belirlenmiş, bunu 6.20 g ile 150 mg kg⁻¹ ve 6.18 g ile kontrol ve 6.16 g ile 300 mg kg⁻¹ dozları takip etmiştir.

Türlerin ve dozların birlikte etkilerine görebilmek amacıyla yapılan değerlendirmelerde interaksyonları bazında en fazla kök yaş ağırlığına 8.50 g ile kırmızı baş lahana x 300 mg kg⁻¹ uygulamasıyla ulaşıldığı görülmektedir. Kırmızı baş lahana x 75 mg kg⁻¹ (8.00 g) ve kırmızı baş lahana x 150 mg kg⁻¹ (8.00 g) uygulamalarının da diğer dikkate değer kombinasyonlar olduğu anlaşılmıştır.

Çizelge 4.12. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin kök yaş ağırlıkları (g)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli toprağı	Karnabahar	Kırmızı Baş Lahana	Beyaz Baş Lahana	
0	1.45	1.25	1.15	1.15	1.24a
75	1.13	0.69	1.05	0.95	0.95b
150	1.05	1.12	0.95	0.80	0.98b
300	1.15	1.16	0.83	1.05	1.05ab
Ortalama	1.19a	1.05ab	0.99b	0.99b	

Tür: p<0.05, Doz: p<0.05, Tür x Doz: ÖD

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.12'deki bilgilere göre, en yüksek kök yaş ağırlığını veren tür brokoli (1.19 g) olmuştur. Ardından 1.05 g ile karnabahar gelmiş; bu iki türü istatistiksel olarak aynı grubu oluşturan beyaz ve kırmızı baş lahana 0.99 g ile izlemiştir.

Dozların kök yaş ağırlığına etkisinde 1.24 g ile kontrol başı çekerken, 1.05 g ile 300 mg kg⁻¹ bunu takip etmiş; aynı istatistiki grupta yer alan (0.98 g) 150 mg kg⁻¹ ve (0.95 g) ile 75 mg kg⁻¹ daha sonraki sıralara yerleşmişlerdir.

Doz ve tür interaksiyonları istatistiki anlamda önemsiz bulunmuştur. Yine de değerlendirme yapılmak istenirse, en yüksek kök yaş ağırlığı elde edilmesinde brokoli (1.45 g) ve karnabaharın (1.25 g) kontrol ile interaksiyonları başta gelmiş; karnabahar x 150 mg kg⁻¹ (1.16) interaksiyonu da dikkat çeken diğer bir kombinasyon olmuştur.

Farklı bakır dozlarının *Brassicaceae* denemesindeki kök kuru ağırlığı üzerine etkisine dair bulgular Çizelge 4.13'ten ve ıspanak denemesindeki kök kuru ağırlığı ilişkin bulgular ise Çizelge 4.14'ten görülebilmektedir. *Brassicaceae* denemesinde bakıra karşı tepki bakımından türler p<0.01 düzeyinde önemli, bakır ve bakır dozu x tür interaksiyonu önemsiz bulunmuştur. Bakırla bulaşık topraklarda *Brassicaceae* türlerinin ardından kültüre alınan ıspanak bitkilerinde kök kuru ağırlıkları türler bakımından p<0.05 düzeyinde, bakır dozları bakımından p<0.01 düzeyinde ve bakır dozu x tür interaksiyonu bakımından p<0.01 düzeyinde önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.13. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin kök kuru ağırlıkları (g)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	1.80	1.31	2.09	1.58	1.69
75	1.23	1.22	1.80	1.73	1.49
150	1.31	1.24	1.67	1.77	1.50
300	1.08	1.16	1.68	2.04	1.49
Ortalama	1.36b	1.23b	1.81a	1.78a	

Tür: p<0.01, Doz: ÖD, Tür x Doz: ÖD

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.13'den görüldüğü üzere en fazla kök kuru ağırlığı, aynı istatistiki grupta yer alan beyaz baş lahanada (1.81 g) ve kırmızı baş lahanada (1.78 g) olduğu belirlenmiştir. Bunları sırasıyla, 1.36 g ile brokoli ve 1.23 g ile karnabahar izlemiştir.

Bitkilerde bakır içeriği açısından, lahanada bitkilerinde kök kuru ağırlığı üzerine dozların etkisini olmadığı anlaşılmıştır. Yine de bir değerlendirme istenirse, en fazla kök kuru ağırlığının elde edildiği doz 1.69 g ile kontrol olmuştur. Artan bakır dozlarının etkisi olumsuz olmuş kök kuru ağırlıklarında azalmaların olduğu saptanmıştır.

Doz ve tür interaksyonları istatistiki açıdan önemsiz bulunmuştur. Bununla birlikte en fazla kök kuru ağırlığı beyaz baş lahanada x kontrol (2.09 g) ve kırmızı baş lahanada x 300 mg kg⁻¹ (2.04 g) kombinasyonlarında olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.14. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin kök kuru ağırlıkları (g)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyazı Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	0.35a	0.29ab	0.28bc	0.27b-d	0.30a
75	0.19fg	0.17g	0.24b-f	0.22d-g	0.20c
150	0.25b-e	0.27b-d	0.22d-g	0.19fg	0.23b
300	0.28bc	0.27b-d	0.20e-g	0.23b-f	0.24b
Ortalama	0.26a	0.25ab	0.23b	0.23b	

Tür: p<0.05, Doz: p<0.01, Tür x Doz: p<0.01

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.14'den bakır bulaşık ve daha önce farklı *Brassicaceae* türlerinin kültüre alındığı ıspanaklarda en fazla kök kuru ağırlığı 0.26 g ile brokoli'de bulunmuş; 0.25 g ile karnabahar, 0.23 g ile beyaz ve kırmızı baş lahanada brokolinin ardından gelmiştir.

Dozlar bakımından en fazla kök kuru ağırlığı kontrolde (0.30 g) bulunmuş, 0.24 g ile 300 mg kg⁻¹ ve 0.23 g ile 150 mg kg⁻¹ bunu izlemiştir. Kök kuru ağırlığının en düşük olduğu uygulama ise 0.20 g ile 75 mg kg⁻¹ konsantrasyonu olmuştur.

Tür ve doz interaksyonuna göre en fazla kök kuru ağırlığı brokoli x kontrol interaksyonunda (0.35 g) ortaya çıkmıştır. Bu interaksyonu karnabahar x kontrol (0.29 g), aynı gruptaki beyaz baş lahanada x kontrol (0.28 g) ve brokoli x 300 mg kg⁻¹ (0.28 g) kombinasyonları izlemiştir.

4.1.1.4. Bitki boyu

Araştırmada farklı bakır dozlarının *Brassicaceae* denemesi türlerindeki etkilerine ilişkin bulgular Çizelge 4.15'de verilmiştir. Yapılan istatistiki analizlere göre türlerin bakıra karşı tepkileri p<0.01 düzeyinde, bakır dozları önemsiz ve bakır dozu x tür interaksyonu önemsiz bulunmuştur.

Bakır dozlarının *Brassicaceae* ve ıspanak denemesi bitkilerinde bitki boyu üzerindeki etkilerini incelemek için yapılan istatistiksel analizler sonucunda, *Brassicaceae* denemesinde sadece türlerin $p<0.01$ düzeyinde önemli olduğu; ıspanak denemesinde ise türlerin, dozların ve tür x doz interaksyonlarının $p<0.01$ düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16).

Çizelge 4.15. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin bitki boyları (cm)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	26.47	23.44	24.06	27.26	25.31
75	23.33	22.06	20.94	28.63	23.74
150	24.83	22.33	21.71	28.92	24.45
300	24.30	21.94	22.70	27.96	24.22
Ortalama	24.73b	22.44c	22.35c	28.19a	

Tür: $p<0.01$, Doz: ÖD, Tür x Doz: ÖD

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre $p<0.05$ düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.15'e bakıldığında en yüksek bitki boyunun kırmızı baş lahanada (28.19 cm) olduğu görülmektedir. Kırmızı baş lahananın ardından 24.73 cm ile brokoli gelmektedir. Bitki boyunda sırasıyla Karnabahar ve beyaz baş lahanada 22.44 cm ve 22.35 cm'lik değerlerle sonraki sıralarda yer almışlardır.

Bakır dozlarında bitki boyu üzerine istatistiksel anlamda önem arz eden sonuçlara ulaşılmadığı anlaşılmıştır. Ancak en yüksek bitki boyu kontrol uygulamasında (25.31 cm) saptanmış; artan bakır dozlarının bitki boyuna etkisi olumsuz olmuştur.

Doz ve tür interaksyonları istatistiki anlamda önemsizdir. Yine de miktar olarak kırmızı baş lahananın, tüm bakır dozlarıyla interaksyonları diğer türlerden elde edilenlere göre bir hayli yüksek bulunmuştur.

Çizelge 4.16. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin bitki boyları (cm)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	24.50c-e	25.66bc	29.50a	28.30ab	26.99a
75	22.50d-g	22.40e-g	22.36e-g	22.00e-g	22.31bc
150	23.50c-f	21.00fg	21.40fg	25.10cd	22.78b
300	21.00fg	20.30g	21.60c	23.40c-f	21.57c
Ortalama	22.87bc	22.34c	23.75ab	24.70a	

Tür: $p<0.01$, Doz: $p<0.01$, Tür x Doz: $p<0.01$

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre $p<0.05$ düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.16'deki verilere göre, ıspanak bitkilerinde en fazla bitki boyu kırmızı baş lahanada (24.70 cm) iken; beyaz baş lahanada (23.75 cm), brokolide (22.87 cm) ve karnabaharda (22.34 cm) şeklinde kaydedilmiştir.

Bakır dozlarına gelince, bitkilerin en fazla bitki boyu 26.99 cm ile kontrolde olmuştur. Bu dozu (22.78 cm) ile 150 mg kg⁻¹ takip etmiştir. Bitki boyunda sırasıyla (22.31cm) ile 75 mg kg⁻¹ ve (21.57 cm) ile 300 mg kg⁻¹lık değerlerle sonraki sıralarda yer almışlardır.

Tür x doz interaksyonunda ise en fazla bitki boyu 29.50 cm ile beyaz baş lahana x kontrol uygulamasında olduğu anlaşılmıştır. Bu interaksyonu kırmızı baş lahana x kontrol (28.30 cm) izlemiş, diğer kombinasyonlar farklı istatistiki gruplara yerleşerek sonraki sıralarda yer bulmuşlardır.

4.1.1.5. Yaprak Sayısı, Genişliği ve Uzunluğu

Farklı bakır dozlarının yaprak sayısı üzerine etkilerine dair *Brassicaceae* denemesindeki bulgular Çizelge 4.17’de ve ıspanak denemesindeki bulgular ise Çizelge 4.18’den görülebilmektedir. *Brassicaceae* denemesinde bitkilerin yaprak sayısı bakımından bakır dozlarına tepkilerinde türler önemsiz, dozlar ve bakır dozu x tür interaksyonu p<0.05 düzeyinde önemli iken; ıspanak denemesinde bitkilerin yaprak sayıları sadece dozlar bakımından p<0.01 düzeyinde önemli, türler ve doz x interaksyon bakımından önemsiz çıkmıştır.

Çizelge 4.17. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin yaprak sayıları (adet)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	11.36a-c	12.30ab	11.60a-c	12.66a	11.98a
75	11.63a-c	9.66c	12.03a-c	9.76bc	10.77b
150	11.50a-c	10.93a-c	10.83a-c	10.03bc	10.82b
300	11.16a-c	10.50a-c	11.46a-c	12.66a	11.45ab
Ortalama	11.41	10.85	11.48	11.28	

Tür: ÖD, Doz: p<0.05, Tür x Doz: p<0.05

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey’e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.17’de yaprak sayıları bakımından topraklarda bakır bulaşık olmasının türlerin arasında önemli farklılıkların olmadığı anlaşılmıştır. Biti başına en fazla yaprak sayılarına sırasıyla beyaz baş lahana (11.48 adet) ve brokolide (11.41 adet) ulaşıldığı görülmüştür.

Bakır dozlarında en fazla yaprak sayısı 11.98 adet ile kontrolde olmuş, 11.45 adet ile 300 mg kg⁻¹ kontrolü izlemiştir. Aynı istatistiki grupta yer alan 150 mg kg⁻¹ (10.82 yaprak) ve 75 mg kg⁻¹ (10.77 yaprak) uygulamaları takip eden uygulamalar olarak saptanmıştır.

Tür ve doz interaksyonunda ise en fazla yaprak sayısı 12.66 adet/bitki ile aynı değerleri veren kırmızı baş lahana x kontrol ve kırmızı baş lahana x 300 mg kg⁻¹

kombinasyonları ilk sıralarda yer almışlardır. Karnabahar x kontrol (12.30 adet) uygulaması bu kombinasyonların hemen ardından gelmiştir. Diğer uygulamalar farklı gruplarda yer alarak sonraki sıralara yerleşmişlerdir.

Çizelge 4.18. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak sayıları (adet)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	22.00	22.00	21.00	25.00	22.50a
75	21.00	18.00	19.00	19.00	19.50b
150	17.00	16.00	17.00	17.00	16.75c
300	18.00	17.00	18.00	17.00	17.50c
Ortalama	19.50	18.50	18.75	19.50	

Tür: ÖD, Doz: p<0.01, Tür x Doz: ÖD

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.18'de ıspanak bitkilerinde yaprak sayısı üzerine türlerin etkisinin olmadığı anlaşılmıştır. Yine de en fazla yaprak sayısı 19.50 adet/bitki ile kırmızı baş lahana ve brokolide görülmüş, bunu kırmızı baş lahana (18.75 adet/bitki) ve karnabahar (18.25 adet/bitki) izlemiştir.

Dozlar bakımından en fazla yaprak sayısı 22.50 adet ile kontrolde olup, dozlar arttıkça yaprak sayısının azaldığı görülmüş; ıspanakların yaprak sayısında 19.50 adet ile 75 mg kg⁻¹, 17.50 adet ile 150 mg kg⁻¹ ve 16.75 adet ile 300 mg kg⁻¹ sırasının olduğu saptanmıştır.

Doz ve tür interaksiyonları istatistiki anlamda önemsiz bulunmuştur. Bununla birlikte en fazla yaprak sayısına sahip olan uygulamanın kırmızı baş lahana x kontrol uygulaması olduğu; brokoli x kontrol, karnabahar x kontrol ve brokoli x 75 mg kg⁻¹ kombinasyonlarının da diğer dikkate değer uygulamalar olduğu belirlenmiştir.

Bakır dozlarının *Brassicaceae* ve ıspanak denemelerinde yaprak genişliği, *Brassicaceae* denemesinde sadece türlerin p<0.01 düzeyinde önemli olduğu; ıspanak denemesinde ise türler bakımından p<0.05 düzeyinde, bakır dozları bakımından p<0.01 düzeyinde, bakır dozu ve tür x doz interaksyonu bakımından p<0.01 düzeyinde önemlilik olduğu kaydedilmiştir (Çizelge 4.19 ve Çizelge 4.20).

Çizelge 4.19. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin yaprak genişlikleri (cm)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	7.94	7.84	11.92	11.50	9.80
75	7.72	7.59	11.83	12.28	9.74
150	8.11	7.26	10.20	11.88	9.36
300	7.80	7.54	10.30	11.68	9.33
Ortalama	7.89b	7.56b	10.95a	11.83a	

Tür: p<0.01, Doz: ÖD, Tür x Doz: ÖD

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.19 incelendiğinde en fazla yaprak genişliği kırmızı baş lahana (11.83 cm) ve beyaz baş lahanadan (10.95 cm) alındığı belirlenmiştir. Aynı bir istatistiksel grup oluşmasına neden olan brokoli (7.89 cm) ve karnabahar (7.56 cm) türlerinin verileri ise daha düşük bulunmuştur.

Bakır dozları istatistiki değerlendirmeler sonucunda kayda değer veriler vermemişlerdir. Yaprak genişliğinde kontrol ve 75 mg kg⁻¹ uygulamaları diğer dozlara göre biraz daha belirgin rakamlara ulaşılmasına neden olmuştur.

Tıpkı bakır dozları gibi, interaksyonlar da istatistiki anlamda önemsiz bulunmuştur. En fazla yaprak genişliği kırmızı baş lahana x 75 mg kg⁻¹ (12.28 cm) kombinasyonunda olmuş, genelde kırmızı ve beyaz baş lahana (150 ve 300 mg kg⁻¹ uygulamaları dışında) türlerinin bakır dozları ile kombinasyonlarında daha geniş yapraklı ıspanak bitkilerinin olduğu kaydedilmiştir.

Çizelge 4.20. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak genişlikleri (cm)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	6.50de	7.33b-e	8.53bc	8.36b-d	7.68b
75	7.50b-e	8.50bc	6.00e	7.00c-e	7.25bc
150	7.50b-e	8.00b-d	11.00a	9.00b	8.87a
300	6.10e	6.70c-e	6.83c-e	7.50b-e	6.78c
Ortalama	6.90b	7.63a	8.09a	7.96a	

Tür: p<0.05, Doz: p<0.01, Tür x Doz: p<0.01

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.20'e dikkat edildiğinde ıspanak bitkisinde yaprak genişliği değerlerinin brokoli hariç diğer türlerde farklı olmadığı ortaya konmuştur. Beyaz baş lahana (8.09 cm) başta gelirken; kırmızı baş lahana (7.96 cm) ve karnabahar (7.63 cm) izleyen türler olmuş, en düşük yaprak genişliği değeri ise brokolide (6.90 cm) saptanmıştır.

ıspanak bitkisi için bakır dozlarının etkisine gelince, en fazla yaprak genişliği 8.87 cm ile 150 mg kg⁻¹ dozunda olduğu anlaşılmıştır. Daha sonra gelen kontrol (7.68 cm), 75 mg kg⁻¹ (7.25 cm) ve 300 mg kg⁻¹ (6.78 cm) daha dar yapraklı bitkilerin oluşmalarına neden olmuşlardır.

Yaprak genişliği özelliğinde tür ve doz interaksyonunda, en yüksek değerleri veren kombinasyon beyaz baş lahana x 150 mg kg⁻¹ (11.00 cm) ile farklı bir grupta yer alan kırmızı baş lahana x 150 mg kg⁻¹ (9.00 cm) olmuştur. Yine beyaz baş lahana x kontrol (8.53 cm) ve karnabahar x 75 mg kg⁻¹ (8.50 cm) üzerinde durulması gereken interaksyonlar olarak belirlenmiştir.

Farklı bakır dozlarının *Brassicaceae* denemesindeki yaprak uzunluğuna etkisi Çizelge 4.21’de ve ıspanak denemesindeki yaprak uzunluğu bulguları ise Çizelge 4.22’dedir. *Brassicaceae* denemesinde bakıra karşı tepki bakımından türler $p<0.01$ düzeyinde önemli, dozlar önemsiz ve bakır dozu x tür interaksyonu $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Bakırla bulaşık topraklarda *Brassicaceae* türlerinin ardından kültüre alınan ıspanak bitkilerinde yaprak uzunlukları türler bakımından önemsiz iken; dozlar $p<0.01$ düzeyinde ve bakır dozu x tür interaksyonu $p<0.05$ düzeyinde önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.21. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin yaprak uzunlukları (cm)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	11.07ef	14.21a-c	14.16a-c	13.48a-e	13.23
75	10.46f	13.81a-d	11.96b-f	15.22a	12.86
150	10.36f	13.67a-e	11.80c-f	14.58ab	12.60
300	10.37f	13.52a-e	11.42d-f	14.44a-c	12.44
Ortalama	10.56c	13.80a	12.34b	14.43a	

Tür: $p<0.01$, Doz: ÖD, Tür x Doz: $p<0.05$

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey’e göre $p<0.05$ düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.21’den en fazla yaprak uzunluğun aynı istatistiki grubu paylaşan kırmızı baş lahanada (14.43 cm) ve karnabaharda (13.8 cm) olduğu izlenebilmektedir. Bunu sırasıyla 12.34 cm ile beyaz baş lahana ve 10.56 cm ile brokoli takip etmiştir.

İstatistiki değerlendirmelere göre bakır dozlarındaki artışa bağlı olarak *Brassicaceae* türlerinin yaprak uzunlukları, kontrolle karşılaştırıldıklarında giderek kısaldığı ortaya konmuştur. Yaprak uzunlukları sırasıyla kontrol, 75, 150 ve 300 mg kg⁻¹ dozlarında 13.23, 12.86, 12.60 ve 12.44 cm şeklinde gerçekleşmiştir.

Tür x doz interaksyonunda ise lahanada bitkilerinde en fazla yaprak uzunluğun 15.22 cm ile kırmızı baş lahana x 75 mg kg⁻¹ uygulamasında olduğu anlaşılmıştır. Kırmızı baş lahana x 150 mg kg⁻¹ uygulaması (14.58 cm) daha sonra gelmiş; diğer interaksyonlar ise azalan yaprak uzunluklarıyla bu kombinasyonları izlemişlerdir.

Çizelge 4.22. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak uzunlukları (cm)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	10.50ab	10.40ab	11.00a	10.00a-c	10.47a
75	10.00a-c	9.40a-c	8.90bc	9.50a-c	9.45b
150	9.50a-c	10.10ac	8.40c	10.00a-c	9.50b
300	10.40ab	10.40ab	10.20ab	10.70a	10.42a
Ortalama	10.10	10.07	9.62	10.05	

Tür: ÖD, Doz: $p<0.01$, Tür x Doz: $p<0.05$

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey’e göre $p<0.05$ düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.22'deki verilere göre ıspanak bitkilerinde yaprak uzunluğu üzerine türlerin etkisinin olmadığı anlaşılmış; elde edilen verilerin birbirine yakın oldukları kayıt altına alınmıştır.

Kontrol (10.47 cm) ve bakır dozlarından 300 mg kg⁻¹ birbirine yakın değerler vererek 150 mg kg⁻¹ ve 75 mg kg⁻¹ dozlarına göre daha uzun yaprakların oluşmasında etkili olduğu ortaya çıkarılmıştır.

En fazla yaprak uzunluğunun beyaz baş lahana x kontrol (11.00 cm) ve kırmızı baş lahana x 300 mg kg⁻¹ (10.70 cm) uygulamalarında olduğu saptanmıştır. Sırasıyla brokoli x kontrol (10.50 cm), karnabahar x kontrol (10.40 cm), brokoli x 300 mg kg⁻¹ (10.40 cm), karnabahar x 300 mg kg⁻¹ (10.40 cm) ve beyaz baş lahana x 300 mg kg⁻¹ (10.20 cm) diğer önemli kombinasyonlar olarak tespit edilmiştir.

4.1.1.6. Yaprak Yaş ve Kuru Ağırlığı

Farklı bakır dozlarının yaprak yaş ağırlığı üzerine etkilerine dair *Brassicaceae* denemesi türlerindeki bulgular Çizelge 4.23'ten ve ıspanak denemesindeki bulgular ise Çizelge 4.24'ten görülebilmektedir. Gerek lahana ve gerekse ıspanak denemesinde, bakır dozlarının yaprak yaş ağırlığı bakımından tepkilerinde türler, dozlar ve bakır dozu x tür interaksiyonları p<0.01 düzeyinde önemli çıkmıştır.

Çizelge 4.23. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin yaprak yaş ağırlıkları (g)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	28.76de	43.46b	56.96a	55.06a	46.06a
75	29.16de	24.70e	29.83de	33.16c-e	29.21b
150	27.80de	27.33de	27.10de	35.33b-d	29.49b
300	28.90de	27.43de	29.56de	40.00bc	31.47b
Ortalama	28.65c	30.83c	35.86b	40.89a	

Tür: p<0.01, Doz: p<0.01, Tür x Doz: p<0.01

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.23'den görüldüğü üzere yaprak yaş ağırlığı en fazla kırmızı baş lahanadan (40.89 g) elde edilmiştir. Beyaz baş lahana (35.86 g) daha sonra gelmiş; farklı bir istatistiki grupta yer alan karnabahar (30.83 g) ve brokoli (28.65 g) bunları izlemiştir.

Bakır dozları bakımından yaprak yaş ağırlığı en fazla uygulama kontrol (46.06 g) olmuştur. Artan bakır uygulamalarında yaprak yaş ağırlığının düştüğü 300 mg kg⁻¹ (31.47 g), 150 mg kg⁻¹ (29.49 g) ve 75 mg kg⁻¹ (9.21 g) şeklinde bir sırlamanın olduğu görülmüştür.

Doz ve tür interaksionunda en fazla yaprak yaş ağırlığı beyaz baş lahana x kontrol (56.96 g) ve kırmızı baş lahana x kontrol (55.06 g) interaksionundan alınmıştır. Bu interaksionları 43.76 g ile karnabahar x kontrol kombinasyonu takip etmiştir. Diğer interaksionlar farklı istatistiki gruplara yerleşerek sonraki sıraları oluşturmuşlardır.

Çizelge 4.24. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak yaş ağırlıkları (g)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	44.83a	41.30b	37.50c	40.50b	41.03a
75	35.21cd	21.50h	23.50gh	28.20e	27.10b
150	24.80fg	28.50e	33.90d	25.30fg	28.12b
300	24.30f-h	26.90ef	22.80gh	24.20f-h	24.55c
Ortalama	32.28a	29.55b	29.42b	29.55b	

Tür: p<0.01, Doz: p<0.01, Tür x Doz: p<0.01

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.24'e bakıldığında ıspanak bitkilerinin yaprak yaş ağırlığında en etkili tür brokoli (32.28 g) olmuş, brokoliden farklı bir grubu oluşturarak ayrılan karnabahar (29.55 g), kırmızı baş lahana (29.55 g) ve (29.42 g) beyaz baş lahana daha sonra gelmiştir.

Bakır dozlarında, en fazla yaprak yaş ağırlığı 41.03 g ile kontrolde bulunmuş; aynı grupta yer alan 150 mg kg⁻¹ (28.12 g) ve 75 mg kg⁻¹ (27.10 g) bunu izlemiş, 24.55 g ile 300 mg kg⁻¹ son sırada yer almıştır.

Tür ve doz interaksionunda en yüksek değere 44.83 g ile brokoli x kontrol kombinasyonunda ulaşılmıştır. Yine 41.30 g ile karnabahar x kontrol ve 40.50 g ile kırmızı baş lahana x kontrol uygulamaları da kayda değerdir. Diğer interaksionların farklı grupları oluşturarak daha düşük değerler ile sonraki sıraları oluşturdukları anlaşılmıştır.

Bakır dozlarının *Brassicaceae* ve ıspanak denemelerindeki yaprak kuru ağırlığına etkileri değerlendirildiğinde, *Brassicaceae* denemesinde türler p<0.01 ve bakır dozu x tür interaksionları p<0.05 düzeyinde önemli çıkmış; ıspanak denemesinde tür, doz ve tür x doz interaksionu p<0.01 düzeyinde önemli çıkmıştır (Çizelge 4.25 ve Çizelge 4.26).

Çizelge 4.25. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin yaprak kuru ağırlıkları (g)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	13.78a	8.44bc	11.07a-c	9.64bc	10.73
75	9.31bc	8.80bc	10.99a-c	11.17a-c	10.07
150	10.35a-c	7.69bc	11.46ab	10.85a-c	10.09
300	9.04bc	7.47c	11.24a-c	11.48ab	9.81
Ortalama	10.62a	8.10b	11.19a	10.79a	

Tür: p<0.01, Doz: ÖD, Tür x Doz: p<0.05

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.25'teki verilere göre en fazla yaprak kuru ağırlığı beyaz baş lahanada (11.19 g) bulunmuş, bununla birlikte aynı istatistiki grupta yer alan kırmızı beyaz baş lahanada (10.79 g) ve brokolinin de (10.62 g) dikkate değer türler olduğu belirlenmiştir. Yaprak kuru ağırlığında karnabaharın (8.10 g) bu üç türün gerisinde kaldığı ortay çıkmıştır.

Bakır dozları istatistiki olarak önem arz etmese de, yaprak kuru ağırlığı bakımından kontrolün (10.73 g) bakır uygulamalarına göre daha iyi olduğu sırasıyla 150, 75 ve 300 mg kg⁻¹ dozlarının sonraki sıraları oluşturduğu görülebilmektedir.

Tür ve doz interaksionunda en yüksek yaprak kuru ağırlığı brokoli x kontrol kombinasyonunda (13.78 g) olduğu belirlenmiştir. Bu uygulamayı istatistiksel olarak aynı grubu oluşturan kırmızı baş lahanada x 300 mg kg⁻¹ (11.48 g) ve beyaz baş lahanada x 150 mg kg⁻¹ (11.46 g) interaksionlarının takip ettiği görülmüştür. Bitkilerdeki yaprak kuru ağırlığı, farklı istatistiksel grupları oluşturan bakır dozları ve tür kombinasyonlarına bağlı olarak azalmıştır.

Çizelge 4.26. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak kuru ağırlıkları (g)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	3.82c	4.34b	4.22b	5.21a	4.40a
75	3.21d	2.65ef	2.73ef	2.85e	2.86b
150	2.35gh	2.14h-j	1.95j	2.55fg	2.24c
300	2.12ij	1.95j	2.23hi	2.60f	2.22c
Ortalama	2.87b	2.77c	2.78c	3.30a	

Tür: p<0.01, Doz: p<0.01, Tür x Doz: p<0.01

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.26'nin içerdiği verilere göre yaprak kuru (3.30 g) ile kırmızı baş lahanada, (2.87 g) ile brokoli izlemiştir. Aynı istatistiki grupta yer alan (2.78 g) ile beyaz baş lahanada ve (2.77 g) ile karnabahar izlemiştir.

Bakır dozlarına bakıldığında bakır uygulamalarında kontrole göre yüksek bulunmuştur. En fazla yaprak kuru ağırlığı (4.40 g), (2.86 g), (2.24 g) ve (2.22 g) sırasıyla 0, 75, 150 ve 300 mg kg⁻¹ dozları şeklinde gerçekleşmiştir.

Tür ve doz intreaksionunda en fazla yaprak kuru ağırlığı (5.21 g) kırmızı baş lahanada x kontrol uygulaması ile bulunmuştur. Bu interaksionu aynı istatistiki grupta yer alan en düşük yaprak kuru ağırlığı beyaz baş lahanada x150 (1.95 g) ve karnabahar x 300 (1.95 g) mg kg⁻¹ uygulamalarının takip ettiği belirlenmiştir.

4.1.1.7. Tolerans İndeksi

Bakırla bulaşık topraklarda kültüre alınan brokoli, karnabahar, beyaz baş lahana ve kırmızı lahana fitoremediasyon performanslarını belirleyebilmek (Çizelge 4.27) ve olası potansiyellerini kendilerinden sonra kültüre alınan ıspanak topraklarında da (Çizelge 4.28) sürdürebilme durumlarını incelemek üzere kümülatif tolerans indekleri değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.27. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin tolerans indekleri

Türler	Cu	Ca	K	Mg	KB	KYA	KKA	BB	YS	YG	YU	YYA	YKA	Ort
Brokoli	1.31	1.23	1.19	1.17	0.85	0.97	0.87	0.93	0.99	0.92	0.87	0.63	1.01	0.99
Karnabahar	1.55	1.07	1.38	1.16	0.79	0.95	0.75	0.93	1.00	0.99	0.95	1.00	0.77	1.02
Beyaz Lahana	2.44	0.95	1.09	1.03	0.90	0.93	0.94	0.96	0.88	0.96	0.97	0.71	0.96	1.06
Kırmızı Lahana	2.39	1.00	1.17	0.88	0.87	1.06	1.05	0.99	0.93	0.93	0.98	0.72	1.07	1.08

Çizelge 4.28. Bakır bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin tolerans indekleri

Türler	Cu	Ca	K	Mg	KB	KYA	KKA	BB	YS	YG	YU	YYA	YKA	Ort
Brokoli	1.29	1.11	0.95	1.08	0.74	0.86	0.84	0.81	0.89	0.95	0.88	0.78	0.66	0.91
Karnabahar	1.52	1.43	1.01	1.21	0.82	0.82	0.76	0.93	0.89	1.06	0.96	0.72	0.75	0.99
Beyaz Lahana	1.45	1.37	0.97	1.22	0.80	0.85	0.86	0.87	0.84	1.04	0.97	0.72	0.64	0.97
Kırmızı Lahana	1.36	1.19	0.86	1.07	0.79	0.90	0.80	0.88	0.80	0.97	1.02	0.77	0.65	0.93

Bakırla bulaşık topraklarda kültüre alınan türlerden kümülatif tolerans indeksi değerlerine göre *Brassicaceae* denemesinde kırmızı baş lahana ilk sırada gelmiş, onu beyaz baş lahana izlemiştir. Kırmızı baş lahana bu özelliğini ıspanak denemesinde sürdürememiş, ilk sıraya karnabahar yerleşmiştir. Her iki denemenin ortalamaları üzerinden gidildiğinde türler arasında önemli farklılıklar olmamakla birlikte bakır denemesi için 1.015 tolerans indeksi değeri ile beyaz baş lahananın bir adım önde olduğunu söylemek mümkündür.

4.1.2. Demir (Fe)

4.1.2.1. Demir (Fe) İçeriği

Araştırmada farklı demir dozlarının *Brassicaceae* denemesindeki etkilerine ilişkin bulgular Çizelge 4.29’da verilmiştir. Yapılan istatistiki analizlere göre türlerin, demir dozlarının ve demir dozu x tür interaksyonunun önemsiz olduğu görülmektedir.

Çalışmada farklı demir dozlarıyla bulaşık topraklarda ıspanak denemesindeki bitkilere ait bulgular ise Çizelge 4.30’de verilmiştir. Ispanak bitkilerinin demir içerikleri türler bakımından $p < 0.05$ düzeyinde, demir dozları bakımından $p < 0.05$ düzeyinde ve demir dozu x tür interaksyonu bakımından önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.29. Demir bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin demir (Fe, mg kg⁻¹) içerikleri

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	51.40	48.00	47.80	53.00	50.05
250	57.00	61.00	47.40	52.40	54.45
500	60.40	65.20	42.00	90.20	64.45
1000	68.40	67.80	50.80	60.60	61.90
Ortalama	59.30	60.50	47.00	64.05	

Tür: ÖD, Doz: ÖD, Tür x Doz: ÖD

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.29'dan istatistiki olarak önem arz etmese de, en fazla demir biriktiren türün 64.05 mg kg⁻¹ ile kırmızı baş lahana olduğu görülmektedir. Kırmızı baş lahanayı izleyen 60.50 mg kg⁻¹ ile karnabahar ve 59.30 mg kg⁻¹ ile brokolinin birbirine yakın değerler verdiği beyaz baş lahanaya göre farklılaştıkları görülmektedir.

Bitkilerde demir içeriği üzerine demir dozların etkisinin de önemli olmadığı anlaşılmıştır. Yine de en fazla demir içeriğinin 64.45 mg kg⁻¹ ile 500 mg kg⁻¹ dozunda olduğu belirlenmiş, bunu 61.90 mg kg⁻¹ ile 1000 mg kg⁻¹ ve 54.45 mg kg⁻¹ ile 250 mg kg⁻¹ ve 50.05 mg kg⁻¹ ile kontrol dozları takip etmiştir.

Doz ve tür interaksiyonları istatistiki anlamda önemsiz bulunmuştur. Ancak değer olarak 90.20 mg kg⁻¹ kırmızı baş lahana x 500 mg kg⁻¹ oldukça farklı bir şekilde diğer interaksiyonların önünde yer aldığı görülebilmektedir. Brokoli x 1000 mg kg⁻¹, karnabahar x 1000 mg kg⁻¹ ve karnabahar x 500 mg kg⁻¹ kombinasyonlarının da diğer dikkat çeken uygulamalar oldukları söylenebilir.

Çizelge 4.30. Demir bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin demir (Fe, mg kg⁻¹) içerikleri

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	98.83	91.00	104.33	97.16	98.66b
250	174.66	128.16	206.83	154.66	166.08a
500	114.00	117.50	131.33	130.66	123.37b
1000	115.33	108.00	188.33	131.16	135.70ab
Ortalama	125.70ab	112.00b	157.70a	128.41ab	

Tür: p<0.05, Doz: p<0.05, Tür x Doz: ÖD

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.30'dan ıspanak bitkilerinde en yüksek demiri beyaz baş lahana (157.70 mg kg⁻¹) kaldırmış; aynı grupta yer alan kırmızı baş lahana (128.41 mg kg⁻¹) ve brokoli (125.70 mg kg⁻¹) bunu izlemiştir. Karnabahar en son sırada (112.00 mg kg⁻¹) gelmiştir.

Demir dozlarına gelince, demir içeriği en yüksek uygulamanın 250 mg kg⁻¹ (166.08 mg kg⁻¹) olduğu, ardından 1000 mg kg⁻¹ (135.70 mg kg⁻¹) dozunun geldiği; sıralamanın 500 mg kg⁻¹ (123.37 mg kg⁻¹) ve kontrol (98.66 mg kg⁻¹) sonlandığı tespit edilmiştir.

Tür ve doz etkileşimini de istatistik olarak önem arz etmese de, en yüksek demir içeriğinin belirlendiği beyaz baş lahana x 250 mg kg⁻¹ (206.83 mg kg⁻¹) ve beyaz baş lahana x 500 mg kg⁻¹ (188.33 mg kg⁻¹) ve brokoli x 250 mg kg⁻¹ (174.66 mg kg⁻¹) kombinasyonlarının da dikkat çektiği görülmektedir.

