

**BESİN ÇÖZELTİSİNE ARTAN SEVİYELERDE
UYGULANAN KADMİYUM VE KURŞUNUN BAZI
MISIR VE AYÇİÇEĞİ GENOTİPLERİNİN
GELİŞİMİ VE MİNERAL İÇERİĞİ ÜZERİNE
ETKİSİNİN BELİRLENMESİ**

Esra AKSU GÜLER

**Doktora Tezi
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı
Prof. Dr. Nesrin YILDIZ
2011
Her hakkı saklıdır**

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

BESİN ÇÖZELTİSİNE ARTAN SEVİYELERDE UYGULANAN
KADMIYUM VE KURŞUNUN BAZI MISIR VE AYÇİÇEĞİ
GENOTİPLERİNİN GELİŞİMİ VE MİNERAL İÇERİĞİ ÜZERİNE
ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Esra AKSU GÜLER

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

ERZURUM

2011

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

BESİN ÇÖZELTİSİNE ARTAN SEVİYELERDE UYGULANAN KADMİYUM VE KURŞUNUN BAZI MISIR VE AYÇİÇEĞİ GENOTİPLERİNİN GELİŞİMİ VE MİNERAL İÇERİĞİ ÜZERİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Prof. Dr. Nesrin YILDIZ danışmanlığında, Esra AKSU GÜLER tarafından hazırlanan bu çalışma 20/04/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı'nda doktora tezi olarak **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Mustafa Y. CANBOLAT

İmza :

Üye : Prof. Dr. Mehmet AYDIN

İmza :

Üye : Prof. Dr. Nesrin YILDIZ

İmza :

Üye : Prof. Dr. Metin TURAN

İmza :

Üye : Prof. Dr. Ökkeş ATICI

İmza :

(imza)

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum
Enstitü Müdürü

Bu çalışma BAP projeleri kapsamında desteklenmiştir.
Proje No: 2007/105

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

ÖZET

Doktora Tezi

BESİN ÇÖZELTİSİNE ARTAN SEVİYELERDE UYGULANAN KADMIYUM VE
KURŞUNUN BAZI MISIR VE AYÇİÇEĞİ GENOTİPLERİNİN GELİŞİMİ VE
MİNERAL İÇERİĞİ ÜZERİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Esra AKSU GÜLER

Atatürk Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Nesrin YILDIZ

Bu araştırmada, doğal kaynaklar ve kirlenme yoluyla günümüzde toprak-bitki ekosistemine giren Cd ve Pb metallerin ülkemizde yaygın olarak yetiştirilen mısırın (*Zea mays* L.) 3223, 3394, 34N24, 31P41, 31G98, DK647, Kerness, Vera, Doge, Luce, Pegaso, MF714, Varenne, Isidora ve Larigor genotipleri ile ayçiçeğinin (*Helianthus annuus* L.) C70165, 8N386CL, Tarsan, DFK2525 ve AS508 genotiplerinin gelişimi ve mineral içeriği üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Deneme bitkilerinin tohumları torf+kum karışımında çimlendirilip, 3-4 yaprak aşamasına gelen fideler besin çözeltisine aktarılmış ve 0, 0.5, 1, 5, 10 mg l⁻¹ Cd; 0, 50, 100 ve 150 mg l⁻¹ Pb tüm seviyeler için 3 tekrarlı olarak uygulanmıştır. 45 günlük gelişme periyodu sonunda kök ve gövde+yaprak olarak hasat edilen bitkilerin kök ve gövde uzunlukları, yaş ve kuru ağırlıkları, su içerikleri, kuru madde miktarları, klorofil düzeyleri, Cd ve Pb birikimleri ve mineral içerikleri belirlenmiştir.

Sonuç olarak, Cd ve Pb ağır metalleri mısır ve ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde gelişimini, mineral içeriklerini ve klorofil düzeyini önemli seviyede etkilemiştir. Ağır metal konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak mısır ve ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde büyümesinin azaldığı görülmüştür. Ancak Pb uygulamasında mısır genotiplerinin kök uzunluklarındaki değişim genotiplerden bağımsız olarak ortaya çıkmıştır. Mısır genotiplerinde gövde yaş ve kuru ağırlıklarında Cd seviyesi ile genotip, kök ve gövde kuru ağırlıklarında ise Pb seviyesi ile genotip etkileşimleri önemsiz bulunmuştur. Mısır ve ayçiçeği genotiplerinin mineral içerikleri (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn ve B) üzerine Cd ve Pb uygulamalarının etkileri önemli olup, genotiplere bağlı olarak değişim göstermiştir.

2011, 202 sayfa

Anahtar Kelimeler: Ağır metal, Ayçiçeği, Kadmiyum, Kurşun, Mısır

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

DETERMINATION EFFECT OF INCREASED LEVELS OF CADMIUM AND LEAD ON PLANT GROWTH AND MINERAL CONTENTS OF SOME MAIZE AND SUNFLOWER GENOTYPES GROWING IN NUTRIENT CULTURE

Esra AKSU GULER

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Soil Science and Plant Nutrition

Supervisor: Prof. Dr. Nesrin YILDIZ

This research was aimed to investigate the effect of Cd and Pb on plant growth and mineral contents of some maize and sunflower genotypes commonly grown in the region (*Zea mays* L.; 3223, 3394, 34N24, 31P41, 31G98, DK647, Kermess, Vera, Doge, Luce, Pegaso, MF714, Varenne, Isidora, Larigor and *Helianthus annuus* L.; C70165, 8N386CL, Tarsan, DFK2525, AS508). The germinated seedlings in peat+sand medium transferred to the nutrient culture after growth of 3-4 leaves and Cd with concentration of 0, 0.5, 1, 5, 10 mg l⁻¹ and Pb with concentration of 0, 50, 100 ve 150 mg l⁻¹ were implemented with three repetitions. Length of roots and stems, wet and dry weights, water contents, dry matter, chlorophyll levels, accumulation of Cd and Pb and mineral contents of harvested plants were determined for roots and stem+leaf.

The results indicated that increased levels of Cd and Pb significantly affected on the root and stem developments, mineral contents and chlorophyll levels of maize and sunflower genotypes. Root and stem growth of maize and sunflower genotypes decreased by increasing heavy metal concentrations. Cd and genotype interaction at dry and wet stem weights and Pb and genotype interaction at root length, root and stem dry weight of maize genotypes were found non significant. The effects of Cd and Pb implementations on the mineral contents (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn ve B) of maize and sunflower genotypes were found significantly important and differed related to the genotypes.

2011, 202 pages

Keywords: Heavy metal, sunflower, cadmium, lead, maize

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans aşamasından itibaren danışmanlığımı yürüten, bilimsel ve kişisel katkı ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam, tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Nesrin YILDIZ'a şükranlarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez konusunun belirlenme aşamasından itibaren bilimsel birikimlerinden ve kıymetli fikirlerinden yararlandığım değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Metin TURAN'a ve Sayın Prof. Dr. Ökkeş ATICI'ya da teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Çalışmalarım esnasında bilimsel katkılarından ve yardımlarından dolayı başta Sayın Arş. Gör. Dr. Ekrem Lütfi AKSAKAL, Sayın Arş. Gör. Adem GÜNEŐ, Sayın Yrd. Doç. Dr. Kenan BARİK ve Sayın Cihan VURAL olmak üzere Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü öğretim üyelerine, araştırma görevlilerine ve laboratuvar çalışanlarına şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarım boyunca desteklerini hep hissettiğim aileme ve Arş. Gör. Selda ÖRS'e ve gösterdiği sabırdan dolayı eşime sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Esra AKSU GÜLER

Nisan 2011

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	8
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	26
3.1. Materyal.....	26
3.1.1. Deneme bitkisi.....	26
3.1.2. Mısır bitkisinin sınıflandırılması, morfolojisi ve iklim isteği.....	26
3.1.3. Ayçiçeği bitkisinin sınıflandırılması, morfolojisi ve iklim isteği.....	27
3.1.4. Besin çözeltisi.....	28
3.1.5. Denemede kullanılan Cd ve Pb konsantrasyonları.....	29
3.2. Yöntemler.....	29
3.2.1. Tohum kabuk sterilizasyonu.....	29
3.2.2. Tohumların çimlendirilmesi.....	30
3.3. Deneme süreci.....	30
3.4. Ölçümler.....	31
3.4.1. Kök ve gövde uzunluğu tayini.....	31
3.4.2. Bitki kök ve gövde su içeriği.....	31
3.4.3. Tolerans indeksi.....	32
3.4.4. Yaprak dokularında klorofil belirlenmesi.....	32
3.4.5. Biyolojik alınabilirlik indeksi ve transfer faktörü.....	32
3.5. Bitki Analiz Yöntemleri.....	32
3.5.1. Bitkide toplam azot tayini.....	32
3.5.2. Bitkide diğer elementlerin (P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn, B, Cd, Pb) miktarı.....	33
3.6. İstatistiksel Değerlendirme.....	33
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	34
4.1. Cd Ağır Metalinin Mısır Genotipleri Üzerine Etkisi.....	34
4.1.1. Cd ağır metalinin mısır genotiplerinin kök ve gövde büyümesi üzerine etkisi.....	34
4.1.2. Cd ağır metalinin mısır genotiplerinin kök ve gövde yaş ağırlığı üzerine etkisi.....	38

4.1.3. Cd ağır metalinin mısır genotiplerinin kök ve gövde kuru ağırlığı üzerine etkisi.....	41
4.1.4. Cd ağır metalinin mısır genotiplerinin kök ve gövde su içeriği üzerine etkisi.....	46
4.1.5. Cd ağır metalinin mısır çeşitlerinin klorofil içeriği (SPAD değeri) üzerine etkisi.....	49
4.1.6. Cd ağır metalinin mısır genotiplerinin besin elementi içeriği üzerine etkisi ...	51
4.1.6.1. Cd ağır metalinin mısır genotiplerinin makro besin elementi (N, P, K, Ca ve Mg) içeriği üzerine etkisi	51
4.1.6.2. Cd ağır metalinin mısır genotiplerinin mikro besin elementi (Fe, Cu, Zn, Mn ve B) içeriği üzerine etkisi.....	62
4.1.7. Cd ağır metalinin mısır genotiplerinin kök ve gövde aksamalarında Cd birikimi üzerine etkisi	76
4.2. Pb Ağır Metalinin Mısır Genotipleri Üzerine Etkisi.....	82
4.2.1. Pb ağır metalinin mısır genotiplerinin kök ve gövde büyümesi üzerine etkisi.....	82
4.2.2. Pb ağır metalinin mısır genotiplerinin kök ve gövde yaş ağırlığı üzerine etkisi.....	85
4.2.3. Pb ağır metalinin mısır genotiplerinin kök ve gövde kuru ağırlığı üzerine etkisi.....	87
4.2.4. Pb ağır metalinin mısır genotiplerinin kök ve gövde su içeriği üzerine etkisi.....	91
4.2.5. Pb ağır metalinin mısır genotiplerinin klorofil içeriği (SPAD değeri) üzerine etkisi	93
4.2.6. Pb ağır metalinin mısır genotiplerinin besin elementi içeriği üzerine etkisi....	95
4.2.6.1. Pb ağır metalinin mısır genotiplerinin makro besin elementi (N, P, K, Ca ve Mg) içeriği üzerine etkisi	96
4.2.6.2. Pb ağır metalinin mısır genotiplerinin mikro besin elementi (Fe, Cu, Zn, Mn ve B) içeriği üzerine etkisi.....	106
4.2.7. Pb ağır metalinin mısır genotiplerinin kök ve gövde aksamalarında Pb birikimi üzerine etkisi	120
4.3. Cd Ağır Metalinin Ayçiçeği Genotipleri Üzerine Etkisi.....	124
4.3.1. Cd ağır metalinin ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde büyümesi üzerine etkisi.....	124
4.3.2. Cd ağır metalinin ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde yaş ağırlığı üzerine etkisi	127
4.3.3. Cd ağır metalinin ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde kuru ağırlığı üzerine etkisi	128
4.3.4. Cd ağır metalinin ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde su içeriği üzerine etkisi.....	131

4.3.5. Cd ağır metalinin ayçiçeği genotiplerinin klorofil içeriği (SPAD değeri) üzerine etkisi	132
4.3.6. Cd ağır metalinin ayçiçeği genotiplerinin besin elementi içeriği üzerine etkisi.....	133
4.3.6.1. Cd ağır metalinin ayçiçeği genotiplerinin makro besin elementi (N, P, K, Ca ve Mg) içeriği üzerine etkisi.....	134
4.3.6.2. Cd ağır metalinin ayçiçeği genotiplerinin mikro besin elementi (Fe, Cu, Zn, Mn ve B) içeriği üzerine etkisi	143
4.3.7. Cd ağır metalinin ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde aksamlarında Cd birikimi üzerine etkisi	153
4.4. Pb Ağır Metalinin Ayçiçeği Genotipleri Üzerine Etkisi	155
4.4.1. Pb ağır metalinin ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde büyümesi üzerine etkisi.....	155
4.4.2. Pb ağır metalinin ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde yaş ağırlığı üzerine etkisi.....	159
4.4.3. Pb ağır metalinin ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde kuru ağırlığı üzerine etkisi	160
4.4.4. Pb ağır metalinin ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde su içeriği üzerine etkisi.....	163
4.4.5. Pb ağır metalinin ayçiçeği genotiplerinin klorofil içeriği (SPAD değeri) üzerine etkisi	164
4.4.6. Pb ağır metalinin ayçiçeği genotiplerinin besin elementi içeriği üzerine etkisi.....	166
4.4.6.1. Pb ağır metalinin ayçiçeği genotiplerinin makro besin elementi (N, P, K, Ca ve Mg) içeriği üzerine etkisi.....	166
4.4.6.2. Pb ağır metalinin ayçiçeği genotiplerinin mikro besin elementi (Fe, Cu, Zn, Mn ve B) içeriği üzerine etkisi	173
4.4.7. Pb ağır metalinin ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde aksamlarında Pb birikimi üzerine etkisi	183
5. SONUÇ	187
KAYNAKLAR	191
ÖZGEÇMİŞ	203

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

B	Bor
BAİ	Biyolojik alınabilirlik indeksi
Ca	Kalsiyum
Cd	Kadmiyum
Cu	Bakır
Fe	Demir
K	Potasyum
Mg	Magnezyum
Mn	Mangan
N	Azot
P	Fosfor
Pb	Kurşun
TF	Transfer faktörü
Zn	Çinko

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Besin çözeltisine aktarılmadan önce mısır ve ayçiçeği fidelerinin genel görünümü	30
Şekil 3.2. Besin solüsyonuna aktarılan mısır ve ayçiçeği fidelerinin genel görünümü ..	31
Şekil 4.1 Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) uzunluğu üzerine etkisi	35
Şekil 4.2. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) yaş ağırlığı üzerine etkisi	39
Şekil 4.3 Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) kuru ağırlığı üzerine etkisi	42
Şekil 4.4. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) su içeriği üzerine etkisi	47
Şekil 4.5. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı mısır genotiplerinde klorofil içeriği (SPAD değeri) üzerine etkisi	50
Şekil 4.6. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) N içeriği üzerine etkisi	52
Şekil 4.7. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) P içeriği üzerine etkisi	54
Şekil 4.8. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) K içeriği üzerine etkisi	56
Şekil 4.9. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Ca içeriği üzerine etkisi	58
Şekil 4.10 Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Mg içeriği üzerine etkisi	60
Şekil 4.11. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Fe içeriği üzerine etkisi	62
Şekil 4. 12. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Cu içeriği üzerine etkisi	66
Şekil 4.13. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Zn içeriği üzerine etkisi	68
Şekil 4.14. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Mn içeriği üzerine etkisi	71
Şekil 4.15. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) B içeriği üzerine etkisi	74
Şekil 4.16. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Cd birikimi üzerine etkisi	78
Şekil 4. 17. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) uzunluğu üzerine etkisi	83

Şekil 4.18 Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) yaş ağırlığı üzerine etkisi	85
Şekil 4.19. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı mısır çeşitlerinde kök (A) ve gövde (B) kuru ağırlığı üzerine etkisi	88
Şekil 4.20. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) su içeriği üzerine etkisi	92
Şekil 4.21. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı mısır genotiplerinde klorofil içeriği (SPAD değeri) üzerine etkisi	95
Şekil 4.22. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) N içeriği üzerine etkisi.....	97
Şekil 4.23. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) P içeriği üzerine etkisi.....	99
Şekil 4.24. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) K içeriği üzerine etkisi.....	101
Şekil 4.25. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Ca içeriği üzerine etkisi	103
Şekil 4.26. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı mısır çeşitlerinde kök (A) ve gövde (B) Mg içeriği üzerine etkisi	105
Şekil 4.27. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Fe içeriği üzerine etkisi.....	108
Şekil 4.28. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Cu içeriği üzerine etkisi	111
Şekil 4.29. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Zn içeriği üzerine etkisi	113
Şekil 4.30. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Mn içeriği üzerine etkisi	116
Şekil 4.31. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) B içeriği üzerine etkisi	118
Şekil 4.32. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Pb birikimi üzerine etkisi.....	121
Şekil 4.33. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) uzunluğu üzerine etkisi	125
Şekil 4.34. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) yaş ağırlığı üzerine etkisi	127
Şekil 4.35. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı ayçiçeği çeşitlerinde kök (A) ve gövde (B) kuru ağırlığı üzerine etkisi	129
Şekil 4.36. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı ayçiçeği çeşitlerinde kök (A) ve gövde (B) su içeriği üzerine etkisi	131
Şekil 4.37. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde klorofil içeriği (SPAD değeri) üzerine etkisi	133

Şekil 4.38.	Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) N içeriği üzerine etkisi.....	136
Şekil 4.39.	Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) P içeriği üzerine etkisi	137
Şekil 4.40.	Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı ayçiçeği çeşitlerinde kök (A) ve gövde (B) K içeriği üzerine etkisi.....	139
Şekil 4.41.	Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Ca içeriği üzerine etkisi	140
Şekil 4.42.	Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Mg içeriği üzerine etkisi	142
Şekil 4.43.	Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Fe içeriği üzerine etkisi.....	143
Şekil 4.44.	Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Cu içeriği üzerine etkisi.....	147
Şekil 4.45.	Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Zn içeriği üzerine etkisi	148
Şekil 4.46.	Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Mn içeriği üzerine etkisi	149
Şekil 4.47.	Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) B içeriği üzerine etkisi.....	152
Şekil 4.48.	Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Cd birikimi üzerine etkisi	154
Şekil 4.49.	Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) uzunluğu üzerine etkisi	157
Şekil 4.50.	Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) yaş ağırlığı üzerine etkisi.....	159
Şekil 4.51.	Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) kuru ağırlığı üzerine etkisi.....	161
Şekil 4.52.	Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) su içeriği üzerine etkisi	163
Şekil 4.53.	Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde klorofil içeriği (SPAD değeri) üzerine etkisi	164
Şekil 4.54.	Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) N içeriği üzerine etkisi.....	168
Şekil 4.55.	Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) P içeriği üzerine etkisi	169
Şekil 4.56.	Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) K içeriği üzerine etkisi.....	170
Şekil 4.57.	Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı ayçiçeği çeşitlerinde kök (A) ve gövde (B) Ca içeriği üzerine etkisi	171

Şekil 4.58.	Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Mg içeriği üzerine etkisi.....	173
Şekil 4.59.	Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Fe içeriği üzerine etkisi.....	175
Şekil 4.60	Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Cu içeriği üzerine etkisi.....	177
Şekil 4.61	Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Zn içeriği üzerine etkisi	179
Şekil 4.62.	Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Mn içeriği üzerine etkisi	180
Şekil 4.63.	Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) B içeriği üzerine etkisi.....	183
Şekil 4.64.	Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Pb birikimi üzerine etkisi.....	185

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Denemede kullanılan besin çözeltisi	29
Çizelge 4.1. Farklı seviyelerde uygulanan Cd'un mısır bitkisinin kök gelişimi ve gövde verim kriterlerine ait varyans analiz sonuçları	34
Çizelge 4.2. Farklı seviyelerde uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövde uzunluğu üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları...	36
Çizelge 4.3. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövde yaş ağırlığı üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları.....	40
Çizelge 4.4. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövde kuru ağırlığı üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları.....	44
Çizelge 4.5. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasına bağlı olarak mısır genotiplerinin tolerans indeksleri	45
Çizelge 4.6. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövde su içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları	48
Çizelge 4.7. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin klorofil içeriğine ait varyans analizi ve Duncan test sonuçları	49
Çizelge 4.8. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır bitkisinin kök ve gövde N, P, K, Ca ve Mg içeriğine ait varyans analiz sonuçları.....	51
Çizelge 4.9. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövde N içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları	53
Çizelge 4.10. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövde P içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları	55
Çizelge 4.11. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövde K içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları	57
Çizelge 4.12. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövde Ca içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları.....	59
Çizelge 4.13. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövde Mg içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları.....	61
Çizelge 4.14. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır bitkisinin kök ve gövde Fe, Cu, Zn, Mn, ve B içeriğine ait varyans analiz sonuçları	64

Çizelge 4.15. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövde Fe içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları	65
Çizelge 4.16. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövde Cu içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları.....	67
Çizelge 4.17. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövde Zn içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları.....	70
Çizelge 4.18. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövde Mn içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları.....	73
Çizelge 4.19. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövde B içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları	75
Çizelge 4.20. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır bitkisinin kök ve gövde Cd içeriğine ait varyans analiz sonuçları.....	76
Çizelge 4.21. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövdede Cd birikimi üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları	80
Çizelge 4.22. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasına bağlı olarak mısır genotiplerinin biyolojik alınabilirlik indeks değerleri (BAİ) ve Transfer faktörü (TF).....	81
Çizelge 4.23. Farklı seviyelerde uygulanan Pb'un mısır bitkisinin kök gelişimi ve gövde verim kriterlerine ait varyans analiz sonuçları	82
Çizelge 4.24. Farklı seviyelerde uygulanan Pb'un mısır genotiplerinin kök ve gövde uzunluğu üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları...	84
Çizelge 4.25. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır genotiplerinin kök ve gövde yaş ağırlığı üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları.....	86
Çizelge 4.26. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır genotiplerinin kök ve gövde kuru ağırlığı üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları.....	89
Çizelge 4.27. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasına bağlı olarak mısır genotiplerinin tolerans indeksleri	90
Çizelge 4.28. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır genotiplerinin kök ve gövde su içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları	93
Çizelge 4.29. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır genotiplerinin klorofil içeriğine ait varyans analizi ve Duncan test sonuçları	94

Çizelge 4.30. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır bitkisinin kök ve gövde N, P, K, Ca ve Mg içeriğine ait varyans analiz sonuçları.....	96
Çizelge 4.31. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır genotiplerinin kök ve gövde N içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları	98
Çizelge 4.32. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır genotiplerinin kök ve gövde P içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları	100
Çizelge 4.33. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır genotiplerinin kök ve gövde K içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları	102
Çizelge 4.34. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır genotiplerinin kök ve gövde Ca içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları.....	104
Çizelge 4.35. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır genotiplerinin kök ve gövde Mg içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları.....	106
Çizelge 4. 36. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır bitkisinin gövde Fe, Cu, Zn, Mn, B, ve Pb içeriğine ait varyans analiz sonuçları.....	107
Çizelge 4.37. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır genotiplerinin kök ve gövde Fe içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları	109
Çizelge 4.38. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır genotiplerinin kök ve gövde Cu içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları.....	112
Çizelge 4.39. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır genotiplerinin kök ve gövde Zn içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları.....	114
Çizelge 4.40. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır genotiplerinin kök ve gövde Mn içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları.....	117
Çizelge 4.41. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır genotiplerinin kök ve gövde B içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları	119
Çizelge 4.42. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır bitkisinin kök ve gövde Pb içeriğine ait varyans analiz sonuçları	120
Çizelge 4.43. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasına bağlı olarak mısır genotiplerinin biyolojik alınabilirlik indeks değerleri (BAİ) ve Transfer faktörü (TF).....	122

Çizelge 4.44. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır genotiplerinin kök ve gövde Pb içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları	123
Çizelge 4.45. Farklı seviyelerde uygulanan Cd'un ayçiçeği bitkisinin kök gelişimi ve gövde verim kriterlerine ait varyans analiz sonuçları.....	124
Çizelge 4.46. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde uzunluğu, yaş ağırlığı, kuru ağırlığı ve su içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları	126
Çizelge 4.47. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasına bağlı olarak ayçiçeği genotiplerinin tolerans indeksleri	130
Çizelge 4.48. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un ayçiçeği genotiplerinin klorofil içeriğine ait varyans analizi ve Duncan test sonuçları	132
Çizelge 4.49. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un ayçiçeği bitkisinin gövde N, P, K, Ca ve Mg içeriğine ait varyans analiz sonuçları	134
Çizelge 4.50. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde N, P, K, Ca ve Mg içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları	135
Çizelge 4.51. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un ayçiçeği bitkisinin gövde Fe, Cu, Zn, Mn, B, ve Cd içeriğine ait varyans analiz sonuçları	144
Çizelge 4.52. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde Fe, Cu ve Zn içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları	145
Çizelge 4.53. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde Mn, B ve Cd içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları	151
Çizelge 4.54. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un ayçiçeği bitkisinin kök ve gövde Cd içeriğine ait varyans analiz sonuçları.....	153
Çizelge 4.55. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasına bağlı olarak mısır genotiplerinin biyolojik alınabilirlik indeks değerleri (BAİ) ve Transfer faktörü (TF).....	155
Çizelge 4.56. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un ayçiçeği bitkisinin kök ve gövde verim kriterlerine ait varyans analiz sonuçları	156
Çizelge 4.57. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde uzunluğu, yaş ağırlığı, kuru ağırlığı ve su içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları	158
Çizelge 4.58. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasına bağlı olarak mısır genotiplerinin tolerans indeksleri	162
Çizelge 4.59. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un ayçiçeği genotiplerinin klorofil içeriğine ait varyans analizi ve Duncan test sonuçları	165
Çizelge 4.60. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un ayçiçeği bitkisinin gövde N, P, K, Ca ve Mg içeriğine ait varyans analiz sonuçları	166

Çizelge 4.61. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde N, P, K, Ca ve Mg içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları	167
Çizelge 4.62. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un ayçiçeği bitkisinin gövde Fe, Cu, Zn, Mn, B, ve Pb içeriğine ait varyans analiz sonuçları.....	174
Çizelge 4.63. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde Fe, Cu ve Zn içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları	176
Çizelge 4.64. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde Mn, B ve Pb içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları	181
Çizelge 4.65. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un ayçiçeği bitkisinin kök ve gövde Pb içeriğine ait varyans analiz sonuçları	184
Çizelge 4.66. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasına bağlı olarak mısır genotiplerinin biyolojik alınabilirlik indeks değerleri (BAİ) ve Transfer faktörü (TF).....	186

1. GİRİŞ

Yüzyıllar boyunca insan yaşamının sürekliliğinde ve ülkelerin kalkınmasında önemli bir yere sahip olan doğal kaynakların tahrip edildiği ya da yok edildiği bilinmektedir. Dünya nüfusunun hızlı bir şekilde artmasına bağlı olarak insanların üretim ve tüketimlerdeki taleplerinin karşılanabilmesi için hızla gelişen kentleşme ve sanayileşme ile teknolojiadaki gelişmeler, doğal kaynakların tahribini hızlandırmaktadır. Çağımızda doğal dengeyi, insan ve hayvan sağlığını tehdit eden en önemli tehlikelerin başında çevre sorunları gelmektedir. Hızla artan dünya nüfusunun beslenmesi, gelişen endüstrilerin ve daha uygar yaşama düzeyi sağlama amacı ile sürdürülen çabaların istenilmeyen bir sonucu olarak ortaya çıkan çevre sorunları günümüzde de giderek artan boyutlarda önemini korumaktadır (Baş ve Demet 1992).

Çevre insanla birlikte tüm canlı varlıklar, cansız varlıklar ve canlı varlıkların eylemlerini etkileyen ya da etkileyebilecek fiziksel, kimyasal, biyolojik ve toplumsal nitelikteki tüm etkenlerdir (Topçu 1998).

Çevre kirliliği, insanların her türlü etkinlikleri sonucunda, havada, suda ve toprakta meydana gelen olumsuz gelişmelerle ekolojik dengenin bozulması ve aynı etkinliklere bağlı olarak ortaya çıkan koku, gürültü ve atıkların çevrede meydana getirdiği arzu edilmeyen sonuçlar olarak tanımlanmıştır (Anonim 1983).

İster hava kirliliği, isterse su kirliliği olsun, sonuçta bunlar diğer nedenlerle birlikte toprak kirlenmesini gündeme getirmektedir. Toprak kirlenmesi, diğer çevre sorunlarının olduğu gibi doğanın yanlış ve hor kullanılması sonucu ortaya çıkmakta, doğal dengenin bozulması ile birlikte giderek hız kazanmaktadır. Kentleşme ve sanayileşme sonucu ortaya çıkan her türlü artık ve bu atıkların toprağa karışması toprak kirliliğini oluşturmaktadır, ayrıca tarım alanlarının kentsel ve sanayi kullanımına açılması verimli toprakların kaybına neden olmaktadır. Aynı zamanda verimli tarım topraklarından tuğla, kiremit gibi yapı malzemelerinin üretimi toprak kayıplarını çoğaltmaktadır. Diğer

tarafından daha çok ürün almak için geliştirilen yeni tarım teknikleri de bazı hallerde; toprak kirlenmelerine yol açabilmektedir.

Gerçekte, bir çevre bileşeni olarak toprak, hava ve sudan daha önemlidir. Çünkü insan faaliyetlerinin sürdürülebilmesi için gerekli olan bileşenlerin başında mekân gelir. Ayrıca insanlar için gerekli besin maddelerinin büyük bir kısmı toprakta depolanmaktadır. Aynı şekilde evcil hayvanların hemen hepsi karada beslenir. Bu nedenle, insan yaşamında toprağın önemi büyüktür. İnsanlar başından beri toprağa bağımlı olmuşlardır ve olmaya devam edeceklerdir (Yıldız 1996).

Çevreyi kirleten önemli unsurlardan biri de; ağır metallerdir. Toprak, su ve havada değişik oranlarda bulunabilen ağır metaller belirli konsantrasyonların üzerinde kirliliğe yol açarlar. Ağır metallerin çevrede yaygın bir şekilde birikmesi, tüm canlılar için boyutları giderek artan bir tehlike oluşturmaktadır. Çevreyi kirleten bütün unsurlar bitkilerde strese neden olur. Stres ise bitkilerin fizyolojisini etkiler, onların genetik potansiyellerini değiştirir, verimliliklerini kısıtlar ve ölümlerine yol açarak büyük oranlarda ürün kayıpları meydana getirir. Ağır metal kirliliğinin çeşitli nedenleri vardır. Bunlar antropojenik veya doğal kaynaklı olabilir. Endüstriyel faaliyetler, motorlu taşıtların egzoz gazları, maden yatakları ve işletmeleri, volkanik faaliyetler, tarımda gübreleme ve ilaçlama gibi pek çok etken ağır metal kirliliğinin nedenleri arasında yer alır (Zengin ve Munzuroğlu 2003).

Genel anlamda; canlı bünyesine girdiği zaman ona zararlı olan metallere toksik metaller veya ağır metaller denir (Gündüz 1998). Ekolojik yönden ağır metal terimi kirlenme ve toksisite bakımından bir yan anlam olarak kullanılmakta ve çoğunlukla atom numarası > 20 olan metaller bu kapsama girmektedir. Ekolojik bakımdan önemli 20 element bu anlamda dikkat çekmektedir. Krom, kobalt, bakır, demir, mangan, molibden, nikel, uranyum, vanadyum, çinko metalleri hayvan ve bitkiler için gerekli oldukları gibi, aynı zamanda toprakta bulunan miktarlarına bağlı olarak bitkilere toksik etki yapabilen maddelerdir. Gümüş, kadmiyum, civa, kurşun, platin, talyum, kalay ve zirkon metalleri ise bitkiler ve hayvanlar için gerekli değildir. Ancak bu metaller bitkiler için toksik

maddeler (Kirleticiler) dir. Olumlu veya olumsuz (toksik) etkiler yalnızca elementin tipi ve toprak solüsyonundaki konsantrasyonuna bağlı olmayıp, değişik türlerin genetik esaslı fizyolojik davranışları ile de ilgilidir (Yıldız 2001).

Bitkilerin yaşamaları için gerekli olan elementlere, “Bitki besin elementleri” denilmektedir. Bitki dokularının analizinde doğada bulunan tüm elementleri hemen hemen bulmak mümkündür. Her ne kadar bitkilerin besin iyonları alımı seçici ise de, yetiştirme ortamında yarayışlı formda bulunan besin elementleri oranı arttıkça, bitki bünyesine pasif yollarla geçebilen bazı ağır metaller, bitkilere alınarak besin zincirine dahil olmaktadır. Bunun sonucu olarak bitkilere ve bitkilerle beslenen insan ve hayvanlara toksik etkiler yapabilmektedirler. Çünkü bitkiler yetiştikleri ortamda bulunan elementleri, kendileri için gerekli olsun veya olmasın az da olsa bünyelerine almaktadırlar. Ancak bu elementlerden 16 tanesi (C, H, O, N, P, K, S, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu, B, Cl, ve Mo) bütün bitkiler için mutlak gerekli besin maddeleridir. Diğer 6 element (Co, Al, Na, Si, Ni ve V) ise sadece bazı bitkilere veya proseslere gerekli olduğu kabul edilen yararlı elementlerdir (Yıldız 2008).

Birçok durumda topraklar, ağır metaller için son depolanma yeri olabilmektedir. Bu olayda toprakların doğal filtre edici özellikleri ile tamponlanma kapasiteleri büyük önem taşımaktadır. Toprak çözeltisinde serbest halde bulunan ağır metaller toprak mikroorganizmaları ve bitki kökleri tarafından alınır veya yıkanarak yer altı suyu kalitesinin bozulmasına, besin zincirinin kirlenmesine etken olurlar (Yıldız 2001).

Birçok kirlenmede olduğu gibi ağır metal kirlenmesinde de öncelikle etkilenen grup primer üreticiler olan bitkilerdir. Bitkiler toprak çözeltisinde iyon halinde bulunan ağır metalleri genellikle kökleri ile alırlar. Ancak bazı araştırmalarda az da olsa atmosferde bulunan ağır metallerin yapraklar aracılığı ile alınabildiği de gösterilmiştir (Harrison and Chirgawi 1989; Lindberg *et al.* 1992; Marschner 1995).

Ağır metaller arasında yer alan Fe, Mn, Cu, Zn ve Mo gibi elementler yüksek bitkiler için gerekli ve faydalı mikro besinlerdir. Zn^{+2} ve Cu^{+2} gibi ağır metallerin normal konsantrasyonları bitkilerin büyüme ve gelişmesinde önemli rol oynayan protein ve enzimlerin yapısı için gerekli kofaktör olarak görev alırlar. Bitki için gerekli olsun veya olmasın ağır metallerin doku ve organlardaki aşırı birikimi toksik etki yapar ve sonunda bitkiyi ölüme götürür (Moustakas *et al.* 1994). Bitki dokularında ağır metal birikimi fazla olursa mineral besin alımı (Ouzounidou *et al.* 1992), transpirasyon (Poschenrieder *et al.* 1989), fotosentez (Lidon *et al.* 1993), enzim aktivitesi (Chungh and Sawhney 1999), nükleik asit yapısı (Doncheva *et al.* 1996), klorofil biyosentezi (Somashekaraiiah *et al.* 1992) ve çimlenme (Munzuroğlu ve Geçkil 2002) gibi çok sayıda olay olumsuz yönde etkilenir. Bunlara membranlarda hasar, hormon dengesinin bozulması, su ilişkisinin değişmesi (Kennedy and Gonsalves 1987) gibi fizyolojik olaylar da eklenebilir.

Çevre kirlenmesinde ve bitkisel yaşamda önemli sorunlara neden olan ağır metallerle bulaşık veya bulaşma olasılığı yüksek tarım alanlarında başarılı bir şekilde üretim yapabilmek, verimli ve kaliteli ürün elde edebilmek için ağır metalleri bu ortamlardan elemine etme şeklinde bazı önlemler alınması olanak dâhilindedir. Ancak bu uygulamalar çoğunlukla ekonomik gözükmemektedir. Bu aşamada ağır metallerle bulaşık alanlarda yapılacak tarımsal faaliyetlerde yetiştirilecek tür ve hatta çeşitlerden toleranslı olanların belirlenmesi pratik anlamda bir çözüm yolu olarak değerlendirilebilir (Zenk 1996).

Ağır metaller içinde en şiddetli zehir etkisi olanların Cd, Pb ve Hg olduğu ifade edilmektedir. Ağır metaller, yağışların durumuna göre, doğrudan doğruya toprağa gelip, oradan bitkilere, hatta bazı koşullarda taban sularına ulaşabilirler. Kısmen de yüzeysel akışla daha uzak alanlara yayılabilmektedirler. Bunun dışında, mineral gübreler ve biyosidler ile de toprağa karışır. Ağır metallerin en sorunlu ve tehlikeli yanı, bunların insan, hayvan ve bitki bünyesinde birikmesi ve ayrışmayan maddeler olmalarıdır. Zarar verme dereceleri topraktaki yoğunluklarına göre değişir. Ağır metallerin bitkilerde birikme durumunu belirlemek amacıyla yaprak analizleri veya bitki analizleri

yapılmaktadır. Bunun amacı bu değerlerden “biyoindikatör” olarak yararlanmaktır (Çepel 1997).

Bitki ile iyileştirmede kullanılacak ideal bitki; yüksek metal düzeylerine karşı tolerans, hasat edilebilen kısımlarında yüksek düzeyde metal toplayabilme, hızlı bir büyüme yeteneği, arazide çok miktarda biomass üretebilme potansiyeli, güçlü ve zengin bir kök sistemi gibi özelliklere sahip olmalıdır (Zaimoğlu vd 2002).

Toprakların ağır metallere kirlenmesinin önlenmesi amacıyla günümüzde birçok kontrol yaklaşımı kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlardan en yaygın olarak kullanılanları; Kirlenmiş alanın kullanımını yasaklamak, kirlenmiş alanı immobilize etmek ve bölgeyi kontrol altına almak, kirlenmiş toprağı nihai bertaraf sahasına taşıyarak depolamak, toprağı yerinde(in-situ) veya bölge dışında(ex-situ) arıtmak şeklindedir. Kirlenmiş toprakların arıtımı amacıyla kullanılan ve fiziksel, kimyasal, termal ve biyolojik prosesleri içeren birçok metot bulunmaktadır. Bu metotlar; İzolasyon ve immobilizasyon teknolojileri, Mekanik ayırma teknolojileri, Pirometalurjik teknolojiler, Elektrokinetik teknolojiler, Biyokimyasal teknolojiler, toprağı su / sıvı ile yerinde (in-situ) temizleme teknolojileri, toprak yıkama (kimyasal sızma) teknolojileri ile Fitoremediasyon teknolojileri olarak sıralanabilmektedir (Kocaer ve Başkaya 2003).

Toprağın temizlenmesi yani topraktaki kirlenmelerin uzaklaştırılması özellikle bölgenin yeniden kullanılmasının önemli olduğu düşünüldüğünde ekonomik bir alternatif olabilmektedir. Toprağın arıtılması için fiziksel, kimyasal, termal ve/veya biyolojik prosesleri içeren pek çok metot mevcuttur. Uygun toprak arıtım metodunun seçimi, bölge karakteristikleri, giderilecek kirlenmenin tipi, konsantrasyonu ve kirlenmiş arazinin sonraki kullanımı gibi pek çok faktöre bağlıdır. Toprağın temizlenmesi genellikle kirlenmiş bölgenin kazılması, izole edilen veya temizlenen toprağın tekrar yerine doldurulmasıyla gerçekleştirilmektedir. Ancak son yıllarda toprağı kazmadan doğrudan bölgede uygulanan (in-situ) teknolojiler üzerinde yapılan araştırmalar hız kazanmıştır (Kocaer ve Başkaya 2003).

Fitoremediasyon karasal bitkilerin, ağır metalleri absorbe edip detoksifikasyona uğratma özelliği demektir. Fitoremediasyon, kirleticileri özütlemek ve/ve ya detoksifiye etmek ve çevrenin temizlenmesi için bitkilerin kullanımını kapsayan oldukça güçlü bir tekniktir. Bitkiler, toprak ve su remediasyonu için, benzersiz genetik, biokimyasal ve fizyolojik özellikleri nedeniyle ideal araçlardır. Son yıllarda çevresel temizlemenin remediasyonu için endemik ya da genetik olarak elde edilmiş bitkilerin geliştirilmesinde fark edilir gelişmeler yaşanmıştır (Memon vd 2001).

Yoğun biçimde kirletilmiş olan topraklar bitki gelişimine olanak vermezler ise de hafif ve orta derecede toksik metal kirlenmesine maruz kalmış olan alanlar, metal depolayan bitkilerin yetiştirilmesi suretiyle iyileştirilebilmektedir (Kumar *et al.* 1995).

Bazı bitkilerin topraktan ağır metal alımına karşı yüksek oranda etkili olduğu ve bu tür bitkilerin ağır metal zehirliliğine karşı toleranslı olduğu belirlenmiştir (Cunningham and Ow 1996). Hipertoplayıcı olarak da isimlendirilen bu bitkilerin arasında Brassicaceae, Euphorbiaceae, Asteraceae, Lamiaceae ve Scrophulariaceae bitki familyaları sayılabilir (Baker 1995). *Thlaspi*, *Urtica*, *Chenopodium*, *Polygonum sachalase* ve *Allyssim* gibi bazı bitkilerin kadmiyum, bakır, kurşun, nikel ve çinkoyu bünyelerinde biriktirme yetenekleri vardır (Mulligan *et al.* 2001). Örneğin, çoğu bitkiler yaklaşık 100 ppm'lik bir Zn birikiminde toksisite semptomları gösterirken, en yaygın metal hiperakümülatörü olarak bilinen *Thlaspi caeruledcens*'in 26000 ppm'in üzerinde bir birikimi sağlayabildiği literatürden bilinmektedir (Lasat 2000). Topraktaki metal konsantrasyonundan bağımsız olarak, yapraklarında kuru ağırlık bazında %0,1'den fazla Ni, Co, Cu, Cr veya %1 Zn ve Mn içeren bitkiler hiperakümülatör olarak isimlendirilmektedir (Raskin *et al.* 1994).

Fitoremediasyon yönteminin kullanımında iklim şartları ve metallerin yayılabilirlik durumları göz önünde bulundurulmalıdır. Yöntemin uygulanmasından sonra yüksek metal içeriğine sahip bitkiler kurutma, yakma, gazifikasyon, piroliz, asit ekstraksiyonları, anaerobik çürütme, gibi yöntemlerle uzaklaştırılmalıdır. Fitoremediasyon teknolojisi yeni bir teknoloji olup henüz gelişim safhasının

başlarındadır ve bu nedenle performansı ve maliyetiyle ilgili veriler oldukça sınırlıdır. Kirlenmelerin yüzeye yakın yerde bulunduğu bölgeler için uygun bir teknoloji olarak geliştirilebileceği düşünülmektedir. Bu yöntemin en büyük dezavantajı ise, diğer metodlarla karşılaştırıldığında prosesin çok daha uzun sürmesidir. Ayrıca bitki tarafından ekstrakte edilebilen metal miktarlarını arttırmak üzere genetik tür çalışmalarının yapılması gerekmektedir (Mulligan *et al.* 2001).

Ağır metallerle dayanıklı bitki türlerinin belirlenmesi, dayanıklılık mekanizmalarının aydınlatılması, ağır metal biriktiren bitkiler kullanarak doğanın temizlenmesi ve ağır metallerin geri kazanımı yönündeki araştırmalar; özellikle insanların neden olduğu, henüz tehlikeli boyutlara ulaşmamış ağır metal kirlenmesinin, ilerde tüm canlılar için büyük bir sorun haline gelmesini önlemede önemli rol oynayacaktır.

Bu araştırmada, doğal kaynaklar ve kirlenme yoluyla toprak-bitki ekosistemine giren ağır metallerden Cd ve Pb'un besin çözeltilerinde yetiştirilen farklı mısır ve ayçiçeği genotiplerinde verim parametreleri ile besin elementi içeriğine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çevresel koşullara direnç ve tolerans düzeyini etkileyen önemli bir faktör de, bitki genetiğidir. Bu nedenle aynı bitkinin farklı genotiplerinin Cd ve Pb metallerini akümülyasyon farklılıkları da incelenmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Ağır metaller kayaçların ve dolayısıyla toprakların doğal bileşenleridir ve topraklar bileşimlerine bağlı olarak farklı oranlarda ve formlarda ağır metal içerirler. Ağır metallerin çevredeki jeolojik nedenlerle oluşan doğal dağılım deseni son yıllarda antropojen etki ile önemli ölçüde değişmeye başlamıştır (Başkaya ve Teksoy 1997).

Kalamin ve serpantin ihtiva eden topraklar; Zn, Pb, Cd (kalamin) ve Ni, Cr, Co (serpantin) ağır metallerini yüksek konsantrasyonlarda içerirler (Greger 1999). Evrimsel gelişimleri süresince bu topraklarda yüksek konsantrasyonlarda ağır metale maruz kalmış bitkiler ağır metallere dayanıklılık mekanizmaları geliştirerek yaşamlarını sürdürebilmişlerdir. Esas tehlikeli olan ve stres yaratan insan kaynaklı ağır metal kirlenmesidir. Bu tip kirlenmede ağır metaller çeşitli yollarla bulunduğu bölgenin çok daha uzağına yayılabilmekte ve canlı yaşamını olumsuz etkilemektedir.

Çevre kirletici maddeler genelde bozunan ve bozunmayan kirleticiler olarak iki gruba ayrılırlar. Bozunmayan çevre kirleticileri çevrede birikmekle kalmazlar, biyokimyasal çevrime ve gıda zincirine girerek toksik seviyelere ulaşırlar. Bunlar arasında Pb, Zn, Cu, Cd ve Ni gibi ağır metaller geniş kullanım alanları nedeniyle en çok izlenen ve araştırılan kirleticiler arasında yer alırlar (Yaman ve Güçer 1995).

Toprakta ağır metallerin başlıca kaynakları mineral ve organik gübre kullanımı, tarımsal ilaçlama faaliyetleri, sanayi atıkları ve aerosollerdir (Orlov 1991). Kabata-Pendias and Pendias (1992); toprak kirliliğine neden olan ağır metallerin, daha çok fosforlu gübre kullanımından ve atık sularla sulamadan kaynaklandığını ifade etmişlerdir.

Tarım topraklarında verimi artırmak amacıyla kullanılan fosforlu gübreler diamonyum fosfat (DAP), triple süper fosfat (TSP) ve kompoze gübrelerin toprağa aşırı ve bilinçsiz bir şekilde uygulanması, toprağın özellikle üst kısmındaki toksik metal konsantrasyonunu artırmaktadır (Camelo *et al.* 1997). Köleli ve Kantar (2005);

yaptıkları bir araştırmada tarım topraklarında verimi artırmak amacıyla ithal edilen DAP, TSP ve kompoze gübrelerin Cd, Pb ve As konsantrasyonlarının izin verilen maksimum değerlerin üzerinde olduğunu tespit etmişlerdir.

Wilcke and Dohler (1995); ağır metallerin ana kaynağının atmosferik depozitler (Cd, Pb, Zn) ve inorganik gübreler (Cr, Cd) olduğunu ifade etmişlerdir.

Hakerlerler vd (1995), benzin ve dizel motorlu araçlardan kaynaklanan egzoz gazlarının, otoyollardaki trafik yoğunluğu ve otoyollara olan yakınlığına bağlı olarak tarım topraklarında özellikle Cd, Pb ve Ni kirliliğinin ortaya çıkardığını saptamışlardır.

Fosil kökenli maddelerin enerji üretimi amacıyla yakılmaları ve biyosfere salınmaları sonucu, bu elementlerden kaynaklanan kirlilik sorunları da gün geçtikçe artış göstermektedir. Sanayide ve termik santrallerde enerji eldesi amacıyla kullanılan linyit kömürü yüksek sıcaklıklarda yakıldığından, kömür içerisinde bulunan pek çok ağır metal (Fe, Cu, Zn, Mn, Pb, Cd, Ni, Co ve Cr) ve polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH) kle geçmektedir. Kllerden bir bölümü tam yanmamış organik maddelerle birikim oluşturmakta önemli bir miktarı da sıcak gazlarla birlikte bacaya taşınmakta ve atmosfere salınmaktadır (Constantine *et al.* 2004).

Fstner and Wittmann (1983)'a göre bazı temel endüstrilerdeki kirleticisi ağır metal eşitleri:

- Kağıt Sanayi: Cr, Cu, Hg, Pb, Ni, Zn
- Suni Gübre Sanayi: Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Ni, Zn
- Petro Kimya Sanayi: Cd, Cr, Fe, Hg, Pb, Sn, Zn
- Petrol Rafinasyonu: Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Ni, Sn, Zn
- Klor Alkali Sanayi: Cd, Cr, Fe, Hg, Pb, Sn, Zn
- Demir elik Sanayi: Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Pb, Ni, Sn, Zn
- Demir Dışı Metal Sanayi: Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn
- Otomobil ve Uçak Sanayi: Cd, Cr, Cu, Hg, Ni olarak belirtilmiştir (Saatçi vd 1988).

Kadmiyum; insanlar, hayvanlar ve bitkiler için esansiyel özelliği olmayan ağır metallere olup, doğada çinko, kurşun ve bakır sülfid maden filizleriyle birlikte bulunmakta ve bu metallere üretim esnasına bir yan ürün olarak elde edilmektedir (Hutton 1983).

Kadmiyumun çevreye yayılmasında rol oynayan insan etkinlikleri olarak, sanayi faaliyetlerinde kadmiyum kullanımı, fosil yakıtların yakılması, tarımda arıtma çamuru uygulamaları ve fosfatlı gübrelerin kullanımı gösterilmektedir. Kadmiyum kalıntıları ile çevre kirlenmesine neden olan sanayi kuruluşlarının başında; gübre fabrikaları, kurşun çinko maden ocakları ile demir-çelik ve çinko-kadmiyum işletmeleri gelmektedir. Kadmiyum atıklarının %56'sı gübre sanayi atıklarından, bu miktarın %48'i ise fosfat üretiminden kaynaklanmaktadır (Anonim 2004).

Kadmiyum bileşikleri; çelik üzerine antikorozyon kaplama, PVC (polivinil klorür) stabilizatörleri, plastik ve camlardaki pigmentler, nikel-kadmiyum pillerindeki elektrot materyali ve birkaç maden alaşım bileşenleri içeren sanayi faaliyetlerinde kullanılmaktadır (Cabrera *et al.* 1994).

Kurşun bileşikleri, boyalarda pigment olarak (kurşun asetat ve kurşun oksit), akü ve pillerde (metalik kurşun ve kurşun sülfat), kablo, döküm, emaye, porselen, seramik ve vulkanize kauçuk endüstrisinde çeşitli bileşikler halinde, kurşun borularda metalik Pb halinde, antidetonant olarak benzinde (kurşun tetra etil ve kurşun tetra metil), silah endüstrisinde, insektisitlerde kurşun arsenat ($PbAsO_4$), plastifiyanlarda çocuk oyuncaklarının yapımında, renkli camlarda, gıda endüstrisinde (salatalara, meyve sularına ekşimsi tat vermek için, şaraplarda stabilizatör olarak ve daha birçok alanda kullanılır (Goyer 1990; Schuhmacher *et al.* 1993; Göker 1996).

Yüksek konsantrasyonlardaki bazı ağır metaller, bitkileri ve bitkilerle beslenen insan ve hayvanları olumsuz yönde etkileyebilmektedirler. Krom, Nikel ve Kurşun topraklarda 10 -100 mg kg⁻¹ arasında, kadmiyum ise 1 mg kg⁻¹ in altında bulunuyorsa bu miktarlar normal seviyeler olarak kabul edilmektedir. Kadmiyum ve kurşun çevresel kirlenmeler

olarak insanlar ve hayvanlarda ciddi sağlık sorunları yaratmaktadırlar; krom esansiyel bir mikro elementtir ve yüksek konsantrasyonlarda memeliler ve diğer hayvanlar için toksik bir element iken, nikel ise aynı grup canlılar için olası kanserojen bir elementtir. Bununla beraber, nikel yüksek bitkiler için esansiyel besin elementi olarak kabul edilmiştir. Topraklarda ekstrakte edilebilir ağır metal konsantrasyonları: Cd için 1 mg kg⁻¹, kobalt için 10 mg kg⁻¹, bakır için 0,1 mg kg⁻¹, selenyum için 10 mg kg⁻¹, vanadyum için 0,5–1 mg kg⁻¹, Nikel için 100 mg kg⁻¹ in üzerinde olduğu durumlarda toksik etkiler ortaya çıkabilmektedir (Yıldız 2001).

Ağır metaller, insan vücuduna solunan hava, içilen su ve yenilen yiyecekler, deriden emilim ya da bu yolların bir veya bir kaçı ile ulaşabilir. İnsandaki ağır metal mekanizmasının açıklanmasında serbest radikal oluşumu büyük önem arz eder. Serbest radikaller bir veya daha fazla eşleşmemiş elektrona sahip, kısa ömürlü, kararsız, molekül ağırlığı düşük ve çok etkin moleküller olarak tanımlanır. Çoğu olayda serbest radikal üretimi, pato-mekanizmanın bir parçasıdır ve pek çok çevre kirleticisinin toksisitesi, serbest radikal üretimi ile ilgilidir. Kadmiyum ve kurşun gibi bazı çevre kirleticilerine uzun süre maruz kalmak, oksidatif strese neden olabilir (Abdollahi *et al.* 2003; 2004). Oksidatif stres basit bir şekilde, vücudun antioksidan savunması ile hücrelerin lipid tabakasının peroksidasyonuna neden olan serbest radikal üretimi arasındaki dengesizlik olarak tanımlanabilir. Oksidatif stres, toksisitenin olası bir mekanizmasıdır. Serbest oksijen radikallerinin, kurşun zehirlenmesi, ağır metal nefrotoksitesisi ve kanser gibi pek çok hastalığın patogenezisinde etkili oldukları öne sürülmektedir (Cross *et al.* 1987; Özdem ve Şadan 1994).

“İtai-itai” hastalığı, böbreklerde hasar, akciğer hastalıkları, hipertansiyon ve iktidarsızlık gibi pek çok hastalığın kadmiyum zehirlenmesi nedeniyle oluştuğu açıklanmıştır. Yine kadmiyum, kırmızı kan hücrelerini olumsuz yönde etkilemekte ve sinir sistemine zarar verebilmektedir. Kadmiyum bileşikleri Amerikan Çevre Koruma Örgütü EPA (Environmental Protection Agency, USA) tarafından kanserojen maddeler listesine alınmıştır (Huang *et al.* 1978; Gaballah and Kilbertus 1998; Brown *et al.* 2000). Normal bireylerin ve hipertansiyon hastalarının idrarında yapılan eser metal analizi sonucunda,

hastalık ile kadmiyum miktarı arasında kuvvetli bir ilişki gözlemlenmiştir. Bu nedenle, kadmiyumun içme sularından veya atık su sistemlerinden mutlaka uzaklaştırılması gerekmektedir (Huang *et al.* 1978).

İnsanların dolaşım sistemine giren kurşunun bir kısmı kemiklerde birikmekte, diğer bir kısmı da idrarla dışarı atılmaktadır. Kurşun, hemoglobinin çok önemli bir kısmı olan hemin sentezlenmesini önleyerek kansızlığa sebep olmakta, mevcut alyuvarların da biyolojik ömrünü azaltmaktadır. Kurşun ayrıca, böbrek enzimlerini inhibe ederek zehirlenmelere sebep olmaktadır (Gündüz 1994). Yine yapılan çalışmalarda çocuklarda kurşun varlığı, düşük zihinsel gelişmenin ve davranış bozukluklarının en büyük nedeni olarak belirtilmektedir (Smith 1976).

Metallerin biyoalınabilir olması için, hareketli, taşınabilir ve bitkilerce alınabilir formda olmaları gereklidir. Doğal çevre bünyesinde, kimyasal maddeler genellikle toprakta depolanırlar (Adriano *et al.* 2004).

Yüksek derişimlerde veya belirli karışım halindeki ağır metal iyonlarının bitki tarafından alınması durumunda, bitkinin büyümesi ve biyokütle üretimi engellenebilmektedir (Gardea-Torresdey *et al.* 2005).

Çevredeki kimyasal maddelerin canlıların bünyesinde birikmesi, diğer canlılarda olduğu gibi bitkilerde de görülmektedir. Bir ekosistem içerisine çeşitli fabrikalar, yerleşim alanları nedeniyle yapılan emisyonlar sonucu su, hava ve toprağın kirlendiği ve buralarda kimyasal kirlenici moleküllerin yığıldığı pek çok araştırmacı tarafından dile getirilmiştir. Bitkiler, ekosistem içerisinde çeşitli nedenlerden dolayı meydana gelen kimyasal madde yığılımında, kendi tolerans sınırları çerçevesinde, bu maddelerden birini veya bir kaçını bünyelerinde toplayabilirler. Bu özelliklerinden dolayı bitkiler biyoakümülatör (biyolojik biriktirici) olarak nitelendirilmektedir. Yine bu özelliğinden dolayı bitkiler yaşadığı çevrenin niceliği üzerine bilgi edinmede kullanılır ve biyoindikatör (biyomonitör) olarak adlandırılır (Fritioff and Greger 2003).

Ağır metal zararının ilk ve en belirgin etkisi köklerde görülür (Tester and Leigh 2001; Verma and Dubey 2003). Yüksek metal konsantrasyonuna maruz kalmış bitkilerde kökler, normal bitki köklerine göre oldukça kısa kalmakta ve saçak kök sayısında azalma, yan köklerde artma ya da azalma görülebilmektedir.

Ağır metal alınımı devam ettikçe etkisi gövde de gözükmekte ve gövde uzaması da etkilenmektedir. Gerek kök ve gerekse gövdenin taze ve kuru ağırlıklarında azalma meydana gelmekte ve bitki büyümesi yavaşlamaktadır (Peralta *et al.* 2001; Munzuroğlu ve Geçkil 2002; Stolt *et al.* 2003; Köleli vd 2004; Sharma *et al.* 2004; Lombardi and Sebastiani 2005). Maruz kalınan ağır metal çeşidine ve konsantrasyonuna bağlı olarak bitki yapraklarında; şekil değişikliği, alan küçülmesi, sararma ve nekrotik leke oluşumu görülebilmektedir (Lagriffoul *et al.* 1998; Benavides *et al.* 2005; Köleli vd 2004; Lombardi and Sebastiani 2005).

Ağır metallerin kök, gövde ve yaprak büyümesi üzerine önemli etkiler yaptığı çok sayıda çalışmayla tespit edilmiştir. Mesela *Phaseolus vulgaris* bitkisine 48 saat süreyle 3 µM Cd uygulanmış ve yaprak hücrelerinde genişlemenin engellendiği, hücre duvarı elastikiyetinin azaldığı görülmüştür (Poschenrieder *et al.* 1989).

4000 µg Cu l⁻¹ uygulanan 2 yıllık *Pinus resinosa* bitkilerinde solgunluk ve köklerde kahverengileşme olduğu, lateral kök gelişiminin engellendiği ve kontrollere göre kuru ağırlıklarının %30 azaldığı rapor edilmiştir (Phalsson 1989). 4000 µg Cu uygulanan *Lonicera tatarica* fidelerinin ağırlıklarında kontrollere göre %75 oranında azalma görülmüştür (Heale and Ormrod 1982). Yüksek konsantrasyonda çinko katyonu bitkilerin kök uzamasını engellemiş (Sresty and Madhova 1999), klorozis ve nekrozise sebep olmuştur (Delgado *et al.* 1993). Kadmiyumun nekrosise, krom ve çinkonun ise klorozise yol açtığı (Delgado *et al.* 1993) belirlenmiştir. Mangan *Glycine wightii* bitkisinin gelişen genç yapraklarında şekil bozukluklarına, yaprak yüzeyinde nekrotik bölgelerin oluşmasına, özellikle yaprak yüzeyinin üst kısmındaki orta ve yan damarların sertleşerek kahverengileşmesine ve nekrozise sebep olmuştur (Andrew and Pieters 1976).