4.1.2.2. Ca, K ve Mg içeriği

Araştırmada farklı demir dozlarının *Brassicaceae* denemesi türlerindeki Ca alımına etkisi üzerine bulgular Çizelge 4.31’de ve ıspanak denemesindeki Ca alımı etkinliğine ilişkin bulgular ise Çizelge 4.32’de verilmiştir. Yapılan istatistik analizlere göre *Brassicaceae* denemesinde demire karşı tepki bakımından türler p<0.05 düzeyinde, demir dozları ve demir dozu x tür etkileşimi önemsiz bulunmuştur. Demirle bulaşık topraklarda *Brassicaceae* türlerinin ardından kültüre alınan ıspanak denemesi bitkilerinde kalsiyum içerikleri *Brassicaceae* türleri bakımından p<0.05 düzeyinde, demir dozları ve demir dozu x tür etkileşimi bakımından p<0.01 düzeyinde önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.31. Demir bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin (Ca, %) içerikleri

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	2.07	2.70	2.18	2.76	2.43
250	2.10	2.47	2.24	2.52	2.33
500	2.11	2.54	2.38	3.03	2.51
1000	2.19	2.85	2.27	2.57	2.47
Ortalama	2.12b	2.64a	2.27b	2.72a	

Tür: p<0.05, Doz: ÖD, Tür x Doz: ÖD

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey’e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.31’de en yüksek Ca içeriğinin, aynı istatistik grupta yer alan kırmızı baş lahana (% 2.72) ve karnabaharda (% 2.64) olduğu belirlenmiştir. Bunları sırasıyla % 2.27 ile beyaz baş lahana ve % 2.12 ile brokoli izlemiştir.

Dozlar bakımından uygulamalarda önemlilik olmasa da; en yüksek Ca içeriğinin 500 mg kg⁻¹ demir dozunda (% 2.51) olduğu, diğer uygulamalarda Ca içeriğinin azaldığı ve nihayet 250 mg kg⁻¹ dozunda en düşük değere (% 2.33) ulaştığı görülebilmektedir.

Dozlar ve etkileşim istatistik olarak önemsiz bulunsada uygulamalar incelemeye alındığında; en fazla Ca içeriği kırmızı baş lahana x 500 mg kg⁻¹ etkileşiminde (% 3.03) olduğu; karnabahar x 1000 mg kg⁻¹ (% 2.85) ve kırmızı baş lahana x kontrol (% 2.76) kombinasyonlarının da yüksek değerler verdiği anlaşılmıştır.

Çizelge 4.32. Demir bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin kalsiyum (Ca, %) içerikleri

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	1.29g	1.45fg	1.64ef	1.50fg	1.47c
250	1.75c-e	1.67d-f	2.07b	1.88b-d	1.84b
500	2.53a	2.40a	2.10b	2.07b	2.27a
1000	2.52a	1.95bc	1.97bc	2.54a	2.24a
Ortalama	2.02a	1.86b	1.94ab	2.00a	

Tür: p<0.05, Doz: p<0.01, Tür x Doz: p<0.01

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.32 incelendiğinde ıspanak bitkilerinde en fazla Ca içeriği brokoli (% 2.02) ve kırmızı baş lahanadan (% 2.00) alındığı belirlenmiştir. Ca içeriği beyaz baş lahanada (% 1.94) ve kırmızı baş lahanada (% 1.86) daha düşük gerçekleşmiştir.

Demir dozlarında en fazla Ca içeriği 500 mg kg⁻¹ (% 2.27) ve 1000 mg kg⁻¹ (% 2.24) dozlarında ortaya çıkmıştır. Ca miktarı 250 ve kontrol dozlarında sırasıyla % 1.84 ve % 1.47 dozları olarak belirlenmiştir.

Doz ve tür interaksiyonunda ise en yüksek Ca içeriğinin; kırmızı baş lahana x 1000 mg kg⁻¹ (% 2.54), brokkoli x 500 mg kg⁻¹ (% 2.53), brokkoli x 1000 mg kg⁻¹ (% 2.52) ve karnabahar x 500 mg kg⁻¹ (% 2.40) interaksiyonlarında olduğu saptanmıştır. Sırasıyla beyaz baş lahana x 500 mg kg⁻¹ (% 10.10), beyaz baş lahana x 250 mg kg⁻¹ (% 10.07) ve kırmızı baş lahana x 500 mg kg⁻¹ (% 10.07) ise diğer önemli kombinasyonlar olarak tespit edilmiştir.

Farklı demir dozlarının K alımı üzerine etkisine dair *Brassicaceae* türlerindeki deneme sonuçları Çizelge 4.33'te ve ıspanaktaki deneme sonuçları Çizelge 4.34'te özetlenmiştir. *Brassicaceae* denemesinde potasyum alımında demire karşı tepki bakımından türler p<0.05 ve demir dozları p<0.05 düzeyinde önemli, demir dozu x tür interaksiyonu önemsiz bulunmuştur. Demir bulaşık topraklarda *Brassicaceae* türlerinin ardından kültüre alınan ıspanak denemesi bitkilerinde potasyum içerikleri türler bakımından p<0.05 düzeyinde, demir dozları bakımından p<0.01 düzeyinde ve demir dozu x tür interaksiyonu bakımından p<0.01 düzeyinde önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.33. Demir bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin potasyum (K, %) içerikleri

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	0.94	1.18	1.19	1.18	1.12b
250	1.31	1.47	1.38	1.21	1.34a
500	1.20	1.36	1.25	1.21	1.25ab
1000	1.27	1.32	1.17	1.14	1.22ab
Ortalama	1.18b	1.33a	1.24ab	1.18b	

Tür: p<0.05, Doz: p<0.05, Tür x Doz: ÖD

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.33'teki bilgilere göre, en yüksek K içeriğini veren tür karnabahar (%1.33) olmuştur. Ardından % 1.24 ile beyaz baş lahana gelmiş; bu iki türü istatistiksel olarak aynı grubu oluşturan brokoli (% 1.18) ve kırmızı baş lahana (% 1.18) izlemiştir.

Demirin dozlarında en yüksek K miktarının elde edildiği uygulama (% 1.34) ile 250 mg kg⁻¹ olmuştur. Bu uygulamayı aynı istatistiki grupta yer alan 500 mg kg⁻¹ (% 1.25) ve 1000 mg kg⁻¹ (% 1.22) izlemiş, en az K miktarı ise kontrolde (% 1.12) bulunmuştur.

Tür ve doz interaksyonu istatistiki olarak önem arz etmese de, en büyük K miktarının belirlendiği karnabahar x 250 mg kg⁻¹ (% 1.47), beyaz baş lahana x 250 mg kg⁻¹ (% 1.38) ve karnabahar x 500 mg kg⁻¹ (% 1.36) interaksyonlarında farklılar olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.34. Demir bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin potasyum (K, %) içerikleri

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	1.14f	1.37b-e	1.33c-e	1.53ab	1.34b
250	1.24ef	1.26d-f	1.32c-e	1.24ef	1.26c
500	1.35bc	1.29d-f	1.36b-e	1.54ab	1.38ab
1000	1.55a	1.42a-d	1.49a-c	1.24ef	1.42a
Ortalama	1.32b	1.33ab	1.37ab	1.38a	

Tür: p<0.05, Doz: p<0.01, Tür x Doz: p<0.01

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.34'teki verilere göre en fazla K içeriğinin kırmızı baş lahanada (% 1.38) olduğu belirlenmiştir. Beyaz baş lahana (% 1.37) ile karnabahar (% 1.33) sonraki grupta yer alarak bunu izlemiş; brokoli en son sırada (% 1.32) gelmiştir.

Demir dozlarında en yüksek K miktarının elde edildiği uygulama (% 1.42) ile 1000 mg kg⁻¹ olmuştur. Bu uygulamayı % 1.38 ile 500 dozu takip etmiştir. K miktarı kontrol ve 250 mg kg⁻¹ dozlarında sırasıyla % 1.34 ve % 1.26 olarak belirlenmiştir.

Tür ve doz interaksyonunda ise en yüksek K içeriği brokoli x 1000 mg kg⁻¹ (% 1.55) kombinasyonundan elde edilmiştir. Bu kombinasyonu izleyen kırmızı baş lahana x 500 mg kg⁻¹ (% 1.54) ve kırmızı baş lahana x kontrol (% 1.53) diğer dikkat çeken interaksyonlar olmuşlardır.

Farklı demir dozlarının *Brassicaceae* denemesinde magnezyum alımına etkisi üzerine bulgular Çizelge 4.35'de ve ıspanak denemesinde Mg alımı etkinliğine ilişkin bulgular ise Çizelge 4.36'den görülebilmektedir. *Brassicaceae* denemesinde demire karşı tepki bakımından türler p<0.01 düzeyinde önemli, demir dozları ve demir dozu x tür interaksyonu önemsiz bulunmuştur. Ispanak denemesi bitkilerinde magnezyum içerikleri türler bakımından p<0.05 düzeyinde, demir dozları bakımından p<0.01 düzeyinde ve demir dozu x tür interaksyonu bakımından p<0.01 düzeyinde önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.35. Demir bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin magnezyum (Mg, %) içerikleri

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	0.31	0.48	0.39	0.69	0.49
250	0.36	0.45	0.40	0.47	0.42
500	0.45	0.47	0.42	0.54	0.44
1000	0.36	0.52	0.42	0.47	0.44
Ortalama	0.34c	0.48a	0.40b	0.51a	

Tür: p<0.01, Doz: ÖD, Tür x Doz: ÖD

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.35'de en yüksek Mg içeriği % 0.51 ile kırmızı baş lahana ve % 0.48 ile karnabahardan elde edilmiş; farklı gruplarda yer alan beyaz baş lahana (% 0.40) ve brokoli (% 0.34) bunları izleyen türler olmuştur.

Mg içeriği üzerine demir dozların etkisini olmadığı anlaşılmıştır. Yine de en yüksek Mg içeriğinin % 0.49 ile kontrolde olduğu belirlenmiş, bunu % 0.44 ile 500 mg kg⁻¹, % 0.44 ile 1000 mg kg⁻¹ ve % 0.42 ile 250 mg kg⁻¹ dozları takip etmiştir.

Doz ve tür interaksiyonları istatistiki anlamda önemsiz bulunmuştur. Ancak kırmızı baş lahananın sırasıyla kontrol (% 0.69) ve 500 mg kg⁻¹ (% 0.69) uygulamaları ile interaksiyonları diğer kombinasyonlardan oldukça farklı değerler vermişlerdir. Diğer kombinasyonlar farklı gruplara dağılarak sonraki sıraları oluşturmuşlardır.

Çizelge 4.36. Demir bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin magnezyum (Mg, %) içerikleri

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	0.36g	0.37fg	0.43c-f	0.38fg	0.38c
250	0.40e-g	0.30g	0.46b-e	0.42b	0.41b
500	0.54a	0.51ab	0.41b-e	0.54a	0.51a
1000	0.48a-c	0.41d-g	0.36g	0.47b-d	0.43b
Ortalama	0.44ab	0.41c	0.43bc	0.45a	

Tür: p<0.05, Doz: p<0.01, Tür x Doz: p<0.01

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.36'da en yüksek Mg içeriğinin kırmızı baş lahanadan (% 0.45) elde edildiği saptanmış; bunu % 0.44 ile brokoli, % 0.43 ile beyaz baş lahana ve % 0.41 ile karnabahar izlemiştir.

Demir dozlarına göre en fazla Mg içeriği 500 mg kg⁻¹ (% 0.51) konsantrasyonunda bulunmuş; bu dozu aynı istatistiki grupta yer alan 1000 mg kg⁻¹ (% 0.43) ve 250 mg kg⁻¹ (% 0.41) dozlarının takip ettiği belirlenmiştir. Kontrol % 0.38 ile son sırada kalmıştır.

Doz ve tür intreaksiyoda ise en yüksek Mg içeriği % 0.54'lük değerlerle kırmızı baş lahana x 500 mg kg⁻¹ ve brokoli x 500 mg kg⁻¹ kombinasyonlarında bulunmuştur. Karnabahar x 500 mg kg⁻¹ (% 0.51) ve brokoli x 1000 mg kg⁻¹ (% 0.48) izleyen kombinasyonlar olmuştur.

4.1.2.3. Kök boyu, Yaş ve Kuru Ağırlığı

Araştırmada farklı demir dozlarının *Brassicaceae* ve ıspanak denemelerindeki kök boyuna etkilerine ilişkin bulgular sırasıyla Çizelge 4.37 ve Çizelge 4.38'den izlenebilmektedir. *Brassicaceae* denemesinde kök boyları bakımından türlerin demire karşı tepkileri $p<0.05$ düzeyinde ve demir dozları $p<0.01$ düzeyinde önemli, demir dozu x tür interaksyonu ise önemsiz bulunmuştur. Ispanak denemesinde ise kök boylarının türler bazında $p<0.01$, demir dozlarında $p<0.01$ ve demir dozu x tür interaksyonunda $p<0.01$ düzeylerinde önemli olduğu anlaşılmıştır.

Çizelge 4.37. Demir bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin kök boyları (cm)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	22.13	20.50	20.10	21.27	21.00a
250	16.80	16.20	15.53	17.93	16.61b
500	17.40	19.46	15.26	17.13	17.31b
1000	15.06	18.20	15.60	15.80	16.16b
Ortalama	17.85ab	18.59a	16.62b	18.03ab	

Tür: $p<0.05$, Doz: $p<0.01$, Tür x Doz: ÖD

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre $p<0.05$ düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.37'deki verilere göre demir bulaşık topraklarda yetiştirilen lahanalarda kök boyu en yüksek türün karnabahar (18.59 cm) olduğu belirlenmiştir. Bu türü aynı istatistiki grupta yer alan 18.03 cm ile kırmızı kaş lahanası ve 17.85 cm ile brokoli; en kısa kök boyu ile farklı bir grupta beyaz baş lahanası (16.62 cm) izlemiştir.

Dozlar bakımından en yüksek kök boyu 21.00 cm kontrolde kaydedilmiştir. Bu dozu aynı istatistiki grupta yer oluşturan 500, 250 ve 1000 mg kg⁻¹ dozları sırasıyla 17.31, 16.61 ve 16.16 cm ile sonraki sıraları oluşturmuştur.

Doz ve tür interaksyonları istatistiki anlamda önemsiz bulunmuştur. Yine de değerlendirme yapılmak istenirse en yüksek kök boyu elde edilmesinde brokoli (22.13 cm) ve kırmızı baş lahanasının (21.27 cm) kontrol ile interaksyonları başta gelmiş; karnabahar (20.50 cm) ve beyaz baş lahanasının (20.10 cm) kontrol ile interaksyonları ise bunları izlemiştir.

Çizelge 4.38. Demir bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin kök boyları (cm)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	16.70cd	16.83c	20.10a	17.90b	17.88a
250	15.50ef	14.70f	16.30c-e	15.80de	15.57b
500	12.20gh	11.90gh	11.70h	12.10gh	11.97c
1000	12.30gh	10.50i	11.80gh	12.70g	11.82c
Ortalama	14.17b	13.48c	14.97a	14.62a	

Tür: $p<0.01$, Doz: $p<0.01$, Tür x Doz: $p<0.01$

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre $p<0.05$ düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.38'den en yüksek kök boyuna sahip ıspanak bitkilerinin daha önce demir bulaşık olan beyaz baş lahanaya (14.97 cm) ve kırmızı baş lahanaya (14.62 cm) yetiştirilmiş topraklarda olduğu anlaşılmıştır. Brokoli (14.17 cm) ve karnabahar (13.48 cm) yetiştirilmiş topraklarda ise kök boylarının ise daha kısa olduğu saptanmıştır.

En yüksek kök boyunun elde edildiği uygulama 17.88 cm ile kontrol olmuştur. Bu dozu (15.57 cm) ile 250 mg kg⁻¹ takip etmiştir. Aynı istatistiki grupta yer oluşturan 500 mg kg⁻¹ ve 1000 mg kg⁻¹ dozları sırasıyla 11.97 cm ve 11.83 cm ile sonraki sıraları oluşturmuştur.

Tür x doz etkileşimini bakımından demir bulaşık topraklarda *Brassicaceae* türleri sonrası ıspanak yetiştirilmesi durumunda kök boylarının istatistiki analizlere göre önemli düzeylerde etkilendiği saptanmıştır. Kök boyu en uzun ıspanak bitkilerinin 20.10 cm ile beyaz baş lahanaya x kontrol uygulamasında olduğu kaydedilmiştir. Bu etkileşimi kırmızı baş lahanaya x kontrol 17.90 cm ile takip ettiği belirlenmiştir. Karnabahar x kontrol (16.83 cm) ve Brokoli x kontrol (16.70 cm) diğer dikkat çeken kombinasyonlar olarak tespit edilmiştir.

Brassicaceae denemesinde kök yaş ağırlığı üzerine demirin etkileri incelendiğinde *Brassicaceae* türlerin önemsiz, dozların % 1 düzeyinde ve tür x doz etkileşiminin önemsiz olduğu belirlenmiştir. Ispanak denemesinde ise *Brassicaceae* türleri % 1 düzeyinde, dozlar % 1 düzeyinde ve tür x doz etkileşiminin % 5 düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 4.39 ve Çizelge 4.40).

Çizelge 4.39. Demir bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin kök yaş ağırlıkları (g)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	5.00	6.00	7.23	6.50	6.18a
250	4.66	5.30	5.50	6.16	5.40ab
500	4.86	5.36	4.16	4.83	4.80bc
1000	4.30	5.03	3.33	3.66	4.08c
Ortalama	4.70	5.42	5.05	5.29	

Tür: ÖD, Doz: p<0.01, Tür x Doz: ÖD

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.39'dan görüldüğü üzere kök yaş ağırlığı bakımından türler istatistiki anlamda önemsiz bulunmuştur. Yine de değerlendirme yapılacak olursa en fazla kök yaş ağırlığı 5.42 g ile karnabahar olmuş ve 5.29 g ile kırmızı baş lahanada bulunmuş, diğer türler daha sonra gelmiştir.

Kök yaş ağırlığı üzerine demir dozların etkisinin önemlidir. En fazla kök yaş ağırlığının 6.18 g ile kontrolde olduğu belirlenmiş, bunu 5.40 g ile 250 mg kg⁻¹, 4.80 g ile 500 mg kg⁻¹ ve 4.08 g ile 1000 mg kg⁻¹ dozları takip etmiştir.

Tür x doz interaksyonu da istatistiki olarak önem arz etmese de, en fazla kök yaş ağırlığının belirlendiği beyaz baş lahana x kontrol (7.23 g) interaksyonu başta gelmiş; kırmızı baş lahana x kontrol (6.50 g), kırmızı baş lahana x 250 mg kg⁻¹ (6.16 g) ve karnabahar x kontrol (6.00 g) kayda değer kombinasyonlar olarak görülmüştür.

Çizelge 4.40. Demir bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin kök yaş ağırlıkları (g)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	1.45a	1.24b	1.15b	1.15b	1.24a
250	0.75de	1.20b	0.90cd	0.75de	0.90b
500	0.85c-e	1.05bc	0.85c-e	0.70de	0.86bc
1000	0.68e	0.70de	1.05bc	0.80de	0.79c
Ortalama	0.93b	1.04a	0.98ab	0.84c	

Tür: p<0.01, Doz: p<0.01, Tür x Doz: p<0.01

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.40'ta en fazla kök yaş ağırlığı karnabahardan (1.04 g) elde edildiği saptanmış; denemeye konu olan diğer *Brassicaceae* türlerinden 0.98 g ile beyaz baş lahana, 0.93 g ile brokoli ve 0.84 g ile kırmızı baş lahana daha sonraki sıralarda yer bulmuşlardır.

Demir bulaşık topraklarda en fazla kök yaş ağırlığı 1.24 g ile kontrolde olmuş, doz arttıkça kök yaş ağırlığı değerlerinde düşüşler olduğu saptanmıştır. Kök yaş ağırlığı 250 mg kg⁻¹'da 0.90 g, 500 mg kg⁻¹'da 0.86 g ve 1000 mg kg⁻¹'da 0.79 g olarak gerçekleşmiştir.

Tür x doz interaksyonu bakımından demir bulaşık topraklarda *Brassicaceae* türleri sonrası ıspanak yetiştirilmesi durumunda kök yaş ağırlıklarının istatistiki analizlere göre önemli düzeylerde etkilendiği saptanmıştır. Kök yaş ağırlığının en fazla 1.45 g ile brokoli x kontrol uygulamasında olduğu kaydedilmiştir. Bu interaksyonu karnabahar x kontrol (1.24 g), karnabahar x 250 mg kg⁻¹ (1.20 g), beyaz baş lahana x kontrol (1.15 g) ve kırmızı baş lahana x kontrol (1.15 g) kombinasyonlarının izlediği tespit edilmiştir.

Farklı demir dozlarının *Brassicaceae* denemesinde kök kuru ağırlığına etkisi üzerine bulgular Çizelge 4.41'de ve ıspanak denemesinde kök kuru ağırlığına ilişkin bulgular ise Çizelge 4.42'den görülebilmektedir. *Brassicaceae* denemesinde demire karşı tepki bakımından türler p<0.05 düzeyinde, demir dozları p<0.01 düzeyinde ve demir dozu x tür interaksyonu p<0.05 düzeyinde önemli bulunmuştur. Ispanak denemesinde kök kuru ağırlıkları türlere göre p<0.01 düzeyinde, demir dozları bakımından p<0.01 düzeyinde ve demir dozu x tür interaksyonu bakımından p<0.01 düzeyinde önemli olduğu anlaşılmıştır.

Çizelge 4.41. Demir bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin kök kuru ağırlıkları (g)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	1.80ab	1.31a-d	2.09a	1.58a-c	1.69a
250	1.64a-c	1.26b-d	1.20b-d	1.32a-d	1.35b
500	1.65a-c	0.95cd	1.16b-d	1.06b-d	1.20bc
1000	1.07b-d	1.18b-d	0.76d	0.85c-d	0.98c
Ortalama	1.54a	1.17b	1.30ab	1.20b	

Tür: p<0.05, Doz: p<0.01, Tür x Doz: p<0.05

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.41'den en fazla kök kuru ağırlığı 1.54 g ile brokoli'de bulunmuş, 1.30 g ile beyaz baş lahana daha sonra gelmiş; aynı gruptaki kırmızı baş lahana (1.20 g) ve karnabaharın (1.17 g) bu türlerin ardından geldiği anlaşılmıştır.

Demir dozlarına gelince, bitkilerin en fazla kök kuru ağırlığı 1.69 g ile kontrolde bulunmuştur. Bu dozu (1.35 g) ile 250 mg kg⁻¹ takip etmiştir. Kök kuru ağırlığında sırasıyla 1.20 g ile 500 mg kg⁻¹ ve 0.98 g ile 1000 mg kg⁻¹ sonraki sıralarda yer almışlardır.

Kök kuru ağırlığı bakımından tür x doz interaksyonunda ise başı 2.09 g ile beyaz baş lahana x kontrol uygulamasının çektiği anlaşılmıştır. Bu interaksyonu brokoli x kontrol (1.80 g), brokoli x 500 mg kg⁻¹ (1.65 g), brokoli x 250 mg kg⁻¹ (1.64 g) kırmızı baş lahana x kontrol (1.58 g) izlemiş, diğer kombinasyonlar farklı istatistiki gruplara yerleşerek sonraki sıralarda yer bulmuşlardır.

Çizelge 4.42. Demir bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin kök kuru ağırlıkları (g)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	0.35a	0.29b	0.28b	0.27b	0.30a
250	0.18d-f	0.28b	0.22cd	0.18d-f	0.21b
500	0.20de	0.25bc	0.20de	0.17ef	0.20bc
1000	0.15f	0.17ef	0.26bc	0.19d-f	0.19c
Ortalama	0.22b	0.24a	0.24a	0.20b	

Tür: p<0.01, Doz: p<0.01, Tür x Doz: p<0.01

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.42'den en fazla kök kuru ağırlığına sahip ıspanak bitkilerinin daha önce demir bulaşık olan karnabahar ve beyaz baş lahana (0.24 g) yetiştirilmiş topraklarda olduğu anlaşılmıştır. Brokoli (0.22 g) ve kırmızı baş lahana (0.20 g) yetiştirilmiş topraklarda ise kök kuru ağırlıklarının daha düşük olduğu saptanmıştır.

Demir dozları bakımından, en fazla kök kuru ağırlığı kontrol (0.30 g) konsantrasyonunda (% 0.52) bulunmuş, bu uygulamayı 250 mg kg⁻¹ (0.21 g) izlemiş, sırasıyla 500 mg kg⁻¹ (0.20 g) ve 1000 mg kg⁻¹ (0.19 g) uygulamaları daha sonraki sıralarda yer almıştır.

Tür ve doz etkileşimine göre en fazla kök kuru ağırlığı brokoli x kontrol etkileşiminde (0.35 g) ortaya çıkmıştır. Bu uygulamayı tıpkı brokolideki gibi kontrol ile birlikte kombinasyon oluşturan karnabahar (0.29 g), beyaz baş lahanası (0.28 g) ve kırmızı baş lahanası (0.27 g) türlerinin takip ettiği kayıt altına alınmıştır. Diğer etkileşimlerin farklı gruplara dağılarak bu kombinasyonları izledikleri ortaya çıkmıştır.

4.1.2.4. Bitki boyu

Demir dozlarının *Brassicaceae* ve ıspanak denemesi bitkilerinde bitki boyu üzerindeki etkilerini incelemek için yapılan istatistiksel analizler sonucunda, *Brassicaceae* denemesinde türlerin $p < 0.01$ düzeyinde ve dozların $p < 0.05$ düzeyinde önemli, etkileşimin önemsiz; ıspanak denemesinde ise türlerin $p < 0.01$ düzeyinde, dozların $p < 0.05$ düzeyinde ve tür x doz etkileşimlerinin $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.43 ve Çizelge 4.44).

Çizelge 4.43. Demir bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin bitki boyları (cm)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	26.47	23.44	24.06	27.26	25.31a
250	25.47	23.03	21.58	27.51	24.40ab
500	26.43	23.58	22.16	26.76	24.73a
1000	24.85	20.16	22.26	26.50	23.44b
Ortalama	25.80a	22.55b	22.52b	27.01a	

Tür: $p < 0.01$, Doz: $p < 0.05$, Tür x Doz: ÖD

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre $p < 0.05$ düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.43'ten görüldüğü üzere, en uzun bitkilerin aynı istatistiksel grupta yer alan kırmızı baş lahanada (27.01 cm) ve brokolide (25.80 cm) olduğu belirlenmiştir. Bunları sırasıyla 22.55 cm ile karnabahar ve 22.52 cm ile beyaz baş lahanası izlemiştir.

Demir dozlarına gelince en yüksek bitki boylarının aynı gruptaki 25.31 cm ile kontrol ve 24.73 cm ile 500 mg kg⁻¹ dozlarında olduğu anlaşılmıştır. Daha sonra gelen 250 mg kg⁻¹ (24.40 cm) ve 1000 mg kg⁻¹ (23.44 cm) dozlarının bitki boylarının daha kısa oldukları görülmüştür.

Doz ve tür etkileşimleri istatistiksel anlamda önemsiz bulunmuştur. Etkileşimlerin birbirine yakın değerler verdiği, kırmızı baş lahananın sırasıyla 250 mg kg⁻¹, kontrol ve 500 mg kg⁻¹ ile kombinasyonları dikkat çeken uygulamalar olmuşlardır.

Çizelge 4.44. Demir bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin bitki boyları (cm)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	24.50c-e	25.66b-e	29.50ab	28.30a-c	26.99a
250	25.00c-e	25.00c-e	27.00a-d	25.66b-e	25.66ab
500	20.00f	25.00c-e	30.00a	26.00b-e	25.25b
1000	24.00de	29.00ab	28.00a-c	22.50ef	25.87ab
Ortalama	23.37c	26.16b	28.62a	25.61b	

Tür: p<0.01, Doz: p<0.05, Tür x Doz: p<0.01

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.44'teki verilere göre en uzun bitkilerin beyaz baş lahana (28.62 cm) olduğu görülmektedir. Bu türü aynı istatistiki grupta yer alan ile karnabahar (26.16 cm) ve kırmızı baş lahana (25.61 cm) izlemiş; en kısa bitki boyu ise brokolide (23.37 cm) elde edilmiştir.

Dozlar bakımından en yüksek bitki boyu kontrolde (26.99 cm) bulunmuş; 25.87 cm ile 1000 mg kg⁻¹ ve 25.66 cm ile 250 mg kg⁻¹ bunu izlemiştir. En kısa bitkilerin olduğu uygulama ise 25.25 cm ile 500 mg kg⁻¹ konsantrasyonu olmuştur.

Tür x doz interaksyonu bakımından, en yüksek bitki boyu beyaz baş lahana x 500 mg kg⁻¹ (30.00 cm) uygulamasında olduğu anlaşılmıştır. Aynı istatistiki grupta yer alan beyaz baş lahana x kontrol (29.50 cm) ve karnabahar x 1000 mg kg⁻¹ (29.00 cm) diğer dikkat çeken interaksyonlar olmuşlardır. Diğer kombinasyonlar farklı grupların birer üyesi olarak izleyen sıralara yerleşmişlerdir.

4.1.2.5. Yaprak Sayısı, Genişliği ve Uzunluğu

Farklı demir dozlarının yaprak sayısı üzerine etkilerine dair *Brassicaceae* denemesindeki bulgular Çizelge 4.45'te ve ıspanak denemesindeki bulgular ise Çizelge 4.46'dan görülebilmektedir. *Brassicaceae* denemesinde demir dozlarına yaprak sayısı bakımından tepkilerinde türler p<0.05 düzeyinde, demir dozları p<0.01 düzeyinde ve demir dozu x tür interaksyonu p<0.05 düzeyinde önemli iken; ıspanak denemesi bitkilerinde türler p<0.05 düzeyinde, dozlar ve demir dozu x tür interaksyonları p<0.01 düzeyinde önemlidir.

Çizelge 4.45. Demir bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin yaprak sayıları (adet)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	11.36a-d	12.30ab	11.60a-c	12.66a	11.98a
250	9.60d	9.93cd	10.33b-d	9.90cd	9.94b
500	9.66cd	10.46b-d	11.60a-c	9.60d	10.33b
1000	10.30cd	10.63b-d	11.03a-d	9.76cd	10.43b
Ortalama	10.23b	10.83ab	11.14a	10.48ab	

Tür: p<0.05, Doz: p<0.01, Tür x Doz: p<0.05

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.45'e göre demir bulaşık topraklarda yetiştirilen lahanalarda yaprak sayıları en fazla olan türün 11.14 adet ile beyaz baş lahana olduğu belirlenmiştir. Bu türün ardından 10.83 adet ile brokoli ve 10.48 adet ile kırmızı baş lahana gelmiştir. En az yaprak sayısı 10.23 adet ile karnabaharda saptanmıştır.

En fazla yaprak sayısı elde edilen kontrol (11.98 adet), demir dozlarından ayrılarak başta yer almıştır. Yaprak sayısında 10.43 adet ile 1000 mg kg⁻¹, 10.33 adet ile 500 mg kg⁻¹ ve 9.94 adet ile 250 mg kg⁻¹ kontrolün ardından sıralanmışlardır.

Tür ve doz interaksiyonunda ise en fazla yaprak sayısının 12.66 adet ile kırmızı baş lahana x kontrol uygulamasında olduğu anlaşılmıştır. Bu intreaksiyonu 12.30 adet ile karnabahar x kontrol kombinasyonunun takip ettiği belirlenmiştir. Beyaz baş lahananın kontrol ve 500 mg kg⁻¹ dozları ile yaptığı interaksyonlar da dikkate değer bulunmuş, diğer interaksiyonların bunları izlediği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.46. Demir bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak sayıları (adet)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	22.00ab	22.00ab	21.00bc	25.00a	22.50a
250	18.00cd	22.00ab	18.00cd	17.00de	18.75b
500	22.00ab	17.00de	18.00cd	15.00de	18.00b
1000	18.00cd	17.00de	16.00de	14.00e	16.25c
Ortalama	20.00a	19.50ab	18.25bc	17.75c	

Tür: p<0.05, Doz: p<0.01, Tür x Doz: p<0.01

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.46'da ıspanak bitkilerinde en fazla yaprak sayısı brokolide (20.00 adet) iken; karnabahar (19.50 adet) bunu izlemiş, beyaz baş lahana (18.25 adet) ve kırmızı baş lahana (17.75 adet) ise daha sonra gelmişlerdir.

Dozlar bakımından en fazla yaprak sayısı 22.50 adet ile kontrolde olmuştur. Bu uygulamayı istatistiksel olarak aynı grubu oluşturan 250 mg kg⁻¹ (18.75 adet) ve 500 mg kg⁻¹ (18.75 adet) takip etmiş, son sıraya ise 1000 mg kg⁻¹ (16.25 adet) dozu yerleşmiştir.

Tür ve doz interaksiyonu bakımından 25.00 adet ile kırmızı baş lahana x uygulaması ilk sırada gelmiştir. Bu uygulamayı istatistiksel olarak aynı grubu oluşturan ve hepsinin 22.00'şer adet yaprak oluşumuna neden olan brokoli x kontrol, karnabahar x kontrol, karnabahar x 250 mg kg⁻¹ ve brokoli x 500 mg kg⁻¹ interaksiyonlarının izlediği saptanmıştır.

Demir dozlarının *Brassicaceae* ve ıspanak denemeleri bitkilerinde yaprak genişliği üzerindeki etkilerini incelemek için yapılan istatistiksel analizler sonucunda, *Brassicaceae* denemesinde sadece türlerin p<0.01 düzeyinde önemli olduğu; ıspanak denemesinde türler

$p < 0.05$ düzeyinde, demir dozları $p < 0.05$ düzeyinde ve demir dozları ve tür x doz interaksyonu $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu hesaplanmıştır (Çizelge 4.47 ve Çizelge 4.48).

Çizelge 4.47. Demir bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin yaprak genişlikleri (cm)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	7.94	7.84	11.92	11.50	9.80
250	9.76	7.56	11.43	11.73	10.12
500	9.32	7.40	11.33	11.93	9.99
1000	8.77	7.33	11.90	11.30	9.82
Ortalama	8.95b	7.53c	11.64a	11.61a	

Tür: $p < 0.01$, Doz: $\bar{O}D$, Tür x Doz: $\bar{O}D$

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre $p < 0.05$ düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.47'den anlaşıldığı gibi en fazla yaprak genişliği aynı istatistiki grupu paylaşan beyaz baş lahanada (11.64 cm) ve kırmızı baş lahanadadır (11.61 cm). Bu türleri sırasıyla 8.95 cm ile brokoli ve 7.53 cm ile karnabahar takip etmiştir.

Demir dozları istatistiki değerlendirmeler sonucunda kayda değer veriler vermemişlerdir. Yaprak genişliğinde 250 ve 500 mg kg⁻¹ uygulamaları diğer dozlara göre biraz daha belirgin rakamlara ulaşılmasına neden olmuştur.

Tıpkı demir dozları gibi, interaksyonlar da istatistiki anlamda önemsiz bulunmuştur. En fazla yaprak genişliği elde edilmesinde kırmızı baş lahanada x 500 mg kg⁻¹ (11.93 cm) ve beyaz baş lahanada x kontrol (11.92 cm) interaksyonları başta gelmiş; kırmızı ve beyaz baş lahanaların tüm demir uygulamaları ve kontrollerle yaptığı interaksyonlardaki yaprak genişliklerinin, brokoli ve karnabaharın dahil olduğu uygulamalara göre daha yüksek değerler verdiği kaydedilmiştir.

Çizelge 4.48. Demir bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak genişlikleri (cm)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	6.50d	7.33cd	8.53ab	8.36a-c	7.68ab
250	7.50b-d	7.30cd	7.00d	8.50ab	7.57b
500	7.00d	7.50b-d	8.50ab	6.50d	7.37b
1000	8.50ab	9.50a	7.26cd	6.90d	8.04a
Ortalama	7.37c	7.90a	7.82a	7.56ab	

Tür: $p < 0.05$, Doz: $p < 0.05$, Tür x Doz: $p < 0.01$

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre $p < 0.05$ düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.48 verilerine bakıldığında en fazla yaprak genişlikleri sırasıyla 7.90 cm ile karnabahar ve 7.82 cm ile beyaz baş lahanadan elde edilmiştir. Yaprak genişliğinde sonraki sıralama kırmızı baş lahanada (7.56 cm) ve brokoli (7.37 cm) şeklinde gerçekleşmiştir.

Dozların yaprak genişliğine etkisinde 8.04 cm ile 1000 mg kg⁻¹ başı çekerken, 7.68 cm ile kontrol bunu takip etmiştir; aynı istatistiki grupta yer alan (7.57cm) ile 250 mg kg⁻¹ ve (7.37 cm) ile 500 mg kg⁻¹ daha sonraki sıralara yerleşmişlerdir.

İspanak bitkisinde en fazla yaprak genişliğinin karnabahar x 1000 mg kg⁻¹ (9.50 cm) uygulamasında olduğu saptanmıştır. Sırasıyla beyaz baş lahanası x kontrol (8.53 cm), kırmızı baş lahanası x 250 mg kg⁻¹ (8.50 cm), beyaz baş lahanası x 500 mg kg⁻¹ (8.50 cm) ve brokoli x 1000 mg kg⁻¹ (8.50 cm) interaksyonları diğer önemli kombinasyonlar olarak tespit edilmiştir.