Kadmiyum ve civanın *Vigna unguiculata* L. var. *Pusa falguni* bitkisinde kök ve gövde büyümesine engel olduğu (Nagoor 1997); kadmiyum, bakır, kurşun ve çinkonun *Sorghum bicolor* L. bitkisinde konsantrasyona bağlı olarak kök ve gövde gelişimini azalttığı (Pandit and Prasannakumar 1999) tespit edilmiştir. *Oryza sativa* L. cv. Bahia'da kadmiyum ile nikelin kök ve gövde uzunluğunu (Moya *et al.* 1993); *Brassica juncea* fidelerinde çinkonun gövde uzunluğunu (Prasad and Strzalka 1999); *Zea mays* L. Dekalp cv. Sponsor bitkisinde kadmiyumun kök ve gövde uzunluğunu (Rascio *et al.* 1993) azalttıkları bildirilmiştir. Kadmiyumun *Pinus pinea* ve *P. pinaster* fidelerinde kök uzunluğunu engellediği (Arduini *et al.* 1994); bakır konsantrasyonundaki artışın *Oryza sativa* L. cv. Safari bitkisinde gövde uzunluğunu azalttığı (Lidon and Henriques 1998) rapor edilmiştir.

Ağır metal stresinden kök büyümesinin gövde ve yaprak büyümesine göre daha fazla etkilenmesi normal bir durumdur. Çünkü ortamdaki solüsyonla doğrudan temasta olan yapılar köklerdir. Bitkilerin ağır metal stresini hafifletmek için çeşitli tolerans ve direnç mekanizmaları geliştirdiği, bunlardan bir tanesinin metalin köklerde tutulması ve gövdeye dağılımının engellenmesi olduğu rapor edilmiştir (Fernandes and Henriques 1991). Metallerin köklerde tutulup biriktirilmesi köklerin morfolojisinin, anatomisinin ve büyümesinin diğer organlara göre çok daha fazla etkilenmesi sonucunu beraberinde getirir.

Bitki çeşidinin ağır metal alımına etkisi oldukça yüksektir. Kural olarak tek çenekli (Monokotyledoneae) bitkiler, çift çenekli bitkilere (Dikotyledoneae) göre daha düşük ağır metal biriktirme eğilimi gösterirler. Bu fark özellikle Cd ve Ni'de dikkat çekicidir. Kural olarak generatif bitki kısımlarında, vejetatif aksamına göre daha az ağır metal biriktiği, alınan ağır metallerin büyük bir kısmının köklerde kaldığı belirtilmektedir (Hasselbach 1992).

Metallerin farklı mekanizmalarla kök, gövde ve yaprak büyümesine engel olduğu, bu durumun bitki türüne ve gelişme şartlarına göre değiştiği bilinmektedir. Mesela çinko, bakır ve kurşun kök hücre uzamasını (Lane *et al.* 1978) engellemek suretiyle büyümeye ket vurur.

Quariti *et al.* (1997a) tarafından domates ve fasulye bitkilerinde yapılan bir çalışmada 0-50 mM CdCl₂ içeren besin çözeltilerinin 7 gün süre ile bitkilere uygulanması durumunda, kadmiyum uygulamasının sürgün ve kök kuru ağırlık üretimi üzerinde baskılayıcı etkileri belirlenmiş, ayrıca kadmiyum uygulanan bitkilerin kök ve yapraklarında nitrat redüktaz aktivitesinde azalmalar kaydedilmiştir.

Quariti *et al.* (1997b) tarafından yapılan bir diğer araştırmada ise 0,5 ya da 50 mM kadmiyum veya bakır içeren besin çözeltilerinde yetiştirilen 17 gün yaşlı domates fideliklerinde metal konsantrasyonlarındaki artışlara bağlı olarak kadmiyum ve bakır birikiminde arttığı bildirilmektedir. Birikim köklerde primer yapraklardan daha yüksek olarak gözlenmiş, yüksek konsantrasyonlarda köklerde ve primer yapraklarda biomass üretimi şiddetle baskılanmıştır.

Picea abies'te yapılan bir çalışmada uygulanan kadmiyum konsantrasyonlarındaki artışlara bağlı olarak iğne yapraklarda gelişimin yavaşladığı, yüksek konsantrasyonlarda ise tamamen durduğu, kök ve gövde uzunlukları ile köklerin taze ve kuru ağırlıklarının indirgendiği, 50 mM kadmiyum konsantrasyonundan sonra da yan kök oluşumu ve uzamasının azaldığı gözlenmiştir (Bayçu 1997).

Moral *et al.* (1994) domates bitkilerinin kültür çözeltilerine 10 ya da 30 mg l⁻¹ CdCl₂ ilave ettiklerinde bitki büyümesinin kadmiyum yoluyla inhibe edildiğini, kültür çözeltilisine ilave edilen kadmiyum konsantrasyonundaki artış ile birlikte kök ve gövde uzaması ile taze ağırlık oranlarında azalmalar gözlendiğini belirtmektedirler.

Fasulye fidelerinin (*Phaseolus vulgaris* L.) kök, gövde ve yaprak büyümesi üzerine civa (HgCl₂) ve kadmiyum (CdCl₂.H₂O)'un etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca bu iki

ağır metalin belirtilen parametreler açısından birbiriyle karşılaştırma yapılarak toksisite dereceleri tespit edilmiştir. Bir haftalık fasulye fideleri 10 gün boyunca Hoagland solüsyonuyla hazırlanmış farklı konsantrasyonlardaki ağır metal tuzu çözeltilerine maruz bırakılmıştır. Civa ve kadmiyum uygulaması fidelerin kök, gövde ve yaprak büyümesini önemli oranlarda engellenmiştir. Bu ağır metallerin konsantrasyonlarındaki artış ile kök, gövde ve yaprak büyümesinin inhibisyon oranı arasında bir paralellik görülmüştür. Fidelerin ağır metale maruz kalma süresinin uzaması kök, gövde ve yaprak büyümesindeki azalmanın daha fazla olmasına yol açmıştır (Zengin vd 2003).

Yıldız (2005a) tarafından, besin çözeltilisinde artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır ve domates bitkilerine etkisini belirlemek amacıyla yapılan bir araştırmada, Cd uygulamasının kuru madde miktarını domates bitkisinde mısırdan daha fazla azalttığı ve kuru madde miktarındaki azalma ile bitki mineral içeriği arasında anlamlı bir ilişki olduğu belirlenmiştir.

Besin çözeltilisinde çiçeklenme başlangıcına kadar yetiştirilen mısır genotiplerinin kuru madde miktarı ve besin içeriği üzerine artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un etkisini belirlemek amacıyla yapılan çalışmada mısır genotiplerinde Pb birikimi ve toleransı açısından anlamlı farklılıklar olduğu belirlenmiştir. Ayrıca Pb uygulamasına bağlı olarak mısır genotiplerinin kuru madde miktarlarının azaldığı ve N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn ve Mn birikiminin engellendiği tespit edilmiştir (Yıldız 2005b).

Besin çözeltilisinde yetiştirilen iki farklı domates çeşidinin (Rio Grande ve Inuictus Lot. 335) kuru madde üretimi ve mineral element içeriği üzerine farklı seviyelerdeki Cd ve Pb metallerinin etkisini belirlemek amacı ile yürütülen bir araştırmada, artan Cd ve Pb konsantrasyonlarının her iki çeşitte de kuru madde üretimi üzerine önemli düzeyde etki ettiği tespit edilmiştir. Cd uygulamalarının çeşitlerde bitki P, Ca, K, Mg ve Fe alımını, Pb uygulamalarının ise P, Ca, Zn ve Mn alımını azalttığı belirlenmiştir (Aksu ve Yıldız 2004).

Ayhan (2006) tarafından yürütülen bir araştırmada, Cd ve Pb ağır metallerinin bazı mısır eşitleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bitkilere perlit kültür ortamında 8 gün süre ile farklı konsantrasyonlarda Cd ve Pb ağır metalleri uygulanmıştır. Deneme sonucunda Cd ve Pb ağır metallerinin, mısır çeşitlerinin kök ve gövde uzunluklarında önemli derecede inhibisyona neden olduğu belirlenmiş, her iki ağır metal içinde dayanıklı çeşitlerin yapraklarında az dayanıklı çeşide göre daha az ağır metal biriktirdikleri saptanmıştır. Pb ve Cd konsantrasyonunun artışına bağlı olarak çeşitlerin yapraklarındaki pigment içeriğinin önemli derecede azaldığı, ayrıca klorofil miktarının karotenoidlere göre ağır metal stresinden daha çok etkilendiği tespit edilmiştir.

Ağır metal stresi; kloroplast yapısının bozulması, klorofil ve karotenoid biyosentezinin inhibe olması, elektron akımının aksaması, Kalvin döngüsü enzimlerinin aktivitelerinin inhibe olması, stoma sayısında ve işlevindeki değişikliklere bağlı CO₂ yetersizliği gibi olumsuz durumlara yol açarak fotokimyasal aktivitenin inhibisyonuna neden olmaktadır (Barcel *et al.* 1986a,b; De Flillppis and Ziegler 1993; Rashid *et al.* 1994; Boucher and Carpentier 1999; Chugh and Sawhney 1999; Macfarlane and Burchett 2001; Prasad *et al.* 2001; Kosobrukhov *et al.* 2004).

Cu-Ni içeren topraklarda yetişen *Empetrum nigrum*'un klorofil miktarı kontrol bitkilerine göre azalma göstermiştir (Monni *et al.* 2001). *Brassica oleracea* bitkisine nikel uygulandığında klorofil a ve b'nin miktarında bir azalmanın olduğu, bunun sonucunda yapraklarda nekrozis ve klorozisin meydana geldiği bildirilmiştir. Ayrıca nikelin hem genç hem de yaşlı yapraklardaki kloroplastların yapısal organizasyonunu değiştirdiği, grana ve stroma tilakoidlerinin sayısının azalttığı, kloroplastların Şekil ve boyutunun değişmesine neden olduğu tespit edilmiştir (Molas and Bran 2004). *Cladonia pleurota* likeni nikel, bakır, kobalt ve demir maruz bırakıldığında klorofil a ve b miktarının kontrollere göre daha az olduğu bildirilmiştir (Bkor and Fahselt 2004). Bakır, inko ve kurşun *Cladonia convoluta* ve *Cladonia rangiformis* likenlerine uygulandığında klorofil a/b oranını azaldığı, stroma ve grana lamellerinde yapısal bozuklukların meydana geldiği (Chettri *et al.* 1998), *Brassica oleracea var. botrytis*

klorofil a ve b miktarının kontrole göre azaldığı (Chatterjee and Chatterjee 2000) rapor edilmiştir.

Bitkinin yaş artışıyla, birçok mineral madde, iz element ve mutlak gerekli olmayan ağır metallerin miktarları azalır. Bitkideki ağır metal miktarında, bitki gelişim dönemi de önemlidir. Hızlı gelişim devresinde seyrelme etkisi nedeniyle daha az ağır metal bulunmaktadır (Hasselbach 1992).

Fritz *et al.* (1977); sebze bitkilerinin yenilebilir kısımlarındaki ağır metal miktarlarını incelemişler, sıralamanın; Zn>Pb>Cu>Ni>Cr>Cd şeklinde olduğunu, yapraklardaki metal miktarını kök/yumru içeriğine göre yüksek bulduklarını ve meyvelerdeki değerlerin ise diğer kısımlara oranla en düşük bulunduğunu göstermişlerdir (Bergmann 1993).

Bitkiler, yüksek miktarlardaki Cr, Cu, Ni ve Zn'ya hayvanlardan daha duyarlı reaksiyon gösterirler. Bu özellikleri ile bitkiler, adı geçen metallerin insan ve hayvanlarda yaratabileceği olası bir tehlike için iyi bir indikatör oluştururlar. Cd, Hg, Tl için durum tam tersidir. Bu elementlerin insanlar ve hayvanlar için yüksek olan konsantrasyonları bitkiler tarafından oldukça iyi tolere edilebilmektedir (Seçer ve Elmacı 1991).

Bitkilerde bütün ağır metaller için belli bir tolerans sınırı vardır. Bu sınırdan sonra bitki metabolizmasında işlevsel bozukluklar meydana gelmekte ve daha sonra da verim düşmektedir. Tolerans sınırı elemente ve araştırılan bitkiye göre değişmektedir (Hasselbach 1992).

Bitkiler, ağır metallerin alınmalarını engelleyecek ya da alınan ağır metale tolerans (dayanıklılık) göstermelerini sağlayabilecek; organik asitler ve karbonhidratların rizosfere salınıp ağır metal alınımının azaltılması, alınan ağır metallerin aminoasit, ferritin, ağır metalotiyenin ve fitokelatin gibi moleküllerle kompleks yaparak hücre duvarları ve vakuol gibi metabolik yollardan uzak bölgelerde biriktirilmesi, antioksidan enzim aktivitelerinin ve antioksidan moleküllerinin miktarlarının artırılması, hücre

membranlarının onarılması gibi savunma mekanizmalarına sahiptirler (Greger and Lindberg 1986; Jackson *et al.* 1990; Verklaij and Schat 1990; Krämer *et al.* 1996; Sanita di Toppi and Gabrielli 1999; Prasad *et al.* 2001; Hall 2002; Verma and Dubey 2003; Zacchini *et al.* 2003; Benavides *et al.* 2005).

Bazı durumlarda bir ağır metal diğer bir ağır metalin alımını arttırabilmekte ya da azaltabilmektedir (He *et al.* 2005; Lombardi and Sebastiani 2005). Pb ve Cd ağır metallerinin topraktaki ve bitkideki konsantrasyonun artmasının K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn gibi besin elementlerinin alınmasını ve kullanılmasını etkilediği birçok araştırmada tespit edilmiştir (Godbold and Kettner 1991; Rivetta *et al.* 1997; Sharma and Dubey 2005).

Derici vd (2002), farklı bölgelerden toplanan buğday, patates ve bazı sebzelerdeki Cd kirlenmesinin boyutunu araştırmışlardır. Çalışmada sera denemesinde Cd birikimde, Zn beslenmesinin ve toprak tuzluluğunun rolü de araştırılmıştır. Araştırmacılar özellikle sebzelerde ve patatesteki çok yüksek değerlerde Cd saptamışlar; Zn eksikliğinde hem Cd adsorpsiyonu hem de taneye Cd taşınımının arttığını belirlemişlerdir.

Nada *et al.* (2007), su kültüründe 14 gün süre ile yetiştirilen Badem (*Prunus dulcis*) bitkisine 25-150 mM Cd uygulaması yaparak bitki mineral içeriğindeki değişimi incelemişlerdir. Araştırmada kök K ve Mg içeriği sadece en yüksek uygulama seviyesinde azalırken, yapraklarda uygulama seviyelerinin hepsinde Ca, Mg ve K konsantrasyonunun azaldığı belirlenmiştir.

10-190 mg kg⁻¹ Cd içeren topraklarda 10 gün süreyle yetiştirilen hint hardalı (*Brassicae juncea*) bitkisinin kök ve gövde aksamlarındaki Ca içeriğinin düşük Cd seviyelerinde arttığı, yüksek Cd seviyelerinde ise azaldığı belirlenmiştir. Aynı araştırmada Mg içeriğinin kökte değişim göstermediği, gövdede ise uygulamalara bağlı olarak azaldığı tespit edilmiştir (Jiang *et al.* 2004).

Toprak+torf karışımında 40 gün süreyle 500 mg l⁻¹ Cd ile sulanan ayçiçeği bitkisinin yaprak, gövde ve kökünde Ca ve Mg içeriğinde bir fark gözlemlenmezken, K içeriğinin sadece kökte arttığı belirlenmiştir (Garcia *et al.* 2006).

Wu *et al.* (2004) tarafından yürütülen bir araştırmada pamuk bitkisine 1 ve 10 mM Cd uygulaması yapılmış ve vejetatif organlarda Fe, Cu ve Zn konsantrasyonlarının azaldığını, kök dokusunda ise arttığını tespit etmişlerdir. Bu elementlerin kökten gövdeye taşınımının Cd uygulaması ile önlediği de belirtilmiştir. Buna karşılık, Liu *et al.* 2003 yaptıkları bir çalışmada, Cd ve Zn, Cd ve Fe, Cd ve Cu arasında hem kök hem de gövdede pozitif bir ilişki olduğunu rapor etmişlerdir. Fei-boWu *et al.* (2003) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise arpa bitkisinde Cd seviyesi ile Zn, Cu ve Mn konsantrasyonu arasında negatif bir ilişki olduğu belirtilmiştir.

Begonia *et al.* (1998), Pb kirliliği görülen tarım alanlarında yetiştirilen bitkilerde P eksikliği belirlemişlerdir. Ayrıca yapılan başka bir çalışmada bitki bünyesinde Pb miktarının artışına paralel olarak P içeriğinin azaldığı rapor edilmiştir (Geebelen *et al.* 2002). Aynı çalışmada Pb uygulamasına bağlı olarak Bitki Fe içeriğinin de önemli oranda azaldığı belirtilmiştir.

Kannan and Keppel (1976), genç bezelye fidelerinde Pb alımı ve taşınımı üzerine yaptıkları bir çalışmada Pb uygulamasının bezelye bitkisinin Fe alımını azalttığını belirlemişlerdir.

Nogales *et al.* (1997), yaptığı bir araştırmada blue berry ve Labrador çayına Pb içeriği yüksek olan foliage uygulaması yapmış ve bitkilerin Zn ve Mn içeriklerinin arttığını tespit etmiştir.

Punshon *et al.* (1999), besin çözeltilisinde buğday, arpa, ıspanak, turp, marul, kırmızılahana, çin lahanası, karnabahar, brokoli, brüksel lahanası, havuç ve pırasa bitkilerinin 0, 0.05, 0,1 ve 5 mg l⁻¹ Cd konsantrasyonlarında Cd birikimlerini

incelemişlerdir. Araştırmada en düşük Cd birikimi kırmızılahanada bulunurken en yüksek Cd birikimi brokoli ve karnabahar bitkilerinde tespit edilmiştir.

Bitkiler kökler aracılığıyla besin çözeltilisinden fazla miktarda Cd alabildiği halde bu elementin bitkideki hareketi sınırlıdır. Bitki köklerindeki iyon değişim alanlarında tutulan Cd, Ca^{+2} , Zn^{+2} , Mn^{+2} iyonları tarafından değiştirilebilmektedir. Normal olarak toprak çözeltilisinde egemen katyon Ca^{+2} olduğuna göre, kalsiyum bitkilerin topraktan Cd alımını önemli ölçüde etkileyebilir. Cd'un köklerden bitki üst kesimlerine taşınması özellikle, fosfor tarafından azaltılır. Zn ve P arasındaki karşılıklı etkileşme benzer bir etkileşim Cd ve P arasında da görülmektedir (Brohi vd 1994).

Cd'un morfolojik olarak bitkilerin organ düzeyinde saptanan görünebilir toksik etkileri; kök ve gövde büyümesinde azalma, yapraklarda solma, damarlar arası klorozis, yaprak uçlarına kıvrılma, kuruma ve nekroz, yapraklarda kahverengi-kırmızı renk oluşumları, ayrıca köklerde kahverengileşmedir. Fizyolojik olarak da Cd, fotosentezi ve hücre bölünmesini inhibe etmekte, hücre geçirgenliğini bozmakta, solunum ve transpirasyonun olumsuz etkilemektedir (Bayçu 1997).

Cd elementinin bitkilerin kuru maddedeki normal miktarı değişik araştırmacılara göre; 0,05-0,2 mg kg⁻¹ (Hasselbach 1992; Kabata-Pendias and Pendias 1992), 0,2-0,3 mg kg⁻¹ (Bergmann 1993), 0,1-1,0 mg kg⁻¹ (Mengel and Kirkby 1987) olabilmektedir. Kabata-Pendias ve Pendias (1992), bitkilerde kuru maddedeki kritik Cd konsantrasyonunu 2 mg kg⁻¹, toksik Cd konsantrasyonunu ise 5,0-30 mg kg⁻¹ olarak bildirmektedir. FAO ve WHO (1993) tarafından hazırlanan raporda, tahıllarda ve baklagillerde müsaade edilebilir maksimum Cd konsantrasyonu 0,1 mg kg⁻¹ olarak belirtilmiştir.

Kuru maddede bitkilerin Pb miktarı; Alloway (1990)'a göre 0,2-20,0 mg kg⁻¹, Hasselbach (1992)'a göre 0,1-5,0 mg kg⁻¹, Kabata-Pendias and Pendias (1992)'a göre 5,0- 10,0 mg kg⁻¹, Bergmann (1993)'a göre 2,0-7,0 mg kg⁻¹ ve Özbek vd (1993)'e göre <10 mg kg⁻¹ olarak belirtilmiştir.

Pb birçok bitki türünde kök gelişimini inhibe etmekte ve sonuçta bitkinin ölümüne neden olmaktadır (Symeonidis *et al.* 1985). Barker (1972), marul ve havuç bitkileri üzerinde yaptığı bir çalışmada, Pb'un her iki bitkide de kök gelişimini azalttığını ve yüksek miktarlarının bitkilerin ölümüne neden olduğunu tespit etmiştir.

Pb'un bitki organlarının taze ve kuru biyokütlesine etkisi; bitki türü, bitki organları ve metabolik yollarla ilişkili olarak farklılıklar göstermektedir (Singh *et al.* 1994).

Bekiaroglou and Karataglis (2002) *Menta spicata*'nın klonlarında Pb ve Zn'nun etkilerini araştırdıkları bir çalışmada, bu ağır metallerin konsantrasyonlarındaki artışa bağlı olarak bitkilerin kök uzunluğu ile alt ve üst yaprakların klorofil miktarlarında azalma olduğunu belirlemişlerdir. Ağır metal konsantrasyonları ile kök gelişimindeki azalış arasındaki ilişkinin logaritmik olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmada ayrıca bitki dokularının Pb ve Zn miktarları da belirlenmiştir. Bitki kökleri Pb'u Zn'dan daha fazla bünyesine alırken yapraklara taşınımı Zn'dan daha az olmuştur.

Xiong (1998), *Brassica pekinensis* Rupr. bitkisinde Pb alınımının çimlenme ve gelişme üzerine etkisini araştırmıştır. Uygulanan Pb konsantrasyonunun artışına bağlı olarak çimlenme yüzdesinde azalma olduğu belirlenmiştir. Kontrolde çimlenme %100 iken, 1000 mg mL⁻¹ Pb içeren ortamda çimlenme yüzdesi %43,33 olarak bulunmuştur. Aynı çalışmada kök ve gövde uzamasının da Pb artışına bağlı olarak azaldığı tespit edilmiştir.

Bitkiler, kirlenen dünyamızın temizlenmesinde sessiz bir şekilde görev almaktadır. Çeşitli kaynaklardan atmosfere salınan CO₂ gazının yaşamsal O₂ gazına dönüştürülmesi sürecinde aktif olarak yer alırlar. Bu düşünceden yola çıkan pek çok bilim adamı, bitkilerin diğer kirletici faktörler için de bir temizleyici ajan olarak kullanılabilceği yönünde harekete geçmişlerdir. Bitkiler diğer yaşam biçimleri için birinci derecede karbon kaynağıdır ve besin zincirine giren kirlilikler için taşıyıcı olarak görev yapabilirler (Ghosh and Singh 2005).

Chen *et al.* (2000) tarafından yapılan bir çalışmada, Vetiver (Kabe samanı) çiminin Cd, Cu, Pb ve Zn ile kirlenmiş bir toprakta iyi büyüdüğü gözlemlenmiş ayrıca bitki gövdesinde yüksek konsantrasyonlarda Cd, Cu, Pb ve Zn tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda vetiver çiminin özellikle Cd, Pb ve Zn'un topraktan uzaklaştırılmasında etkili olabileceği ancak hasat edilen materyalin ne şekilde artırılabilmesiyle ilgili detaylı çalışmaların yapılması gerekliliği vurgulanmıştır.

Hocking and McLaughlin (2001) tarafından yapılan bir çalışmada, sera koşullarında 17 farklı keten genotipinde tohumların Cd içerikleri araştırılmıştır. Genotipler arasında tohumların Cd içerikleri değişken olmakla beraber keten bitkisinin maksimum izin verilebilir sınır değerlerin üzerinde Cd biriktirebildiği saptanmıştır.

Wang (2002), mısır ve çeltik bitkisinin Cd toleransı konusunda yaptığı çalışmada, her iki bitkinin de fizyolojik olarak Cd toksisitesine dayanıklı olduğunu belirlemiştir.

Marchiol *et al.* (2004), Cd, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn gibi ağır metallere kirlenmiş toprakların üzerinde yetiştirilen *Raphanus sativus* (radish) ve *Brassica napus* (kanola) bitkileri ile temizlenmesine yönelik yaptıkları çalışmada, her iki bitki türünün de ağır metallere dayanıklı olduğunu, ancak yüksek konsantrasyonlarda bazı ağır metallere toksik olabileceğini bildirmişlerdir.

Alyssum cinsinin bazı türleri, nikel metalini kuru yaprak biyokütlesinin %3'üne varan derişimlerde biriktirme özelliğine sahip olduğu için ekolojik değeri olan bir bitki grubudur (Krämer *et al.* 1997).

Mısır ve ayçiçeği gibi yüksek düzeyde biomass içeren bitkilerin, önemli miktarlarda Pb toplayabildikleri, bu bitkilerin her yıl 180-530 kg ha⁻¹ Pb'u uzaklaştırarak, 2500 mg kg⁻¹'a kadar Pb ile kirlenmiş alanların, 10 yılda iyileştirilmesi olanağı olduğunu belirtmişlerdir (Salt *et al.* 1998).

Ayçiçeğinde, aynı topraklar üzerinde yetişen buğday ve pirinçten yaklaşık 10 kat daha yüksek miktarda kadmiyum bulunmuştur (McLaughlin *et al.* 1999).

1,1 g kuru ağırlıktaki ayçiçeği (*Helianthus annuus L.*) ve Hint hardalı (*Brassica juncea*) bitkilerinin kökleri $300 \mu\text{g ml}^{-1}$ derişimde Pb^{2+} içeren 400 ml suda 8 saat bekletildikten sonra Pb^{2+} derişiminin $1 \mu\text{g ml}^{-1}$ değerinin altına düştüğü gözlenmiştir. Çözeltide kaybolan Pb^{2+} iyonu, kökte kuru ağırlık bazında % 10'dan fazla Pb derişiminin artışı ile açık bir şekilde gözlenmiştir (Dushenkov *et al.* 1995).

Topraktaki ağır metallerin bitki kökleri tarafından alınabilecek forma gelmesi, fitoremediasyon verimini etkileyen faktörlerin başında gelmektedir. Bu amaçla kullanılan kompleks yapıcı şelatların bitkilerde metallerin alınabilirliğini arttırdığı (Martens and Boyd 1994) tespit edilmiştir.

Kuvvetli metal bağlayıcı sentetik kimyasallar [Etilen diamin tetraasetik asit (EDTA) ve Etilen diamin disuksinik asit (EDDS) gibi] da metallerin çözünürlüğünü arttırmakta ve metallerin bitkiler tarafından alınımını kolaylaştırmaktadırlar (Jarvis and Leung 2001; Luo *et al.* 2005).

Turan ve Angın (2004) B, Cd, Mo ve Pb kirliliği bulunan alanların mısır ve ayçiçeği bitkileri yardımıyla temizlenmesi amacıyla bazı organik şelatların ve ağır metallerin çözünürlüğü üzerine yaptıkları araştırmada, tınlı tekstüre sahip toprağa kirliliğe neden olan ağır metaller 100 mg kg^{-1} B (H_3BO_3), 400 mg kg^{-1} Cd (CdCl_2), 10 mg kg^{-1} Mo ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ve 100 mg kg^{-1} $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ilave edildikten sonra, ağır metallerin bitkiler tarafından alınımını kolaylaştırmak amacıyla 4 farklı organik kompleks ajanı [etilen diamin tetra asetat (EDTA), dietilen triamin penta asetat (DTPA), sitrik asit (CA) ve humik asit (HA)] 4 farklı düzeyde (0, 2.5, 5 ve 10 mmol kg^{-1}) uygulamışlardır. Araştırma sonucunda, uygulanan organik kompleks ajanlarının çeşit ve dozu, bitkilerin topraktan kaldırdığı B, Cd, Mo ve Pb içeriklerini önemli düzeyde etkilediğini, mısır ve ayçiçeği gibi hiperakümülatör olan bitkilerin topraktan ağır metalleri alımında en etkili

organik şelat, hümik asit olarak belirlemişler ve en etkili bitki çeşidinin ise ayçiçeği bitkisi olduğunu ifade etmişlerdir.

Wenzel *et al.* (2003), endüstriyel atıklarla kirletilmiş topraklar üzerinde kanola (*Brassica napus*) ve EDTA kullanarak Cu, Pb ve Zn'nun şelatlar yardımıyla ıslahı üzerinde yaptıkları çalışmada; toprakta bitkiye yararlı metal konsantrasyonlarının EDTA uygulaması ile arttığını ve bitkinin alım gücünün yükseldiğini gözlemişlerdir.

Metallerin bitkilerle giderimi pek çok faktörden etkilenir. Bunlar bitki türlerindeki çeşitlilik, bitkilerin büyüme durumu, sorpsiyonu kontrol eden element özellikleri, birikme ve metal iyonlarının bitki içinde taşınmasıdır (translokasyon). Pb/Zn madeni yakınlarında 12 farklı makrofit türü ile yapılan bir çalışmada oldukça yüksek miktarda Pb^{2+} , Zn^{2+} ve Cu^{2+} fitoeksraksiyonu sağlanmıştır (Deng *et al.* 2004).

Ticari değeri yüksek olan metalleri absorblayabilen bitkiler madencilikte de kullanılmaktadır. Fitomadencilik olarak adlandırılan bu teknikte, bitkiler kullanılarak Au, Ag gibi değerli metaller ekstrakte edilebilmektedir. Bu teknoloji çok iyi bilinmemekle birlikte, bitkiler vasıtasıyla Ni madenciliğinin patenti alınmıştır (Chaney *et al.* 1998). *Phacelia sericea* köklerinde 3857 mg kg^{-1} 'dan daha fazla Au biriktirmiştir. $KAuCl_4$ veya $AgNO_3$ içeren agar ortamında büyüyen *alfaalfa* bitkilerinin de havalı kısımlarında 370 mg kg^{-1} Au ve 120 mg kg^{-1} Ag biriktirdiği bulunmuştur. Bu tür bitkiler gelecekte Au ve Ag gibi değerli metaller için fitomadencilik çalışmalarında kullanılabilir (Gomez 2002). 2000'li yıllardan itibaren Yeni Zelanda ve Brezilya'da kanola (*Brassica sp.*) ve mısır (*Zea mays*) tohumları kullanılarak değerli metalleri ekstrakte etmek amacıyla küçük çaplı pilot projeler uygulanmaktadır (Anderson *et al.* 2003).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Deneme bitkisi

Bu çalışmada, ülkemizde yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan mısırın (*Zea mays* L.) 3223, 3394, 34N24, 31P41, 31G98, DK647, Kermess, Vero, Doge, Luce, Pegaso, MF714, Varenne, Isidora ve Larigor genotipleri ile ayçiçeğinin (*Helianthus annuus* L.) C70165, 8N386CL, Tarsan, DFK2525 ve AS508 genotipleri kullanılmıştır.

3.1.2. Mısır bitkisinin sınıflandırılması, morfolojisi ve iklim isteği

Mısır (*Zea mays* L.), kapalı tohumlular bölümünün (Angiospermeae), tek çenekliler sınıfına (Monocotyledonae) giren, buğdaygiller (Poaceae) familyasına ait $2n=20$ kromozoma sahip tek yıllık otsu bir bitkidir.

Gelişmiş bir kök sistemine sahip mısır bitkisinde embriyonal kökler, genellikle bitkinin yaşamı boyunca görevlerini sürdürmelerine rağmen, asıl kök sistemi, erken fide evresinde ilk yaprağın çıkışından sonra, gövdenin toprak yüzeyinin 3–5 cm altındaki boğumlarından çıkan ek köklerden ve toprak yüzeyinin hemen üstündeki 1–3. boğumdan çıkan destek köklerden oluşur. Ek kökler 60–80 cm yanlara, 2–2.5 m derinlere yayılabilir. Kök derinliği, toprağın yapısı, sıcaklığı, nemi ve havasına bağlı olarak değişebilir (Elçi vd 1987; Kün 1997).

Mısır bitkisinde gövde, genelde sayıları 8-9 olan boğum ve boğum aralarından oluşur. En üst boğum arasının ucunda, erkek çiçek topluluğu olan tepe püskülü bulunur. Diğer boğumlar birer yaprağı, ortadaki bir ya da birkaç boğum sonradan koçanı oluşturan birer çiçek durumu (infloresans) taşır. Mısır bitkisinde boy, çeşitlere ve yetiştirme koşullarına göre değişirse de, ortalama 1,5–3 metre kadardır. Sapın toprak üstündeki her boğumdan bir yaprak çıkar. Bir bitkide ortalama yaprak sayısı 12-18 arasındadır. Yaprak boyutları

ve toplam fotosentez yüzeyi bakımından mısır, tahıllar içinde en yüksek değerleri gösterir. Bununla birlikte, yaprak boyu genel olarak 60-80 cm arasında olup çevre koşullarına ve çeşide bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Elçi vd 1987; Kün 1997).

Mısır tipik bir sıcak iklim tahılıdır. Minimum çimlenme sıcaklığı 9-10°C olup, optimum çimlenme sıcaklığı 18°C'nin üzerindedir. En uygun büyüme sıcaklığı ise 20-30°C arasındır (Lagriffoul *et al.* 1998). Mısır bitkisinin nem isteği de fazladır.

Mısır, Türkiye'de buğday ve arpadan sonra en geniş ekim alanına sahip bir tarla bitkisidir (Şahin 2001). Türkiye'de toplam ekilebilir alanlarının %39,5'i tahıl tarımına ayrılmıştır ve bunun %3,9'unu mısır teşkil etmektedir. 2005 yılında 800 bin hektar alana mısır ekilmiş, 3,5 milyon ton üretim sağlanmış ve verim 4375kg/ha olmuştur (FAOSTAT İstatistikleri Özeti 2005). Ülkemizde mısır, özellikle Güney Doğu Anadolu Projesi (GAP) kapsamındaki bölgelerde (Şanlı Urfa, Adıyaman, Siirt, Gaziantep, Diyarbakır ve Mardin) ikinci ürün olarak da ekilmekte ve üretimde verimin artırılması yönünde çalışmalar devam etmektedir.

3.1.3. Ayçiçeği bitkisinin sınıflandırılması, morfolojisi ve iklim isteği

Ayçiçeği; *Campanulatea* takımından, Compositeae familyasından, Helianthus cinsinden, Helianthus annuus olup, n=17 kromozoma sahip yıllık bir bitkidir (Heiser 1978).

Ayçiçeği saçak köklü bir bitkidir. Saçak kökler toprak içerisinde 10-15 cm derindeki ana kök üzerinden çıkarlar ve 60-150 cm yanlara doğru gelişirler. Ayçiçeğinde saçak köklerin gelişmesi genellikle toprağın üst kısmındaki 30-60 cm'lik derinlikte yoğunlaşmaktadır (Arıoğlu 2000).

Ayçiçeğinde saplar dik olarak büyür. Uzunluğu 50-500 cm, sap kalınlığı ise 1-10 cm arasında değişmektedir. Sap uzunluğu boğum sayısı ve boğum araları mesafesine göre değişmektedir. Ayçiçeği tohumu çimlendiğinde, toprak yüzeyinde iki adet kotiledon

yaprak oluşur. Daha sonra bunların arasında ilk bir çift gerçek yapraklar çıkar. Yapraklar boğumlarda bulunurlar ve gövde üzerinde almaşıklı olarak dizilirler. Bitkide oluşan yaprak sayısı çeşit özelliğine bağlı olarak 8-70 arasında değişmektedir. Ayçiçeğinde ana sap ve yan dallar bir çiçek tablası ile son bulur. Çiçekler tabla üzerinde yer almaktadır (Arıoğlu 2000).

Ayçiçeği kara iklim kuşağında ve ılıman iklimin yağışlı bölgelerinde yetiştirilen tek yıllık bir bitkidir. Tohumun çimlenebilmesi için toprak sıcaklığının minimum +4 °C olması gerekmektedir. Çimlenmenin normal olabilmesi için, toprak sıcaklığının 8-10 °C'nin altına düşmesi istenmez. Bitkinin büyüme ve gelişmesi için 18-20°C gece/ 24-26°C gündüz sıcaklıkları optimumdur. Kurak koşullara fazla dayanıklı olmamakla beraber, diğer kültür bitkilerinin yetişemediği kurak koşullarda başarıyla yetişebilmektedir. Topraktaki suyu en iyi şekilde değerlendiren bir bitkidir (Arıoğlu 2000).

3.1.4. Besin çözeltisi

Bu çalışmada yetiştirme ortamı olarak seçilen besin kültüründe, içeriği Çizelge 3. 1. de verilen Johnson *et al.* 1957 besin çözeltisi kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. Denemede kullanılan besin çözeltisi

Kimyasal Maddeler	1 litre arı suda çözünecek miktar, g l ⁻¹	1 litre besin çözeltisine konulacak miktar, ml	Element	Element konsantrasyonu mg l ⁻¹
KNO ₃	101,10	6	<u>Makro elementler</u>	
Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	236,16	4	N	224
NH ₄ H ₂ PO ₄	115,08	2	K	235
MgSO ₄	246,49	1	Ca	160
			P	62
			S	32
			Mg	24
			<u>Mikro elementler</u>	
KCl	3,728	1	Cl	1,77
H ₃ BO ₃	1,546	1	B	0,27
MnSO ₄ .H ₂ O	0,338	1	Mn	0,11
ZnSO ₄ .7H ₂ O	0,575	1	Zn	0,131
CuSO ₄ .5H ₂ O	0,125	1	Cu	0,032
H ₂ MoO ₄ .H ₂ O	0,081	1	Mo	0,05
Fe-EDTA	6,922	1	Fe	1,12

3.1.5. Denemede kullanılan Cd ve Pb konsantrasyonları

Denemede Cd kaynağı olarak CdN₂O₆.4H₂O tuzu, Pb kaynağı olarak PbN₂O₆.4H₂O tuzu kullanılmıştır. Cd için uygulanan dozlar 0, 0,5, 1, 5, 10 mg l⁻¹, Pb için uygulanan dozlar 0, 50, 100 ve 150 mg l⁻¹ dir.

3.2. Yöntemler

3.2.1. Tohum kabuk sterilizasyonu

Çalışmada kullanılan mısır ve ayçiçeği tohumları ekim öncesinde %10 luk sodyum hipoklorit ile 3 dakika yüzeysel sterilizasyona tabii tutulmuştur. Sterilizasyonu takiben tohumlar 3 kez saf su ile yıkanmış ve 2 saat saf suda bekletilmiştir. Bu tohumların dolgun görünüşlü ve az çok birbirine benzer olmasına dikkat edilmiştir.

3.2.2. Tohumların çimlendirilmesi

Kabuk sterilizasyonu yapılan ve 2 saat saf suda bekletilen tohumlar 15 cm derinliğinde, 35 cm eninde ve 55 cm boyundaki saksılarda, torf+kum karışımında çimlendirilmiştir (Şekil 3.1). Kullanılan kum otoklavda steril edilmiştir. Tohumlar, torf+kum ortamına, aralarında belirli mesafe olacak şekilde ekilmiş ve saksıların üzeri kapatılmıştır. Çimlenmenin 4. gününde saksıların üzeri açılmıştır. Saksılar her gün saf su püskürtülerek sulanmıştır. Çimlendirme, ortalama 24 °C sıcaklıkta 10 gün süreyle yapılmıştır.



Şekil 3.1. Besin çözeltilisine aktarılmadan önce mısır ve ayçiçeği fidelerinin genel görünümü

3.3. Deneme süreci

Yetiştirilen 10 günlük mısır ve ayçiçeği fideleri saksılardan alınarak kökleri önce musluk suyunda, sonra saf su ile yıkanmıştır. Daha sonra 4,5 l kapasiteli saksılara her bir ağır metal dozu için 3 tekerrürlü olacak şekilde her saksıya 2 bitki aktarılmıştır (Şekil 3.2). Bitkiler besin solüsyonuna aktarıldıktan 5 gün sonra ön çalışmalarla belirlenen ağır metal konsantrasyonları bitkilere uygulanmıştır. Besin çözeltilerinin pH ve EC değerleri başlangıçta ve deneme süresince 5 günde bir belirlenmiştir. Besin çözeltilisinin başlangıç pH sı ortalama 6,2 ve EC değeri ort. 2,1 ds/m olarak belirlenmiştir. pH 5,5' un EC ise 1,5' un altına düştüğünde besin çözeltileri yenilenmiştir. Deneme planına uygun olarak bitkiler 45 gün besin solusyonunda yetiştirilmiştir. Besin çözeltilisi hava kompresörüyle her gün en az 2 saat süreyle

havalandırılmıştır. Deneme sonunda bitkiler kök ve üst aksam (sap+yaprak) olarak ayırt edilerek hasat edilmiştir.



Şekil 3.2. Besin solüsyonuna aktarılan mısır ve ayçiçeği fidelerinin genel görünümü

3.4. Ölçümler

3.4.1. Kök ve gövde uzunluğu tayini

Her bitkinin kök boğazından sürgün ucuna olan gövde uzunluğu (cm bitki⁻¹) ve kök boğazından kök ucuna kadar olan kök uzunluğu (cm bitki⁻¹) ölçülmüştür.

3.4.2. Bitki kök ve gövde su içeriği

Çeşitlerin kök ve gövdelerinin taze ağırlıkları, g/saksı olarak tespit edildikten sonra bu kısımlar, 70 °C etüvde sabit ağırlığa ulaşmaya kadar yaklaşık 48 saat kurutulmuş ve kuru ağırlıkları, g/saksı olarak belirlenmiştir. Bitkilerin kök ve gövde su içerikleri aşağıdaki formülle % olarak hesaplanmıştır.

$$\text{Su içeriği (\%)} = \left[\frac{\text{Taze ağırlık} - \text{Kuru ağırlık}}{\text{Taze ağırlık}} \right] \times 100$$

3.4.3. Tolerans indeksi

Farklı mısır ve ayçiçeği genotiplerinin kadmiyum ve kurşun tolerans indeksleri aşağıdaki model esas alınarak hesaplanmıştır (Das *et al.* 1997).

$$\text{Tolerans İndeksi} = \frac{\text{Cd veya Pb uygulanan bitkinin kuru ağırlığı (g)}}{\text{Uygulama yapılmayan bitkinin kuru ağırlığı (g)}} \times 100$$

3.4.4. Yaprak dokularında klorofil belirlenmesi

Bitkilerin klorofil içerikleri taşınabilir klorofil metre ile (SPAD-502, Konica Minolta Sensing, Inc., Japan) bitkilerin yeşil yaprakları ölçülerek belirlenmiştir. SPAD-502 klorofil metre ile yüksek doğrulukta ölçüm yapılmaktadır (Neufeld *et al.* 2006).

3.4.5. Biyolojik alınabilirlik indeksi ve transfer faktörü

Biyolojik alınabilirlik indeksi ve transfer faktörü, bitkilerin Cd ve Pb miktarları dikkate alınarak aşağıdaki formüllerle hesaplanmıştır.

Biyolojik alınabilirlik indeksi = Elementin bitkideki konsantrasyonu / uygulama dozu (Mertens *et al.* 2005)

Transfer faktörü = Gövde metal içeriği / kök metal içeriği (Madrid *et al.* 2003; Dickinson and Pulford 2005)

3.5. Bitki Analiz Yöntemleri

3.5.1. Bitkide toplam azot tayini

Bitki örneklerinin toplam azot içeriği sülfürik asit karışımı ile yaş yakmaya tabi tutulduktan sonra mikrokjeldahl yöntemiyle belirlenmiştir (AOAC 1990).

3.5.2. Bitkide diğer elementlerin (P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn, B, Cd, Pb) miktarı

Bitki örneklerinin P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn, B, Cd ve Pb içerikleri nitrik perklorik asit karışımı ile yaş yakmaya tabi tutulduktan sonra Perkin Elmer (Optima 2100) Model ICP – OES cihazı ile belirlenmiştir (AOAC 1990).

3.6. İstatistiksel Değerlendirme

Bu alışma sonucunda elde edilen verilerin, tam şansa bağlı faktöriyel deneme desenine göre varyans analizleri yapılmıştır. Elde edilen varyans analizi sonuçları F testine göre değerlendirilmiş ve bu değerlendirme sonucunda önemli çıkan uygulamalar Duncan oklu karşılaştırma testine göre karşılaştırılmıştır (SPSS 1999).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Cd Ağır Metalinin Mısır Genotipleri Üzerine Etkisi

4.1.1. Cd ağır metalinin mısır genotiplerinin kök ve gövde büyümesi üzerine etkisi

Su kültüründe uygulanan farklı Cd seviyelerinin mısır bitkisinin kök ve gövde uzaması üzerine olan etkisini belirlemek amacıyla 45 günlük büyüme periyodu sonucunda her bir uygulamaya ait saksılardan elde edilen bitkilerin kök boğazından sürgün ucuna olan gövde uzunluğu (cm bitki⁻¹) ve kök boğazından kök ucuna kadar olan kök uzunluğu (cm bitki⁻¹) ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirildiğinde, kök ve gövde uzunluğu üzerine genotip, Cd seviyesi ile genotip*Cd seviyesi etkileşimlerinin etkisi çok önemli olmuştur (Çizelge 4.1).

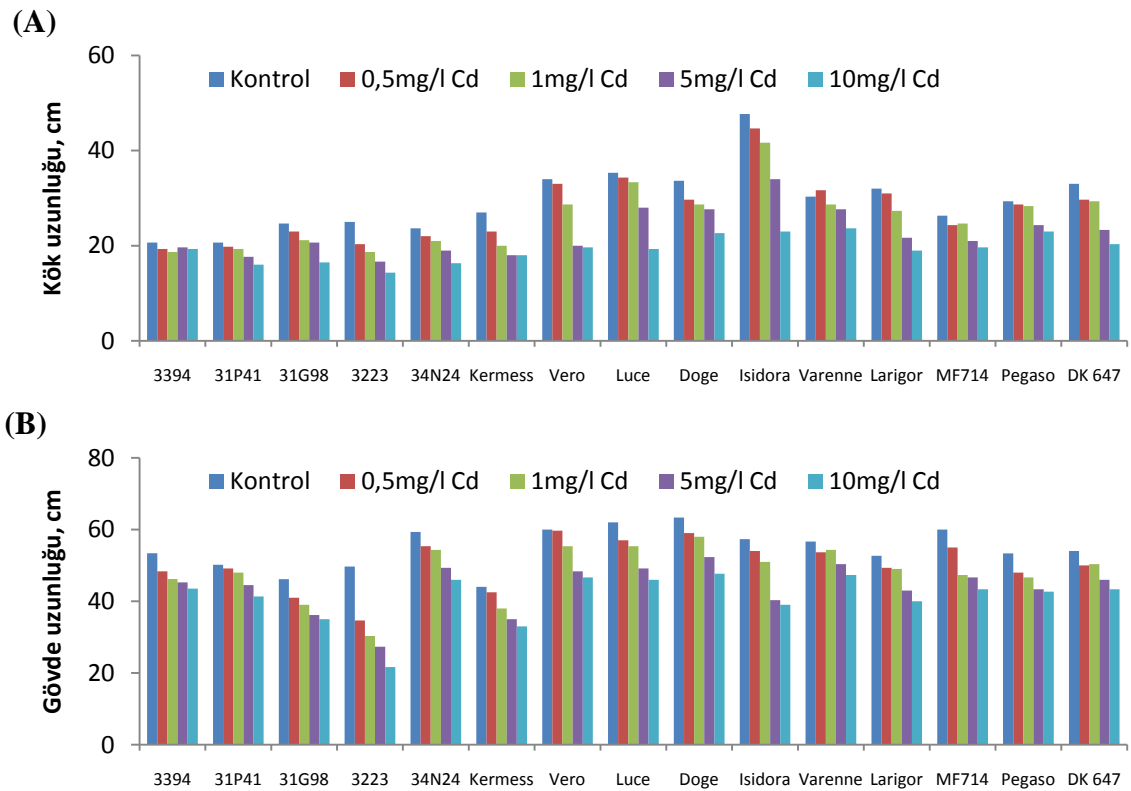
Çizelge 4.1. Farklı seviyelerde uygulanan Cd'un mısır bitkisinin kök gelişimi ve gövde verim kriterlerine ait varyans analiz sonuçları

Varyans Kaynağı	S. D.	Kök uzunluğu cm		Kök yaş ağırlığı g saksı ⁻¹		Kök kuru ağırlığı g saksı ⁻¹		Kök su içeriği %	
		K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F
Genotip	14	423,85	98,89**	12,00	42,15**	0,04	49,29**	24,84	22,62**
Cd seviyesi	4	739,33	172,50**	20,17	70,85**	0,06	73,43**	11,29	10,28**
Genotip x Cd Seviyesi	56	20,50	4,78**	0,58	2,04**	0,01	1,74**	2,06	1,88**
Hata	150	4,29		0,29		0,01		1,10	
Genel	225								
Varyans Kaynağı	S. D.	Gövde uzunluğu cm		Gövde yaş ağırlığı g saksı ⁻¹		Gövde kuru ağırlığı g saksı ⁻¹		Gövde su içeriği %	
		K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F
Genotip	14	627,83	82,24**	22,26	13,97**	0,11	23,68**	66,41	15,86**
Cd seviyesi	4	1315,73	172,35**	74,44	46,72**	0,13	28,98**	199,03	47,52**
Genotip x Cd Seviyesi	56	16,54	2,17**	1,10	0,69 ^{ns}	0,01	0,46 ^{ns}	8,49	2,03**
Hata	150	7,63		1,59		0,01		4,19	
Genel	225								

** : p<0,01 düzeyinde çok önemli, * : p<0,05 düzeyinde önemli, ns: Önemsiz

Farklı seviyelerde uygulanan Cd' un mısır genotiplerinin kök ve gövde uzunluklarına etkisi incelendiğinde; konsantrasyon artışına bağlı olarak tüm genotiplerin kök ve gövde

uzunluklarının azaldığı görülmüştür (Şekil 4.1. A ve B). Uygulanan en yüksek Cd konsantrasyonunda ($10 \text{ mg l}^{-1} \text{ Cd}$); 3394 genotipinin kök uzunluğu kontrole göre yaklaşık %6, 31P41, Varenne ve Pegaso genotiplerinin ise %22 azalırken, Larigor, Vero, 3223, Luce ve Isidora genotiplerinde azalma sırasıyla %41, %42, %43, %45 ve %52 olmuştur. Varenne, 31P41, 3394, DK647 ve Pegaso genotiplerinde gövde uzunluğu uygulanan en yüksek Cd konsantrasyonunda ($10 \text{ mg l}^{-1} \text{ Cd}$) kontrole göre sırasıyla yaklaşık %16, %18, %18, %20 ve %20 azalırken, bu oran Isidora da %32'ye, 3223 de ise %56'ya ulaşmıştır.



Şekil 4.1 Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) uzunluğu üzerine etkisi

Çizelge 4.2. Farklı seviyelerde uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövde uzunluğu üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları

Genotip	Kök Uzunluğu, cm						Genotip	Gövde Uzunluğu, cm					
	Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort		Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort
	0	0,5	1	5	10			0	0,5	1	5	10	
3394^{ns}	20,67	19,33	18,67	19,67	19,33	19,53GH	3394	53,40a	48,33ab	46,20ab	45,27b	43,53b	47,35D
31P41	20,67a	19,80a	19,33a	17,67b	16,03c	18,70H	31P41	50,17a	49,17a	48,00a	44,50b	41,33c	46,63D
31G98	24,67a	23,00b	21,17c	20,67c	16,50d	21,20F	31G98	46,17a	41,00b	39,00bc	36,17cd	35,00d	39,47E
3223	25,00a	20,33b	18,67bc	16,67cd	14,33d	19,00GH	3223	49,67a	34,67b	30,33bc	27,33c	21,67d	32,73F
34N24	23,67a	22,00b	21,00b	19,00c	16,33d	20,40FG	34N24	59,33a	55,33b	54,33b	49,33c	46,00d	52,87B
Kermess	27,00a	23,00b	20,00c	18,00c	18,00c	21,20F	Kermess	44,00a	42,50a	38,00ab	35,00b	33,00b	38,50E
Vero	34,00a	33,00a	28,67a	20,00b	19,67b	27,07CD	Vero	60,00a	59,67a	55,33b	48,33c	46,67c	54,00B
Luce	35,33a	34,33ab	33,33ab	28,00b	19,33c	30,07B	Luce	62,00a	57,00ab	55,33ab	49,17b	46,00b	53,90B
Doge	33,67a	29,67b	28,67b	27,67b	22,67c	28,47C	Doge	63,33a	59,00ab	58,00b	52,33c	47,67c	56,07A
Isidora	47,67a	44,67ab	41,67b	34,00c	23,00d	38,20A	Isidora	57,33a	54,00b	51,00c	40,33d	39,00d	48,33D
Varenne	30,33ab	31,67a	28,67ab	27,67ab	23,67b	28,40C	Varenne	56,67a	53,67ab	54,33ab	50,33bc	47,33c	52,47B
Larigor	32,00a	31,00a	27,33b	21,67c	19,00c	26,20D	Larigor	52,67a	49,33b	49,00b	43,00c	40,00d	46,80D
MF714	26,33a	24,33a	24,67a	21,00b	19,67b	23,20E	MF714	60,00a	55,00b	47,33c	46,67c	43,33c	50,47C
Pegaso	29,33a	28,67a	28,33a	24,33b	23,00b	26,73D	Pegaso	53,33a	48,00ab	46,67b	43,33b	42,67b	46,80D
DK647	33,00a	29,67a	29,33a	23,33b	20,33b	27,13CD	DK647	54,00a	50,00ab	50,33ab	46,00bc	43,33c	48,73CD
Ort	29,56A	27,63B	25,97C	22,62D	19,39E		Ort	54,80A	50,44B	48,21C	43,81D	41,10E	

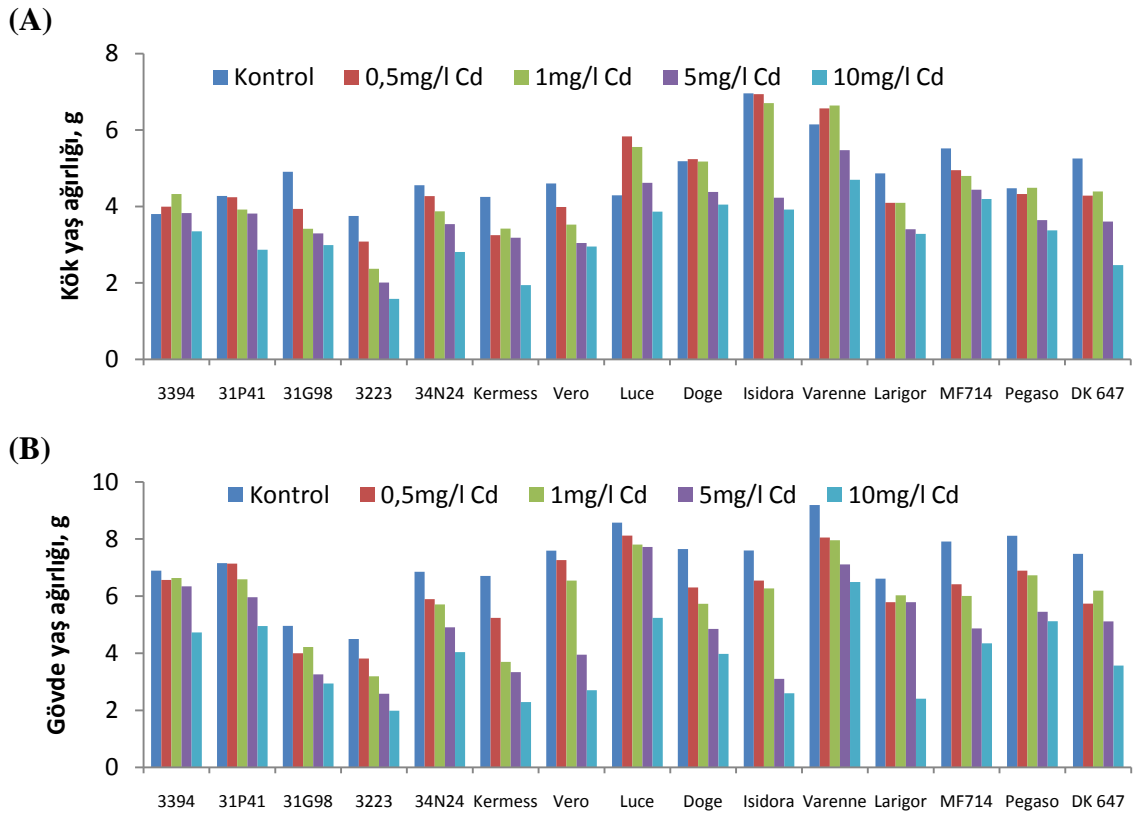
Çizelge 4.2 Duncan çoklu karşılaştırma sonuçları incelendiğinde görüleceği gibi, 3394 genotipinde uygulanan Cd seviyelerine bağlı olarak kök uzunluğunda önemli bir fark meydana gelmemiştir. Diğer genotiplerde uygulanan Cd seviyesine bağlı olarak kök uzunlukları farklılık göstermiştir. Uygulanan Cd seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek kök uzunluğu 38,20 cm ile Isidora genotipinden elde edilmiştir. Bunu azalan sıra ile Luce (30,07 cm), Doge (28,47 cm) ve Varenne (28,40 cm) genotipleri takip ederken, en düşük kök uzunluğu ise 31P41 (18,70 cm) genotipinden elde edilmiştir. Gövde uzunluklarındaki değişim incelendiğinde, tüm genotiplerde artan Cd seviyesi ile birlikte değişim olduğu görülmektedir. Uygulanan Cd seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek gövde uzunluğu Doge (56,07 cm) genotipinde elde edilirken, bunu 54,00 cm Vero, 53,90 cm ile Luce, 52,87 cm ile 34N24 ve 52,47 cm ile Varenne genotipleri takip etmektedir. En düşük gövde uzunluğu ise 3223 (32,73 cm) genotipindedir. Diğer genotipler ise bu değerler arasında değişen kök ve gövde uzunluklarına sahip olmuşlardır.

Uygulanan Cd seviyelerine bağlı olarak tüm genotiplerin kök ve gövde uzunluklarının ortalamaları dikkate alındığında, Cd seviyesindeki artışla beraber kök ve gövde uzunluklarının önemli farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Kontrolde kök uzunluğu 29,56 cm ve gövde uzunluğu 54,80 cm iken en yüksek uygulama dozu olan 10 mg l^{-1} Cd'da kök uzunluğu 19,39 cm'ye, gövde uzunluğu ise 41,10 cm'ye gerilemiştir. Yapılan birçok araştırmada Cd ağır metalinin kök ve gövde büyümesini inhibe etmesine yönelik sonuçlarımızla uyumlu bulgulara rastlanmıştır. Mesela Cd'un *Pinus pinea* ve *P. pinaster* fidelerinde kök uzunluğunu (Arduini *et al.* 1994), *Oryza sativa* L. cv. Bahia'da (Moya *et al.* 1993), *Zea mays* L. Dekalp cv. Sponsor'da (Rascio *et al.* 1993), *Triticum aestivum* L.'de (Ouzounidou *et al.* 1997) kök ve gövde uzunluğunu azalttığı bildirilmiştir.

4.1.2. Cd ağır metalinin mısır genotiplerinin kök ve gövde yaş ağırlığı üzerine etkisi

Genotiplerin kök ve gövdelerinin taze ağırlıkları, g saksı⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Bu veriler istatistiksel olarak değerlendirildiğinde, Çizelge 4.1'de görüleceği gibi kök yaş ağırlığı üzerine genotip, Cd seviyesi ile genotip*Cd seviyesi interaksiyonlarının etkisi çok önemli olarak bulunmuştur. Gövde yaş ağırlığı üzerine genotip ve Cd seviyesinin etkisi çok önemli olurken, genotip*Cd seviyesi interaksiyonlarının etkisi önemsiz olarak belirlenmiştir.

Şekil 4.2. A ve B'de artan seviyelerde uygulanan Cd' un mısır genotiplerinin kök ve gövde yaş ağırlığı üzerine etkisi verilmiştir. Cd konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak tüm genotiplerin gövde yaş ağırlıklarında azalma olmuştur. Kök yaş ağırlıkları ise; 3394, Luce ve Varenne genotiplerinde 1 mg l⁻¹ Cd seviyesine kadar artmış, daha sonra azalmıştır. Khan and Khan (1983) tarafından yapılan benzer bir çalışmada, kurşun ve kadmiyumun domates ve patates bitkilerinde kuru madde üzerine etkisine bakılmış, düşük dozlarda kurşun ve kadmiyumun olumlu etkisi, yüksek dozlarda toksik olduğu belirlenmiştir. Diğer genotiplerde kök yaş ağırlığı artan uygulamalara bağlı olarak azalma göstermiştir. Uygulanan en yüksek Cd konsantrasyonunda (10 mg l⁻¹ Cd); Luce ve 3394 genotiplerinin kök yaş ağırlıkları kontrole göre sırasıyla %10 ve %12 azalırken, DK647, Kermess ve 3223 genotiplerinde azalma yaklaşık olarak sırasıyla %53, %54 ve %58 oranında olmuştur. Gövde yaş ağırlığı ise Varenne de %29, 31P41 ve 3394 genotiplerinde %31 azalırken, bu oran Kermess ve Isidora da %64'e, Vero ve Larigor da ise %66'ya ulaşmıştır.



Şekil 4.2. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) yaş ağırlığı üzerine etkisi

Çizelge 4.3. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövde yaş ağırlığı üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları

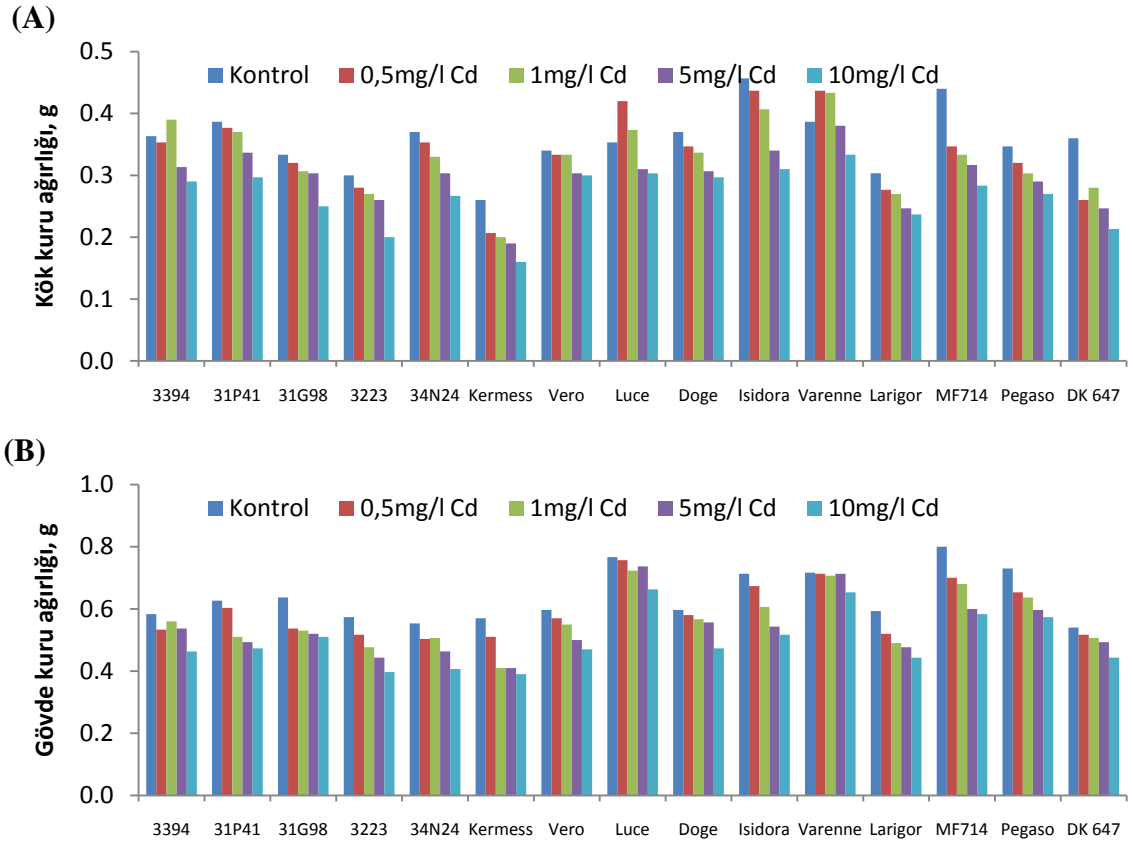
Genotip	Kök Yaş Ağırlığı, g saksı ⁻¹						Genotip	Gövde Yaş Ağırlığı, g saksı ⁻¹					
	Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort		Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort
	0	0,5	1	5	10			0	0,5	1	5	10	
3394^{ns}	3,80	3,99	4,32	3,83	3,35	3,86C	3394^{ns}	6,89	6,57	6,64	6,34	4,73	6,23BCD
31P41	4,27a	4,24a	3,92a	3,81a	2,87b	3,82C	31P41	7,16a	7,14a	6,59ab	5,96ab	4,95b	6,36BC
31G98	4,91a	3,94b	3,42bc	3,29bc	2,99c	3,71C	31G98	4,96a	4,00abc	4,22ab	3,26bc	2,94c	3,87EF
3223	3,75a	3,08b	2,37c	2,01cd	1,58d	2,56E	3223	4,50a	3,82ab	3,19bc	2,58cd	1,99d	3,22F
34N24	4,56a	4,27ab	3,87ab	3,54bc	2,81c	3,81C	34N24	6,85a	5,90b	5,71b	4,91c	4,04d	5,48BCD
Kermess	4,25a	3,25b	3,42b	3,18b	1,94c	3,21D	Kermess	6,71a	5,24b	3,70c	3,34d	2,29e	4,26E
Vero	4,60a	3,99ab	3,53ab	3,04b	2,95b	3,62C	Vero	7,59a	7,26a	6,54a	3,95b	2,71b	5,61BCD
Luce	4,29c	5,83a	5,56ab	4,62bc	3,86c	4,83B	Luce^{ns}	8,58	8,12	7,81	7,72	5,24	7,49A
Doge	5,18a	5,24a	5,18a	4,38ab	4,05b	4,81B	Doge	7,65a	6,30b	5,73bc	4,85cd	3,98d	5,70BCD
Isidora	6,96a	6,94a	6,70a	4,23b	3,92b	5,75A	Isidora	7,60a	6,54b	6,27b	3,10c	2,60c	5,22D
Varenne^{ns}	6,15	6,57	6,64	5,47	4,70	5,91A	Varenne^{ns}	9,19	8,05	7,96	7,11	6,50	7,76A
Larigor	4,87a	4,10b	4,09b	3,40c	3,28c	3,95C	Larigor	6,61a	5,79a	6,03a	5,79a	2,41b	5,32CD
MF714	5,52a	4,95b	4,80b	4,44c	4,19c	4,78B	MF714	7,91a	6,42ab	6,01ab	4,87b	4,35b	5,91BCD
Pegaso	4,48a	4,32a	4,49a	3,64b	3,37b	4,06C	Pegaso^{ns}	8,12	6,89	6,73	5,45	5,12	6,46B
DK647	5,26a	4,28b	4,39ab	3,60b	2,46c	4,00C	DK647	7,48a	5,74ab	6,19ab	5,11bc	3,57c	5,62BCD
Ort	4,86A	4,60B	4,45B	3,77C	3,22D		Ort	7,19A	6,25B	5,95B	4,96C	3,83D	

Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövde yaş ağırlığı üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları Çizelge 4.3'de görülmektedir. 3394 ve Varenne genotiplerinde kök yaş ağırlığı, 3394, Luce, Varenne ve Pegaso genotiplerinde ise gövde yaş ağırlığı Cd uygulamalarına bağlı olarak farklılık göstermemiştir. Diğer genotiplerde uygulanan Cd seviyesine bağlı olarak kök ve gövde yaş ağırlıklarında önemli farklılıklar olduğu belirlenmiştir. En yüksek kök yaş ağırlığı, uygulanan Cd seviyelerinin ortalaması olarak Isidora (5,75 g) ve Varenne (5,91 g) genotiplerinden elde edilirken, en düşük kök yaş ağırlığı ise 2,56 g ile 3223 genotipinden elde edilmiştir. Uygulama seviyelerinin ortalaması olarak gövde yaş ağırlıkları en yüksek Varenne (7,76 g) ve Luce (7,49 g) genotiplerinde, en düşük ise 3,22 g ile 3223 genotipinde tespit edilmiştir.

Her bir Cd seviyesinde tüm genotiplerin kök ve gövde yaş ağırlık ortalamaları incelendiğinde, Cd seviyesindeki artışla beraber kök ve gövde yaş ağırlıklarının farklılıklar gösterdiği görülmektedir. Kontrolde kök yaş ağırlığı 4,86 g iken en yüksek uygulama dozunda 3,22 g olarak belirlenmiştir. Gövde yaş ağırlığı ise kontrolde 7,19 g, 10 mg l⁻¹ Cd uygulamasında 3,83 g olarak bulunmuştur.

4.1.3. Cd ağır metalinin mısır genotiplerinin kök ve gövde kuru ağırlığı üzerine etkisi

Büyüme periyodu sonunda hasat edilen kök ve gövde kısımları, taze ağırlıklarının belirlenmesinden sonra etüvde 70 °C sabit ağırlığa ulaşmaya kadar kurutulmuş ve kuru ağırlıkları g saksı⁻¹ olarak belirlenmiştir. Sonuçların istatistiksel olarak değerlendirilmesinde kök kuru ağırlığı üzerine genotip, Cd seviyesi ile genotip*Cd seviyesi interaksiyonlarının etkisi çok önemli olarak belirlenmiştir. Gövde kuru ağırlığı üzerine genotip ve Cd seviyesinin etkisi çok önemli olarak bulunurken, genotip*Cd seviyesi interaksiyonlarının etkisi önemsiz olarak değerlendirilmiştir (Çizelge 4.1).



Şekil 4.3 Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) kuru ağırlığı üzerine etkisi

Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd' un mısır genotiplerinin kök ve gövde kuru ağırlığı üzerine etkisi incelendiğinde; kök kuru ağırlığının Luce ve Varenne genotiplerinde $0,5 \text{ mg l}^{-1}$ Cd seviyesinde kontrole göre arttığı, diğer Cd uygulamalarında azaldığı görülmüştür. Diğer genotiplerde kök kuru ağırlığı artan uygulama konsantrasyonuna bağlı olarak azalmıştır. Gövde kuru ağırlığı ise Cd seviyesindeki artışla tüm çeşitlerde azalma göstermiştir (Şekil 4.3. A ve B).

Uygulanan en yüksek Cd konsantrasyonunda (10 mg l^{-1} Cd); Vero, Luce ve Varenne çeşitlerinin kök kuru ağırlıkları kontrole göre yaklaşık sırasıyla %12, %14 ve %14 azalırken, 3223 ve Isidora çeşitlerinde %33, MF714 de %36, Kermess de %38 ve DK647 de %41 azalma olmuştur. Varenne ve Luce çeşitlerinde gövde kuru ağırlığı uygulanan en yüksek Cd konsantrasyonunda (10 mg l^{-1} Cd) kontrole göre sırasıyla yaklaşık %9 ve %13 azalırken, bu oran 3223 ve Kermess de %31 ve %32'ye ulaşmıştır.

Çizelge 4.4 Duncan çoklu karşılaştırma sonuçları incelendiğinde görüleceği gibi, Vero ve Varenne genotiplerinde Cd uygulamalarına bağlı olarak kök kuru ağırlığında önemli bir fark meydana gelmemiştir. Diğer genotiplerde uygulanan Cd seviyesine bağlı olarak kök kuru ağırlıkları farklılık göstermektedir. Uygulanan Cd seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek kök kuru ağırlığı Varenne (0,39 g) ve Isidora (0,39 g) genotiplerinde tespit edilmiştir. Bunu 0,35 g ile Luce ve 31P41 takip ederken, en düşük kök kuru ağırlığı ise Kermess (0,20 g) genotipinden elde edilmiştir. Ayrıca Vero, Luce ve Varenne de artan Cd seviyesine bağlı olarak gövde kuru ağırlıklardaki değişimin önemsiz olduğu, diğer genotiplerde ise önemli farklılıkların meydana geldiği görülmektedir. Uygulanan Cd seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek gövde kuru ağırlığı 0,73 g ile Luce genotipinde elde edilirken, bunu Varenne (0,70 g), MF714 (0,67 g) ve Pegaso (0,64 g) genotipleri takip etmektedir. En düşük gövde kuru ağırlığı ise Kermess (0,46 g) ve 3223 (0,48 g) genotiplerindedir. Diğer genotipler ise bu değerler arasında değişen kök ve gövde kuru ağırlık değerlerine sahiptirler.

Tüm mısır genotiplerinin Cd uygulama seviyelerindeki ortalama kök ve gövde kuru ağırlık değerleri incelendiğinde, Cd seviyesindeki artışa bağlı olarak kök ve gövde kuru ağırlıklarındaki farklılıkların önemli olduğu belirlenmiştir. Kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak kök kuru ağırlığı 0,36 g ve gövde kuru ağırlığı 0,64 g'dır. Buna karşın en yüksek uygulama dozu olan 10 mg l⁻¹ Cd'da kök kuru ağırlığı 0,27 g, gövde kuru ağırlığı ise 0,50 g olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde, Tiryakioğlu (2002) iki arpa çeşidiyle yaptığı denemede artan Cd dozlarına bağlı olarak bitki ağırlığının önemli düzeyde azaldığını belirlemiştir. Pandey and Sharma (2002), lahananın metabolizmasında ve gelişiminde ağır metallerin etkilerini inceledikleri bir çalışmada, kontrol bitkisinin gövde ve yaprak kuru ağırlığını 18,61 g, 50µM kadmiyumda ise 13,33 g olarak belirlemişlerdir. Chen *et al.* (2003) turp ve havuç bitkileriyle yaptıkları denemede artan Cd dozlarının kök ağırlığında önemli düşümlere neden olduğunu bildirmişlerdir. Öztürk vd (2003) farklı buğday çeşitlerinde (Balcalı-85 ve C-1252) kadmiyum stresinin kök ve yeşil kısımların kuru ağırlıklarında azalmalara neden olduğunu belirlemişlerdir. Bu azalmaların 100µM'lık Cd derişiminde Balcalı -85 ve C-1252'de sırasıyla % 20 ve % 40 civarında olduğunu saptamışlardır.

Çizelge 4.4. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövde kuru ağırlığı üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları

Genotip	Kök Kuru Ağırlığı, g saksı ⁻¹						Genotip	Gövde Kuru Ağırlığı, g saksı ⁻¹					
	Cd seviyeleri ,mg l ⁻¹					Ort		Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort
	0	0,5	1	5	10			0	0,5	1	5	10	
3394	0,36ab	0,35ab	0,39a	0,31bc	0,29c	0,34BC	3394	0,58a	0,53ab	0,56ab	0,54ab	0,46b	0,54EF
31P41	0,39a	0,38a	0,37ab	0,34ab	0,30b	0,35B	31P41	0,63a	0,60a	0,51b	0,49b	0,47b	0,54EF
31G98	0,33a	0,32a	0,31a	0,30a	0,25b	0,30D	31G98	0,64a	0,54ab	0,53ab	0,52ab	0,51b	0,55E
3223	0,30a	0,28ab	0,27b	0,26b	0,20c	0,26E	3223	0,57a	0,52b	0,48bc	0,44c	0,40d	0,48G
34N24	0,37a	0,35a	0,33b	0,30c	0,27d	0,32CD	34N24	0,55a	0,50b	0,51b	0,46b	0,41c	0,49FG
Kermess	0,26a	0,21b	0,20b	0,19b	0,16c	0,20F	Kermess	0,57a	0,51a	0,41b	0,41b	0,39b	0,46G
Vero^{ns}	0,34	0,33	0,33	0,30	0,30	0,32CD	Vero^{ns}	0,60	0,57	0,55	0,50	0,47	0,54EF
Luce	0,35bc	0,42a	0,37ab	0,31bc	0,30c	0,35B	Luce^{ns}	0,77	0,76	0,72	0,74	0,66	0,73A
Doge	0,37a	0,35ab	0,34bc	0,31cd	0,30d	0,33BC	Doge	0,60a	0,58a	0,57a	0,56a	0,47b	0,55E
Isidora	0,46a	0,44ab	0,41b	0,34c	0,31c	0,39A	Isidora	0,71a	0,67ab	0,61ab	0,54b	0,52b	0,61D
Varenne^{ns}	0,39	0,44	0,43	0,38	0,33	0,39A	Varenne^{ns}	0,72	0,71	0,71	0,71	0,65	0,70AB
Larigor	0,30a	0,28ab	0,27ab	0,25b	0,24b	0,27E	Larigor	0,59a	0,52b	0,49bc	0,48bc	0,44c	0,50EFG
MF714	0,44a	0,35b	0,33bc	0,32c	0,28d	0,34BC	MF714	0,80a	0,70b	0,68bc	0,60cd	0,58d	0,67BC
Pegaso	0,35a	0,32b	0,30c	0,29c	0,27d	0,31D	Pegaso	0,73a	0,65ab	0,64ab	0,60b	0,57b	0,64CD
DK647	0,36a	0,26bc	0,28b	0,25c	0,21d	0,27E	DK647	0,54a	0,52ab	0,51ab	0,49b	0,44c	0,50EFG
Ort	0,36A	0,34B	0,33B	0,30C	0,27D		Ort	0,64A	0,59B	0,56C	0,54C	0,50D	

Mısır genotiplerinin artan seviyelerde uygulanan Cd'a bağlı olarak kuru ağırlık miktarları ile hesaplanan tolerans indeks değerleri Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasına bağlı olarak mısır genotiplerinin tolerans indeksleri

Genotip	Kök Tolerans İndeksi				Gövde Tolerans indeksi			
	Cd seviyeleri ,mg l ⁻¹				Cd seviyeleri ,mg l ⁻¹			
	0,5	1	5	10	0,5	1	5	10
3394	97	107	86	80	91	96	92	79
31P41	97	96	87	77	96	81	79	76
31G98	96	92	91	75	84	83	82	80
3223	93	90	87	67	90	83	77	69
34N24	95	89	82	72	91	92	84	74
Kermess	80	77	73	62	89	72	72	68
Vero	98	98	89	88	96	92	84	79
Luce	119	106	88	86	99	94	96	87
Doge	94	91	83	80	97	95	93	79
Isidora	96	89	74	68	94	85	76	72
Varenne	113	112	98	86	100	99	100	91
Larigor	91	89	81	78	88	83	80	75
MF714	79	76	72	64	88	85	75	73
Pegaso	92	87	84	78	89	87	82	79
DK647	72	78	69	59	96	94	91	82

Tolerans indeks değerleri incelendiğinde, genotiplerin Cd uygulamalarından değişik şekillerde etkilendiği tespit edilmiştir. 0,5 mg l⁻¹ Cd uygulamasında Luce ve Varenne genotiplerinde kök kuru ağırlıkları kontrolden yüksektir. 0,5 mg l⁻¹ Cd uygulamasında Vero çeşitinde kök tolerans indeks değeri %98, 3394 ve 31P41 çeşitlerinde ise %97 olmasına karşın, MF714'de %79, DK647'de %72 olarak belirlenmiştir. Kök tolerans indeksi 1 mg l⁻¹ Cd uygulama seviyesinde Luce, 3394 ve Varenne genotiplerinde sırasıyla %106, %107 ve %112 olarak belirlenirken, Vero genotipinde %98, Kermess'de %77, MF714'de ise %76 olmuştur. 5 mg l⁻¹ Cd uygulamasında kök tolerans indeks değerleri en yüksek Varenne (%98), en düşük ise DK647 (%69) genotipinde bulunmuştur. En yüksek uygulama dozu olan 10 mg l⁻¹ Cd seviyesinde kök tolerans indeks değerleri Vero, Luce ve Varenne'de sırasıyla %88, %86 ve %86 olurken, bu değer DK647'de %59, Kermess de %62 ve MF714 genotipinde %64 olmuştur.

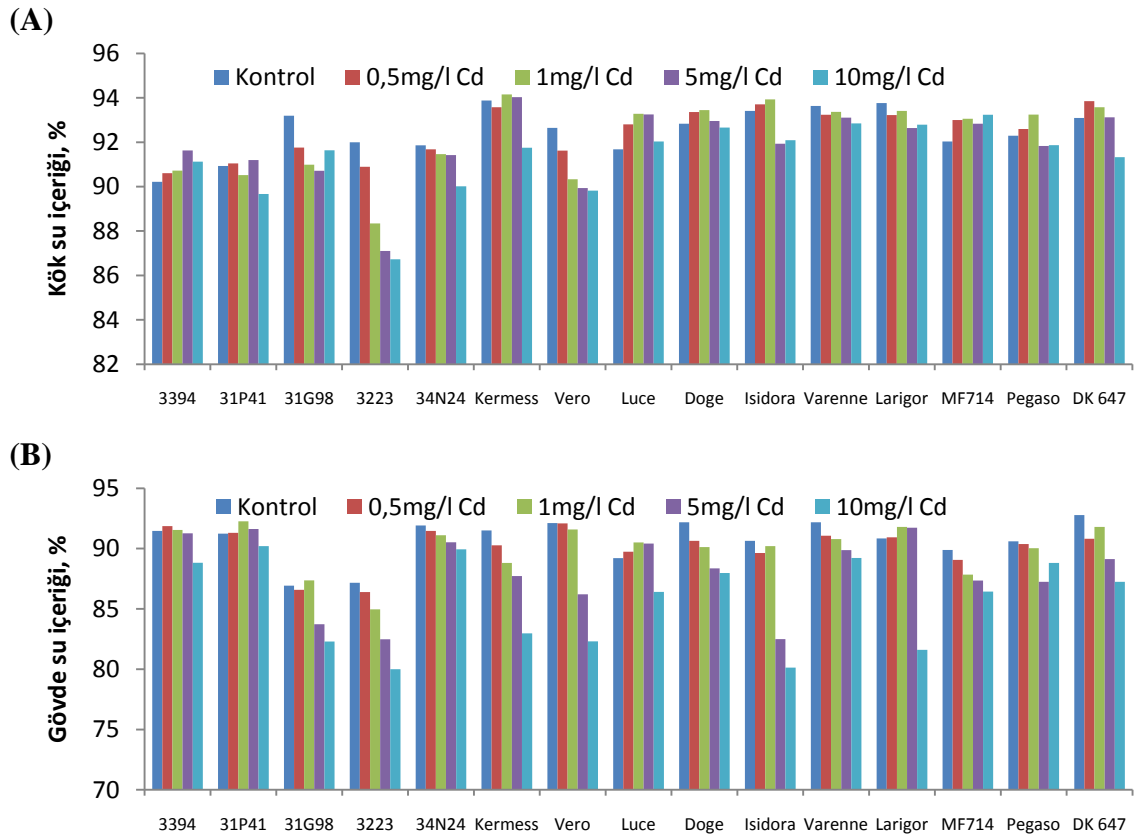
Gövde tolerans indeks değerleri incelendiğinde görüleceği gibi, 0,5 mg l⁻¹ Cd uygulamasında Luce ve Varenne genotiplerinde tolerans indeks değeri %99, %100 iken 31G98'de %84'e gerilemiştir. Gövde tolerans indeksi 1 mg l⁻¹ Cd uygulama seviyesinde 3394 ve Varenne genotiplerinde sırasıyla %96 ve %99 olarak belirlenirken, Kermess'de %72, 31P41 genotipinde ise %81 olmuştur. 5 mg l⁻¹ Cd uygulamasında en yüksek Varenne (%100) ve Luce (%96) genotiplerinde, en düşük ise Kermess (%72) genotipinde bulunmuştur. En yüksek uygulama dozu olan 10 mg l⁻¹ Cd seviyesinde gövde tolerans indeks değerleri Luce ve Varenne'de sırasıyla %87 ve %91 olurken, bu değer 3223'de %69 ve Kermess'de %68 olarak tespit edilmiştir.

Genotiplerin tolerans düzeylerini mukayese edebilmek için her bir uygulama seviyesindeki tolerans indeks değerleri puanlandırılmıştır. Uygulama seviyesindeki en yüksek tolerans indeks değerine 15 en düşük değere ise 1 puan verilmiştir. Diğer genotiplerde tolerans indeks değerlerindeki azalmaya göre 2-14 arasında puanlandırılmıştır. Genotiplerin her uygulamadaki puanları toplanmış, toplam puanlarına bağlı olarak tolerans derecelerine göre sıralandırılmışlardır. Kök tolerans indeks değerlerine bağlı olarak toplam puanlarına göre sıralama şu şekildedir; Varenne (58)> Vero ve Luce (53)> 3394 (45)> 31P41 (42)> 31G98 (41)> Doge (35)> 3223 (28)> 34N24 (27)> Pegaso (26)> Larigor ve Isidora (24)> Kermess (10)> MF714 (8)> DK647 (6). Gövde tolerans indeks değerleri dikkate alındığında ise; Varenne (60)> Luce (54)> Doge (49)> DK647 (46)> 3394 (45)> Vero (39)> 34N24 (30)> Pegaso (29)> 31P41 (26)> 31G98 (25)> Isidora (22)> Larigor (18)> 3223 (16)> MF714 (14)> Kermess (7). Bu araştırma şartlarında kuru ağırlıktaki değişime bağlı olarak Varenne genotipinin Cd toksisitesinden en az zarar gören genotip olduğu tespit edilmiştir.

4.1.4. Cd ağır metalinin mısır genotiplerinin kök ve gövde su içeriği üzerine etkisi

Cd stresi altında gelişen mısır genotiplerinin kök ve gövde su içeriklerine ait sonuçların istatistiksel olarak değerlendirilmesinde genotip, Cd seviyesi ile genotip*Cd seviyesi interaksiyonlarının etkisi çok önemli olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.1). Tüm çeşitlerde kök su içeriği uygulanan Cd konsantrasyonlarında %89-93, gövde su içeriği ise %84-95

arasındadır. Cd uygulamalarının bitki köklerinden suyun alınımını çok fazla engellemediği, ancak var olan suyun içindeki çözülmüş metal konsantrasyonlarına bağlı olarak gerek kök gerekse gövde büyümesinde kullanımının sınırlandığı görülmüştür. Kök su içeriği, yüksek Cd konsantrasyonunda ($10 \text{ mg l}^{-1} \text{ Cd}$) 3223 ve Vero çeşitlerinde kontrole göre sırası ile yaklaşık %6 ve %3 oranında azalırken, 3394 ve MF714 genotiplerinde %1 artış göstermiştir. Isidora, Vero ve Larigor genotiplerinin gövde su içeriğinde %12, %11 ve %10 azalma tesbit edilmiştir. 31P41’de gövde su içeriği %1, 34N24 ve Pegaso genotiplerinde ise %2 azalmıştır (Şekil 4.4. A ve B).



Şekil 4.4. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) su içeriği üzerine etkisi

Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd’un mısır genotiplerinin kök ve gövde su içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları Çizelge 4.6’da verilmiştir. 3394, 31P41, 34N24, Doge, Varenne, Larigor ve Pegaso genotiplerinde kök su içeriği, 3394, 31P41, Luce, Varenne, MF714, Pegaso ve DK647 genotiplerinde ise

gövde su içeriği Cd uygulamalarına bağlı olarak önemli farklılıklar göstermemektedir. En yüksek kök su içeriği, uygulanan Cd seviyelerinin ortalaması olarak Kermess genotipinden (%93,48) elde edilirken, en düşük kök su içeriği ise %89,01 ile 3223 genotipinden elde edilmiştir. Uygulama seviyelerinin ortalaması olarak gövde su içeriği en yüksek 31P41 (%91,33) genotipinde, en düşük ise 3223 (%84,20) genotipinde tespit edilmiştir.

Çizelge 4.6. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövde su içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları

Genotip	Kök Su İçeriği, %					Ort	Genotip	Gövde Su İçeriği, %					Ort
	Cd seviyeleri, mg l ⁻¹							Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					
	0	0,5	1	5	10			0	0,5	1	5	10	
3394 ^{ns}	90	91	91	92	91	91DE	3394 ^{ns}	91	92	92	91	89	91AB
31P41 ^{ns}	91	91	91	91	90	91E	31P41 ^{ns}	91	91	92	92	90	91A
31G98	93a	92ab	91b	91b	92ab	92CD	31G98	87a	87a	87a	84ab	82b	85GH
3223	92a	91ab	88bc	87c	87c	89F	3223	87a	86a	85ab	82bc	80c	84H
34N24 ^{ns}	92	92	91	91	90	91DE	34N24	92a	91ab	91ab	91bc	90c	91AB
Kermess	94a	94a	94a	94a	92b	93A	Kermess	92a	90b	89c	88d	83e	88EF
Vero	93a	92ab	90b	90b	90b	91DE	Vero	92a	92a	92a	86b	82c	89DEF
Luce	92b	93ab	93a	93a	92ab	93AB	Luce ^{ns}	89	90	91	90	86	89CDEF
Doge ^{ns}	93	93	93	93	93	93AB	Doge	92a	91a	90ab	88b	88b	90ABCDE
Isidora	93a	94a	94a	92b	92b	93AB	Isidora	91a	90a	90a	82b	80b	87G
Varenne ^{ns}	94	93	93	93	93	93AB	Varenne ^{ns}	92	91	91	90	89	91ABC
Larigor ^{ns}	94	93	93	93	93	93AB	Larigor	91a	91a	92a	92a	82b	89BCDEF
MF714	92b	93a	93a	93ab	93a	93AB	MF714 ^{ns}	90	89	88	87	86	88F
Pegaso ^{ns}	92	93	93	92	92	92BC	Pegaso ^{ns}	91	90	90	87	89	89BCDEF
DK647	93a	94a	94a	93a	91b	93AB	DK647 ^{ns}	93	91	92	89	87	90ABCD
Ort	93A	92A	92AB	92B	91C		Ort	91A	90A	90A	88B	86C	

Her bir Cd seviyesinde tüm genotiplerin kök ve gövde su içeriği ortalamaları incelendiğinde, Cd seviyesindeki artışla beraber kök ve gövde su içeriklerinin farklılıklar gösterdiği görülmektedir. Kök su içeriği 1 mg l⁻¹ Cd uygulamasından sonra farklılık göstermiştir. Gövde su içeriği ise 5 mg l⁻¹ Cd ve 10 mg l⁻¹ Cd uygulamalarında diğer Cd seviyelerine göre farklı bulunmuştur.

4.1.5. Cd ağır metalinin mısır çeşitlerinin klorofil içeriği (SPAD değeri) üzerine etkisi

Günümüzde yaygın olarak, bitkilerdeki klorofil içerikleri daha pratik ve hızlı bir şekilde ölçüm yapılabilen klorofil-metre (Spad-metre) cihazı ile spad değerleri ölçülerek tespit edilmektedir. Erdem (2008)'in bildirdiğine göre, Spad değerinin bitkideki klorofil konsantrasyonu ile ilişkili olduğunu Schaper and Chacko 1997; Dasgan 1999; Eker 2001 gibi birçok araştırmacı çalışmalarında tespit etmişlerdir.

Cd ağır metalinin mısır genotiplerinin klorofil içerikleri üzerine etkisi istatistiksel olarak değerlendirildiğinde genotip, Cd seviyesi ile genotip*Cd seviyesi interaksiyonlarının etkisi çok önemli olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.7). Şekil 4.5. incelendiğinde görüleceği gibi, konsantrasyon artışına bağlı olarak tüm çeşitlerin klorofil içerikleri azalmıştır.

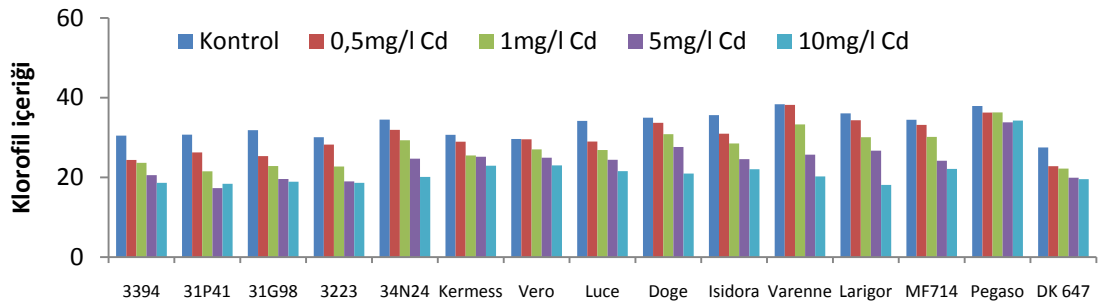
Çizelge 4.7. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin klorofil içeriğine ait varyans analizi ve Duncan test sonuçları

Varyans Kaynağı	S. D.	Klorofil	
		K.O.	F
Genotip	14	194,89	162,79**
Cd seviyesi	4	1013,07	846,21**
Genotip x Cd Seviyesi	56	12,87	10,75**
Hata	150	1,20	
Genel	225		

Genotip	Klorofil içeriği, SPAD					Ort
	Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					
	0	0,5	1	5	10	
3394	30,49a	24,38b	23,65bc	20,54cd	18,63d	23,54GH
31P41	30,71a	26,23b	21,53c	17,30c	18,38c	22,83HJ
31G98	31,82a	25,33b	22,85c	19,60d	18,88d	23,70G
3223	30,08a	28,23a	22,73ab	19,00b	18,60b	23,73G
34N24	34,50a	31,90a	29,30a	24,70b	20,10b	28,10E
Kermess	30,68a	28,93a	25,48b	25,15b	22,93b	26,63F
Vero	29,62a	29,56a	27,01b	24,93c	23,00d	26,82F
Luce	34,15a	28,96b	26,84c	24,39d	21,54e	27,18F
Doge	34,95a	33,68a	30,84b	27,61c	20,94d	29,60C
Isidora	35,60a	30,93b	28,49c	24,58d	22,05e	28,33DE
Varenne	38,35a	38,17a	33,29b	25,70c	20,21d	31,15B
Larigor	36,05a	34,30b	30,05c	26,70d	18,08e	29,04CD
MF714	34,43a	33,15a	30,13b	24,18c	22,10c	28,80CDE
Pegaso	37,89a	36,23ab	36,30ab	33,80b	34,25b	35,69A
DK647	27,48a	22,80b	22,21b	19,92c	19,56c	22,39J
Ort	33,12A	30,19B	27,38C	23,87D	21,28E	

** : p<0,01 düzeyinde çok önemli, * : p<0,05 düzeyinde önemli, ns: Önemsiz

Uygulanan en yüksek Cd konsantrasyonunda ($10 \text{ mg l}^{-1} \text{ Cd}$); Pegaso, Vero ve Kermess çeşitlerinin SPAD değerleri kontrole göre yaklaşık olarak sırasıyla %10, %22 ve %25 azalırken, Varenne de %47 ve Larigor da %50 azalma olmuştur (Şekil 4.5). Cd ağır metalinden en çok etkilenen bitki işlevlerinden biride fotosentezdir. Cd'un pigment sentezlenmesini engellemesi fotosentez hızını azaltmaktadır (Ayhan 2006).



Şekil 4.5. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı mısır genotiplerinde klorofil içeriği (SPAD değeri) üzerine etkisi

Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin klorofil içeriğine ait Duncan test sonuçları Çizelge 4.7'de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde görüleceği gibi, tüm genotiplerde uygulanan Cd seviyesine bağlı olarak klorofil içeriği farklılık göstermektedir. Uygulanan Cd seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek klorofil içeriği Pegaso (35,69) ve Varenne (31,15) genotiplerinde, en düşük klorofil içeriği ise DK647 (22,39) genotipinde tespit edilmiştir. Diğer genotipler ise bu değerler arasında değişen klorofil içeriğine sahiptirler.

Cd uygulama seviyelerindeki ortalama klorofil içerikleri incelendiğinde, Cd seviyesindeki artışa bağlı olarak klorofil içeriğindeki farklılıkların önemli olduğu belirlenmiştir. Kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak klorofil miktarı 33,12 iken en yüksek uygulama dozu olan $10 \text{ mg l}^{-1} \text{ Cd}$ 'da 21,28 olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde, Suzuki *et al.* (2001) yaptıkları çalışmada Cd uygulamalarının *Brassica napus* bitkisinin total klorofil içeriğini azalttığını bildirmişlerdir.

4.1.6. Cd ağır metalinin mısır genotiplerinin besin elementi içeriği üzerine etkisi

Cd bitki gelişimi için gerekli olan birçok elementin alımını ve/veya kullanımını olumsuz yönde etkilemektedir (Sharma and Dubey 2005). Bu bağlamda, su kültüründe artan seviyelerde uygulanan Cd'un farklı mısır genotiplerinin kök ve gövde mineral beslenmesi üzerine olan etkisini belirlemek amacıyla, hasat edilen bitkiler kuru ağırlıklarının belirlenmesinden sonra uygun yöntemlerle analize tabi tutulmuşlardır. Analiz sonuçlarına göre artan seviyelerde uygulanan Cd ağır metalinin bitki besin içeriği üzerine genotiplerde farklı etkiler gösterdiği tespit edilmiştir.

4.1.6.1. Cd ağır metalinin mısır genotiplerinin makro besin elementi (N, P, K, Ca ve Mg) içeriği üzerine etkisi

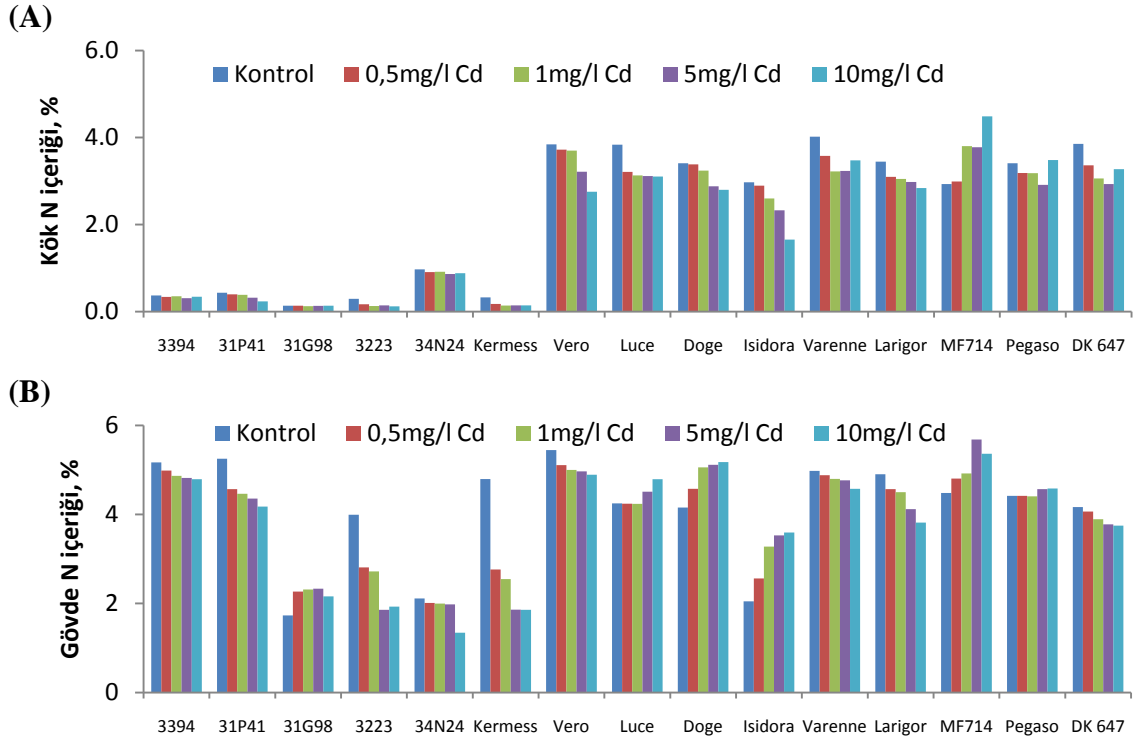
Çizelge 4.8'de varyans analiz sonuçları incelendiğinde görüleceği gibi, Cd ağır metalinin mısır genotiplerinin kök ve gövde aksamalarının N, P, K, Ca ve Mg içerikleri istatistiksel olarak değerlendirildiğinde genotip, Cd seviyesi ile genotip*Cd seviyesi etkilerinin etkisi çok önemli olarak tespit edilmiştir ($p < 0,01$).

Çizelge 4.8. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır bitkisinin kök ve gövde N, P, K, Ca ve Mg içeriğine ait varyans analiz sonuçları

Varyans Kaynağı	S. D.	N		P		K		Ca		Mg		
		%		%		%		%		%		
		K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	
Kök	Genotip	14	33,37	1582,49**	17,95	328,42**	18,50	300,52**	69,92	281,56**	0,21	149,53**
	Cd seviyesi	4	0,76	36,24**	10,76	196,80**	16,68	270,97**	38,36	154,45**	0,28	197,12**
	Genotip x Cd Seviyesi	56	0,26	12,08**	0,68	12,35**	1,10	17,92**	2,24	9,02**	0,01	7,42**
	Hata	150	0,02		0,06		0,06		0,25		0,01	
	Genel	225										
Varyans Kaynağı	S. D.	N		P		K		Ca		Mg		
		%		%		%		%		%		
		K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	
Gövde	Genotip	14	18,61	332,34**	5,98	175,97**	63,47	146,76**	6,80	110,31**	0,52	154,79**
	Cd seviyesi	4	0,70	12,39**	2,87	84,26**	37,56	86,85**	4,11	66,73**	0,16	46,71**
	Genotip x Cd Seviyesi	56	0,76	13,52**	0,10	2,93**	2,98	6,88**	0,25	4,03**	0,03	8,27**
	Hata	150	0,06		0,03		0,43		0,06		0,01	
	Genel	225										

** : $p < 0,01$ düzeyinde çok önemli, * : $p < 0,05$ düzeyinde önemli, ns: Önemsiz

Şekil 4.6’da mısır genotiplerine artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd’un kök (A) ve gövde (B) N içeriğine etkisi gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, artan Cd konsantrasyonları bitki N içeriğini önemli düzeyde etkilemiştir. Tüm çeşitlerde gövdedeki N birikimi kökten fazladır.



Şekil 4.6. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) N içeriği üzerine etkisi

Kök azot içeriği genel itibariyle tüm genotiplerde uygulama dozundaki artışa bağlı olarak azalma göstermiştir. Ancak MF714 genotipinde bu durumun tersine uygulama dozundaki artışla kök N içeriği de artmıştır. Pegaso genotipinde ise Cd seviyesindeki artışa bağlı olarak 5 mg l⁻¹ Cd uygulamasına kadar azalmış, en yüksek uygulama seviyesinde kontrole göre artmıştır. Gövdedeki N içeriği çeşitler tek tek değerlendirildiğinde, 31G98, Doge, Isidora ve MF714’de N içeriğinin Cd uygulamasına bağlı olarak artış gösterdiği gözlenmiştir. Diğer çeşitlerde ise uygulanan Cd seviyesindeki artışa bağlı olarak bitkilerin gövde N içeriklerinde azalma tespit edilmiştir. Kadmiyum stresi koşullarında azot metabolizmasının enzimleri olan nitrat

redüktaz ve nitrit redüktazın aktiviteleri azalmaktadır. Bu durum bitkilerin nitrat asimilasyonunu azaltmaktadır (Gouia *et al.* 2000).

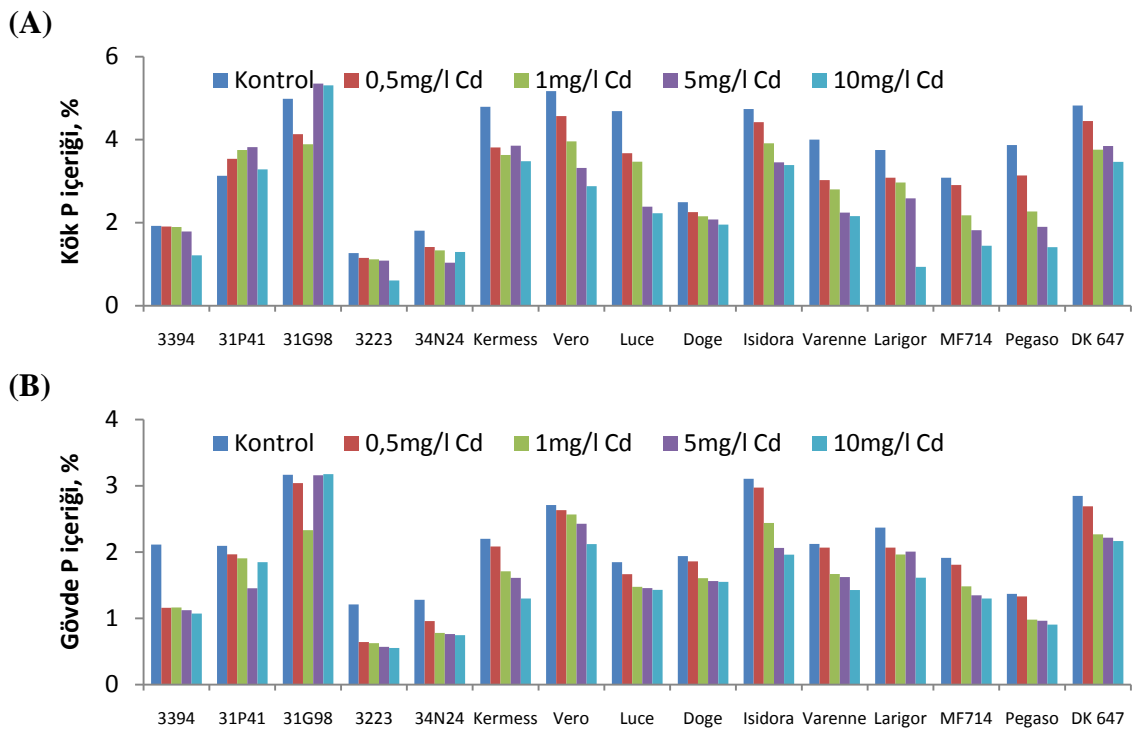
Çizelge 4.9. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövde N içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları

Genotip	Kök N İçeriği, %					Ort	Genotip	Gövde N İçeriği, %					Ort
	Cd seviyeleri, mg l ⁻¹							Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					
	0	0,5	1	5	10			0	0,5	1	5	10	
3394	0,37a	0,34ab	0,35a	0,31b	0,34ab	0,34H	3394	5,17a	4,99ab	4,87b	4,82b	4,79b	4,93A B
31P41	0,43a	0,40a	0,39a	0,32b	0,24c	0,35H	31P41	5,25a	4,57b	4,46b	4,36b	4,18b	4,56C
31G98 ^{ns}	0,14	0,14	0,13	0,13	0,14	0,13J	31G98	1,73c	2,27ab	2,31ab	2,33a	2,16b	2,16G
3223	0,29a	0,17b	0,13cd	0,14c	0,12d	0,17J	3223	3,99a	2,81b	2,72b	1,86c	1,93c	2,66F
34N24 ^{ns}	0,97	0,91	0,92	0,86	0,88	0,91G	34N24	2,11a	2,01a	2,00a	1,98a	1,34b	1,89H
Kermess	0,33a	0,18b	0,14c	0,14c	0,14c	0,19J	Kermess	4,79a	2,76b	2,55b	1,86c	1,86c	2,76F
Vero	3,84a	3,72b	3,70b	3,21c	2,75d	3,45B	Vero	5,45a	5,11ab	5,00b	4,97b	4,89b	5,08A
Luce	3,84a	3,21b	3,13b	3,12b	3,10b	3,28C	Luce ^{ns}	4,25	4,24	4,24	4,51	4,79	4,40C
Doge	3,41a	3,38a	3,24a	2,88b	2,80b	3,14DE	Doge	4,15a	4,58a	5,06a	5,11ab	5,18b	4,82B
Isidora	2,97a	2,89ab	2,60bc	2,33c	1,66d	2,49F	Isidora	2,05c	2,56b	3,28a	3,53a	3,59a	3,00E
Varenne	4,02a	3,58ab	3,22b	3,23b	3,48b	3,51AB	Varenne ^{ns}	4,98	4,88	4,80	4,77	4,58	4,80B
Larigor ^{ns}	3,45	3,10	3,05	2,98	2,84	3,08E	Larigor	4,90a	4,57ab	4,50ab	4,12bc	3,82c	4,38C
MF714	2,93c	2,99c	3,80b	3,78b	4,49a	3,60A	MF714	4,48b	4,81b	4,92b	5,68a	5,36a	5,05A
Pegaso	3,41a	3,19b	3,18b	2,91c	3,48a	3,23CD	Pegaso ^{ns}	4,42	4,42	4,41	4,57	4,58	4,48C
DK647	3,85a	3,36b	3,06bc	2,93c	3,27bc	3,30C	DK647 ^{ns}	4,17	4,06	3,89	3,78	3,75	3,93D
Ort	2,28A	2,10B	2,07B	1,95C	1,98C		Ort	4,13A	3,91B	3,93B	3,88BC	3,79C	

Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövde N içeriğine ait Duncan test sonuçları Çizelge 4.9'da verilmiştir. Kök N içeriği 31G98, 34N24 ve Larigor genotiplerinde Cd uygulamasından etkilenmemiştir. Diğer çeşitlerde Cd uygulamasına bağlı olarak kök N içeriğinde önemli farklılıklar mevcuttur. Uygulanan Cd seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek kök N içeriği MF714 (%3,60) genotipinde, en düşük kök N içeriği ise Kermess (%0,19), 3223 (%0,17) ve 31G98 (%0,13) genotiplerinde tespit edilmiştir. Gövde N içeriği ise Luce, Varenne, Pegaso ve DK647 genotiplerinde uygulanan Cd seviyelerine bağlı olarak farklılık göstermemiştir. Cd uygulama seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek gövde N içeriği MF714 (%5,05) ve Vero (%5,08) çeşitlerinde, en düşük ise 34N24 (%1,89) çeşitinde belirlenmiştir. Diğer genotipler ise bu değerler arasında değişen kök ve gövde N içeriğine sahiptirler.

Cd uygulama seviyelerindeki ortalama kök ve gövde N içerikleri incelendiğinde, Cd seviyesindeki artışa bağlı olarak farklılıkların tüm çeşitlerde önemli olduğu belirlenmiştir. Kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak N içeriği kökte %2,28, gövdede %4,13 iken en yüksek uygulama dozu olan 10 mg l⁻¹ Cd'da kökte %1,98 ve gövdede %3,29 olarak belirlenmiştir.

Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök (A) ve gövde (B) P içeriğine etkisi Şekil 4.7'de verilmiştir. Görüldüğü gibi, artan Cd konsantrasyonları bitki P içeriğini önemli düzeyde etkilemiştir. Tüm genotiplerde kökteki P birikimi gövdedeki birikimden fazladır.



Şekil 4.7. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) P içeriği üzerine etkisi

Genel olarak kök ve gövde P içeriği tüm genotiplerde uygulanan Cd seviyesindeki artışa bağlı olarak azalma göstermiştir. Ancak 31P41 genotipinde kök P içeriğinin Cd uygulaması ile kontrole göre arttığı tespit edilmiştir. 31G98 genotipinde kökteki ve

gövdedeki P miktarı 1 mg l⁻¹ Cd uygulamasına kadar azalmış, 5 ve 10 mg l⁻¹ Cd seviyelerinde ise kontrole göre artmıştır.

Çizelge 4.10 da artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövde P içeriğine ait Duncan test sonuçları verilmiştir. Kök ve gövde P içeriği Doge genotipinde Cd uygulamasından etkilenmemiştir. Diğer çeşitlerde Cd uygulamasına bağlı olarak kök ve gövde P içeriğinde önemli farklılıklar tespit edilmiştir.

Çizelge 4.10. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövde P içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları

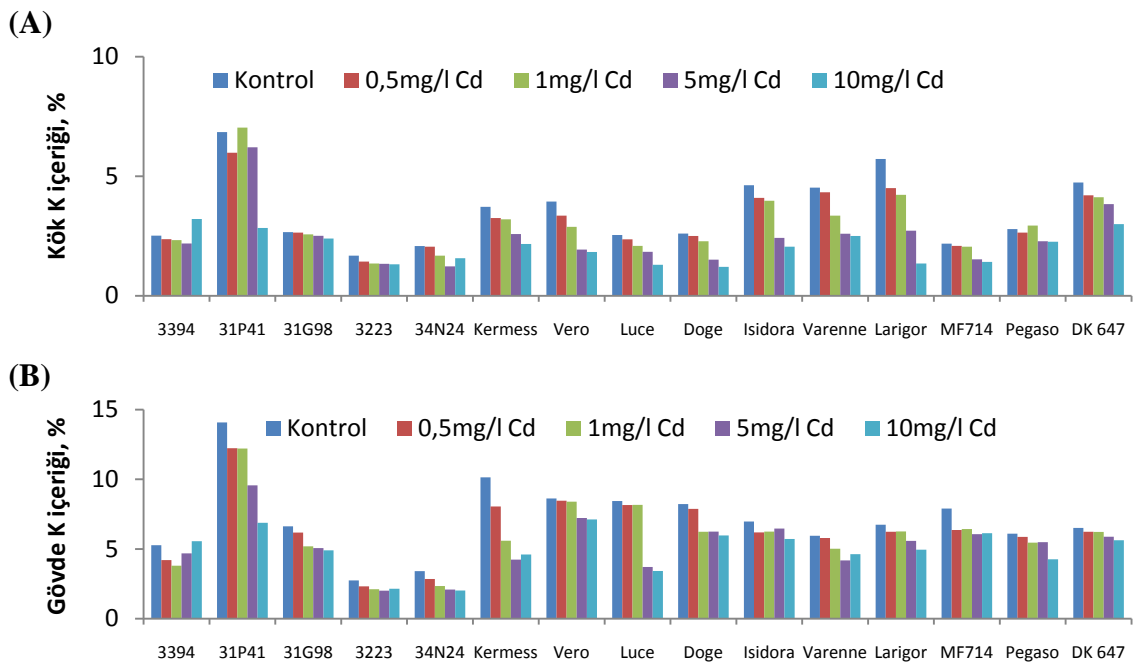
Genotip	Kök P İçeriği, %						Genotip	Gövde P İçeriği, %					
	Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort		Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort
	0	0,5	1	5	10			0	0,5	1	5	10	
3394	1,92a	1,91a	1,90a	1,79a	1,21b	1,75H	3394	2,11a	1,16b	1,16b	1,12b	1,07b	1,33G
31P41	3,13b	3,54ab	3,75a	3,82a	3,29ab	3,51C	31P41	2,09a	1,97ab	1,91ab	1,45b	1,85ab	1,85D
31G98	4,99b	4,13c	3,89d	5,35a	5,31a	4,73A	31G98	3,17a	3,04a	2,33b	3,16a	3,18a	2,97A
3223	1,27a	1,15b	1,12b	1,09b	0,61c	1,05K	3223	1,21a	0,64b	0,63bc	0,57bc	0,55c	0,72K
34N24	1,81a	1,41b	1,33b	1,04c	1,30bc	1,38J	34N24	1,28a	0,96ab	0,78b	0,76b	0,75b	0,91J
Kermess	4,79a	3,81b	3,63bc	3,86b	3,48c	3,91B	Kermess	2,20a	2,08b	1,71c	1,61c	1,30d	1,78DE
Vero	5,17a	4,57b	3,96c	3,32d	2,88e	3,98B	Vero	2,71a	2,63a	2,57a	2,43ab	2,12b	2,49B
Luce	4,69a	3,67b	3,47b	2,39c	2,23c	3,29D	Luce	1,85a	1,67ab	1,48bc	1,46c	1,43c	1,58F
Doge^{ms}	2,49	2,26	2,16	2,08	1,96	2,19G	Doge^{ms}	1,94	1,86	1,61	1,56	1,55	1,70EF
Isidora	4,74a	4,42a	3,91b	3,45c	3,39c	3,98B	Isidora	3,11a	2,97a	2,44b	2,06bc	1,96c	2,51B
Varenne	4,00a	3,03ab	2,80b	2,24b	2,16b	2,85E	Varenne	2,12a	2,07ab	1,67abc	1,62bc	1,43c	1,78DE
Larigor	3,75a	3,08b	2,97b	2,59b	0,94c	2,67F	Larigor	2,37a	2,07b	1,96b	2,01b	1,61c	2,00C
MF714	3,08a	2,91b	2,18c	1,82d	1,45e	2,29G	MF714	1,91a	1,81ab	1,48bc	1,35c	1,30c	1,57F
Pegaso	3,87a	3,14b	2,27c	1,90d	1,41e	2,52F	Pegaso	1,37a	1,33a	0,98b	0,96b	0,91b	1,11H
DK647	4,82a	4,45b	3,76c	3,85c	3,47d	4,07B	DK647	2,85a	2,69ab	2,27bc	2,22bc	2,17c	2,44B
Ort	3,64A	3,17B	2,87C	2,71D	2,34E		Ort	2,15A	1,93B	1,66C	1,62C	1,54D	

Uygulanan Cd seviyelerinin ortalaması dikkate alındığında en yüksek P içeriği 31G98 (kökte %4,73-gövdede %2,97) genotipinde, en düşük ise 3223 (kökte %1,05-gövdede %0,72) genotipinde tespit edilmiştir. Diğer tüm genotipler ise bu değerler arasında değişen kök ve gövde P içeriğine sahiptirler.

Her bir Cd uygulama seviyesindeki ortalama kök ve gövde P içerikleri incelendiğinde, Cd seviyesindeki artışa bağlı olarak farklılıkların önemli olduğu belirlenmiştir.

Kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak P içeriği kökte %3,64, gövdede ise %2,15'dir. En yüksek uygulama dozu olan 10 mg l⁻¹ Cd'da ise kökte %2,34 ve gövdede %1,54 P tespit edilmiştir.

Şekil 4.8'de mısır çeşitlerine artan seviyelerde uygulanan Cd'un kök (A) ve gövde (B) K içeriğine etkisi görülmektedir. Tüm çeşitlerde gövdedeki K birikimi kökten fazladır. Genel olarak kök ve gövde K içeriği tüm genotiplerde Cd seviyesindeki artışa bağlı olarak kontrole göre azalma göstermiştir. Ancak 3394 genotipinde kök ve gövde K içeriği Cd seviyesindeki artışa bağlı olarak azalırken en yüksek uygulama seviyesinde kontrole göre artmıştır.



Şekil 4.8. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) K içeriği üzerine etkisi

Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövde K içeriğine ait Duncan test sonuçları Çizelge 4.11 de verilmiştir. Tüm çeşitlerin kök K içeriği uygulanan Cd seviyelerine bağlı olarak farklılık gösterirken, gövde K içeriği 3223, Larigor ve DK647 genotiplerinde Cd uygulamasından etkilenmemiştir. Yapılan benzer bir çalışmada, badem (*Prunus dulcis*) bitkisine su kültüründe farklı seviyelerde

Cd uygulanmış ve kök K ve Mg içeriğinin sadece en yüksek uygulama seviyesinde, yapraklarda ise tüm seviyelerde azaldığını belirlemişlerdir (Nada *et al.* (2007).