Farklı demir dozlarının *Brassicaceae* denemesi türlerindeki yaprak uzunluğu üzerine etkisine ilişkin bulgular Çizelge 4.49’da ve ıspanak denemesi bitkilerindeki yaprak uzunluğu bulguları ise Çizelge 4.50’den görülebilmektedir. *Brassicaceae* denemesinde demire karşı tepki bakımından türler p<0.01 düzeyinde önemli, dozlar önemsiz ve demir dozu x tür interaksyonu p<0.05 düzeyinde önemli bulunmuştur. Demirle bulaşık topraklarda *Brassicaceae* türlerinin ardından kültüre alınan ıspanak denemesi bitkilerinde türler p<0.05 düzeyinde, dozlar p<0.01 düzeyinde ve demir dozu x tür interaksyonu p<0.05 düzeyinde önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.49. Demir bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin yaprak uzunlukları (cm)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	11.07d	14.21a-c	14.16a-c	13.48a-d	13.23
250	12.20b-d	15.30a	11.86cd	13.26a-d	13.15
500	12.10b-d	14.50ab	12.10b-d	13.23a-d	12.98
1000	11.67d	14.26a-c	12.90a-d	13.03a-d	12.96
Ortalama	11.76c	14.57a	12.75b	13.25b	

Tür: p<0.01, Doz: ÖD, Tür x Doz: p<0.05

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey’e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.49’a göre demir bulaşık topraklarda yetiştirilen lahanalarda yaprak uzunluğu en fazla olan türün karnabahar (14.57 cm) olduğu belirlenmiştir. Bu türü aynı istatistiki grupta yer alan kırmızı baş lahanası (13.25 cm) ve beyaz baş lahanası (12.75 cm) izlemiştir; en az yaprak uzunluğu ise farklı bir grupta yer alan brokolide (11.76 cm) saptanmıştır.

İstatistiki değerlendirmelere göre önemsiz olmakla birlikte, demir dozlarındaki artışa bağlı olarak *Brassicaceae* türlerinde yaprakların, kontrole karşılaştırıldıklarında giderek kısaldığı ortaya konmuştur. Yaprak uzunlukları sırasıyla kontrol, 250, 500 ve 1000 mg kg⁻¹ dozlarında 13.23, 13.15, 12.98 ve 12.96 cm şeklinde gerçekleşmiştir.

Tür x doz interaksijonunda ise en uzun yaprakların 15.30 cm ile karnabahar x 250 mg kg⁻¹ uygulamasında olduğu anlaşılmıştır. Karnabahar x 500 mg kg⁻¹ uygulaması (14.50 cm) daha sonra gelmiş; bunları karnabahar x 1000 mg kg⁻¹ uygulaması (14.26 cm), karnabahar x kontrol (14.21 cm) ve beyaz başa lahanaya x kontrol uygulamaları (14.50 cm) takip etmiştir. Diğer interaksijonlar ise azalan yaprak uzunluklarıyla bu kombinasyonları izlemişlerdir.

Çizelge 4.50. Demir bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak uzunlukları (cm)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	10.50a-c	10.40a-c	11.00a-c	10.00bc	10.47b
250	9.00c	11.00a-c	9.00c	10.00bc	9.75b
500	10.00bc	11.00a-c	11.00a-c	9.00c	10.25b
1000	11.06a-c	12.50a	11.60ab	10.50a-c	11.41a
Ortalama	10.14b	11.22a	10.65ab	9.87b	

Tür: p<0.05, Doz: p<0.01, Tür x Doz: p<0.05

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.50'den en uzun yapraklar karnabahardan (11.22 cm) elde edilmiştir. Karnabaharı, 10.65 cm ile beyaz baş lahanaya takip etmiştir. Yaprığı uzunluğu brokoli ve kırmızı baş lahanada sırasıyla 10.14 cm ve 9.87 cm olarak belirlenmiştir.

Denemede en fazla yaprak uzunluğu değerlerine 11.41 cm ile 1000 mg kg⁻¹ dozunda ulaşılmış, kontrolden ayrılarak farklı bir istatistiki grupta yer alan kontrol (10.47 cm), 500 mg kg⁻¹ (10.25 cm) ve 250 mg kg⁻¹ (9.75 cm) uygulamaları daha sonraki sıralara yerleşmişlerdir.

Birlikte etkiyi oluşturan interaksijon bazında en fazla yaprak uzunluğunun, karnabahar x 1000 mg kg⁻¹ (12.50 cm) uygulamasında olduğu anlaşılmış; beyaz baş lahanaya x 1000 mg kg⁻¹ (11.60 cm) uygulamasının da önem arz ettiği görülmüştür. Yaprak uzunluğu bakımından diğer interaksijonların azalan değerlerle bu kombinasyonların ardından geldikleri kaydedilmiştir.

4.1.2.6. Yaprak Yaş ve Kuru Ağırlığı

Farklı demir dozlarının yaprak yaş ağırlığı üzerine etkilerine dair *Brassicaceae* denemesi bulguları Çizelge 4.51'den ve ıspanak denemesi bulguları ise Çizelge 4.52'den görülebilmektedir. *Brassicaceae* denemesinde demir dozu x tür interaksijonunun p<0.05 düzeyinde önemli olmasının dışında; gerek *Brassicaceae* denemesi ve gerekse ıspanak denemesinde demir dozlarına yaprak yaş ağırlığı bakımından tepkilerde türler, dozlar ve demir dozu x tür interaksijonları p<0.01 düzeyinde önemli çıkmıştır.

Çizelge 4.51. Demir bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin yaprak yaş ağırlıkları (g)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	28.76de	43.46a-c	56.96a	55.06ab	46.06a
250	28.70de	27.36e	35.80c-e	44.53a-c	34.10b
500	27.56e	29.16de	35.56c-e	41.93b-d	33.55b
1000	25.80e	27.26e	31.86c-e	39.46c-e	31.10b
Ortalama	27.70c	31.81c	40.05b	45.25a	

Tür: p<0.01, Doz: p<0.01, Tür x Doz: p<0.05

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.51'e göre, yaprak yaş ağırlığı en fazla kırmızı baş lahanada (45.25 g) olduğu belirlenmiştir. Bu türü beyaz baş lahana (40.05 g) takip etmiş; sırasıyla aynı istatistiki grupta yer alan karnabahar (31.81 g) ve brokoli (27.70 g) dah sonraki sıralarda yer bulmuşlardır.

Demir dozları bakımından en fazla yaprak yaş ağırlığı kontrolde (46.06 g) olduğu görülmüş, 34.10 g ile 250 mg kg⁻¹, 33.55 g ile 500 mg kg⁻¹ ve 31.10 g ile 1000 mg kg⁻¹ ayrı bir istatistiki grubun birer üyesi olarak kontrolden ayrılmışlardır.

Doz ve tür interaksyonunda ise en fazla yaprak yaş ağırlığına 56.96 g ile beyaz baş lahana x kontrol uygulamasıyla ulaşıldığı görülmekte; kırmızı baş lahana x kontrol (55.06 g) uygulaması da önemli bulunmuştur. Kırmızı baş lahana x 250 mg kg⁻¹ (44.53 g) ve karnabahar x kontrol (43.46 g) uygulamaları da daha sonra gelerek dikkate değer kombinasyonlar olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.52. Demir bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak yaş ağırlıkları (g)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	44.80a	41.30b	37.50c	40.50b	41.03a
250	29.50d-f	27.50e-g	24.93gh	23.50h	26.35c
500	26.80fg	30.20de	25.80gh	25.60gh	27.10c
1000	24.80gh	29.80de	29.40d-f	30.40d	28.60b
Ortalama	31.48a	32.20a	29.40b	30.00b	

Tür: p<0.01, Doz: p<0.01, Tür x Doz: p<0.01

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.52'den demir ile bulaşık topraklarda yetiştirilen ıspanak bitkilerinde en fazla yaprak yaş ağırlıklarının, aynı istatistiki grupta yer alan karnabahar (32.20 g) ve brokolide (31.48 g) olduğu anlaşılmıştır. Beyaz baş lahana (30.00 g) ve kırmızı baş lahanada (29.33 g) ise yaprak yaş ağırlıklarının ise daha az olduğu saptanmıştır.

Dozlar bakımından en fazla yaprak yaş ağırlığı 41.03 g ile kontrolde kaydedilmiş, Bu dozu 28.60 g ile 1000 mg kg⁻¹ takip etmiştir. Yaprak yaş ağırlıkları aynı istatistiki grubu oluşturan 500 ve 250 mg kg⁻¹ dozlarında sırasıyla 27.10 g ve 26.35 g olarak gerçekleşmiştir.

Tür x doz interaksiyonunda en fazla yaprak yaş ağırlığına 44.80 g ile brokoli x kontrol uygulamasıyla ulaşıldığı görülmektedir. Karnabahar x kontrol (41.30 g), kırmızı baş lahana x kontrol (40.50 g) yanında sonraki gruptaki beyaz baş lahana x kontrol (37.50 g) uygulamalarının da dikkate değer diğer kombinasyonlar olduğu anlaşılmıştır.

Demir dozlarının yaprak kuru ağırlığı üzerindeki etkileri için yapılan istatistiki analizlerde *Brassicaceae* denemesinde türler ve dozlar $p<0.01$ 'te, demir dozu x tür interaksiyonu $p<0.05$ düzeyinde önemlidir; ıspanak denemesinde ise tür, doz ve tür x doz interaksiyonu $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 4.53 ve Çizelge 4.54).

Çizelge 4.53. Demir bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin yaprak kuru ağırlıkları (g)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	13.78a	8.44bc	11.07ab	9.64bc	10.73a
250	8.94bc	6.76c	8.87bc	9.63bc	8.55b
500	7.98bc	6.47c	9.30bc	8.07bc	7.95b
1000	7.38bc	6.05c	10.10a-c	9.23bc	8.19b
Ortalama	9.52a	6.93b	9.83a	9.14a	

Tür: $p<0.01$, Doz: $p<0.01$, Tür x Doz: $p<0.05$

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre $p<0.05$ düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.53'e göre en fazla yaprak kuru ağırlıklarının, aynı istatistiki grupta yer alan beyaz baş lahana (9.83 g), brokoli (9.52 g) ve kırmızı baş lahanada (9.14 g) olduğu belirlenmiştir. Karnabahar ise en düşük yaprak kuru ağırlığı ile (6.93 g) sonda yer almıştır.

Demir dozlarına gelince, en fazla yaprak kuru ağırlığı kontrolde (10.73 g) bulunmuş, bu dozu aynı istatistiki gruba giren 8.55 g ile 250 mg kg⁻¹, 8.19 g ile 1000 mg kg⁻¹ ve 7.96 g ile 500 mg kg⁻¹ demir uygulamalarının izlediği kaydedilmiştir.

Doz ve tür interaksiyonunda en fazla yaprak kuru ağırlığı brokoli x kontrol uygulamasında (13.78 g) ortaya çıkmıştır. Beyaz baş lahana x kontrol (11.07 g) ve beyaz baş lahana x 1000 mg kg⁻¹ (10.10 cm) diğer dikkat çeken kombinasyonlar olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.54. Demir bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak kuru ağırlıkları (g)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	3.82c	4.34b	4.22b	5.21a	4.40a
250	1.95gh	1.85hi	2.45f	3.12d	2.34b
500	2.15g	2.95d	2.55ef	1.65i	2.32b
1000	1.85hi	2.70e	2.98d	1.82hi	2.33b
Ortalama	2.44c	2.96b	3.05a	2.95b	

Tür: $p<0.01$, Doz: $p<0.01$, Tür x Doz: $p<0.01$

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre $p<0.05$ düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.54'te en fazla yaprak kuru ağırlığı beyaz baş lahanada (3.05 g) çıkmış; sırasıyla karnabahar ve kırmızı baş lahana 2.96 g ve 2.95 g'lık değerlerle sonraki sıralarda

yer almışlardır. Brokoli ise en düşük yaprak kuru ağırlığı ile (2.44 g) son sırada gelmektedir.

Dozların yaprak kuru ağırlığına etkisinde 4.40 g ile kontrol başı çekerken; 2.34 g ile 250 mg kg⁻¹, 2.33 g ile 1000 mg kg⁻¹ ve 2.32 g ile 500 mg kg⁻¹ dozları kontrolden farklı bir grupta yer alarak daha sonraki sıralara yerleşmişlerdir.

Tür ve doz interaksiyonunda ise en fazla yaprak kuru ağırlığının 5.21 g ile kırmızı baş lahana x kontrol uygulamasında olduğu anlaşılmıştır. Bu uygulamayı karnabahar x kontrol (4.43 g) ve beyaz baş lahana x kontrol (4.22 g) interaksiyonlarının takip ettiği belirlenmiştir. Diğer interaksiyonlar ise farklı grupları oluşturarak sonraki sıralarda yer bulmuşlardır.

4.1.2.7. Tolerans İndeksi

Demir ile kurulan denemelerden elde edilen tolerans indeksi verileri *Brassicaceae* denemesinde Çizelge 4.55'te ve ıspanak denemesinde Çizelge 4.56'da görülmektedir.

Çizelge 4.55. Demir bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin tolerans indeksleri

Türler	Fe	Ca	K	Mg	KB	KYA	KKA	BB	YS	YG	YU	YYA	YKA	Ort
Brokoli	0.98	1.04	1.05	1.04	0.83	0.70	0.62	0.94	0.96	0.98	0.90	0.70	0.89	0.89
Karnabahar	1.15	1.02	1.25	1.09	0.81	0.94	0.86	0.97	0.90	1.13	1.06	0.96	0.69	0.99
Beyaz lahana	1.26	0.98	1.13	0.99	0.91	0.90	0.90	0.96	0.88	0.96	1.03	0.73	0.82	0.96
Kırmızı lahana	1.23	0.95	1.03	0.83	0.83	0.76	0.81	0.97	0.82	0.97	0.96	0.75	0.93	0.91

Çizelge 4.56. Demir bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin tolerans indeksleri

Türler	Fe	Ca	K	Mg	KB	KYA	KKA	BB	YS	YG	YU	YYA	YKA	Ort
Brokoli	1.51	1.19	1.04	1.00	0.75	0.86	0.86	0.97	0.87	0.92	0.97	0.78	0.72	0.96
Karnabahar	1.27	1.56	1.16	1.23	0.85	0.64	0.63	0.95	0.91	1.13	0.97	0.70	0.64	0.97
Beyaz lahana	1.19	1.29	0.97	1.11	0.80	0.84	0.85	1.02	0.89	1.08	1.08	0.78	0.68	0.97
Kırmızı lahana	1.37	1.31	0.90	1.17	0.81	0.73	0.74	0.90	0.72	0.87	0.96	0.78	0.51	0.91

Kümülatif tolerans indeksi değerlerine göre *Brassicaceae* denemesinde karnabaharın önde geldiği, beyaz baş lahananın da bunu izlediği görülmektedir. Benzer şekilde ıspanak denemesinde de, yine bu türlerin (brokoli ile aralarında fazla bir fark olmasa da) dikkat çektiği belirlenmiştir. Her iki denemenin ortalamaları üzerinden gidildiğinde karnabaharın 0.980 ortalama ile diğer türlerin önüne geçtiği ifade edilebilir.

4.1.3. Nikel (Ni)

4.1.3.1. Nikel (Ni) İçeriği

Araştırmada farklı nikel dozlarının *Brassicaceae* denemesi türlerindeki etkilerine ilişkin bulgular Çizelge 4.57'de verilmeye çalışılmıştır. Yapılan istatistiki analizlerin

değerlendirme sonuçlarına bakıldığında nikel karşı tepki bakımından türlerin $p<0.05$, dozların $p<0.01$ ve nikel dozu x tür interaksyonlarının $p<0.05$ düzeyinde önemli oldukları bulunmuştur.

Ispanak denemesinde bitkilerin nikel içeriklerine ait bulgular içeren veriler ise Çizelge 4.58’de verilmiştir. Ispanak bitkilerinin nikel içerikleri türler ve nikel dozu x tür interaksyonu bakımından önemsiz, nikel dozları bakımından $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.57. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin nikel (Ni, mg kg⁻¹) içerikleri

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	10.60hi	11.00hi	12.20g-i	7.86i	10.41d
50	13.60g-i	15.40f-h	15.60f-h	16.80d-h	15.35c
100	16.00e-h	18.20c-g	22.00b-f	22.80b-e	19.75b
200	23.80a-c	23.00b-d	27.00ab	30.40a	26.05a
Ortalama	16.00c	16.90b	19.20ab	19.46a	

Tür: $p<0.05$, Doz: $p<0.01$, Tür x Doz: $p<0.05$

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey’e göre $p<0.05$ düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.57’e bakıldığında *Brassicaceae* türlerinde en yüksek nikel içeriği (19.46 mg kg⁻¹) kırmızı baş lahanada belirlenirken ikinci en yüksek içerik beyaz baş lahanada (19.20 mg kg⁻¹) belirlenmiştir, bu türleri karnabahar bitkisi (16.90 mg kg⁻¹) ve brokoli bitkisi (16.00 mg kg⁻¹) izlemiştir.

Brassicaceae türlerindeki bitkilerdeki laboratuvar analizleri ile belirlenen nikel konsantrasyonları, araştırmaya konu olan nikel dozlarıyla birlikte artış göstermiştir. En fazla birikim 200 mg kg⁻¹ uygulamasında gözlemlenirken bunu sırasıyla 100 ve 50 mg kg⁻¹ dozları izlemiştir.

Doz x tür interaksyonuna baktığımızda en yüksek nikel içeriği (30.40 mg kg⁻¹) kırmızı baş lahanada x 200 mg kg⁻¹ uygulamasında elde edilirken bunu beyaz baş lahanada (27.00 mg kg⁻¹) x 200 mg kg⁻¹ uygulaması takip etmiştir.

Çizelge 4.58. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin nikel (Ni, mg kg⁻¹) içerikleri

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	3.25	2.75	3.50	3.00	3.12c
50	4.83	5.66	5.83	4.83	5.29b
100	5.83	5.83	6.00	6.50	6.04b
200	9.00	9.66	8.33	8.50	8.87a
Ortalama	5.72	5.97	5.91	5.70	

Tür: ÖD, Doz: $p<0.01$, Tür x Doz: ÖD

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey’e göre $p<0.05$ düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.58'den görüldüğü gibi ıspanak bitkisinin yetiştiği toprakta, önceden yetişen *Brassicaceae* türlerinin, ıspanağın nikel konsantrasyonuna etkisi önemsiz olsa da, en fazla miktarda nikel biriktiren tür (5.97 mg kg^{-1}) karnabahar iken bunu beyaz baş lahana (5.91 mg kg^{-1}) izlemiş ve diğer türler daha sonra gelmiştir.

Bitkilerde nikel içeriği açısından, en fazla etki 200 mg kg^{-1} (8.87 mg kg^{-1}) konsantrasyonunda bulunmuştur. Farklı grupta yer alan 100 mg kg^{-1} (6.04 mg kg^{-1}) ve (5.29 mg kg^{-1}) 50 mg kg^{-1} sonraki sıralarda yer almış; bu uygulamayı kontrol (3.12 mg kg^{-1}) grubu izlemiştir.

Doz x tür interaksyonu istatistiki anlamda önemsiz bulunmuş ancak konsantrasyon olarak kullanılan tüm türlerde 200 mg kg^{-1} nikel uygulaması dikkat çeken doz olmuştur.

4.1.3.2. Ca, K ve Mg içeriği

Araştırmada farklı nikel dozlarının *Brassicaceae* denemesi türlerindeki Ca alımına etkisi üzerine bulgular Çizelge 4.59'da ve ıspanak denemesi bitkilerinin Ca alımı etkinliğine ilişkin bulgular ise Çizelge 4.60'ta verilmiştir. Yapılan istatistiki analizlere göre *Brassicaceae* denemesinde nikel karşı tepki bakımından türler $p < 0.01$ düzeyinde önemli, nikel dozları ve nikel dozu x tür interaksyonu önemsiz bulunmuştur. Nikelle bulaşık topraklarda *Brassicaceae* türlerinin ardından kültüre alınan ıspanak bitkilerinde kalsiyum içerikleri türler bakımından önemsiz, dozlar ve nikel dozu x tür interaksyonu bakımından $p < 0.01$ düzeyinde önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.59. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin kalsiyum (Ca, %) içerikleri

Dozlar mg kg^{-1}	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	2.07	2.70	2.18	2.76	2.43
50	2.13	2.40	2.03	3.19	2.44
100	1.88	2.42	1.56	2.87	2.21
200	2.19	2.18	2.06	2.71	2.29
Ortalama	2.07bc	2.42b	1.96c	2.88a	

Tür: $p < 0.01$, Doz: ÖD, Tür x Doz: ÖD

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre $p < 0.05$ düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.59 topraktaki nikel konsantrasyonunun *Brassicaceae* türlerinin Ca oranı üzerine etkisini göstermektedir. En yüksek Ca oranı (% 2.88) kırmızı baş lahana bitkisinde belirlenirken bunu sırasıyla karnabahar (% 2.42), brokoli (% 2.07) ve beyaz baş lahana (% 1.96) bitkileri izlemiştir.

Nikel dozlarının artması bitkilerin Ca oranı üzerine etkili olmamakla birlikte en yüksek oran (% 2.44), 50 mg kg⁻¹ nikel uygulamasında belirlenmiştir.

Doz x tür interaksyonuna baktığımızda ise en yüksek Ca oranı kırmızı baş lahana (% 3.19) x 50 mg kg⁻¹ ve kırmızı baş lahana (% 2.87) x 50 mg kg⁻¹ uygulamalarında elde edilmiştir.

Çizelge 4.60. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin kalsiyum (Ca, %) içerikleri

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli Toprağı	Karnabahar Toprağı	Beyaz Baş Lahana Toprağı	Kırmızı Baş Lahana Toprağı	
0	1.29f	1.45f	1.64ef	1.50f	1.47d
50	2.70ab	2.48bc	2.90a	1.95de	2.50b
100	2.11cd	2.20cd	1.98de	2.01de	2.07c
200	2.72ab	2.77ab	2.16cd	2.94a	2.64a
Ortalama	2.20	2.22	2.17	2.10	

Tür: ÖD, Doz: p<0.01, Tür x Doz: p<0.01

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.60'ta görüldüğü gibi ıspanak bitkisinin yetiştiği toprakta, önceden yetişen *Brassicaceae* türlerinin, ıspanağın Ca oranına etkisi önemsiz bulunmuştur. Yine de en yüksek oran karnabaharda (% 2.22) görülmüş, bunu brokoli (% 2.20), beyaz baş lahana (% 2.17) izlemiş; kırmızı baş lahana ise en düşük Ca içeriği ile (% 2.10) son sırada yer almıştır.

Nikel dozlarının artması ile en fazla Ca oranı (% 2.64) 200 mg kg⁻¹ uygulamasında görülmüştür bunu sırasıyla 50 mg kg⁻¹ (% 2.50), 100 mg kg⁻¹ (% 2.07) ve kontrol (% 1.47) grubu izlemiştir.

Doz x tür interaksyonunda ise en fazla Ca oranı istatistiksel olarak aynı ortalama grubunda yer alan kırmızı baş lahana (% 2.94) x 200 mg kg⁻¹ ve karnabahar x 50 mg kg⁻¹ (% 2.90) bitkilerinde belirlenmiştir. Bitkilerdeki Ca oranı, nikel dozlarının artmasına ve türlere bağlı olarak artmış, farklı istatistiksel gruplar oluşmuştur.

Farklı nikel dozlarının K alımı üzerine etkisine dair *Brassicaceae* denemesi türlerindeki deneme sonuçları Çizelge 4.57'te ve ıspanak denemesindeki sonuçlar ise Çizelge 4.58'da özetlenmiştir. *Brassicaceae* denemesinde potasyum alımında nikel karşı tepki bakımından türler ve nikel dozu x tür interaksyonu önemsiz, nikel dozları p<0.05 düzeyinde önemli bulunmuştur. Ispanak denemesi bitkilerinde potasyum içerikleri türler, nikel dozları ve nikel dozu x tür interaksyonu bakımından p<0.01 düzeyinde önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.61. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin potasyum (K, %) içerikleri

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	0.94	1.18	1.19	1.18	1.12b
50	1.36	1.36	1.27	1.37	1.34a
100	1.40	1.35	1.45	1.20	1.35a
200	1.19	1.18	1.16	1.10	1.15b
Ortalama	1.22	1.26	1.27	1.21	

Tür: ÖD, Doz: p<0.05, Tür x Doz: ÖD

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.61'den görüldüğü üzere *Brassicaceae* türlerinin K oranları istatistiki olarak önem arz etmese de, en fazla K (%1.27) beyaz baş lahana ve karnabahar (%1.26) bitkilerinde belirlenirken, en düşük K oranı (% 1.21) kırmızı baş lahana bitkisinde belirlenmiştir.

Nikel dozlarının artması sonucunda en yüksek K oranı aynı ortalama grubunda yer alan 50 mg kg⁻¹ (% 1.35) ve 100 mg kg⁻¹ (% 1.34) uygulamalarında belirlenirken bu oranları aynı istatistiki grupta yer alan 200 mg kg⁻¹ (% 1.15) ve kontrol (% 1.12) uygulamalarının takip ettiği belirlenmiştir.

Doz x tür interaksyonları istatistiki anlamda önemsiz bulunurken en yüksek K oranı (% 1.45) beyaz baş lahana x 100 mg kg⁻¹ ve sırasıyla (% 1.40) brokoli x 100 mg kg⁻¹, (% 1.37) kırmızı baş lahana x 50 mg kg⁻¹ uygulamalarında belirlenmiştir.

Çizelge 4.62. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin potasyum (K, %) içerikleri

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	1.14f	1.37b-d	1.33de	1.53a	1.34b
50	1.23e-f	1.16f	1.19f	1.36cd	1.23c
100	1.49ab	1.32de	1.44a-d	1.54a	1.45a
200	1.46a-c	1.39b-d	1.45a-c	1.22ef	1.38b
Ortalama	1.33b	1.31b	1.35b	1.41a	

Tür: p<0.01, Doz: p<0.01, Tür x Doz: p<0.01

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.62'de görüldüğü gibi *Brassicaceae* türlerinin yetiştiği toprakta yetişen ıspanak bitkisindeki en fazla K içeriği (% 1.41) kırmızı baş lahana türünde belirlenmiştir. Bu türü aynı istatistiki grupta yer alan beyaz baş lahana (% 1.35), brokoli (% 1.33) ve karnabahar (% 1.31) türlerinin takip ettiği belirlenmiştir.

Nikel dozlarının artması ile birlikte en yüksek K oranının (% 1.45) elde edildiği uygulama 100 mg kg⁻¹ olmuştur. İkinci en yüksek oranı aynı istatistiki grupta yer alan (%1.38) 200 mg kg⁻¹ ve (% 1.34) kontrol uygulamaları oluşturmuştur. En düşük K oranı (% 1.23) 50 mg kg⁻¹ dozunda bulunmuştur.

Doz x tür interaksyonu bakımından en yüksek K oranı (%1.54) kırmızı baş lahana x 100 mg kg⁻¹ uygulaması ve (% 1.53) x kontrol uygulamasında belirlenirken bunu brokoli bitkisinin 100 mg kg⁻¹ uygulaması takip etmiştir.

Farklı nikel dozlarının *Brassicaceae* denemesi türlerindeki magnezyum alımına etkisi üzerine bulgular Çizelge 4.63'dan ve ıspanak denemesindeki bitkilerdeki Mg alımı etkinliğine ilişkin bulgular ise Çizelge 4.64'tan görülebilmektedir. *Brassicaceae* denemesinde nikel karşı tepki bakımından türler p<0.01 düzeyinde önemli, nikel dozları p<0.05 düzeyinde önemli ve nikel dozu x tür interaksyonu önemsiz bulunmuştur. Nikelle bulaşık topraklarda *Brassicaceae* türlerinin ardından kültüre alınan ıspanak denemesi bitkilerinde magnezyum içerikleri türler bakımından p<0.05 düzeyinde, nikel dozları bakımından p<0.01 düzeyinde ve nikel dozu x tür interaksyonu bakımından p<0.01 düzeyinde önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.63. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin magnezyum (Mg, %) içerikleri

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	0.31	0.48	0.39	0.59	0.44a
50	0.31	0.39	0.35	0.54	0.39ab
100	0.28	0.41	0.34	0.49	0.38b
200	0.32	0.35	0.33	0.42	0.36b
Ortalama	0.30c	0.41b	0.35c	0.51a	

Tür: p<0.01, Doz: p<0.05, Tür x Doz: ÖD

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.63'ten anlaşıldığı gibi en yüksek Mg oranı (% 0.51) ile kırmızı baş lahana bitkisinde belirlenirken bunu karnabahar bitkisi (% 0.41) izlemiştir. Bu türü istatistiksel olarak aynı grupta yer alan beyaz baş lahana (% 0.35) ve brokoli (% 0.30) bitkisi takip etmiştir.

Nikel dozlarının uygulanmasıyla, en yüksek Mg oranı (% 0.44) kontrol grubunda belirlenmiştir. Kontrol grubunu 50 mg kg⁻¹ (% 0.39) uygulaması takip ederken 100 ve 200 mg kg⁻¹ uygulamaları aynı ortalama grubunu oluşturarak son sırada yer almıştır.

Doz x tür interaksyonu istatistiksel anlamda önemsiz bulunsa da en yüksek Mg oranı kırmızı baş lahana x kontrol uygulamasında olduğu (% 0.59) görülürken bunu aynı türün 50 mg kg⁻¹ ile oluşturduğu kombinasyon (% 0.54) izlemiştir.

Çizelge 4.64. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin magnezyum (Mg, %) içerikleri

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	0.36f	0.37ef	0.43b-e	0.38ef	0.38c
50	0.47ab	0.39d-f	0.46bc	0.39d-f	0.42b
100	0.53a	0.49ab	0.46bc	0.38ef	0.46a
200	0.45b-d	0.45b-d	0.39d-f	0.47ab	0.44ab
Ortalama	0.45a	0.42bc	0.43ab	0.40c	

Tür: p<0.05, Doz: p<0.01, Tür x Doz: p<0.01

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.64'te *Brassicaceae* türlerinin yetiştiği toprakta yetişen ıspanak bitkisindeki en fazla Mg oranı (% 0.45) brokoli türünde belirlenmiştir. Bunu sırasıyla beyaz baş lahana (% 0.43), karnabahar (% 0.42) ve kırmızı baş lahana (% 0.40) izlemiştir.

Nikel dozlarının Mg oranına etkisine bakıldığında en yüksek oran (% 0.46) 100 mg kg⁻¹ uygulamasında belirlenmiştir. Bu uygulamayı 200 mg kg⁻¹ (% 0.44) takip etmiştir. Tüm dozlar Mg oranına olan etki bakımından farklı ortalama gruplarını oluşturmuştur.

Doz x tür intreaksiyonunda, en fazla Mg brokoli x 100 mg kg⁻¹ uygulamasında (% 0.53) iken, bunu aynı istatistiki grupta yer alan (% 0.49) karnabahar 100 mg kg⁻¹, (% 0.47) brokoli x 50 mg kg⁻¹ (% 0.47) ve beyaz baş lahana x 200 mg kg⁻¹ uygulamaları izlemiştir. Diğer interaksiyonlar ise farklı grupları oluşturarak sonraki sırlarda yer bulmuşlardır.

4.1.3.3. Kök boyu, Yaş ve Kuru Ağırlığı

Araştırmada farklı nikel dozlarının *Brassicaceae* ve ıspanak denemelerindeki bitkilerin kök boyuna etkilerine ilişkin bulgular sırasıyla Çizelge 4.65 ve Çizelge 4.66'dan izlenebilmektedir. *Brassicaceae* denemesinde kök boyları bakımından türlerin ve nikel dozu x tür interaksiyonlarının nikel karşı tepkileri önemsiz, nikel dozlarının p<0.05 düzeyinde önemli olduğu bulunmuştur. Ispanak denemesinde ise kök boylarının türler, nikel dozları ve nikel dozu x tür interaksiyonları bakımından p<0.01 düzeyinde önemli oldukları anlaşılmıştır.

Çizelge 4.65. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin kök boyları (cm)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	22.13	20.50	20.10	21.27	21.00a
50	17.33	19.40	11.60	16.46	16.20b
100	15.93	18.46	17.40	17.53	17.33b
200	18.40	17.60	17.20	17.46	17.66b
Ortalama	18.45ab	18.99a	16.57b	18.18ab	

Tür: ÖD, Doz: p<0.05, Tür x Doz: ÖD

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.65'teki verilere göre en uzun (18.99 cm) kök boyuna sahip olan tür karnabahar olarak belirlenmiştir. Bu türü aynı istatistiki grupta yer alan brokoli (18.45 cm) kırmızı kaş lahana (18.18 cm) türleri takip etmiştir. Beyaz baş lahana ise en kısa (16.57 cm) kök boyuna sahip olan tür olmuştur.

Dozlarda en uzun kök boyunun elde edildiği uygulama kontrol (21.00 cm) olmuştur. Bu uygulamayı sırasıyla aynı grupta yer alan 200, 100 ve 50 mg kg⁻¹ dozları takip etmiştir.

Doz x tür interaksyonları istatistiki anlamda önemsiz bulunmuştur. Ancak en uzun kök boyu (22.13 cm) brokoli x kontrol ve (21.27 cm) kırmızı baş lahana x kontrol uygulamalarında belirlenmiştir.

Çizelge 4.66. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin kök boyları (cm)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	16.70c	16.83c	20.10a	17.90b	17.88a
50	13.46d	10.50g-i	9.70ij	10.10h-j	10.94c
100	10.70g-i	11.20fg	10.90gh	9.40j	10.55d
200	11.10gh	12.40e	12.20ef	11.50e-g	11.80b
Ortalama	12.99ab	12.73b	13.22a	12.22c	

Tür: p<0.01, Doz: p<0.01, Tür x Doz: p<0.01

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.66'dan görüldüğü gibi ıspanak bitkisinde en uzun kök boyu (13.22 cm) beyaz baş lahana türünün yetiştiği toprakta yetişen ıspanak bitkisinde olmuştur. Bunu sırasıyla brokoli (12.99 cm), karnabahar (12.73 cm) ve kırmızı baş lahana (12.22 cm) izlemiştir.

Dozlarda en uzun kök boyu kontrolden (17.88 cm) elde edilmiştir. Bunu sırasıyla 200 mg kg⁻¹ (11.80 cm), 50 mg kg⁻¹ (10.94 cm) ve 100 mg kg⁻¹ (10.55 cm) nikel uygulamalarının takip ettiği kayıt edilmiştir.

Tür x doz interaksiyonda en uzun kök boyları beyaz baş lahana x kontrol uygulamasında (20.10 cm) olmuş, bunu kırmızı baş lahana x kontrol uygulaması (17.90 cm) takip etmiştir. karnabahar x kontrol (16.83 cm) ve brokoli x kontrol (16.70 cm) diğer dikkat çeken kombinasyonlar olarak tespit edilmiştir.

Brassicaceae denemesinde kök yaş ağırlığı üzerine nikelin etkileri istatistiki anlamda değerlendirmesi yapıldığında türlerin ve dozların % 1 düzeyinde önemli, ancak tür x doz interaksyonlarının önemsiz olduğu belirlenmiştir. Ispanak denemesinde ise türler % 5 düzeyinde, dozlar ve tür x doz interaksyonları % 1 düzeyinde bulunmuştur (Çizelge 4.67 ve Çizelge 4.68).

Çizelge 4.67. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin kök yaş ağırlıkları (g)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	5.00	6.00	7.23	6.50	6.18a
50	4.13	5.43	5.00	5.93	5.12b
100	3.86	4.83	5.30	5.46	4.86b
200	4.66	4.23	5.10	5.66	4.91b
Ortalama	4.41c	5.12b	5.65ab	5.89a	

Tür: p<0.01, Doz: p<0.01, Tür x Doz: ÖD

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.67'e bakıldığında kök yaş ağırlığı bakımından tür sıralamasında en yüksek (5.89 g) kırmızı baş lahana iken bunu sırasıyla beyaz baş lahana(5.65g), karnabahar (5.12 g) ve brokoli (4.41 g) izlemiştir.

Artan nikel dozları neticesinde kök yaş ağırlığı kontrol grubu dışındaki tüm dozlarda aynı ortalama grubunu oluşturmuştur. En yüksek kök yaş ağırlığını (6.18 g) kontrol grubu oluşturmuştur. 50 mg kg⁻¹ (5.12 g), 200 mg kg⁻¹ (4.91 g) ve 100 mg kg⁻¹ (4.86 g) uygulamaları aynı ortalama grubunda yer alarak kontrol bitkilerini takip etmiştir.

Doz x tür interaksiyonları istatistiki anlamda önemsiz bulunmuştur. Yeni de en yüksek kök yaş ağırlığı (7.23 g) beyaz baş lahana x kontrol ve (6.50 g) kırmızı baş lahana x kontrol uygulamalarından elde edilmiştir.

Çizelge 4.68. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin kök yaş ağırlıkları (g)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	1.45a	1.24b	1.15bc	1.15bc	1.24a
50	0.65g	1.03cd	0.70fg	0.90de	0.82b
100	0.75e-g	0.80e-g	0.85ef	0.65g	0.76b
200	0.73fg	0.75e-g	1.05cd	0.70fg	0.80b
Ortalama	0.89bc	0.95a	0.93ab	0.85c	

Tür: p<0.05, Doz: p<0.01, Tür x Doz: p<0.01

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.68'de görüldüğü gibi *Brassicaceae* türlerinin yetiştiği toprakta yetişen ıspanak bitkisinin kök yaş ağırlığına bakıldığında en yüksek yaş ağırlığı (0.95 g) karnabahar bitkisi oluştururken bunu sırasıyla beyaz baş lahana (0.93 g), brokoli (0.89 g) ve kırmızı baş lahana (0.85 g) izlemiştir.