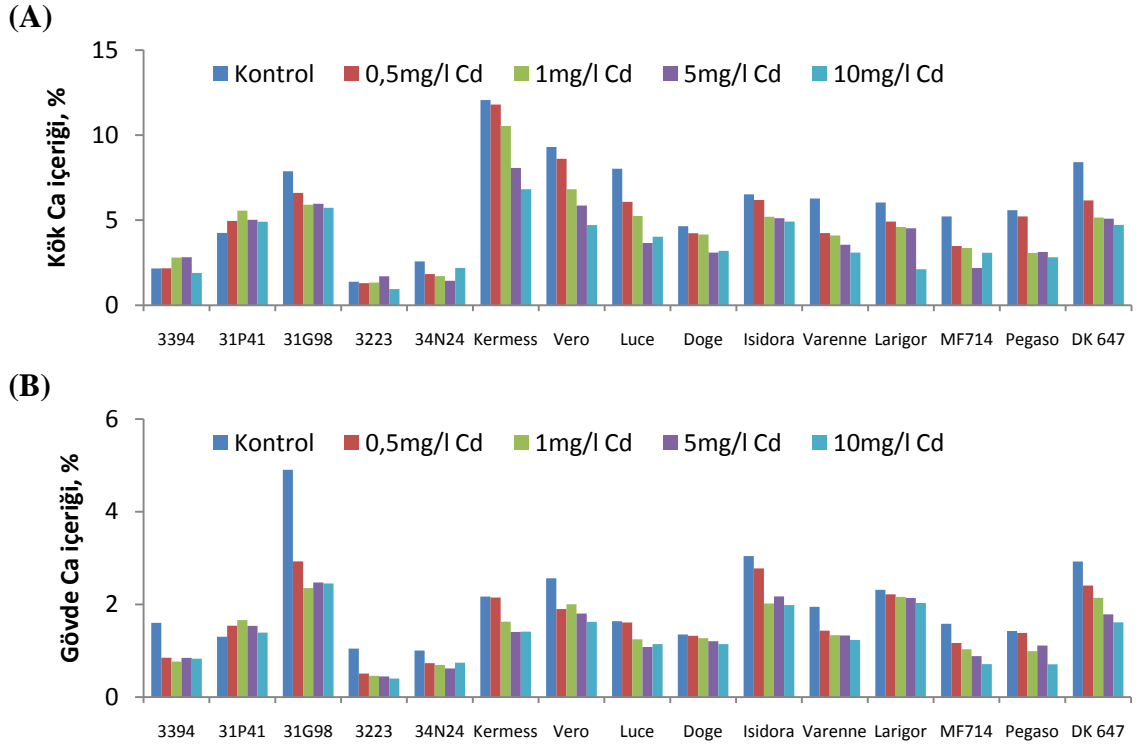
Çizelge 4.11. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövde K içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları

Genotip	Kök K İçeriği, %						Genotip	Gövde K İçeriği, %					
	Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort		Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort
	0	0,5	1	5	10			0	0,5	1	5	10	
3394	2,51b	2,37b	2,33b	2,19b	3,21a	2,52G	3394	5,27ab	4,20cd	3,81d	4,68bc	5,56a	4,71H
31P41	6,85a	5,98b	7,03a	6,21b	2,83c	5,78A	31P41	14,07a	12,23b	12,21b	9,56c	6,88d	10,99A
31G98	2,66a	2,64a	2,57ab	2,51ab	2,40b	2,55G	31G98	6,63a	6,18ab	5,19bc	5,06bc	4,91c	5,59FG
3223	1,68a	1,43b	1,35b	1,33b	1,31b	1,42K	3223^{ms}	2,74	2,32	2,12	2,01	2,15	2,27J
34N24	2,08a	2,05a	1,68ab	1,23b	1,57b	1,72J	34N24	3,41a	2,85ab	2,34bc	2,09c	2,03c	2,55J
Kermess	3,72a	3,25b	3,20b	2,58c	2,16d	2,98E	Kermess	10,14a	8,05b	5,59c	4,24d	4,60d	6,53CD
Vero	3,94a	3,35b	2,88c	1,93d	1,83d	2,79F	Vero	8,62a	8,47a	8,40a	7,23b	7,12b	7,97B
Luce	2,54a	2,36a	2,08b	1,84b	1,30c	2,03H	Luce	8,44a	8,15a	8,16a	3,71b	3,42b	6,38DE
Doge	2,60a	2,50a	2,28a	1,51b	1,21b	2,02H	Doge	8,22a	7,88a	6,24b	6,25b	5,97b	6,91C
Isidora	4,62a	4,10a	3,97a	2,42b	2,05b	3,43D	Isidora	6,97a	6,19ab	6,25ab	6,46ab	5,72b	6,32DE
Varenne	4,52a	4,33a	3,35b	2,59bc	2,50c	3,46D	Varenne	5,95a	5,79a	5,01ab	4,18b	4,63b	5,11GH
Larigor	5,72a	4,50b	4,22b	2,72c	1,35d	3,70C	Larigor^{ms}	6,74	6,23	6,26	5,58	4,95	5,95EF
MF714	2,18a	2,08a	2,05a	1,52b	1,42b	1,85HJ	MF714	7,90a	6,36b	6,43b	6,07b	6,13b	6,58CD
Pegaso	2,79a	2,64a	2,94a	2,28b	2,26b	2,58G	Pegaso	6,10a	5,87a	5,45a	5,49a	4,26b	5,43G
DK647	4,74a	4,20b	4,12b	3,83b	3,00c	3,98B	DK647^{ms}	6,52	6,24	6,22	5,88	5,63	6,10DE
Ort	3,54A	3,19B	3,07C	2,45D	2,03E		Ort	7,18A	6,47B	5,98C	5,23D	4,93E	

Tüm Cd seviyelerinin ortalama K içeriği dikkate alındığında en yüksek K içeriği 31P41 (kökte %5,78-gövdede %10,99) genotipinde, en düşük ise 34N24 (kökte %1,72-gövdede %2,55) ve 3223 (kökte %1,42-gövdede %2,27) genotiplerinde tespit edilmiştir.

Her bir Cd uygulama seviyesindeki ortalama kök ve gövde K içerikleri incelendiğinde, Cd seviyesindeki artışa bağlı olarak farklılıkların önemli olduğu tespit edilmiştir. Kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak K içeriği kökte %3,54, gövdede ise %7,18'dir. En yüksek uygulama dozu olan 10 mg l⁻¹ Cd'da ise kökte %2,03 ve gövdede %4,93 olarak belirlenmiştir.

Mısır genotiplerinin kök ve gövde Ca içeriklerine Cd uygulamalarının etkisi Şekil 4.9'da görülmektedir.



Şekil 4.9. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Ca içeriği üzerine etkisi

Cd uygulamalarına bağlı olarak kök ve gövde Ca içeriğinde kontrole göre değişim olduğu belirlenmiştir. Araştırmada kullanılan genotiplerin hepsinde kökteki Ca birikimi gövdeden fazladır. Genel olarak kök ve gövde Ca içeriği Cd seviyesindeki artışa bağlı olarak kontrole göre azalma göstermiştir. Ancak kök ve gövde Ca içeriği 31P41 genotipinde, kök Ca içeriği ise 3394 genotipinde 1 mg l^{-1} Cd uygulamasına kadar artış göstermiş, bu seviyeden sonraki artan dozlarda azalmıştır. Ca^{+2} ve Mg^{+2} gibi polivalan katyonların alımı kolayca Cd gibi başka bir polivalan katyon tarafından baskılanabilir (Marschner 2002). 10-190 mg kg^{-1} Cd içeren topraklarda 10 gün süreyle yetiştirilen hint hardalı (*Brassicae juncea*) bitkisinin kök ve gövde aksamlarındaki Ca içeriğinin düşük Cd seviyelerinde arttığı, yüksek Cd seviyelerinde ise azaldığı belirlenmiştir (Jiang *et al.* 2004).

Çizelge 4.12’de artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd’un mısır genotiplerinin kök ve gövde Ca içeriğine ait Duncan test sonuçları incelendiğinde, 31P41 genotipinin kök ve gövde Ca içeriğinin; Doge ve Larigor genotiplerinin ise gövde Ca içeriklerinin Cd uygulamalarından etkilenmediği görülmektedir. Genel olarak diğer tüm çeşitlerde kontrolle uygulamalar arasında fark tespit edilmiştir.

Çizelge 4.12. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd’un mısır genotiplerinin kök ve gövde Ca içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları

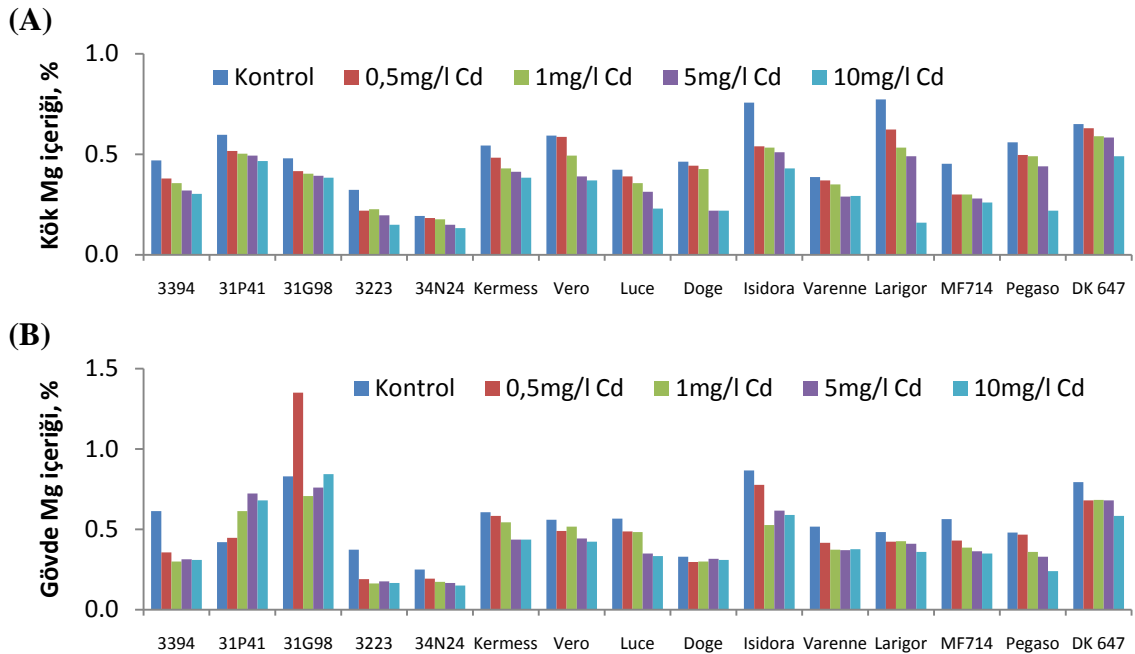
Genotip	Kök Ca İçeriği, %					Ort	Genotip	Gövde Ca İçeriği, %					Ort
	Cd seviyeleri, mg l ⁻¹							Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					
	0	0,5	1	5	10			0	0,5	1	5	10	
3394	2,16b	2,17b	2,80b	2,82b	1,89a	2,37L	3394	1,60a	0,85b	0,77b	0,85b	0,83b	0,98J
31P41^{ms}	4,25	4,96	5,56	5,02	4,91	4,94F	31P41^{ms}	1,30	1,54	1,66	1,54	1,39	1,49F
31G98	7,88a	6,61b	5,91b	5,96b	5,73b	6,42B	31G98	4,90a	2,93b	2,35b	2,47b	2,45b	3,02A
3223	1,38ab	1,29ab	1,34ab	1,70a	0,95b	1,33N	3223	1,05a	0,51b	0,46b	0,45b	0,40b	0,57L
34N24	2,57a	1,83ab	1,71b	1,44b	2,19ab	1,95M	34N24	1,00a	0,73b	0,69b	0,62b	0,74b	0,76K
Kermess	12,06a	11,80a	10,53b	8,07c	6,82d	9,86A	Kermess	2,17a	2,15a	1,63ab	1,41b	1,41b	1,75E
Vero	9,30a	8,61a	6,82b	5,86b	4,71c	7,06B	Vero	2,56a	1,90b	2,00ab	1,80b	1,62b	1,98D
Luce	8,02a	6,08b	5,24c	3,66d	4,02d	5,40E	Luce	1,64a	1,61a	1,25b	1,08b	1,14b	1,34FG
Doge	4,64a	4,23a	4,15a	3,10b	3,19b	3,86J	Doge^{ms}	1,35	1,32	1,27	1,20	1,14	1,26GH
Isidora	6,51a	6,19a	5,20b	5,11b	4,91b	5,59DE	Isidora	3,04a	2,78ab	2,02c	2,17bc	1,99c	2,40B
Varenne	6,27a	4,24b	4,10b	3,55b	3,09b	4,25GH	Varenne	1,95a	1,43b	1,34b	1,33b	1,23b	1,46F
Larigor	6,03a	4,92b	4,60b	4,52b	2,11c	4,44G	Larigor^{ms}	2,31	2,22	2,16	2,14	2,03	2,17C
MF714	5,22a	3,48b	3,36b	2,19c	3,09b	3,47K	MF714	1,58a	1,17b	1,03bc	0,88bc	0,71c	1,07HJ
Pegaso	5,58a	5,22a	3,07b	3,13b	2,82b	3,97HJ	Pegaso	1,43a	1,38a	0,99bc	1,11ab	0,71c	1,12HJ
DK647	8,41a	6,16b	5,15b	5,09b	4,72b	5,91D	DK647	2,92a	2,41ab	2,14ab	1,79b	1,61b	2,17C
Ort	6,02A	5,19B	4,64C	4,08D	3,68E		Ort	2,05A	1,66B	1,45C	1,39CD	1,29D	

Tüm Cd seviyelerinin ortalama Ca içeriği dikkate alındığında en yüksek kök Ca içeriği Kermess (%9,86) ve Vero (%7,06) genotiplerinde, en düşük ise 3223 (%1,33) genotipinde tespit edilmiştir. Gövde Ca içeriği ise en yüksek 31G98 (%3,02) ve Isidora (%2,40) çeşitlerinde, en düşük 3223 (%0,57) çeşitinde belirlenmiştir.

Her bir Cd uygulama seviyesindeki ortalama kök ve gövde Ca içerikleri incelendiğinde, Cd seviyesindeki artışa bağlı olarak farklılıkların önemli olduğu tespit edilmiştir. Kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak Ca içeriği kökte %6,02, gövdede ise

%2,05 olarak belirlenmiştir. En yüksek uygulama dozu olan 10 mg l^{-1} Cd'da ise kökte %3,68 ve gövdede %1,29'dur.

Şekil 4.10'da mısır genotiplerine artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un kök (A) ve gövde (B) Mg içeriğine etkisi gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, artan Cd konsantrasyonları bitki Mg içeriğini önemli düzeyde etkilemiştir. Gövdedeki Mg birikimi kökteki birikimden farklı değildir. Kök Mg içeriği genel itibariyle tüm genotiplerde uygulama dozundaki artışa bağlı olarak azalma göstermiştir. Gövdede ise çeşitler tek tek değerlendirildiğinde, 31G98'de Mg içeriğinin Cd uygulamasına bağlı olarak düzenli bir değişim göstermediği ve 31P41 genotipinde ise artan seviyelerdeki Cd'a bağlı olarak arttığı tespit edilmiştir. Diğer çeşitlerde ise uygulanan Cd seviyesindeki artışa paralel olarak bitkilerin gövde Mg içeriklerinde azalma tespit edilmiştir. $10-190 \text{ mg kg}^{-1}$ Cd içeren topraklarda 10 gün süreyle yetiştirilen hint hardalı (*Brassicae juncea*) bitkisinin Mg içeriğinin kökte değişim göstermediği, gövdede ise uygulamalara bağlı olarak azaldığı tespit edilmiştir (Jiang *et al.* 2004).



Şekil 4.10 Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Mg içeriği üzerine etkisi

Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövde Mg içeriğine ait Duncan test sonuçları Çizelge 4.13'de verilmiştir. Kök Mg içeriği 31P41 genotipinde Cd uygulamasından etkilenmemiştir. Diğer çeşitlerde Cd uygulamasına bağlı olarak kök Mg içeriğinde önemli farklılıklar mevcuttur. Uygulanan Cd seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek kök Mg içeriği DK647 (%0,59) genotipinde, en düşük kök Mg içeriği ise 3223 (%0,22) ve 34N24 (%0,17) genotiplerinde tespit edilmiştir. Gövde Mg içeriği ise Vero ve Doge genotiplerinde uygulanan Cd seviyelerine bağlı olarak farklılık göstermemiştir. Cd uygulama seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek gövde Mg içeriği 31G98 (%0,90) çeşitinde, en düşük ise 3223 (%0,21) ve 34N24 (%0,19) çeşitlerinde belirlenmiştir. Diğer genotipler ise bu değerler arasında değişen kök ve gövde Mg içeriğine sahiptirler.

Çizelge 4.13. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövde Mg içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları

Genotip	Kök Mg İçeriği, %					Ort	Genotip	Gövde Mg İçeriği, %					Ort
	Cd seviyeleri, mg l ⁻¹							Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					
	0	0,5	1	5	10			0	0,5	1	5	10	
3394	0,47a	0,38b	0,36bc	0,32c	0,30c	0,37G	3394	0,61a	0,36b	0,30b	0,31b	0,31b	0,38F
31P41 ^{ns}	0,60	0,52	0,50	0,49	0,47	0,52C	31P41	0,42b	0,45b	0,61a	0,72a	0,68a	0,58C
31G98	0,48a	0,42ab	0,40ab	0,39b	0,38b	0,42F	31G98	0,83b	1,35a	0,71b	0,76b	0,84b	0,90A
3223	0,32a	0,22b	0,23b	0,20b	0,15c	0,22J	3223	0,37a	0,19b	0,16b	0,18b	0,17b	0,21H
34N24	0,19a	0,18ab	0,18ab	0,15ab	0,13b	0,17K	34N24	0,25a	0,19b	0,17b	0,17b	0,15b	0,19H
Kermess	0,54a	0,48b	0,43c	0,41c	0,38d	0,45E	Kermess	0,61a	0,58a	0,54a	0,44b	0,44b	0,52D
Vero	0,59a	0,59a	0,49b	0,39c	0,37c	0,49D	Vero ^{ns}	0,56	0,49	0,52	0,44	0,42	0,49D
Luce	0,42a	0,39ab	0,36bc	0,31c	0,23d	0,34GH	Luce	0,57a	0,49a	0,48a	0,35b	0,33b	0,44E
Doge	0,46a	0,44a	0,43a	0,22b	0,22b	0,35G	Doge ^{ns}	0,33	0,30	0,30	0,32	0,31	0,31G
Isidora	0,76a	0,54b	0,53b	0,51b	0,43c	0,55B	Isidora	0,87a	0,78a	0,53b	0,62b	0,59b	0,68B
Varenne	0,39a	0,37ab	0,35ab	0,29b	0,29b	0,34GH	Varenne	0,52a	0,42b	0,37b	0,37b	0,38b	0,41EF
Larigor	0,77a	0,62b	0,53bc	0,49c	0,16d	0,52C	Larigor	0,48a	0,42ab	0,43ab	0,41ab	0,36b	0,42EF
MF714	0,45a	0,30b	0,30b	0,28bc	0,26c	0,32H	MF714	0,56a	0,43b	0,39b	0,36b	0,35b	0,42EF
Pegaso	0,56a	0,50ab	0,49ab	0,44b	0,22c	0,44EF	Pegaso	0,48a	0,47a	0,36b	0,33b	0,24c	0,38F
DK647	0,65a	0,63ab	0,59bc	0,58c	0,49d	0,59A	DK647	0,79a	0,68b	0,68b	0,68b	0,58c	0,68B
Ort	0,51A	0,44B	0,41C	0,37D	0,30E		Ort	0,55A	0,51B	0,44C	0,43CD	0,41D	

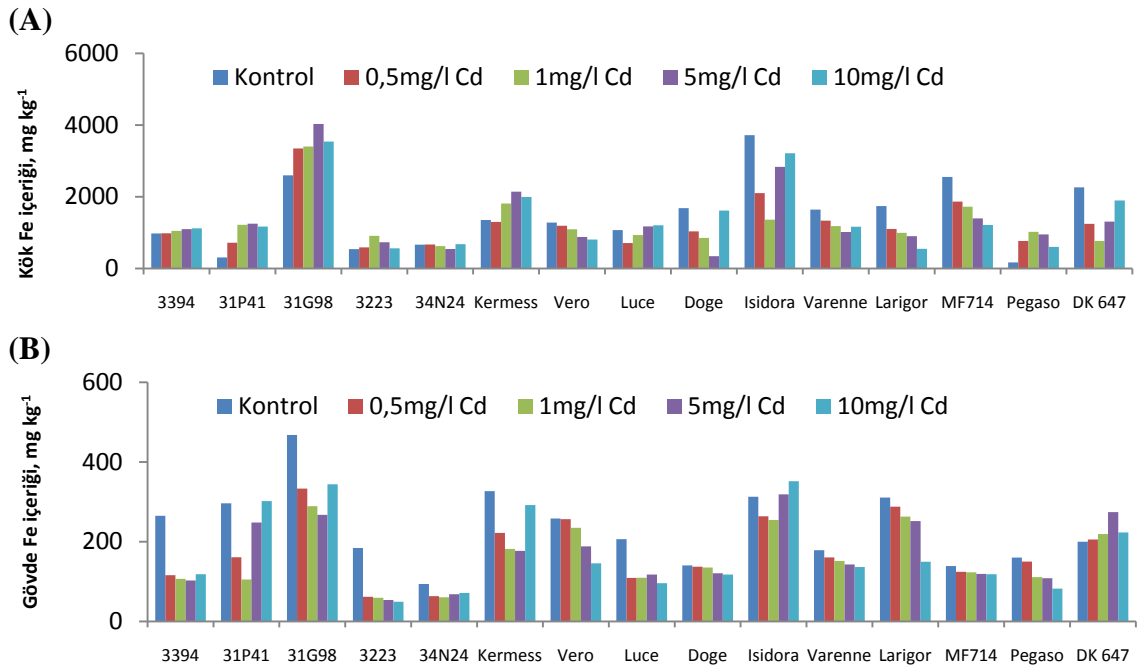
Cd uygulama seviyelerindeki ortalama kök ve gövde Mg içerikleri incelendiğinde, Cd seviyesindeki artışa bağlı olarak farklılıkların tüm çeşitlerde önemli olduğu belirlenmiştir. Kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak Mg içeriği kökte %0,51,

gövdede %0,55 iken en yüksek uygulama dozu olan 10 mg l⁻¹ Cd'da kökte %0,30 ve gövdede %0,41 olarak belirlenmiştir.

4.1.6.2. Cd ağır metalinin mısır genotiplerinin mikro besin elementi (Fe, Cu, Zn, Mn ve B) içeriği üzerine etkisi

Çizelge 4.14'de varyans analiz sonuçları incelendiğinde görüleceği gibi, Cd ağır metalinin mısır genotiplerinin kök ve gövde aksamalarının Fe, Cu, Zn, Mn ve B içerikleri istatistiksel olarak değerlendirildiğinde genotip, Cd seviyesi ile genotip*Cd seviyesi etkilerinin etkisi çok önemli olarak tespit edilmiştir (p<0,01).

Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök (A) ve gövde (B) Fe içeriğine etkisi Şekil 4.11'de verilmiştir. Tüm genotiplerde kökteki Fe birikimi gövdedeki birikimden fazladır.



Şekil 4.11. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Fe içeriği üzerine etkisi

Kökteki Fe içeriğinin uygulamalara bağlı olarak değişimi incelendiğinde çeşitler arasında farklılıklar olduğu gözlenmiştir. 31P41, 31G98, Kermess ve Luce çeşitlerinde

kök Fe içeriğinin Cd uygulamalarında arttığı, 34N24, Vero, Doge, Varenne, Larigor, MF714 ve DK 647' de ise azaldığı tespit edilmiştir. Diğer genotiplerdeki değişimin düzenli olmadığı belirlenmiştir. Gövde Fe içeriğinin uygulamalara bağlı olarak değişimi incelendiğinde; 31P41 ve Isidora çeşitlerinde gövde Fe içeriğinin uygulanan Cd seviyelerinde azalma eğiliminde iken en yüksek uygulama seviyesinde kontrole göre arttığı, DK647'de Fe içeriğinin Cd uygulamalarında kontrole göre artış gösterdiği ve diğer genotiplerde azalma meydana getirdiği gözlenmiştir. Liu *et al.* 2003 yaptıkları bir çalışmada, Cd ve Zn, Cd ve Fe, Cd ve Cu arasında hem kök hem de gövdede pozitif bir ilişki olduğunu rapor etmişlerdir. Fei-boWu *et al.* (2003) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise arpa bitkisinde Cd seviyesi ile Fe, Zn, Cu ve Mn konsantrasyonu arasında negatif bir ilişki olduğu belirtilmiştir.

Çizelge 4.15'de artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövde Fe içeriğine ait Duncan test sonuçları verilmiştir. Kök Fe içeriği 3394 ve 34N24 genotiplerinde, gövde Fe içeriği ise 34N24, Doge, Varenne ve MF714 genotiplerinde Cd uygulamasından etkilenmemiştir. Diğer çeşitlerde Cd uygulamasına bağlı olarak kök ve gövde Fe içeriğinde önemli farklılıklar tespit edilmiştir.

Uygulanan Cd seviyelerinin ortalaması dikkate alındığında en yüksek Fe içeriği 31G98 (kökde 3382,07 mg kg⁻¹ -gövdede 340,23 mg kg⁻¹) genotipinde, en düşük ise 3223 (kökde 664,51mg kg⁻¹-gövdede 81,65 mg kg⁻¹) ve 34N24 (kökde 634,47 mg kg⁻¹-gövdede 71,38 mg kg⁻¹)genotiplerinde tespit edilmiştir. Diğer tüm genotipler ise bu değerler arasında değişen kök ve gövde Fe içeriğine sahiptirler.

Her bir Cd uygulama seviyesindeki ortalama kök ve gövde Fe içerikleri incelendiğinde, Cd seviyesindeki artışa bağlı olarak farklılıkların önemli olduğu belirlenmiştir. Kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak Fe içeriği kökde 1502,41 mg kg⁻¹, gövdede ise 235,97 mg kg⁻¹'dir. Kök Fe içeriği yüksek uygulama dozları olan 10 ve 5 mg l⁻¹ Cd'da 0,5 ve 1 mg l⁻¹ dozlarına oranla daha azdır. Gövde Fe içeriği ise 0,5, 5 ve 10 mg l⁻¹ Cd seviyelerinde önemli bir değişim sergilemezken en düşük içerik 1 mg l⁻¹ Cd uygulamasından elde edilmiştir (160,26 mg kg⁻¹).

Çizelge 4.14. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır bitkisinin kök ve gövde Fe, Cu, Zn, Mn, ve B içeriğine ait varyans analiz sonuçları

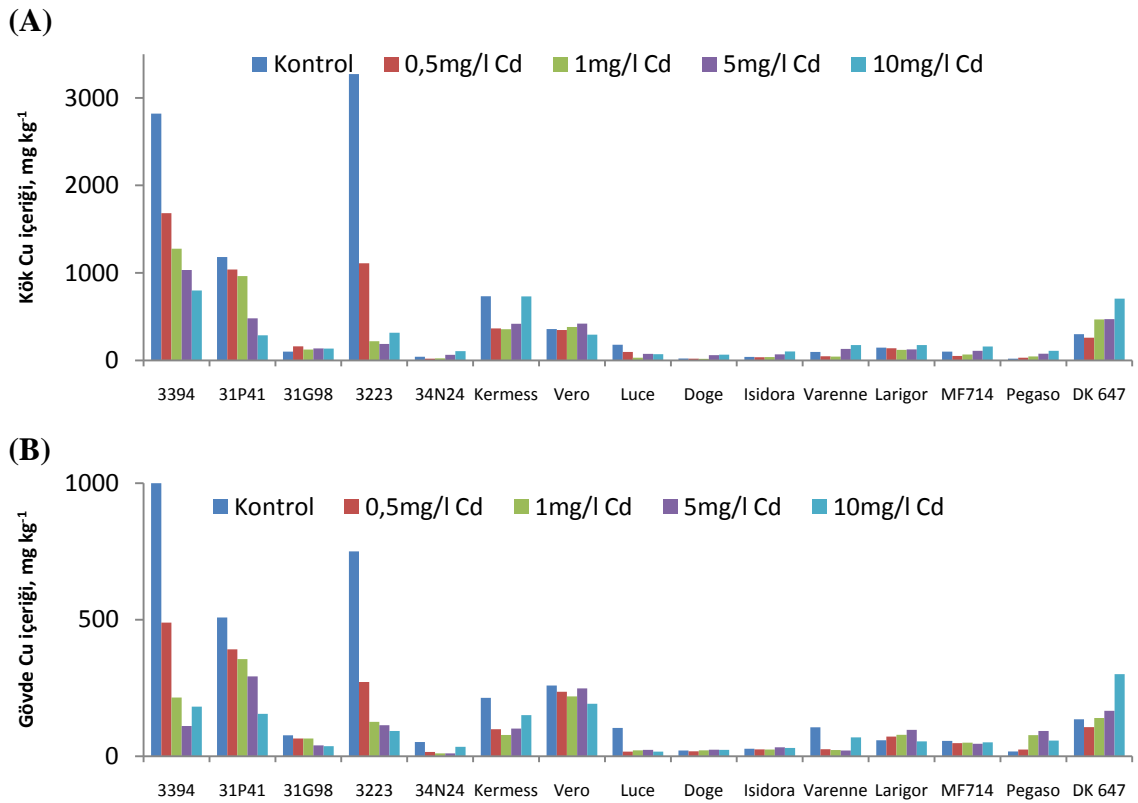
	Varyans Kaynağı	S. D.	Fe mg kg ⁻¹		Cu mg kg ⁻¹		Zn mg kg ⁻¹		Mn mg kg ⁻¹		B mg kg ⁻¹	
			K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F
			Kök	Genotip	14	8728685,26	342,20**	2893769,13	169,69**	3857909,56	327,53**	28041,44
	Cd seviyesi	4	486810,09	19,09**	1066171,50	62,52**	8171637,39	693,75**	82345,37	266,40**	409,35	8,33**
	Genotip x Cd Seviyesi	56	573474,32	22,48**	479939,19	28,14**	383476,09	32,56**	4763,29	15,41**	898,94	18,30**
	Hata Genel	150 225	25507,78		17052,96		11778,91		309,101		49,12	
	Gövde											
	Genotip	14	95518,88	209,86**	235621,81	326,50**	1216216,52	525,61**	37192,17	143,55**	24016,06	405,01**
	Cd seviyesi	4	40663,34	89,34**	142176,35	197,01**	483575,96	208,99**	184993,71	714,00**	8298,74	139,95**
	Genotip x Cd Seviyesi	56	5347,03	11,75**	42663,09	59,12**	72505,76	31,34**	4592,97	17,73**	425,62	7,18**
	Hata Genel	150 225	455,16		721,66		2313,91		259,10		59,30	

** : p<0,01 düzeyinde çok önemli, * : p<0,05 düzeyinde önemli, ns: Önemli değil

Çizelge 4.15. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövde Fe içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları

Genotip	Kök Fe İçeriği, mg kg ⁻¹						Genotip	Gövde Fe İçeriği, mg kg ⁻¹					
	Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort		Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort
	0	0,5	1	5	10			0	0,5	1	5	10	
3394^{ns}	975,63	979,83	1048,84	1098,33	1117,00	1043,93FG	3394	264,98a	116,07b	106,53b	102,56b	118,11b	141,65EF
31P41	305,60c	717,10b	1217,69a	1248,20a	1169,25a	931,57G	31P41	296,41a	161,04c	105,12d	247,88b	301,94a	222,48D
31G98	2598,17c	3346,77b	3398,60b	4029,83a	3536,98b	3382,07A	31G98	467,90a	333,22b	288,90c	267,29c	343,85b	340,23A
3223	538,71c	587,90c	909,30a	728,13b	558,50c	664,51H	3223	184,25a	61,83b	59,18bc	53,74bc	49,25c	81,65H
34N24^{ns}	662,33	666,53	624,00	541,27	678,20	634,47H	34N24^{ns}	93,79	63,09	60,48	68,05	71,51	71,38H
Kermess	1352,60c	1295,19c	1812,70b	2139,21a	1995,93ab	1719,13C	Kermess	326,63a	221,99c	181,90d	177,08d	291,79b	239,88C
Vero	1278,40a	1188,00ab	1090,17b	877,85c	805,26c	1047,94FG	Vero	258,23a	256,29a	234,93a	188,20b	145,77b	216,69D
Luce	1069,15ab	708,19c	931,17b	1174,09a	1204,20a	1017,36FG	Luce	206,25a	109,19b	109,33b	117,33b	95,82b	127,58FG
Doge	1681,91a	1034,33b	848,92b	340,63c	1615,88a	1104,33F	Doge^{ns}	140,35	137,06	135,38	120,85	117,60	130,25FG
Isidora	3715,33a	2103,13c	1358,71d	2834,25b	3210,52b	2644,39B	Isidora	312,68b	263,51c	254,40c	318,60b	351,84a	300,21B
Varenne	1639,17a	1333,07ab	1181,33b	1015,87b	1163,67b	1266,62E	Varenne^{ns}	178,74	160,28	151,47	142,77	136,36	153,92E
Larigor	1741,20a	1101,75b	993,71b	901,59b	545,81c	1056,81FG	Larigor	310,50a	287,96ab	262,92b	251,50b	149,69c	252,51C
MF714	2550,78a	1865,76b	1720,17b	1397,25c	1212,05c	1749,20C	MF714^{ns}	138,79	124,28	123,03	118,96	118,32	124,68G
Pegaso	166,92e	764,35c	1019,28a	949,39b	599,32d	699,85H	Pegaso	160,11a	150,06a	111,19b	108,43b	81,97b	122,35G
DK647	2260,22a	1242,73c	766,65d	1306,37c	1893,89b	1493,97D	DK647	199,87b	205,54b	219,14b	274,27a	223,18b	224,40D
Ort	1502,41A	1262,31C	1261,42C	1372,15B	1420,43B		Ort	235,97A	176,76B	160,26C	170,50B	173,13B	

Mısır çeşitlerine artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un kök (A) ve gövde (B) Cu içeriğine etkisi Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, artan Cd konsantrasyonları bitki Cu içeriğini önemli düzeyde etkilemiştir. Ayrıca Cu birikimi yönünden genotipler arasındaki fark da dikkat çekmektedir. Genotiplerin hepsinde kökteki Cu birikimi gövdeden fazla olmuştur. Kök ve gövde aksamalarının Cu içeriği Doge, Isidora, Varenne, MF714, Pegaso ve DK647 genotiplerinde uygulamalara bağlı olarak kontrole göre artmış, diğer genotiplerde ise azalmıştır.



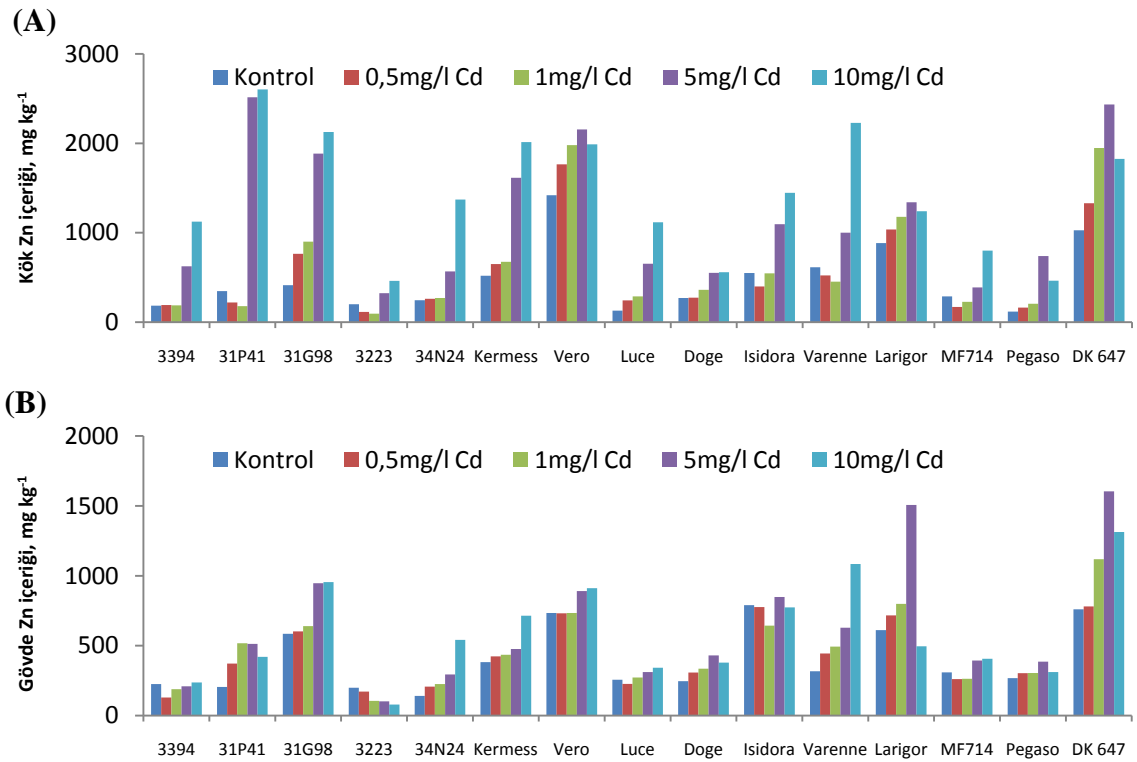
Şekil 4. 12. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Cu içeriği üzerine etkisi

Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövde Cu içeriğine ait Duncan test sonuçları Çizelge 4.16'da verilmiştir. Kökte 31G98, gövdede ise MF714 genotipinin Cu içeriği uygulanan Cd seviyelerine bağlı olarak farklılık göstermemiştir. Diğer genotiplerde uygulamaların kök ve gövde Cu içeriğine etkisi önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.16. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövde Cu içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları

Genotip	Kök Cu İçeriği, mg kg ⁻¹						Genotip	Gövde Cu İçeriği, mg kg ⁻¹					
	Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort		Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort
	0	0,5	1	5	10			0	0,5	1	5	10	
3394	2819,72a	1683,17b	1277,07bc	1032,01bc	798,17c	1522,03A	3394	1017,17a	489,30b	215,35c	111,07c	181,91c	402,96A
31P41	1180,33a	1038,38ab	964,22b	480,77c	285,68c	789,88C	31P41	508,40a	391,77b	356,00b	292,67b	155,27c	340,82B
31G98^{ns}	99,85	159,69	123,12	136,42	134,05	130,63F	31G98	76,80a	65,33b	64,85b	39,95c	36,77c	56,74GH
3223	3273,33a	1109,90b	219,57c	186,68c	315,75c	1021,05B	3223	750,28a	271,83b	126,30c	113,79c	92,92c	271,02C
34N24	41,85c	18,76d	23,50d	62,28b	104,39a	50,16F	34N24	52,48a	16,10c	10,50c	10,30c	34,73b	24,82J
Kermess	733,00a	364,24b	355,43b	418,20b	730,95a	520,36D	Kermess	213,88a	99,08c	78,24d	101,21c	150,38b	128,56F
Vero	357,58b	347,61b	382,33ab	419,43a	294,54c	360,30E	Vero	258,78a	236,47ab	219,49ab	248,53ab	192,16b	231,08D
Luce	178,45a	95,56b	30,71c	73,89b	70,68b	89,86F	Luce	103,94a	17,16b	21,90b	23,34b	17,30b	36,73HJ
Doge	20,91c	19,43c	17,62c	59,22b	64,15a	36,27F	Doge	20,87ab	18,16b	21,98ab	23,84a	23,33a	21,64J
Isidora	39,61c	36,36c	38,13c	68,70b	101,87a	56,93F	Isidora	27,53bc	25,36c	24,71c	32,96a	30,55ab	28,22J
Varenne	96,30b	47,52c	43,67c	131,23ab	173,98a	98,54F	Varenne	106,23a	25,81c	22,63c	21,26c	69,46b	49,08H
Larigor	145,35ab	138,78ab	119,26b	124,92b	175,35a	140,73F	Larigor	58,57c	72,20b	78,51b	96,57a	54,65c	72,10E
MF714	99,65b	50,09d	66,32c	108,86b	158,09a	96,60F	MF714^{ns}	56,14	48,31	49,88	45,55	51,31	50,24H
Pegaso	18,82d	30,06d	44,69c	75,80b	109,76a	55,83F	Pegaso	17,74c	24,59c	77,34ab	92,49a	57,69b	53,97GH
DK647	298,85c	259,60c	467,82b	471,33b	704,77a	440,47DE	DK647	135,50c	106,74d	140,13c	166,35b	300,65a	169,87E
Ort	626,91A	359,94B	278,23C	256,65C	281,48C		Ort	226,95A	127,21B	100,52C	94,66C	96,60C	

Tüm Cd seviyelerinin ortalama Cu içeriği dikkate alındığında en yüksek Cu içeriği 3394 (kökde 1522,03 mg kg⁻¹-gövdede 402,96 mg kg⁻¹) genotipinde tespit edilmiştir. En düşük Cu içeriği ise kökde Larigor (140,73 mg kg⁻¹), 31G98 (130,63 mg kg⁻¹), Varenne (98,54 mg kg⁻¹), MF714 (96,60 mg kg⁻¹), Luce (89,86 mg kg⁻¹), Isidora (56,93 mg kg⁻¹), Pegaso (55,83 mg kg⁻¹), 34N24 (50,16 mg kg⁻¹) ve Doge (36,27 mg kg⁻¹), gövdede Isidora (28,22 mg kg⁻¹), 34N24 (24,82 mg kg⁻¹) ve Doge (21,64 mg kg⁻¹) genotiplerinde görülmüştür. Her bir Cd uygulama seviyesindeki ortalama kök ve gövde Cu içerikleri incelendiğinde, kontrol ile uygulamalar arasındaki farklılıkların önemli olduğu ancak 1, 5 ve 10 mg l⁻¹ Cd uygulamalarında kök ve gövde Cu içeriklerinin farklılık göstermediği tespit edilmiştir.



Şekil 4.13. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Zn içeriği üzerine etkisi

Artan seviyelerde uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök (A) ve gövde(B) Zn içeriğine etkisi Şekil 4.13'de verilmiştir. Tüm genotiplerde kökteki Zn birikimi gövdedeki birikimden fazladır. Artan Cd konsantrasyonlarına bağlı olarak gövde Zn içeriği 3223 genotipinde azalırken diğer tüm çeşitlerde kök ve gövde Zn içeriği de artış göstermiştir. Yapılan benzer bir çalışmada, Youssef *et al.* (1995); N ile Cd ve Ni uygulamasının mısırın mikro element beslenmesine etkisini incelemiştir. Araştırmacılar toprağa 5 mg kg⁻¹ Cd uygulamasının bitki kuru madde miktarını artırdığını, daha yüksek konsantrasyonlarda Cd uygulamasının bitki kuru madde miktarını azalttığını ayrıca Cd'un bitki çinko içeriğini artırdığını belirlemiştir.

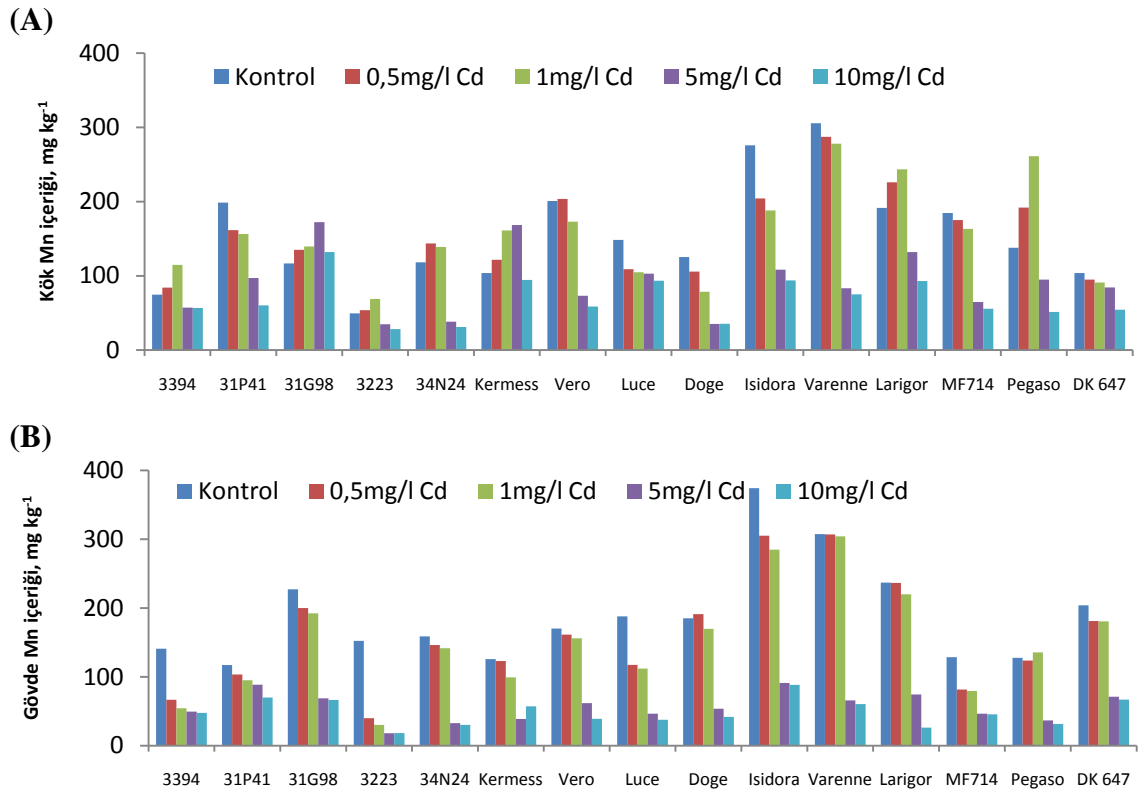
Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövde Zn içeriği üzerine etkisinin ortalama değerlerine ait Duncan test sonuçları Çizelge 4.17'de verilmiştir. Tüm çeşitlerde Cd uygulamasına bağlı olarak kök ve gövde Zn içeriğinde önemli farklılıklar mevcuttur. Uygulanan Cd seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek kök Zn içeriği DK647 (1713,12 mg kg⁻¹) ve Vero(1861,72 mg kg⁻¹) genotiplerinde, en düşük ise 3223 (239,48 mg kg⁻¹) genotipinde tespit edilmiştir. Cd uygulama seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek gövde Zn içeriği DK647 (1115,47 mg kg⁻¹) çeşidinde, en düşük ise 3223 (131,63 mg kg⁻¹) çeşidinde belirlenmiştir. Diğer genotipler ise bu değerler arasında değişen kök ve gövde Zn içeriğine sahiptirler.

Cd uygulama seviyelerindeki ortalama kök ve gövde Zn içerikleri incelendiğinde, Cd seviyesindeki artışa bağlı olarak farklılıkların tüm çeşitlerde önemli olduğu belirlenmiştir. Kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak Zn içeriği kökte 480,97 mg kg⁻¹, gövdede 402,22 mg kg⁻¹ iken en yüksek uygulama dozu olan 10 mg l⁻¹ Cd'da kökte 1424,50 mg kg⁻¹ ve gövdede 597,77 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Gövde Zn içeriği 5 mg l⁻¹ Cd'da en yüksek uygulamadaki değerden daha yüksektir (636,27 mg kg⁻¹).

Çizelge 4.17. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövde Zn içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları

Genotip	Kök Zn İçeriği, mg kg ⁻¹						Genotip	Gövde Zn İçeriği, mg kg ⁻¹					
	Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort		Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort
	0	0,5	1	5	10			0	0,5	1	5	10	
3394	184,20c	191,92c	187,58c	625,00b	1123,75a	462,49GH	3394	225,78a	129,18b	189,60ab	209,76a	237,00a	198,26K
31P41	348,48b	219,85b	180,09b	2514,50a	2602,25a	1173,03CD	31P41	204,72b	372,90ab	517,40a	512,54a	419,91a	405,49G
31G98	412,93d	765,30c	899,87c	1885,49b	2126,60a	1218,04C	31G98	584,70b	602,04b	640,23b	946,40a	955,40a	745,75D
3223	200,52c	115,15cd	95,88d	323,96b	461,88a	239,48K	3223	199,51a	171,77b	105,33c	102,39c	79,14d	131,63L
34N24	245,87c	261,20c	269,80c	567,07b	1370,23a	542,83G	34N24	141,17d	207,37c	226,40c	294,27b	542,05a	282,25J
Kermess	520,17d	649,26cd	674,23c	1614,33b	2013,33a	1094,26D	Kermess	383,07c	424,22bc	435,43bc	476,50b	713,95a	486,63F
Vero	1419,40d	1764,50c	1980,00b	2155,63a	1989,09b	1861,72A	Vero	734,40c	732,08c	734,13c	891,29b	911,09a	800,60BC
Luce	128,56d	243,86c	289,10c	653,87b	1117,40a	486,56G	Luce	256,47bc	227,24b	273,30bc	312,07ab	342,50a	282,32J
Doge	271,13c	274,20c	362,78b	552,04a	557,98a	403,63HJ	Doge	246,10d	308,25c	336,03bc	431,13a	378,76ab	340,05H
Isidora	549,80c	400,27d	546,05c	1095,75b	1446,27a	807,63F	Isidora	790,04a	776,07a	643,00b	848,33a	774,43a	766,37CD
Varenne	614,67c	522,40c	452,93c	1000,80b	2228,17a	963,79E	Varenne	317,88d	444,87cd	493,08bc	628,53b	1084,10a	593,69E
Larigor	884,47c	1036,25bc	1178,39ab	1340,45a	1240,41ab	1135,99CD	Larigor	611,50d	717,13c	799,26b	1506,57a	496,26e	826,14B
MF714	287,96c	170,75d	228,09cd	388,53b	800,86a	375,24J	MF714	308,86b	261,33c	263,50c	394,20a	407,06a	326,99H
Pegaso	117,99c	162,66c	205,44c	739,06a	463,33b	337,70J	Pegaso	268,32d	303,90b	305,10b	386,43a	311,33b	315,02HJ
DK647	1028,43d	1329,62c	1947,89b	2433,66a	1825,98b	1713,12B	DK647	760,73d	780,60d	1118,86c	1603,60a	1313,53b	1115,46A
Ort	480,97E	540,48D	633,21C	1192,68B	1424,50A		Ort	402,22E	430,60D	472,04C	636,27A	597,77B	

Mısır çeşitlerine artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un kök (A) ve gövde (B) Mn içeriğine etkisi Şekil 4.14'de gösterilmiştir. Tüm çeşitlerde gövdedeki Mn birikimi kökten fazladır. Kök Mn içeriği 34N24 ve Vero genotipinde 0,5 mg l⁻¹ Cd; 3394, 3223, Larigor ve Pegaso genotiplerinde 1 mg l⁻¹ Cd; 31G98 ve Kerness genotiplerinde ise 5 mg l⁻¹ Cd seviyesine kadar artmış, sonraki uygulamalarda azalmıştır. Diğer genotiplerde uygulamalara bağlı olarak kök Mn içeriğinde azalma olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak tüm çeşitlerde gövde Mn miktarı uygulanan yüksek Cd konsantrasyonlarında (5-10 mg l⁻¹ Cd) diğer uygulama seviyeleri ile kıyaslandığında kontrole göre yüksek oranda azalma göstermiştir. Benzer şekilde, Wu *et al.* (2003), dört farklı arpa genotipinde, Cd'un mineral içeriğe etkisini araştırmışlar ve Cd ilavesi ile arpa bitkisinin kök, gövde ve tanesinde Mn ve Cu içeriğinin azaldığını belirlemişlerdir.



Şekil 4.14. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Mn içeriği üzerine etkisi

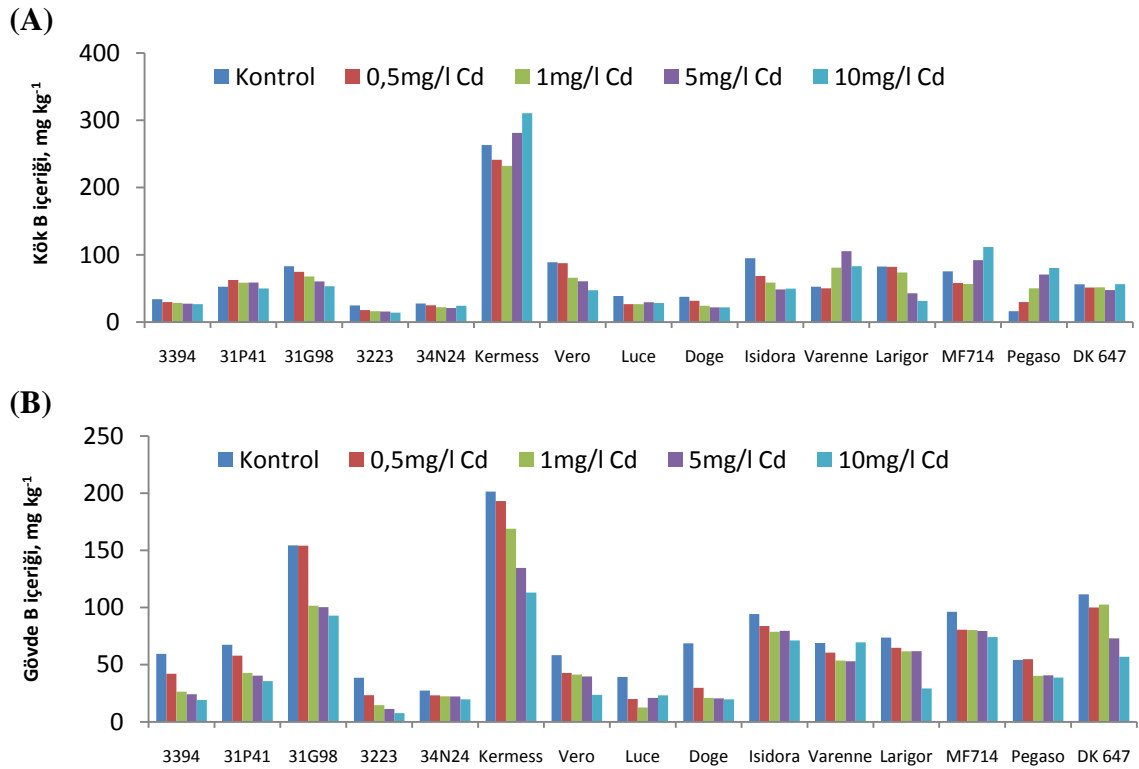
Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövde Mn içeriğine ait Duncan test sonuçları Çizelge 4.18'de verilmiştir. Kök ve gövde Mn içeriği tüm genotiplerde Cd uygulamasından etkilenmiştir. Uygulanan Cd seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek kök Mn içeriği Isidora ($174,03 \text{ mg kg}^{-1}$), Larigor ($177,18 \text{ mg kg}^{-1}$) ve Varenne ($205,81 \text{ mg kg}^{-1}$) genotiplerinde, en düşük kök Mn içeriği ise 3223 ($47,10 \text{ mg kg}^{-1}$) genotipinde tespit edilmiştir. Gövde Mn içeriği ise Cd uygulama seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek Varenne ($208,96 \text{ mg kg}^{-1}$) ve Isidora ($228,73 \text{ mg kg}^{-1}$) çeşitlerinde, en düşük ise köktekine benzer olarak 3223 ($51,87 \text{ mg kg}^{-1}$) çeşitinde belirlenmiştir. Diğer genotipler ise bu değerler arasında değişen kök ve gövde Mn içeriğine sahiptirler.

Cd uygulama seviyelerindeki ortalama kök ve gövde Mn içerikleri incelendiğinde, Cd seviyesindeki artışa bağlı olarak farklılıkların tüm çeşitlerde önemli olduğu, ancak kök Mn içeriğinin 0, 0,5 ve 1 mg l^{-1} Cd uygulamalarında değişim göstermediği belirlenmiştir. Kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak Mn içeriği kökte $155,67 \text{ mg kg}^{-1}$, gövdede $189,64 \text{ mg kg}^{-1}$ iken en yüksek uygulama dozu olan 10 mg l^{-1} Cd'da kökte $67,57 \text{ mg kg}^{-1}$ ve gövdede $48,53 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.18. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövde Mn içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları

Genotip	Kök Mn İçeriği, mg kg ⁻¹						Genotip	Gövde Mn İçeriği, mg kg ⁻¹					
	Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort		Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort
	0	0,5	1	5	10			0	0,5	1	5	10	
3394	74,70bc	84,20b	114,82a	57,17c	56,70c	77,52G	3394	140,98a	66,75b	54,41b	49,53b	47,65b	71,86H
31P41	198,53a	161,58b	156,40b	97,17c	60,24d	134,78CD	31P41	117,21a	103,45ab	95,11b	88,74bc	69,98c	94,90FG
31G98	116,73c	134,94bc	139,61b	172,35a	131,95bc	139,12CD	31G98	227,30a	200,11b	192,39b	69,00c	66,53c	151,07CD
3223	49,49b	53,85b	68,89a	34,90c	28,35c	47,10H	3223	152,39a	40,05b	30,23c	18,27d	18,39d	51,87J
34N24	118,19a	143,61a	138,99a	38,32b	31,03b	94,03F	34N24	158,75a	146,30a	141,67a	32,95b	30,25b	101,98F
Kermess	103,87c	121,68b	161,12a	168,53a	94,52c	129,94D	Kermess	125,90a	123,08a	99,34b	38,91d	57,18c	88,88G
Vero	200,81a	203,53a	173,00a	73,25b	58,66b	141,85CD	Vero	170,13a	161,41a	156,00a	62,01b	39,02b	117,72E
Luce	148,32a	108,89b	104,83b	102,95b	93,35b	111,67E	Luce	187,88a	117,52b	112,15b	46,58c	37,72c	100,37FG
Doge	125,31a	105,76b	78,49c	35,19d	35,55d	76,06G	Doge	185,22a	191,06a	169,72a	53,73b	41,93b	128,33E
Isidora	275,86a	204,27b	187,97c	108,25d	93,78d	174,03B	Isidora	374,10a	305,15b	284,80b	91,32c	88,31c	228,73A
Varenne	305,48a	287,23a	277,97a	83,30b	75,05b	205,81A	Varenne	307,35a	306,92a	304,15a	65,89b	60,50b	208,96B
Larigor	191,47a	226,07a	243,50a	131,93b	92,95b	177,18B	Larigor	237,01a	236,40a	220,00a	74,39b	26,24c	158,81C
MF714	184,67a	175,06a	163,33a	64,81b	55,65b	128,70D	MF714	128,66a	81,58b	79,63b	46,51c	45,61c	76,40H
Pegaso	137,84c	192,01b	261,22a	95,02d	51,37e	147,49C	Pegaso	127,66a	123,64a	135,67a	36,87b	31,64b	91,10FG
DK647	103,82a	95,01ab	91,16b	84,48b	54,45c	85,78FG	DK647	204,03a	181,29a	180,75a	71,23b	66,95b	140,85D
Ort	155,67A	153,18A	157,42A	89,84B	67,57C		Ort	189,64A	158,98B	150,40C	56,39D	48,53E	

Mısır genotiplerine artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un kök (A) ve gövde (B) B içeriğine etkisi Şekil 4.15'de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, artan Cd konsantrasyonları bitki B içeriğini önemli düzeyde etkilemiştir. Kök aksamının B içeriği Pegaso ve Varenne genotiplerinde uygulamalara bağlı olarak kontrole göre artmış; Kermess ve MF714 genotiplerinde 1 mg l⁻¹ Cd uygulama seviyesine kadar azalıp daha sonraki uygulama seviyelerinde kontrole göre artmıştır. Diğer genotiplerde Cd uygulaması kök B içeriğinde azalmaya sebep olmuştur. Gövde B içeriğinde Cd uygulamalarına bağlı değişim azalan şekilde gerçekleşmiştir.



Şekil 4.15. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) B içeriği üzerine etkisi

Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövde B içeriğine ait Duncan test sonuçları Çizelge 4.19'da verilmiştir. Kökte 3394, 31P41, 34N24 ve DK647; gövdede ise 34N24 ve Varenne genotiplerinin B içeriği uygulanan Cd seviyelerine bağlı olarak farklılık göstermemiştir. Diğer genotiplerde uygulamaların kök ve gövde B içeriğine etkisi önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.19. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövde B içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları

Genotip	Kök B İçeriği, mg kg ⁻¹						Genotip	Gövde B İçeriği, mg kg ⁻¹					
	Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort		Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort
	0	0,5	1	5	10			0	0,5	1	5	10	
3394^{ns}	34,02	29,65	28,60	27,27	26,74	29,26HJ	3394	59,42a	42,10b	26,45c	24,13c	19,14c	34,25H
31P41^{ns}	52,56	62,68	58,55	58,86	49,90	56,51F	31P41	67,48a	57,84ab	42,79bc	40,35c	35,61c	48,82F
31G98	83,03a	74,71b	67,70c	60,44d	53,30e	67,84DE	31G98	154,37a	154,02a	101,57b	100,30b	92,84b	120,62B
3223	24,81a	17,79b	16,16b	15,71b	14,03b	17,70K	3223	38,57a	23,39b	14,69c	11,28c	7,66d	19,12J
34N24^{ns}	27,66	25,09	22,07	21,03	24,22	24,02J	34N24^{ns}	27,45	23,21	22,30	22,18	19,73	22,97J
Kermess	263,14bc	241,20c	232,17c	281,33ab	310,38a	265,65A	Kermess	201,33a	193,12a	168,97b	134,66c	113,10d	162,24A
Vero	88,90a	87,66a	65,88b	60,59b	47,44c	70,09CD	Vero	58,31a	42,76b	41,45b	39,70b	23,66c	41,18G
Luce	38,77a	26,66b	26,67b	29,58b	28,33b	30,00H	Luce	39,26a	19,94b	12,55c	20,93b	23,21b	23,18J
Doge	37,49a	31,77a	24,23b	21,94b	21,89b	27,46HJ	Doge	68,66a	29,76b	20,96b	20,51b	19,71b	31,92H
Isidora	94,82a	68,63b	58,77bc	48,45c	49,80c	64,09E	Isidora	94,34a	83,78ab	78,72b	79,58ab	71,15b	81,52D
Varenne	52,49c	50,19c	80,81b	105,40a	83,15b	74,41BC	Varenne^{ns}	68,91	60,49	53,53	53,03	69,46	61,08E
Larigor	82,67a	82,12a	73,84b	42,89c	31,53d	62,61E	Larigor	73,66a	64,81a	61,68a	61,87a	29,24b	58,25E
MF714	75,32c	58,01d	56,52d	92,05b	111,61a	78,70B	MF714	96,23a	80,59ab	80,33ab	79,50ab	74,16b	82,16D
Pegaso	16,28e	29,78d	50,16c	70,76b	80,33a	49,46G	Pegaso	54,07a	54,87a	40,32b	40,73b	38,69b	45,74FG
DK647^{ns}	56,24	51,32	51,56	47,58	56,43	52,63FG	DK647	111,47a	100,06a	102,56a	72,98b	56,89b	88,79C
Ort	68,55A	62,48B	60,91B	65,59A	65,94A		Ort	80,90A	68,72B	57,93C	53,45D	46,28E	

Uygulanan Cd seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek B içeriği Kermess (kökte 265,65 mg kg⁻¹-gövdede 162,24 mg kg⁻¹) genotipinde, en düşük B içeriği ise kökte 3223 (17,70 mg kg⁻¹), gövdede 3223 (19,12 mg kg⁻¹), 34N24 (22,97 mg kg⁻¹) ve Luce(23,18 mg kg⁻¹) genotiplerinde tespit edilmiştir. Diğer genotipler ise bu değerler arasında değişen kök ve gövde B içeriğine sahiptirler.

Cd uygulama seviyelerindeki ortalama kök ve gövde B içerikleri incelendiğinde, Cd seviyesindeki artışa bağlı olarak farklılıkların önemli olduğu, ancak kök B içeriğinin 0, 5 ve 10 mg l⁻¹ Cd uygulamalarında değişim göstermediği belirlenmiştir. Kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak B içeriği kökte 68,54 mg kg⁻¹, gövdede 80,90 mg kg⁻¹ iken en yüksek uygulama dozu olan 10 mg kg⁻¹ Cd'da gövdede 46,28 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir.

4.1.7. Cd ağır metalinin mısır genotiplerinin kök ve gövde aksamalarında Cd birikimi üzerine etkisi

Çizelge 4.20'de varyans analiz sonuçları incelendiğinde görüleceği gibi, Cd ağır metalinin mısır genotiplerinin kök ve gövde aksamalarında Cd birikimi üzerine etkisi istatistiksel olarak değerlendirildiğinde genotip, Cd seviyesi ile genotip*Cd seviyesi etkilerinin etkisi çok önemli olarak tespit edilmiştir (p<0,01).

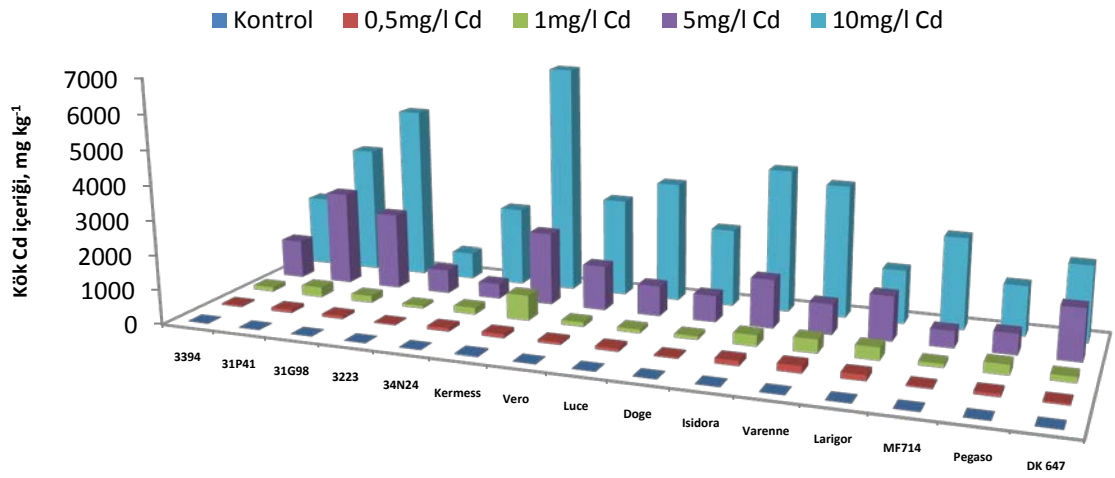
Çizelge 4.20. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır bitkisinin kök ve gövde Cd içeriğine ait varyans analiz sonuçları

	Varyans Kaynağı	S. D.	Cd mg kg ⁻¹			Varyans Kaynağı	S. D.	Cd mg kg ⁻¹	
			K.O.	F				K.O.	F
Kök	Genotip	14	2828126,28	33,73**	Gövde	Genotip	14	31528,33	105,12**
	Cd seviyesi	4	72222708,38	861,44**		Cd seviyesi	4	655422,67	2185,18**
	Genotip x Cd Seviyesi	56	1415162,96	16,88**		Genotip x Cd Seviyesi	56	10135,31	33,79**
	Hata	150	83839,135			Hata	150	299,94	
	Genel	225				Genel	225		

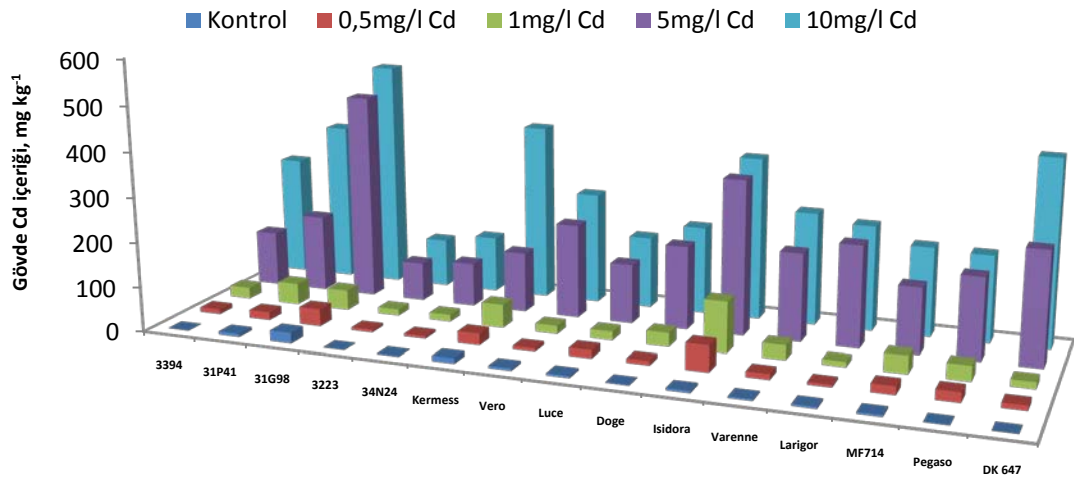
** : p<0,01 düzeyinde çok önemli, * : p<0,05 düzeyinde önemli, ns: Önemsiz

Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır çeşitlerinin kök ve gövde aksamlarında Cd birikimi üzerine etkisi incelendiğinde; uygulanan Cd konsantrasyonlarındaki artışa bağlı olarak tüm çeşitlerin kök ve gövdelerinde önemli miktarda Cd birikimi olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.16. A ve B). Kökte uygulanan yüksek Cd konsantrasyonunda ($10 \text{ mg l}^{-1} \text{ Cd}$) Kermess mısır çeşidinde Cd miktarı kontrole göre 206 kat artarken, bu artış Pegaso, 34N24 ve Luce çeşitlerinde sırası ile yaklaşık 2637, 2672 ve 2795 kat, DK647 mısır çeşidinde ise 8372 kat olmuştur. Gövdede ise 31G98, Kermess, Luce, Vero, MF714, 31P41, Larigor, Varenne, Isidora ve 34N24 çeşitlerinde Cd miktarı kontrole göre yaklaşık 22-77 kat artış gösterirken, bu artış Pegaso çeşidinde 205 kat, Doge de 217 kat, 3223 de 413 kat, 3394 de 570 kat ve DK647 çeşidinde 12498 kat olmuştur. Araştırma sonuçlarını destekler nitelikte, Tiryakioglu (2002), farklı iki arpa çeşidi üzerinde yaptığı çalışmada bitkilerin yetişme ortamına Cd uygulanması ile bitkilerin kök ve gövdelerinde Cd konsantrasyonunu artırdığını bildirmiştir. Fediuc and Erdei (2002), tarafından iki farklı kamış türü üzerinde yapılan bir çalışmada kullanılan Cd dozlarına göre kök ve gövdede Cd konsantrasyonunun arttığını tespit etmişlerdir. Öztürk vd (2003) farklı buğday çeşitleri (Balcalı-85 ve C-1252) üzerinde yaptıkları bir çalışmada bitkilerin köklerinin yeşil aksamlarına kıyasla daha yüksek derişimlerde Cd biriktirdiğini belirtmişlerdir.

(A)



(B)



Şekil 4.16. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Cd birikimi üzerine etkisi

Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövde aksamlarında Cd birikimine ait Duncan test sonuçları Çizelge 4.21'de verilmiştir. Tüm genotiplerde Cd birikimi uygulanan Cd seviyelerine bağlı olarak farklılık göstermiştir. Kökteki Cd birikimi gövdedeki birikimden fazla olmuştur. Uygulanan Cd seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek Cd içeriği kökte Kermess ($1933,01 \text{ mg kg}^{-1}$), gövdede ise 31G98 ($215,99 \text{ mg kg}^{-1}$) genotipinde tespit edilmiştir. Kök ve gövdede en düşük Cd

içeriği ise 3223 (kökte 318,17 mg kg⁻¹-gövdede 43,17 mg kg⁻¹) genotipinde belirlenmiştir.

Kök ve gövde Cd içeriğinin uygulama seviyelerindeki ortalama miktarları incelendiğinde, Cd seviyesindeki artışa bağlı olarak farklılıkların önemli olduğu belirlenmiştir. Kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak Cd içeriği kökte 4,09 mg kg⁻¹ gövdede ise 4,92 mg kg⁻¹ iken en yüksek uygulama dozu olan 10 mg l⁻¹ Cd'da kökte 3003,19 mg kg⁻¹, gövdede 269,82 mg kg⁻¹ olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.21. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un mısır genotiplerinin kök ve gövdede Cd birikimi üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları

Genotip	Kök Cd İçeriği, mg kg ⁻¹						Genotip	Gövde Cd İçeriği, mg kg ⁻¹					
	Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort		Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort
	0	0,5	1	5	10			0	0,5	1	5	10	
3394	1,99c	45,67c	132,53c	1115,00b	2071,75a	673,39GHJ	3394	0,48c	10,59c	25,41c	123,55b	271,88a	86,38EFG
31P41	4,93b	96,37b	294,59b	2738,83a	3748,63a	1376,67BC	31P41	7,13c	17,77c	47,60c	172,98b	360,46a	121,19D
31G98	3,12d	84,36d	204,34c	2238,00b	5082,23a	1522,41B	31G98	23,51c	38,45c	45,09c	462,11b	510,80a	215,99A
3223	1,19d	27,40b	79,52c	696,88b	785,88a	318,17K	3223	0,26d	5,89d	14,12c	86,81b	108,75a	43,17J
34N24	0,86b	102,51b	197,99b	442,20b	2297,60a	608,23HJ	34N24	1,64d	5,80cd	15,38c	98,04b	126,25a	49,42J
Kermess	32,33e	117,40d	738,30c	2107,00b	6670,00a	1933,01A	Kermess	11,83e	25,68d	52,30c	134,85b	396,25a	124,18D
Vero	1,72d	77,03c	131,57c	1305,89b	2842,67a	871,77EFG	Vero	5,48d	7,76d	18,29c	210,94b	250,74a	98,64EF
Luce	1,24c	91,45c	109,63c	881,74b	3475,40a	911,89EF	Luce	4,81b	18,50b	19,55b	133,09a	161,58a	67,51H
Doge	1,48e	38,55d	104,69c	772,00b	2246,97a	632,74HJ	Doge	0,91c	9,74bc	30,88b	186,39a	196,67a	84,92FG
Isidora	3,13e	144,85d	323,86c	1414,75b	4144,22a	1206,16CD	Isidora	4,77e	58,91d	113,74c	345,72b	364,52a	177,53B
Varenne	2,15b	205,01b	395,99b	884,40b	3829,33a	1063,38DE	Varenne	3,58d	12,39cd	33,09c	196,08b	252,50a	99,53E
Larigor	2,98b	167,13b	367,00b	1291,78a	1558,45a	677,47GHJ	Larigor	4,19b	5,79b	11,93b	226,33a	235,56a	96,76EF
MF714	3,34d	39,53d	111,69c	487,45b	2639,81a	656,36GHJ	MF714	4,25d	18,39cd	40,49c	147,76b	200,05a	82,19G
Pegaso	0,55e	84,02d	294,05c	603,93b	1450,43a	486,60JK	Pegaso	0,95c	22,14bc	34,13b	183,03a	195,02a	87,05EFG
DK647	0,26c	48,03c	169,16c	1495,65b	2204,47a	783,51FGH	DK647	0,03d	11,43cd	15,41c	252,80b	416,20a	139,18C
Ort	4,09D	91,29D	243,66C	1231,70B	3003,19A		Ort	4,92E	17,95D	34,49C	197,36B	269,82A	

Mısır genotiplerinde uygulama dozlarındaki biyolojik alınabilirlik indeks değerleri (BAİ) ve Transfer faktörü (TF) çizelge 4.22’de verilmiştir.

Çizelge 4.22. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasına bağlı olarak mısır genotiplerinin biyolojik alınabilirlik indeks değerleri (BAİ) ve Transfer faktörü (TF)

Genotip	Biyolojik alınabilirlik indeksi				Transfer faktörü			
	Cd seviyeleri, mg l ⁻¹				Cd seviyeleri ,mg l ⁻¹			
	0,5	1	5	10	0,5	1	5	10
3394	112,52	157,94	247,71	234,36	0,23	0,19	0,11	0,13
31P41	228,27	342,19	582,36	410,91	0,18	0,16	0,06	0,10
31G98	245,62	249,43	540,02	559,30	0,46	0,22	0,21	0,10
3223	66,57	93,64	156,74	89,46	0,21	0,18	0,12	0,14
34N24	216,62	213,37	108,05	242,39	0,06	0,08	0,22	0,05
Kermess	286,17	790,60	448,37	706,63	0,22	0,07	0,06	0,06
Vero	169,58	149,86	303,37	309,34	0,10	0,14	0,16	0,09
Luce	219,90	129,18	202,97	363,70	0,20	0,18	0,15	0,05
Doge	96,58	135,57	191,68	244,36	0,25	0,29	0,24	0,09
Isidora	407,53	437,60	352,09	450,87	0,41	0,35	0,24	0,09
Varenne	434,81	429,08	216,10	408,18	0,06	0,08	0,22	0,07
Larigor	345,83	378,93	303,62	179,40	0,03	0,03	0,18	0,15
MF714	115,85	152,18	127,04	283,99	0,47	0,36	0,30	0,08
Pegaso	212,33	328,18	157,39	164,55	0,26	0,12	0,30	0,13
DK647	118,91	184,57	349,69	262,07	0,24	0,09	0,17	0,19

BAİ, yetiştirme ortamından bitkiye ağır metal aktarımında bir ölçüdür. Bu değer, bitkideki ağır metal miktarının yetiştirme ortamındaki ağır metal miktarına oranıdır. Mısır genotiplerinin Cd akümülyasyon kapasitelerini belirlemede kullandığımız BAİ’ne göre mısır genotiplerinin toplam Cd içeriklerinin artan metal konsantrasyonuna bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. BAİ değerinin tüm genotiplerde 1’in üzerinde olması genotiplerin Cd akümülyasyonunda yüksek derecede etkili olduğu anlamına gelmektedir.

Gövdedeki metal miktarının kökteki metal miktarına oranı olarak tanımlanan transfer faktörü, bitkinin kökünden kök üstü aksamlarına Cd taşınımının etkinliğinin ölçülmesinde kullanılır. Transfer faktör değeri 1’in altında olduğunda bitkinin kök üstü aksamında az miktarda metal absorbladığı, 1’in üzerinde olduğunda ise aktif olarak metal biriktirdiği kabul edilmektedir. Çalışmaya konu olan genotiplerde uygulanan Cd içerikleri için tüm genotiplerimizde TF değeri 1’in altında bulunmuştur.

4.2. Pb Ağır Metalinin Mısır Genotipleri Üzerine Etkisi

4.2.1. Pb ağır metalinin mısır genotiplerinin kök ve gövde büyümesi üzerine etkisi

Kurşunun farklı konsantrasyonlarının etkisinde 45 gün boyunca yetiştirilen farklı mısır genotiplerinin gelişimini belirlemek için her bir uygulamaya ait saksılardan elde edilen bitkilerin kök ve gövde uzunlukları ölçülmüştür. Elde edilen veriler istatistiki olarak değerlendirildiğinde, kök uzunluğu üzerine genotip ve Pb seviyesinin etkisi çok önemli bulunurken, genotip*Pb seviyesi interaksiyonlarının etkisi önemsiz olarak belirlenmiştir. Gövde uzunluğunda ise genotip ve Pb seviyesinin etkisi $p<0,01$ düzeyinde çok önemli, genotip*Pb seviyesi interaksiyonları $p<0,05$ düzeyinde önemli olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.23).

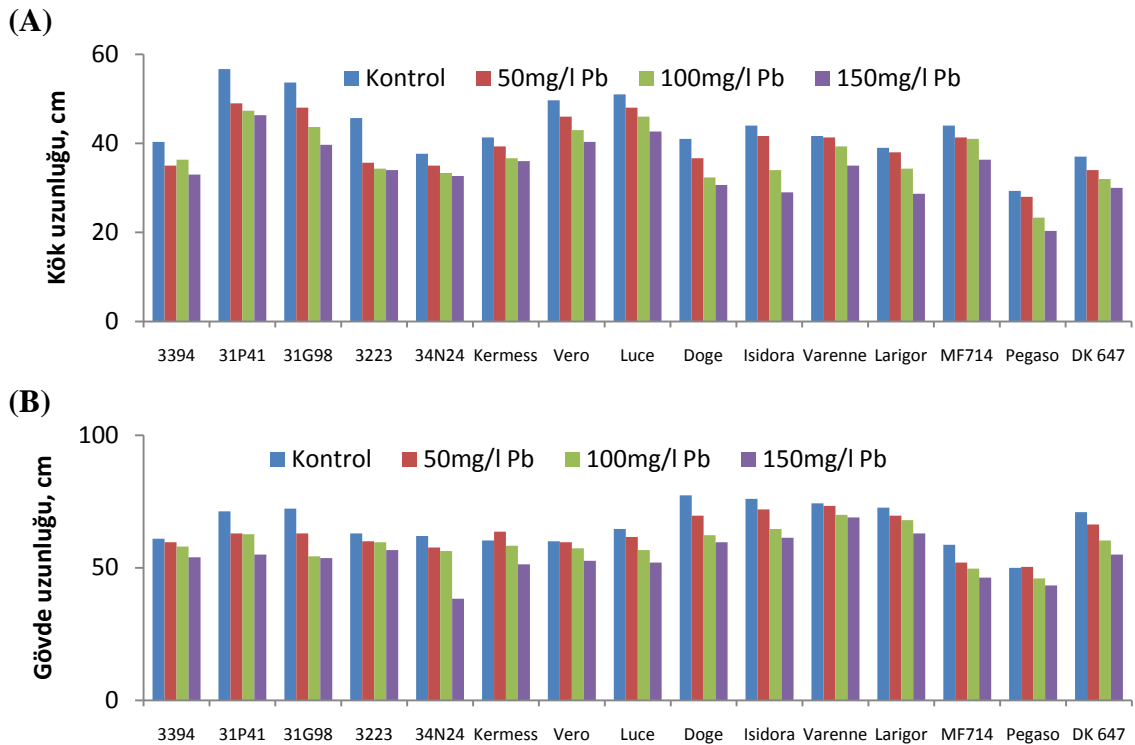
Çizelge 4.23. Farklı seviyelerde uygulanan Pb'un mısır bitkisinin kök gelişimi ve gövde verim kriterlerine ait varyans analiz sonuçları

Varyans Kaynağı	S. D.	Kök uzunluğu cm		Kök yaş ağırlığı g saksı ⁻¹		Kök kuru ağırlığı g saksı ⁻¹		Kök su içeriği %	
		K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F
Genotip	14	473,94	61,51**	114,01	66,38**	1,73	107,05**	41,79	46,61**
Pb seviyesi	3	684,69	88,86**	60,65	35,31**	0,12	7,39**	4,41	4,92**
Genotip x Pb Seviyesi	42	9,99	1,30 ^{ns}	4,07	2,37**	0,01	0,19 ^{ns}	2,16	2,41**
Hata	120	7,71		1,72		0,02		0,90	
Genel	180								
Varyans Kaynağı	S. D.	Gövde uzunluğu cm		Gövde yaş ağırlığı g saksı ⁻¹		Gövde kuru ağırlığı g saksı ⁻¹		Gövde su içeriği %	
		K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F
Genotip	14	539,07	38,20**	2666,13	107,86**	52,60	77,31**	237,90	83,51**
Pb seviyesi	3	1236,61	87,63**	422,14	17,08**	9,21	13,54**	1,01	0,36 ^{ns}
Genotip x Pb Seviyesi	42	26,16	1,85*	59,43	2,40**	0,40	0,581 ^{ns}	10,29	3,61**
Hata	120	14,11		24,72		0,68		2,85	
Genel	180								

** : $p<0,01$ düzeyinde çok önemli, * : $p<0,05$ düzeyinde önemli, ns: Önemsiz

Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb' un mısır genotiplerinin kök ve gövde uzunluklarına etkisi incelendiğinde; konsantrasyon artışına bağlı olarak tüm çeşitlerin kök ve gövde uzunluklarının azaldığı görülmüştür (Şekil 4.17. A ve B). Benzer şekilde, Pb'un *Sorghum bicolor* L.'de kök ve gövde gelişimini azalttığı rapor edilmiştir (Pandit and Prasannakumar 1999). Xiong (1998), bir hiper-akümülatör olan *Brassica pekinensis* Rupr.'da Pb alınımının çimlenme ve gelişmeye etkisini araştırmış, kök ve yeşil aksamlardaki uzamanın Pb artışına bağlı olarak azaldığını rapor etmiştir.

Uygulanan en yüksek Pb konsantrasyonunda (150 mg l^{-1} Pb); Kermess ve 34N24 çeşitlerinde kök uzunluğu kontrole göre yaklaşık %13 azalırken, Pegaso ve Isidora çeşitlerinde azalma sırasıyla %31 ve %34 olmuştur. Varenne çeşitinde gövde uzunluğu uygulanan en yüksek Pb konsantrasyonunda (150 mg l^{-1} Pb) kontrole göre %7 azalırken, bu oran 34N24 çeşitinde %38'e ulaşmıştır.



Şekil 4. 17. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) uzunluğu üzerine etkisi

Pb uygulamalarının mısır genotiplerinde kök ve gövde uzunluğu üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları Çizelge 4.24’de verilmiştir. Kermess genotipinde uygulanan Pb seviyelerine bağlı olarak kök ve gövde uzunluğunda önemli bir fark meydana gelmemiştir. Diğer genotiplerde uygulanan Pb seviyesine bağlı olarak kök uzunlukları farklılık göstermiştir. Uygulamaların ortalaması olarak en yüksek kök uzunluğu 49,83 cm ile 31P41 genotipinden, en düşük ise Pegaso (25,25 cm) genotipinden elde edilmiştir. Uygulanan Pb seviyelerinin ortalaması olarak gövde uzunluklarındaki değişim incelendiğinde, en yüksek gövde uzunluğu Varenne (71,67 cm) genotipinde, en düşük gövde uzunluğu ise Pegaso (47,42 cm) genotipinde tespit edilmiştir.

Çizelge 4.24. Farklı seviyelerde uygulanan Pb’un mısır genotiplerinin kök ve gövde uzunluğu üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları

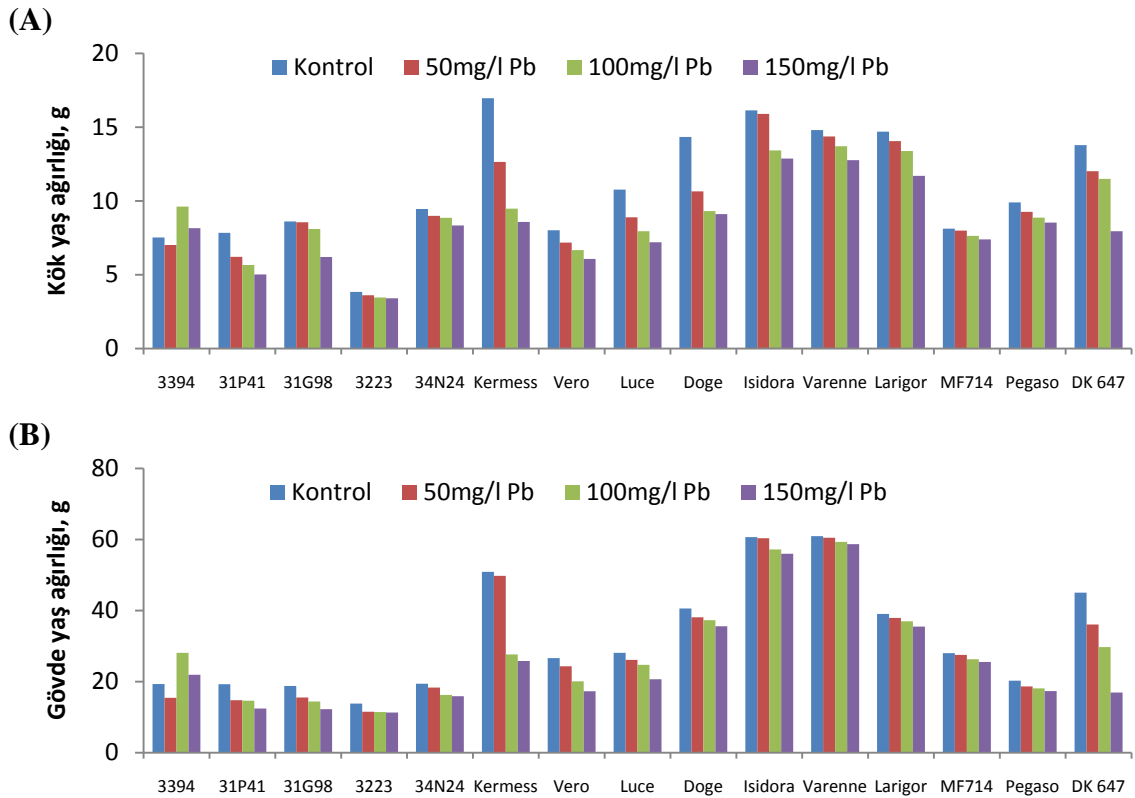
Genotip	Kök Uzunluğu, cm					Genotip	Gövde Uzunluğu, cm				
	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort		Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort
	0	50	100	150			0	50	100	150	
3394	40,33a	35,00b	36,33ab	33,00b	36,17EFG	3394	61,00a	59,67b	58,00c	54,00d	58,17E
31P41	56,67a	49,00ab	47,33ab	46,33b	49,83A	31P41	71,33a	63,00ab	62,67ab	55,00b	63,00CD
31G98	53,67a	48,00b	43,67bc	39,67c	46,25B	31G98	72,33a	63,00b	54,33c	53,67c	60,83CDE
3223	45,67a	35,67b	34,33b	34,00b	37,42DEF	3223	63,00a	60,00b	59,67b	56,67c	59,83DE
34N24	37,67a	35,00ab	33,33b	32,67b	34,67GH	34N24	62,00a	57,67a	56,33a	38,33b	53,58F
Kermess^{ns}	41,33	39,33	36,67	36,00	38,33CDE	Kermess^{ns}	60,33	63,67	58,33	51,33	58,42E
Vero	49,67a	46,00ab	43,00bc	40,33c	44,75B	Vero	60,00a	59,67a	57,33ab	52,67a	57,42E
Luce	51,00a	48,00b	46,00b	42,67c	46,92B	Luce	64,67a	61,67b	56,67c	52,00d	58,75E
Doge	41,00a	36,67ab	32,33b	30,67b	35,17FGH	Doge	77,33a	69,67ab	62,33b	59,67b	67,25B
Isidora	44,00a	41,67a	34,00b	29,00c	37,17DEF	Isidora	76,00a	72,00b	64,67c	61,33c	68,50B
Varenne	41,67a	41,33a	39,33b	35,00c	39,33CD	Varenne	74,33a	73,33ab	70,00ab	69,00b	71,67A
Larigor	39,00a	38,00ab	34,33b	28,67c	35,00FGH	Larigor	72,67a	69,67ab	68,00b	63,00c	68,33B
MF714	44,00a	41,33a	41,00a	36,33b	40,67C	MF714	58,67a	52,00b	49,67bc	46,33c	51,67F
Pegaso	29,33a	28,00a	23,33b	20,33b	25,25J	Pegaso	50,00a	50,33a	46,00ab	43,33b	47,42G
DK647	37,00a	34,00b	32,00bc	30,00c	33,25H	DK647	71,00a	66,33b	60,33c	55,00d	63,17C
Ort	43,47A	39,80B	37,13C	34,31D		Ort	66,31A	62,78B	58,96C	54,09D	

Tüm genotiplerin kök ve gövde uzunluklarının her bir uygulama seviyesindeki ortalamaları dikkate alındığında, Pb seviyesindeki artışla beraber kök ve gövde uzunluklarının önemli farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Kontrolde kök uzunluğu 43,47 cm ve gövde uzunluğu 66,31 cm iken en yüksek uygulama dozu olan 150 mg l⁻¹ Pb’de kök uzunluğu 34,31 cm’ye, gövde uzunluğu ise 54,09 cm’ye gerilemiştir.

4.2.2. Pb ağır metalinin mısır genotiplerinin kök ve gövde yaş ağırlığı üzerine etkisi

Artan konsantrasyonlarda Pb uygulanan mısır genotiplerinin kök ve gövde taze ağırlıkları istatistiksel olarak değerlendirildiğinde, genotip, Pb seviyesi ile genotip*Pb seviyesi interaksiyonlarının etkisi çok önemli ($p < 0,01$) olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.23).

Şekil 4.18. A ve B’de Pb uygulamalarının mısır genotiplerinin kök ve gövde yaş ağırlığı üzerine etkisi verilmiştir. Pb konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak kök ve gövde yaş ağırlıkları 3394 genotipinde yüksek uygulama seviyelerinde (100 ve 150 mg l⁻¹ Pb) kontrole göre artmış, diğer genotiplerde Pb uygulamalarında azalmıştır.



Şekil 4.18 Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) yaş ağırlığı üzerine etkisi

Uygulanan en yüksek Pb konsantrasyonunda (150 mg l^{-1} Pb); 3394 genotipinin yaş ağırlığı kontrole göre kökte %8, gövdede ise %14 artış göstermiştir. Kök yaş ağırlığı DK647 ve Kermess genotiplerinde sırası ile yaklaşık %42 ve %49; 34N24, 3223 ve MF714 genotiplerinde ise %12, %11 ve %9 oranında azalmıştır. Gövde yaş ağırlığındaki değişim incelendiğinde DK647 ve Kermess genotiplerinde %62 ve %49, Varenne de %4, Isidora da %8, Larigor ve MF714 genotiplerinde %9 azalma tespit edilmiştir.

Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır genotiplerinin kök ve gövde yaş ağırlığı üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları Çizelge 4.25'de görülmektedir. 3223, 34N24, Vero ve Doge genotiplerinde kök yaş ağırlığı, 34N24, Doge, Varenne ve MF714 genotiplerinde ise gövde yaş ağırlığı Pb uygulamalarına bağlı olarak farklılık göstermemiştir. Diğer genotiplerde uygulanan Pb seviyesine bağlı olarak kök ve gövde yaş ağırlıklarında önemli farklılıklar olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.25. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır genotiplerinin kök ve gövde yaş ağırlığı üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları

Genotip	Kök Yaş Ağırlığı, g saksı ⁻¹					Genotip	Gövde Yaş Ağırlığı, g saksı ⁻¹				
	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort		Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort
	0	50	100	150			0	50	100	150	
3394	7,52c	7,02bc	9,62a	8,16b	8,08DEF	3394	19,30a	15,44ab	28,08b	21,92b	21,19EFG
31P41	7,84a	6,22b	5,67bc	5,02c	6,19G	31P41	19,28a	14,78ab	14,63ab	12,45b	15,28JK
31G98	8,61a	8,55a	8,10a	6,20b	7,87EF	31G98	18,76a	15,53ab	14,42b	12,24b	15,24JK
3223^{ns}	3,84	3,61	3,46	3,40	3,58H	3223	13,83a	11,54b	11,43b	11,30b	12,02K
34N24^{ns}	9,46	8,99	8,86	8,34	8,91DE	34N24^{ns}	19,43	18,35	16,28	15,89	17,48HJ
Kermess	16,96a	12,64ab	9,48b	8,58b	11,92C	Kermess	50,91a	49,78a	27,64b	25,79b	38,53B
Vero^{ns}	8,02	7,18	6,67	6,08	6,99FG	Vero	26,62a	24,30ab	20,08ab	17,30b	22,08EF
Luce	10,77a	8,89b	7,95bc	7,20c	8,70DE	Luce	28,12a	26,14b	24,73b	20,65c	24,91DE
Doge^{ns}	14,33	10,65	9,32	9,11	10,85C	Doge^{ns}	40,59	38,09	37,29	35,60	37,89B
Isidora	16,14a	15,90a	13,43b	12,87b	14,59A	Isidora	60,64a	60,37a	57,20b	55,98b	58,55A
Varenne	14,80a	14,37a	13,71ab	12,76b	13,91AB	Varenne^{ns}	60,92	60,49	59,31	58,70	59,86A
Larigor	14,69a	14,06a	13,38a	11,71b	13,46B	Larigor	39,05a	37,91ab	36,98ab	35,49b	37,36B
MF714	8,12a	8,00a	7,64b	7,39b	7,79EF	MF714^{ns}	27,99	27,49	26,31	25,55	26,84D
Pegaso	9,90a	9,26b	8,87bc	8,54c	9,14D	Pegaso	20,25a	18,66b	18,10b	17,32b	18,58GHJ
DK647	13,78a	12,02ab	11,50ab	7,95b	11,31C	DK647	45,05a	36,08a	29,72ab	16,93b	31,95C
Ort	10,99A	9,82B	9,18C	8,22D		Ort	32,72A	30,33B	28,15C	25,54D	

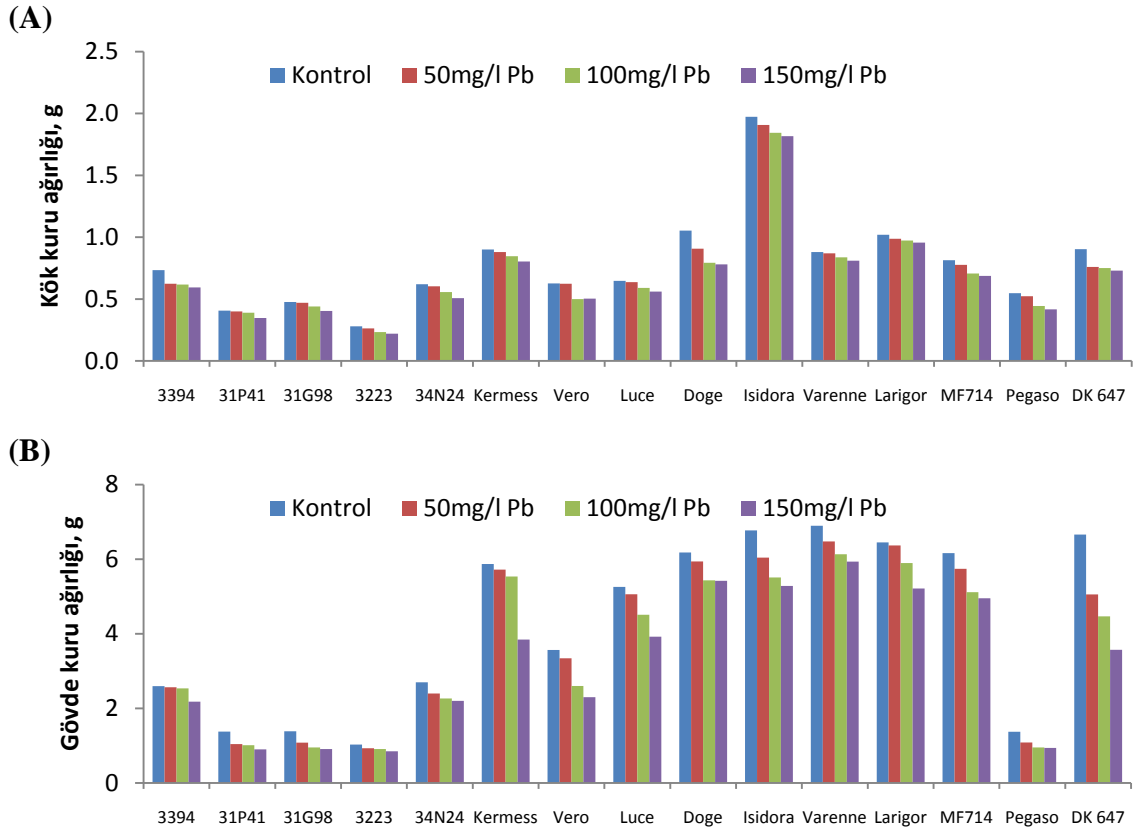
En yüksek kök yaş ağırlığı, uygulanan Pb seviyelerinin ortalaması olarak Isidora (14,59 g) genotipinden, en düşük ise 3,58 g ile 3223 genotipinden elde edilmiştir. Uygulama seviyelerinin ortalaması olarak gövde yaş ağırlıkları en yüksek Isidora (60,64 g) ve Varenne (60,92 g) genotiplerinde, en düşük ise 3223 (13,83 g) genotipinde tespit edilmiştir.

Her bir Pb uygulama seviyesinde tüm genotiplerin kök ve gövde yaş ağırlık ortalamaları incelendiğinde, Pb seviyesindeki artışla beraber kök ve gövde yaş ağırlıklarının farklılıklar gösterdiği görülmektedir. Kontrolde kök yaş ağırlığı 10,99 g iken en yüksek uygulama dozunda 8,22 g olarak belirlenmiştir. Gövde yaş ağırlığı ise kontrolde 32,72 g, 150 mg l⁻¹ Pb uygulamasında 25,54 g olarak tespit edilmiştir.

4.2.3. Pb ağır metalinin mısır genotiplerinin kök ve gövde kuru ağırlığı üzerine etkisi

Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb' un mısır çeşitlerinin kök ve gövde kuru ağırlığı üzerine etkisi istatistiksel olarak değerlendirildiğinde; genotip ve Pb seviyesinin etkisi çok önemli olarak bulunurken, genotip*Pb seviyesi interaksiyonlarının etkisi önemsiz olarak değerlendirilmiştir (Çizelge 4.23).

Kök ve gövde kuru ağırlığı tüm genotiplerde Pb stresine bağlı olarak azalma göstermiştir. Uygulanan en yüksek Pb konsantrasyonunda (150 mg l⁻¹ Pb); Larigor mısır çeşitinde kök kuru ağırlığı kontrole göre yaklaşık %6, Varenne ve Isidora çeşitlerinde %8 azalırken, Pegaso çeşitinde %24, Doge de ise %26 azalma tespit edilmiştir. Gövde kuru ağırlığı Doge ve Varenne çeşitlerinde sırasıyla %12 ve %14 azalırken, DK647 de %46 azalma olmuştur (Şekil 4.19. A ve B). Benzer şekilde, *Lens culinaris* ile yapılan bir çalışmada Pb'un artan konsantrasyonlarının, yaprak oluşumunu engellediği; yapraklarda klorozis, nekrozise ve solgunluğa neden olduğu; gövdede yaş ve kuru ağırlığı azalttığı bildirilmiştir (Jana and Barua 1987).



Şekil 4.19. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı mısır çeşitlerinde kök (A) ve gövde (B) kuru ağırlığı üzerine etkisi

Çizelge 4.26 Duncan çoklu karşılaştırma sonuçları incelendiğinde görüleceği gibi, 3394, 31G98, Kermess, Vero ve Doge genotiplerinde kök kuru ağırlığı, 3394, 34N24, Kermess ve Doge genotiplerinde ise gövde kuru ağırlığı Pb uygulamalarına bağlı olarak farklılık göstermemiştir. Diğer genotiplerde uygulanan Pb seviyelerinde kök ve gövde kuru ağırlıklarında önemli farklılıklar meydana gelmiştir.

Uygulanan Pb seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek kök kuru ağırlığı Isidora (1,89 g) genotipinde, en düşük ise 31P41 (0,39 g) ve 31G98 (0,45 g) genotiplerinden elde edilmiştir. En yüksek gövde kuru ağırlığı 6,36 g ile Varenne genotipinde elde edilirken, en düşük gövde kuru ağırlığı ise Pegaso (1,09 g), 31P41 (1,08 g), 31G98 (1,08 g) ve 3223 (0,93 g) genotiplerindedir. Diğer genotipler ise bu değerler arasında değişen kök ve gövde kuru ağırlık değerlerine sahiptirler.

Çizelge 4.26. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır genotiplerinin kök ve gövde kuru ağırlığı üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları

Genotip	Kök Kuru Ağırlığı, g saksı ⁻¹					Genotip	Gövde Kuru Ağırlığı, g saksı ⁻¹				
	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort		Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort
	0	50	100	150			0	50	100	150	
3394 ^{ns}	0,73	0,62	0,62	0,59	0,64E	3394 ^{ns}	2,59	2,57	2,53	2,18	2,47F
31P41	0,41a	0,40a	0,39a	0,35b	0,39G	31P41	1,38a	1,04b	1,01b	0,90b	1,08G
31G98 ^{ns}	0,48	0,47	0,44	0,40	0,45G	31G98	1,38a	1,08ab	0,95b	0,91b	1,08G
3223	0,28a	0,26ab	0,23ab	0,22b	0,25H	3223	1,03a	0,93ab	0,91ab	0,85b	0,93G
34N24	0,62a	0,60a	0,56ab	0,51b	0,57EF	34N24 ^{ns}	2,70	2,40	2,27	2,20	2,39F
Kermess ^{ns}	0,90	0,88	0,85	0,80	0,86CD	Kermess ^{ns}	5,87	5,72	5,54	3,84	5,24BCD
Vero ^{ns}	0,63	0,62	0,50	0,50	0,56EF	Vero	3,56a	3,34ab	2,60ab	2,30b	2,95F
Luce	0,65a	0,64ab	0,59bc	0,56c	0,61E	Luce	5,26a	5,06a	4,51ab	3,92b	4,69E
Doge ^{ns}	1,05	0,91	0,79	0,78	0,88BC	Doge ^{ns}	6,18	5,94	5,43	5,42	5,74AB
Isidora	1,97a	1,91ab	1,84b	1,82b	1,89A	Isidora	6,77a	6,04b	5,51bc	5,28c	5,90AB
Varenne	0,88a	0,87a	0,84b	0,81c	0,85CD	Varenne	6,90a	6,47ab	6,13ab	5,93b	6,36A
Larigor	1,02a	0,99ab	0,97ab	0,96b	0,98B	Larigor	6,45a	6,37a	5,90ab	5,21b	5,98AB
MF714	0,81a	0,78ab	0,71b	0,69b	0,75D	MF714	6,16a	5,74ab	5,11bc	4,95c	5,49BC
Pegaso	0,55a	0,52a	0,44b	0,42b	0,48FG	Pegaso	1,37a	1,09b	0,95b	0,94b	1,09G
DK647 ^{ns}	0,90	0,76	0,75	0,73	0,79CD	DK647	6,66a	5,05ab	4,47ab	3,57b	4,94DE
Ort	0,79A	0,75AB	0,70BC	0,68C		Ort	4,28A	3,92B	3,59B	3,23C	

Tüm mısır genotiplerinin Pb uygulama seviyelerindeki ortalama kök ve gövde kuru ağırlık değerleri incelendiğinde, Pb seviyesindeki artışa bağlı olarak kök ve gövde kuru ağırlıklarındaki farklılıkların önemli olduğu belirlenmiştir. Kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak kuru ağırlık kökte 0,79 g ve gövdede 4,28 g'dır. Buna karşın en yüksek uygulama dozu olan 150 mg l⁻¹ Pb'da kök kuru ağırlığı 0,68 g, gövde kuru ağırlığı ise 3,23 g olarak belirlenmiştir.

Mısır genotiplerinin artan seviyelerde uygulanan Pb'a bağlı olarak kuru ağırlık miktarları ile hesaplanan tolerans indeks değerleri Çizelge 4.27'de verilmiştir.

Çizelge 4.27. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasına bağlı olarak mısır genotiplerinin tolerans indeksleri

Genotip	Kök Tolerans İndeksi			Gövde Tolerans indeksi		
	Pb seviyeleri ,mg l ⁻¹			Pb seviyeleri ,mg l ⁻¹		
	50	100	150	50	100	150
3394	85	84	81	99	98	84
31P41	98	96	85	76	74	65
31G98	99	92	85	78	69	66
3223	94	83	79	91	88	83
34N24	97	90	82	89	84	82
Kerness	98	94	89	97	94	65
Vero	99	80	80	94	73	65
Luce	98	91	87	96	86	75
Doge	86	75	74	96	88	88
Isidora	97	93	92	89	81	78
Varenne	99	95	92	94	89	86
Larigor	97	95	94	99	91	81
MF714	95	87	84	93	83	80
Pegaso	96	81	76	79	69	68
DK647	84	83	81	76	67	54

Tolerans indeks değerleri incelendiğinde, 50 mg l⁻¹ Pb 31G98, Vero ve Varenne genotiplerinde kök tolerans indeks değeri %99, 3394, Doge ve DK647’de sırası ile %85, %86 ve %84 olarak belirlenmiştir. Kök tolerans indeksi 100 mg l⁻¹ Pb uygulama seviyesinde 31P41’de %96, Varenne ve Larigor genotiplerinde %95 olarak belirlenirken, Vero genotipinde %80, Doge’de ise %75 olarak tespit edilmiştir. En yüksek uygulama dozu olan 150 mg l⁻¹ Pb seviyesinde kök tolerans indeks değerleri Larigor, Isidora ve Varenne’de sırasıyla %94, %92 ve %92 olurken, bu değer Doge’de %74 ve Pegaso genotipinde %76 olmuştur.

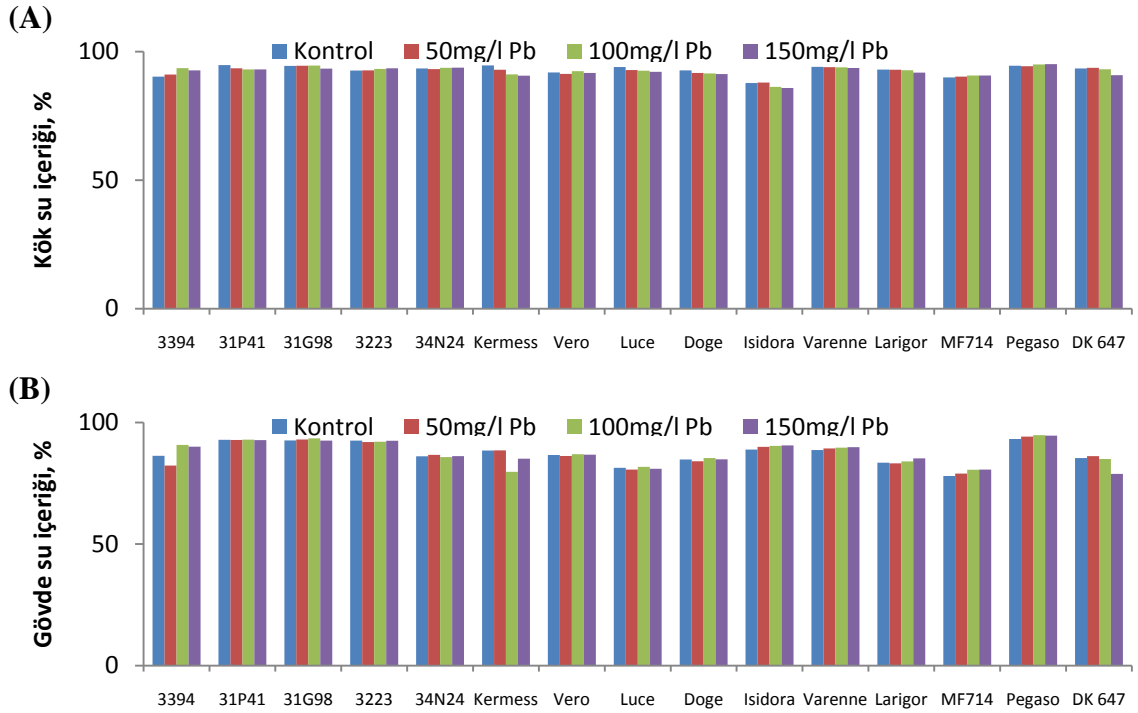
Gövde tolerans indeks değerleri incelendiğinde görüleceği gibi, 50 mg l⁻¹ Pb uygulamasında 3394 ve Larigor genotiplerinde tolerans indeks değeri %99 iken 31P41 ve DK647’de %76’ya gerilemiştir. Gövde tolerans indeksi 100 mg l⁻¹ Pb uygulama seviyesinde 3394 genotipinde %98 olarak belirlenirken, DK647’de %67, 31G98 ve Pegaso genotiplerinde ise %69 olmuştur. En yüksek uygulama dozu olan 150 mg l⁻¹ Pb

seviyesinde gövde tolerans indeks değerleri Doge ve Varenne'de sırasıyla %88 ve %86 olurken, bu değer DK647'de %54 olarak tespit edilmiştir.

Her bir uygulama seviyesindeki tolerans indeks değerlerine bağlı olarak yapılan puanlandırmaya göre kök tolerans sıralaması; Varenne (40)> Larigor (37)> 31P41 (36)> Kermess (34)> 31G98, Luce ve Isidora (32)> 34N24 (24)> Vero (21)> MF714 (20) 3394 (14)> 3223 (12)> Pegaso (11)> DK647 (10)> Doge (5), gövde tolerans sıralaması ise; 3394 (43)> Larigor (37)> Doge ve Varenne (36)> Kermess (31)> 3223 (30)> Luce (28)> 34N24 ve MF714 (24)> Isidora (20)> Vero (15)> Pegaso (13)> 31G98 (10)> 31P41 (9)> DK647 (4) şeklindedir.

4.2.4. Pb ağır metalinin mısır genotiplerinin kök ve gövde su içeriği üzerine etkisi

Artan seviyelerde Pb uygulanan mısır genotiplerinin kök ve gövde su içeriklerine ait veriler istatistiksel olarak değerlendirildiğinde, kök su içeriği üzerine genotip, Pb seviyesi ile genotip*Pb seviyesi interaksyonlarının etkisi çok önemli olarak belirlenmiştir. Gövde su içeriği üzerine Pb seviyelerinin etkisi önemsiz olarak bulunurken, genotip ve genotip*Pb interaksyonlarının etkisi çok önemli olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.23).



Şekil 4.20. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) su içeriği üzerine etkisi

Kök ve gövde su içeriği yüksek Pb konsantrasyonunda ($150 \text{ mg l}^{-1} \text{ Pb}$) kontrole göre Kermess (kökte ve gövdede %4) ve DK647 (kökte %3-gövdede %8) çeşitlerinde önemli düzeyde azalırken, 3394 genotipinde kökte %3, gövdede ise %4'lük bir artış sergilemiştir (Şekil 4.20. A ve B).

Mısır genotiplerinin kök ve gövde su içeriği üzerine Pb uygulamalarının etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları Çizelge 4.28'de verilmiştir. 31G98, 3223, 34N24, Vero, Doge, Varenne ve MF714 genotiplerinde kök su içeriği, 31P41, 31G98, 3223, 34N24, Vero, Luce, Doge, Varenne, Larigor ve MF714 genotiplerinde ise gövde su içeriği Pb uygulamalarına bağlı olarak önemli farklılıklar göstermemektedir. En yüksek kök ve gövde su içeriği, uygulanan Pb seviyelerinin ortalaması olarak Pegaso genotipinden (kökte %94,74-gövdede %94,18) elde edilirken, en düşük kök su içeriği %86,98 ile Isidora, en düşük gövde su içeriği ise %81,17 ile Luce genotipinden elde edilmiştir.

Çizelge 4.28. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır genotiplerinin kök ve gövde su içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları

Genotip	Kök Su İçeriği, %					Genotip	Gövde Su İçeriği, %				
	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort		Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort
	0	50	100	150			0	50	100	150	
3394	90,28c	91,07bc	93,60a	92,72ab	91,92E	3394	86,27ab	82,27b	90,75a	90,03a	87,33D
31P41	94,77a	93,51b	93,09b	93,09b	93,62BC	31P41^{ns}	92,86	92,80	92,91	92,73	92,83AB
31G98^{ns}	94,47	94,52	94,55	93,41	94,24AB	31G98^{ns}	92,63	93,02	93,43	92,55	92,91AB
3223^{ns}	92,66	92,70	93,24	93,48	93,02CD	3223^{ns}	92,57	91,92	92,06	92,46	92,26B
34N24^{ns}	93,44	93,20	93,68	93,77	93,52BC	34N24^{ns}	86,10	86,70	85,76	86,15	86,18DEF
Kermess	94,62a	92,95ab	91,11ab	90,62b	92,33DE	Kermess	88,45a	88,53a	79,73b	85,09ab	85,45EF
Vero^{ns}	91,89	91,30	92,38	91,72	91,82E	Vero^{ns}	86,62	86,25	86,95	86,73	86,64DE
Luce	94,00a	92,82b	92,57b	92,14b	92,88CD	Luce^{ns}	81,32	80,63	81,76	80,96	81,17H
Doge^{ns}	92,68	91,67	91,51	91,29	91,79E	Doge^{ns}	84,77	84,05	85,38	84,87	84,77FG
Isidora	87,78a	88,00a	86,27b	85,87b	86,98G	Isidora	88,83b	90,00a	90,37a	90,56a	89,94C
Varenne^{ns}	94,05	93,92	93,89	93,65	93,88B	Varenne^{ns}	88,68	89,31	89,65	89,85	89,37C
Larigor	93,04a	92,95a	92,73a	91,82b	92,64DF	Larigor^{ns}	83,48	83,19	84,01	85,26	83,99G
MF714^{ns}	89,98	90,30	90,73	90,71	90,43F	MF714^{ns}	77,99	78,97	80,55	80,60	79,53J
Pegaso	94,48b	94,34b	95,00a	95,12a	94,74A	Pegaso	93,22b	94,17a	94,75a	94,57a	94,18A
DK647	93,42a	93,72a	93,16a	90,81b	92,78CD	DK647	85,39a	86,13a	84,96a	78,87b	83,84G
Ort	92,77A	92,46A	92,50A	92,01B		Ort^{ns}	87,28	87,20	87,53	87,42	

Her bir Pb seviyesindeki tüm genotiplerin kök ve gövde su içeriği ortalamaları incelendiğinde, kök su içeriklerinin sadece 150 mg l⁻¹ Pb uygulamasında farklılık gösterdiği, gövde su içeriğinde ise Pb seviyelerinde fark olmadığı görülmektedir.

4.2.5. Pb ağır metalinin mısır genotiplerinin klorofil içeriği (SPAD değeri) üzerine etkisi

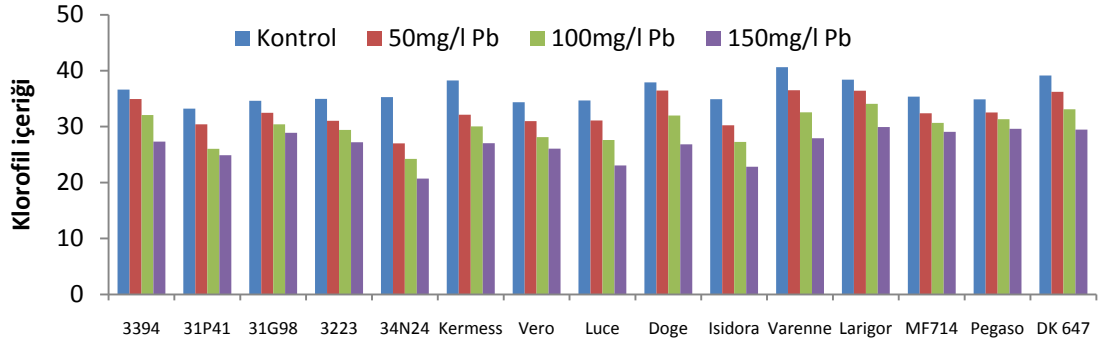
Pb ağır metalinin mısır genotiplerinin klorofil içerikleri üzerine etkisi istatistiksel olarak değerlendirildiğinde genotip, Pb seviyesi ile genotip*Pb seviyesi interaksiyonlarının etkisi çok önemli olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.29). Genotiplerin klorofil içeriklerinin uygulama seviyesindeki artışla beraber azaldığı Şekil 4.21'de görülmektedir.

Çizelge 4.29. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır genotiplerinin klorofil içeriğine ait varyans analizi ve Duncan test sonuçları

Varyans Kaynağı	S. D.	Klorofil		
		K.O.	F	
Genotip	14	68,09		46,34**
Pb seviyesi	3	734,63		499,99**
Genotip x Pb Seviyesi	42	5,38		3,66**
Hata	120	1,47		
Genel	180			

Genotip	Klorofil içeriği, SPAD				
	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				
	0	50	100	150	Ort
3394	36,63a	34,93a	32,07b	27,33c	32,74BC
31P41	33,23a	30,40b	26,03c	24,90c	28,64H
31G98	34,63a	32,47ab	30,40cd	28,90d	31,60DE
3223	34,97a	31,03b	29,40c	27,20d	30,65EF
34N24	35,27a	27,00b	24,23c	20,70d	26,80J
Kermess	38,27a	32,13b	30,03c	27,03d	31,87CD
Vero	34,37a	31,00b	28,13c	26,07c	29,89FG
Luce	34,67a	31,10b	27,60c	23,07d	29,11GH
Doge	37,90a	36,47b	32,00c	26,83d	33,30B
Isidora	34,90a	30,23b	27,27c	22,83d	28,81H
Varenne	40,63a	36,50b	32,57c	27,93d	34,41A
Larigor	38,40a	36,43b	34,07c	29,93d	34,71A
MF714	35,37a	32,40b	30,67bc	29,07c	31,88CD
Pegaso^{ns}	34,87	32,53	31,33	29,60	32,08CD
DK647	39,13a	36,23a	33,10b	29,47c	34,48A
Ort	36,22A	32,72B	29,93C	26,72D	

Pegaso, 31G98 ve MF714 mısır çeşitlerinin SPAD değerleri, uygulanan en yüksek Pb konsantrasyonunda (150 ppm Pb); kontrole göre yaklaşık olarak sırasıyla %15, %17 ve %18 azalırken, 34N24 de %41 azalma olmuştur. Fotosentez, kurşun toksisitesine en hassas metabolik olaylardan biridir. Kurşun tarafından toplam klorofil düzeyinin azalması yulaf (Fiussello and Molinari 1973), su bitkileri (Jana and Chaudhary 1984), salatalık (Burzynski 1985), soya fasulyesi (Prasad and Prasad 1987; Dabas 1992), mısır ve bezelye (Sinha *et. al.* 1988a; Sinha *et. al.* 1988b) gibi bazı bitkilerde de gözlenmiştir.