Nikel dozlarının artması sonucunda sadece kontrol grubu farklı ortalama grubunu oluştururken diğer dozlar aynı ortalama grubunu oluşturmuştur. En yüksek kök yaş ağırlığı (1.24 g) kontrol grubunda belirlenmiştir. Bunu aynı istatistiki grupta yer alan 50 mg kg⁻¹ (0.82 g), 200 mg kg⁻¹ (0.80 g) ve 100 mg kg⁻¹ (0.76 g) uygulamaları izlemiştir.

Tür x doz interaksyonuna bakıldığında en yüksek kök yaş ağırlığını brokoli ve karnabahar (1.45 g ve 1.24 g) x kontrol uygulaması oluşturmuştur. Takip eden grubun birer üyesi olan kırmızı ve beyaz baş lahana x kontrol (1.15 g) diğer dikkat çeken interaksyonlar olmuşlardır.

Farklı nikel dozlarının *Brassicaceae* denemesinde kök kuru ağırlığı etkisi üzerine bulgular Çizelge 4.69’da ve ıspanak denemesindeki kök kuru ağırlığına ilişkin bulgular ise Çizelge 4.70’ten takip edilebilmektedir. *Brassicaceae* denemesinde nikel karşı tepki bakımından türler $p<0.01$ ve nikel dozları $p<0.01$ düzeyinde, nikel dozu x tür interaksyonları $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Ispanak denemesi bitkilerinde kök kuru ağırlıkları türler ve nikel dozu x tür interaksyonu bakımından önemsiz, nikel dozları bakımından $p<0.05$ düzeyinde önemli çıkmıştır.

Çizelge 4.69. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin kök kuru ağırlıkları (g)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	1.80ab	1.31b-e	2.09a	1.58a-d	1.69a
50	1.29b-e	1.12c-e	0.98de	1.04d-e	1.11b
100	1.25b-e	0.75e	1.18c-e	0.97d-e	1.04b
200	1.68a-c	1.01de	1.05de	0.87e	1.15b
Ortalama	1.50a	1.05c	1.32ab	1.11bc	

Tür: $p<0.01$, Doz: $p<0.01$, Tür x Doz: $p<0.05$

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey’e göre $p<0.05$ düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.69’da görüldüğü gibi en yüksek kök kuru ağırlığı (1.50 g) brokoli türünde belirlenirken bunu sırasıyla beyaz baş lahana (1.32g), kırmızı baş lahana (1.11 g) ve karnabahar (1.05 g) takip etmiştir.

Doz uygulamalarda en yüksek kök kuru ağırlığı (1.69 g) kontrol grubundan elde edilmiştir. Bu dozu aynı istatistiksel grupta yer alan 200 mg kg⁻¹ (1.15 g), 50 mg kg⁻¹ (1.11 g) ve 100 mg kg⁻¹ (1.04 g) uygulamaları takip etmiştir.

Tür x doz interaksyonda ise en yüksek kök kuru ağırlığı (2.09 g) beyaz baş lahana x kontrol uygulamasında belirlenmiştir. Brokoli (1.80 g) x kontrol ve brokoli x 200 mg kg⁻¹ (1.68 g) izleyen kombinasyonlar olmuştur.

Çizelge 4.70. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin kök kuru ağırlıkları (g)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	0.35	0.29	0.28	0.27	0.30a
50	0.16	0.25	0.17	0.22	0.19b
100	0.18	0.39	0.20	0.16	0.23ab
200	0.17	0.18	0.25	0.18	0.19b
Ortalama	0.21	0.27	0.22	0.20	

Tür: ÖD, Doz: $p<0.05$, Tür x Doz: ÖD

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey’e göre $p<0.05$ düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.70’te görüldüğü gibi *Brassicaceae* türlerinin yetiştiği toprakta yetişen ıspanak bitkisinin kök kuru ağırlığına bakıldığında türler önemsiz bulunmuştur. En yüksek kök kuru ağırlığı (0.27 g) karnabahar bitkisinde görülürken bu türü sonrası beyaz baş lahana (0.22 g) ve brokoli (0.21 g) takip etmiştir. En düşük kök kuru ağırlığı ise (0.20 g) kırmızı baş lahana sahip olmuştur.

Uygulanan dozların etkisine bakıldığında en yüksek kök kuru ağırlığına, kontrol bitkileri (0.30 g) sahip olurken onu 100 mg kg⁻¹ (0.23 g) uygulaması takip etmiştir. Bu dozu istatistiksel olarak aynı grubu oluşturan (0.19 g) 50 - 200 mg kg⁻¹ izlemiştir.

Tür x doz interaksyonları önemsiz bulunmuştur. Ancak miktar olarak karnabahar x 100 mg kg⁻¹, brokoli ve karnabahar x kontrol uygulamaları dikkat çekmiştir.

4.1.3.4. Bitki boyu

Nikel dozlarının *Brassicaceae* ve ıspanak denemelerindeki bitkilerde bitki boyu üzerindeki etkilerini incelemek için yapılan istatistiksel analizler sonucunda *Brassicaceae* denemesinde sadece türlerin p<0.01 düzeyinde önemli olduğu; ıspanak denemesinde ise türlerin p<0.05 düzeyinde, dozların ve tür x doz interaksyonlarının p<0.01 düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.71 ve Çizelge 4.72).

Çizelge 4.71. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin bitki boyları (cm)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	26.47	23.44	24.06	27.26	25.31
50	24.83	23.20	21.21	27.43	24.17
100	23.71	23.18	22.96	27.40	24.31
200	25.44	22.52	22.96	28.29	24.80
Ortalama	25.11b	23.08c	22.80c	27.59a	

Tür: p<0.01, Doz: ÖD, Tür x Doz: ÖD

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey’e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.71’de görüldüğü gibi en yüksek bitki boyuna (27.59 cm) sahip tür kırmızı baş lahana olurken brokkoli bitkisi (25.11 cm) onu ikinci sırada takip etmiştir. En düşük bitki boyunu aynı istatistiki grupta yer alan karnabahar (23.08 cm) ve beyaz baş lahana (22.80 cm) izlemiştir.

Nikel dozlarının artmasının bitki boyu üzerine etkisinin önemsiz olduğu anlaşılmıştır. En yüksek bitki boyunu (25.31 cm) kontrol grubu oluşturmuştur.

Doz x tür interaksyonları yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonrasında önemsiz bulunsa da en yüksek bitki boyları sırasıyla 200 mg kg⁻¹ x kırmızı baş lahana (28.29 cm), 50 mg kg⁻¹ kırmızı baş lahana (27.43 cm) ve 100 mg kg⁻¹ x kırmızı baş lahana (27.40 cm)

uygulamalarında bulunmuştur. Diğer tür ve doz etkileşimleri bu uygulamaların ardından gelerek sonraki sıraları oluşturmuşlardır.

Çizelge 4.72. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin bitki boyları (cm)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	24.50cd	25.66bc	29.50a	28.30ab	26.99a
50	21.50e	20.63ef	19.50e-g	21.50e	20.78b
100	22.00de	21.90de	21.00e	22.00de	21.72b
200	19.50e-g	18.00fg	17.00g	20.73ef	18.80c
Ortalama	21.87b	21.55b	21.75b	23.13a	

Tür: p<0.05, Doz: p<0.01, Tür x Doz: p<0.01

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.72'de görüldüğü gibi *Brassicaceae* türlerinin yetiştiği toprakta yetişen ıspanak bitkisinin bitki boyuna bakıldığında en yüksek bitki boyunun ıspanak bitkisinde (23.10 cm) kırmızı baş lahana grubunda elde edilirken bu türü istatistiksel olarak aynı grubu oluşturan (21.87 cm) brokoli, (21.75 cm) beyaz baş lahana ve (21.55 cm) karnabahar bitkisi takip etmiştir.

Nikel dozlarının artmasıyla birlikte bitki boylarının azaldığı görülmüştür. En yüksek bitki boyu (26.99 cm) kontrol grubunda belirlenirken bunu aynı ortalama grubunu oluşturan 50 mg kg⁻¹ ve 100 mg kg⁻¹ uygulamaları izlemiştir. En küçük bitki boyu ise 200 mg kg⁻¹ uygulamasında görülmüştür.

Tür x doz interaksyonunda ise en yüksek bitki boyu beyaz baş lahana x kontrol uygulamasında (29.50 cm) gözlemlenirken, bu uygulamayı kırmızı baş lahana x kontrol uygulaması (28.30 cm) takip etmiştir. Yine kontrol ile birlikte karnabaharın ve brokolinin arasındaki etkileşimlerde diğer kombinasyonlardan ayrılarak dikkat çeken interaksyonlar olmuşlardır.

4.1.3.5. Yaprak Sayısı, Genişliği ve Uzunluğu

Farklı nikel dozlarının yaprak sayısı üzerine etkilerine dair *Brassicaceae* denemesi bulguları Çizelge 4.73'de ve ıspanak denemesi bulguları ise Çizelge 4.74'den görülebilmektedir. *Brassicaceae* denemesinde nikel dozları p<0.05 ve ıspanak denemesinde p<0.01 düzeylerinde oldukları anlaşılmış; her iki denemede de türler ve nikel dozu x tür interaksyonları önemsiz bulunmuşlardır.

Çizelge 4.73. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin yaprak sayıları (adet)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	11.36	12.30	11.60	12.66	11.98a
50	10.20	9.86	11.13	10.66	10.46b
100	10.30	10.26	11.26	10.83	10.66b
200	10.86	10.90	11.76	10.76	11.07ab
Ortalama	10.68	10.83	11.44	11.23	

Tür: ÖD, Doz: p<0.05, Tür x Doz: ÖD

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.73'te görüldüğü gibi *Brassicaceae* türlerinin yaprak sayıları istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. *Brassicaceae* türlerinde en fazla yaprak sayısı beyaz baş lahana (11.44 adet) bitkisinde belirlenirken bunu sırasıyla (11.23 adet) kırmızı baş lahana, (10.83 adet) karnabahar ve (10.68 adet) brokoli izlemiştir.

Nikel dozlarının yaprak sayısına olan etkisi incelendiğinde en fazla yaprak sayısı, (11.98 adet) kontrol uygulamasında görülürken bu dozu (11. adet) 200 mg kg⁻¹ uygulaması takip etmiştir. Bu uygulamayı aynı istatistiki grupta yer alan (10.66 adet) 100 mg kg⁻¹ ve (10.46 adet) 50 mg kg⁻¹ uygulamaları izlemiştir.

Doz x tür interaksiyonları istatistiki anlamda önemsiz bulunmuş, en fazla yaprak sayısı (12.66 adet) kırmızı baş lahana x kontrol, (12.30 adet) karnabahar x kontrol ve (12.66 adet) kırmızı baş lahana x 200 mg kg⁻¹ uygulamasında izlenmiştir.

Çizelge 4.74. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak sayıları (adet)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	22.00	22.00	21.00	25.00	22.50a
50	16.00	14.00	15.00	12.00	14.25b
100	14.00	13.00	15.00	14.00	14.00b
200	12.00	11.00	13.00	13.00	12.25b
Ortalama	16.00	15.00	16.00	16.00	

Tür: ÖD, Doz: p<0.01, Tür x Doz: ÖD

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.74'te görüldüğü gibi *Brassicaceae* türlerinin yetiştiği toprakta yetişen ıspanak bitkisinin yaprak sayısına bakıldığında *Brassicaceae* türleri önemsiz bulunmuştur. Brokoli, beyaz baş lahana ve kırmızı baş lahana bitkileri aynı sayıda (16.00 adet) yaprak adedine sahip olurken karnabahar bitkisi onları son sırada izlemiştir.

Nikel dozların uygulanmasında, *Brassicaceae* türlerindeki en fazla yaprak sayısı, (22.50 adet) kontrol uygulamasında görülürken bu uygulamayı aynı ortalama grubunda yer alan (14.25 adet) 50 mg kg⁻¹, 100 mg kg⁻¹ (14.00 adet) ve 200 mg kg⁻¹ (12.25 adet) uygulamalarının takip ettiği belirlenmiştir.

Doz x tür interaksyonları istatistiki anlamda önemsiz bulunmuş, en fazla yaprak sayısı (25.00 adet) kırmızı baş lahana x kontrol ve (22.00 adet) karnabahar ve brokoli x kontrol gruplarında görülmüştür.

Nikel dozlarının *Brassicaceae* ve ıspanak denemelerindeki bitkilerde yaprak genişliği üzerindeki etkilerini incelemek için yapılan istatistiksel analizler sonucunda, *Brassicaceae* denemesinde sadece türlerin $p<0.01$ düzeyinde önemli olduğu; ıspanak denemesinde türler, nikel dozları ve nikel dozları doz ve tür x doz interaksyonunları bakımından $p<0.01$ düzeyinde önemlilik olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.75 ve Çizelge 4.76).

Çizelge 4.75. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin yaprak genişlikleri (cm)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	7.94c	7.84	11.92	11.50	9.80
50	9.30	8.66	10.83	11.70	10.12
100	8.66	8.66	11.40	11.66	10.10
200	9.09	8.84	11.28	11.84	10.26
Ortalama	8.75b	8.50b	11.36a	11.67a	

Tür: $p<0.01$, Doz: ÖD, Tür x Doz: ÖD

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre $p<0.05$ düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.75'te görüldüğü gibi yapılan istatistiki değerlendirmelerin sonucundaki veriler üzerinden gidilerek, nikel dozlarının yaprak genişliğine olan etkisinde iki farklı ortalama grubu olduğu anlaşılmaktadır. En geniş yaprak aynı ortalama grubunu oluşturan kırmızı baş lahana (11.67 cm) ve (11.36 cm) beyaz baş lahana bitkilerinde görülürken en dar yaprak yine ikinci ortalama grubunda yer alan brokoli (8.75 cm) ve (8.50 cm) karnabahar bitkilerinde görülmüştür.

Artan nikel dozları yaprak genişliği üzerinde istatistiki olarak önemli olmamakla birlikte, en geniş yaprak (10.26 cm) 200 mg kg⁻¹ uygulamasında görülürken bu uygulamayı 50 mg kg⁻¹ (10.12 cm), (10.10 cm) 100 mg kg⁻¹ ve (9.80 cm) kontrol uygulamaları izlemiştir.

Tür x doz interaksyonuna bakıldığında ise nikel dozlarının türlerin yaprak genişliği üzerine etkisi istatistiki anlamda önemsiz bulunmuştur. En yüksek yaprak genişliği (11.92 cm) beyaz baş lahana x kontrol ve (11.84 cm) kırmızı baş lahana x 200 mg kg⁻¹ uygulamalarında görülmüştür.

Çizelge 4.76. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak genişlikleri (cm)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	6.50b-d	7.33a-c	8.53a	8.36a	7.68a
50	6.50b-d	6.50b-d	6.00cd	6.00cd	6.25c
100	5.50d	8.50a	8.00a	6.50b-d	7.12b
200	6.00cd	7.30a-c	6.50b-d	7.53ab	6.83b
Ortalama	6.12b	7.40a	7.25a	7.10a	

Tür: p<0.01, Doz: p<0.01, Tür x Doz: p<0.01

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.76'dan en yüksek yaprak genişliğini aynı istatistiki grupta yer alan (7.40 cm) karnabahar, (7.25 cm) beyaz baş lahana ve (7.10 cm) kırmızı baş lahana olduğu, brokolinin (6.12 cm) bunların gerisinde kaldığı belirlenmiştir.

Nikel dozlarına göre en geniş yapraklar kontrolde (7.68 cm) olup, 100 mg kg⁻¹ (7.12 cm) ve 200 mg kg⁻¹ (6.83 cm) uygulamaları bunu takip etmiştir.

Tür x doz interaksiyonuna bakıldığında, en fazla yaprak genişliği aynı grupta yer alan beyaz baş lahana x kontrol (8.53 cm), karnabahar x 100 mg kg⁻¹ (8.50 cm), kırmızı baş lahana x kontrol (8.36 cm) ve beyaz baş lahana x 100 mg kg⁻¹ (8.00 cm) uygulamalarında belirlenmiştir.

Farklı nikel dozlarının *Brassicaceae* denemesi türlerindeki yaprak uzunluğu üzerine etkisine ilişkin bulgular Çizelge 4.77'de ve ıspanak denemesindeki yaprak uzunluğu bulguları ise Çizelge 4.78'de özetlenmişlerdir. *Brassicaceae* denemesinde nikel karşı tepki bakımından türler p<0.01 düzeyinde önemli, dozlar önemsiz ve nikel dozu x tür interaksiyonu p<0.05 düzeyinde önemli bulunmuştur. Ispanak denemesinde türler ve dozlar p<0.05 düzeyinde, nikel dozu x tür interaksiyonu p<0.01 düzeyinde önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.77. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin yaprak uzunlukları(cm)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	11.07c	14.21ab	14.16ab	13.48a-c	13.23
50	11.46c	14.13ab	11.30c	12.30a-c	12.30
100	11.30c	14.74a	11.66c	12.96a-c	12.67
200	11.90bc	14.52a	11.59c	12.94a-c	12.74
Ortalama	11.43c	14.40a	12.18bc	12.92b	

Tür: p<0.01, Doz: ÖD, Tür x Doz: p<0.05

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.77'deki verilere göre *Brassicaceae* türlerinde yaprak uzunluğu en fazla olan bitki (14.40 cm) karnabahar iken bunu sırasıyla (12.92 cm) kırmızı baş lahana, (12.18 cm) beyaz baş lahana ve brokoli (11.33 cm) bitkileri takip etmiştir.

Nikel doz artışı *Brassicaceae* türlerinin yaprak uzunluğu üzerinde önemli etkiye sahip olamamakla birlikte en uzun yaprak (13.23 cm) 0 mg kg⁻¹, (12.74 cm) 200 mg kg⁻¹, (12.67 cm) 100 mg kg⁻¹ ve (12.30 cm) 50 mg kg⁻¹ uygulamalarında görülmüştür.

Tür x doz interaksyonunda ise en fazla yaprak uzunluğu değerine aynı istatistiki grupta yer alan kanabakar x 100 (14.74 cm) ve 200 x (14.52 cm) mg kg⁻¹ uygulamaları sahip olurken bunu beyaz baş lahana ve kırmızı baş lahana bitkilerinin kontrol uygulamaları takip etmiştir.

Çizelge 4.78. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak uzunlukları (cm)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabakar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	10.50ab	10.40a-c	11.00a	10.00a-c	10.47a
50	11.00a	7.50d	9.50a-c	9.40a-d	9.35b
100	8.50cd	10.00a-c	11.00a	9.00b-d	9.62b
200	9.50a-c	10.00a-c	10.00a-c	10.50ab	10.00ab
Ortalama	9.87ab	9.47b	10.37a	9.72ab	

Tür: p<0.05, Doz: p<0.05, Tür x Doz: p<0.01

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.78'de verilere göre *Brassicaceae* türlerinin yetiştiği toprakta yetiştirilen ıspanak bitkisinin yaprak uzunluğu incelendiğinde, en fazla yaprak uzunluğu değeri (10.37 cm) beyaz baş lahana bitkisinde görülürken bunu sırasıyla aynı ortalama grubunda yer alan (9.87 cm) brokoli ve (9.72 cm) kırmızı baş lahana bitkileri takip etmiştir. En düşük yaprak uzunluğu ise (9.47 cm) karnabakar bitkisinde görülmüştür.

Nikel dozlarının uygulanması sonucunda en fazla yaprak uzunluğuna (10.47 cm) kontrol bitkileri sahip olurken onu 10.00 cm) 200 mg kg⁻¹ uygulaması ikinci sırada takip etmiştir. 100 mg kg⁻¹ (9.52 cm) ve 50 mg kg⁻¹ (9.35 cm) uygulamaları aynı ortalama grubunda yer alarak en düşük iki yaprak uzunluğunu vermiştir.

Tür x doz interaksyonunda ise aynı istatistiki grupta yer alan (11.00 cm) beyaz baş lahana x kontrol, beyaz baş lahana x 100 mg kg⁻¹ ve brokoli x 50 mg kg⁻¹ uygulamaları en fazla yaprak uzunluğuna sahip olmuştur. Bu kombinasyonu izleyen (10.50cm) brokoli x kontrol ve kırmızı baş lahana x 200 mg kg⁻¹ diğer dikkat çeken interaksyonlar olmuşlardır.

4.1.3.6. Yaprak Yaş ve Kuru Ağırlığı

Farklı nikel dozlarının yaprak yaş ağırlığı üzerine etkilerine dair *Brassicaceae* denemesi bulguları Çizelge 4.79'da ve ıspanak denemesi bulguları ise Çizelge 4.80'de görülebilmektedir. *Brassicaceae* denemesindeki nikel dozu x tür interaksyonunun p<0.05 düzeyinde önemli bulunmuş; gerek *Brassicaceae* ve gerekse ıspanak denemesindeki türler,

dozlar ve nikel dozu x tür interaksyonları arasındaki farklılıkların tümü $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.79. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin yaprak yaş ağırlıkları (g)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	28.76fg	43.46b-e	56.96a	55.06ab	46.06a
50	26.00g	32.23d-g	35.30c-g	46.06a-c	34.90b
100	25.06g	31.76e-g	36.26c-g	44.66a-d	34.44b
200	24.60g	30.73e-g	39.80c-f	41.96c-e	34.27b
Ortalama	26.11d	34.55c	42.08b	46.94a	

Tür: $p<0.01$, Doz: $p<0.01$, Tür x Doz: $p<0.05$

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre $p<0.05$ düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.79'daki verilere göre, *Brassicaceae* türlerinin hepsi yaprak yaş ağırlığı yönünden farklı ortalama grubu oluşturmuştur. En yüksek yaprak yaş ağırlığı (46.94 g) kırmızı baş lahana bitkisi sahipken onu (42.08 g) beyaz baş lahana, (34.55 g) karnabahar ve (26.11 g) brokoli bitkileri izlemiştir.

Nikel dozlarının uygulanması sonucunda kontrol bitkileri en yüksek yaş yaprak ağırlığına (46.06 g) sahip olarak birinci ortalama grubunu oluşturmuştur. Kontrol grubu dışındaki üç nikel uygulaması da aynı ortalama grubuna dahil olarak kontrolden sonraki en düşük yaprak yaş ağırlığını ifade etmiştir.

Doz x tür interaksyonunda ise en fazla yaprak yaş ağırlığı (56.96 g) beyaz baş lahana x kontrol uygulamasında olurken, bu interaksyonu (55.06 g) kırmızı baş lahana x kontrol kontrol takip etmiştir.

Çizelge 4.80. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak yaş ağırlıkları (g)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	44.83a	41.30b	37.50c	40.50bc	41.03a
50	15.50i	20.75e-g	18.50f-i	23.13de	19.47b
100	19.70f-h	18.50f-i	17.20hi	24.50d	19.97b
200	18.50f-i	21.20e-f	17.90g-i	20.80e-g	19.60b
Ortalama	24.63b	25.43ab	22.77c	27.23a	

Tür: $p<0.01$, Doz: $p<0.01$, Tür x Doz: $p<0.01$

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre $p<0.05$ düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.80'deki değerlendirilen verilere göre ıspanak bitkisinin yaprak yaş ağırlığının en fazla belirlendiği tür olarak kırmızı baş lahana (27.23 g) bitkisi olmuştur. Bunu sırasıyla (25.43 g) karnabahar, (24.63 g) brokoli ve beyaz baş lahana (22.77 g) bitkileri izlemiştir.

Nikel doz uygulamalarında ise, en fazla etki kontrol (41.03 g) grubunda belirlenmiş ve kontrol dışındaki tüm dozlar aynı istatistiki grubun birer üyesi olarak bunu izlemiş; sıralama ise 100 mg kg⁻¹ (19.97 g), 200 mg kg⁻¹ (19.60 g) ve 50 mg kg⁻¹ (19.47 g) nikel dozu uygulamaları şeklinde oluşmuştur.

Tür x doz interaksyonları bakımından en fazla yaprak yaş ağırlığı brokoli x kontrol uygulamasında (44.83 g) belirlenirken, kontrolle birlikte karnabahar, kırmızı baş lahana ve beyaz baş lahana kombinasyonları da diğer dikkat çeken kombinasyonlar olarak kaydedilmişlerdir. Kontrol dışındaki nikel dozları ile türlerin kombinasyonlarına ayrıca bakıldığında kırmızı baş lahana ve karnabaharın üstünlüklerinden bahsedilebilmektedir.

Nikel dozlarının *Brassicaceae* ve ıspanak denemelerindeki bitkilerin yaprak kuru ağırlığı üzerindeki etkilerini incelemek için yapılan istatistiksel analizler sonucunda, *Brassicaceae* denemesinde türler ve nikel dozu p<0.01 düzeyinde, nikel dozu x tür interaksyonları p<0.05 düzeyinde önemli; ıspanak denemesinde ise tür, doz ve tür x doz interaksyonlarının tamamının p<0.01 düzeyinde önemli oldukları anlaşılmıştır (Çizelge 4.81 ve Çizelge 4.82).

Çizelge 4.81. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin yaprak kuru ağırlıkları (g)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	13.78a	8.44cd	11.07a-c	9.64b-d	10.73a
50	11.91ab	7.72d	7.08d	7.23d	8.48b
100	9.75b-d	7.18d	7.23d	7.15d	7.83b
200	8.22cd	7.12d	7.93d	6.71d	7.49b
Ortalama	10.91a	7.61b	8.32b	7.68b	

Tür: p<0.01, Doz: p<0.01, Tür x Doz: p<0.05

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.81'e göre *Brassicaceae* türlerinde en fazla yaprak kuru ağırlığı brokoli (10.91 g) bitkisinde görülürken, bu türü aynı istatistiki grupta yer alan beyaz baş lahana (8.32 g), kırmızı baş lahana (7.68 g) ve karnabahar (7.61 g) bitkileri izlemiştir.

Nikel dozlarının uygulanması sonucunda, en fazla yaprak kuru ağırlığı kontrol (10.73 g) grubunda bulunurken bunu sırasıyla aynı ortalama grubunda yer alan (8.48 g) 50 mg kg⁻¹, (7.83 g) 100 mg kg⁻¹ ve (7.49 g) 200 mg kg⁻¹ uygulamaları takip etmiştir.

Tür x doz interaksyonunda ise en yüksek yaprak kuru ağırlığı (13.78 g) brokoli x kontrol uygulamasında elde edilirken bu interaksyonu aynı bitkinin (11.91 g) x 50 mg kg⁻¹ uygulamasının takip ettiği belirlenmiştir. Bitkilerdeki yaprak kuru ağırlığı, nikel dozlarının artmasına ve türlere bağlı olarak azalmış, farklı istatistiksel gruplar oluşmuştur.

Çizelge 4.82. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak kuru ağırlıkları (g)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	3.82c	4.34b	4.22b	5.21a	4.40a
50	1.55g-j	2.21d	1.75f-h	1.75f-h	1.81b
100	1.37i-k	1.50h-k	1.84e-g	2.05de	1.69c
200	1.23k	1.25j-k	1.58f-i	1.87e-f	1.50d
Ortalama	1.99c	2.32b	2.34b	2.72a	

Tür: p<0.01, Doz: p<0.01, Tür x Doz: p<0.01

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.82'deki verilere göre daha önce *Brassicaceae* bitkilerinin yetiştirildiği nikel bulaşık topraklarda kültüre alınan ıspanak bitkilerinde en fazla yaprak kuru ağırlığının kırmızı baş lahana (2.72 g) türünde olduğu belirlenmiştir. Bunu sırasıyla aynı ortalama grubunda yer alan beyaz baş lahana (2.34 g) ve karnabahar (2.32 g) izlemiştir. Brokoli ise en düşük yaprak kuru ağırlığına (2.01 g) sahip olarak son sırada yer almıştır.

Nikel dozlarının artmasına ters orantılı olarak yaprak kuru ağırlığı azalmıştır. En fazla yaprak kuru ağırlığı kontrol (4.40 g) grubunda belirlenirken bunu (1.81 g) 50 mg kg⁻¹ uygulaması takip etmiştir. En düşük yaprak kuru ağırlığına (1.50 g) 200 mg kg⁻¹ uygulamasında ulaşılmıştır.

Tür x doz intreaksiyonunda en fazla yaprak kuru ağırlığı (5.21 g) kırmızı baş lahana x kontrol uygulamasında iken, bu interaksyonu aynı istatistiksel gruptaki yer alan (4.33 g) karnabahar ve (4.22 g) beyaz baş lahana x kontrol uygulamalarının takip ettiği belirlenmiştir.

4.1.3.7. Tolerans İndeksi

Araştırmanın nikel ile yürütülen denemelerinde topraklara nikel eklenmesi ve bu topraklarda brokoli, karnabahar, beyaz baş lahana ve kırmızı lahana yetiştirilmesi durumunda; türlerin tepkilerinin nasıl olduğunu anlayabilmek amacıyla çalışmadaki tüm parametreler üzerinden yapılan tolerans indeksi sonuçları *Brassicaceae* denemesi için Çizelge 4.83'te ve ıspanak denemesi için Çizelge 4.84'te değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.83. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin tolerans indeksleri

Türler	Ni	Ca	K	Mg	KB	KYA	KKA	BB	YS	YG	YU	YYA	YKA	Ort
Brokoli	1.57	0.90	1.07	0.91	0.82	0.78	0.63	0.95	0.99	0.95	0.86	0.74	0.75	0.92
Karnabahar	1.51	1.00	1.29	0.99	0.83	0.88	0.84	0.95	0.94	1.10	1.03	0.91	0.79	1.01
Beyaz lahana	1.54	0.90	1.07	0.85	0.93	0.85	0.80	0.98	0.88	1.08	1.01	0.79	0.90	0.97
Kırmızı lahana	2.37	0.95	1.02	0.77	0.87	0.84	0.75	0.99	0.88	0.96	0.94	0.76	0.92	1.00

Çizelge 4.84. Nikel bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin tolerans indeksleri

Türler	Ni	Ca	K	Mg	KB	KYA	KKA	BB	YS	YG	YU	YYA	YKA	Ort
Brokoli	1.69	1.32	1.02	1.00	0.66	0.81	0.80	0.74	0.76	0.85	0.94	0.61	0.56	0.90
Karnabahar	1.76	1.70	1.17	1.25	0.78	0.62	0.61	0.89	0.73	0.94	0.94	0.55	0.52	0.96
Beyaz lahana	2.17	1.53	0.96	1.14	0.76	0.77	0.95	0.84	0.68	1.01	0.91	0.62	0.54	0.99
Kırmızı lahana	1.90	1.52	0.90	1.11	0.73	0.68	0.70	0.82	0.68	0.86	1.01	0.63	0.51	0.93

Nikelle bulaşık topraklarda kümülatif tolerans indeksi değerlerine göre *Brassicaceae* denemesinde sırasıyla karnabahar ve kırmızı baş lahana diğer türlere göre daha başarılı bulunmuştur. Ispanak denemesinde ise beyaz baş lahananın üstünlüğü görülmektedir. Her iki denemenin ortalamaları üzerinden bir değerlendirme yapıldığında sırasıyla 0.985 ve 0.980 tolerans indeksi değerleri ile karnabahar ve beyaz baş lahananın dikkate değer türler olduğu söylenebilir.

4.1.4. Çinko (Zn)

4.1.4.1. Çinko (Zn) İçeriği

Araştırmada farklı çinko dozlarının *Brassicaceae* denemesi türlerindeki etkilerine ilişkin bulgular Çizelge 4.85'te verilmiştir. Yapılan istatistiki analizlere göre türlerin çinkoya karşı tepkileri $p < 0.05$ düzeyinde, çinko dozları $p < 0.01$ düzeyinde ve çinko dozu x tür interaksyonu $p < 0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çalışmada farklı çinko dozlarıyla bulaşık toprakların ve bu topraklarda daha önce kültüre alınan türlerin, ıspanak denemesi bitkilerindeki çinko içeriklerine etkisine ait bulgular ise Çizelge 4.86'da verilmiştir. Ispanak denemesinde bitkilerinin çinko içerikleri sadece dozlar bakımından $p < 0.01$ düzeyinde önemli, türler ve çinko dozu x tür interaksyonu bakımından önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.85. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin çinko (Zn, mg kg⁻¹) içerikleri

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	17.00e	21.00de	20.40de	21.80de	20.00c
250	38.40c-e	41.80c-e	51.80c-e	64.00c-e	49.00c
500	91.20b-e	89.80b-e	110.60b-d	131.00bc	105.65b
1000	170.40b	162.20b	291.80a	307.80a	232.95a
Ortalama	79.25b	78.70b	118.65a	131.05a	

Tür: $p < 0.05$, Doz: $p < 0.01$, Tür x Doz: $p < 0.05$

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre $p < 0.05$ düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.85'e göre en fazla çinko içeriğine aynı istatistiki grupta yer alan kırmızı baş lahana (131.05 mg kg⁻¹) ve beyaz baş lahana (118.65 mg kg⁻¹) bitkilerinin sahip olduğu belirlenmiştir. Brokoli ve karnabahar ise aynı istatistiki grupta yer alarak lahanaları takip etmişlerdir.

Dozların artması ile doğru orantılı olarak bitkilerin sahip olduğu çinko içeriği de artış göstermiştir. En fazla çinko içeriği 232.95 mg kg⁻¹ ile 1000 mg kg⁻¹ uygulamasında kaydedilmiştir. Bu uygulamayı sırası ile 500 mg kg⁻¹, 250 mg kg⁻¹ ve kontrol uygulamaları takip etmiştir.

Doz x tür interaksyonunda en fazla çinko içeriği aynı istatistiksel grupta yer alan (307.80 mg kg⁻¹) kırmızı baş lahana x 1000 mg kg⁻¹ ve (291.80 mg kg⁻¹) beyaz baş lahana x 1000 mg kg⁻¹ uygulamalarında görülmüştür. Bu uygulamaları sırasıyla brokoli x 1000 mg kg⁻¹ (170.40 mg kg⁻¹) ve karnabahar x 1000 mg kg⁻¹ (162.20 mg kg⁻¹) uygulamaları takip etmiştir.

Çizelge 4.86. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin çinko (Zn, mg kg⁻¹) içerikleri

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	49.60	46.00	53.00	50.60	49.80b
250	70.80	64.20	68.80	66.60	67.60b
500	102.00	110.60	100.00	91.20	100.95a
1000	137.40	103.20	83.40	108.60	108.15a
Ortalama	89.95	81.00	76.30	79.25	

Tür: ÖD, Doz: p<0.01, Tür x Doz: ÖD

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.86'da görüldüğü gibi ıspanak bitkilerinde çinko içeriği üzerine türlerin etkisinin olmadığı anlaşılmıştır. Yine de en fazla etki brokolide (89.95 mg kg⁻¹) görülmüş, bunu karnabahar (81.00 mg kg⁻¹) ve kırmızı baş lahana (79.25 mg kg⁻¹) izlemiş; beyaz baş lahana ise en düşük çinko içeriği ile (76.30 mg kg⁻¹) sonda yer almıştır.

Çinko dozlarının artması ile ıspanak bitkisindeki çinko konsantrasyonu düzenli bir artış göstermiştir ve uygulamalar kontrole göre yüksek bulunmuştur. En fazla birikim sırasıyla 1000, 500 ve 250 mg kg⁻¹ uygulamalarında gözlemlenmiştir.

Doz x tür interaksyonları istatistiki anlamda önemsiz bulunmuştur. Ancak en büyük çinko içeriği brokoli x 1000 mg kg⁻¹ (137.40 mg kg⁻¹), karnabahar x 500 mg kg⁻¹ (110.60 mg kg⁻¹) ve kırmızı baş lahana x 1000 mg kg⁻¹ (108.60 mg kg⁻¹) uygulamalarında görülmüştür.

4.1.4.2. Ca, K ve Mg içeriği

Araştırmada farklı çinko dozlarının *Brassicaceae* denemesinde bitkilerce Ca alımı üzerine etkileri Çizelge 4.87’de ve ıspanak denemesi bitkilerinin Ca alımı etkinliğine ilişkin bulgular ise Çizelge 4.88’de verilmiştir. Yapılan istatistiki analizlere göre *Brassicaceae* denemesinde türler ve çinko dozları $p<0.01$ düzeyinde, çinko dozu x tür interaksyonu $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Çinkoyla bulaşık topraklarda lahana denemesi için türler, dozlar ve çinko dozu x tür interaksyonları bakımından $p<0.01$ düzeyinde bir önemlilik olduğu ortaya konmuştur.

Çizelge 4.87. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin kalsiyum (Ca, %) içerikleri

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	2.07cd	2.70bc	2.18cd	2.76bc	2.43b
250	2.36b-d	2.78bc	3.12ab	3.59a	2.96a
500	2.44b-d	2.56b-d	2.65bc	2.59bc	2.56b
1000	1.76d	2.19cd	2.37b-d	3.15ab	2.36b
Ortalama	2.16c	2.55b	2.58b	3.02a	

Tür: $p<0.01$, Doz: $p<0.01$, Tür x Doz: $p<0.05$

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey’e göre $p<0.05$ düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.87’deki verilere göre en fazla Ca oranının kırmızı baş lahanada (% 3.02) olduğu belirlenmiştir. Beyaz baş lahana (% 2.58) ve karnabahar (% 2.55) ikinci ortalama grubunda yer alarak kırmızı baş lahanayı izlemiş ve brokoli en son sırada (% 2.16) yer almıştır.

Dozlar bakımından en fazla Ca oranı (% 2.96) 250 mg kg⁻¹ uygulamasında kaydedilmiştir. Bu dozu aynı istatistiki grupta yer alan 500, kontrol ve 1000 mg kg⁻¹ uygulamaları sırayla % 2.56, % 2.43 ve % 2.36 değerleri ile takip etmiştir.

Doz x tür interaksyonu bakımından, en fazla Ca oranı kırmızı baş lahana x 250 mg kg⁻¹ (% 3.59) uygulamasında iken bunu kırmızı baş lahana x 1000 mg kg⁻¹ (% 3.15) uygulaması ve beyaz baş lahana x 250 mg kg⁻¹ (% 3.12) uygulaması takip etmiştir.

Çizelge 4.88. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin kalsiyum (Ca, %) içerikleri

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	1.29i	1.45hi	1.64g	1.50gh	1.47c
250	2.46cd	1.81f	2.66b	2.39d	2.33b
500	2.45d	2.44d	2.80ab	2.89a	2.65a
1000	2.63bc	2.81ab	1.92ef	2.00e	2.34b
Ortalama	2.21a	2.13b	2.26a	2.19a	

Tür: $p<0.01$, Doz: $p<0.01$, Tür x Doz: $p<0.01$

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey’e göre $p<0.05$ düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.88 'e göre ıspanak bitkisinde Ca oranının karnabahar bitkisi hariç diğer türlerde farklı olmadığı bulunmuştur. En yüksek Ca oranına beyaz baş lahana (% 2.26) sahip olurken; brokoli (% 2.21) ve kırmızı baş lahana (% 2.19) bunu izleyen türler olmuştur. En düşük Ca oranı ise karnabaharda (% 2.13) saptanmıştır.

Çinko dozlarının uygulanmasıyla, Ca oranı en fazla % 2.65 ile 500 mg kg⁻¹ uygulamasında belirlenirken bunu aynı grupta yer alan 1000 mg kg⁻¹ (% 2.34) ve 250 mg kg⁻¹ (% 2.33) uygulamaları izlemiştir. En düşük Ca oranına ise farklı ortalama grbunda yer alan kontrol uygulamasında (% 1.47) rastlanılmıştır.

Tür x doz etkileşimini bakımından, en yüksek Ca oranı kırmızı baş lahana x 500 mg kg⁻¹ (% 2.89) uygulamasında iken bunu aynı istatistiki grupta yer alan karnabahar x 1000 mg kg⁻¹ (% 2.81) ve beyaz baş lahana 500 mg kg⁻¹ (% 2.80) uygulamaları takip etmiştir. Diğer kombinasyonlar bunları izlemiştir.

Farklı çinko dozlarının K alımı üzerine etkisine dair *Brassicaceae* denemesi sonuçları Çizelge 4.89'da ve ıspanak denemesi sonuçları Çizelge 4.90'da özetlenmiştir. *Brassicaceae* denemesinde potasyum alımında çinkoya karşı tepki bakımından çinko dozları p<0.05 düzeyinde önemli, türler ve çinko dozu x tür etkileşimi önemsiz bulunmuştur. Ispanak denemesi bitkilerinde potasyum içerikleri türler ve çinko dozları p<0.05 düzeyinde ve çinko dozu x tür etkileşimi p<0.01 düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.89. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin potasyum (K, %) içerikleri

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	0.94	1.18	1.19	1.18	1.12b
250	1.25	1.25	1.18	1.20	1.22a
500	1.16	1.08	1.15	1.16	1.14ab
1000	1.17	1.27	1.15	1.23	1.20ab
Ortalama	1.13	1.19	1.17	1.19	

Tür: ÖD, Doz: p<0.05, Tür x Doz: ÖD

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.89'da görüldüğü üzere *Brassicaceae* türlerinde çinko dozlarının K oranına olan etkisi istatistiki anlamda önemsiz bulunmuştur. Yine de değerlendirme yapılacak olursa en yüksek K içeriği % 1.19 ile kırmızı baş lahana ve karnabaharda bulunmuş, diğer türler daha sonra gelmiştir.

Dozlar bakımından en yüksek K oranı 250 mg kg⁻¹ uygulamasında (% 1.22) elde edilirken, % 1.20 ile 1000 mg kg⁻¹ ve % 1.14 ile 500 mg kg⁻¹ uygulaması bunu izlemiştir. K içeriğinin en düşük olduğu uygulama ise % 1.12 ile kontrol olmuştur.

Doz x tür interaksyonu istatistiki anlamda önemsizdir. Ancak oran olarak karnabahar x 1000 mg kg⁻¹ (% 1.27) en yüksek K oranına sahip olan uygulama olarak dikkat çekmiştir.

Çizelge 4.90. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin potasyum (K, %) içerikleri

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	1.14e	1.37a-c	1.33b-d	1.53a	1.34c
250	1.50ab	1.49ab	1.26c-e	1.22c-e	1.36bc
500	1.54a	1.46ab	1.55a	1.14e	1.42ab
1000	1.38a-c	1.46ab	1.47ab	1.46ab	1.44a
Ortalama	1.39ab	1.44a	1.40ab	1.34b	

Tür: p<0.05, Doz: p<0.05, Tür x Doz: p<0.01

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.90'daki verilere göre ıspanak bitkisinde en fazla K oranına karnabahar türünde (% 1.44) rastlanılmıştır. Beyaz baş lahana (% 1.40) ve brokoli (% 1.39) ikinci ortalama grubunu oluşturarak karnabaharı takip etmiştir. En düşük oran ise kırmızı baş lahanada tespit edilmiştir.

Çinko dozlarının artmasıyla birlikte K oranının da arttığı gözlemlenmiştir. En yüksek K oranı % 1.44 ile 1000 mg kg⁻¹ dozunda olduğu belirlenmiş, bunu % 1.42 ile 500 mg kg⁻¹, % 1.36 ile 250 mg kg⁻¹ ve % 1.34 ile kontrol dozları takip etmiştir.

Doz x tür intreaksiyonu bakımından en yüksek K oranı aynı istatistiki grupta yer alan % 1.55 ile kırmızı baş lahana x 500 mg kg⁻¹, % 1.54 ile brokoli x 500 mg kg⁻¹ ve % 1.53 ile kırmızı baş lahana x kontrol interaksyonlarından elde edilmiştir. Diğer interaksyonlar daha sonra gelmişlerdir.

Farklı çinko dozlarının magnezyum alımına etkisi üzerine *Brassicaceae* denemesindeki bulgular Çizelge 4.91'de ve ıspanak denemesi bulguları da Çizelge 4.92'den görülebilmektedir. *Brassicaceae* denemesinde türler p<0.01 düzeyinde, çinko dozları ve çinko dozu x tür interaksyonları p<0.05 düzeyinde önemli bulunmuştur. Ispanak denemesinde ise türler önemsiz, çinko dozları ve çinko dozu x tür interaksyonları p<0.01 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.91. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin magnezyum (Mg, %) içerikleri

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	0.31f	0.48a-c	0.39b-f	0.59a	0.44ab
250	0.35c-f	0.43b-f	0.45b-e	0.59a	0.45a
500	0.35c-f	0.44b-f	0.41b-f	0.47a-d	0.42ab
1000	0.33ef	0.34d-f	0.40b-f	0.51ab	0.39b
Ortalama	0.33c	0.42b	0.41b	0.54a	

Tür: p<0.01, Doz: p<0.05, Tür x Doz: p<0.05

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.91'e göre *Brassicaceae* türlerinde Mg oranının en yüksek olduğu bitkiler kırmızı baş lahanada (% 0.54) belirlenmiştir. Bu türü aynı istatistiki grupta yer alan % 0.42 ile karnabahar ve % 0.41 ile beyaz baş lahanada takip etmiştir, en az Mg oranı ise % 0.33 ile farklı ortalama grubunda yer alan brokoli bitkilerinde olmuştur.

Çinko dozlarında en fazla Mg oranının elde edildiği uygulama % 0.45 ile 250 mg kg⁻¹ olmuştur. Bu uygulamayı aynı istatistiki grupta yer alan % 0.44 ile kontrol ve % 0.42 ile 500 mg kg⁻¹ uygulamaları izlemiştir. En az Mg oranı (% 0.39) ise 1000 mg kg⁻¹ uygulamasında belirlenmiştir.

Doz x tür interaksyonunda ise en yüksek Mg oranı % 0.59 ile kırmızı baş lahanada x 250 mg kg⁻¹ ve kontrol x 250 mg kg⁻¹ kombinasyonlarında belirlenmiştir. Kırmızı baş lahanada x 1000 mg kg⁻¹ (% 0.51) uygulaması ise bu kombinasyonların hemen ardından gelmiştir. Diğer uygulamalar sonraki sıralara yerleşmişlerdir.

Çizelge 4.92. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin magnezyum (Mg, %) içerikleri

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	0.36e	0.37de	0.43b-e	0.38de	0.38c
250	0.44b-e	0.40c-e	0.48b-d	0.46b-e	0.44b
500	0.47b-e	0.50bc	0.51a-c	0.43b-e	0.48ab
1000	0.62a	0.52ab	0.41b-e	0.45b-e	0.50a
Ortalama	0.47	0.45	0.45	0.43	

Tür: ÖD, Doz: p<0.01, Tür x Doz: p<0.01

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.92'den görüldüğü üzere ıspanak bitkilerinin Mg oranları *Brassicaceae* türlerinde istatistiki anlamda önemsiz bulunmuştur. Yine de değerlendirme yapılacak olursa en yüksek Mg oranı % 0.47 ile brokolide olurken, % 0.45 ile beyaz baş lahanada ve karnabahar bitkileri onu takip etmiştir.

Çinko dozlarının artmasına paralel olarak ıspanak bitkilerinin Mg oranları düzenli bir artış göstermiştir. En yüksek Mg oranının elde edildiği uygulama % 0.50 ile 1000 mg

kg⁻¹ olmuştur. Bu uygulamayı % 0.48 ile 500 mg kg⁻¹ takip etmiştir. Mg miktarı 250 mg kg⁻¹ ve kontrol dozlarında sırasıyla % 0.44 ve % 0.38 olarak belirlenmiştir.

Doz x tür interaksyonunda ise en yüksek Mg oranı brokoli x 1000 mg kg⁻¹ kombinasyonundan (% 0.62) elde edilmiştir. Bu kombinasyonu izleyen karnabahar x 1000 mg kg⁻¹ (% 0.52) ve beyaz baş lahana x 500 mg kg⁻¹ (% 0.51) uygulamaları diğer dikkat çeken diğer interaksyonlar olmuşlardır.

4.1.4.3. Kök Boyu, Yaş ve Kuru Ağırlığı

Araştırmada farklı çinko dozlarının *Brassicaceae* ve ıspanak denemelerindeki kök boylarına etkilerine ilişkin bulgular sırasıyla Çizelge 4.93 ve Çizelge 4.94'ten izlenebilmektedir. *Brassicaceae* denemesinde kök boyları bakımından çinko dozları p<0.05 düzeyinde önemli iken, türler ve çinko dozu x tür interaksyonu önemsiz bulunmuştur. Ispanak denemesinde ise türler, çinko dozları ve çinko dozu x tür interaksyonlarının tamamı p<0.01 düzeyinde önemli oldukları anlaşılmıştır.

Çizelge 4.93. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin kök boyları (cm)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	22.13	20.50	20.10	21.27	21.00a
250	18.13	20.26	17.73	17.26	18.35b
500	18.33	17.93	19.73	17.13	18.28b
1000	17.60	19.36	17.60	17.10	17.91b
Ortalama	19.05	19.51	18.79	18.19	

Tür: ÖD, Doz: p<0.05, Tür x Doz: ÖD

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.93'teki verilere göre *Brassicaceae* türlerinde bitki kök boyu önemli bulunmamıştır. Yine de değerlendirme yapılacak olursa en yüksek kök boyu 19.51 cm ile karnabahar ve 19.05 cm ile brokoli bitkilerinde olmuş, diğer türler daha sonra gelmiştir.

Çinko dozlarının artmasına ters orantılı olarak bitki kök boyları azalma göstermiştir. En yüksek kök boyu kontrol uygulamasında (21.00 cm) olurken bunu istatistiksel olarak aynı grubu oluşturan 250 mg kg⁻¹ (18.35 cm), 500 mg kg⁻¹ (18.28 cm) ve 1000 mg kg⁻¹ (17.91 cm) uygulamaları izlemiştir.

Doz x tür interaksyonları istatistiki anlamda önemsiz bulunmuştur. Yine de değerlendirme yapılmak istenirse, en yüksek kök boyu brokoli (22.13 cm), kırmızı baş lahana (21.27 cm) ve karnabaharın (20.50 cm) kontrolle kombinasyonlarından elde edilmiştir; karnabahar x 250 mg kg⁻¹ (20.26 cm) interaksyonu da dikkat çeken diğer bir kombinasyon olmuştur.

Çizelge 4.94. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin kök boyları (cm)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	16.70b	16.83b	20.10a	17.90ab	17.88a
250	6.63g	9.80ef	11.00d-f	10.30d-f	9.43c
500	12.30cd	11.80c-e	10.90d-f	13.80c	12.20b
1000	9.50f	10.30d-f	11.00d-f	9.00f	9.95c
Ortalama	11.28c	12.18b	13.25a	12.75ab	

Tür: p<0.01, Doz: p<0.01, Tür x Doz: p<0.01

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.94'teki verilere göre, ıspanak bitkisinde en uzun kök boyu, beyaz baş lahanada (13.25 cm) iken; bu türü kırmızı baş lahana (12.75 cm), karnabahar (12.18 cm) ve brokoli (11.28 cm) bitkileri izlemiştir.

Dozlar bakımından en uzun kök boyu 17.88 cm ile kontrol bitkilerinde kaydedilmiştir. Bu uygulamayı 500 mg kg⁻¹ (12.20 cm) dozu takip ederken; aynı istatistiki grupta yer alan 1000 ve 250 mg kg⁻¹ dozları sonraki sırada gelmiştir.

Tür x doz interaksyonda ise en uzun kök boyu 20.10 cm ile beyaz baş lahana x kontrol uygulamasında olurken bu interaksyonu kırmızı baş lahana x kontrol (17.90 cm) izlemiş, diğer kombinasyonlar farklı istatistiki gruplara yerleşerek sonraki sıralarda yer almışlardır.

Brassicaceae denemesinde kök yaş ağırlığı üzerine çinkonun etkileri incelendiğinde türler ve dozların % 5 düzeyinde önemli, tür x doz interaksyonunun önemsiz olduğu belirlenmiştir. Ispanak denemesinde ise türler, dozlar ve tür x doz interaksyonları % 1 düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 4.95 ve Çizelge 4.96).

Çizelge 4.95. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin kök yaş ağırlıkları (g)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	5.00	6.00	7.23	6.50	6.18a
250	4.10	5.66	6.43	5.50	5.42ab
500	4.16	4.66	6.06	4.66	4.89b
1000	4.00	4.83	5.00	4.66	4.62b
Ortalama	4.31b	5.29a	6.18a	5.33a	

Tür: p<0.05, Doz: p<0.05, Tür x Doz: ÖD

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.95'te görüldüğü gibi kök yaş ağırlığı bakımından türler arasında iki farklı ortalama grubu oluşmuştur. En yüksek kök yaş ağırlığını birinci ortalama grubunda yer alan karnabahar, beyaz baş lahana ve kırmızı baş lahana bitkilerinde iken; en düşük kök yaş ağırlığı ikinci ortalama grubundaki brokolidedir.

Çinko dozlarının artmasıyla birlikte kök yaş ağırlığında düzenli azalmalar meydana gelmiştir. En yüksek kök yaş ağırlığı (6.18 g) kontrol bitkisinde görülürken, en düşük kök yaş ağırlığı aynı ortalama grubunda yer alan 500 mg kg⁻¹ (4.89) ve 1000 mg kg⁻¹ (4.62 g) uygulamalarında görülmüştür.

Doz x tür interaksyonları istatistiki anlamda önemsiz bulunmuştur. Yine de değerlendirme yapılmak istenirse, en yüksek kök yaş ağırlığı kırmızı baş lahana x kontrol (7.23 g) ve beyaz baş lahana x kontrol (6.50 g) uygulamalarında olmuştur.

Çizelge 4.96. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin kök yaş ağırlıkları (g)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	1.45a	1.24ab	1.15bc	1.15bc	1.24a
250	0.95cd	1.10bc	0.65ef	0.65ef	0.83b
500	1.03bc	0.65ef	0.55f	0.80de	0.75bc
1000	0.75d-f	0.60ef	0.75d-f	0.70ef	0.70c
Ortalama	1.04a	0.89b	0.77c	0.82bc	

Tür: p<0.01, Doz: p<0.01, Tür x Doz: p<0.01

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.96' daki verilere göre ıspanak bitkisindeki en yüksek kök yaş ağırlığı brokolide (1.04 g) elde edilirken, karnabahar (0.89 g) onu takip etmiştir. Diğer türler farklı ortalama gruplarını oluşturmuş; sıralama kırmızı baş lahana (0.82 g) ve beyaz baş lahana (0.77 g) şeklinde ortaya çıkmıştır.

En yüksek kök yaş ağırlığı kontrolde (1.24 g) olmuş, bu uygulamayı artan çinko dozlarının sırayla izlediği görülmüştür. Buna göre kök yaş ağırlığı 250 mg kg⁻¹'da (0.83 g), 500 mg kg⁻¹'da (0.75 g) ve 1000 mg kg⁻¹'da (0.70 g) olarak belirlenmiştir.

Doz x tür interaksyonuna göre en yüksek kök yaş ağırlığı brokoli x kontrol (1.45 g) ve karnabahar x kontrol (1.24 g) uygulamalarında bulunmuştur.

Farklı çinko dozlarının *Brassicaceae* denemesinde kök kuru ağırlığına etkisi üzerine bulgular Çizelge 4.97'de ve ıspanak denemesindeki kök kuru ağırlığına ilişkin bulgular ise Çizelge 4.98'den görülebilmektedir. *Brassicaceae* denemesinde çinkoya karşı tepki bakımından türler p<0.05 düzeyinde, çinko dozları p<0.01 düzeyinde ve çinko dozu x tür interaksyonu p<0.05 düzeyinde önemli bulunmuştur. Çinkoyla bulaşık topraklarda *Brassicaceae* türlerinin ardından kültüre alınan ıspanak denemesi bitkilerinde kök kuru ağırlıkları türler, çinko dozları ve çinko dozu x tür interaksyonu bakımından p<0.01 düzeyinde önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.97. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin kök kuru ağırlıkları (g)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	1.80ab	1.31b-d	2.09a	1.58bc	1.69a
250	1.03d	1.13cd	1.22cd	1.07d	1.11b
500	1.04d	0.91d	1.19cd	0.91d	1.01b
1000	0.99d	1.00d	0.98d	0.96d	0.98b
Ortalama	1.21ab	1.09b	1.37a	1.13b	

Tür: p<0.05, Doz: p<0.01, Tür x Doz: p<0.05

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.97'deki verilere göre en fazla kök kuru ağırlığı 1.37 g ile beyaz baş lahanada belirlenirken bu türü 1.21 g ile brokoli bitkisi izlemiş ve diğer türler farklı ortalama değerleriyle bu türleri takip etmiştir.

Uygulanan çinko dozlarının artması ile kök kuru ağırlığında düzenli bir azalış meydana gelmiştir. En yüksek kök kuru ağırlığı, 1.69 g ile kontrol bitkilerinde belirlenirken bu uygulamayı 1.11g ile 250 mg kg⁻¹, 1.01 g ile 500 mg kg⁻¹ ve 0.98 g ile 1000 mg kg⁻¹ takip etmiştir.

Tür x doz interaksyonuna bakıldığında en yüksek kök kuru ağırlığı beyaz baş lahana x kontrol interaksyonunda (2.09 g) ortaya çıkmıştır. Bu interaksyonu brokoli x kontrol (1.80 g), kırmızı baş lahana x kontrol (1.58 g) ve karnabahar x kontrol (1.31 g) kombinasyonlarının izlediği belirlenmiştir.

Çizelge 4.98. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin kök kuru ağırlıkları (g)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	0.35a	0.29b	0.28b	0.27b	0.30a
250	0.23cd	0.26bc	0.15e-g	0.16e-g	0.20b
500	0.25bc	0.16e-g	0.13g	0.19de	0.18c
1000	0.18ef	0.14fg	0.18ef	0.17e-g	0.16c
Ortalama	0.25a	0.21b	0.18c	0.19bc	

Tür: p<0.01, Doz: p<0.01, Tür x Doz: p<0.01

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.98'e baktığımızda ıspanak bitkisinde en fazla kök kuru ağırlığı brokolide (0.25 g) iken; bunu karnabahar (0.21 g), kırmızı baş lahana (0.19 g) ve beyaz baş lahana (0.18 g) takip etmiştir.

Uygulanan çinko dozlarının artmasıyla birlikte ıspanak bitkisinde kök kuru ağırlığı azalma göstermiştir. En yüksek kök kuru ağırlığı kontrol (0.30 g) grubunda belirlenirken bu uygulamayı 250 mg kg⁻¹ (0.20 g) takip etmiştir. Aynı istatistiki grupta yer alan 500 mg kg⁻¹ ve 1000 mg kg⁻¹ dozları sırasıyla 0.18 g ve 0.16 g değerleri elde edilmiştir.

Doz x tür interaksyonu bakımından, en yüksek kök kuru ağırlığı brokoli x kontrol (0.35 g) uygulamasında belirlenmiştir. Diğer tüm türlerin kontrol bitkileri ise aynı interaksyon grubuna dahil olarak sonraki en yüksek kök kuru ağırlığını oluşturmuşlardır.

4.1.4.4. Bitki boyu

Çinko dozlarının bitki boyu üzerindeki etkilerini incelemek için yapılan istatistiksel analizlerin değerlendirilmeleri sonucunda, *Brassicaceae* denemesinde türlerin $p<0.01$ düzeyinde ve tür x doz interaksyonlarının $p<0.05$ düzeyinde önemli, çinko dozlarının ise önemsiz olduğu bulunmuştur; Ispanak denemesinde ise türlerin ve dozların $p<0.01$ düzeyinde önemli, tür x doz interaksyonlarının önemsiz olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.99 ve Çizelge 4.100).

Çizelge 4.99. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin bitki boyları (cm)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	26.47a-d	23.44e-h	24.06d-h	27.26a-c	25.31
250	24.90c-f	23.43e-h	21.91gh	28.55ab	24.70
500	26.08d-h	22.40f-h	21.38h	27.03a-c	24.22
1000	24.79c-g	21.43h	22.64f-h	29.02a	24.47
Ortalama	25.96b	22.67c	22.50c	27.96a	

Tür: $p<0.01$, Doz: ÖD, Tür x Doz: $p<0.05$

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre $p<0.05$ düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.99'a göre en yüksek bitki boyu kırmızı baş lahanada (27.96 cm) bulunmuş, brokoli (25.96 cm) onu izlemiştir. Aynı istatistiki grupta yer alan karnabahar (22.67 cm) ve beyaz baş lahanada (22.50 cm) daha sonraki sıralarda yer almışlardır.

Bitki boyu üzerine çinko dozların etkisinin olmadığı anlaşılmıştır. Yine de en yüksek bitki boyunun kontrolde (25.31 cm) olduğu belirlenmiş, bunu 250 mg kg⁻¹ (24.70 cm), 1000 mg kg⁻¹ (24.47 cm) ve 500 mg kg⁻¹ (24.22 cm) dozları takip etmiştir.

Doz x tür interaksyonunda ise en yüksek bitki boyunun (29.02 cm) kırmızı baş lahanada x 1000 mg kg⁻¹ uygulamasında olduğu anlaşılmıştır. Bu interaksyonu kırmızı baş lahanada x 250 mg kg⁻¹ (28.55 cm) interaksyonunun takip ettiği belirlenmiştir. Kırmızı baş lahanada x kontrol (27.26 cm) ve kırmızı baş lahanada x 500 mg kg⁻¹ (27.03 cm) diğer dikkat çeken kombinasyonlar olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.100. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin bitki boyları (cm)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	24.50	25.60	29.50	28.30	26.99a
250	21.30	22.00	23.00	22.30	22.15b
500	20.20	19.60	20.50	20.00	20.07c
1000	18.00	18.50	21.00	21.00	19.62c
Ortalama	21.00b	21.44b	23.50a	22.90a	

Tür: p<0.01, Doz: p<0.01, Tür x Doz: ÖD

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.100'deki verilere göre en yüksek bitki boyunun aynı istatistiki grupta yer alan beyaz baş lahanada (23.50 cm) ve kırmızı baş lahanada (22.90 cm) olduğu belirlenmiştir. Diğerleri daha sonra gelmişlerdir.

Çinko dozları bakımından en yüksek bitki boyu (26.99 cm) kontrolde kaydedilmiştir. Bu dozu 250 mg kg⁻¹ (22.15 cm) takip etmiştir. Aynı istatistiki grupta yer alan 500 ve 1000 mg kg⁻¹ dozlarında sırasıyla 20.07 cm ve 19.62 cm değerleri elde edilmiştir.

Doz x tür interaksyonları istatistiki açıdan önemsiz bulunmuştur. Bununla birlikte en yüksek bitki boyunun beyaz baş lahanada x kontrol (29.50 cm) kırmızı baş lahanada x kontrol (28.30 cm) kombinasyonlarında olduğu tespit edilmiştir.

4.1.4.5. Yaprak Sayısı, Genişliği ve Uzunluğu

Farklı çinko dozlarının yaprak sayısı üzerine etkilerine dair *Brassicaceae* denemesi türlerindeki bulgular Çizelge 4.101'de ve ıspanak denemesindeki bulgular ise Çizelge 4.102'den görülebilmektedir. *Brassicaceae* denemesinde türler ve çinko dozları p<0.01 düzeyinde ve çinko dozu x tür interaksyonu p<0.05 düzeyinde önemli iken; ıspanak denemesi bitkilerinde türler p<0.05 düzeyinde ve dozlar p<0.01 düzeyinde önemli, çinko dozu x tür interaksyonu önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.101. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin yaprak sayısı (adet)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	11.36a-e	12.30ab	11.60a-c	12.66a	11.98a
250	10.33c-e	9.70e	11.50a-d	10.00c-e	10.38b
500	9.70e	9.73e	11.50a-d	10.30c-e	10.30b
1000	10.20c-e	9.86de	12.73a	10.60b-e	10.85b
Ortalama	10.40b	10.40b	11.83a	10.89b	

Tür: p<0.01, Doz: p<0.01, Tür x Doz: p<0.05

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.101'e bakıldığında *Brassicaceae* türlerinde en fazla yaprak sayısı beyaz baş lahanada (11.83 adet) bulunmuş; bu türü istatistiksel olarak aynı grubu oluşturan kırmızı baş lahanada (10.89 adet), brokoli ve karnabahar (10.40 adet) izlemiştir.

Çinko dozları bakımından yaprak sayısı en fazla 11.98 adet ile kontroldir. Bu uygulamayı istatistiksel olarak aynı grupta yer alan 1000 mg kg⁻¹ (10.85 adet), 250 mg kg⁻¹ (10.38 yaprak) ve 500 mg kg⁻¹ (10.30 adet) dozları izlemiştir.

Tür x doz interaksyonu gözlemlerine göre en fazla yaprak sayısının 12.73 adet ile beyaz kırmızı baş lahanaya x 1000 mg kg⁻¹ ve 12.66 adet ile kırmızı baş lahanaya x kontrol uygulamalarında olduğu anlaşılmıştır. Karnabahar x kontrol uygulaması (12.30 adet) daha sonra gelmiş; diğer interaksyonlar ise azalan yaprak uzunluklarıyla bu kombinasyonları izlemişlerdir.

Çizelge 4.102. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak sayısı (adet)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	22.00	22.00	21.00	25.00	22.50a
250	15.00	14.00	13.00	16.00	14.50b
500	14.00	16.00	12.66	15.00	14.41b
1000	14.00	12.00	11.00	12.00	12.25c
Ortalama	16.25a	16.00ab	14.41b	17.00a	

Tür: p<0.05, Doz: p<0.01, Tür x Doz: ÖD

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.102'den bakır bulaşık ve daha önce farklı *Brassicaceae* türlerinin kültüre alındığı ıspanaklarda en fazla yaprak sayısı 17.00 adet ile kırmızı baş lahanada bulunmuş; 16.25 adet ile brokoli, 16.00 adet ile karnabahar ve 14.41 adet ile beyaz baş lahanaya; kırmızı baş lahanayı takip etmişlerdir.

Çinko dozlarına bakıldığında yaprak sayısı en fazla kontrolde (22.50 adet) iken, 250 mg kg⁻¹ (14.50 adet) bunu takip etmiş; aynı istatistiki grupta yer alan 500 mg kg⁻¹ (14.41 adet) ve 1000 mg kg⁻¹ (12.25 adet) daha sonraki sıralara yerleşmişlerdir.

Doz x tür interaksyonları istatistiki anlamda önemsiz bulunmuştur. Bununla birlikte en fazla yaprak sayısına sahip olan uygulamanın kırmızı baş lahanaya x kontrol uygulaması olduğu; brokoli x kontrol ve karnabahar x kontrol kombinasyonlarının da diğer dikkate değer uygulamalar olduğu belirlenmiştir.

Çinko dozlarının *Brassicaceae* ve ıspanak denemesi bitkisinde yaprak genişliği üzerindeki etkilerini incelemek için yapılan istatistiksel analizler sonucunda, *Brassicaceae* denemesinde sadece türlerin p<0.01 düzeyinde önemli olduğu; ıspanak denemesi bitkilerinde türler bakımından p<0.05 düzeyinde, çinko dozları ve doz x tür interaksyonlarında ise p<0.01 düzeyinde önemlilik olduğu saptanmıştır (Çizelge 4. 103 ve Çizelge 4.104).

Çizelge 4.103. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin yaprak genişliği (cm)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	7.94	7.84	11.92	11.50	9.80
250	9.30	8.76	11.33	12.10	10.37
500	9.33	8.66	12.23	11.76	10.50
1000	9.17	8.69	11.49	12.34	10.45
Ortalama	8.96b	8.49b	11.74a	11.92a	

Tür: p<0.01, Doz: ÖD, Tür x Doz: ÖD

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.103 incelendiğinde en fazla yaprak genişliğinin kırmızı baş lahana (11.92 cm) ve beyaz baş lahanadan (11.74 cm) alındığı belirlenmiştir. Ayrı bir istatistiksel grup oluşmasına neden olan brokoli (8.96 cm) ve karnabahar (8.49 cm) türlerinin verileri ise daha düşük bulunmuştur.

Çinko dozları istatistiki değerlendirmeler sonucunda kayda değer veriler vermemişlerdir. Ancak yaprak genişliğinde kontrole göre çinko uygulamalarındaki bitki yaprak genişliklerinde artış olduğu gözlemlenmiştir.

Tıpkı çinko dozları gibi, interaksyonlar da istatistiki anlamda önemsiz bulunmuştur. En fazla yaprak genişliği kırmızı baş lahana x 1000 mg kg⁻¹ (12.34 cm) kombinasyonunda olmuş, genelde kırmızı ve beyaz baş lahana bitkilerinin çinko dozları ile kombinasyonlarında daha geniş yapraklı olduğu kaydedilmiştir.

Çizelge 4.104. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak genişliği (cm)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	6.50e-h	7.33c-f	8.53ab	8.36a-c	7.68a
250	7.50b-e	5.90gh	6.20f-h	6.50e-h	6.52b
500	5.50h	6.00gh	6.20f-h	8.00b-d	6.42b
1000	8.10b-d	9.50a	7.00d-g	6.50e-h	7.77a
Ortalama	6.90b	7.18ab	6.98ab	7.34a	

Tür: p<0.05, Doz: p<0.01, Tür x Doz: p<0.01

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.104'teki verilere göre yaprak genişliği en fazla tür olarak kırmızı baş lahana (7.34 cm) olduğu belirlenmiştir. Bu türü aynı istatistiki grupta yer alan 7.18 cm ile karnabahar ve 6.98 cm ile beyaz baş lahana izlemiş; en düşük yaprak genişliği ile farklı bir grupta brokoli (6.90 cm) son sıraya yerleşmiştir.

Çinko dozlarından 1000 mg kg⁻¹ (7.77 cm) ve kontrol (7.68 cm) birbirine yakın değerler vererek 250 mg kg⁻¹ ve 500 mg kg⁻¹ dozlarına göre daha geniş yaprakların oluşmasında etkili olduğu ortaya çıkarılmıştır.

Yaprak genişliğinde tür x doz interaksyonunda, en fazla değerleri veren kombinasyon karnabahar x 1000 mg kg⁻¹ (9.50 cm) ile farklı bir grupta yer alan beyaz baş lahana x kontrol (8.53 cm) olmuştur. Yine kırmızı baş lahana x kontrol (8.36 cm) ve brokoli x 1000 mg kg⁻¹ (8.10 cm) üzerinde durulması gereken interaksyonlar olarak belirlenmiştir.

Farklı çinko dozlarının *Brassicaceae* denemesi bitkilerinde yaprak uzunluğu üzerine etkisine ilişkin bulgular Çizelge 4.105'ten ve ıspanak denemesi bitkilerindeki yaprak uzunluğu bulguları ise Çizelge 4.106'dan görülebilmektedir. *Brassicaceae* denemesinde çinkoya karşı tepki bakımından sadece türler p<0.01 düzeyinde önemli bulunmuştur. Çinkoyla bulaşık topraklarda *Brassicaceae* denemesi ardından kültüre alınan ıspanak bitkilerinde yaprak uzunlukları türler bakımından önemsiz iken; dozlar p<0.05 ve doz x tür interaksyonları p<0.05 düzeyinde önemli olarak kaydedilmiştir.

Çizelge 4.105. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin yaprak uzunluğu (cm)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	11.07	14.21	14.16	13.48	13.23
250	11.36	14.56	12.36	13.46	12.94
500	11.70	14.10	12.76	13.56	13.03
1000	11.62	14.32	12.91	13.03	12.97
Ortalama	11.44c	14.30a	13.05b	13.38b	

Tür: p<0.01, Doz: ÖD, Tür x Doz: ÖD

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.105'teki verilere göre en fazla yaprak uzunluğunun karnabaharda (14.30 cm) olduğu belirlenmiştir. Kırmızı baş lahana (13.38 cm) beyaz baş lahana (13.05 cm) sonraki grupta yer alarak bunu izlemiş; brokoli en son sırada (11.44 cm) gelmiştir.

Yaprak uzunluğu üzerine çinko dozların etkisini olmadığı anlaşılmıştır. Yine de en fazla yaprak uzunluğunun kontrolde (13.23 cm) olduğu belirlenmiş, bunu 500 mg kg⁻¹ (13.03 cm), 1000 mg kg⁻¹ (12.97 cm) ve 250 mg kg⁻¹ (12.94 cm) dozları takip etmiştir.

Tür x doz interaksyonu da istatistiki olarak önem arz etmese de, en fazla yaprak uzunluğunun belirlendiği karnabahar x 250 mg kg⁻¹ (14.56 cm) interaksyonu ile en düşük yaprak uzunluğunun elde edildiği brokoli x kontrol (11.07 cm) kombinasyonu arasında belirli bir farkın olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4.106. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak uzunluğu (cm)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	10.50ab	10.40ab	11.00ab	10.00ab	10.47
250	10.00ab	10.20ab	9.90ab	9.30b	9.85
500	9.00b	11.00ab	9.50b	11.00ab	10.12
1000	9.30b	12.00a	9.30b	9.00b	9.90
Ortalama	9.70b	10.90a	9.92b	9.82b	

Tür: ÖD, Doz: p<0.05, Tür x Doz: p<0.05

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.106'a bakıldığında ıspanak bitkisi yaprak uzunluğu en fazla karnabaharda (10.90 cm) olmuştur. Bu türü aynı istatistiki grupta yer alan beyaz baş lahana (9.92 cm), kırmızı baş lahana ve brokoli (9.70 cm) takip etmiştir.

Çinko dozlarında yaprak uzunluğu üzerine istatistiksel anlamda önem arz eden sonuçlara ulaşılamadığı anlaşılmıştır. Ancak en fazla yaprak uzunluğu kontrol uygulamasında (10.47 cm) saptanmış; bunu 500 mg kg⁻¹ (10.12 cm), 1000 mg kg⁻¹ (9.90 cm) ve 250 mg kg⁻¹ (9.85 cm) dozları takip etmiştir.

Doz x tür interaksyonu bakımından 12.00 cm ile yaprak uzunluğu ile karnabahar x 1000 mg kg⁻¹ uygulaması ilk sırada gelmiş, diğer kombinasyonlar farklı istatistiki gruplara yerleşerek sonraki sıralarda yer bulmuşlardır.

4.1.4.6. Yaprak Yaş ve Kuru Ağırlığı

Farklı çinko dozlarının yaprak yaş ağırlığı üzerine etkilerine dair *Brassicaceae* denemesi türlerindeki bulgular Çizelge 4.107'den ve ıspanak denemesindeki bulgular ise Çizelge 4.108'den görülebilmektedir. *Brassicaceae* denemesinde türler p<0.01 düzeyinde ve çinko dozları p<0.05 düzeyinde önemli iken, tür x doz interaksyonunun önemsiz çıkmıştır. Ispanak denemesinde ise türlerin, dozların ve tür x doz interaksyonlarının p<0.01 düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir

Çizelge 4.107. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin yaprak yaş ağırlıkları (g)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	28.76	43.46	56.96	55.06	46.06a
250	28.93	32.13	46.06	50.50	39.40b
500	29.53	31.46	44.26	46.70	37.99b
1000	28.93	32.36	44.53	49.30	38.78b
Ortalama	29.04c	34.85b	47.95a	50.39a	

Tür: p<0.01, Doz: p<0.05, Tür x Doz: ÖD

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.107'den en fazla yaprak yaş ağırlığının aynı istatistiki grubu paylaşan kırmızı baş lahanada (50.39 g) ve beyaz baş lahanada (47.95 g) olduğu izlenebilmektedir. Bunu sırasıyla karnabahar (34.85 g) ve brokoli (29.04 g) takip etmiştir.