Şekil 4.21. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı mısır genotiplerinde klorofil içeriği (SPAD değeri) üzerine etkisi

Duncan test sonuçları incelendiğinde görüleceği gibi, Pegaso genotipi klorofil içeriği yönünden Pb uygulamalarından etkilemezken diğer genotiplerde uygulamalar arasında farklılıklar tespit edilmiştir. Uygulanan Pb seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek klorofil içeriği Varenne (34,41), DK647 (34,48) ve Larigor (34,71) genotiplerinde, en düşük klorofil içeriği ise 34N24 (26,80) genotipinde görülmüştür. Diğer genotipler ise bu değerler arasında değişen klorofil içeriğine sahiptirler.

Her bir uygulama seviyesindeki ortalama klorofil içeriği incelendiğinde, Pb seviyesindeki artışa bağlı olarak klorofil içeriğindeki farklılıkların önemli olduğu belirlenmiştir. Bu bağlamda kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak klorofil miktarı 36,22 iken en yüksek uygulama dozu olan 150 mg l⁻¹ Pb'da 26,72 olarak belirlenmiştir.

4.2.6. Pb ağır metalinin mısır genotiplerinin besin elementi içeriği üzerine etkisi

Besin çözeltisine uygulanan artan dozlardaki Pb'un, mısır çeşitlerinin farklı aksamalarının besin içeriği üzerine olan etkisini belirlemek amacıyla bitkiler kök ve gövde olarak ayrılarak analize tabi tutulmuşlardır. Artan Pb konsantrasyonları bitki mineral içeriğini önemli oranda etkilemiştir.

4.2.6.1. Pb ağır metalinin mısır genotiplerinin makro besin elementi (N, P, K, Ca ve Mg) içeriği üzerine etkisi

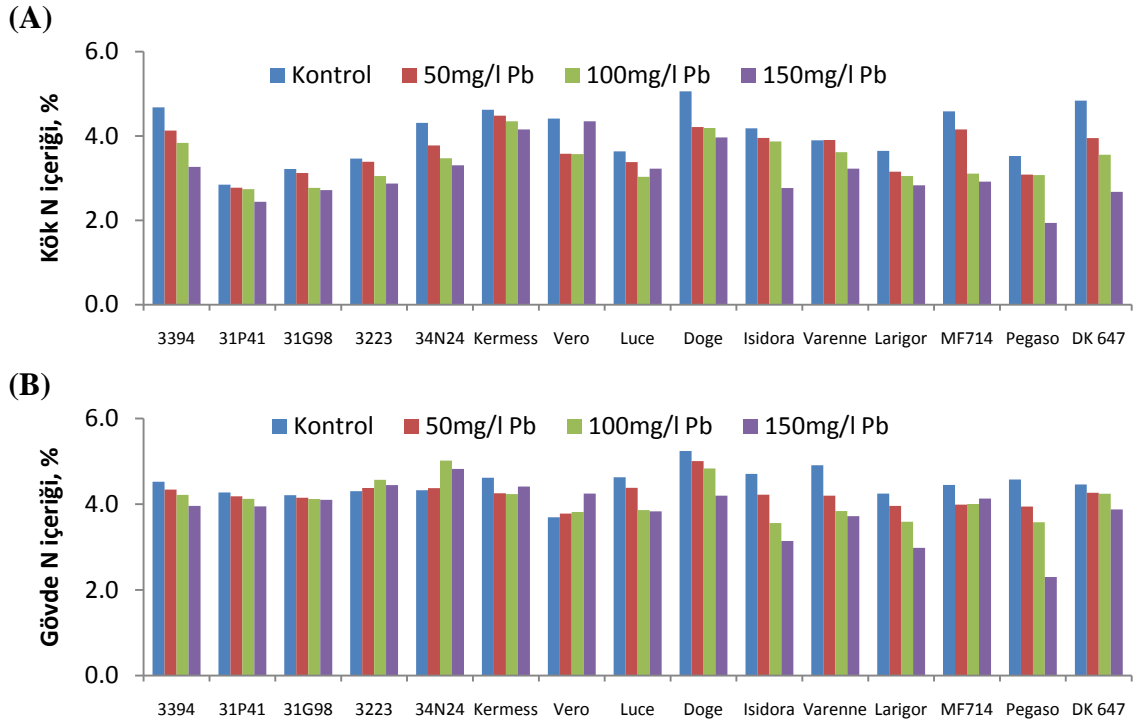
Çizelge 4.30'da varyans analiz sonuçları incelendiğinde görüleceği gibi, Pb uygulamalarına bağlı olarak mısır genotiplerinin kök ve gövde aksamalarının N, P, K, Ca ve Mg içerikleri istatistiksel olarak değerlendirildiğinde genotip, Pb seviyesi ile genotip*Pb seviyesi interaksiyonlarının etkisi çok önemli olarak tespit edilmiştir ($p<0,01$).

Çizelge 4.30. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır bitkisinin kök ve gövde N, P, K, Ca ve Mg içeriğine ait varyans analiz sonuçları

	Varyans Kaynağı	S. D.	N %		P %		K %		Ca %		Mg %	
			K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F
Kök	Genotip	14	3,15	57,00**	2,06	124,97**	7,16	136,32**	1,46	117,76**	0,03	36,88**
	Pb seviyesi	3	7,27	131,46**	4,54	275,56**	10,01	190,60**	0,45	35,93**	0,07	82,51**
	Genotip x Pb Seviyesi	42	0,29	5,33**	0,42	25,46**	1,42	27,00**	0,59	47,42**	0,02	22,29**
	Hata	120	0,06		0,02		0,05		0,01		0,01	
	Genel	180										
Gövde	Genotip	14	1,25	11,98**	1,66	179,14**	34,64	95,69**	0,79	99,36**	0,02	47,87**
	Pb seviyesi	3	2,84	27,11**	0,29	30,91**	7,04	19,44**	0,38	46,96**	0,01	22,06**
	Genotip x Pb Seviyesi	42	0,39	3,68**	0,09	9,90**	3,08	8,52**	0,15	18,56**	0,01	18,17**
	Hata	120	0,11		0,01		0,36		0,01		0,01	
	Genel	180										

** : $p<0,01$ düzeyinde çok önemli, * : $p<0,05$ düzeyinde önemli, ns: Önemsiz

Şekil 4.22'de mısır genotiplerine artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un kök (A) ve gövde (B) N içeriğine etkisi incelendiğinde görüleceği gibi, Pb uygulamaları bitki N içeriğini önemli düzeyde etkilemiştir. Tüm çeşitlerde gövdedeki N birikimi kökten fazladır. Kök azot içeriği genel itibariyle tüm genotiplerde uygulama dozundaki artışa bağlı olarak azalma göstermiştir. Gövdedeki N içeriğinin ise 3223, 34N24 ve Vero'da Pb uygulamasına bağlı olarak artış gösterdiği, diğer çeşitlerde ise azaldığı tespit edilmiştir. 3223 ve Vero genotiplerindeki artış istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur.



Şekil 4.22. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) N içeriği üzerine etkisi

Çizelge 4.31’de verilen Duncan test sonuçları incelendiğinde, kök N içeriği 31P41 genotipinde, gövde N içeriği ise 31P41, 31G98, 3223, Vero, Luce ve MF714 genotiplerinde Pb uygulamasından etkilenmemiştir. Diğer çeşitlerde Pb uygulamasına bağlı olarak kök ve gövde N içeriğinde önemli farklılıklar mevcuttur.

Uygulanan Pb seviyelerinin ortalaması olarak kök N içeriği en yüksek Doge (%4,36) ve Kermess (%4,40) genotiplerinde, en düşük ise 31P41 (%2,70) genotipinde tespit edilmiştir. Pb uygulama seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek gövde N içeriği Doge (%4,82), en düşük ise Pegaso (%3,60) çeşitinde belirlenmiştir. Diğer genotipler ise bu değerler arasında değişen kök ve gövde N içeriğine sahiptirler.

Her bir Pb uygulama seviyesindeki ortalama kök ve gövde N içeriği incelendiğinde, Pb seviyesindeki artışa bağlı olarak farklılıkların tüm çeşitlerde önemli olduğu belirlenmiştir. Kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak N içeriği kökte %4,06,

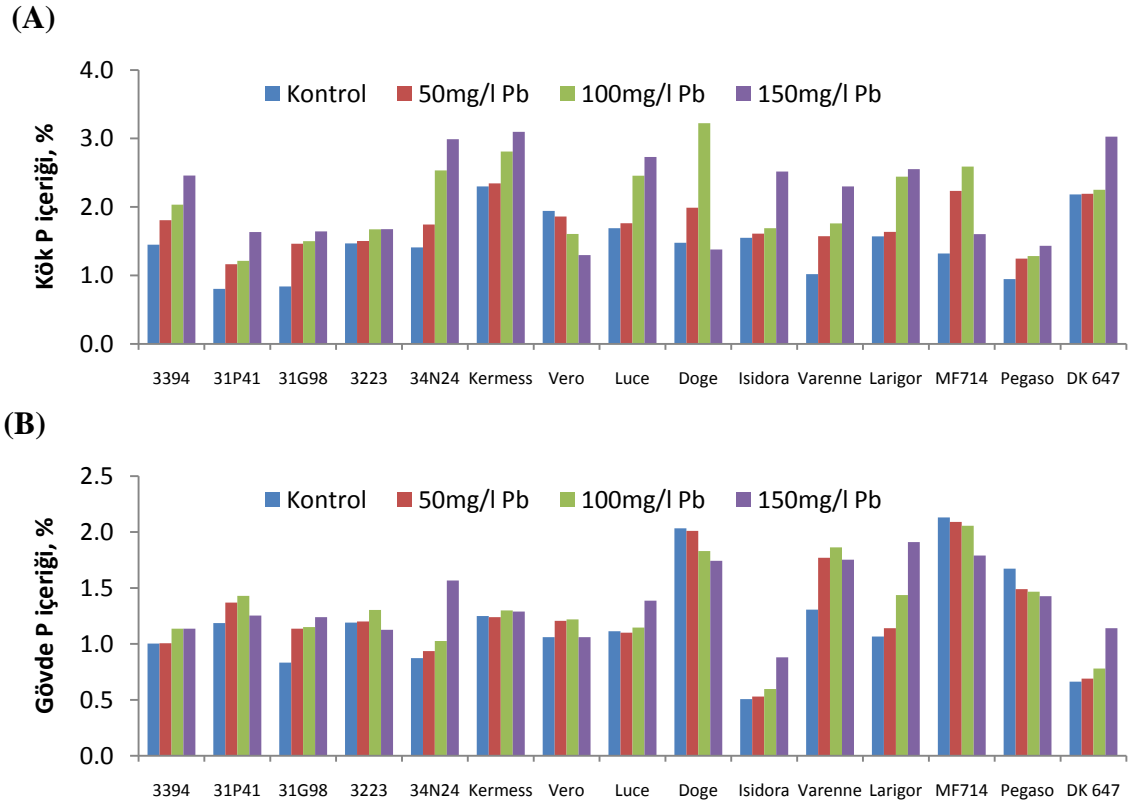
gövdede %4,48 iken en yüksek uygulama dozu olan 150 mg l⁻¹ Pb’da kökte %3,11 ve gövdede %3,87’dir.

Çizelge 4.31. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb’un mısır genotiplerinin kök ve gövde N içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları

Genotip	Kök N İçeriği, %					Genotip	Gövde N İçeriği, %				
	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort		Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort
	0	50	100	150			0	50	100	150	
3394	4,68a	4,13b	3,84b	3,27c	3,98B	3394	4,52a	4,34ab	4,22b	3,96c	4,26C
31P41^{ns}	2,85	2,77	2,74	2,44	2,70F	31P41^{ns}	4,27	4,18	4,12	3,95	4,13CD
31G98	3,22a	3,12a	2,77b	2,72b	2,96E	31G98^{ns}	4,21	4,15	4,12	4,10	4,15CD
3223	3,46a	3,39a	3,05b	2,87b	3,19D	3223^{ns}	4,30	4,38	4,57	4,45	4,42BC
34N24	4,31a	3,78b	3,47c	3,30c	3,72C	34N24	4,33b	4,37b	5,02a	4,82a	4,64AB
Kermess	4,62a	4,48b	4,35c	4,16d	4,40A	Kermess	4,62a	4,25b	4,24b	4,41ab	4,38BC
Vero	4,41a	3,58b	3,57b	4,35a	3,98B	Vero^{ns}	3,69	3,78	3,82	4,25	3,88DE
Luce	3,63a	3,38b	3,03c	3,23b	3,32D	Luce^{ns}	4,63	4,38	3,86	3,83	4,18CD
Doge	5,06a	4,21b	4,19b	3,97b	4,36A	Doge	5,24a	5,01ab	4,83b	4,20c	4,82A
Isidora	4,18a	3,95a	3,87a	2,77b	3,69C	Isidora	4,71a	4,22a	3,56b	3,14b	3,91DE
Varenne	3,90a	3,90a	3,62ab	3,23b	3,66C	Varenne	4,91a	4,20b	3,84c	3,72c	4,17CD
Larigor	3,65a	3,15ab	3,05ab	2,83b	3,17D	Larigor	4,25a	3,96a	3,59ab	2,98b	3,69EF
MF714	4,58a	4,15b	3,11c	2,92c	3,69C	MF714^{ns}	4,45	3,99	4,00	4,13	4,14CA
Pegaso	3,52a	3,09b	3,07b	1,94c	2,91E	Pegaso	4,58a	3,94ab	3,58b	2,30c	3,60F
DK647	4,84a	3,95ab	3,56bc	2,68c	3,76C	DK647	4,46a	4,27b	4,24b	3,88c	4,21C
Ort	4,06A	3,67B	3,42C	3,11D		Ort	4,48A	4,23B	4,11B	3,87C	

Farklı seviyelerde Pb stresine maruz bırakılan mısır genotiplerinin kök ve gövde P içerikleri Şekil 4.23’de incelendiğinde görüleceği gibi, artan Pb konsantrasyonları bitki P içeriğini önemli düzeyde etkilemiştir. Tüm genotiplerde kökteki P birikimi gövdedeki birikimden fazladır.

Genel olarak kök P içeriği Pb uygulamasına bağlı olarak Vero genotipinde azalmış, Doge ve MF714’de 100 mg l⁻¹ Pb seviyesine kadar artıp, 150 mg l⁻¹ Pb seviyesinde azalmış ve diğer tüm genotiplerde artış göstermiştir. Gövde P içeriğinin ise Doge, MF714 ve Pegaso genotiplerinde uygulama seviyesindeki artışla azaldığı, diğer genotiplerde arttığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.23. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) P içeriği üzerine etkisi

Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır genotiplerinin kök ve gövde P içeriklerine ait Duncan test sonuçları Çizelge 4.32'de verilmiştir. Kök P içeriği 3223, gövde P içeriği ise 3394, 31G98, Kermess ve Vero mısır çeşitlerinde uygulanan Pb konsantrasyonlarından etkilenmemiştir.

Uygulanan Pb seviyelerinin ortalaması dikkate alındığında kök P içeriği en yüksek Kermess (%2,64) genotipinde, en düşük 31P41 (%1,20) ve Pegaso (%1,23) genotiplerinde tespit edilmiştir. Çeşitlerin gövde P içerikleri ise %2,18 (MF714) ve %0,63 (Isidora) arasında değişen değerlere sahip olmuştur.

Her bir Pb seviyesindeki ortalama kök ve gövde P içerikleri incelendiğinde, artan Pb konsantrasyonuna bağlı olarak farklılıkların önemli olduğu belirlenmiştir. Kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak P içeriği kökte %1,16, gövdede ise %1,19'dur. En

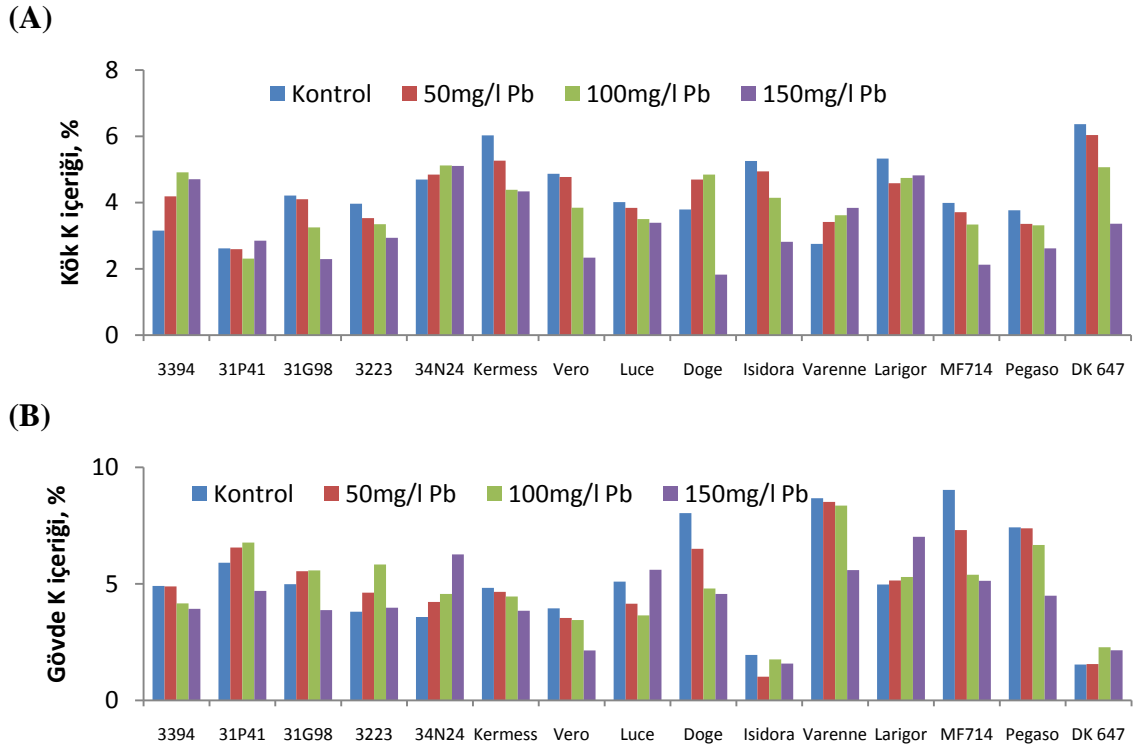
yüksek uygulama dozu olan 150 mg l⁻¹ Pb'da ise kökte %2,16 ve gövdede %1,38 P tespit edilmiştir.

Çizelge 4.32. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır genotiplerinin kök ve gövde P içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları

Genotip	Kök P İçeriği, %					Genotip	Gövde P İçeriği, %				
	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort		Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort
	0	50	100	150			0	50	100	150	
3394	1,45d	1,81c	2,03b	2,46a	1,94EF	3394^{ns}	1,00	1,01	1,14	1,14	1,07J
31P41	0,80c	1,16b	1,21b	1,63a	1,20J	31P41^{ns}	1,19	1,37	1,43	1,25	1,31F
31G98	0,84c	1,46b	1,50b	1,64a	1,36H	31G98	0,83b	1,14a	1,15a	1,24a	1,09J
3223^{ns}	1,47	1,50	1,67	1,68	1,58G	3223	1,19ab	1,20ab	1,30a	1,13b	1,21GH
34N24	1,41c	1,74c	2,53b	2,99a	2,17C	34N24	0,87b	0,94b	1,03b	1,57a	1,10J
Kermess	2,30c	2,34c	2,81b	3,10a	2,64A	Kermess^{ns}	1,25	1,24	1,30	1,29	1,27FG
Vero	1,94a	1,86ab	1,61b	1,30c	1,68B	Vero^{ns}	1,06	1,21	1,22	1,06	1,14HJ
Luce	1,69c	1,76c	2,46b	2,73a	2,16C	Luce	1,11b	1,10b	1,15b	1,39a	1,19H
Doge	1,48c	1,99b	3,22a	1,38c	2,02DE	Doge	2,03a	2,01a	1,83ab	1,74a	1,90B
Isidora	1,55b	1,61b	1,69b	2,52a	1,84F	Isidora	0,51b	0,53b	0,60b	0,88a	0,63L
Varenne	1,02c	1,57b	1,76b	2,30a	1,66G	Varenne	1,31b	1,77a	1,86a	1,75a	1,67C
Larigor	1,57b	1,64b	2,44a	2,55a	2,05D	Larigor	1,07c	1,14c	1,44b	1,91a	1,39E
MF714	1,32d	2,23b	2,59a	1,60c	1,94EF	MF714	2,13a	2,09a	2,06a	1,79b	2,02A
Pegaso	0,95c	1,25b	1,28b	1,43a	1,23J	Pegaso	1,67a	1,49b	1,47b	1,43b	1,51D
DK647	2,18b	2,19b	2,25b	3,03a	2,41B	DK647	0,66b	0,69b	0,78b	1,14a	0,82K
Ort	1,46D	1,74C	2,07B	2,16A		Ort	1,19D	1,26C	1,32B	1,38A	

Mısır çeşitlerine artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un kök (A) ve gövde (B) K içeriğine etkisi Şekil 4.24'de gösterilmiştir. Gövdedeki K birikimi tüm çeşitlerde kökten fazladır.

Kök K içeriği, 3394, 34N24 ve Varenne genotiplerinde Pb seviyelerindeki artışa bağlı olarak artarken, 31P41'de 100 mg l⁻¹ Pb seviyesine kadar azalmış 150 mg l⁻¹ Pb seviyesinde kontrole göre artış göstermiştir. Ayrıca Doge genotipinde kök K içeriği 100 mg l⁻¹ Pb seviyesine kadar artmış, 150 mg l⁻¹ Pb seviyesinde ise kontrole göre azalmıştır. Diğer genotiplerde uygulanan Pb miktarının artışı ile kök K içeriğinde azalma tespit edilmiştir.



Şekil 4.24. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) K içeriği üzerine etkisi

Pb stresi altında genotiplerin gövde K içeriğindeki değişim incelendiğinde, Larigor ve DK647’de Pb artışına paralel olarak K içeriğinin arttığı; 31P41, 31G98 ve 3223 genotiplerinde 100 mg l^{-1} Pb seviyesine kadar artış olduğu ve 150 mg l^{-1} Pb seviyesinde ise azaldığı tespit edilmiştir. Luce genotipinde ise gövde K içeriği 100 mg l^{-1} Pb seviyesine kadar azalmış 150 mg l^{-1} Pb seviyesinde ise kontrole göre artmıştır. Diğer genotiplerde Pb konsantrasyonunun artışı gövde K içeriğinin azalmasına sebep olmuştur.

Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb’un mısır genotiplerinin kök ve gövde K içeriğine ait Duncan test sonuçları Çizelge 4.33 de verilmiştir. Tüm çeşitlerin kök K içeriği uygulanan Pb seviyelerine bağlı olarak farklılık gösterirken, gövde K içeriği 3394 genotipinde Pb uygulamasından etkilenmemiştir.

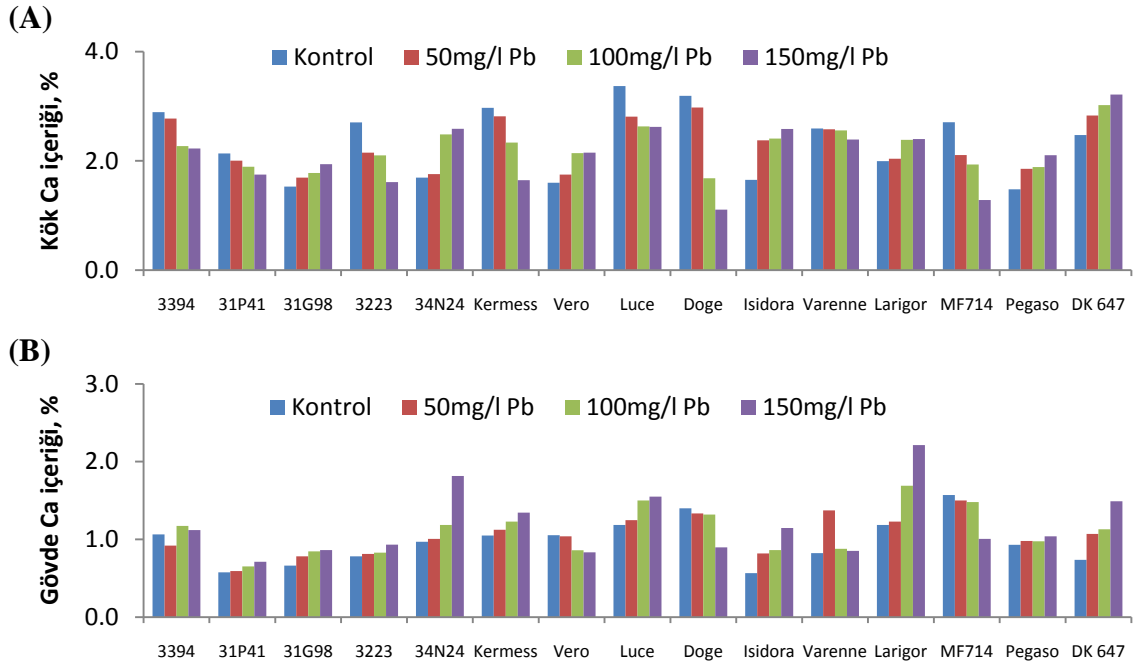
Çizelge 4.33. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır genotiplerinin kök ve gövde K içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları

Genotip	Kök K İçeriği, %					Genotip	Gövde K İçeriği, %				
	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort		Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort
	0	50	100	150			0	50	100	150	
3394	3,15c	4,19b	4,91a	4,71a	4,24C	3394^{ms}	4,91	4,89	4,16	3,93	4,47
31P41	2,62a	2,59ab	2,31b	2,85a	2,59G	31P41	5,91a	6,56a	6,77a	4,70b	5,98
31G98	4,21a	4,10a	3,25b	2,30c	3,47F	31G98	4,98a	5,54a	5,57a	3,87b	4,99
3223	3,96a	3,53ab	3,35bc	2,94c	3,44F	3223	3,80b	4,62b	5,83a	3,97b	4,56
34N24	4,70b	4,85b	5,12a	5,11a	4,94B	34N24	3,58b	4,22ab	4,57ab	6,26a	4,66
Kermess	6,03a	5,27b	4,39c	4,34c	5,00B	Kermess	4,83a	4,66a	4,46a	3,84b	4,45
Vero	4,87a	4,77a	3,85b	2,34c	3,96D	Vero	3,95a	3,53a	3,45a	2,14b	3,27
Luce	4,01a	3,84ab	3,50bc	3,39c	3,69E	Luce	5,10ab	4,15bc	3,64c	5,60a	4,62
Doge	3,79b	4,69a	4,84a	1,83c	3,79DE	Doge	8,04a	6,50b	4,80c	4,56c	5,97
Isidora	5,26a	4,94a	4,14b	2,82c	4,29C	Isidora	1,95a	1,01b	1,76a	1,58a	1,57
Varenne	2,75b	3,42a	3,62a	3,84a	3,41F	Varenne	8,67a	8,52a	8,36a	5,59b	7,78
Larigor	5,33a	4,58c	4,74b	4,82b	4,87B	Larigor	4,97b	5,14b	5,29b	7,02a	5,61
MF714	3,99a	3,71b	3,34c	2,12d	3,29F	MF714	9,03a	7,30b	5,39c	5,13c	6,71
Pegaso	3,77a	3,36b	3,31b	2,62c	3,26F	Pegaso	7,42a	7,38a	6,67b	4,49c	6,49
DK647	6,37a	6,04a	5,07b	3,36c	5,21A	DK647	1,54b	1,56b	2,28a	2,15ab	1,88
Ort	4,32A	4,26A	3,98B	3,29C		Ort	5,24	5,04	4,87	4,32	

Tüm Pb seviyelerinin ortalaması olarak K içeriği dikkate alındığında en yüksek K içeriği kökte DK647 (%5,21), gövdede Varenne (%7,78) genotipinde, en düşük ise kökte 31P41 (%2,59) gövdede ise DK647 (%1,88) ve Isidora (%1,57) genotiplerinde tespit edilmiştir.

Her bir Pb uygulama seviyesindeki ortalama kök ve gövde K içerikleri incelendiğinde, Pb seviyesindeki artışa bağlı olarak farklılıkların önemli olduğu tespit edilmiştir. Kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak K içeriği kökte %4,32, gövdede ise %5,24'dür. En yüksek uygulama dozu olan 150 mg l⁻¹ Pb'da ise kökte %3,29 ve gövdede %4,32 olarak belirlenmiştir.

Şekil 4.25'de mısır çeşitlerine artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un kök (A) ve gövde (B) Ca içeriğine etkisi görülmektedir. Görüldüğü gibi, tüm çeşitlerde kökteki Ca birikimi gövdeden fazladır.



Şekil 4.25. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Ca içeriği üzerine etkisi

Pb seviyesindeki artışa bağlı olarak kök Ca içeriği 31G98, 34N24, Vero, Isidora, Larigor, Pegaso ve DK647 mısır genotiplerinde artmış, diğer genotiplerde azalmıştır. Gövde Ca içeriği ise Pb seviyesindeki artışla Vero, Doge ve MF714 genotiplerinde azalmış, diğer genotiplerde ise artmıştır.

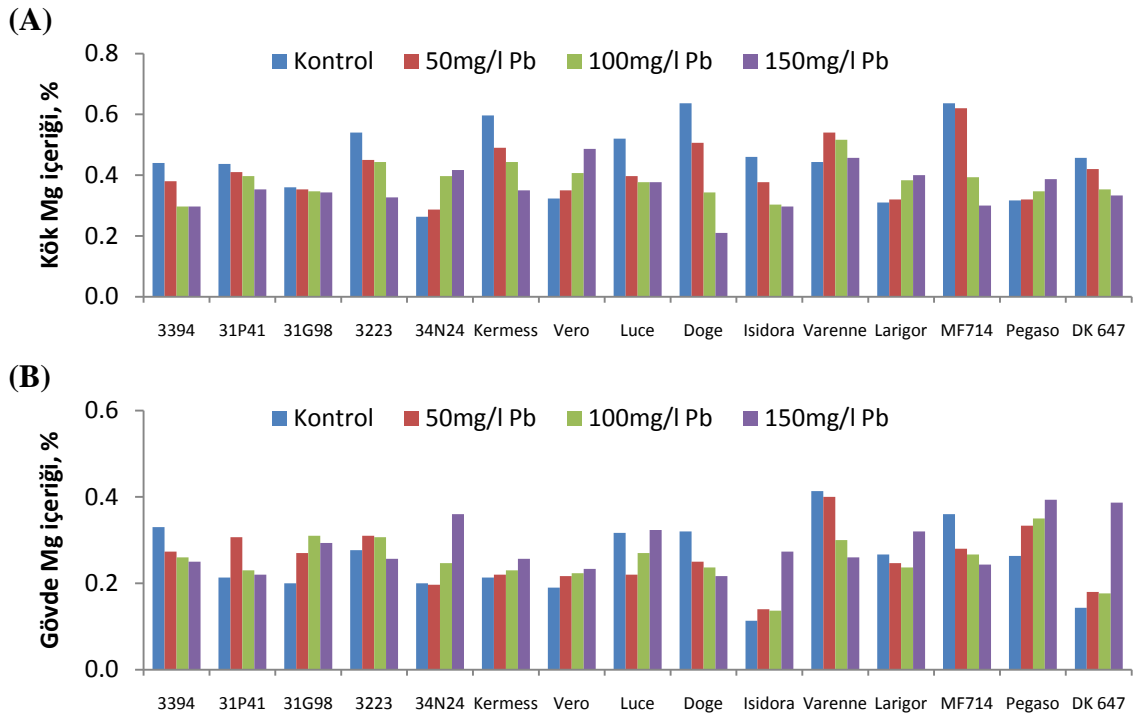
Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır genotiplerinin ortalama kök ve gövde Ca içeriğine ait Duncan test sonuçları incelendiğinde, Varenne genotipinin kök Ca içeriğinin, 3223 genotipinin ise gövde Ca içeriğinin Pb muamelelerinden etkilenmediği görülmektedir. Tüm Pb seviyelerinin ortalama Ca içeriği dikkate alındığında en yüksek kök Ca içeriği Luce (%2,86) ve DK647 (%2,88) genotiplerinde, en düşük ise Pegaso (%1,83) genotipinde tespit edilmiştir. Gövde Ca içeriği ise en yüksek Larigor (%1,58), en düşük 31P41 (%0,63) çeşitinde belirlenmiştir.

Çizelge 4.34. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır genotiplerinin kök ve gövde Ca içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları

Genotip	Kök Ca İçeriği, %					Genotip	Gövde Ca İçeriği, %				
	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort		Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort
	0	50	100	150			0	50	100	150	
3394	2,89a	2,77a	2,27b	2,23b	2,54B	3394	1,06b	0,92c	1,17a	1,12ab	1,07D
31P41	2,14a	2,00ab	1,89ab	1,75b	1,95FG	31P41	0,58b	0,59b	0,65ab	0,71a	0,63G
31G98	1,53c	1,69bc	1,78ab	1,94a	1,74H	31G98	0,66c	0,78b	0,85a	0,86a	0,79F
3223	2,70a	2,15b	2,10b	1,61c	2,14E	3223^{ns}	0,78	0,81	0,83	0,93	0,84F
34N24	1,69b	1,76b	2,48a	2,59a	2,13E	34N24	0,97b	1,01b	1,19b	1,82a	1,25C
Kermess	2,97a	2,82b	2,33c	1,65d	2,44C	Kermess	1,05b	1,12b	1,23ab	1,34a	1,19C
Vero	1,60c	1,75b	2,14a	2,15c	1,91GH	Vero	1,05a	1,04a	0,86b	0,83b	0,95E
Luce	3,37a	2,81b	2,63b	2,62b	2,86A	Luce	1,19b	1,25b	1,50a	1,55a	1,37B
Doge	3,19a	2,98a	1,68b	1,11c	2,24D	Doge	1,40a	1,33a	1,32a	0,90b	1,24C
Isidora	1,65c	2,38b	2,41b	2,58a	2,26D	Isidora	0,57c	0,82b	0,86b	1,15a	0,85FD
Varenne^{ns}	2,59	2,58	2,56	2,39	2,53BC	Varenne	0,82b	1,37a	0,88b	0,85b	0,98E
Larigor	1,99b	2,04b	2,38a	2,40a	2,20DE	Larigor	1,19c	1,23c	1,69b	2,21a	1,58A
MF714	2,71a	2,11b	1,93c	1,28d	2,01F	MF714	1,57a	1,50a	1,48a	1,01b	1,39B
Pegaso	1,48c	1,85b	1,89b	2,10a	1,83J	Pegaso	0,93b	0,98b	0,98b	1,04a	0,98E
DK647	2,47d	2,83c	3,02b	3,21a	2,88A	DK647	0,74c	1,07b	1,13b	1,49a	1,11D
Ort	2,33A	2,30A	2,23B	2,11C		Ort	0,97D	1,06C	1,11B	1,19A	

Her bir Pb uygulama seviyesindeki ortalama kök ve gövde Ca içerikleri incelendiğinde, Pb seviyesindeki artışa bağlı olarak farklılıkların önemli olduğu tespit edilmiştir. Pb artışına bağlı olarak ortalama Ca içeriği kökte azalırken gövdede artmıştır. Kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak Ca içeriği kökte %2,33, gövdede ise %0,97 olarak belirlenmiştir. En yüksek uygulama dozu olan 150 mg l⁻¹ Pb'da ise kökte %2,11 ve gövdede %1,19'dur.

Mısır genotiplerine artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un kök (A) ve gövde (B) Mg içeriğine etkisi Şekil 4.26'da gösterilmiştir. Kökteki Mg birikimi gövdedeki birikimden farklıdır. Çeşitler tek tek değerlendirildiğinde, kök Mg içeriği 34N24, Vero, Varenne, Larigor ve Pegaso'da Pb uygulamasına bağlı olarak artmış ve diğer genotiplerde azalmıştır. Uygulanan Pb seviyesindeki artışa paralel olarak bitkilerin gövde Mg içerikleri ise 3394, Doge, Varenne, Larigor ve MF714 genotiplerinde azalmış, diğer genotiplerde artmıştır.



Şekil 4.26. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı mısır çeşitlerinde kök (A) ve gövde (B) Mg içeriği üzerine etkisi

Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır genotiplerinin kök ve gövde Mg içeriğine ait Duncan test sonuçları Çizelge 4.35'de verilmiştir. Kök Mg içeriği 31G98 genotipinde Pb uygulamasından etkilenmemiştir. Diğer çeşitlerde Pb uygulamasına bağlı olarak kök ve gövde Mg içeriğinde önemli farklılıklar mevcuttur. Uygulanan Pb seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek kök Mg içeriği Kermess (%0,47), Varenne (%0,49) ve MF714 (%0,49) genotiplerinde, en düşük ise 34N24 (%0,34), Pegaso (%0,34), 3394 (%0,35), 31G98 (%0,35), Larigor (%0,35) ve Isidora (%0,36) genotiplerinde tespit edilmiştir. Pb uygulama seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek gövde Mg içeriği Varenne ve Pegaso çeşitlerinde %0,34 olarak, en düşük ise Isidora çeşitinde %0,17 olarak belirlenmiştir. Diğer genotipler ise bu değerler arasında değişen kök ve gövde Mg içeriğine sahiptirler.

Pb uygulama seviyelerindeki ortalama kök ve gövde Mg içerikleri incelendiğinde, Pb seviyesindeki artışa bağlı olarak kök Mg içeriği azalırken, gövde Mg içeriğinin 0, 50 ve 100 mg l⁻¹ Pb seviyelerinde değişiklik göstermediği, 150 mg l⁻¹ Pb'da ise artış gösterdiği tespit edilmiştir. Kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak Mg içeriği

kökte %0,45, gövdede %0,25 iken en yüksek uygulama dozu olan 150 mg l⁻¹ Pb'da kökte %0,36 ve gövdede %0,29 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.35. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır genotiplerinin kök ve gövde Mg içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları

Genotip	Kök Mg İçeriği, %					Genotip	Gövde Mg İçeriği, %				
	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort		Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort
	0	50	100	150			0	50	100	150	
3394	0,44a	0,38b	0,30c	0,30c	0,35E	3394	0,33a	0,27b	0,26b	0,25b	0,28B
31P41	0,44a	0,41ab	0,40b	0,35c	0,40CD	31P41	0,21b	0,31a	0,23b	0,22b	0,24DE
31G98^{ns}	0,36	0,35	0,35	0,34	0,35E	31G98	0,20b	0,27a	0,31a	0,29a	0,27BC
3223	0,54a	0,45b	0,44b	0,33c	0,44B	3223	0,28ab	0,31a	0,31a	0,26b	0,29B
34N24	0,26b	0,29b	0,40a	0,42a	0,34E	34N24	0,20b	0,20b	0,25b	0,36a	0,25CD
Kermess	0,60a	0,49b	0,44c	0,35d	0,47A	Kermess	0,21b	0,22ab	0,23ab	0,26a	0,23EF
Vero	0,32d	0,35c	0,41b	0,49a	0,39D	Vero	0,19b	0,22ab	0,22a	0,23a	0,22F
Luce	0,52a	0,40b	0,38b	0,38b	0,42BC	Luce	0,32a	0,22c	0,27b	0,32a	0,28B
Doge	0,64a	0,51b	0,34c	0,21d	0,42BC	Doge	0,32a	0,25b	0,24bc	0,22c	0,26CD
Isidora	0,46a	0,38ab	0,30b	0,30b	0,36E	Isidora	0,11b	0,14b	0,14b	0,27a	0,17G
Varenne	0,44b	0,54a	0,52ab	0,46b	0,49A	Varenne	0,41a	0,40a	0,30b	0,26c	0,34A
Larigor	0,31b	0,32b	0,38a	0,40a	0,35E	Larigor	0,27b	0,25b	0,24b	0,32a	0,27BC
MF714	0,64a	0,62a	0,39b	0,30c	0,49A	MF714	0,36a	0,28b	0,27bc	0,24c	0,29B
Pegaso	0,32b	0,32b	0,35b	0,39a	0,34E	Pegaso	0,26c	0,33b	0,35ab	0,39a	0,34A
DK647	0,46a	0,42a	0,35b	0,33b	0,39D	DK647	0,14c	0,18b	0,18b	0,39a	0,22F
Ort	0,45A	0,41B	0,38C	0,36D		Ort	0,25B	0,26B	0,25B	0,29A	

4.2.6.2. Pb ağır metalinin mısır genotiplerinin mikro besin elementi (Fe, Cu, Zn, Mn ve B) içeriği üzerine etkisi

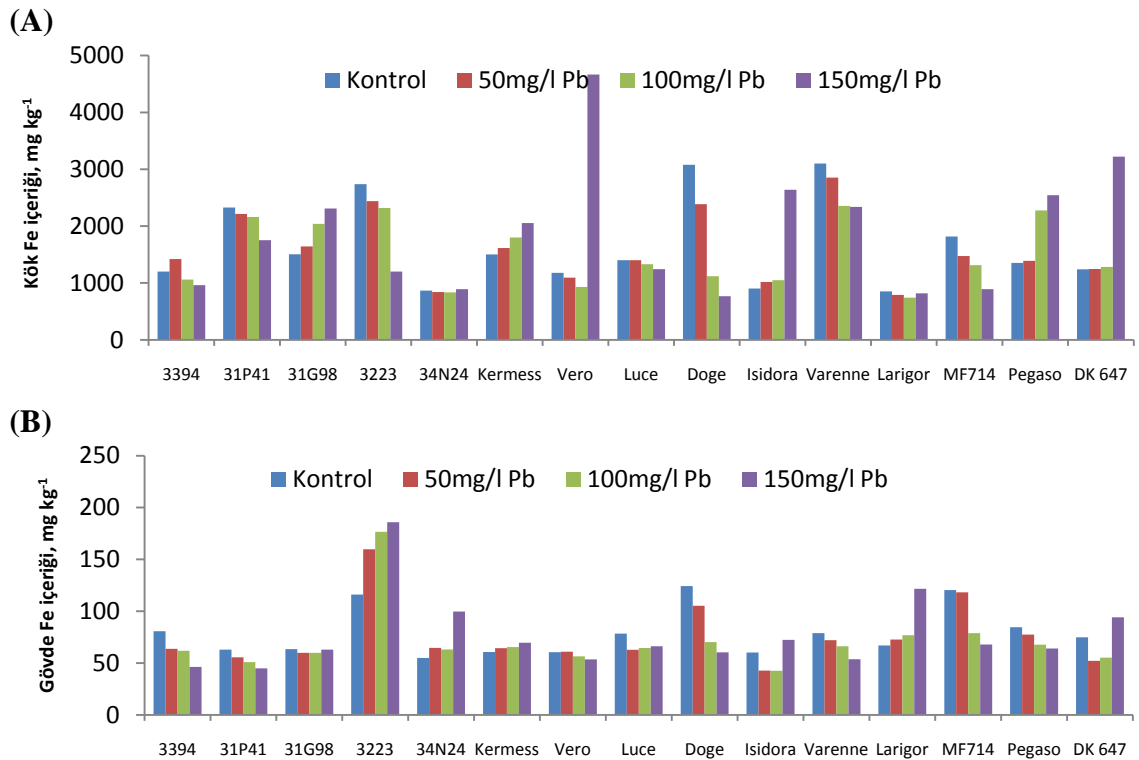
Çizelge 4.36'da varyans analiz sonuçları incelendiğinde görüleceği gibi, artan seviyelerdeki Pb uygulamalarına bağlı olarak mısır genotiplerinin kök ve gövde aksamlarının Fe, Cu, Zn, Mn ve B içerikleri istatistiksel olarak değerlendirildiğinde genotip, Pb seviyesi ile genotip*Pb seviyesi interaksyonlarının etkisi çok önemli olarak tespit edilmiştir (p<0,01).

Çizelge 4. 36. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır bitkisinin gövde Fe, Cu, Zn, Mn, B, ve Pb içeriğine ait varyans analiz sonuçları

Varyans Kaynağı	S. D.	Fe mg kg ⁻¹		Cu mg kg ⁻¹		Zn mg kg ⁻¹		Mn mg kg ⁻¹		B mg kg ⁻¹		
		K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	
Kök	Genotip	14	3077488,29	164,42**	92972,40	102,02**	166723,74	273,34**	4736,59	346,36**	1897,64	222,64**
	Pb seviyesi	3	1196040,47	63,90**	524496,13	575,51**	27356,17	44,85**	2976,63	217,67**	819,14	96,11**
	Genotip x Pb Seviyesi	42	1518271,85	81,12**	13661,19	14,99**	23301,15	38,20**	863,83	63,17**	361,21	42,38**
	Hata	120	18717,40		911,35		609,95		13,68		8,52	
	Genel	180										
Varyans Kaynağı	S. D.	Fe mg kg ⁻¹		Cu mg kg ⁻¹		Zn mg kg ⁻¹		Mn mg kg ⁻¹		B mg kg ⁻¹		
		K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	
Gövde	Genotip	14	8299,49	92,48**	1404,03	141,26**	91893,83	47,61**	15103,09	107,48**	2514,37	93,96**
	Pb seviyesi	3	652,82	7,27**	323,77	32,58**	277717,31	143,88**	23104,61	164,42**	2640,76	98,68**
	Genotip x Pb Seviyesi	42	968,20	10,79**	304,84	30,67**	29978,42	15,53**	1801,72	12,82**	134,85	5,04**
	Hata	120	89,75		9,94		1930,25		140,52		26,76	
	Genel	180										

** : p<0,01 düzeyinde çok önemli, * : p<0,05 düzeyinde önemli, ns: Önemsiz

Mısır çeşitlerine artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un kök (A) ve gövde (B) Fe içeriğine etkisi Şekil 4.27'de gösterilmiştir. Fe birikim miktarları kökte gövdeden fazladır. Kök ve gövdedeki Fe içeriğinin uygulamalara bağlı olarak değişimi incelendiğinde, 31G98, Kerness, Isidora, Pegaso ve DK647 genotiplerinde Pb konsantrasyonundaki artışla kök Fe içeriğinin de arttığı tespit edilmiştir. Vero genotipinde kök Fe içeriği 100 mg l⁻¹ Pb seviyesine kadar azalırken 150 mg l⁻¹ Pb seviyesinde kontrole göre artış göstermiştir. 3223, 34N24, Kerness ve Larigor mısır genotiplerinin gövde Fe içerikleri artan Pb seviyesine paralel artış gösterirken, Isidora genotipinde 100 mg l⁻¹ Pb, DK647 genotipinde ise 50 mg l⁻¹ Pb seviyesine kadar azalmış, sonraki seviyelerde artmıştır. Diğer genotiplerin kök ve gövde Fe içerikleri Pb seviyesi arttıkça azalmıştır. Kannan and Keppel (1976), genç bezelye fidelerinde Pb alımı ve taşınımı üzerine yaptıkları bir çalışmada Pb uygulamasının bezelye bitkisinin Fe alımını azalttığını belirlemişlerdir.



Şekil 4.27. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Fe içeriği üzerine etkisi

Çizelge 4.37. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır genotiplerinin kök ve gövde Fe içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları

Genotip	Kök Fe İçeriği, mg kg ⁻¹					Genotip	Gövde Fe İçeriği, mg kg ⁻¹				
	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort		Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort
	0	50	100	150			0	50	100	150	
3394	1201,14b	1420,36a	1060,54c	962,73d	1161,19G	3394	80,75a	63,64b	61,92b	46,33c	63,16EFG
31P41	2326,00a	2214,99a	2159,52a	1751,39b	2112,98B	31P41	62,98a	55,49ab	50,94bc	44,90c	53,58H
31G98	1506,13c	1641,86bc	2040,07ab	2309,39a	1874,36CD	31G98^{ns}	63,44	59,78	59,79	62,97	61,50FGH
3223	2737,67a	2440,52a	2318,74a	1201,26b	2174,55B	3223	116,04b	159,74ab	176,66a	185,93a	159,59A
34N24^{ns}	866,90	841,09	836,19	891,00	858,80H	34N24	54,91b	64,63b	63,05b	99,73a	70,58DE
Kermess	1502,00d	1613,61c	1801,46b	2053,15a	1742,56E	Kermess	60,55b	64,31ab	65,41ab	69,54a	64,95DEFG
Vero	1178,19b	1094,47b	929,95b	4665,92a	1967,14C	Vero	60,51a	60,87a	56,43ab	53,45b	57,81GH
Luce	1401,33a	1401,88a	1330,63ab	1242,08b	1343,98F	Luce	78,45a	62,72b	64,45ab	66,19ab	67,95DEF
Doge	3078,78a	2386,82b	1117,96c	767,55d	1837,78DE	Doge	124,25a	105,25a	70,15b	60,38b	90,01BC
Isidora	901,73c	1018,55b	1050,09b	2638,01a	1402,10F	Isidora	60,15b	42,63c	42,50c	72,43a	54,43H
Varenne	3102,38a	2852,38a	2354,43b	2337,93b	2661,78A	Varenne	78,80a	72,06ab	66,16b	53,69c	67,68DEF
Larigor	852,11a	788,73b	742,21c	819,13ab	800,54H	Larigor	66,96b	72,71b	76,88b	121,62a	84,55C
MF714	1817,75a	1472,55b	1314,71b	892,50c	1374,38F	MF714	120,46a	118,26a	78,81b	67,84b	96,34B
Pegaso	1354,06c	1388,11c	2276,85b	2544,84a	1890,97CD	Pegaso	84,59a	77,48ab	67,77bc	63,95c	73,45D
DK647	1240,57b	1244,89b	1283,44b	3220,95a	1747,46E	DK647	74,86b	52,09c	55,25c	94,17a	69,09DEF
Ort	1671,12B	1588,05C	1507,79D	1886,52A		Ort	79,18A	75,44A	70,41B	77,54A	

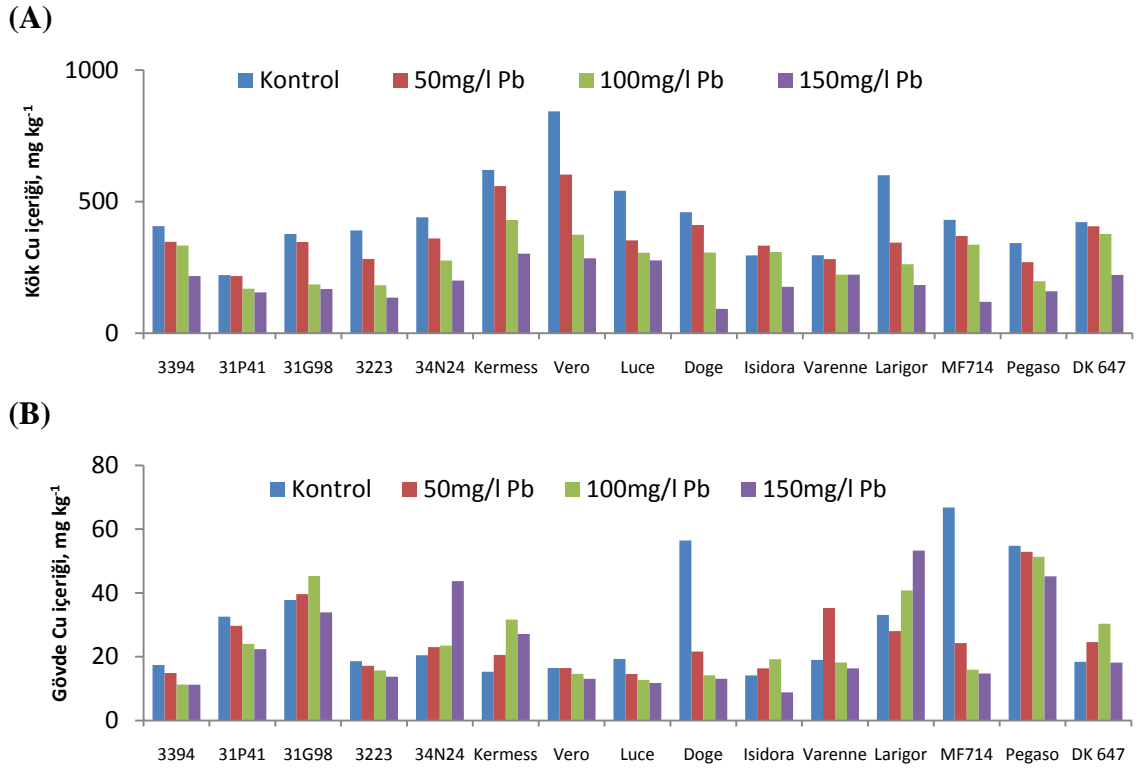
Çizelge 4.37’de artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb’un mısır genotiplerinin kök ve gövde Fe içeriğine ait Duncan test sonuçları verilmiştir. Kök Fe içeriği 34N24 genotipinde, gövde Fe içeriği ise 31G98 genotipinde Pb uygulamasından etkilenmemiştir. Diğer çeşitlerde Pb uygulamasına bağlı olarak kök ve gövde Fe içeriğinde önemli farklılıklar tespit edilmiştir.

Uygulanan Pb seviyelerinin ortalaması dikkate alındığında en yüksek Fe içeriği kökte Varenne (2661,78 mg kg⁻¹) gövdede 3223 (159,59 mg kg⁻¹) genotiplerinde, en düşük ise kökte Larigor (800,54 mg kg⁻¹) ve 34N24 (858,80 mg kg⁻¹), gövdede 31P41 (53,58 mg kg⁻¹) ve Isidora (54,43 mg kg⁻¹) genotiplerinde tespit edilmiştir. Diğer tüm genotipler ise bu değerler arasında değişen kök ve gövde Fe içeriğine sahiptirler.

Her bir Pb seviyesindeki ortalama kök ve gövde Fe içerikleri incelendiğinde, kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak Fe içeriği kökte 1671,12 mg kg⁻¹, gövdede ise 79,18 mg kg⁻¹’dır. Kök Fe içeriği 150 mg l⁻¹ Pb’da (1886,52 mg kg⁻¹) kontrolden daha yüksektir. Gövde Fe içeriği ise 0, 50 ve 150 mg l⁻¹ Pb seviyelerinde önemli bir değişim sergilemezken en düşük içerik 100 mg l⁻¹ Pb uygulamasından elde edilmiştir (70,41 mg kg⁻¹).

Şekil 4.28’de mısır çeşitlerine artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb’un kök (A) ve gövde (B) Cu içeriğine etkisi gösterilmiştir. Çeşitlerde kökteki Cu birikimi gövdedeki birikimden fazladır. Genel olarak genotiplerin kök Cu içerikleri uygulanan Pb miktarı arttıkça azalmıştır.

Gövdedeki Cu içeriğinin uygulamalara bağlı olarak değişimi incelendiğinde, 34N24 genotipinde Pb konsantrasyonundaki artışla gövde Cu içeriğinin de arttığı tespit edilmiştir. 31G98, Kermess, Isidora ve DK647 genotiplerinde gövde Cu içeriği 100 mg l⁻¹ Pb, Varenne genotipinde ise 50 mg l⁻¹ Pb seviyesine kadar artarken sonraki seviyelerde azalmıştır. Larigor mısır genotipinin gövde Cu içeriği 50 mg l⁻¹ Pb seviyesinde kontrole göre azalırken sonraki seviyelerde artmıştır. Diğer genotiplerin gövde Cu içeriklerinde Pb seviyesindeki artışa bağlı olarak azalma tespit edilmiştir.



Şekil 4.28. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Cu içeriği üzerine etkisi

Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır genotiplerinin kök ve gövde Cu içeriğine ait Duncan test sonuçları Çizelge 4.38'de verilmiştir. Kökte tüm genotipler Pb uygulamasına bağlı olarak Cu içerikleri yönünden farklılık gösterirken, gövdede Vero ve Pegaso genotiplerinin Cu içeriği uygulanan Pb seviyelerine bağlı olarak farklılık göstermemiştir. Diğer genotiplerde uygulamaların gövde Cu içeriğine etkisi önemli bulunmuştur.

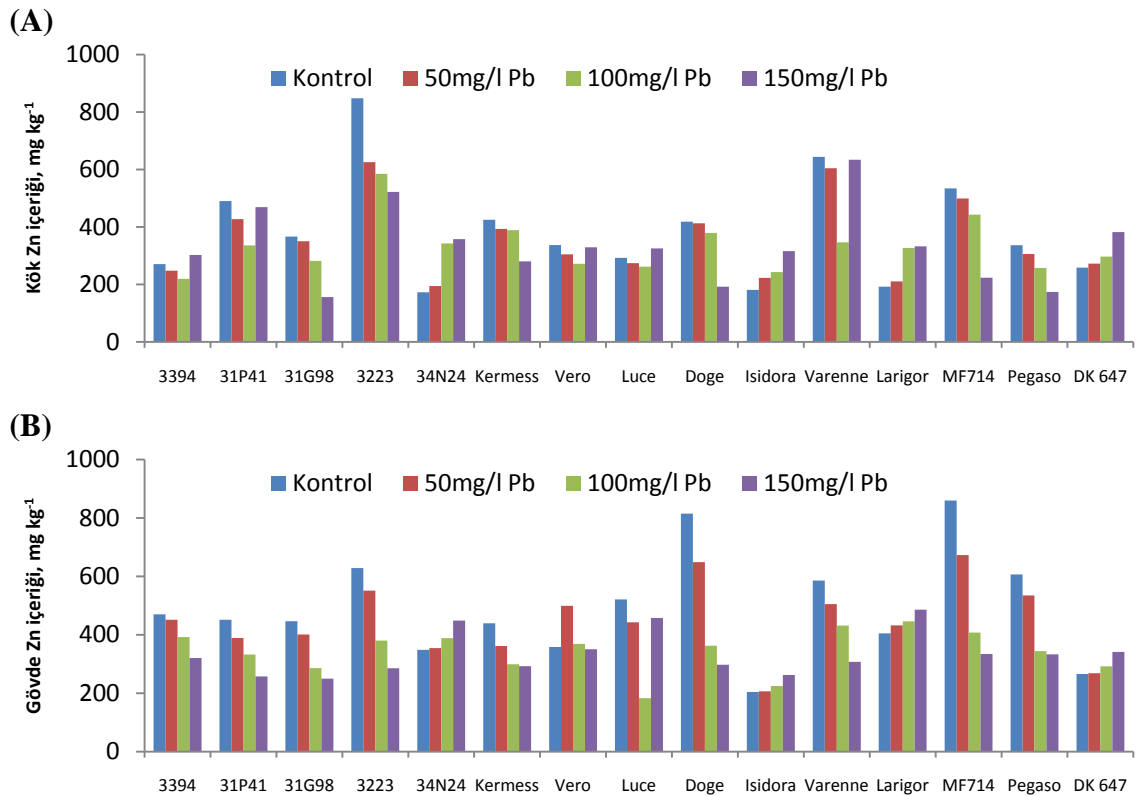
Tüm Pb seviyelerinin ortalaması dikkate alındığında en yüksek kök Cu içeriği Vero ($526,01 \text{ mg kg}^{-1}$) genotipinde, gövde Cu içeriği ise Pegaso ($51,04 \text{ mg kg}^{-1}$) genotipinde tespit edilmiştir. En düşük Cu içeriği ise kökte 31P41 ($190,35 \text{ mg kg}^{-1}$), gövdede 3223 ($16,28 \text{ mg kg}^{-1}$), Vero ($15,16 \text{ mg kg}^{-1}$), Isidora ($14,63 \text{ mg kg}^{-1}$), Luce ($14,61 \text{ mg kg}^{-1}$) ve 3394 ($13,69 \text{ mg kg}^{-1}$) genotiplerinde görülmüştür.

Çizelge 4.38. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır genotiplerinin kök ve gövde Cu içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları

Genotip	Kök Cu İçeriği, mg kg ⁻¹					Genotip	Gövde Cu İçeriği, mg kg ⁻¹				
	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort		Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort
	0	50	100	150			0	50	100	150	
3394	406,77a	347,26ab	333,35b	216,76c	326,03DE	3394	17,37a	14,89a	11,25b	11,24b	13,69F
31P41	220,69a	217,03a	169,01b	154,68b	190,35J	31P41	32,56a	29,71ab	24,02bc	22,36c	27,16D
31G98	376,60a	346,71a	185,53b	167,87b	269,18FG	31G98	37,77b	39,65ab	45,29a	33,89b	39,15B
3223	390,00a	282,19b	182,39c	134,57c	247,29GH	3223	18,58a	17,16b	15,66c	13,71d	16,28F
34N24	440,10a	359,91b	276,19c	200,12d	319,08E	34N24	20,47b	23,01b	23,46b	43,70a	27,66D
Kermess	620,45a	559,02a	429,63b	302,06c	477,79B	Kermess	15,29b	20,54b	31,64a	27,12a	23,65E
Vero	843,03a	602,70b	373,70c	284,60c	526,01A	Vero^{ns}	16,45	16,46	14,65	13,07	15,16F
Luce	541,23a	352,64b	306,01bc	276,69c	369,14C	Luce	19,31a	14,60b	12,75b	11,77b	14,61F
Doge	459,61a	411,05b	306,39c	92,23d	317,32E	Doge	56,43a	21,61b	14,17c	13,10c	26,33D
Isidora	295,55a	332,27a	308,45a	176,31b	278,15F	Isidora	14,16b	16,33ab	19,20a	8,82c	14,63F
Varenne	296,06a	281,59a	222,49b	222,48b	255,66FGH	Varenne	18,98b	35,24a	18,20b	16,36b	22,20E
Larigor	600,11a	343,77b	261,84bc	182,92c	347,16CD	Larigor	33,10bc	28,05c	40,80b	53,29a	38,81B
MF714	430,46a	369,07b	336,05b	118,87c	313,61E	MF714	66,77a	24,28b	15,92c	14,71c	30,42C
Pegaso	342,36a	269,67b	197,23c	159,35d	242,15H	Pegaso^{ns}	54,81	52,86	51,33	45,18	51,04A
DK647	422,21a	406,11a	377,00a	221,40b	356,68C	DK647	18,40b	24,56ab	30,33a	18,13b	22,85E
Ort	445,68A	365,40B	284,35C	194,06D		Ort	29,36A	25,26B	24,58B	23,10C	

Her bir Pb seviyesindeki tüm genotiplerin ortalaması olarak kök ve gövde Cu içeriği incelendiğinde, kontrol ile uygulamalar arasındaki farklılıkların önemli olduğu tespit edilmiştir. Kontrolde Cu içeriği kökte $445,68 \text{ mg kg}^{-1}$, gövdede $29,36 \text{ mg kg}^{-1}$ iken, 150 mg kg^{-1} Pb uygulamasında kökte $194,06 \text{ mg kg}^{-1}$, gövdede ise $23,10 \text{ mg kg}^{-1}$ 'dir.

Mısır çeşitlerine artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un kök (A) ve gövde (B) Zn içeriğine etkisi Şekil 4.29'da gösterilmiştir. Kök ve gövde Zn içeriği 34N24, Isidora, Larigor ve DK647 genotiplerinde Pb miktarındaki artışa paralel olarak artmıştır. 3394, 31P41, Vero, Luce ve Varenne genotiplerinde kök Zn içeriği 100 mg l^{-1} Pb seviyesine kadar azalırken sonraki seviyelerde artmıştır. Gövde Zn içeriğindeki Vero genotipinde 50 mg l^{-1} Pb seviyesinde kontrole göre azalırken sonraki seviyelerde artmıştır. Luce genotipinde ise gövde Zn içeriği 100 mg l^{-1} Pb seviyesine kadar azalmış, 150 mg l^{-1} Pb seviyesinde artmıştır. Diğer genotiplerin gövde Zn içeriklerinde Pb seviyesindeki artışa bağlı olarak azalma tespit edilmiştir.



Şekil 4.29. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Zn içeriği üzerine etkisi

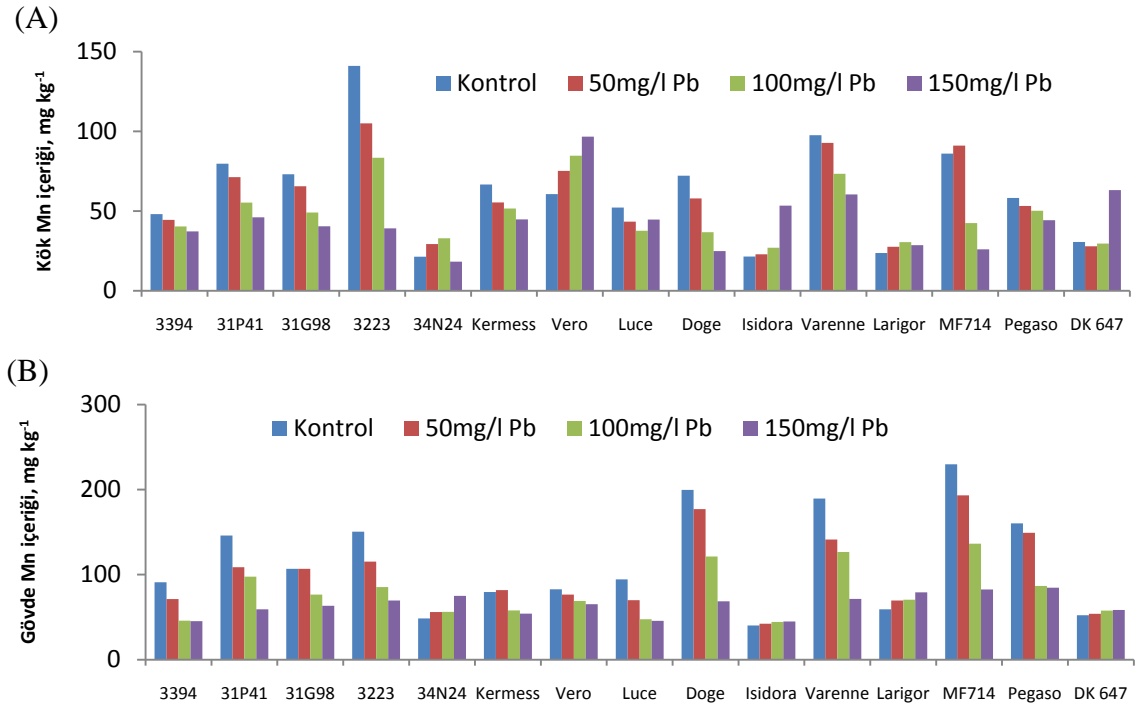
Çizelge 4.39. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır genotiplerinin kök ve gövde Zn içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları

Genotip	Kök Zn İçeriği, mg kg ⁻¹					Genotip	Gövde Zn İçeriği, mg kg ⁻¹				
	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort		Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort
	0	50	100	150			0	50	100	150	
3394	270,61ab	248,06bc	219,55b	302,68a	260,22JK	3394	469,87a	451,40a	392,37ab	320,30b	408,48DF
31P41	490,13a	427,16a	336,22b	469,30a	430,70C	31P41	451,07a	388,82ab	332,50bc	257,20c	357,40FGH
31G98	366,87a	350,47a	282,28b	156,07c	288,92GH	31G98	446,53a	400,90a	285,76b	249,75b	345,74H
3223	847,67a	625,68b	584,85c	521,94d	645,04A	3223	628,40a	551,00b	380,15c	285,33d	461,22C
34N24	172,87c	194,82b	342,87a	357,48a	267,01J	34N24	348,47b	354,15b	388,35ab	448,35a	384,83EFG
Kermess	425,09a	393,28ab	388,92b	280,40c	371,92D	Kermess	439,50a	361,70ab	298,75b	292,20b	348,04GH
Vero^{ns}	337,18	304,82	271,90	329,56	310,86F	Vero	358,25b	499,05a	368,75b	350,60b	394,16EF
Luce	292,38ab	274,11b	262,02b	325,21a	288,43GH	Luce	521,01a	442,55a	182,97b	457,57a	401,03E
Doge	418,47a	412,76a	379,66b	192,20c	350,77E	Doge	814,85a	648,60b	362,60c	297,10d	530,79B
Isidora	180,95c	223,09bc	243,00b	315,73a	240,69K	Isidora	204,31b	206,38b	224,69ab	262,42a	224,45K
Varenne	643,81a	604,34b	346,80c	633,81a	557,19B	Varenne	585,80a	504,96ab	431,82b	307,14c	457,43C
Larigor	192,08b	210,59b	327,14a	332,94a	265,69J	Larigor	404,63b	431,89b	445,96ab	485,79a	442,07CD
MF714	534,53a	499,12a	443,22b	223,49c	425,09C	MF714	859,38a	672,58b	407,42c	333,82c	568,30A
Pegaso	336,55a	305,92a	257,49b	174,00c	268,49HJ	Pegaso	606,49a	534,53b	343,87c	333,00c	454,47C
DK647	258,50b	272,67b	297,00b	382,48a	302,66FG	DK647	265,60b	268,30b	292,10ab	341,15a	291,79J
Ort	384,51A	356,46B	332,19C	333,15C			493,61A	447,79B	342,54C	334,78C	

Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır genotiplerinin kök ve gövde Zn içeriği üzerine etkisinin ortalama değerlerine ait Duncan test sonuçları Çizelge 4.39'da verilmiştir. Kökte Vero genotipinin Zn içeriği Pb uygulamasına bağlı olarak farklılık göstermezken, gövde Zn içeriğinin tüm genotiplerde Pb uygulamasından etkilendiği tespit edilmiştir. Uygulanan Pb seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek Zn içeriği kökte 3223 (645,04 mg kg⁻¹) ve gövdede MF714 (568,30 mg kg⁻¹) genotipinde, en düşük ise Isidora (kökte 240,69 mg kg⁻¹-gövdede 224,45 mg kg⁻¹) genotipinde belirlenmiştir. Diğer genotipler ise bu değerler arasında değişen kök ve gövde Zn içeriğine sahiptirler.

Pb uygulama seviyelerindeki ortalama kök ve gövde Zn içerikleri incelendiğinde, farklılıkların önemli olduğu, ancak 100 ve 150 mg l⁻¹ Pb uygulamalarında Zn içeriğinin fark göstermediği belirlenmiştir. Kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak Zn içeriği kökte 384,51 mg kg⁻¹, gövdede 493,61 mg kg⁻¹ iken en yüksek uygulama dozu olan 150 mg l⁻¹ Pb'da kökte 333,15 mg kg⁻¹ ve gövdede 334,78 mg kg⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Benzer bir çalışmada, 2000 mg l⁻¹'lik Pb ile yapılan muamelelerde genç *Pisum sativum* sürgün ve köklerinde Fe, Mn ve Zn konsantrasyonlarında düşüş olduğu görülmüştür. Ancak ağır metallerin besin içeriği üzerindeki etki derecelerinin bitkinin gelişim durumuna bağlı olduğu belirtilmiştir (Balsberg Pahlsson 1989).

Şekil 4.30'da mısır çeşitlerine artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un kök (A) ve gövde (B) Mn içeriğine etkisi gösterilmiştir. Mn birikimi gövdede köke oranla daha fazla olmuştur. Mn içeriği kökte 34N24, Vero, Isidora, Larigor ve DK647 genotiplerinde, gövdede ise 34N24 ve Larigor genotiklerinde Pb artışına paralel olarak artmıştır. Diğer genotiplerde ise azalma meydana gelmiştir.



Şekil 4.30. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Mn içeriği üzerine etkisi

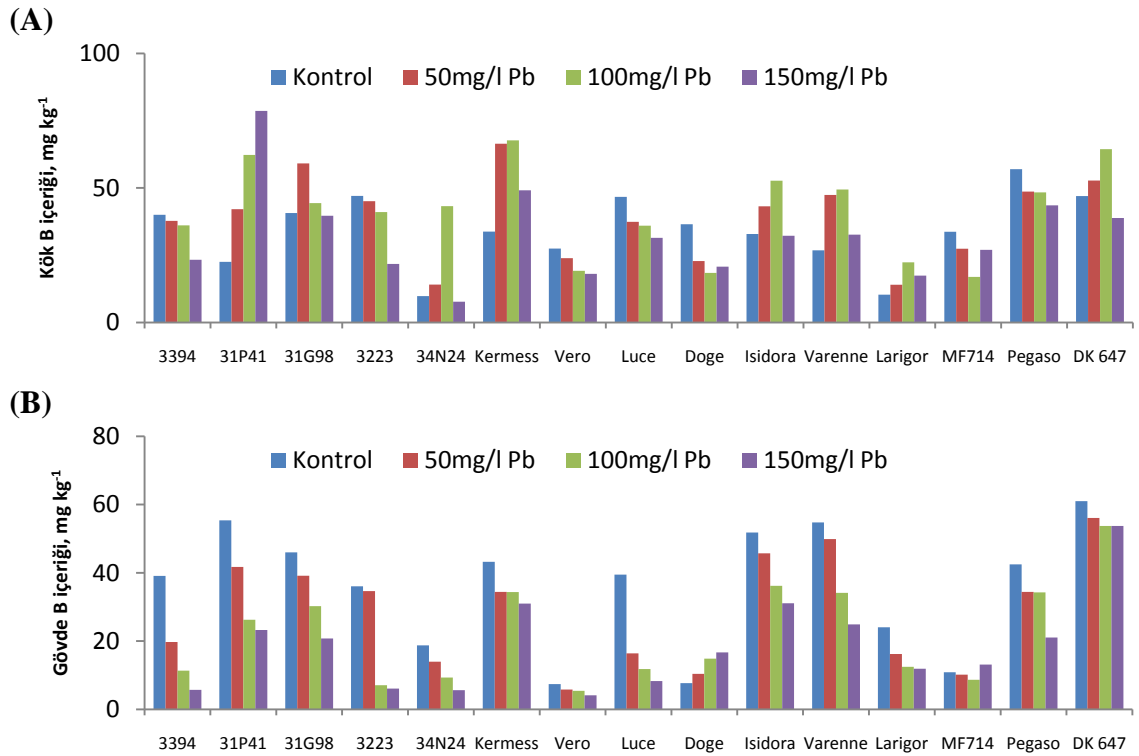
Çizelge 4.40'da artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır genotiplerinin kök ve gövde Mn içeriği üzerine etkisinin ortalama değerlerine ait Duncan test sonuçları verilmiştir. Gövdede Isidora ve DK647 genotiplerinin Mn içeriği Pb uygulamasına bağlı olarak farklılık göstermezken, kök Mn içeriğinin tüm genotiplerde Pb uygulamasından etkilendiği tespit edilmiştir. Uygulanan Pb seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek Mn içeriği kökte 3223 (92,14 mg kg⁻¹) ve gövdede MF714 (160,52 mg kg⁻¹) genotipinde, en düşük ise kökte 34N24 (25,41 mg kg⁻¹) ve Larigor (27,57 mg kg⁻¹), gövdede Isidora (42,94 mg kg⁻¹) genotipinde belirlenmiştir. Diğer genotipler ise bu değerler arasında değişen kök ve gövde Mn içeriğine sahiptirler.

Her bir Pb uygulama seviyesindeki ortalama kök ve gövde Mn içeriği incelendiğinde, farklılıkların önemli olduğu belirlenmiştir. Kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak Mn içeriği kökte 62,16 mg kg⁻¹, gövdede 115,34 mg kg⁻¹ iken en yüksek uygulama dozu olan 150 mg l⁻¹ Pb'da kökte 44,49 mg kg⁻¹ ve gövdede 64,48 mg kg⁻¹ olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.40. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır genotiplerinin kök ve gövde Mn içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları

Genotip	Kök Mn İçeriği, mg kg ⁻¹					Genotip	Gövde Mn İçeriği, mg kg ⁻¹				
	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort		Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort
	0	50	100	150			0	50	100	150	
3394	48,09a	44,48ab	40,27bc	37,25c	42,52G	3394	90,92a	71,25a	45,79b	45,29b	63,31FGH
31P41	79,65a	71,20b	55,28c	46,05d	63,04C	31P41	145,90a	108,79ab	97,54bc	59,13c	102,84D
31G98	73,05a	65,57a	49,10b	40,38c	57,03D	31G98	106,86a	106,83a	76,57b	63,41b	88,42E
3223	141,07a	104,95b	83,43c	39,11d	92,14A	3223	150,45a	115,36b	85,44c	69,59d	105,21D
34N24	21,31c	29,25b	32,85a	18,21d	25,41K	34N24	48,55b	56,05b	56,10b	74,97a	58,92GH
Kermess	66,65a	55,35b	51,52b	44,72c	54,56D	Kermess	79,53a	81,84a	57,88b	54,21b	68,36FG
Vero	60,65d	75,19c	84,67b	96,67a	79,29B	Vero	82,79a	76,54ab	68,99ab	65,27b	73,40F
Luce	52,22a	43,37b	37,59c	44,59b	44,44G	Luce	94,36a	69,85b	47,61c	45,65c	64,37FGH
Doge	72,18a	57,86b	36,69c	24,84d	47,89F	Doge	199,55a	177,00b	121,35c	68,54d	141,61B
Isidora	21,42b	22,82b	26,95b	53,34a	31,13J	Isidora^{ns}	40,20	42,25	44,39	44,93	42,94J
Varenne	97,52a	92,72a	73,39b	60,37c	81,00B	Varenne	189,48a	141,28ab	126,68b	71,40c	132,21B
Larigor	23,68b	27,52a	30,53a	28,54a	27,57K	Larigor	59,21c	69,57b	70,45b	79,23a	69,62F
MF714	86,03a	91,06a	42,46b	25,97c	61,38C	MF714	229,83a	193,26b	136,35c	82,63d	160,52A
Pegaso	58,23a	53,22ab	50,20b	44,25c	51,47E	Pegaso	160,26a	149,10a	86,78b	84,55b	120,17C
DK647	30,59b	27,89b	29,60b	63,11a	37,80H	DK647^{ns}	52,26	53,92	57,71	58,42	55,58H
Ort	62,16A	57,50B	48,30C	44,49D		Ort	115,34A	100,86B	78,64C	64,48D	

Mısır çeşitlerine artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un kök (A) ve gövde (B) B içeriğine etkisi Şekil 4.31'de gösterilmiştir. Kökteki B birikimi gövdedeki birikimden fazladır. Kök B içeriği 3394, 3223, Vero, Luce, Doge, MF714 ve Pegaso genotiplerinde artan Pb miktarına bağlı olarak azalma göstermiştir. 34N24 ve DK647 genotiplerinde ise 100 mg l^{-1} Pb seviyesine kadar artarken 150 mg l^{-1} Pb seviyesinde kontrole göre azalmıştır. Diğer genotiplerin kök B içeriklerinde uygulanan Pb seviyesindeki artışa paralel olarak artma tespit edilmiştir. Gövde B içeriği ise Doge genotipinde uygulama ile beraber artarken diğer genotiplerde azalmıştır.



Şekil 4.31. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) B içeriği üzerine etkisi

Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır genotiplerinin kök ve gövde B içeriği üzerine etkisinin ortalama değerlerine ait Duncan test sonuçları Çizelge 4.41'de verilmiştir. Kökte tüm genotiplerin B içeriği uygulamalara bağlı olarak farklılık gösterirken, gövdede DK647 genotipinin B içeriği uygulamalardan etkilenmemiştir.

Çizelge 4.41. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır genotiplerinin kök ve gövde B içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları

Genotip	Kök B İçeriği, mg kg ⁻¹					Genotip	Gövde B İçeriği, mg kg ⁻¹				
	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort		Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort
	0	50	100	150			0	50	100	150	
3394	40,01a	37,76a	36,12a	23,31b	34,30E	3394	39,09a	19,74b	11,36c	5,74c	18,98B
31P41	22,56d	42,11c	62,27b	78,60a	51,38CD	31P41	55,37a	41,73b	26,27c	23,24c	36,65DE
31G98	40,71b	59,13a	44,36b	39,69b	45,97E	31G98	46,01a	39,15a	30,25b	20,79c	34,05BC
3223	47,07a	45,11a	41,02b	21,78c	38,75B	3223	36,06a	34,65a	7,10b	6,08b	20,97B
34N24	9,82c	14,08b	43,26a	7,76d	18,73E	34N24	18,74a	13,96ab	9,33bc	5,63c	11,92CD
Kermess	33,80d	66,47b	67,67a	49,15c	54,27A	Kermess	43,25a	34,43ab	34,36ab	30,99b	35,76EF
Vero	27,51a	23,89b	19,20c	18,06c	22,17D	Vero	7,42a	5,80ab	5,43b	4,12b	5,69F
Luce	46,68a	37,43ab	35,98c	31,46c	37,89BC	Luce	39,49a	16,41b	11,83b	8,30b	19,01B
Doge	36,51a	22,83b	18,41b	20,75b	24,62BC	Doge	7,69b	10,39ab	14,88a	16,71a	12,42CD
Isidora	32,88c	43,18b	52,69a	32,23c	40,25E	Isidora	51,80a	45,70ab	36,21ab	31,09b	41,20G
Varenne	26,86c	47,40a	49,41a	32,63b	39,08A	Varenne	54,78a	49,87a	34,12b	24,92b	40,92A
Larigor	10,33d	14,07c	22,34a	17,42b	16,04E	Larigor	24,07a	16,21b	12,48c	11,93c	16,17BC
MF714	33,74a	27,41b	16,96c	27,03b	26,29A	MF714	10,89b	10,18b	8,67c	13,15a	10,72B
Pegaso	57,01a	48,64b	48,38b	43,56c	49,40E	Pegaso	42,46a	34,43a	34,28a	21,05b	33,05A
DK647	46,96bc	52,78b	64,40a	38,85c	50,75D	DK647^{ns}	61,01	56,08	53,74	53,75	56,15F
Ort	34,16A	38,82B	41,50C	32,15D		Ort	35,87B	28,58B	22,02B	18,50A	

Uygulanan Pb seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek B içeriği kökte Kermess (54,27 mg kg⁻¹) ve gövdede DK647 (56,15 mg kg⁻¹) genotiplerinde, en düşük ise kökte Larigor (16,04 mg kg⁻¹) ve gövdede Vero (56,15 mg kg⁻¹) genotipinde belirlenmiştir. Diğer genotipler ise bu değerler arasında değişen kök ve gövde B içeriğine sahiptirler.

Pb uygulama seviyelerindeki ortalama kök ve gövde B içerikleri incelendiğinde, gövdede B içeriğinin Pb seviyesindeki artışla tüm çeşitlerin ortalaması olarak azaldığı, ancak kök B içeriğinin 100 mg l⁻¹ Pb uygulamasına kadar arttığı ve 150 mg l⁻¹ Pb uygulamasında tekrar azaldığı belirlenmiştir. Kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak B içeriği kökte 34,16 mg kg⁻¹, gövdede 35,87 mg kg⁻¹ iken, kök B içeriği en yüksek 100 mg l⁻¹ Pb (41,50 mg kg⁻¹) uygulamasında tespit edilmiştir. Gövde B içeriği ise en yüksek uygulama dozu olan 150 mg l⁻¹ Pb'da 18,50 mg kg⁻¹'dir.

4.2.7. Pb ağır metalinin mısır genotiplerinin kök ve gövde aksamalarında Pb birikimi üzerine etkisi

Çizelge 4.42’de varyans analiz sonuçları incelendiğinde görüleceği gibi, Pb ağır metalinin mısır genotiplerinin kök ve gövde aksamalarında Pb birikimine etkisi istatistiksel olarak değerlendirildiğinde genotip, Pb seviyesi ile genotip*Pb seviyesi etkilerinin etkisi çok önemli olarak tespit edilmiştir ($p<0,01$).

Çizelge 4.42. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb’un mısır bitkisinin kök ve gövde Pb içeriğine ait varyans analiz sonuçları

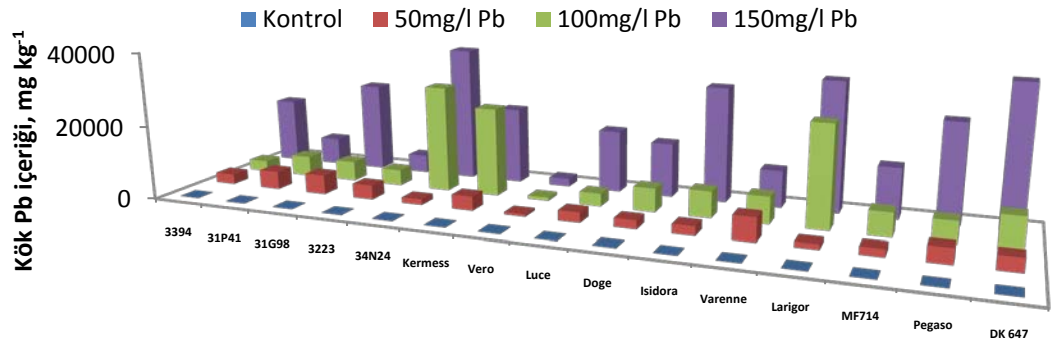
	Varyans Kaynağı	S. D.	Pb mg kg ⁻¹			Varyans Kaynağı	S. D.	Pb mg kg ⁻¹	
			K.O.	F				K.O.	F
Kök	Genotip	14	252517419,40	53,47**	Gövde	Genotip	14	2599,11	73,31**
	Pb seviyesi	3	3527830276,55	747,07**		Pb seviyesi	3	33106,36	933,84**
	Genotip x Pb Seviyesi	42	137608041,42	29,14**		Genotip x Pb Seviyesi	42	1114,58	31,44**
	Hata	120	4722206,47			Hata	120	35,45	
	Genel	180				Genel	180		

** : $p<0,01$ düzeyinde çok önemli, * : $p<0,05$ düzeyinde önemli, ns: Önemsiz

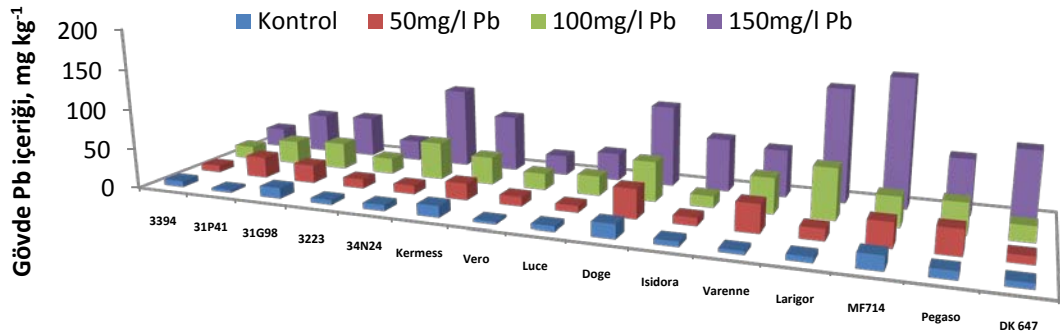
Mısır çeşitlerinin kök ve gövde aksamalarında Pb birikimi üzerine artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb’ un etkisi incelendiğinde; uygulanan Pb konsantrasyonlarındaki artışa bağlı olarak tüm çeşitlerin kök ve gövdelerinde önemli miktarda Pb birikimi olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.32. A ve B).

Kökte, uygulanan yüksek Pb konsantrasyonunda (150 mg l^{-1} Pb) Vero mısır çeşidinde Pb miktarı kontrole göre 15 kat, 3223 genotipinde ise 82 kat artış gösterirken, bu artış DK647 çeşidinde 4120 kat, Isidora da 4826 kat olmuştur. Ayrıca Kermess genotipinde kök Pb içeriği 150 mg l^{-1} Pb seviyesinde kontrole göre 216 kat, 100 mg l^{-1} Pb seviyesinde ise 248 kat artmıştır. Gövdede ise 3394 mısır çeşidinde Pb miktarı kontrole göre 3 kat, 31G98 4 kat, 3223 ve Kermess 5 kat artarken, bu artış Larigor genotipinde 22 kat olmuştur.

(A)



(B)



Şekil 4.32. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Pb birikimi üzerine etkisi

Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır genotiplerinin kök ve gövde aksamalarında Pb birikimine ait Duncan test sonuçları Çizelge 4.43'de verilmiştir. Tüm genotiplerde kökteki Pb birikimi gövdedeki birikimden fazla olmuştur. Uygulanan Pb seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek Pb içeriği kökte 34N24 ($16860,26 \text{ mg kg}^{-1}$) ve Larigor ($16016,42 \text{ mg kg}^{-1}$), gövdede Larigor ($55,94 \text{ mg kg}^{-1}$) ve MF714 ($60,64 \text{ mg kg}^{-1}$) genotiplerinde tespit edilmiştir. En düşük Pb içeriği ise kökte Vero ($956,36 \text{ mg kg}^{-1}$), gövdede 3394 ($14,10 \text{ mg kg}^{-1}$), Vero ($15,05 \text{ mg kg}^{-1}$), 3223 ($15,62 \text{ mg kg}^{-1}$) ve Luce ($18,39 \text{ mg kg}^{-1}$) genotiplerinde belirlenmiştir.

Kök ve gövde Pb içeriğinin uygulama seviyelerindeki ortalama miktarları incelendiğinde, Pb seviyesindeki artışa bağlı olarak farklılıkların önemli olduğu ve uygulama seviyesindeki artışa paralel olarak Pb içeriğinin arttığı belirlenmiştir. Kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak Pb içeriği kökte $67,66 \text{ mg kg}^{-1}$ gövdede ise $8,61 \text{ mg kg}^{-1}$ iken en yüksek uygulama dozu olan 150 mg l^{-1} Pb'da kökte $20119,49$

mg kg⁻¹, gövdede 70,62 mg kg⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Kurşun elementi bitki köklerinde sürgünlere göre daha fazla birikmektedir. 10 ve 20 günlük periyotlarla kum kültüründe çeltik bitkisi yetiştirilerek 500 ve 1000 Pb(NO₃)₂ uygulanmasının yapıldığı bitkilerde kök büyümesinin %22-42 ve sürgün büyümesini %25 oranında azaldığı, kökler tarafından absorbe edilen Pb miktarının sürgünlerden 1,7-3,3 kat daha yüksek olduğu görülmektedir (Verma and Dubey 2003).

Mısır genotiplerinde uygulama dozlarındaki biyolojik alınabilirlik indeks değerleri (BAİ) ve Transfer faktörü (TF) Pb ağır metali için Çizelge 4.44’de verilmiştir.

Çizelge 4.43. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasına bağlı olarak mısır genotiplerinin biyolojik alınabilirlik indeks değerleri (BAİ) ve Transfer faktörü (TF)

Genotip	Biyolojik alınabilirlik indeksi			Transfer faktörü		
	Pb seviyeleri ,mg l ⁻¹			Pb seviyeleri ,mg l ⁻¹		
	50	100	150	50	100	150
3394	55,53	29,83	120,73	0,003	0,005	0,001
31P41	98,99	56,03	50,56	0,005	0,005	0,007
31G98	106,97	54,30	163,96	0,004	0,006	0,002
3223	78,03	43,70	32,96	0,003	0,005	0,005
34N24	31,18	289,50	246,87	0,007	0,002	0,003
Kermess	77,50	242,70	140,56	0,005	0,001	0,003
Vero	13,18	9,26	14,38	0,018	0,023	0,012
Luce	55,20	35,49	113,94	0,003	0,007	0,002
Doge	47,57	64,69	99,71	0,016	0,008	0,007
Isidora	49,52	71,69	208,19	0,004	0,002	0,002
Varenne	129,78	73,43	67,64	0,005	0,006	0,006
Larigor	29,32	275,43	234,69	0,009	0,002	0,004
MF714	41,99	64,64	92,96	0,014	0,006	0,011
Pegaso	83,45	59,68	179,69	0,007	0,006	0,003
DK647	73,80	87,63	252,19	0,003	0,002	0,002

Mısır genotiplerinin Pb akümülyasyon kapasitelerini belirlemede kullandığımız BAİ’ne göre göre mısır genotiplerinin toplam Pb içeriklerinin artan metal konsantrasyonuna bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. BAİ değerinin tüm genotiplerde 1’in üzerinde olması genotiplerin Pb akümülyasyonunda yüksek derecede etkili olduğu anlamına gelmektedir. Transfer faktör değeri uygulanan Pb seviyeleri için tüm genotiplerimizde 1’in altında bulunmuştur.

Çizelge 4.44. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un mısır genotiplerinin kök ve gövde Pb içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları

Genotip	Kök Pb İçeriği, mg kg ⁻¹					Genotip	Gövde Pb İçeriği, mg kg ⁻¹				
	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort		Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort
	0	50	100	150			0	50	100	150	
3394	14,62c	2768,21b	2966,36b	18084,80a	5958,50D	3394	7,37c	8,51c	16,30b	24,21a	14,10H
31P41	60,14d	4923,03c	5573,50b	7533,94a	4522,65DE	31P41	3,30c	26,35b	29,70b	49,47a	27,21FG
31G98	85,58c	5325,71b	5397,03b	24542,90c	8837,81C	31G98	13,19c	22,73bc	33,31b	51,39a	30,15EF
3223	60,15d	3890,22c	4349,76b	4918,39a	3304,63E	3223	5,64d	11,45c	19,85b	25,52a	15,62H
34N24	59,82d	1548,03c	28902,72b	36930,47a	16860,26A	34N24	7,35c	10,73c	46,80b	100,12a	41,25C
Kermess	97,45b	3854,00b	24235,55a	21013,33a	12300,08B	Kermess	14,17c	20,90c	34,66b	70,39a	35,03DE
Vero	139,36d	647,66c	905,49b	2132,93a	956,36F	Vero	3,24c	11,55b	20,61a	24,80a	15,05H
Luce	17,06b	2751,80b	3524,64b	17055,92a	5837,36D	Luce	6,25c	8,34c	24,39b	34,59a	18,39H
Doge	140,03d	2342,15c	6419,30b	14855,00a	5939,12D	Doge	17,09d	36,46c	49,66b	101,20a	51,10B
Isidora	6,41d	2466,00c	7154,55b	31162,99a	10197,49C	Isidora	6,27c	9,87bc	14,41b	65,88a	24,11G
Varenne	71,60c	6454,76b	7298,92b	10086,76a	5978,01D	Varenne	4,29d	34,22c	44,20b	58,72a	35,36DE
Larigor	70,17c	1452,38c	27479,86b	35063,26a	16016,42A	Larigor	6,52c	13,70c	63,17b	140,39a	55,94A
MF714	105,61d	2069,73c	6427,41b	13784,88a	5596,91D	MF714	17,53b	29,73b	36,88b	158,43a	60,64A
Pegaso	77,80d	4142,22c	5930,18b	26884,33a	9258,64C	Pegaso	10,10c	30,31c	37,75b	68,51a	36,67CD
DK647	9,16d	3680,67c	8744,44b	37742,37a	12544,16B	DK647	6,82c	9,49c	18,73b	85,65a	30,17EF
Ort	67,66D	3221,11C	9687,32B	20119,49A		Ort	8,61D	18,96C	32,69B	70,62A	

4.3. Cd Ağır Metalinin Ayçiçeği Genotipleri Üzerine Etkisi

4.3.1. Cd ağır metalinin ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde büyümesi üzerine etkisi

Artan konsantrasyonlarda Cd uygulanmış ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde uzunlukları istatistiki olarak değerlendirildiğinde, kök ve gövde uzunluğu üzerine genotip, Cd seviyesi ile genotip*Cd seviyesi interaksiyonlarının etkisi çok önemli olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.45).

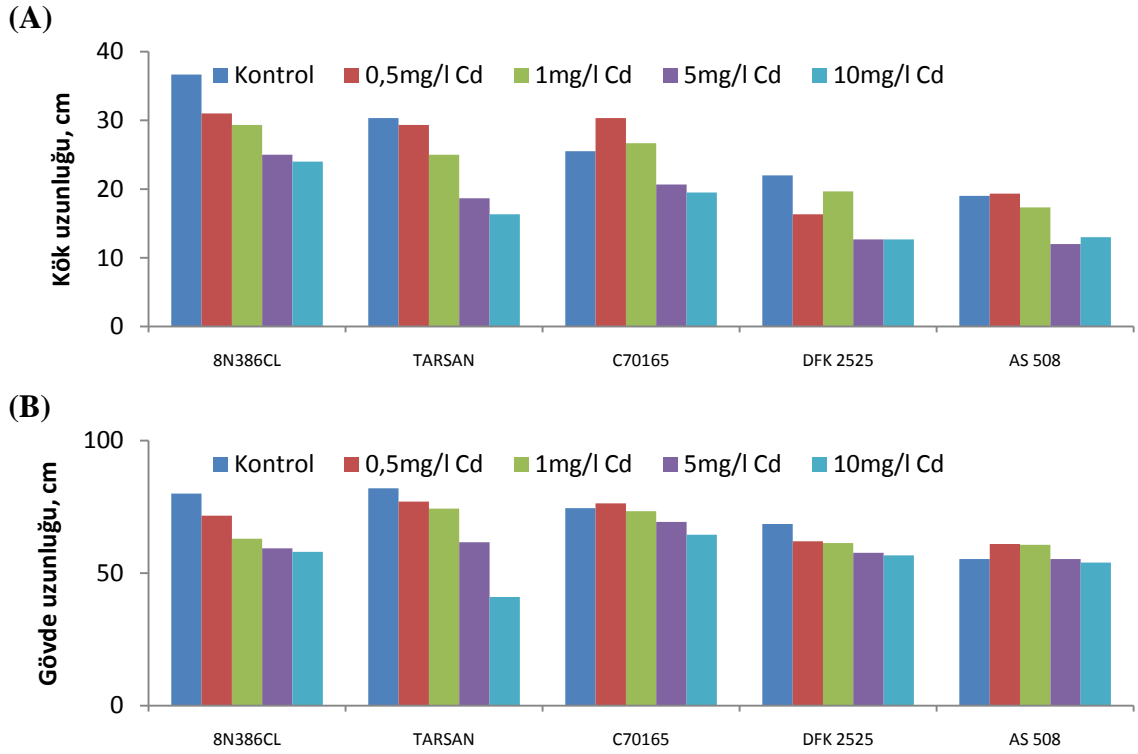
Çizelge 4.45. Farklı seviyelerde uygulanan Cd'un ayçiçeği bitkisinin kök gelişimi ve gövde verim kriterlerine ait varyans analiz sonuçları

Varyans Kaynağı	S. D.	Kök uzunluğu cm		Kök yaş ağırlığı g saksı ⁻¹		Kök kuru ağırlığı g saksı ⁻¹		Kök su içeriği %	
		K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F
Genotip	4	468,05	161,40**	10,69	282,13**	0,02	178,76**	113,16	112,34**
Cd seviyesi	4	288,48	99,48**	0,26	6,75**	0,01	17,54**	7,25	7,19**
Genotip x Cd Seviyesi	16	13,42	4,63**	0,66	17,33**	0,01	5,87**	20,92	20,77**
Hata	50	2,90		0,04		0,00		1,01	
Genel	75								

Varyans Kaynağı	S. D.	Gövde uzunluğu cm		Gövde yaş ağırlığı g saksı ⁻¹		Gövde kuru ağırlığı g saksı ⁻¹		Gövde su içeriği %	
		K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F
Genotip	4	465,05	374,04**	342,29	370,91**	1,73	599,08**	61,05	99,91**
Cd seviyesi	4	732,19	588,89**	81,53	88,35**	0,29	98,46**	10,94	17,91**
Genotip x Cd Seviyesi	16	125,91	101,27**	18,87	20,45**	0,18	61,92**	8,43	13,80**
Hata	50	1,24		0,92		0,01		0,61	
Genel	75								

** : p<0,01 düzeyinde çok önemli, * : p<0,05 düzeyinde önemli, ns: Önemsiz

Cd seviyesindeki artışa bağlı olarak tüm genotiplerin kök (A) ve gövde (B) uzunluklarındaki değişim Şekil 4.33'de görülmektedir. Uygulanan en yüksek Cd konsantrasyonunda (10 mg l⁻¹ Cd); Tarsan genotipinin kök uzunluğu kontrole göre yaklaşık %46, C70165 genotipinin ise %24 azalmıştır. Gövde uzunluğu uygulanan en yüksek Cd konsantrasyonunda (10 mg l⁻¹ Cd) kontrole göre Tarsan genotipinde %50, AS508 genotipinde %2 azalma göstermiştir.



Şekil 4.33. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) uzunluğu üzerine etkisi

Çizelge 4.46 Duncan çoklu karşılaştırma sonuçları incelendiğinde görüleceği gibi, tüm genotiplerde uygulanan Cd seviyesine bağlı olarak kök ve gövde uzunlukları farklılık göstermiştir. Uygulanan Cd seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek kök uzunluğu 29,20 cm ile 8N386CL genotipinden, en düşük kök uzunluğu ise DFK2525 (16,67 cm) ve AS508 (16,13 cm) genotiplerinden elde edilmiştir. Gövde uzunluklarındaki değişim incelendiğinde, uygulanan Cd seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek gövde uzunluğu C70165 (71,60 cm) genotipinde elde edilirken, en düşük gövde uzunluğu ise AS508 (57,27 cm) genotipindedir. Diğer genotipler ise bu değerler arasında değişen kök ve gövde uzunluklarına sahiptirler.

Uygulanan Cd seviyelerine bağlı olarak tüm genotiplerin kök ve gövde uzunluklarının ortalamaları dikkate alındığında, Cd seviyesindeki artışla beraber kök ve gövde uzunluklarının önemli farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Kontrolde kök uzunluğu 26,70 cm ve gövde uzunluğu 72,07 cm iken en yüksek uygulama dozu olan 10 mg l⁻¹ Cd'da kök uzunluğu 17,10 cm'ye, gövde uzunluğu ise 54,83 cm'ye gerilemiştir.

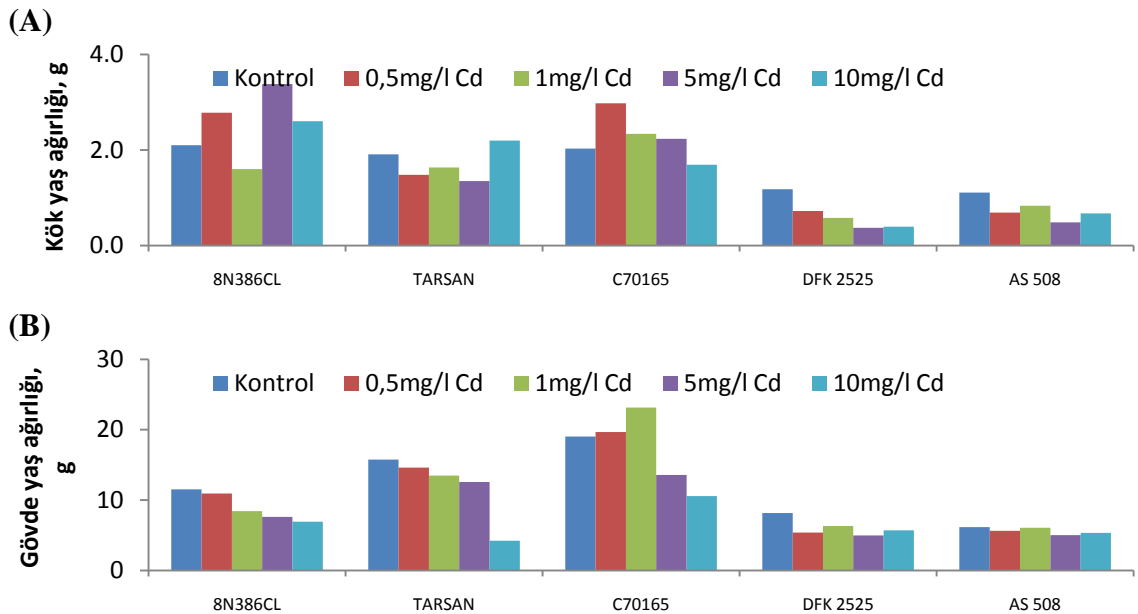
Çizelge 4.46. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde uzunluğu, yaş ağırlığı, kuru ağırlığı ve su içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları

Genotip	Kök Uzunluğu, cm						Genotip	Gövde Uzunluğu, cm					
	Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort		Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort
	0	0,5	1	5	10			0	0,5	1	5	10	
8N386CL	36,67a	31,00b	29,33c	25,00d	24,00d	29,20A	8N386CL	80,00a	71,67b	63,00c	59,33d	58,00d	66,40B
TARSAN	30,33a	29,33a	25,00b	18,67c	16,33d	23,93B	TARSAN	82,00a	77,00b	74,33c	61,67d	41,00e	67,20B
C70165	25,50b	30,33a	26,67b	20,67c	19,50c	24,53B	C70165	74,50ab	76,33a	73,33b	69,33c	64,50d	71,60A
DFK2525	22,00a	16,33bc	19,67ab	12,67c	12,67c	16,67C	DFK2525	68,50a	62,00b	61,33b	57,67c	56,67c	61,23C
AS 508	19,00a	19,33a	17,33a	12,00b	13,00b	16,13C	AS 508	55,33b	61,00a	60,67a	55,33b	54,00b	57,27D
Ort	26,70A	25,27B	23,60C	17,80D	17,10D		Ort	72,07A	69,60B	66,53C	60,67D	54,83E	
Genotip	Kök Yaş Ağırlığı, g saksı ⁻¹						Genotip	Gövde Yaş Ağırlığı, g saksı ⁻¹					
	Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort		Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort
	0	0,5	1	5	10			0	0,5	1	5	10	
8N386CL	2,10c	2,78b	1,60d	3,38a	2,60b	2,49A	8N386CL	11,52a	10,92a	8,44b	7,61c	6,93c	9,08C
TARSAN	1,91ab	1,48c	1,63bc	1,35c	2,20a	1,71C	TARSAN	15,75a	14,62ab	13,49bc	12,57c	4,22d	12,13B
C70165	2,03bc	2,98a	2,34b	2,23bc	1,69c	2,25B	C70165	19,04b	19,66b	23,14a	13,56c	10,58c	17,20A
DFK2525	1,18a	0,72b	0,58ab	0,37b	0,39b	0,65D	DFK2525	8,15a	5,39bc	6,32b	4,98c	5,70bc	6,11D
AS 508	1,11a	0,69b	0,83b	0,48c	0,67b	0,76D	AS 508	6,16a	5,64ab	6,07a	5,02b	5,33ab	5,64D
Ort	1,66AB	1,73A	1,40B	1,56BC	1,51CD		Ort	12,12A	11,25B	11,49BC	8,75C	6,55D	
Genotip	Kök Kuru Ağırlığı, g saksı ⁻¹						Genotip	Gövde Kuru Ağırlığı, g saksı ⁻¹					
	Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort		Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort
	0	0,5	1	5	10			0	0,5	1	5	10	
8N386CL	0,16a	0,15a	0,15a	0,13b	0,12b	0,14A	8N386CL	1,08a	0,99b	0,87c	0,76d	0,75d	0,89B
TARSAN	0,11a	0,09b	0,08bc	0,06c	0,07bc	0,08C	TARSAN	1,25a	1,11b	1,10b	1,09b	0,09c	0,93B
C70165	0,09c	0,15a	0,12b	0,08c	0,10bc	0,11B	C70165	0,82d	1,28b	1,47a	0,98c	0,83d	1,08A
DFK2525 ^{ns}	0,07	0,06	0,06	0,06	0,07	0,06D	DFK2525	0,42c	0,51ab	0,49b	0,50ab	0,55a	0,49C
AS 508	0,07a	0,05bc	0,06ab	0,04b	0,04b	0,05E	AS 508	0,16c	0,26b	0,32a	0,26b	0,30ab	0,26D
Ort	0,10A	0,10A	0,09A	0,08B	0,08B		Ort	0,75B	0,83A	0,85A	0,72B	0,50C	
Genotip	Kök Su İçeriği, %						Genotip	Gövde Su İçeriği, %					
	Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort		Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort
	0	0,5	1	5	10			0	0,5	1	5	10	
8N386CL	92,19c	94,61b	90,62d	96,15a	95,53a	93,82B	8N386CL	90,62a	90,88a	89,69ab	90,01ab	89,18b	90,08D
TARSAN	94,41cd	93,92d	95,11bc	95,26b	96,63a	95,07A	TARSAN	92,07b	92,39b	91,83b	91,33b	97,82a	93,09B
C70165	95,67a	95,04ab	94,96ab	96,27a	93,87b	95,16A	C70165	95,51a	93,49bc	93,64b	92,76bc	92,15c	93,51B
DFK2525	94,33a	91,19b	88,98b	84,61c	83,19c	88,46D	DFK2525	94,85a	90,38b	92,12b	89,89b	90,26b	91,50C
AS 508	93,63a	93,25ab	92,36ab	91,05b	94,57a	92,97C	AS 508	97,40a	95,38b	94,77b	94,89b	94,43b	95,38A
Ort	94,04A	93,60A	92,41B	92,67B	92,76B		Ort	94,09A	92,51B	92,41B	91,78C	92,77B	

4.3.2. Cd ağır metalinin ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde yaş ağırlığı üzerine etkisi

Ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde yaş ağırlıkları (g saksı^{-1}) istatistiksel olarak değerlendirildiğinde, kök ve gövde yaş ağırlığı üzerine genotip, Cd seviyesi ile genotip*Cd seviyesi interaksiyonlarının etkisi çok önemli olarak bulunmuştur (Çizelge 4.45).

Şekil 4.34. A ve B’de artan seviyelerde uygulanan Cd’ un ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde yaş ağırlığı üzerine etkisi gösterilmiştir. Cd konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak kök yaş ağırlığı DFK2525 ve AS508 genotiplerinde azalırken, C70165’de $0,5 \text{ mg l}^{-1}$ Cd seviyesinde kontrole göre artmış, diğer seviyelerde ise azalmıştır. Tarsan’da ise Cd seviyesindeki artmaya bağlı olarak 5 mg l^{-1} Cd seviyesine kadar azalmış, 10 mg l^{-1} Cd seviyesinde ise artmıştır. 8N386CL genotipinin kök yaş ağırlığında düzenli bir değişim belirlenememiştir. Gövde yaş ağırlığı, Cd seviyesindeki artışa bağlı olarak C70165 genotipinde 1 mg l^{-1} Cd seviyesine kadar artış göstermiş, sonraki seviyelerde azalmıştır. Diğer tüm genotiplerde uygulamalara bağlı olarak gövde yaş ağırlığında azalma tespit edilmiştir.



Şekil 4.34. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) yaş ağırlığı üzerine etkisi

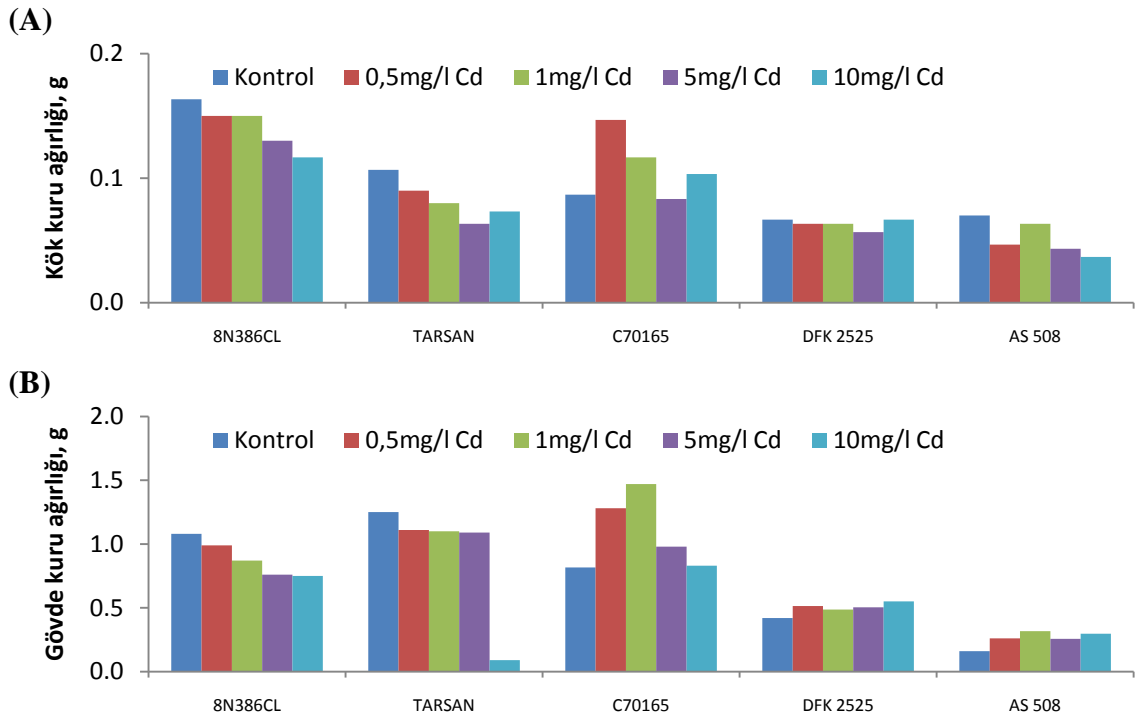
Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde yaş ağırlığı üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları Çizelge 4.46'da görülmektedir. Genotiplerin hepsinde kök ve gövde yaş ağırlığı Cd uygulamalarına bağlı olarak farklılık göstermiştir. En yüksek kök yaş ağırlığı, uygulanan Cd seviyelerinin ortalaması olarak 8N386CL (2,49 g) genotipinde gövde yaş ağırlığı ise C70165 (17,20 g) genotipinde belirlenmiştir. En düşük kök ve gövde yaş ağırlığı ise DFK2525 (kökte 0,65 g-gövdede 6,11 g) ve AS508 (kökte 0,76 g-gövdede 5,64 g) genotiplerinden elde edilmiştir.

Her bir Cd seviyesinde tüm genotiplerin kök ve gövde yaş ağırlık ortalamaları incelendiğinde, Cd seviyesindeki artışla beraber kök ve gövde yaş ağırlıklarının farklılıklar gösterdiği görülmektedir. En yüksek kök yaş ağırlığı 0,5 mg l⁻¹ Cd (1,73 g) seviyesinde, en düşük ise 1 mg l⁻¹ Cd (1,40 g) seviyesinde tespit edilmiştir. Gövde yaş ağırlığı ise kontrolde 12,12 g, 10 mg l⁻¹ Cd uygulamasında 6,55 g olarak bulunmuştur.

4.3.3. Cd ağır metalinin ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde kuru ağırlığı üzerine etkisi

Ayçiçeği genotiplerinin uygulamalara bağlı olarak kök ve gövde kuru ağırlık değerleri istatistiki olarak değerlendirildiğinde, genotip, Cd seviyesi ile genotip*Cd seviyesi interaksiyonlarının etkisi çok önemli olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.45).

Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde kuru ağırlığı üzerine etkisi Şekil 4.35. A ve B'de verilmiştir. Uygulanan en yüksek Cd konsantrasyonunda (10 mg l⁻¹ Cd); Tarsan ayçiçeği çeşidinde gövde kuru ağırlığı kontrole göre %93 azalırken AS508 de % 85 artmıştır. Kök kuru ağırlığı ise C70165'de %19 artmış, AS508 çeşidinde %45 azalmıştır. Khan and Khan (1983) tarafından yapılan benzer bir çalışmada, kurşun ve kadmiyumun domates ve patates bitkilerinde kuru madde ve besin derişimlerine etkisine bakılmış, düşük dozlarda kurşun ve kadmiyumun olumlu etkisi, yüksek dozlarda toksik olduğu belirlenmiştir. Kurşunun bitki organlarının taze ve kuru biokütlesine etkisi bitki türü, bitki organları ve metabolik yollarla ilişkili olarak farklılıklar göstermektedir (Singh *et al.* 1994).



Şekil 4.35. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı ayçiçeği çeşitlerinde kök (A) ve gövde (B) kuru ağırlığı üzerine etkisi

Çizelge 4.46 Duncan çoklu karşılaştırma sonuçları incelendiğinde görüleceği gibi, DFK2525 genotipinde Cd uygulamalarına bağlı olarak kök kuru ağırlığında önemli bir fark meydana gelmemiştir. Diğer genotiplerde uygulanan Cd seviyesine bağlı olarak kök ve gövde kuru ağırlıkları farklılık göstermektedir. Uygulanan Cd seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek kök kuru ağırlığı 8N386CL (0,14 g) genotipinde, en düşük kök kuru ağırlığı ise DFK2525 (0,20 g) genotipinde tespit edilmiştir. En yüksek gövde kuru ağırlığı ise 1,08 g ile C70165 genotipinde elde edilirken, en düşük gövde kuru ağırlığı AS508 (0,26 g) genotipindedir. Diğer genotipler ise bu değerler arasında değişen kök ve gövde kuru ağırlık değerlerine sahiptirler.

Tüm ayçiçeği genotiplerinin Cd uygulama seviyelerindeki ortalama kök ve gövde kuru ağırlık değerleri incelendiğinde, kök kuru ağırlığının 0 (0,10 g), 0,5 (0,10 g) ve 1 mg l⁻¹ Cd (0,9 g) seviyelerinde benzer olduğu, 5 (0,08 g) ve 10 mg l⁻¹ Cd (0,08 g) uygulamalarına göre farklılık gösterdikleri tespit edilmiştir. Gövde kuru ağırlığı ise en yüksek 0,5 (0,83 g) ve 1 (0,85 g) mg l⁻¹ Cd seviyelerinde, en düşük 10 mg l⁻¹ Cd (0,50 g) seviyesinde belirlenmiştir.

Ayçiçeği genotiplerinin artan seviyelerde uygulanan Cd'a bağlı olarak kuru ağırlık miktarları ile hesaplanan tolerans indeks değerleri Çizelge 4.47'de verilmiştir.

Çizelge 4.47. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasına bağlı olarak ayçiçeği genotiplerinin tolerans indeksleri

Genotip	Kök Tolerans İndeksi				Gövde Tolerans İndeksi			
	Cd seviyeleri ,mg l ⁻¹				Cd seviyeleri ,mg l ⁻¹			
	0,5	1	5	10	0,5	1	5	10
8N386CL	92	92	80	71	92	81	70	69
TARSAN	84	75	59	69	89	88	87	7
C70165	169	135	96	119	157	180	120	102
DFK2525	95	95	85	100	122	116	120	131
AS 508	67	90	62	52	163	198	160	185

Tolerans indeks değerleri incelendiğinde, kök kuru ağırlığı C70165 genotipinde 0,5, 1 ve 10 mg l⁻¹ Cd uygulamalarında kontrolden yüksek olduğu için tolerans indeks değerleri sırası ile %169, %135 ve %119 olarak belirlenmiştir. 0,5 mg l⁻¹ Cd uygulamasında en düşük tolerans indeks değeri %67 ile AS508 genotipinden elde edilmiştir. Kök tolerans indeksi 1 mg l⁻¹ Cd uygulama seviyesinde C70165 genotipinde %135 olarak belirlenirken, Tarsan genotipinde %75 olmuştur. 5 mg l⁻¹ Cd uygulamasında kök tolerans indeks değerleri en yüksek C70165 (%96), en düşük ise Tarsan (%59) ve AS508 (%62) genotiplerinde bulunmuştur. En yüksek uygulama dozu olan 10 mg l⁻¹ Cd seviyesinde kök tolerans indeks değerleri C70165 ve DFK2525 genotiplerinde sırasıyla %119 ve %100 olurken, bu değer AS508'de %52 olarak belirlenmiştir.

Gövde tolerans indeks değerleri incelendiğinde görüleceği gibi, 0,5 mg l⁻¹ Cd uygulamasında C70165 ve AS508 genotiplerinde tolerans indeks değeri %157, %163 iken Tarsan'da %89'dur. Gövde tolerans indeksi 1 mg l⁻¹ Cd uygulama seviyesinde C70165 ve AS508 genotiplerinde sırasıyla %180 ve %198, 8N386CL'de %81 olarak belirlenmiştir. 5 mg l⁻¹ Cd uygulamasında en yüksek AS508 (%160) genotipinde, en düşük ise 8N386CL (%70) genotipinde bulunmuştur. En yüksek uygulama dozu olan 10

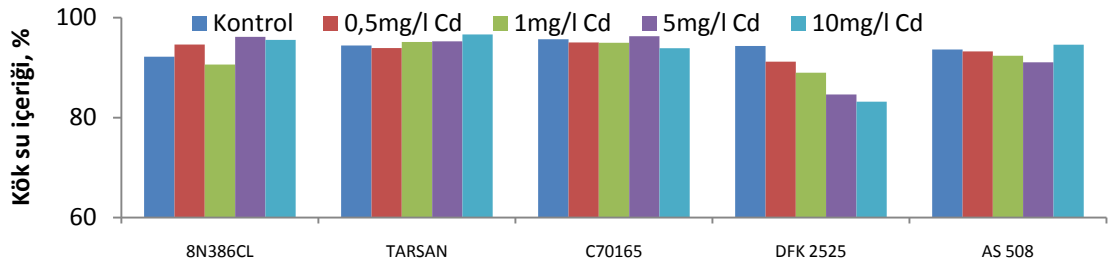
mg l⁻¹ Cd seviyesinde gövde tolerans indeks değerleri AS508'de sırasıyla %185 olurken, bu değer Tarsan'da %7 olarak tespit edilmiştir.