Çinko dozların bakımından yaprak yaş ağırlığı en fazla kontrolde (46.06 g) iken, bu uygulamayı istatistiksel olarak aynı grubu oluşturan 250 mg kg⁻¹ (39.40 g), 1000 mg kg⁻¹ (38.78 g) ve 500 mg kg⁻¹ (37.99 g) izlemiştir.

Doz x tür interaksyonları istatistiki anlamda önemsiz bulunmuştur. Bununla birlikte en fazla yaprak yaş ağırlığına sahip olan uygulamanın beyaz baş lahana x kontrol uygulaması olduğu; kırmızı baş lahana x kontrol, kırmızı baş lahana x 250 mg kg⁻¹ ve kırmızı baş lahana x 1000 mg kg⁻¹ kombinasyonlarının da diğer dikkate değer uygulamalar olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.108. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak yaş ağırlıkları (g)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	44.83a	41.30b	37.50c	40.50bc	41.03a
250	18.25gh	21.10e-g	20.50fg	21.30ef	20.28c
500	25.66d	19.70fg	24.50d	23.80de	23.41b
1000	25.10d	21.20e-g	16.50h	19.20f-h	20.50c
Ortalama	28.46a	25.82bc	24.75c	26.20b	

Tür: p<0.01, Doz: p<0.01, Tür x Doz: p<0.01

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre p<0.05 düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.108'deki verilere dikkatlice bakıldığında ve yapılan istatistiksel analizlerin değerlendirilmesi sonucunda en fazla yaprak yaş ağırlığı brokoliden (28.46 g) elde edildiği saptanmış; denemeye konu olan diğer ıspanak bitkilerinden kırmızı baş lahana (26.20 g), karnabahar (25.82 g) ve beyaz baş lahana (24.75 g) daha sonraki sıralarda yer bulmuşlardır.

Çinko dozları bakımından en fazla yaprak yaş ağırlığının, 41.03 g ile kontrol uygulamasında olduğu görülebilmektedir. Kontrol uygulamasını 23.41 g ile 500 mg kg⁻¹ çinko dozu takip etmiştir. Yaprak yaş ağırlığında aynı istatistiki grupta yer alarak bunlardan farklılık gösteren ve sırasıyla 20.50 ve 20.28 g değerleri ile 1000 ve 250 mg kg⁻¹ dozları ise sonraki sıraları oluşturmuştur.

Yaprak yaş ağırlığı özelliğinde tür x doz interaksyonunda, en fazla değerleri veren kombinasyon brokoli x kontrol (44.83 g) ile farklı bir grupta yer alan karnabahar x kontrol (41.30 g) olmuştur. Yine kırmızı baş lahana x kontrol (40.50 g) ve beyaz baş lahana x kontrol (37.50 g) ve üzerinde durulması gereken interaksyonlar olarak belirlenmiştir.

Çinko dozlarının *Brassicaceae* türleri ve ıspanak bitkisinde yaprak kuru ağırlığı üzerindeki etkilerini incelemek için yapılan istatistiksel analizler sonucunda, *Brassicaceae*

denemesinde türlerin ve dozların $p<0.01$ düzeyinde, çinko dozu x tür interaksiyonlarının ise $p<0.05$ düzeyinde önemli oldukları tespit edilmişlerdir. Ispanak denemesinde ise tür, doz ve tür x doz interaksiyonlarının tümünün $p<0.01$ düzeyinde önemli oldukları hesaplanmıştır (Çizelge 4.109 ve Çizelge 4.110).

Çizelge 4.109. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin yaprak kuru ağırlıkları (g)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	13.78a	8.44bc	11.07ab	9.64bc	10.73a
250	9.17bc	7.88bc	8.31bc	9.50bc	8.71b
500	9.19bc	6.58c	7.98bc	9.34bc	8.27b
1000	9.01bc	7.36c	7.91bc	9.36bc	8.41b
Ortalama	10.28a	7.56c	8.82bc	9.46ab	

Tür: $p<0.01$, Doz: $p<0.01$, Tür x Doz: $p<0.05$

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre $p<0.05$ düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.109'a bakıldığında en fazla yaprak kuru ağırlığının brokolide (10.28 g) olduğu görülmektedir. Brokolinin ardından 9.46 g ile kırmızı baş lahana gelmektedir. Yaprak kuru ağırlığında sırasıyla beyaz baş lahana ve karnabahar 8.82 g ve 7.56 g'lık değerlerle sonraki sıralarda yer almışlardır.

Çinko dozların bakımından yaprak kuru ağırlığı en fazla kontrolde (10.73 g) olduğu belirlenmiştir. Bunu sırasıyla aynı grupta yer alan 250 mg kg⁻¹ (8.71 g), 1000 mg kg⁻¹ (8.41 g) ve 500 mg kg⁻¹ (8.27 g) izlemiştir.

Tür x doz interaksiyonunda ise lahana bitkilerinde en fazla yaprak kuru ağırlığının 13.78 g ile brokoli x kontrol uygulamasında olduğu anlaşılmıştır. Beyaz baş lahana x kontrol uygulaması (11.07 g) daha sonra gelmiş; diğer interaksiyonlar ise azalan yaprak uzunluklarıyla bu kombinasyonları izlemişlerdir.

Çizelge 4.110. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin yaprak kuru ağırlıkları (g)

Dozlar mg kg ⁻¹	Türler				Ortalama
	Brokoli	Karnabahar	Beyaz Baş Lahana	Kırmızı Baş Lahana	
0	3.82c	4.34b	4.22b	5.21a	4.40a
250	1.45f-h	1.50e-g	1.30hi	1.74d	1.49c
500	1.64de	1.60d-f	1.65de	1.63de	1.63b
1000	1.65de	1.55e-g	1.23i	1.40g-i	1.45c
Ortalama	2.14c	2.24b	2.10c	2.49a	

Tür: $p<0.01$, Doz: $p<0.01$, Tür x Doz: $p<0.01$

Harflerle gruplandırılan ortalamalar arasında, Tukey'e göre $p<0.05$ düzeyinde fark vardır.

Çizelge 4.110'a bakıldığında yaprak kuru ağırlığı en fazla tür olarak kırmızı baş lahana (2.49 g) ve karnabahar (2.24 g) olduğu görülmektedir. Bu türleri aynı istatistiki grupta yer alan brokoli (2.14 g) ve beyaz baş lahana (2.10) izlemiştir.

Çinko dozları bakımından en fazla yaprak kuru ağırlığının elde edildiği uygulama 4.40 g ile kontrol olmuştur. Bu uygulamayı 1.63 g ile 500 mg kg⁻¹ takip etmiştir. Yaprak kuru ağırlığında aynı istatistiki grupta yer alan 250 ve 1000 mg kg⁻¹ dozları sırasıyla 1.49 g ve 1.45 g'lık değerlerle sonraki sıralarda yer almışlardır.

Tür x doz interaksyonunda en fazla yaprak kuru ağırlığı kırmızı baş lahana x kontrol (5.21 g) kombinasyonunda bulunmuştur. Bu interaksyonu aynı istatistiki grupta yer alan karnabahar x kontrol (4.34 g) ve beyaz baş lahana x kontrol (4.22 g) uygulamalarının takip ettiği belirlenmiştir. Diğer interaksyonlar daha sonra gelmiştir.

4.1.4.7. Tolerans İndeksi

Çinkoyla bulaşık topraklarda kültüre alınan brokoli, karnabahar, beyaz baş lahana ve kırmızı lahana fitoremediasyon performanslarını belirleyebilmek (Çizelge 4.111) ve bu performanslarını kurulan ıspanak denemesinde kültüre alınan bitkilerle sürdürüp sürdüremediklerini anlayabilmek (Çizelge 4.112) amacıyla kümülatif tolerans indeks değerlerine baş vurulmuştur.

Çizelge 4.111. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen *Brassicaceae* denemesinde, bitkilerin tolerans indeksleri

Türler	Zn	Ca	K	Mg	KB	KYA	KKA	BB	YS	YG	YU	YYA	YKA	Ort
Brokoli	5.82	1.18	0.98	1.06	0.93	0.85	0.66	0.94	1.02	0.98	0.92	0.84	0.80	1.31
Karnabahar	4.66	1.04	1.20	1.08	0.86	0.86	0.67	0.97	0.91	1.13	1.03	1.01	0.75	1.24
Beyaz lahana	3.75	0.95	1.01	0.88	0.95	0.88	0.83	0.97	0.85	1.08	1.01	0.80	0.90	1.14
Kırmızı lahana	5.72	0.98	1.02	0.81	0.87	0.77	0.71	0.99	0.87	0.98	0.95	0.82	0.97	1.27

Çizelge 4.112. Çinko bulaşık topraklarda yürütülen ıspanak denemesinde, bitkilerin tolerans indeksleri

Türler	Zn	Ca	K	Mg	KB	KYA	KKA	BB	YS	YG	YU	YYA	YKA	Ort
Brokoli	1.44	1.38	1.06	1.06	0.66	0.67	0.66	0.80	0.69	0.82	0.90	0.66	0.50	0.87
Karnabahar	1.81	1.71	1.22	1.31	0.68	0.72	0.72	0.86	0.74	1.06	0.92	0.63	0.56	1.00
Beyaz lahana	1.76	1.47	1.05	1.21	0.72	0.72	0.73	0.84	0.73	0.98	1.05	0.63	0.52	0.95
Kırmızı lahana	1.59	1.47	0.92	1.11	0.66	0.78	0.78	0.80	0.67	0.91	1.00	0.63	0.47	0.91

Çinkoyla bulaşık topraklarda kültüre alınan türlerden kümülatif tolerans indeksi değerlerine göre *Brassicaceae* denemesinde brokolinin diğer türlerle karşılaştırıldığında daha üstün olduğu görülmektedir. Ancak brokolinin bu üstünlüğü ıspanak denemesinde tekrar etmemiş, ilk sıraya karnabaharın yerleştiği görülmüştür. Durumu daha iyi analiz edebilmek amacıyla her iki denemenin ortalama kümülatif tolerans indeks değerlerine bakıldığında; 1.090 ile karnabaharın önde olduğu anlaşılmaktadır.

4.2. Tartışma

4.2.1. Bakır (Cu)

Araştırmada yürütülen *Brassicaceae* ve ıspanak denemelerinde artan bakır dozlarına bağlı olarak bitkilerin bakır içeriklerinin giderek arttığı belirlenmiştir. *Brassicaceae* denemesinde karnabahar ve kırmızı baş lahananın diğerlerinden daha fazla bakır içerdiği bulunmuş; bu durum ıspanak denemesinde istatistiki olarak önem arz etmese de karnabahar ve brokoli şeklinde değişmiştir. Bu sonuçlardan özellikle yüksek bakır dozlarına (150 ve 300 mg kg⁻¹) bakıldığında karnabaharın diğer *Brassicaceae* türlerine göre daha çok bakır biriktirme kabiliyetinde olduğu söylenebilir. Denemede bakır içeriklerinin kontrol haricindeki *Brassicaceae* bitkilerinde 2.40 ile 9.20 mg kg⁻¹ ve ıspanak bitkilerinde 14.00 ile 17.50 mg kg⁻¹ arasında olduğu belirlenmiştir. Bitkilerdeki bakır içeriği ile ilgili denememizde elde edilen bulgular daha önceki araştırmalarla karşılaştırıldığında türlere göre değişiklikler göstermektedir. Bakır, canlılar için önemli ve gerekli bir elementtir, fakat belirli sınırların üzerine çıktığında bitkide olumsuz etkiler görülmektedir (Yaşar, 2009). Toprakta 100 mg kg⁻¹, bitki kuru maddesinde ise 15-30 mg kg⁻¹'den fazla bakır toksik etkilidir (Asri ve Sönmez, 2006). Çalışmamızda toprağa uygulanan 150 ve 300 mg kg⁻¹ bakır dozları belirtilen miktarların üzerindedir. *Brassicaceae* denemesi bitkilerinin bakır alımlarının, ıspanak bitkilerinden daha az oldukları görülmektedir. Literatürle karşılaştırıldığında, denemede kullanılan türlerin bakır alımlarının bir çok bitki ile uyumlu olduğu ancak bazıları ile örtüşmediği söylenebilir. *Brassicaceae* türlerinin bakır toleransının diğer bitkilere göre yüksek olmasından hareketle kurulan denemede bakırın artan dozlarda uygulanması hint hardalı (*B. juncea*), şalgam (*B. rapa*) ve kolza (*B. napus*) bitki kök ve sürgünlerindeki bakır konsantrasyonu alımını arttırmış; köklerin sürgünlere göre daha fazla bakır biriktirdiği belirlenmiştir. Bakır konsantrasyonu türlere göre sürgünlerde 30 mg kg⁻¹ köklerde türlere göre 750 ve 100 mg kg⁻¹ arasında değişmiştir. En yüksek değerlere *B. juncea*'da ulaşılmıştır. Türlerin bakırı biriktirme kabiliyetlerinin değişmesi bitkilerle iyileştirme çalışmalarında kullanılabilme potansiyellerinin olduğunu göstermiştir (Ebbs ve Kochian, 1997). Bakırın bitkilerde fotosentezde rol alması, enzimlerin bileşimine girmesi, üreme sistemine dahil olarak verim ve kaliteyi etkilemesiyle önemli bir element olduğu ifade edildiği bir raporda *Brassicaceae* türü olan hint hardalı (*B. juncea*) için bitki dokularındaki bakır toksisite eşiğinin 5-20 mg kg⁻¹ olduğu bildirilmektedir (Vamerali ve ark., 2010). Kolza (*B. napus*) ile yürütülen bir denemede 600 mg kg⁻¹ bakır dozu kullanıldığında yapraktaki Cu içeriklerinin köklerde 4.8,

gövdelerde 8.89 ve yaprakta 12.04 mg kg⁻¹ olduğu kaydedilmiştir (Rossi ve ark., 2002). Çin lahanası (*Brassica pekinensis*) ile yürütülen bir denemede 4 mg kg⁻¹ Cu uygulamasındaki bitkilerin kontrol uygulamasındaki bitkilere göre daha fazla bakır aldıkları; Cu konsantrasyonlarının sürgünlerde 118.4 4 mg kg⁻¹ ve köklerde 9578.8 mg kg⁻¹ düzeylerine ulaştığı bildirilmektedir (Xiong ve ark., 2002). Çin lahanasının (*Brassica pekinensis*) kontrol, 0.008, 0.031, 0.125, 0.500 ve 2.000 mM l⁻¹ bakır konsantrasyonlarına tepkileri merak edilen bir çalışmada, sürgün Cu içeriklerinin 0.2 ve 1.0 mM kg⁻¹ dozlarında sırasıyla 43 ve 119 mg kg⁻¹ kadar yükseldiği görülmüştür (Xiong ve Wang, 2005). Diğer bir denemede ise üç *Brassica* türünün lahana (*B. oleracea*), habeş hardalı (*B. carinata*) ve hint hardalı (*B. juncea*) bakır alımları karşılaştırılan bir denemede, en yüksek bakır *B. oleracea* bitkilerinde bulunmuş (8.34 mg kg⁻¹ kuru ağırlık) ve fitoekstraksiyon için diğerlerine göre daha iyi olduğu belirlenmiştir (Gisbert ve ark., 2006). Türler göre bakır alım kabiliyetlerinin değişebildiğini gösteren bir başka denemede ise *Brassica juncea* (22.4 mg kg⁻¹)'nın; *Brassica campestris* (14.2 mg kg⁻¹), *Brassica nigra* (10.1 mg kg⁻¹), *Brassica carinata* (8.6 mg kg⁻¹) ve *Brassica napus* (6.1 mg kg⁻¹)'tan daha başarılı olduğu belirtilmektedir (Purakayastha ve ark., 2008). Beyaz baş lahananın (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*) toprakta bulunan bakırı alma potansiyelinin ölçüldüğü bir denemede yapraktaki bakır kapsamının 13.90 mg kg⁻¹ olduğu belirlenmiştir (Radulescu ve ark., 2013). Bakıra maruz kalan tilki üzümü (*Solanum nigrum*) bitkilerinin 200 µmol l⁻¹ uygulamasında Cu içeriği, kontrol bitkilerine kıyasla sırasıyla 1.70 (5.66 mg kg⁻¹) ve 1.65 (5.48 mg kg⁻¹) katı olduğu bildirilmektedir (Fidalgo ve ark., 2013). *B. napus* ve *B. juncea* bitkilerinin, hidroponik olarak 10, 25 ve 50 µM bakır stresi altında 14 günlük bir yetiştiriciliğin ardından kontrole göre artan bakır uygulamalarının her iki türdeki bakır içeriklerini arttırdığı saptanmış; bu değerler 50 µM bakır uygulanan *B. napus*'da 82.01 ve *B. juncea*'da 88.29 mg kg⁻¹ olmuştur (Feigl ve ark. 2015). Diğer yandan bir *Brassicaceae* türü olan *Brassica juncea* bitkisinde bakır içerikleri 100 mg kg⁻¹ uygulamasında 5.21 mg kg⁻¹ ve 200 mg kg⁻¹ uygulamasında 8.46 mg kg⁻¹ bulunmuştur (Cu, 2015). Yapılan bir çalışmada toprağa 200 mg kg⁻¹ Cu bulaştırılması durumunda andız otunun (*Inula helenium*) 1.27 mg kg⁻¹, fener otunun (*Physalis angulata*) 53.3 mg kg⁻¹ ve sığır kuyruğunun (*Verbascum thapsus*) 49.8 mg kg⁻¹ alım yaptığı rapor edilmektedir (Eren ve Mert, 2017). Bakır kapsamı yüksek topraklarda bitkilerin bakır konsantrasyonlarının arttığı, bitkilerdeki bakır alım kabiliyetlerinin türlere göre değiştiği ve bunun fitoremediasyon amaçlı kullanımı yönündeki tüm bu görüşler çalışmamızdaki hipotezi doğrular niteliktedir.

Metal toksisitesi bitkilerin diğer bazı besin elementi alımlarını da etkileyebilmektedir. Bu amaçla Ca, K ve Mg içerikleri de incelenen bakırla yürütülen denemeye ait elde edilen bulgular aşağıda toparlanmaya çalışılmıştır. *Brassicaceae* denemesinde artan bakır dozlarının bitkilerdeki Ca içeriği üzerine etkisi istatistiki anlamda önemsiz iken, ıspanak denemesinde anlamlı bir önemlilik içerisinde olmadığı belirlenmiştir. *Brassicaceae* denemesinde bakır dozlarının Ca alımı üzerine etkisi, en fazla kırmızı baş lahanada iken; ıspanak denemesinde kontrol dışındaki dozlar bazındaki interaksiyon değerlerine bakıldığında sadece 300 mg kg⁻¹ dozunda karnabaharın önde geldiği görülmektedir. Araştırmada kontrol göz ardı edildiğinde bitkilerin Ca içeriklerinin, *Brassicaceae* denemesinde % 1.92 il 3.36 mg kg⁻¹ arasında ve ıspanak denemesinde % 1.55 ile 2.62 arasında değiştiği kayıt altına alınmıştır. *Brassicaceae* ve ıspanak denemelerinde potasyum alımının bakır dozlarındaki artışa bağlı olarak yükseldiği ortaya çıkarılmıştır. *Brassicaceae* denemesinde türlerin K alımına etkisi birbirinden farklı bulunamamış; ıspanak denemesinde ise karnabahar toprağında yetiştirilen ıspanak bitkilerinin daha çok K alımı yaptığı saptanmıştır. İnteraksiyon değerleri üzerinden gidilerek *Brassicaceae* denemesi için K alım değerleri % 1.17-1.62 arasında ve ıspanak denemesinde % 0.94-1.38 arasında bulunmuştur. *Brassicaceae* denemesinde bakır dozları arttıkça magnezyum alımının yükseldiği; ıspanak denemesinde ise bakır dozları arttıkça Mg alımında düzensizlik olduğu yine de dozlarda kontrolden fazla Mg içeriğine ulaşıldığı belirlenmiştir. Bitkilerin Mg alımında *Brassicaceae* denemesinde kırmızı baş lahananın; ıspanak denemesinde beyaz baş lahana ve karnabaharın diğerlerine göre daha çok etkisi olduğu saptanmıştır. Araştırmamızda ıspanak denemesindeki K alımı hariç; önemli veya önemsiz olduklarına bakılmaksızın artan bakır konsantrasyonları ile Ca, K ve Mg alımlarında pozitif bir ilişki olduğu söylenebilir. Bu makro elementlerin alımında *Brassicaceae* denemesinde kırmızı baş lahana ve ıspanak denemesinde ise karnabahar dikkat çekmektedir. Bir başka ifade ile bakır stresi ortamında yetişen bitkilerde diğer besin elementlerinin alımında bitki türlerinin etkileri değişmektedir. Üzerinde durulması gereken diğer bir konu ise türler kadar bu türlerin alınan besinleri farklı organlarda iletme ve biriktirme mekanizmalarının farklılaşmasıdır. Literatürdeki çalışmalara bakıldığında benzer çalışmaların olduğunu görmek mümkündür. Cook ve ark. (1997) fasulyede (*Phaseolus vulgaris*) Cu toksisitesi altında (0.5-160.5 uM) yetiştirilen bitkilerde bile köklerde Ca, yapraklarda K ve Mg içeriği arasında pozitif, yaprak ve gövdelerdeki Ca konsantrasyonları arasında negatif bir korelasyon bulunduğunu bildirmektedirler. Çin lahanası (*Brassica pekinensis*) kullanılan bir denemede köklerdeki kalsiyum içeriğinin

gövdedekilerden çok daha fazla olduğu belirlenmiştir. Kontrole karşılaştırıldığında köklerdeki kalsiyum içerikleri önce artmış, sonra düşmüş; sürgünlerde ise artış göstermiştir. Köklerdeki bakır içeriği kontrolde 447.1 mg kg^{-1} iken 1 mg kg^{-1} bakır uygulamasında 611.8 mg kg^{-1} ve 4 mg kg^{-1} uygulamasında 392.3 mg kg^{-1} olurken, bu değerler sürgünlerde sırasıyla 52.4, 59.7 ve 49.6 şeklinde gerçekleşmiştir. Mg içerikleri ise kök ve sürgünlerin her ikisinde de kontrole göre artış eğiliminde olmuştur. Köklere uygulanan 0, 1 ve 4 mg kg^{-1} bakır dozlarındaki bitkilerde Mg içerikleri sırasıyla 473.5, 471.8 ve 478.9 mg kg^{-1} ve sürgünlerde 49.0, 53.2 ve 55.8 mg kg^{-1} şeklinde gerçekleşmiştir. Kök ve sürgünlerdeki K içeriklerinde ise düşük bakır konsantrasyonlarında artış ama doz yükledikçe düşüşler görülmüştür. Bu değerler 0, 1 ve 4 mg kg^{-1} bakır uygulanan bitkilerin köklerinde sırasıyla 454.6, 573.2 ve 357.9 mg kg^{-1} iken; sürgünlerde 51.9, 61.5 ve 35.7 0, 1 ve 4 mg kg^{-1} şeklinde ölçülmüştür (Xiong ve ark., 2002). Martins ve ark. (2006) 'na göre domateste (*Lycopersicon esculentum*) artan bakır konsantrasyonları ile bitkilerde başta kalsiyum olmak üzere bazı mineral maddelerin alımının etkilendiğini söylemektedirler.

Çalışmada kök özellikleri üzerine (*Brassicaceae* denemesindeki kök yaş ve kuru ağırlıkları dışında) artan bakır dozlarının etkisinin olumsuz olduğu gözlenmiş; tüm özelliklerde özellikle ıspanak denemesinde düşüşler olduğu kaydedilmiştir. Kök boyu için *Brassicaceae* denemesinde kırmızı baş lahana, ıspanak denemesinde beyaz baş lahana ve kırmızı baş lahana; kök yaş ve kuru ağırlıkları için *Brassicaceae* denemesinde kırmızı baş lahana ve beyaz baş lahana, ıspanak denemelerinde ise brokoli ve karnabahar önde gelen türler olmuştur. Denemede bitki boyları *Brassicaceae* denemesinde dozlardan etkilenmemiş, ıspanak denemesinde artan bakır dozlarına bağlı olarak düşüşler yaşanmıştır. *Brassicaceae* denemesinde en uzun bitkilere kırmızı baş lahana türünde rastlanmıştır; yine ıspanak denemesinde kırmızı baş lahana toprağında yetiştirilen ıspanak bitkileri daha uzun boylu olmuşlardır. Yaprak sayısı bakır dozları yükseldikçe *Brassicaceae* denemesinde (300 mg kg^{-1} dışında) ve ıspanak denemesinde azalmıştır. *Brassicaceae* denemesinde interaksiyon değerleri baz alındığında, 300 mg kg^{-1} dozunda en yüksek değere ulaşılan kırmızı baş lahananın önemli olduğu ancak tüm dozlar bakımından beyaz baş lahananın da dikkat çektiği görülebilmektedir. ıspanak denemesinde yaprak sayısı bakımından türler arasındaki farklılıklar anlaşılamamıştır. Yaprak genişliğinde dozlar *Brassicaceae* denemesinde önemsiz çıkmış; ıspanak denemesinde önemlilik olmasına rağmen istikrarlı bir yorumlama yapılamamıştır. Yaprak genişliğinde *Brassicaceae* denemesindeki türlerden kırmızı baş lahana ve beyaz baş lahana diğerlerine göre daha iyi bulunmuş; ıspanak denemesinde interaksiyon değerleri üzerinden

gidildiğinde ve özellikle yüksek dozlar olan 150 ve 300 mg kg⁻¹ dozlarına bakıldığında beyaz baş lahana ve kırmızı baş lahananın daha üstün oldukları anlaşılmıştır. Yaprak uzunluğunda *Brassicaceae* denemesinde artan bakır dozlarına bağlı olarak önemsiz de olsa bir azalma söz konusu iken; ıspanak denemesinde 300 mg kg⁻¹ dozu dışında bu düşüş tekrarlanmıştır. *Brassicaceae* denemesi için kırmızı baş lahana ve karnabahar önde gelmiş; ıspanak denemesinde interaksiyon değerleri üzerinden yapılan yorumla bu türler aralarına brokoliyi de alarak öncelikte olma durumlarını tekrarlamışlardır. Yaprak yaş ağırlığında gerek *Brassicaceae* ve gerekse ıspanak denemelerinde artan bakır dozlarına bağlı olarak değerlerde düşme olduğu görülmektedir. *Brassicaceae* denemesi için kırmızı baş lahananın ve ıspanak denemesi için brokolinin ilk sıralara yerleştiği görülmektedir. Yaprak kuru ağırlığı için artan bakır dozları *Brassicaceae* ve ıspanak denemelerinde düşüşe neden olduğu belirlenmiştir. Yaprak kuru ağırlığında *Brassicaceae* denemesi için kırmızı baş lahana ve beyaz baş lahana diğer türlere göre üstün iken; ıspanak denemesi için sadece kırmızı baş lahana daha iyi bulunmuştur. Araştırmamızda bitki büyüme ve gelişmesi özelliklerinin çoğunluğunda, artan bakır uygulamalarının olumsuz etkilerinin olduğu ve bakırın bu özellikleri sınırlandırdığı saptanmıştır. Bakırın bitki büyümesi ve gelişmesini kısıtlayıcı etkileri bir çok bitki türü ile yürütülen daha önceki çalışmalarda da rapor edilmektedir. Bakır dozlarındaki artışla birlikte kök büyümesini ve gelişmesinin ve dolayısıyla kök boyu, kök yaş ve kuru biyomasını azalttığına ilişkin bulgular karahasanothu (*Agrostis capillaris*)’te Wainwright ve Woolhouse (1977); *Brassicaceae* türlerinden B. rapa, B. juncea ve B. napus’ta Ebbs ve Kochian (1997); fare kulağı teresi (*Arabidopsis thaliana*)’da Beak ve ark. (2012); yonca (*Medicago sativa*)’da Aydınalp ve ark., (2009); ayçiçeğinde (*Helianthus annuus*) Chaves ve ark., (2011); patlıcan (*Solanum nigrum*)’da Fidalgo ve ark., (2013); enginarda (*Cynara scolymus*) Batır (2014) tarafından yapılan çalışmalarda yer almaktadır. Buna karşılık kök gelişmesinin artan bakır dozları ile arttığına; 0, 20, 40, 60 ve 80 mg kg⁻¹ Cu dozuna maruz kalan bezelye (*Pisum sativum*) bitkilerinde köklerin kontrole bitkilerine göre daha fazla büyüme gösterdiğine dair (Kunjam ve ark., 2015) verilere de rastlanmıştır. Toprağa uygulanan bakır dozlarının arttırılmasıyla araştırmamıza konu olan brokoli, karnabahar, beyaz baş lahana, kırmızı baş lahana ile birlikte ikinci denemedeki ıspanak bitkilerinin yaprak sayısı, yaprak genişliği, yaprak uzunluğu, yaprak yaş ve yaprak kuru ağırlıklarında azalmalar olduğu saptanmıştır. Daha önceki çoğu literatür bildirişlerine göre bakır dozlarının arttırılmasının, bitkilerde üst aksam biyomaslarında da ket vurucu bir etkiye neden olduğu vurgulanmaktadır. Uygulanan bakır konsantrasyonu artıkça bitkilerin boylarının kısaldığı ayçiçeğinde

(*Helianthus annuus*) Chaves ve ark. (2011), patlıcan (*Solanum nigrum*)’da Fidalgo ve ark., (2013) tarafından belirtilmektedir. Yaprak özellikleri olan genişlik, uzunluk, boyut, yaş-kuru ağırlıklar da önemli kayıpların ortaya çıktığı buğdayda (*Triticum aestivum*) Lanaras ve ark. (1993), keklikotu (*Origanum vulgare*)’de Panou-Filothou ve ark. (2001), *B. juncea* ve turpta (*Raphanus sativus*) Quartacci ve ark. (2003) fasulyede (*Phaseolus vulgaris*) Zengin ve Munzuroğlu (2004), domateste Martins ve ark., (2006), ayçiçeğinde Jadia ve Fulekar (2008), kanolada (*Brassica napus*) Ivanov ve ark. (2010), *Brassica juncea*’da (Cu, 2015), *Xanthium strumarium*’da (Eren ve Mert, 2017) tarafından gerçekleştirilen araştırmalarda ortaya konmuştur.

4.2.2. Demir (Fe)

Araştırmanın *Brassicaceae* ve ıspanak denemelerinde uygulanan demir dozlarının, kontrole göre bitkilerin demir içeriklerini arttırıcı bir şekilde etkide bulunduğu ortaya çıkmıştır. *Brassicaceae* denemesinde önemsiz olmasına rağmen kontrol dışındaki interaksiyon değerleri baz alındığında kırmızı baş lahananın; ıspanak denemesinde ise beyaz baş lahananın önde geldiği saptanmıştır. Kontrol dışındaki demir uygulamaları ele alındığında *Brassicaceae* türlerindeki demir içerikleri 42.00-90.20 mg kg⁻¹; ıspanak bitkilerinde ise 114.00-206.83 mg kg⁻¹ arasında değişmiştir. *Brassicaceae* türlerine göre ıspanak bitkilerinin daha fazla demir alımlarının olduğu kaydedilmiştir. Araştırmamızdan elde edilen bu sonuçlar bitkilerdeki fonksiyonunu, demir alımı etkinliğini ve farklı türlerdeki demir alım tepkilerinin incelendiği önceki çalışmalarla kıyaslandığında benzerlikler göstermektedir. Yer kabuğunda en çok bulunan metal olan demir, çelik sanayii, otomotiv sektörü, boya endüstrisi ve inşaat gibi br çok alanda hayatımızda yer almaktadır. Demirin aynı zamanda, bitki ve hayvan metabolizmasında da önemli bir yeri vardır (Yaşar, 2009). Demir bitki solunumu, hücre bölünmesi, klorofilin sentezi, elektron taşıma zinciri ve fotosentezde önemli rol oynar. Ancak demir için bitki mekanizması karışık olabilmekte; birkilerdeki simptomları toprak demir içeriği 300 mg l⁻¹ üzerinde hatta 1680 mg l⁻¹’da bile görülememektedir (Tanaka ve ark., 1966). Topraktaki demir miktarı 20-5000 mg kg⁻¹ ve bitkilerdeki miktarı 300-2000 mg kg⁻¹ aralıklarında olduğu zamanlarda toksisitesi söz konusudur (Baruah ve Bharali, 2015). Aşırı dozlarında (Fe⁺²) Fenton reaksiyonları için katalizör olmakla kalmaz hücreye oksidatif hasara neden olan zararlı oksijen türlerini (ROS) de üretir. Aşırı miktarda absorbe edilen demir bitkiler tarafından hücre redoks dengesini pro-oksidant durumuna dönüştürebilir. Morfolojik ve biyokimyasal değişikliklere, bitkinin fizyolojik özelliklerinde bozulmalara ve nihayet ölümlere yol açar

(Connolly ve Guerinotcor, 2002; Onyango ve ark., 2019). Pirinçte demir toksisite düzeyinin 3000 mg l^{-1} olduğu bir denemedeki 2 haftalık bitkilerde demir içerikleri 0.28 ila 8.8 mg g^{-1} arasında iken 4 haftalık bitkilerde bu değerler biraz bir düşüşle 0.17 ila 8.3 mg g^{-1} arasında değişmiştir (Asch ve ark., 2005). Pirinçteki (*Oryza sativa*) 10 , 50 , 100 , 250 ve 500 mg l^{-1} demir konsantrasyonlarının denendiği diğer bir araştırmada dozların artması ile birlikte köklerde ve sürgünlerde yüksek demir içeriği ortaya çıkmış; hidrojen peroksit, fenolik bileşikler, lipid peroksidasyonu ve peroksidaz aktivitesi arttarken, katalaz aktivitesi azalmıştır (Mehraban ve ark., 2008). Xing ve ark. (2010) çalışmalarında bir sucul olan telli su mercimeği (*Spirodela polyrrhiza*)’da 100 mg l^{-1} konsantrasyondaki bitkilerin demir birikiminin 24 saatlik kısa süreli strese demir içeriğinin en yüksek düzeye çıktığını belirlemiştir. Demir toksisitesi, klorofil, protein ve karbonhidratın sentezini olumsuz etkilemiş; fosfat ve azotun alımı aşırı demir nedeniyle inhibe edilmiştir. Beyaz baş lahananın (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*) toprakta bulunan Fe alım durumunu belirlemek üzere yapılan bir denemede farklı bitki kısımlarındaki ağır metal içerikleri incelenmiştir. Bitki yapraklarındaki demir içeriklerinin mg kg^{-1} olarak 202.24 düzeyine çıkabildiği saptanmıştır (Radulescu ve ark., 2013). Diğer taraftan bu değerler pirincin (*Oryza Sativa*) kontrol bitkilerinde 692 mg kg^{-1} Fe iken; 125 , 250 ve 500 mg l^{-1} dozlarında sırasıyla 3356 , 11207 ve 29030 mg kg^{-1} düzeylerine kadar ulaşabilmektedir (De Dorlodot ve ark., 2005).

Ca içeriklerinde artan demir dozlarının *Brassicaceae* denemesinde etkisi önemsiz iken, ıspanak denemesinde bitkilerin kalsiyum alımlarının giderek arttığı belirlenmiştir. Ca içerikleri bakımından *Brassicaceae* denemesinde kırmızı baş lahana ve karnabahar; ıspanak denemesinde ise brokoli ve kırmızı baş lahana diğerlerinden daha üstün bulunmuşlardır. *Brassicaceae* denemesinde demir dozu ve türlere bağlı olarak kontrol dışındaki bitkilerin demir içerikleri $\% 2.10$ ile 3.03 ve ıspanak denemesinde ise $\% 1.67$ ile 2.54 arasında değiştiği görülmüştür. *Brassicaceae* denemesinde demir dozları arttıkça K alımının önce yükseldiği ve daha sonra düştüğü; ıspanak denemesinde ise 250 mg kg^{-1} hariç demir dozları arttıkça K alımında artış olduğu belirlenmiştir. K alımına *Brassicaceae* denemesinde karnabaharın ve ıspanak denemesinde ise kontrol harici interaksiyon değerlerinden gidilerek beyaz baş lahananın etkisinin daha büyük olduğu saptanmıştır. Kontrol hesaba katılmaz ise K alımı değerleri *Brassicaceae* denemesinde $\% 1.14$ - 1.47 ve ıspanak denemesinde $\% 1.24$ - 1.55 arasında bulunmuştur. Mg alımında artan demir dozlarının *Brassicaceae* denemesinde etkisi önemsiz; ıspanak denemesinde ise Mg alımı demir dozlarından etkilenmiş, kontrole göre daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Mg

içeriği için *Brassicaceae* denemesinde kırmızı baş lahana ve karnabahar başı çekmiştir. Yine ıspanak denemesinde en fazla Mg içeren bitkilerin daha önce kırmızı baş lahana yetiştirilen ortamlardakilerin olduğu anlaşılmıştır. Kontrol dışındaki kombinasyon değerleri için Mg değerlerinin *Brassicaceae* denemesindeki aralığı % 0.36-0.54 ve ıspanak denemesinde ise % 0.30-0.54 arasında olduğu saptanmıştır.

Araştırmamızdan elde ettiğimiz demirin bitkiler tarafından gerekli element olmakla birlikte bitkilerde olumsuz etkilerine ve bitkilerce besin elementi alımlarında sorunlar oluşturabildiğine dair bulgularımız daha önceki çalışmalarda da rapor edilmektedir. Demiral (2000), çilekte (*Fragaria vesca*) farklı demir düzeylerinin etkisini araştıran bir çalışmada, demir uygulamalarının arttırılmasıyla, bitkilerin Mg içeriğinin azaldığını gözlemlemiştir. Hidroponik sistemde Fe uygulamalarının yükseltilmesinin, domates (*Lycopersicon esculentum*) yapraklarındaki K içeriğini arttırırken Ca ve Mg içeriği düşürdüğü belirlenmiştir (Okturen Asri ve Sonmez, 2016). Pirinç bitkisinde (*Oryza Sativa*) topraktaki aşırı demir hem köklerde hem de tomurcuklarda düşük K konsantrasyonuna neden olmuştur (Mehraban ve ark., 2008). Pirinç ile kurulan bir denemede uygulanan 0, 125, 250 ve 500 mg kg⁻¹ demir dozlarındaki artışa bağlı olarak Ca ve Mg içeriği artmış; K içeriğinde ise bir değişiklik saptanamamıştır (De Dorlodot ve ark., 2005) etkilenmiştir (Okturen Asri ve Sonmez, 2016).

Kök boyunda artan demir dozları lahana bitkilerinin köklerinin kısa kalmasına; ıspanak denemesinde de aynı etkiye neden olmuşlardır. *Brassicaceae* denemesinde karnabahar; ıspanak denemesinde beyaz baş lahana ve kırmızı baş lahananın daha uzun köklü bitkilere sahip oldukları belirlenmiştir. *Brassicaceae* ve ıspanak denemelerinin her ikisinde de artan demir dozlarının kök yaş ağırlığında kısıtlayıcı etkisi söz konusudur. Kök yaş ağırlığı için *Brassicaceae* ve ıspanak denemelerinde karnabaharın artan demir dozlarından diğer türlere göre daha az etkilendiği söylenebilir. Demir dozlarının arttırılması durumunda gerek *Brassicaceae* türlerinin ve gerekse ıspanak bitkilerinin kök kuru ağırlıkları üzerinde sınırlayıcı bir etki ile karşılaşılmıştır. Kök kuru ağırlığı için *Brassicaceae* denemesinde brokolinin, ıspanak denemesinde ise karnabahar ve beyaz baş lahananın diğerlerine göre daha iyi değerler verdiği kaydedilmiştir. Bitki boyları gerek *Brassicaceae* ve gerekse ıspanak denemelerinde artan demir dozlarından (düzensizlik gösteren 500 mg kg⁻¹ dışında) olumsuz etkilenmişlerdir. Artan demir dozlarına karşın bitki boyu özelliği için *Brassicaceae* denemesinde kırmızı baş lahana ve brokoli diğer türlere göre daha iyi tolerans sağlarken; bu özelliklerini ıspanak denemesinde beyaz baş lahanaya bırakmışlardır. Kontrole göre demir dozlarında yaprak sayıları azalmıştır. Ancak bu artış,

Brassicaceae denemesinde dozlar içinde önemsiz; ıspanak denemesinde ise dozlardaki artışa bağlı olarak düşüş şeklinde gerçekleşmiştir. Yaprak sayısında *Brassicaceae* denemesinde beyaz baş lahana; ıspanak denemesinde brokoli ve karnabahar öne çıkan türler olmuştur. Yaprak genişliği için *Brassicaceae* denemesinde dozlar önemsiz, ıspanak denemesinde 1000 mg kg⁻¹ dışında kontrole göre azalma şeklindedir. Yaprak genişliğinde *Brassicaceae* denemesinde beyaz baş lahana ve kırmızı baş lahana; ıspanak denemesinde karnabahar ve beyaz baş lahana dikkat çeken türler olmuştur. Yaprak uzunluğunda *Brassicaceae* denemesinde dozlar kontrole göre düzenli ve önemsiz bir şekilde azalırken iken, ıspanak denemesinde demir dozları düzensiz ve önemli bir etki göstermiştir. *Brassicaceae* ve ıspanak denemelerinin her ikisinde de, artan demir dozlarına rağmen en uzun yaprakları karnabahara ait bitkilerin verdiği kaydedilmiştir. Yaprak yaş ağırlığında *Brassicaceae* denemesinde artan demir dozlarında düzenli bir azalma söz konusu iken, ıspanak denemesinde bu kaideyi 1000 mg kg⁻¹ dozu bozmuştur. Bu konuda *Brassicaceae* denemesinde kırmızı baş lahananın; ıspanak denemesinde 1000 mg kg⁻¹ dozundaki kırmızı baş lahana dışarda tutulursa karnabahar ve brokolinin göze çarptığı görülmüştür. Yaprak kuru ağırlığında gerek *Brassicaceae* ve gerekse ıspanak denemelerinde kontrole göre artan demir dozlarının olumsuz etkilerinin olduğu ortaya konmuştur. *Brassicaceae* denemesi için beyaz baş lahana ve kırmızı baş lahana diğer türlere göre üstün iken; ıspanak denemesi için beyaz baş lahana ve karnabahar daha iyi bulunmuşlardır. Çalışmada gerek *Brassicaceae* denemesi ve gerekse ıspanak denemesinde kök büyümesi ve gelişimine dair toprak altı organlar olan kök özellikleri yanında üst aksamı oluşturan bitki boyu ve yapraklara ilişkin özelliklerin, demir dozları arttıkça olumsuz etkilendikleri ortaya konmuştur. Artan demir dozlarının toksisite düzeylerine erişmesi ile bitkilerde kök gelişiminin durduğu veya sekteye uğradığına dair önceden yapılmış çalışmalar bulgularımızı doğrular niteliktedir. Demirin kök gelişimine olan olumsuz etkileri, pirinç (*Oryza sativa*) ile çalışan Majerus ve ark. (2007), yine pirinçte Mehraban ve ark. (2008), bizim denememize de konu olan brokoliyi (*Brassica oleracea* var. *Italica*) kullanan Pena-Olmos ve ark. (2014), buğday (*Triticum aestivum*) ile çalışmalarını yürüten El Rasafi ve ark. (2016)'nın araştırmalarıyla benzerlik göstermektedir. Demir dozlarının bitkilerde toksisite oluşturma durumunda bitki gelişiminin engellendiğine dair elde edilen bulgularımız diğer araştırmalardakilerle uyum içerisinde. Buğdayda bitki boyunun El Rasafi ve ark. (2016), soya fasulyesinde yaprak sayısının (*Glycine max*) Pooladvand ve ark. (2012), brokolide yaprak gelişiminin (*Brassica oleracea* var. *italica*) Peña-Olmos ve ark. (2014), pirinçte biyomass kaybının Mehraban ve ark. (2008) tarafından ortaya koyan ve artan demir konsantrasyonların bitki

üst aksamlarındaki etkilerini belirleyen araştırmalarda da vurgulanmaktadır. *Kandelia obovata* bitkilerinin, 200 mg l⁻¹ demir konsantrasyonuna kadar toleranslı olabildiklerini, 400 mg l⁻¹'e Fe konsantrasyonunda bile hayatta kalmayı başardıklarını belirlemiş; ancak biyokütlede azalmalar saptamışlardır. Köklerde antioksidan enzim aktivitesindeki artışları bunun göstergesi olarak rapor etmişlerdir (Hu ve Wenjiao, 2015).

4.2.3. Nikel (Ni)

Brassicaceae ve ıspanak denemelerinin her ikisinde de bitkilerin nikel alımı üzerine artan nikel dozlarının etkisi görülmüş; dozlar arttıkça nikel içeriklerinin arttığı tespit edilmiştir. *Brassicaceae* denemesinde türlerinin kontrol dışındaki dozlar bazında nikel içerikleri 13.60-30.40 mg kg⁻¹ iken, ıspanak denemesinde 4.83-9.66 mg kg⁻¹ arasındaki düzeylere gerilemiştir. Nikel alımı üzerine *Brassicaceae* denemesinde kırmızı baş lahananın etki, ıspanak denemesinde tekrarlanmamış; istatistiki anlamda önemli bulunmasa da karnabahar ve beyaz baş lahana diğer türlere göre daha fazla nikel alabilen türler olarak kendilerini göstermiştir. *Brassicaceae* bitkilerinin, ıspanak bitkilerinden daha fazla nikel alma eğiliminde oldukları anlaşılmıştır. Araştırmadan elde edilen nikelin artan dozlarının bitkilerce alımında artış olduğuna dair bulgular, farklı türlerin alım mekanizmalarına bağlı olmak kaydı ile literatürde yapılmış önceki çalışmalarla benzerlik göstermektedir. Ishtiaq ve Mahmood (2011) nikel dozlarının arttırılmasıyla *V. cylindrica*, *V. mungo*, *V. radiata* türlerine ait bitkilerin nikel alımlarının arttığını ancak bu alımda türler arasında istatistiki anlamda bir farklılık olmadığını belirtmektedirler. Jiang ve ark. (2008) tarafundan yürütülen bir denemede, nikel bulaştırılarak kirletilmiş topraklarda (250 mg kg⁻¹), hardal (*Brassica juncea*) bitkilerindeki nikelin kontrolde 36.3 mg kg⁻¹ olan içeriğinin 53.4 mg kg⁻¹'a yükseldiği ifade edilmektedir. *Brassica juncea* kullanılan bir başka çalışmada 800 mg l⁻¹ Ni uygulaması altında bitkilerdeki Ni birikiminin 65 mg kg⁻¹'a kadar çıktığı belirlenmiştir (Kaur ve ark., 2015). Bir saksı kültürü çalışmasında, *Brassicaceae* türlerinin nikel akümülatörlükleri belirlenmeye çalışılmış; *Brassica carinata* (19.5 mg kg⁻¹) ve *Brassica campestris* (19.1 mg kg⁻¹)'in, *Brassica napus* (14.1 mg kg⁻¹), *Brassica nigra* (13.5 mg kg⁻¹) ve *Brassica juncea* (Ni: 5.7 mg kg⁻¹)'ya göre daha çok nikel biriktirme kabiliyetinde olduğu belirlenmiştir. Nikel bulunduran topraklarda kültüre alınan beyaz baş lahanada (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*) ise bitki yapraklarındaki nikel içeriklerinin 2.24 mg kg⁻¹ düzeylerinde olduğu rapor edilmektedir (Radulescu ve ark., 2013). Çalışma ile bitkilerin nikel biriktirme düzeylerinin ve kabiliyetlerinin türlere göre değişebildiği ortaya konulmuştur (Purakayastha ve ark., 2008). Bu bulgular çalışmamızda ele alınan *Brassicaceae*

türlerinden kültürü yapılanların da nikel biriktirme potansiyellerinin ve düzeylerinin ortaya konulmasında yerinde karar verildiğini göstermesi açısından önemlidir. Nitekim bu türlerin 13.60-30.40 mg kg⁻¹ arasında nikel biriktirme potansiyellerinin olması amaca ulaşıldığını göstermektedir. Çünkü Kataba-Pendias ve Pendias (2001) 'a göre Ni'de bitki toksisite sınırları 10-100 mg kg⁻¹ arasındadır. Topraktaki toplam Ni içeriği, özellikle serpantin topraklar dikkate alındığında 2 ila 750 mg kg⁻¹ arasında değişmektedir (Bhalerao ve ark., 2015). Ek olarak nikelde kritik toksisite seviyeleri hassas türlerde 10 mg kg⁻¹, orta derecede toleranslı türlerde 50 mg kg⁻¹ altında iken; hiperakümülatör bitkilerde (*Alyssum* ve *Thlaspi* türleri gibi) 1000 mg kg⁻¹'a kadar çıkabilmektedir (Chen ve ark., 2009).

Ca içeriklerinin *Brassicaceae* denemesinde artan nikel dozlarından etkilenmediği, ıspanak denemesinde ise giderek arttığı belirlenmiştir. Kontrol dışındaki tüm nikel dozlarında türlerin alabildiği Ca miktarı *Brassicaceae* denemesinde % 1.56-3.19 ve ıspanak denemesinde % 1.95-2.94 şeklindedir. *Brassicaceae* denemesinde Ca alımı en fazla kırmızı baş lahanada; önemsiz olmakla birlikte ıspanak denemesinde ise brokoli ve karnabahar türlerinde olduğu saptanmıştır. *Brassicaceae* denemesinde nikel dozları arttıkça potasyum alımı 200 mg kg⁻¹'a kadar yükselmiş, ardından gerilemiş iken; ıspanak denemesinde düzenli bir seyir izlememiştir. *Brassicaceae* denemesinde türlerin K alımına etkisinde önemlilik bulunamamış ancak yine de karnabahar ve brokoli önde yer almış, değerler % 1.10 ile 1.45 arasında değişmiş; kontrol değerlendirme dışı tutulduğunda ıspanak denemesinde ise 100 mg kg⁻¹ dışında K alımında brokoli ve beyaz baş lahana daha iyi çıkmış, değerler ise % 1.16-1.54 arasında değişmiştir. Mg alımında *Brassicaceae* denemesi için nikel dozları arttıkça düşüşler olduğu görülmüş, ıspanak denemesinde tersi bir durum olarak 100 mg kg⁻¹ dozuna kadar bir artış ve daha sonra düşüş görülmüştür. *Brassicaceae* denemesinde Mg alımı üzerine kırmızı baş lahananın bariz üstünlüğü saptanmış; ıspanak denemesinde bu üstünlüğün brokoliye geçtiği görülmüştür. Kontrol hariç tutulduğunda değişen nikel dozlarında *Brassicaceae* denemesinde bitkilerin Mg içerikleri % 0.28-0.54 arasında iken, bu değerler ıspanak denemesinde % 0.38-0.53 arasında değişmiştir. Denememizdeki artan nikel dozlarına maruz bırakılan bitkilerin Ca, Mg ve K alımlarına dair belirlenen elde edilen bu sonuçlar, nikel içeren ortamlarda bitkilerin makrobesin alımlarına ilişkin tepkileri araştıran literatürlere de konu oluşturmuştur. Toprakta Ni içeriğinin 50 ila 200 mg kg⁻¹ topraktan artması, buğday (*Triticum aestivum*) sürgünlerinde Mg ve Ca içeriğini azaltmıştır (Bhalerao ve ark., 2015) Hardal (*Sinapis alba* L) bitkisinin besin maddesi ortamındaki artan Ni konsantrasyonu (0.0004-0.08 mM) bitkilerde K içeriğini arttırmış, Ca içeriğini azaltmıştır. Besin

  zeltisindeki Ni seviyesindeki artışla, bitki köklerindeki Mg içeriğinin önce arttığı ve sonra düştüğü gözlenmiştir (Matraszek ve ark., 2017). Hint hardalı (*Brassica juncea*) bitkisinde ortama eklenen 0, 25, 50 ve 100 uM nikelin artan dozlarının Ca ve Mg alımlarını önemli ölçüde arttırdığı, K alımını ise düşürdüğü saptanmıştır. Sırasıyla nikelin 0, 25, 50 ve 100   M dozlarında belirlenen kalsiyum içerikleri 22.76, 20.09, 23.16 ve 24.18   g g⁻¹; magnezyum içerikleri 2.90, 2.76, 3.87 ve 4.23   g g⁻¹; potasyum içerikleri ise 71.94, 80.69, 75.95ve 60.61   g g⁻¹ sırasıyla bulunmuştur (Amari ve ark., 2014).

Çalışmada k  k özellikleri üzerine artan nikel dozlarının etkisinin (bazı özelliklerde 200 mg kg⁻¹ dozundaki istisnalar dışında) olumsuz olduğu gözlenmiş; k  ke ait özelliklerde düşüşler olduğu belirlenmiştir. Kök boyu için *Brassicaceae* ve ıspanak denemelerinde sırasıyla karnabahar ve beyaz baş lahana; kök yaş ağırlığında kırmızı baş lahana ve karnabahar; kök kuru ağırlığında brokoli ve karnabahar diğerlerine göre daha başarılı türler olarak kaydedilmiştir. Denemede bitki boyları *Brassicaceae* denemesinde dozlardan etkilenmemiş, ıspanak denemesinde ise artan nikel dozlarına bağlı olarak azalmıştır. *Brassicaceae* denemesinde bitki boyları en fazla kırmızı baş lahanada iken; kırmızı baş lahana bu özelliğini ıspanak denemesinde de sürdürmüştür. *Brassicaceae* denemesinde yaprak sayısı nikel dozlarında kontrole göre düşmekle birlikte, dozlar yükseldikçe arttığı gözlenmiş; ıspanak denemesinde ise giderek azldığı belirlenmiştir. *Brassicaceae* ve ıspanak denemelerinde yaprak sayısı bakımından türler arasında bir fark ortaya çıkarılamamıştır. Yaprak genişliğinde *Brassicaceae* denemesinde nikel dozlarının etki bulunmaz iken ıspanak denemesinde kontroldeki bitkilerin nikel dozlarına üstünlüğü saptanmıştır. *Brassicaceae* denemesinde türlerden kırmızı baş lahana ve beyaz baş lahana diğerlerine göre daha iyi bulunmuş; ıspanak denemesinde ise brokoli haricindeki türlerin arasında bir fark görülmemiştir. *Brassicaceae* denemesinde yaprak uzunluğuna nikel dozlarının etkisi saptanamamış; ıspanak denemesinde ise kontrolün daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Yaprak uzunluğunda *Brassicaceae* denemesi için kırmızı baş lahana ve ıspanak denemesinde beyaz baş lahana diğer türlere göre daha başarılı bulunmuştur. Yaprak yaş ağırlığında *Brassicaceae* ve ıspanak denemelerinin her ikisi için de kontrolün diğer nikel dozlarına göre daha başarılı olduğu anlaşılmış; kırmızı baş lahananın diğer türlere göre daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. Yine her iki denemede yaprak kuru ağırlıklarında nikel dozlarındaki artışa bağlı olarak giderek azalan değerler görülmüş, kontrol uygulamaları diğerlerinden daha fazla kuru ağırlık kazanımına neden olmuştur. *Brassicaceae* denemesi için brokoli ve ıspanak denemesi için kırmızı baş lahana daha üstün türler olarak kayda ge irilm ştir. Bizim çalışmamızdan elde edilen veriler bitki alt

aksamı olan kök ve üst aksamı oluşturan yaprak özelliklerinin nikel içeren topraklarda yetişen brokoli, karnabahr, beyaz baş lahana ve kırmızı baş lahana bitkileri ile bu bitkilerin ardından kültüre alınan ıspanak bitkilerinde kısıtlayıcı etkilerinin olduğunu göstermektedir. Sonuçlarını aldığımız bu veriler daha önce farklı türlerle nikelin etkilerini araştıran araştırmacılarının denemeleri ile benzerlikler içermektedir. Artan nikel konsantrasyonları veya yetiştirme ortamlarında engelleyici yönde etki etki yapan nikel bulundurulması durumunda bitkisel özelliklerin olumsuz etkilendiği bildirilmektedir. Yoncada (*Medicago sativa*) kök büyümesi engellenmekte (Aydinalp ve Marino, 2009); bezelyede (*Pisum sativum*) kök biyomasi (Kunjam ve ark., 2015); pirinçte (*Oryza sativa*) kök büyümesi inhibe edilmekte (Lin ve ark., 2005; Asati ve ark., 2016); yoncada kök uzunlukları kısalmakta; (Emamverdian ve Ding, 2017); azalmaktadır. Artan nikel ortamlarında kültüre alınan çavdar çiminde ingiliz çimi (*Lolium perenne*) verim azalması (Khalid ve Tinsley, 1980); nohutta (*Cicer arietinum*) kuru madde ve biyokütle kaybolması (Wani ve ark., 2007); yoncada bitki boyunun kısalması (Aydinalp ve Marino, 2009); üç börülce türünde (*V. cylindrical*), Siyah gram (*V. mungo*), maş fasulyesi (*V. radiata*) bitki boyu, bitki yaş-kuru ağırlığı ve yaprak alanının azalması (Ishtiaq ve Mahmood, 2011); hıyar (*Cucumis sativus*), domates (*Solanum lycopersicum*) ve mungo fasulyesinde (*Vigna radiata*) bitkisel özelliklerde ve verimde kayıplara neden olması (Bhalerao ve ark., 2015) sayılabilecek diğer araştırmalar olarak belirtilebilir. *Brassicaceae* türleri ile ilgili bir çalışmada ise beyaz baş lahana kullanılmış 500 mM nikel uygulanmış 38 günlük bitkilerde toplam biyokütlelerinde önemli azalmalar olduğu belirlenmiştir (Pandey ve Sharma, 2002).

4.2.4. Çinko (Zn)

Farklı konsantrasyonlarda çinko bulaştırılmış topraklarda kültüre alınan lahangiller türleri ve ıspanak bitkilerinin çinko alım düzeylerinin belirlenmesine yönelik denemelerinin her ikisinde de artan çinko dozlarına bağlı olarak çinko içeriklerinin arttığı kayıt edilmiştir. *Brassicaceae* denemesinde kırmızı baş lahana ve beyaz baş lahananın; ıspanak denemesinde de önemsiz bulunmasına rağmen kontrol dışındaki interaksiyon değerlerine bakılarak brokoli ve karnabaharın topraktan daha çok çinko kaldırdıkları söylenebilir. Yine bu interaksiyon değerlerinin *Brassicaceae* denemesi için 38.40 ve 370.80 mg kg⁻¹ aralığında; ıspanak denemesi için 64.20 ve 137.40 mg kg⁻¹ aralığında değiştiği belirlenmiştir. Çinko, kurşun ve kadmiyumdan farklı olarak canlılar için esansiyel bir element olmasına karşın, topraktaki çinko konsantrasyonu belirli sınırları aştığında

bitkiler üzerinde olumsuz etkilere yol açmaktadır. Çinko ve birçok bileşiği, diğer ağır metallerle kıyaslandığında, düşük zehirlilik etkisi gösterir (Aravind ve Prasad 2005). Bitkilerde Zn önemli bir besin elementi olmasına rağmen artan dozlarının strese ve toksisiteye neden olabileceği bizim araştırma bulgularımız olarak ta kayda geçirilmiştir. Çalışmamızdan elde edilen bu bulgular daha önce yapılan araştırmalarla da destek görmektedir. Lahana (*B. oleracea*), habeş hardalı (*B. carinata*) ve hint hardalı (*B. juncea*) ile yürütülen bir Zn toksisitesi denemesinde en yüksek Zn içeriği *B. oleracea*'nin sürgünlerinde ve 381 mg kg⁻¹ olarak kaydedilmiştir (Gisbert ve ark., 2006). Yine bir *Brassicaceae* türü olan *B. juncea*'da çinkonun kontrol uygulamasındaki 0.05 mg kg⁻¹ içeriğine karşılık, 100 mg kg⁻¹ çinko dozunda 0.09 mg kg⁻¹'a yükselmesi, bitkilerce çinkonun alınabilirliğinin doz arttımıyla paralel olduğunun bir göstergesidir (Kamaraj ve ark., 2012). Beş farklı *Brassicaceae* türü ile yürütülen bir başka deneme ise türlerin çinko biriktirme kabiliyetlerinin farklı olduklarını ve bu konuda değişik mekanizmalara sahip olabileceğini işaret etmektedir. Deneme sonucunda türlerin çinko biriktirme düzeylerine göre şalgam (*Brassica campestris*) (194.9 mg kg⁻¹), kolza (*Brassica napus*) (148.9 mg kg⁻¹), habeş hardalı (*Brassica carinata*) (145.1 mg kg⁻¹), hint hardalı (*Brassica juncea*) (130.7 mg kg⁻¹) ve kara hardal (*Brassica nigra*) (119.2 mg kg⁻¹) şeklinde sıralandıkları belirlenmiştir (Purakayastha ve ark., 2008). *B. juncea*, *B. rapa* ve *B. napus* bitkileri, 14 gün boyunca Zn (6.5 mg l⁻¹) eklenmiş hidroponik ortamlarda kültüre alınmışlar; türlerin farklı miktarlarda çinko aldıkları görülmüş, bu miktarın 30 mg kg⁻¹'a kadar çıktığı tespit edilmiştir (Ebbs ve Kochian, 1997). Denememize konu olan bitkiler birer hiperakümülatör bitkiler değildir. Hiperakümülatör bitkilerin çok daha yüksek düzeylerde metal biriktirebildikleri bilinmektedir. Çinko için örnek verilecek olursa kakhaha çiçeği (*Ipomoea alpin*) ve *Haumaniastrum katangense* gibi bazı hiperakümülatör bitki yapraklarında çinko içeriğinin 19800 mg kg⁻¹'a çıkabildiği rapor edilmektedir (Baker ve Walker, 1990). Ancak çalışmamızda hiperakümülatör bitkiler değil, çinko biriktirme potansiyelleri olabileceği düşünülen *Brassicaceae* türleri ile çalışılmıştır. Çünkü bu türler, metal biriktirici kabul edilen diğer *Brassicaceae* türleri ile aynı familyadandır. Nitekim bu türlerin çinko içeriklerine bakıldığında bitkilerin çinko alımları ile ilgili veriler karşısında amaca ulaşıldığı söylenebilir. Öyleki topraklarda toplam Zn 10-300 mg kg⁻¹ ve bitkilerce alınabilir Zn 3.6-5.5 mg kg⁻¹ arasındadır. Çinko içeriği normal bitkilerde 5-100 mg kg⁻¹ arasında iken çinko toksisitesi genelde 400 ppm ve üzeri düzeylerde ortaya çıkmaktadır (Özbek ve ark., 1995; Asri ve Sönmez, 2006).

Brassicaceae ve ıspanak denemelerindeki veriler artan çinko alımı ile bitkilerin Ca alımı arasında ters bir ilişki olduğunu, kontrole göre Ca değerlerinde azalmalar meydana geldiğini işaret etmektedir. Bu özellikte *Brassicaceae* denemesinde kırmızı baş lahananın; ıspanak denemesinde ise kontrol haricindeki kombinasyon değerleri de göz önüne

alındığında brokoli ve karnabaharın öne çıktığına dair bir yorum yapılabilir. Kontrol haricindeki interaksiyon değerlerine göre yapraklarda biriktirilen kalsiyum miktarının, *Brassicaceae* bitkilerinde % 1.76 ile 3.59 ve ıspanak bitkilerinde % 1.81 ile 2.89 arasında olduğu belirlenmiştir. *Brassicaceae* denemesinde artan çinko dozlarına bağlı olarak bitkilerdeki K içeriği *Brassicaceae* denemesindeki bitkiler için önemli olmakla birlikte istikrarlı değil iken, ıspanak bitkilerinde doz artışına bağlı olarak artış eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. *Brassicaceae* denemesinde K içerikleri ile ilgili bulgular önemsiz olmasına karşılık, interaksiyon verileri de göz önüne alınarak karnabaharın daha başarılı olduğu; ıspanak denemesinde ise toplamda yine karnabahar başta geliyor gibi gözükse de kontrol dışı interaksiyon verilerinden de gidildiğinde brokolinin de dikkate değer olduğu söylenebilir. Kontrol dışındaki interaksiyon değerlerinin *Brassicaceae* denemesi için % 1.08 ve 1.27 K aralığında; ıspanak denemesi için % 1.14 ve 1.55 K aralığındadır. Artan çinko dozları bitkilerce alınan magnezyum miktarlarını *Brassicaceae* denemesinde 250 mg kg⁻¹ uygulamasında artırmış, diğer dozlarda azaltmış iken; ıspanak denemesinde doz yükselmesine bağlı olarak artışlar yaşanmıştır. *Brassicaceae* denemesinde artan çinko konsantrasyonlarına karşılık kırmızı baş lahananın; ıspanak denemesinde ise kontrol verileri hariç tutulduğunda karnabahar ve brokolinin daha fazla Mg alım kabiliyetinde olduğu anlaşılmaktadır. Kontrol haricindeki interaksiyon değerlerine göre yapraklarda biriktirilen magnezyum miktarının, *Brassicaceae* bitkilerinde % 0.33 ile 0.59 arasında, ıspanak bitkilerinde % 0.40 ile 0.51 arasında değiştiği belirlenmiştir. Araştırmamızdan elde edilen bu bulgular daha önce çinkonun diğer besin elemntlerinin alımı üzerine etkilerini inceleyen araştırmacılarınkilerle desteklenmektedir. Mung bean (*Vigna radiata*) bitkisinde Zn'nin, K üzerinde anlamlı olmayan bir baskılayıcı etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Mungbea (*Vigna radiata*) bitkisinde Mg konsantrasyonu, bitkinin en yüksek çinko konsantrasyonuna olan fizyolojik tepkisi nedeniyle azalmıştır (Samreen ve ark., 2017). Şeker pancarı (*Beta vulgaris L.*) bitkisinde denenen 0, 50, 100 ve 300 µM çinko dozlarının besin alımlarına etkisinin incelendiği bir araştırmada, Zn dozu arttırıldıkça sürgünlerde Mg ve K konsantrasyonlarını azaltırken, Ca konsantrasyonları artmıştır (Sagardoy ve ark., 2009).

Brassicaceae türleriyle kurulan denemede bitki kök boyları artan çinko dozlarından olumsuz etkilenmiş; ıspanak denemesinde ise artan çinko dozlarının etkisinin istikrarlı olmadığı görülmüştür. Kök boyu için *Brassicaceae* denemesinde karnabahar ve brokolinin; ıspanak denemesinde ise beyaz baş lahana diğerlerine göre daha üstün bulunmuşlardır. Kök yaş ağırlığında *Brassicaceae* ve ıspanak denemelerindeki bitkilerin artan çinko

dozlarına olumsuz tepki verdikleri anlaşılmıştır. *Brassicaceae* denemesinde beyaz baş lahana interaksiyon (kontrol hariç) değerleri de dikkate alındığında diğerlerinde daha iyi bulunmuş; ıspanak denemesinde ise brokoli ilk sırada yer almıştır. Kök kuru biyoması da gerek *Brassicaceae* ve gerekse ıspanak denemesinde artan çinko dozlarından olumsuz etkilemiş, düşüşler göstermiştir. *Brassicaceae* denemesinde beyaz baş lahana, ıspanak denemesinde brokoli daha üstün türler olmuştur. Artan çinko dozlarının *Brassicaceae* denemesi bitkilerinde bitki boyları üzerine etkisi belirlenememiş; ıspanak denemesi bitkilerinde ise bitki boylarının kısaldığı saptanmıştır. *Brassicaceae* denemesinde kırmızı baş lahanaların, ıspanak denemesinde ise yine kırmızı baş lahananın yanına beyaz baş lahanayı da alarak ön plana çıktığı anlaşılmıştır. *Brassicaceae* ve ıspanak denemelerinde bitkilerin yaprak sayıları artan çinko dozlarından olumsuz etkilenmiş, doz arttıkça sayılarda azalmalar görülmüştür. Özellikle interaksiyon değerleri dikkate alınırsa *Brassicaceae* denemesi için beyaz baş lahananın üstünlüğü, ıspanak denemesi için tekrarlanamadığı görülebilmektedir. Yaprak genişliği için *Brassicaceae* denemesinde dozlar önem arz etmez iken; ıspanak denemesinde önce bir düşüş daha sonra en yüksek çinko dozunda yeniden bir artış şeklinde eğim oluşmuştur. *Brassicaceae* denemesinde kırmızı baş lahana ve beyaz baş lahana; ıspanak denemesinde kontrol verilerinin katılmadığı interaksiyon değerleri ile yapılan bir değerlendirmeye kırmızı baş lahanaya brokolinin de eklenebileceği anlaşılmıştır. Yaprak uzunluğunda artan çinko dozları hem *Brassicaceae* ve hem de ıspanak denemesindeki bitkiler için önemli bulunamamıştır. *Brassicaceae* ve ıspanak denemelerinin her ikisinde de karnabahar bitkilerin yapraklarının diğerlerininkinden bariz bir biçimde daha uzun oldukları ortaya çıkarılmıştır. Yaprak yaş ağırlığında *Brassicaceae* ve ıspanak denemesi bitkileri için artan çinko dozlarında kontrole göre düşüşler olduğu kayda geçirilmiştir. *Brassicaceae* denemesi için kırmızı baş lahana ve beyaz baş lahananın; ıspanak denemesi için brokolinin ilk sıralara yerleştiği görülmektedir. Yaprak kuru ağırlığında da artan çinko dozlarının kontrole karşılaştırıldığında *Brassicaceae* ve ıspanak denemelerindeki bitkilerde olumsuzluk oluşturdıkları saptanmıştır. *Brassicaceae* denemesi için brokoli ve kırmızı baş lahana diğer türlere göre üstün iken; ıspanak denemesi için sadece kırmızı baş lahana daha iyi bulunmuştur.

Araştırmamızda artan çinko dozlarının denemeye konu olan türlerin bitkilerindeki köklerde ve üst aksam organlarından yaprak özelliklerinde olumsuz etkilerinin olduğu; bu etkilerin türlere göre değişiklikler göstermiştir. Tüm bu bulgularımız çinkonun artan dozlarının farklı türlerde, farklı bitkilerde ve bu bitkilerin farklı bitkisel özelliklerindeki etkilerinin araştırıldığı önceki çalışmalardan elde edilen sonuçlarla benzerlik içerisindedir.

Çinkonun artan dozları enginarda (*Cynara scolymus*) kök boyuna olumsuz etkileri Pahlsson (1989)'un çalışmasıyla da desteklenmektedir. Çinkonun kök boyuna olan olumsuz etkisi buğdaydaki artan çinko dozlarının (500, 750 ve 1000 mg l⁻¹) kullanıldığı denemede belirlenmiştir (El Rasafi ve ark., 2016). Brokoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*) (Casierra-Posada ve ark., 2010; Casierra-Posada ve ark., 2012) ve ıspanak (*Spinacia oleracea*) (Naz ve ark., 2013) bitkilerinde kök kuru ağırlığında görülen olumsuz etkinin nedeni olarak yüksek Zn konsantrasyonları neden olarak gösterilmektedir. Çinko üst bitki aksamalarına da olumsuz etki yapmakta bu durum fasulye (*Phaseolus vulgaris*) bitkisinin kök, gövde ve yaprak büyümesi üzerinde azalmaların görüldüğü bir çalışmada da rapor edilmektedir (Asri ve Sönmez, 2006). Zn bitki gelişimi için önemli bir elementtir ancak aşırı konsantrasyonlarda bitki boyu üzerinde azaltıcı etki gösterir (Chaves ve ark., 2011). Çinkonun yaprak sayısı ve yaprak alanı üzerine de olumsuz etkileri şeker pancarında (*Beta vulgaris*) kayda geçirilmiştir (Sagardoy ve ark., 2009). Çinkonun yüksek dozlarının ayçiçeğinde yaprak alanında daralmaya neden olduğu ortaya konmuştur (Chaves ve ark. 2011). Çinko yaprak morfolojisini de olumsuz etkilemektedir (Rout ve Das, 2003). Çinkonun yüksek dozları *B. juncea*, *B. rapa* ve *B. napus* bitkileri bitkilerinde yaprak yaş ve kuru ağırlığında olumsuz etkileri bulunmaktadır (Ebbs ve Kochian, 1997). Naz ve ark., (2013)'na göre, yüksek çinko konsantrasyonlarında ıspanak bitkilerinde bitki biyomasında kayıplar meydana gelmektedir.

4.3. Sonuç

Brassicaceae türlerinden brokoli, karnabahar, beyaz baş lahanası ve kırmızı baş lahananın bakır, demir, nikel ve çinko bulaşık topraklardaki fitoremediasyon performanslarını belirlemek üzere yürütülen araştırmadan elde edilen sonuçları şöyle özetlemek mümkündür.

- Araştırmada yürütülen *Brassicaceae* ve ıspanak denemelerinde metal dozları arttıkça bitkilerin metal içerikleri yükselmiştir. Kontrol uygulamaları dışındaki metal içerikleri bakır için *Brassicaceae* bitkilerinde 2.40 ile 9.20 mg kg⁻¹ ve ıspanak bitkilerinde 14.00 ile 17.50 mg kg⁻¹ arasında; demir için *Brassicaceae* türlerinde 42.00-90.20 mg kg⁻¹ ve ıspanak bitkilerinde 114.00-206.83 mg kg⁻¹; nikel için *Brassicaceae*'larda 3.60-30.40 mg kg⁻¹ ve ıspanaklarda 4.83-9.66 mg kg⁻¹; çinko için *Brassicaceae* bitkilerinde 38.40 ve 370.80 mg kg⁻¹ ve ıspanak bitkileri için 64.20 ve 137.40 mg kg⁻¹ aralıklarında değiştiği belirlenmiştir.
- *Brassicaceae* ve ıspanak denemelerinde artan bakır, demir ve nikel (önemsiz de olsalar) ile çinko dozları bitkilerin Ca alımını arttırmıştır. Bitkilerin potasyum alımları da her iki denemedeki (ıspanak denemesindeki bakırın olumsuz etkisi hariç) ortamların bakır, demir, nikel ve çinko dozlarındaki artışa bağlı olarak arttırmıştır. Topraklara eklenen bakır dozlarındaki artışla birlikte *Brassicaceae* denemesi bitkilerinin magnezyum alımları artarken, tersine bir şekilde demir-nikel-çinko dozlarındaki artışlarda magnezyum alımları azalmış; deneme konusu olan tüm metallerde ıspanak denemesi bitkilerindeki magnezyum alımları ise artmıştır.
- Çalışmada *Brassicaceae* ve ıspanak denemelerinde metalle bulaşık topraklarda kültüre alınan bitkilerin genel olarak kök özelliklerinde olumsuzluklar görülmüş; üst aksam gelişimlerinde kısıtlamalar ortaya çıkmıştır. Bakır, demir, nikel ve çinko ile yürütülen tüm metal denemelerinde bazı istisnalar dışında kök ve bitki boyu, kök yaş-kuru ağırlıkları, yaprak sayısı, yaprak genişliği-uzunluğu, yaprak yaş-kuru ağırlıklarında artan metal dozlarının etkisiyle azalmalar kaydedilmiş; bitkilerin gelişimlerinin sekteye uğradığı belirlenmiştir.
- Araştırmanın en önemli hedeflerinden birisi, bünyesinde önemli metal hipeakümülatör bitkileri bulunduran *Brassicaceae* familyasında yer almasıyla deneme konusu olarak seçilen brokoli, karnabahar, beyaz baş lahanası ve kırmızı baş lahananın fitoremediasyon performanslarının belirlenmesidir. Bu amaçla tüm özelliklere ait verilerin birlikte değerlendirildiği kümülatif tolerans indeksi değerlerinden faydalanılmıştır. Tolerans

indeksi verilerine göre bakır için beyaz baş lahananın, demir-nikel-çinko için karnabaharın fitoremediasyon kabiliyetinin diğ er türlere göre daha iyi olduğu yorumu yapılmıştır.



KAYNAKLAR

- Afegbua, S.L. 2014. Importance of plants and microorganisms in the phytoremediation of brownfield sites. Doktora Tezi. University of Birmingham. United Kingdom. 84s.
- Akıncı, İ.E., Akıncı, S. 2011. Nikelin Ispanakta (*Spinacia oleracea*) Çimlenme ve Bazı Fide Büyüme Parametreleri Üzerine Etkisi. *Ekoloji Dergisi*, 20(79): 69-76.
- Alia, N., Sardar, K., Said, M., Salma, K., Sadia, A., Sadaf, S., Toqeer, A. ve Miklas, S., 2015. Toxicity and Bioaccumulation of Heavy Metals in Spinach (*Spinacia oleracea*) Grown in a Controlled Environment. *International Journal of Environmental Research and public health*, 12(7): 7400-7416.
- Alobaidi, K.H., Bashmakova, E.B., Kholodova, V.P. 2015. Response of Two *Brassica* Species to the Toxic Effect of Different Copper Concentration. *Journal of Environmental Protection*, 6(07): 719-725.
- Al-Shehbaz, I.A., Beilstein, M.A., Kellogg, E.A. 2006. Systematics and Phylogeny of the *Brassicaceae* (*Cruciferae*): an overview. *Plant Systematics and Evolution*. 259: 89-120.
- Amari, T., Ghnaya, T., Debez, A., Taamali, M., Ben Youssef, N., Lucchini, G., ... Abdelly, C., 2014. Comparative Ni tolerance and accumulation potentials between *Mesembryanthemum crystallinum* (halophyte) and *Brassica juncea*: Metal accumulation, nutrient status and photosynthetic activity. *Journal of Plant Physiology*, 171(17): 1634-1644.
- Aravind, P., Prasad, M.N.V., 2005. Cadmium-Zinc Interactions in A Hydroponic System Using *Ceratophyllum demersum* L, *Brazil Journal of. Plant Physiology*, 17(1).
- Asati, A., Pichhode, M., Nikhil, K. 2016. Effect of Heavy Metals on Plants. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IIAIEM)*, 58-60.
- Asch, F., Becker, M., Kpongor, D. S., 2005. A quick and efficient screen for resistance to iron toxicity in lowland rice. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168(6): 764-773.
- Asri, FÖ., Sönmez, S. 2006. Ağır Metal Toksisitesinin Bitki Metabolizması Üzerine Etkileri, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü, Antalya Food adna agriculture organization of the united nations, 23 (2): 36-45.

- Aybar, M., Bilgin, A., Sağlam, B. 2015. Fitoremediasyon yöntemi ile Topraktaki Ağır Metallerin Giderimi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 1(1-2): 59-65.
- Aydinalp, C., Marinova, S. 2009. The Effects of Heavy Metals on Seed Germination and Plant Growth on Alfalfa Plant (*Medicago sativa*). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 15(4): 347-350.
- Ayhan, B., Ekmekçi, Y., Tanyolaç, D. 2006. Bitkilerde Ağır Metal Zararları ve Korunma Mekanizmaları. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(1):1-16.
- Azevedo, R. A., Lea, P.J. 2005. Toxic Metals in Plants'', Brasil Journal Plant Physiology, Londrina .17 (1): 1.
- Azooz, M. M., Abou-Elhamd, M. F., Al-Fredan, M. A. 2012. Biphasic effect of copper on growth, proline, lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities of wheat (*Triticum aestivum* cv. Hasaawi) at early growing stage. *Australian Journal of Crop Science*, 6(4): 688-694.
- Baek, S.A., Han, T., Ahn, S.K., Kang, H., Cho, M.R., Lee, S.C., Im. K.H., 2012. Effects of Heavy Metals on Plant Growths and Pigment Contents in Arabidopsis thaliana. 28(4): 446-452.
- Baker, A.J.M., Brooks, R.R. 1989. Terrestrial Higher Plants Which Accumulate Metallic Elements- A Review of their Distribution, Ecology and Phytochemistry, *Biorecovery* 1: 81-126.
- Baker, A. J. M. and Walker, P. L.: 1990, 'Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants', in Shaw, J. A. (ed.), Heavy Metal Tolerance in Plants: Evolutionary Aspects; CRC, Boca Raton, FL, 157-177.
- Bañuelos, G. S., Ajwa, H. A., Terry, N., ve Downey, S. 1997. Phytoremediation of Selenium-laden Effluent. *Fourth international in situ and on-site bioremediation symposium*, New Orleans, 3:303.
- Batır, M.B. 2014. Kurşun (Pb) ve Bakır (Cu) Ağır Metal Stresi Uygulanan Enginar (*Cynara scolymus* L.) Tohumlarının Fidelerinde Oluşan DNA Değişikliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 25-42.
- Bhalerao, S.A., Sharma, A.S., Anukthi, C. 2015. Toxicity of Nickel in Plants. *International Journal of Pure & Applied Bioscience*, 3(2): 345-355.
- Boominathan, R., Doran, P.M. 2002. Ni-Induced Oxidative Stress in roots of the Ni Hyperaccumulator, *Alyssum bertolonii*. *New Phytologist*, 156(2): 205-215.

- Briat, J.F., ve Curie, C., Gaymard, F. 2007. Iron utilization and metabolism in plants. *Current Opinon in Plant Biology*, 10(3): 276-282.
- Burken, J. G., Schnoor, J. L. 1996. Phytoremediation: Plant Uptake of Atrazine and Role of Root Exudates. *Journal of Environmental Engineering*, 122(11): 958-963.
- Cardone, M., Mazzoncini, M., Menini, S., Rocco, V., Senatore, A., Seggiani, M., Vitolo, S. 2003. *Brassica carinata* as an Alternative Oil Crop for the Production of Biodiesel in Italy: Agronomic Evaluation, Fuel Production by Transesterification and Characterization. *Biomass and Bioenergy*, 25(6): 623-636.
- Casierra-Posada, F., Cárdenas-Hernández, J.F., Roa, H.A. 2008. The Effect of Aluminium On Wheat (*Triticum aestivum* L.) and Corn (*Zea mayz* L.) Seed Germination. *Original Article*, 12(1): 45-56.
- Casierra-Posada, F., González, L.A., Ulrichs, C. 2010. Crecimiento en Plantas de Brócoli (*Brassica oleracea* L. var. *Itálica*) Afectadas por Exceso de Zinc. *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas*, 4(2): 166-174.
- Casierra-Posada, F., Ulrichs, C., Pérez, C. 2012. Growth of Spinach Plants (*Spinacia oleracea* L.) Exposed to excess Zinc and Manganese. *Agronomía Colombiana*, 30(3): 344-350.
- Chaves, L.H.G., Estrela, M.A., Souza, R.S. 2011. Effect on Plant Growth and Heavy Metal Accumulation by Sunflower. *journal of Phytology*, 3(12): 04-09.
- Chen, C., Huang, D., Liu, J. 2009. Functions and Toxicity of Nickel in Plants: Recent Advances and Future Prospects. *CLEAN - Soil, Air, Water*, 37 (4-5): 304 – 313.
- Clarkson, D. T., Hanson, J. B. 1980. The Mineral Nutrition of Higher Plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 31(1): 239-298.
- Connolly, E.L., Guerinotcor, M.L. 2002. Iron stress in plants. *Genome Biology*, 3(8):1024.4.
- Cook, C.M., Kostidou, A., Vardaka, E., Lanaras, T. 1997. Effects of Copper on the Growth, Photosynthesis and Nutrient Concentrations of *Phaseolus* Plants. *Photosynthetica*, 34(2): 179-193.
- Cu, N.X. 2015. Effect of Heavy Metals on Plant Growth and Ability to Use Fertilizing Substances to Reduce Heavy Metal Accumulation by *Brassica Juncea* L. *Czern. Global Journal of Science Frontier Research*, 15(3).
- Dağhan, H. 2007. Fitoremediasyon: Bitki Kullanılarak Kirlenmiş Alanların Temizlenmesi. GAP V. *Tarım Kongresi*, 17-19 Ekim, Şanlıurfa, 362-367.

- De Dorlodot, S., Lutts, S., Bertin, P. 2005. Effects of Ferrous Iron Toxicity on the Growth and Mineral Composition of an Interspecific Rice. *Journal of Plant Nutrition*, 28(1):1-20.
- Demir, Ö.F., 2014. Farklı ana materyaller üzerinde oluşmuş topraklarda gıda ve azot uygulamalarının kırmızıbiber (*Capsicum annum L.*) gelişimine etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş, 22-24.
- Demirevska-kepova, L., Simova Stoilova, Z., Stoyanova, R., Holzer, U. 2004. Feller Biochemical Changes in Barely Plants after Excessive Supply of Copper And Manganese. *c and Experimental Botany*, 52(3): 253-266.
- Denkhaus, E., Salnikow, K. 2002. Nickel Essentiality, Toxicity, and Carcinogenicity. *Critical Reviews in Oncology/Hematology*, 42: 35-56.
- De Vries, W., Lofts, S., Tipping, E., Meili, M., Groenenberg, J. E., Schütze, G. 2007. Impact of Soil Properties on Critical Concentrations of Cadmium, Lead, Copper, Zinc, and Mercury in Soil and Soil Solution in View of Ecotoxicological Effects. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 191: 47-89.
- Dhongade, S., Nandkar, P.B., 2011. The Phytotoxicity of Heavy Metals on Growth and Metal Uptake by Spinach. *Agricultural and Biological Research*, 27(1): 78-90.
- Dunand, V.F., Epron, D., Sossé, A.B. ve Badot, P.M. 2002. Effects of Copper on Growth and on Photosynthesis of Mature and Expanding Leaves in Cucumber Plants, *Plant Science*, 163(1): 53-58.
- Ebbs, L.V., Kochian, L. V. 1997. Toxicity of Zinc and Copper to *Brassica* Species: Implications for Phytoremediation. *Journal of Environmental Quality*, 26(3): 776-781.
- El Rasafi, T., Nouri, M., Bouda, S., Haddioui, A. 2016. The Effect of Cd, Zn and Fe on Seed Germination and Early Seedling Growth of Wheat and Bean. *Ekológia (Bratislava)*, 35(3): 213-223.
- Emamverdian, A., Ding, Y. 2017. Effects of heavy metals' toxicity on plants and enhancement of plant defense mechanisms of Si-mediation "Review". *International Journal of Environmental & Agriculture Research*, 3(4): 41-51.
- Eren, A., Mert, M. 2016. Ağır Metal (Ni, Cd ve Cu) Uygulamalarının Andızotu, Fener Otu ve Sığırkuyruğu Bitkilerinin Büyüme ve Gelişmesi Üzerine Etkisi. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 4(1): 50-58.

- Espen, L., PiroyanO, L., Cocucci, S. M. 1997. Effect of Ni² During the Early Phases of Radish (*Raphanus sativus*) Seed Germination. *Environmental and Exp. Botany*, 38:187-197.
- Ewais, E.A. 1997. Effect of Cadmium, Nickel and Lead on Growth, Chlorophyll Content and Proteins of Weeds. *Biologia Plantarum*, 39 (3): 403- 410.
- Fageria, N. K., Baligar, V. C., Clark, R. B. 2002. Micronutrients in Crop Production. *Advances in Agronomy*, 77: 185-268.
- Feigl, G., Kumar, D., Lehotai, N., Pető, A., Molnár, Á., Rácz, É., ... Laskay, G., 2015. Comparing the effects of excess copper in the leaves of *Brassica juncea* (L. Czern) and *Brassica napus* (L.) seedlings: Growth inhibition, oxidative stress and photosynthetic damage. *Acta Biologica Hungarica*, 66(2): 205-221.
- Fidalgo, F., Azenha, M., Silva, A. F., de Sousa, A., Santiago, A., Ferraz, P., Teixeira, J. 2013. Copper-induced Stress in *Solanum nigrum* L. and Antioxidant Defense System Responses. *Food and Energy Security*, 2(1): 70-80.
- Farraji, H., Zaman, NQ., Tajuddin, R.M., Faraji, H. 2016. Advantages and Disadvantages of Phytoremediation: A concise review. *Int J Env Tech Sci* 2: 69-75.
- Fontes, R.L.F., Cox, F.R. 1998. Zinc Toxicity in Soybean Grown at High Iron Concentration in Nutrient Solution. *Journal of Plant Nutrition*, 21(8): 1723-1730.
- Gajewska, E., Skłodowska, M., 2007. Relations between tocopherol, chlorophyll and lipid peroxides contents in shoots of Ni-treated wheat. *Journal of Plant Physiology*, 164(3): 364-366.
- Gall, J.E., Rajakaruna, N. 2013. The Physiology, Functional Genomics, and Applied Ecology of Heavy Metal-tolerant *Brassicaceae*. In *Brassicaceae: Characterization, Functional Genomics and Health Benefits*; Lang, M., Ed.; Nova Science Publishers: Hauppauge, NY, USA, 121-148.
- Gisbert, C., Clemente, R., Navarro-Aviñó, J., Carlos Baixauli, C., Ginér, A., Serrano, R., Walker, D.J., Pilar Bernal, M.P. 2006. Tolerance and accumulation of heavy metals by *Brassicaceae* species grown in contaminated soils from Mediterranean regions of Spain. *Environ. Exp. Bot*, 56: 19-26.
- Ghosh, M., Singh, S.P. 2005. A Review on phytoremediation of heavy metals and utilization of it's by products. *Asian Journal on Energy & Environment*, 6(04): 214-231.

- Godsey, C. B., Schmidt, J. P., Schlegel, A. J., Taylor, R. K., Thompson, C. R., Gehl, R. J. 2003. Correcting Iron Deficiency in Corn with Seed Row Applied Iron Sulfate. *Agronomy Journal*, 95(1): 160-166.
- Goncalves, E.M., Alegria, C., Abreu, M. 2013. Benefits of *Brassica* Nutraceutical Compounds on Human Health. In *Brassicaceae: Characterization, Functional Genomics and Health Benefits*; Lang, M., Ed.; Nova Science Publishers: Hauppauge, NY, USA, 20-65.
- Haghighitalab, A., Karami, M., Sadeghi, E., Shahi, M. 2014. Investigation of Heavy Metals with Some Methods on Vegetables. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 7(7): 417-421.
- Hamutoğlu, R., Dinçsoy, A.B., Cansaran-Duman, D., ve Aras, S. 2012. Biyosorpsiyon, Adsorpsiyon ve Fitoremediasyon Yöntemleri ve Uygulamaları. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 69(4): 235-253.
- Halkier, B.A., Gershenzon, J., 2006. Biology and Biochemistry of Glucosinolates. *Annual Review of Plant Biology*, 57(1): 303-333.
- Ishtiaq, S., Mahmood, S. 2011. Phytotoxicity of Nickel and its Accumulation in Tissues of three *Vigna* species at their Early Growth Stages. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 84: 223 - 228.
- Ivanov, R., 2010. When no means no: guide to *Brassicaceae* self-incompatibility. *Trends in Plant Science*, 15(7): 387-394.
- Jadia, C.D., Fulekar, M.H. 2008. Phytoremediation: The Application of Vermicompost to Remove Zinc, Cadmium, Copper, Nickel and Lead by Sunflower Plant. *Environmental Engineering and Management Journal*, 7(5): 547-558.
- Jiang, M., Cao, L., Zhang, R. 2008. Effects of Acacia (*Acacia auriculaeformis* A. Cunn)-associated fungi on mustard (*Brassica juncea* (L.) Coss. var. *foliosa* Bailey) growth in Cd- and Ni-contaminated soils. *Letters in Applied Microbiology*, 47(6): 561-565.
- Jones, Jr.JB., Case, V.W., 1990. Sampling, Handling, and Analyzing Plant Tissue Samples, chapter 15. In R.L. Westerman (ed) *Soil Testing and Plant Analysis*. Book Series 3, *Soil Science Society of America*, Madison, USA, 390-420.
- Kabata-Pendias, A., Pendias, H. 2001. Trace Elements in Soils and Plants, CRC Pres. LLC (Third Ed.) Boca Raton, Florida, 1- 403.
- Kabata-Pendias, A., Mukherjee, A.B. 2007. Trace elements from soil to human. *Springer Berlin Heidelberg New York*, 209-220.

- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S. 2001. Metallerin Çevresel Etkileri-I'' İTÜ, Metalürji ve Malzeme Müh. Bölümü, *Metalurji Dergisi*.136, 47-53.
- Kamaraj, M., Sivaraj, R., Subha, P.V., Jansi, L., Manjudevi, M. 2012. Uptake of Mineral Elements by *Brassica juncea* and its Effects on Biochemical Parameters. *Advances in Applied Science Research*, 3(2): 1039-1044.
- Kaur, L., Gadgil, K., Sharma, S., 2105. Phytoextraction Based on Indian Mustard (*Brassica Juncea Arawali*) Planted on Spiked Soil by Aliquot Amount of Lead and Nickel. *International Journal Of Environmentalquality*, 17: 13-23.
- Khalid, B. Y., Tinsley, J. 1980. Some effects of nickel toxicity on rye grass. *Plant and Soil*, 55(1): 139-144.
- Kopsell, D.A., McElroy, J.S., Sams, C.E., Kopsell, D.E. 2007. Genetic Variation in Carotenoid Concentrations among Diploid and Amphidiploid Rapid-cycling *Brassica* Species. *Hortscience*, 42(2): 461-465.
- Kumara, V., Chopraa, A.K., ve Srivastavab, S. 2016. Assessment of Heavy Metals in Spinach (*Spinacia oleracea* L.) Grown in Sewage Sludge–Amended Soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47(2): 221-236.
- Kumar, V., Mahajan, M., Yadav, S., 2012. Toxic Metals Accumulation, Tolerance and Homeostasis in *Brassica* oil seed Species: Overview of Physiological, Biochemical and Molecular Mechanisms. *Environmental Pollution*, 21(1): 171-211.
- Kunjam M., Govada H., Mididoddi N., Kota R.S.2015. Studies on Selected Heavy Metals on Seed Germination and Plant Growth in Pea Plant (*Pisum sativum*) Grown in Solid Medium. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 3(5): 85-87.
- Kuşutan, F. 2017. Hiperakümülatör Bitkilerin Önemi. *Apelasyon Dergisi*, 39.
- Lanaras, T., Moustakas, M., Symenoides, L., Diamantoglou, S., Karataglis, S. 1993. Plant Metal Content, Growth Responses and some Photosynthetic Measurements on Field-cultivated Growing on ore Bodies Enriched in Cu. *Physiologia Plantarum*, 88(2): 307-314.
- Lebeau, T., Braud, A., Jézéquel, K. 2008. Performance of Bioaugmentation-assisted Phytoextraction Applied to Metal Contaminated Soils: A Review. *Environ. Pollut*, 153(3): 497-522.
- Lee, C.W., Choi, J.M., Pak, C.H. 1996. Micronutrient Toxicity in Seed Geranium (*Pelargonium x hortorum* Bailey). *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 12(1): 77-82.

- Lewis, S., Donkin, M.E., Depledge, M.H. 2001. Hsp70 Expression in *Enteromorpha Intestinalis* (Chlorophyta) Exposed to Environmental Stressors. *Aquatic Toxicology*, 51(3): 277-291.
- Li, Y.M., Chaney, R., Brewer, E., Roseberg, R., Angle, J.S., Baker, A.J.M., Reeves, R., ve Nelkin, J. 2003. Development of a technology for commercial phytoextraction of Nickel: Economic and technical considerations. *Plant and Soil*, 249(1): 107-115.
- Lin, Y.C., Kao, C.H. 2005. Nickel toxicity of rice seedlings: Cell wall peroxidase, lignin, and NiSO₄- inhibited root growth, *Crop, Environment Bioinformatics*, 21: 31-136.
- Lombardi, L., Sebastiani, L. 2005. Copper Toxicity in *Prunus Cerasifera*: Growth and Antioxidant Enzymes Responses of in Vitro Grown Plants. *Plant Science*, 168(3): 797-802.
- Macfarlane, G. R., Burchett, M.D., 2002. Toxicity, Growth and Accumulation Relationships of Copper, Lead and Zinc in Grey Mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. *Marine Environmental Research*, 54(1): 65-84.
- Majerus, V., Bertin, P., Lutts, S., 2007. Effects of iron toxicity on osmotic potential, osmolytes and polyamines concentrations in the African rice (*Oryza glaberrima* Steud.). *Plant Science*, 173(2): 96-105.
- Maksymiec, W. 1997. Effect of copper on cellular processes in Higher Plants. *Photosynthetica*, 34(3): 321-342.
- Marchiol, L., Sacco, P., Assolari, S., Zerbi, G. 2004. Reclamation of Polluted Soil: Phytoremediation Potential of Crop-Related *Brassica* Species. *Water, Air, and Soil Pollution*, 158(1): 345-356.
- Martins, L. L., Mourato, M. P. 2006. Effect of Excess Copper on Tomato Plants: Growth Parameters, Enzyme Activities, Chlorophyll, and Mineral Content. *Journal of Plant Nutrition*, 29(12): 2179-2198.
- Matraszek, R., Hawrylak-Nowak, B., Chwil, M., Chwil, S., Rudaś, M. 2017. Effect of the interaction of nickel stress and sulphur supplementation on the content and accumulation of macronutrients in white mustard (*Sinapis Alba* L.). *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, 20(2).
- Mehraban, P., Zadeh, A.A., Sadeghipour, H.R. 2008. Iron Toxicity in Rice (*Oryza sativa* L.), under Different Potassium Nutrition. *Asian Journal of Plant Sciences*, 7(3): 251-259.
- Mengel, K., Kirkby, E. A., Kosegarten, H., T. Appel. 2001. Principles of Plant Nutrition. Dordrecht, the Netherlands: *Kluwer Academic Publishers*, 93(4): 479-480.

- Merian, E. 1982. A Review of: Biomonitoring Air Pollutants with *Plants*. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 11(3-4) :315-316.
- Molas, J. 1997. Changes in Morphological and Anatomical Structure of Cabbage (*Brassica oleracea* L.) outer Leaves and in Ultrastructure of their Chloroplasts Caused by an in Vitro Excess of Nickel. *Photosynthetica*, 34(4): 513-522.
- Mourato, M.P., Moreira, I.N., Leitao, I., Pinto, F.R., Sales, J.R., Martins, L.L. 2015. Effect of Heavy Metals in Plants of the Genus *Brassica*. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(8): 17975-17998.
- Naz, A., Khan, S., Qasim, M., Khalid, S., Muhammad, S., Tariq, M. 2013. Metal Toxicity and its Bioaccumulation in Purslane Seedlings grow in Controlled Environment. *Natural Science*, 5(5): 573-579.
- Nenova, V. 2006. Effect of Iron Supply on Growth and Photosystem II Efficiency of Pea Plants. *Gen. Appl. Plant Physiol. (Special Issue)*, 32: 81-90.
- Oh, K., Li, T., Cheng, H., Hu, X., He, C., Yan, L., & Shinichi, Y. 2013a. Development of Profitable Phytoremediation of Contaminated Soils with Biofuel Crops. *Journal of Environmental Protection*, 04(04): 58-64.
- Oh, K., Li, T., Cheng, H.Y., Hu, X. F., Lin, Q., ve Xie, Y.H. 2013b. A Primary Study on Assessment of Phytoremediation Potential of Biofuel Crops in Heavy Metal Contaminated soil. *Applied Mechanics and Materials*, vols, 295 (298):1135-1138.
- Okcu, M., Tozlu, E., Kumlay, A.M., Pehlivan, M. 2009. Ağır Metallerin Bitkiler Üzerine Etkileri” Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Erzurum, Iğdır Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Iğdır, *Alinteri*, 17(B): 14-26.
- Okturen Asri, F., Sonmez, S. 2016. Effects of Potassium and Iron Applications on Nutrient Concentrations of tomato Plants Grown in Soilless Culture. *Acta Horticulturae*, (1142), 329-334.
- Oladele, E. O., Odeigah, P. G. C., Taiwo, I. A. 2013. The Genotoxic Effect of Lead and Zinc on Bambara Groundnut (*Vigna subterranean*). *African Journal of Environmental Science and Technology*, 7(1): 9-13.
- Onyango, A.D., Entila, F., Dida, M.M., Ismail, A.M., Drame, K.N., 2019. Mechanistic understanding of iron toxicity tolerance in contrasting rice varieties from Africa: 1. Morpho-physiological and biochemical responses. *Functional Plant Biology*, 46(1): 93-105.

- Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M ve Kaptan, H., 1995. Toprak Bilimi. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fak. Genel Yayın No: 73 Ders Kitapları Yayın No:16, ADANA.
- Pahlsson, A-M.B. 1989. Toxicity of Heavy Metals (Zn, Cu, Cd, Pb) to Vascular Plants. *Water, Air, and Soil Pollution*, 47(3-4): 287-319.
- Pandey, N., Sharma, C.P. 2002. Effect of Heavy Metals Co^{2+} , Ni^{2+} , and Cd^{2+} on Growth and Metabolism of Cabbage. *Plant Science*, 163(4): 753-758.
- Panou-Filothou, H., Bosabalidis, A.M., Karataglis, S., 2001. Effects of Copper Toxicity on Leaves of Oregano (*Origanum vulgare* subsp. *hirtum*). *Annals of Botany*, 88(2): 207-214.
- Peña-Olmos J.E., Casierra-Posada, F., Olmos-Cubides, M.A. 2014. The Effect of High Iron doses (Fe^{2+}) on the Growth of Broccoli Plants (*Brassica oleracea* var. *Italica*). *Agronomía Colombiana*, 32(1): 22-28.
- Penas, E., Frias, J., Martinez-Villaluenga, C., Vidal-Valverde, C. 2011., Bioactive Compounds, Myrosinase Activity, and Antioxidant Capacity of White Cabbages Grown in Different Locations of Spain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(8): 3772-3779.
- Perez-Espinosa, A., Moreno-Caselles, J., Moral, R., Perez-Murcia, M. D., Gomez, I., 1999. Effect of sewage sludge and cobalt treatments on tomato fruit yield, weight, and quality. *Journal of Plant Nutrition*, 22(2): 379-85.
- Peško, M., Kráľová, K. 2013. Physiological Response of *Brassica napus* L. Plants to Cu (II) Treatment. *Proceedings of ECOpole*, 7(1): 155-161.
- Pooladvand, S., Ghorbanli, M., Farzami Sepehr, M. 2012. Effect of Various Levels of Iron on Morphological, Biochemical, and Physiological Properties of *Glycine max* var. Pershing. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 2(4): 531-538
- Prasad, M.N.V., Freitas, H.Md.O., 2003. Metal Hyperaccumulation in Plants - Biodiversity Prospecting for Phytoremediation Technology. *Electronic Journal of Biotechnology*, 6(3): 286-321.
- Purakayastha, T. J., Viswanath, T., Bhadraray, S., Chhonkar, P. K., Adhikari, P. P., Suribabu, K., 2008. Phytoextraction of Zinc, Copper, Nickel and Lead from a Contaminated Soil by Different Species of *Brassica*. *International Journal of Phytoremediation*, 10(1): 61-72.
- Quartacci, M.F., Bakerb, A.J.M., Navari-Izzo, F., 2003. Nitrilotriacetate- and citric acid-assisted phytoextraction of cadmium by Indian mustard (*Brassica juncea* (L.) Czernj, *Brassicaceae*). *Chemosphere*, 59(9): 1249-1255.

- Radulescu, C., Stihl, C., Popescu, I.V., Dulama, I.D., Chelarescu, E.D., Chilian, A., 2013. Heavy Metal Accumulation and Translocation in different Parts of *Brassica Oleracea L.* *Romanian Journal of Physics*, (9-10): 1337-1354.
- Reeves, R.D., Brooks, R.R. 1983. Hyperaccumulation of Lead and Zinc by two Metallophytes from Mining Areas of Central Europe. *Environmental Pollution Series A, Ecological and Biological*, 31(4): 277-285.
- Ross, S.M. 1994. Sources and Forms of Potentially Toxic Metals in Soil-Plant Systems”, In: S.M. Ross, Editor, Toxic Metals in Soil- Plant Systems, Chichester. *John Wiley*, 3-25.
- Rossi, G., Figliolia, A., Socciarelli, S., Pennelli, B., 2002. Capability of *Brassica napus* to Accumulate Cadmium, Zinc and Copper from Soil. *Acta Biotechnologica*, 22(1-2): 133-140.
- Rout, G., Das., P. 2003. Effect of Metal Toxicity on Plant Growth and Metabolism: I. Zinc. *Agronomie, INRA, EDP Sciences*. 23(1): 3-11.
- Rout, G.R., Das, A.B., ve Sahoo, S. 2014. Screening of Iron Toxicity in Rice Genotypes on the Basis of Morphological, Physiological and Biochemical Analysis. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 2(6): 567-582.
- Rout, G.R., ve Sahoo, S. 2015. Role of Iron in Plant Growth and Metabolism. *Reviews in Agricultural Science*, 3(0): 1-24.
- Sagardoy, R., Morales, F., López-Millán, A.-F., Abadía, A., Abadía, J. 2009. Effects of Zinc Toxicity on Sugar Beet (*Beta vulgaris L.*) Plants Grown in Hydroponics. *Plant Biology*, 11(3): 339-350.
- Samreen, T., Humaira., Shah, H. U., Ullah, S., Javid, M. 2017. Zinc Effect on Growth rate, Chlorophyll, Protein and Mineral Contents of Hydroponically Grown Mungbeans Plant (*Vigna radiata*). *Arabian Journal of Chemistry*, 10: 1802-1807.
- Salido, A.L., Hasty, K.L., Lim, J.M., Butcher, D.J. 2003. Phytoremediation of Arsenic and Lead in Contaminated Soil Using Chinese Brake Ferns (*Pteris vittata*) and Indian Mustard (*Brassica juncea*). *International Journal of Phytoremediation*, 5(2): 89-103.
- Saxena, D.K., ve Saiful-Arfeen, Md. 2009. Effect of Cu and Cd on Oxidative Enzymes and Chlorophyll Content of Moss *Racomitrium crispulum*. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 54(4): 365-374.

- Sharma, R. K., Devi S., dan Dhyani, P. P. 2010. Comparative Assessment of the Toxic Effects of Copper and Cypermethrin using Seeds of *Spinacia Oleracea* L. Plants. *Tropical Ecology*, 51(2): 375-387.
- Sheldon, A. R., Menzies, N. W. 2005. The Effect of Copper Toxicity on the Growth and Root Morphology of Rhodes Grass (*Chloris gayana* Knuth.) in Resin Buffered Solution Culture. *Plant and Soil*, 278(1-2): 341-349.
- Singh, O.V., Labana, S., Pandey, G., Budhiraja, R. 2003. Phytoremediation: An Overview of Metallic Ion Decontamination from Soil. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 61(5-6): 405-412.
- Sönmez, S., Kaplan, M., Sönmez, N. K., ve Harun Kaya, H. 2006. Topraktan Yapılan Bakır Uygulamalarının Toprak pH'sı ve Bitki Besin Maddesi İçerikleri Üzerine Etkisi. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(1): 151-158 .
- Szczygłowska, M., Piekarska, A., Konieczka, P., Namieśnik, J., 2011. Use of *Brassica* Plants in the Phytoremediation and Bio Fumigation Processes. *International Journal of Molecular Sciences*, 12(11):7760-7771.
- Takishima, K., Suga, T., Mamiya, G. 1988. The structure of Jack bean urease. The complete amino-acid sequences, limited proteolysis and reactive cystein residue. *European Journal of Biochemistry*. 175(1): 151-165.
- Tandi, N. K., J. Nyamangara, C. Bangira., 2004. Environmental and Potential Health Effects of Growing Leafy Vegetables on Soil Irrigated Using Sewage Sludge and Effluent: A Case of Zn and Cu. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 39(3): 461-471.
- Terzi, H., Yıldız, M., 2011. Ağır Metaller ve Fitoremediasyon: Fizyolojik ve Moleküler Mekanizmalar. *AKÜ-FEBİD*, 11: 1-22.
- Todeschini, V., Lingua, G., D'Agostino, G., Carniato, F., Roccotiello, E., Berta, G. 2011. Effects of High Zinc Concentration on Poplar Leaves: A morphological and Biochemical study. *Environmental and Experimental Botany*, 71(1): 50-56.
- Truta, E., Gherghel, D., Bara, I. C. I., Vochita, G. V. 2013. Zinc-Induced Genotoxic Effects in Root Meristems of Barley Seedlings. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 41(1): 150-156.
- Vamerali, T., Bandiera, M., Mosca, D. 2010. Field Crops for Phytoremediation of metal-contaminated Land. A review. *Environmental Chemistry Letters*, 8(1): 1-17.

- Vanli, Ö. 2007. Pb, Cd, B elementlerinin topraklardan şelat destekli fitoremediasyon yöntemiyle giderilmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesinde, Çevre Mühendisliği. 53-83.
- Varotto. C., Maiwald, D., Pesaresi, P., Jahns, P., Salamini, F., ve Leister, D. 2002. The Metal Ion Transporter IRT1 is necessary for Iron Homeostasis and Efficient Photosynthesis in *Arabidopsis Thaliana*. *The Plant Journal*, 31(5): 589-599.
- Wainwright, S. J., Woolhouse, H. W., 1977. Some Physiological Aspects of Copper and Zinc Tolerance in *Agrostis tenuis* Sibth. Cell Elongation and Membrane Damage. *Journal of Experimental Botany*, 2(4): 1029-1036.
- Wang, X. J., Li, F. Y., Okazaki, M., ve Sugisaki, M. 2003. Phytoremediation of Contaminated Soil. *Annual Report CESS*, 3 (4): 114-123.
- Wani, P. A., Khan, M. S., Zaidi, A. 2007. Impact of Heavy Metal Toxicity on Plant Growth, Symbiosis, Seed Yield and Nitrogen and Metal Uptake in Chickpea. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 47(12): 712-720.
- Warne, M. S. J., Heemsbergen, D., Stevens, D., McLaughlin, M., Cozens, G., Whatmuff, M., ve Penney, N. 2008. Modeling the Toxicity of Copper and Zinc Salts to Wheat in 14 Soils. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 27(4):786-792.
- Wheeler, B.D., Al-Farraj, M.M., ve Cook, R.E.D. 1985. Iron Toxicity to Plants in Base-rich Wetlands: Comparative Effects on the Distribution and Growth of *Epilobium hirsutum* L. and *Juncus subnodulosus* Schrank. *New Phytologist*, 100(4): 653- 669.
- Xiong, Z.-T., Li, Y.-H., Xu, B. 2002. Nutrition Influence on Copper Accumulation by *Brassica pekinensis* Rupr. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 53(2): 200-205.
- Xiong, Z.-T., Wang, H., 2005. Copper toxicity and bioaccumulation in Chinese cabbage (*Brassica pekinensis* Rupr.). *Environmental Toxicology*, 20(2): 188-194.
- Yadav, S.K., Sehgal, S., 2002. Effect of Domestic Processing and Cooking Methods on Total, HCl Extractable Iron and in vitro availability of Iron in Spinach and Amaranth Leaves. *Nutrition and Health*, 16(2): 113-120.
- Yaşar, Ü. 2009. *Cercis Siliquastrum* L. Subsp. *Siliquastrum* (Fabaceae)'un Ağır Metal Kirliliğinde Biomonitor Olarak Kullanımı. Doktora Tezi. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul. 112-130.
- Yruela I. 2009. Copper in Plants: Acquisition, Transport and Interactions. *Functional Plant Biology*, 36(5): 409-430.

Zengin, F. K., Munzuroğlu, O. 2004. Effect of Lead and Copper (Cu) on the Growth of Root, Shoot and Leaf of Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Seedlings. *Gazi University Journal of Science*, 17(3):1-10.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Tammam ISMAIL
Doğum Tarihi, Yeri : 22.10.1988, Tartous, Suriye
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0531 6328694
e- posta : tamam.es88@hotmail.com

Eğitim

Lisans : Tishreen University, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü,
2013 Lazkiye, Suriye
Yüksek Lisans : Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe
2019 Bitkileri Bölümü; Kahramanmaraş

İş Deneyimi

Ziraat Mühendisi
2013-2013 : Lübnan, Özel sektör
Ziraat Mühendisi
2014-2015 : Halep, Suriye, Özel sektör

Yabancı Dil

Türkçe- İngilizce : İyi düzeyde