Her bir uygulama seviyesindeki tolerans indeks değerlerine bağlı olarak yapılan puanlandırmaya göre kök tolerans sıralaması; C70165 (20)> DFK2525 (16)> 8N386CL (12)> Tarsan ve AS508 (6), gövde tolerans sıralaması ise; AS508 (20)> C70165 (15)> DFK2525 (13)> Tarsan ve 8N386CL (6) şeklindedir.

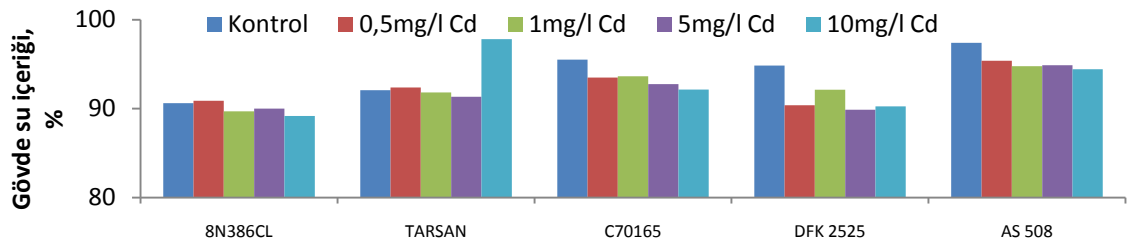
4.3.4. Cd ağır metalinin ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde su içeriği üzerine etkisi

Artan konsantrasyonlarda Cd uygulanan ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde su içeriklerine ait sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirildiğinde, genotip, Cd seviyesi ile genotip*Cd seviyesi interaksiyonlarının etkisi çok önemli olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.45). Yüksek Cd konsantrasyonunda (10 mg l⁻¹ Cd) 8N386CL genotipinde kök su içeriğinde kontrole göre yaklaşık %4 artış, DFK2525 çeşidinde ise %12 azalma tespit edilmiştir. Gövde su içeriği Tarsan da 5 mg l⁻¹ Cd seviyesine kadar azalmış, 10 mg l⁻¹ Cd seviyesinde ise %6 artmıştır. DFK2525 de ise %5 azalmıştır (Şekil 4.36. A ve B).

(A)



(B)



Şekil 4.36. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı ayçiçeği çeşitlerinde kök (A) ve gövde (B) su içeriği üzerine etkisi

Çizelge 4.46'da Duncan test sonuçları incelendiğinde, tüm genotiplerin kök ve su içeriklerinin uygulamalardan etkilendiği görülmektedir. Uygulama seviyelerinin ortalaması olarak kök su içeriği en yüksek Tarsan (%95,07) ve C70165 (%95,16) genotiplerinde, en düşük AS508 (%92,97) genotipinde tespit edilmiştir. Gövde su içeriği ise en yüksek AS508 (%95,38), en düşük 8N386CL (%90,08) genotipinde belirlenmiştir.

Her bir Cd seviyesindeki ortalama su içerikleri dikkate alındığında, kök su içeriğinin 0 (%94,04) ve 0,5 (%93,60) seviyelerinde benzer olduğu, 1 (%92,41) 5 (%92,67) ve 10 mg l⁻¹ Cd (92,76) uygulamalarına göre farklılık gösterdikleri tespit edilmiştir. Gövde kuru ağırlığı ise en yüksek kontrolde (%94,09), en düşük ise 5 (%91,78) ve 10 mg l⁻¹ Cd (%92,77) seviyelerinde belirlenmiştir.

4.3.5. Cd ağır metalinin ayçiçeği genotiplerinin klorofil içeriği (SPAD değeri) üzerine etkisi

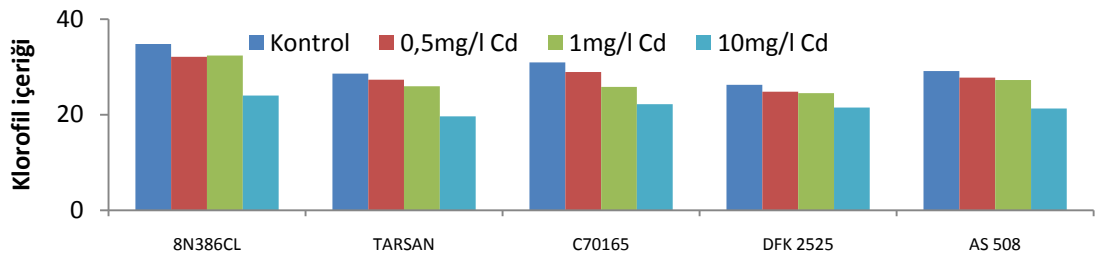
Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd' un ayçiçeği çeşitlerinin klorofil içeriğine etkisi incelendiğinde; genotip, Cd seviyesi ile genotip*Cd seviyesi interaksiyonlarının etkisi çok önemli olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.48).

Çizelge 4.48. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un ayçiçeği genotiplerinin klorofil içeriğine ait varyans analizi ve Duncan test sonuçları

Varyans Kaynağı	S. D.	Klorofil	
		K.O.	F
Genotip	4	86,27	72,62**
Cd seviyesi	4	152,20	128,11**
Genotip x Cd Seviyesi	16	4,43	3,73**
Hata	50	1,19	
Genel	75		

Genotip	Klorofil içeriği, SPAD					Ort
	Cd seviyeleri ,mg l ⁻¹					
	0	0,5	1	5	10	
8N386CL	34,80a	32,10b	32,38b	28,40c	24,00d	30,34A
TARSAN	28,60a	27,33b	25,97c	21,83d	19,67e	24,68C
C70165	30,95a	28,93b	25,83c	24,38d	22,18e	26,46B
DFK2525	26,27a	24,80a	24,50a	24,33a	21,50b	24,28C
AS 508	29,13a	27,77ab	27,27ab	25,37b	21,30c	26,17B
Ort	29,95A	28,19B	27,19C	24,86D	21,73E	

Şekil 4.37’de konsantrasyon artışına bağlı olarak ayçiçeği genotiplerinin klorofil içeriklerindeki değişim görülmektedir. Uygulanan en yüksek Cd konsantrasyonunda (10 mg l⁻¹ Cd); TARSAN ve 8N386CL çeşitlerinde SPAD değerleri kontrole göre yaklaşık %31 azalırken, DFK2525 de %18 azalma olmuştur. Suzuki *et al.* (2001), yaptıkları çalışmada Cd uygulamalarının *Brassica napus* bitkisinin total klorofil içeriğini azalttığını bildirmişlerdir.



Şekil 4.37. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde klorofil içeriği (SPAD değeri) üzerine etkisi

Çizelge 4.48’de Duncan test sonuçları incelendiğinde görüleceği gibi, tüm genotiplerde uygulanan Cd seviyesine bağlı olarak klorofil içeriği etkilenmiştir. Uygulanan Cd seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek klorofil içeriği 8N386CL (30,34) genotipinde, en düşük klorofil içeriği ise Tarsan (24,68) ve DFK2525 (24,28) genotiplerinde tespit edilmiştir. Cd uygulama seviyelerindeki ortalama klorofil içerikleri incelendiğinde, Cd seviyesindeki artışa bağlı olarak klorofil içeriğindeki farklılıkların önemli olduğu belirlenmiştir. Kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak klorofil miktarı 29,95 iken en yüksek uygulama dozu olan 10 mg l⁻¹ Cd’da 21,73 olarak belirlenmiştir.

4.3.6. Cd ağır metalinin ayçiçeği genotiplerinin besin elementi içeriği üzerine etkisi

Su kültürü ortamında artan seviyelerde uygulanan Cd’un farklı ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde mineral beslenmesi üzerine olan etkisini belirlemek amacıyla, hasat edilen bitkiler uygun yöntemlerle analize tabi tutulmuşlardır. Analiz sonuçlarına göre artan seviyelerde uygulanan Cd ağır metalinin bitki besin içeriği üzerine genotiplerde farklı etkiler gösterdiği tespit edilmiştir.

4.3.6.1. Cd ağır metalinin ayçiçeği genotiplerinin makro besin elementi (N, P, K, Ca ve Mg) içeriği üzerine etkisi

Cd ağır metalinin ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde aksamalarının N, P, K, Ca ve Mg içerikleri istatistiksel olarak değerlendirildiğinde genotip, Cd seviyesi ile genotip*Cd seviyesi etkilerinin etkisi çok önemli olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.49). Ortalama değerlere ait Duncan test sonuçları ise Çizelge 4.50’de verilmiştir.

Çizelge 4.49. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd’un ayçiçeği bitkisinin gövde N, P, K, Ca ve Mg içeriğine ait varyans analiz sonuçları

	Varyans Kaynağı	S. D.	N %		P %		K %		Ca %		Mg %	
			K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F
Kök	Genotip	4	3,41	23,18**	4,37	88,71**	6,22	96,08**	18,00	374,96**	0,35	46,69**
	Cd seviyesi	4	22,61	153,84**	1,23	25,04**	2,83	43,69**	0,53	11,11**	0,07	8,93**
	Genotip x Cd Seviyesi	16	7,28	49,55**	0,80	16,15**	3,22	49,78**	0,76	15,89**	0,03	3,55**
	Hata	50	0,15		0,05		0,07		0,05		0,01	
	Genel	75										
Gövde	Genotip	4	2,21	45,79**	1,15	39,93**	12,02	15,33**	3,23	120,84**	1,57	490,59**
	Cd seviyesi	4	12,82	265,71**	0,25	8,64**	10,04	12,80**	2,65	99,27**	0,27	83,43**
	Genotip x Cd Seviyesi	16	1,84	38,21**	0,32	11,22**	4,20	5,35**	0,82	30,68**	0,04	12,29**
	Hata	50	0,05		0,03		0,78		0,03		0,01	
	Genel	75										

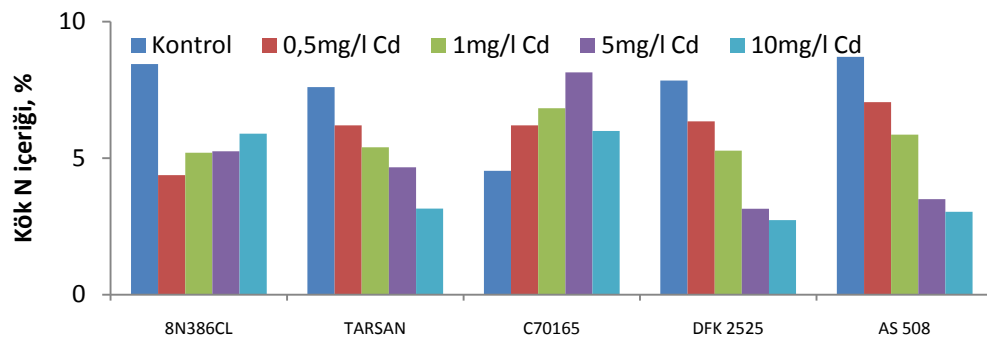
** : p<0,01 düzeyinde çok önemli, * : p<0,05 düzeyinde önemli, ns: Önemsiz

Çizelge 4.50. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde N, P, K, Ca ve Mg içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları

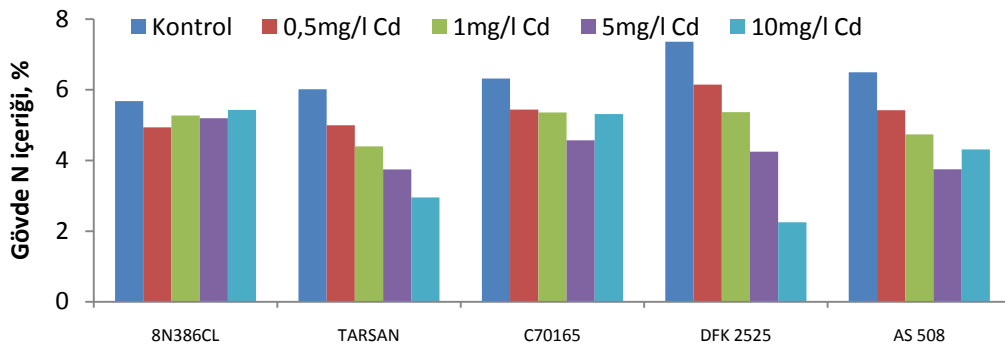
Kök N İçeriği, %							Genotip	Gövde N İçeriği, %						
Genotip	Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort		Genotip	Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort
	0	0,5	1	5	10				0	0,5	1	5	10	
8N386CL	8,45a	4,38d	5,20c	5,25c	5,89b	5,83B	8N386CL	5,68a	4,94d	5,27c	5,19c	5,43b	5,30A	
TARSAN	7,60a	6,20b	5,40c	4,67d	3,15e	5,40C	TARSAN	6,02a	5,00b	4,40c	3,75d	2,95e	4,42C	
C70165	4,54e	6,20c	6,83b	8,14a	5,99d	6,34A	C70165	6,32a	5,44b	5,36b	4,57c	5,31b	5,40A	
DFK2525	7,84a	6,35b	5,27c	3,15d	2,73d	5,07D	DFK2525	7,36a	6,15b	5,37c	4,25d	2,25e	5,07B	
AS 508	8,71a	7,05b	5,86c	3,50d	3,03d	5,63BC	AS 508	6,49a	5,42b	4,74c	3,75e	4,31d	4,94B	
Ort	7,43A	6,04B	5,71C	4,94D	4,16E	Ort	6,37A	5,39B	5,03C	4,30D	4,05E			
Kök P İçeriği, %							Genotip	Gövde P İçeriği, %						
Genotip	Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort		Genotip	Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort
	0	0,5	1	5	10				0	0,5	1	5	10	
8N386CL	2,17b	2,23b	2,84b	3,73a	2,41b	2,68C	8N386CL	1,15c	1,32b	1,92a	1,36b	0,87d	1,32C	
TARSAN	2,83b	3,39a	3,38a	3,26ab	2,23c	3,02B	TARSAN	1,24d	1,44c	1,63bc	1,91a	1,77ab	1,60A	
C70165	3,38b	3,86a	3,28b	3,27b	2,33c	3,22A	C70165 ^{ns}	1,01	0,82	0,77	0,84	0,89	0,87D	
DFK2525	2,72b	2,60b	2,12c	3,15a	3,14a	2,75C	DFK2525	1,20c	1,54b	2,16a	1,46b	0,99d	1,47B	
AS 508	1,19c	1,48b	1,58b	2,46a	2,37a	1,81D	AS 508	1,75a	1,33ab	0,93b	1,41ab	1,20b	1,32C	
Ort	2,46D	2,71B	2,64BC	3,17A	2,49CD	Ort	1,27B	1,29B	1,48A	1,40AB	1,14C			
Kök K İçeriği, %							Genotip	Gövde K İçeriği, %						
Genotip	Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort		Genotip	Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort
	0	0,5	1	5	10				0	0,5	1	5	10	
8N386CL	5,18d	5,91c	6,72b	7,48a	4,37e	5,93A	8N386CL ^{ns}	8,46	6,49	7,60	7,65	9,16	7,87A	
TARSAN	3,50e	4,86c	5,86b	6,73a	4,49d	5,09C	TARSAN	8,10a	7,52ab	7,12b	5,39c	4,83c	6,59B	
C70165	5,69a	5,70a	5,89a	5,02b	3,83c	5,23C	C70165 ^{ns}	7,22	6,31	6,21	6,01	7,74	6,70B	
DFK2525	6,18a	5,75ab	5,41b	5,43b	5,45b	5,64B	DFK2525	6,73b	7,09ab	7,70a	5,11c	4,33d	6,19B	
AS 508	3,38c	3,52c	3,74c	4,37b	6,21a	4,24D	AS 508	10,07a	9,47b	9,19b	6,70c	5,91d	8,27A	
Ort	4,78D	5,15C	5,52B	5,81A	4,87D	Ort	8,12A	7,38B	7,56AB	6,17C	6,40C			
Kök Ca İçeriği, %							Genotip	Gövde Ca İçeriği, %						
Genotip	Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort		Genotip	Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort
	0	0,5	1	5	10				0	0,5	1	5	10	
8N386CL	2,30a	2,27a	1,97ab	1,93ab	1,85b	2,06C	8N386CL	4,26a	4,15a	4,15a	3,49b	2,60c	3,73B	
TARSAN	4,87a	4,67a	4,52a	4,59a	3,19b	4,37A	TARSAN	3,75a	3,23b	3,20b	3,18b	3,03b	3,28D	
C70165	3,50a	3,46a	2,38b	3,39a	4,01a	3,35B	C70165	3,49a	2,90b	1,96c	2,35c	2,87b	2,71E	
DFK2525	2,27b	1,95c	1,40d	2,80a	2,62a	2,21C	DFK2525	3,39b	4,71a	4,83a	3,59b	3,05c	3,91A	
AS 508	1,45c	1,57bc	1,92a	1,84ab	1,82ab	1,72D	AS 508	4,25a	4,11a	3,19b	3,08b	2,80c	3,49C	
Ort	2,88A	2,78AB	2,44C	2,91A	2,70B	Ort	3,83A	3,82A	3,47B	3,14C	2,87D			
Kök Mg İçeriği, %							Genotip	Gövde Mg İçeriği, %						
Genotip	Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort		Genotip	Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort
	0	0,5	1	5	10				0	0,5	1	5	10	
8N386CL	0,60a	0,48ab	0,41ab	0,36ab	0,34b	0,44B	8N386CL	1,06ab	1,15b	1,33a	1,05c	0,74d	1,07B	
TARSAN	0,38a	0,37ab	0,32bc	0,30c	0,21d	0,31C	TARSAN	0,58a	0,52ab	0,48bc	0,41c	0,31d	0,46D	
C70165	0,41bc	0,36c	0,23d	0,58a	0,48ab	0,41B	C70165	0,64a	0,58ab	0,52bc	0,30d	0,47c	0,50D	
DFK2525	0,82a	0,76a	0,76a	0,70ab	0,50b	0,71A	DFK2525	1,11c	1,29b	1,47a	1,18b	0,86d	1,18A	
AS 508	0,48a	0,48a	0,38b	0,29c	0,28c	0,38B	AS 508	0,94a	0,88ab	0,78b	0,74b	0,59c	0,79C	
Ort	0,54A	0,49AB	0,42CD	0,45BC	0,36D	Ort	0,87B	0,88AB	0,91A	0,74C	0,59D			

Şekil 4.38’de ayçiçeği genotiplerine artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd’un kök (A) ve gövde (B) N içeriğine etkisi gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, artan Cd konsantrasyonları kök ve gövde N içeriğini önemli düzeyde etkilemiştir. Kök azot içeriği C70165 genotipinde 5 mg l^{-1} Cd seviyesine kadar artmış, 10 mg l^{-1} Cd’da ise azalmıştır. Diğer genotiplerin kök azot içeriği uygulama dozundaki artışa bağlı olarak azalma göstermiştir. Gövdedeki N içeriği ise uygulanan Cd seviyesindeki artışa bağlı olarak tüm genotiplerde azalmıştır.

(A)



(B)

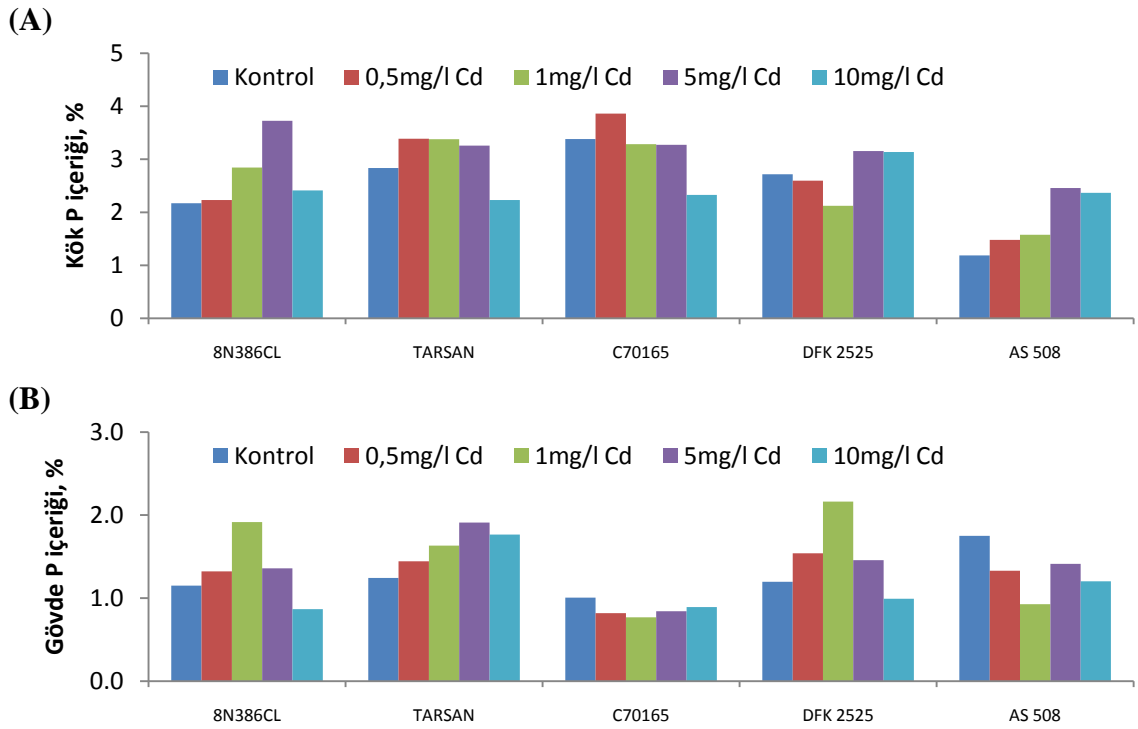


Şekil 4.38. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) N içeriği üzerine etkisi

Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd’un ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde N içeriğine ait Duncan test sonuçları Çizelge 4.50’de verilmiştir. Cd uygulamasına bağlı olarak kök ve gövde N içeriğinde önemli farklılıklar mevcuttur. Uygulanan Cd seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek kök N içeriği C70165 (%6,34) genotipinde, en düşük kök N içeriği ise DFK2525 (%5,07) genotipinde tespit edilmiştir. Cd

uygulama seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek gövde N içeriği 8N386CL (%5,30) ve C70165 (%5,40) çeşitlerinde, en düşük ise Tarsan (%4,42) çeşitinde belirlenmiştir.

Her bir Cd uygulama seviyesindeki ortalama kök ve gövde N içerikleri incelendiğinde, Cd seviyesindeki artışa bağlı olarak farklılıkların tüm çeşitlerde önemli olduğu belirlenmiştir. Kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak N içeriği kökte %7,43, gövdede %6,37 iken en yüksek uygulama dozu olan 10 mg l⁻¹ Cd'da kökte %4,16 ve gövdede %4,05 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.39. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) P içeriği üzerine etkisi

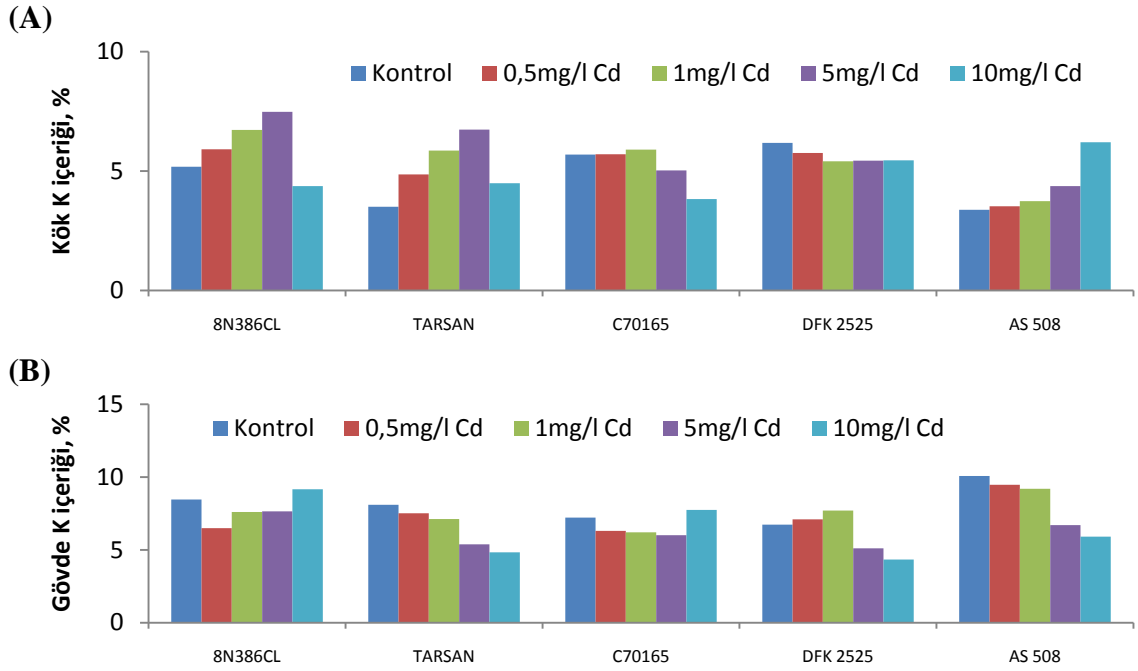
Şekil 4.39'da ayçiçeği genotiplerine artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un kök (A) ve gövde (B) P içeriğine etkisi görülmektedir. Artan Cd konsantrasyonları bitki P içeriğini önemli düzeyde etkilemiştir. Tüm çeşitlerde kökteki P birikimi gövdedeki birikimden fazladır. Kök P içeriği uygulama seviyesindeki artışa bağlı olarak 8N386CL ve AS508 genotiplerinde artmıştır. Tarsan genotipinin kök P içeriği 5, 1 ve 0,5 mg l⁻¹ Cd uygulamalarında kontrolden yüksek bulunmuştur. Ancak en yüksek uygulama

seviyesinde kontrolden düşüktür. C70165 genotipinde ise 0,5 mg l⁻¹ Cd uygulama seviyesinde kök P içeriği kontrolden yüksektir, sonraki seviyelerde azalma gözlenmiştir. DFK2525 genotipini kök P içeriği 1 mg l⁻¹ Cd seviyesine kadar azalmış, 5 ve 10 mg l⁻¹ Cd seviyesinde ise artmıştır. Çeşitlerin gövde P içerikleri değerlendirildiğinde, Cd uygulamaları ile Tarsan genotipinde gövde P içeriği artarken AS508 genotipinde azalmıştır. 8N386CL ve DFK2525 genotiplerinde ise gövde P içeriği 1 mg l⁻¹ Cd seviyesine kadar artmış, sonraki seviyelerde azalmıştır.

Çizelge 4.50’de artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd’un ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde P içeriğine ait Duncan test sonuçları verilmiştir. Kök P içeriği tüm genotiplerde farklılık gösterirken gövde P içeriği C70165 genotipinde Cd uygulamasından etkilenmemiştir. Diğer çeşitlerde Cd uygulamasına bağlı olarak gövde P içeriğinde önemli farklılıklar tespit edilmiştir. Uygulanan Cd seviyelerinin ortalaması dikkate alındığında en yüksek kök P içeriği C70165 (%3,22), gövde P içeriği Tarsan (%1,60) genotipinde, en düşük ise kökte AS508 (%1,81), gövdede C70165 (%0,72) genotipinde belirlenmiştir.

Her bir Cd uygulama seviyesindeki ortalama kök ve gövde P içerikleri incelendiğinde, Cd seviyesindeki artışa bağlı olarak farklılıkların önemli olduğu belirlenmiştir. Kök P içeriği kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak %2,46 iken en yüksek değere 5 mg l⁻¹ Cd (%3,17) seviyesinde ulaşmıştır. Gövdede ise kontrolde %1,27 iken 1 mg l⁻¹ Cd seviyesinde %1,48, 10 mg l⁻¹ Cd seviyesinde ise %1,14’dür.

Ayçiçeği genotiplerine artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd’un kök (A) ve gövde (B) K içeriğine etkisi Şekil 4.40’da görülmektedir. Tüm çeşitlerde gövdedeki K birikimi kökten fazladır.



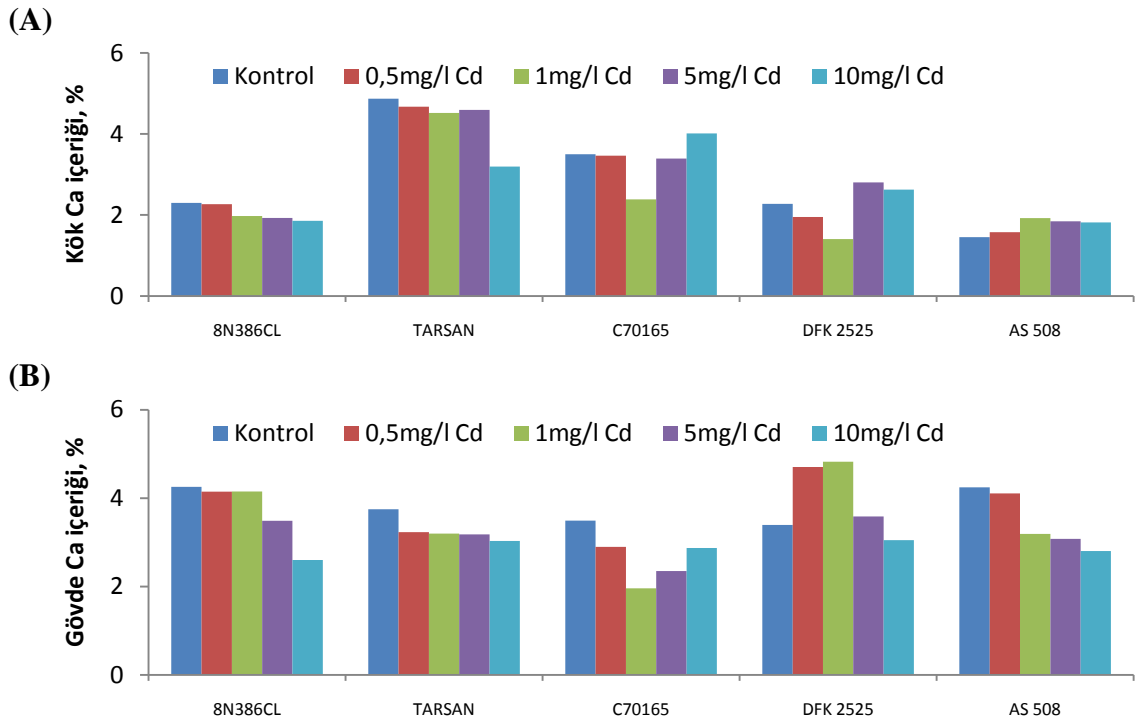
Şekil 4.40. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı ayçiçeği çeşitlerinde kök (A) ve gövde (B) K içeriği üzerine etkisi

Cd seviyesindeki artışa bağlı olarak kök K içeriği DFK2525 genotipinde azalmış, AS508 genotipinde artmış, C70165 genotipinde ilk üç uygulama seviyesinde değişim göstermezken sonraki seviyelerde azalmış, 8N386CL ve Tarsan genotiplerinde ise 5 mg l⁻¹ Cd seviyesine kadar artış gösterip en yüksek uygulama seviyesinde azalmıştır. Gövde K içerikleri Tarsan ve AS508 genotipinde uygulamalara bağlı olarak azalırken, DFK2525 genotipinde 1 mg l⁻¹ Cd uygulama seviyesine kadar artmış sonraki seviyelerde azalmıştır. Yapılan benzer bir çalışmada, Toprak+torf karışımında 40 gün süreyle 500 mg l⁻¹ Cd ile sulanan ayçiçeği bitkisinin yaprak, gövde ve kökünde Ca ve Mg içeriğinde bir fark gözlemlenmezken, K içeriğinin sadece kökte arttığı belirlenmiştir (Garcia *et al.* 2006).

Çizelge 4.50’de verilen Duncan test sonuçlarına göre, tüm genotiplerin kök K içerikleri uygulamalara bağlı olarak farklılık gösterirken, gövde K içerikleri 8N386CL ve C70165 genotiplerinde Cd uygulamasından etkilenmemiştir. Tüm Cd seviyelerinin ortalaması dikkate alındığında en yüksek kök K içeriği 8N386CL (%5,93) genotipinde, en düşük AS508 (%4,24) genotipinde belirlenmiştir. Gövde K içeriği ise en yüksek AS508 (%8,27) genotipinde, en düşük DFK2525 (%6,19) genotipinde tespit edilmiştir.

Her bir Cd uygulama seviyesindeki ortalama kök ve gövde K içerikleri incelendiğinde, Cd seviyesindeki artışa bağlı olarak farklılıkların önemli olduğu tespit edilmiştir. Kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak K içeriği kökte %4,78 iken 5 mg l⁻¹ Cd seviyesinde %5,81, 10 mg l⁻¹ Cd seviyesinde ise %4,87'dir. Gövdede ise kontrolde %8,12, en yüksek uygulama dozu olan 10 mg l⁻¹ Cd'da ise %6,40 olarak belirlenmiştir.

Ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde Ca içeriklerine Cd uygulamalarının etkisi Şekil 4.41'de verilmiştir. Kök Ca içeriği 8N386CL ve Tarsan genotiplerinde kontrole göre azalmıştır. C70165 ve DFK2525 genotiplerinde ise 1 mg l⁻¹ Cd seviyesine kadar azalmış, sonraki seviyelerde artmıştır. AS508 genotipinin kök Ca içeriği ise Cd seviyesindeki artışa paralel olarak artmıştır.



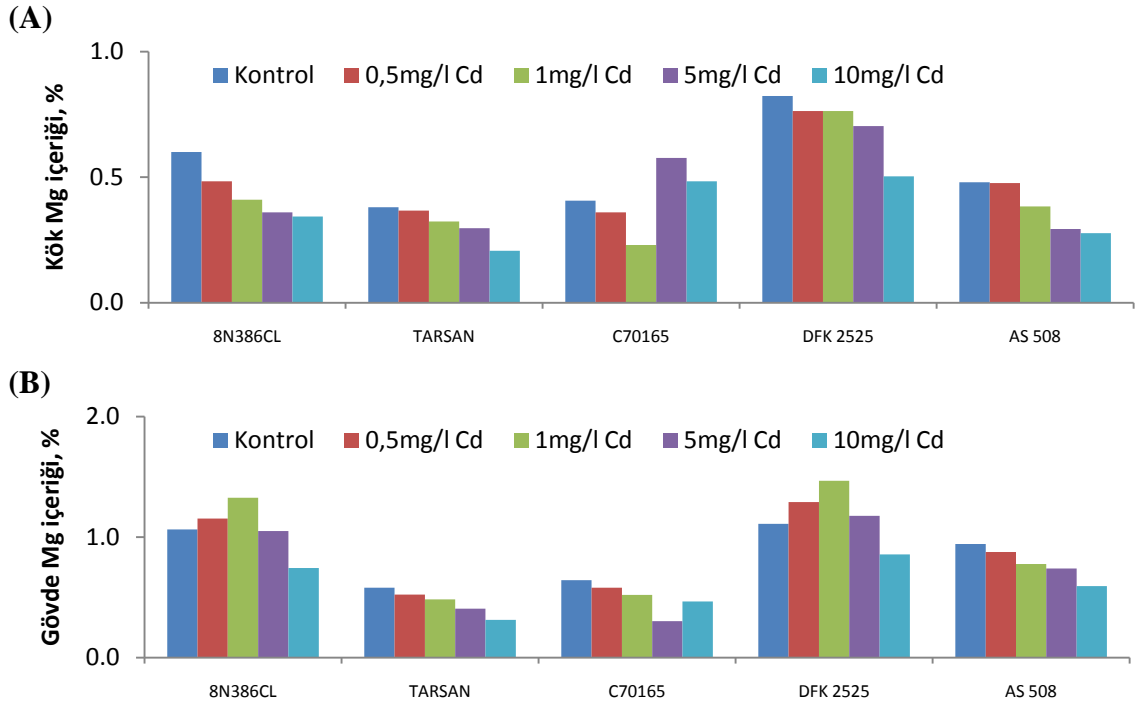
Şekil 4.41. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Ca içeriği üzerine etkisi

Gövde Ca içeriği 8N386CL, Tarsan ve AS508 genotiplerinde Cd seviyesindeki artışa paralel olarak artarken, DFK2525 genotipinde 1 mg l⁻¹ Cd'a kadar artıp sonraki seviyelerde azalmıştır. C70165 genotipinde ise 1 mg l⁻¹ Cd seviyesine kadar gövde Ca içeriğinin azaldığı ve sonraki seviyelerde arttığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.50'de artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde Ca içeriğine ait Duncan test sonuçları incelendiğinde, tüm genotiplerin Cd uygulamalarından etkilendiği görülmektedir. Tüm Cd seviyelerinin ortalama Ca içeriği dikkate alındığında en yüksek kök Ca içeriği 8N386CL (%4,37) genotipinde, en düşük ise AS508 (%4,24) genotipinde tespit edilmiştir. Gövde Ca içeriği ise en yüksek DFK2525 (%3,91), en düşük C70165 (%2,71) genotipinde belirlenmiştir.

Her bir Cd uygulama seviyesindeki ortalama kök ve gövde Ca içerikleri incelendiğinde, Cd seviyesindeki artışa bağlı olarak farklılıkların önemli olduğu tespit edilmiştir. Kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak Ca içeriği kökte %2,88, gövdede ise %3,83 olarak belirlenmiştir. Kök Ca içeriği 1 mg l⁻¹ Cd seviyesinde %2,44 iken en yüksek uygulama dozu olan 10 mg l⁻¹ Cd'da %2,70'e yükselmiştir. Gövde Ca içeriği ise en düşük değere 10 mg l⁻¹ Cd (%2,87) uygulama seviyesinde ulaşmıştır.

Şekil 4.42'de ayçiçeği genotiplerine artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un kök (A) ve gövde (B) Mg içeriğine etkisi gösterilmiştir. Gövdedeki Mg birikimi kökteki birikimden fazladır. Kök Mg içeriği C70165 genotipinde 1 mg l⁻¹ Cd seviyesine kadar azalırken 5 ve 10 mg l⁻¹ Cd seviyelerinde kontrole göre artmıştır. Diğer genotiplerin kök Mg içerikleri Cd seviyesindeki artışa bağlı olarak azalma göstermiştir. Genotiplerin gövde Mg içerikleri incelendiğinde, 8N386CL ve DFK2525 genotiplerinde 1 mg l⁻¹ Cd seviyesine kadar arttığı, sonraki seviyelerde azaldığı tespit edilmiştir. Diğer genotiplerin gövde Mg içerikleri Cd konsantrasyonunun artışıyla azalmıştır.



Şekil 4.42. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Mg içeriği üzerine etkisi

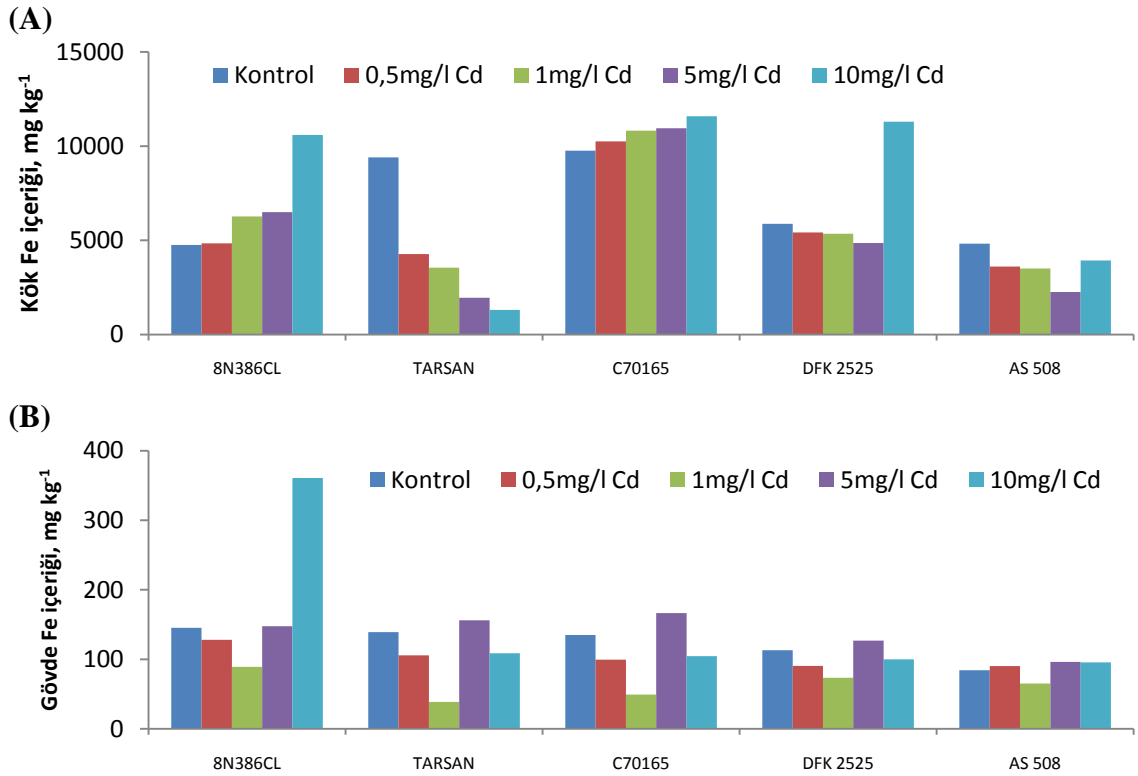
Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde Mg içeriğine ait Duncan test sonuçları Çizelge 4.50'de verilmiştir. Genotiplerin kök ve gövde Mg içerikleri Cd uygulamasına bağlı olarak farklılık göstermiştir. Uygulanan Cd seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek kök Mg içeriği DFK2525 (%0,71) genotipinde, en düşük kök Mg içeriği Tarsan (%0,31) genotipinde tespit edilmiştir. Gövde Mg içeriği ise en yüksek DFK2525 (%3,91) genotipinde, en düşük ise Tarsan (%0,46) ve C70165 (%0,50) genotiplerinde belirlenmiştir.

Cd uygulama seviyelerindeki ortalama kök ve gövde Mg içerikleri incelendiğinde, Cd seviyesindeki artışa bağlı olarak farklılıkların tüm çeşitlerde önemli olduğu belirlenmiştir. Kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak Mg içeriği kökte %0,54, gövdede %0,87 iken en yüksek uygulama dozu olan 10 mg l⁻¹ Cd'da kökte %0,36 ve gövdede %0,59 olarak belirlenmiştir.

4.3.6.2. Cd ağır metalinin ayçiçeği genotiplerinin mikro besin elementi (Fe, Cu, Zn, Mn ve B) içeriği üzerine etkisi

Çizelge 4.51’de varyans analiz sonuçları incelendiğinde görüleceği gibi, Cd ağır metalinin mısır genotiplerinin kök ve gövde aksamalarının Fe, Cu, Zn, Mn ve B içerikleri istatistiksel olarak değerlendirildiğinde genotip, Cd seviyesi ile genotip*Cd seviyesi interaksiyonlarının etkisi çok önemli olarak tespit edilmiştir ($p<0,01$).

Ayçiçeği genotiplerine artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd’un kök (A) ve gövde (B) Fe içeriğine etkisi Şekil 4.43’de görülmektedir. Tüm genotiplerde kökdeki Fe birikimi gövdedeki birikimden fazladır.



Şekil 4.43. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Fe içeriği üzerine etkisi

Çizelge 4.51. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un ayçiçeği bitkisinin gövde Fe, Cu, Zn, Mn, B, ve Cd içeriğine ait varyans analiz sonuçları

Varyans Kaynağı	S. D.	Fe mg kg ⁻¹		Cu mg kg ⁻¹		Zn mg kg ⁻¹		Mn mg kg ⁻¹		B mg kg ⁻¹		
		K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	
Kök	Genotip	4	117351084,28	701,99**	329131,52	617,38**	90241,44	390,82**	4306,01	471,28**	315820,41	552,42**
	Cd seviyesi	4	15023920,37	89,87**	146350,46	274,52**	10842,65	46,96**	1033,81	113,15**	90745,75	158,73**
	Genotip x Cd Seviyesi	16	14482952,51	86,64**	96947,10	181,85**	6519,48	28,23**	504,59	55,23**	46564,40	81,45**
	Hata	50	167169,10		533,11		230,91		9,14		571,70	
	Genel	75										
Varyans Kaynağı	S. D.	Fe mg kg ⁻¹		Cu mg kg ⁻¹		Zn mg kg ⁻¹		Mn mg kg ⁻¹		B mg kg ⁻¹		
		K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	
Gövde	Genotip	4	18651,09	222,46**	14231,77	629,78**	88359,35	173,21**	7326,99	2591,36**	,000	273,35**
	Cd seviyesi	4	17106,13	204,03**	2603,38	115,20**	6885,40	13,50**	376,55	133,17**	,000	64,90**
	Genotip x Cd Seviyesi	16	7300,76	87,08**	296,05	13,10**	6399,92	12,55**	41,75	14,76**	,000	34,78**
	Hata	50	83,84		22,60		510,14		2,83			
	Genel	75										

** : p<0,01 düzeyinde çok önemli, * : p<0,05 düzeyinde önemli, ns: Önemsiz

Çizelge 4.52. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde Fe, Cu ve Zn içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları

Genotip	Kök Fe İçeriği, mg kg ⁻¹						Genoti	Gövde Fe İçeriği, mg kg ⁻¹					
	Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort		Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort
	0	0,5	1	5	10			0	0,5	1	5	10	
8N386CL	4756,17c	4844,27c	6272,00b	6497,78b	10590,00a	6592,04B	8N386CL	145,28a	139,07a	134,92a	113,07b	84,17b	123,30C
TARSAN	9401,53a	4268,70b	3554,00c	1954,92d	1306,13e	4097,05C	TARSAN	128,06a	105,74b	99,36bc	90,45c	90,30c	102,78D
C70165	9762,15b	10250,67ab	10822,02ab	10948,67ab	11585,00b	10673,70A	C70165	89,06a	38,58c	49,27c	73,53b	65,14b	63,12E
DFK2525	5878,72b	5414,82bc	5350,20bc	4857,86c	11295,99a	6559,52B	DFK2525	147,59b	156,00ab	166,54a	126,90c	96,32d	138,67B
AS 508	4821,92a	3609,41bc	3504,44c	2257,27d	3928,63b	3624,33D	AS 508	360,79a	108,63b	104,43b	99,96b	95,62b	153,89A
Ort	6924,10B	5677,57C	5900,53C	5303,30D	7741,15A		Ort	174,16A	109,60B	110,91B	100,78C	86,31D	
Genotip	Kök Cu İçeriği, mg kg ⁻¹						Genoti	Gövde Cu İçeriği, mg kg ⁻¹					
	Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort		Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort
	0	0,5	1	5	10			0	0,5	1	5	10	
8N386CL	377,38c	668,87b	676,45ab	736,63a	120,97d	516,06A	8N386CL	117,93a	82,82b	72,75b	60,85c	54,26c	77,72B
TARSAN	552,07a	484,32b	427,51c	396,19c	356,26d	443,27B	TARSAN	76,03a	67,04b	63,56b	61,77bc	56,26c	64,93C
C70165	183,24a	143,85b	126,58c	119,07c	94,76d	133,50D	C70165	25,32a	19,36b	16,85b	18,35b	17,28b	19,43E
DFK2525	573,95a	554,38a	507,51b	440,22c	154,11d	446,03B	DFK2525	119,38a	90,85b	80,92bc	74,60cd	61,11d	85,37A
AS 508	143,14c	168,86c	431,12b	813,86a	449,54b	401,31C	AS 508	33,64a	29,67b	27,23b	15,86c	10,80d	23,44D
Ort	365,96D	404,06C	433,83B	501,19A	235,13E		Ort	74,46A	57,95B	52,26C	46,29D	39,94E	
Genotip	Kök Zn İçeriği, mg kg ⁻¹						Genoti	Gövde Zn İçeriği, mg kg ⁻¹					
	Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort		Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort
	0	0,5	1	5	10			0	0,5	1	5	10	
8N386CL	232,04c	338,65a	303,49b	251,81c	238,24c	272,84C	8N386CL	273,31a	249,70ab	233,81abc	227,40bc	191,70c	235,18C
TARSAN	369,76a	346,58a	337,80ab	312,06b	233,77c	319,99B	TARSAN	521,95a	385,36cd	360,97d	436,49b	395,49c	420,05A
C70165	324,82d	333,66cd	352,77bc	374,22b	413,73a	359,84A	C70165	375,17a	343,13ab	218,81c	248,41c	275,44bc	292,19B
DFK2525	318,32a	302,99a	245,40b	192,58c	212,56c	254,37D	DFK2525	300,81ab	276,30b	289,95ab	290,15ab	316,71a	294,78B
AS 508	230,82a	197,19b	113,82cd	105,36d	126,84c	154,81E	AS 508	176,25d	202,31c	255,42ab	264,46a	247,13b	229,11C
Ort	295,15A	303,81A	270,65B	247,21C	245,03C		Ort	329,50A	291,36B	271,79C	293,38B	285,30BC	

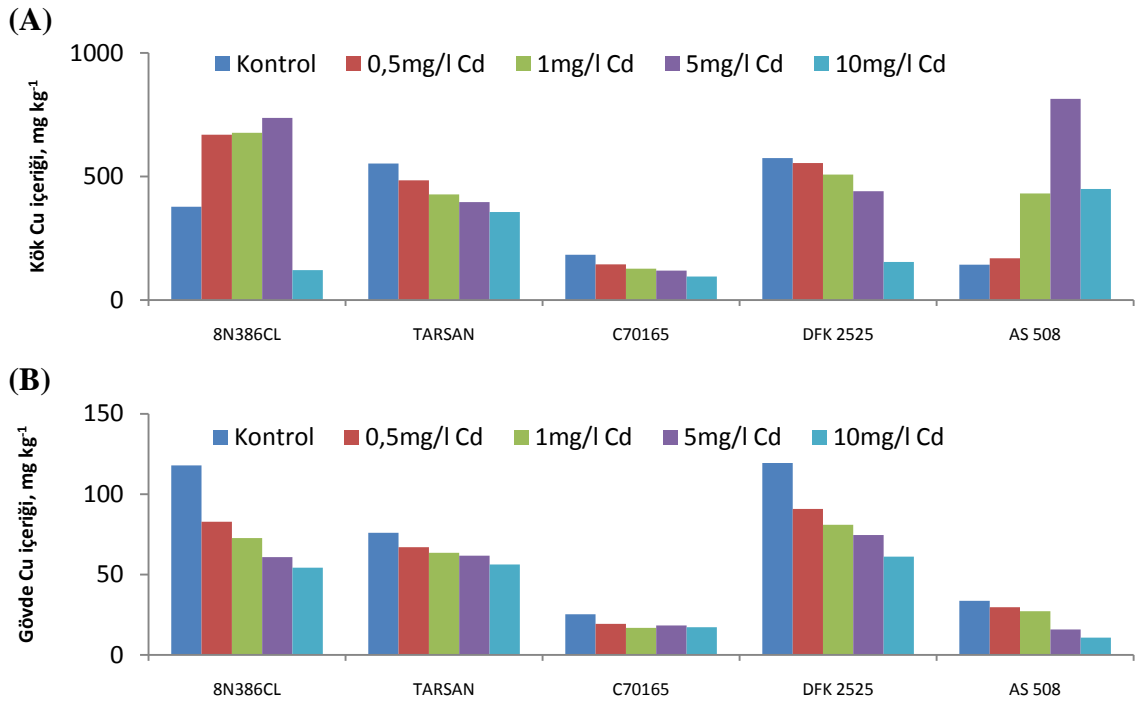
Kök ve gövde Fe içeriğinin uygulamalara bağlı olarak değişimi incelendiğinde genotipler arasında farklılıklar olduğu gözlenmiştir. Kök Fe içeriğinin Cd uygulamalarına bağlı olarak 8N386CL ve C70165 genotiplerinde arttığı, Tarsan ve AS508’de ise azaldığı tespit edilmiştir. DFK2525 genotipinde ise 5 mg l⁻¹ Cd seviyesine kadar azalırken 10 mg l⁻¹ Cd uygulama seviyesinde önemli düzeyde arttığı belirlenmiştir. Gövde Fe içeriğinin uygulamalara bağlı olarak değişimi incelendiğinde; tüm genotiplerde 1 mg l⁻¹ Cd seviyesine kadar azaldığı ve sonraki seviyelerde kontrole göre arttığı gözlenmiştir. Elde edilen sonuçları destekler nitelikte, Wu *et al.* (2004) tarafından yürütülen bir araştırmada pamuk bitkisine 1 ve 10 mM Cd uygulaması yapılmış ve vejetatif organlarda Fe, Cu ve Zn konsantrasyonlarının azaldığını, kök dokusunda ise arttığını tespit etmişlerdir. Bu elementlerin kökten gövdeye taşınımının Cd uygulaması ile önlendiği de belirtilmiştir. Buna karşılık, Liu *et al.* 2003 yaptıkları bir çalışmada, Cd ve Zn, Cd ve Fe, Cd ve Cu arasında hem kök hem de gövdede pozitif bir ilişki olduğunu rapor etmişlerdir.

Çizelge 4.52’de artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd’un ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde Fe içeriğine ait Duncan test sonuçları verilmiştir. Kök ve gövde Fe içeriği tüm genotiplerde Cd uygulamasından etkilenmiştir. Cd uygulama seviyelerinin ortalaması dikkate alındığında en yüksek kök Fe içeriği C70165 (10673,70 mg kg⁻¹), en düşük ise AS508 (3624,33 mg kg⁻¹) genotipinde tespit edilmiştir. Gövde Fe içeriği ise en yüksek AS508 (153,89 mg kg⁻¹) ve en düşük C70165 (63,12 mg kg⁻¹) genotipinde belirlenmiştir. Diğer genotipler ise bu değerler arasında değişen kök ve gövde Fe içeriğine sahiptirler.

Her bir Cd uygulama seviyesindeki ortalama kök ve gövde Fe içerikleri incelendiğinde, Cd seviyesindeki artışa bağlı olarak farklılıkların önemli olduğu belirlenmiştir. Kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak Fe içeriği kökte 6924,10 mg kg⁻¹, gövdede ise 174,16 mg kg⁻¹’dir. Kök Fe içeriği en yüksek uygulama seviyesi olan 10 mg l⁻¹ Cd’da 7741,15 mg kg⁻¹ iken 5 mg l⁻¹ Cd seviyesinde 5303,30 mg kg⁻¹ tespit edilmiştir. Gövde Fe içeriğinde artan Cd seviyelerine bağlı olarak düzenli bir değişim

olduğu ve en düşük içeriğin 10 mg l^{-1} Cd uygulamasında gerçekleştiği belirlenmiştir ($86,31 \text{ mg kg}^{-1}$).

Ayçiçeği genotiplerine artan seviyelerde uygulanan Cd'un kök (A) ve gövde (B) Cu içeriğine etkisi Şekil 4.44'de gösterilmiştir. Gövde Cu içeriği tüm genotiplerde Cd uygulama seviyesindeki artışa bağlı olarak azalmıştır. Kök Cu içeriği ise Tarsan, C70165 ve DFK2525 genotiplerinde azalmış, AS508 genotipinde artmış ve 8N386CL genotipinde 5 mg l^{-1} Cd seviyesine kadar artmış en yüksek uygulama seviyesinde konrole göre azalmıştır. Benzer şekilde, Fei-boWu *et al.* (2003) tarafından yapılan bir çalışmada ise arpa bitkisinde Cd seviyesi ile Zn, Cu ve Mn konsantrasyonu arasında negatif bir ilişki olduğu belirtilmiştir.

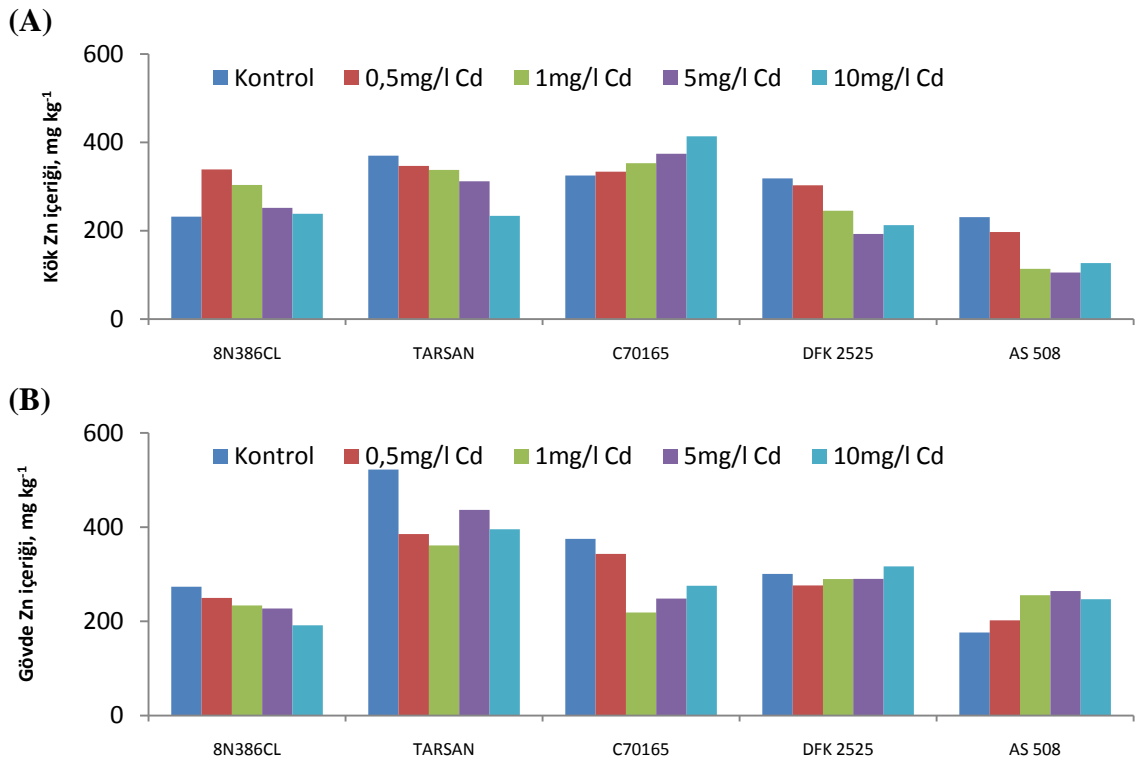


Şekil 4.44. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Cu içeriği üzerine etkisi

Çizelge 4.52'de Duncan test sonuçları incelendiğinde görüleceği gibi, kök ve gövde Cu içeriği tüm genotiplerde Cd uygulama seviyelerine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Tüm Cd seviyelerinin ortalaması olarak Cu içeriği dikkate alındığında en yüksek kök Cu içeriği 8N386CL ($516,06 \text{ mg kg}^{-1}$), gövde Cu içeriği DFK2525 ($85,37 \text{ mg kg}^{-1}$)

genotipinde belirlenmiştir. En düşük kök ve gövde Cu içeriği ise C70165 (kökte 133,50 mg kg⁻¹-gövdede 19,43 mg kg⁻¹) genotipinde tespit edilmiştir.

Her bir Cd uygulama seviyesindeki ortalama kök Cu içeriği kontrolde 365,96 mg kg⁻¹, 10 mg l⁻¹ Cd uygulama seviyesinde 235,13 mg kg⁻¹ iken 5 mg l⁻¹ Cd seviyesinde 501,19 mg kg⁻¹'dir. Gövde Cu içeriği ise kontrolde 74,46 mg kg⁻¹, en yüksek uygulama seviyesi olan 10 mg l⁻¹ Cd'da 39,94 mg kg⁻¹ olarak tespit edilmiştir.

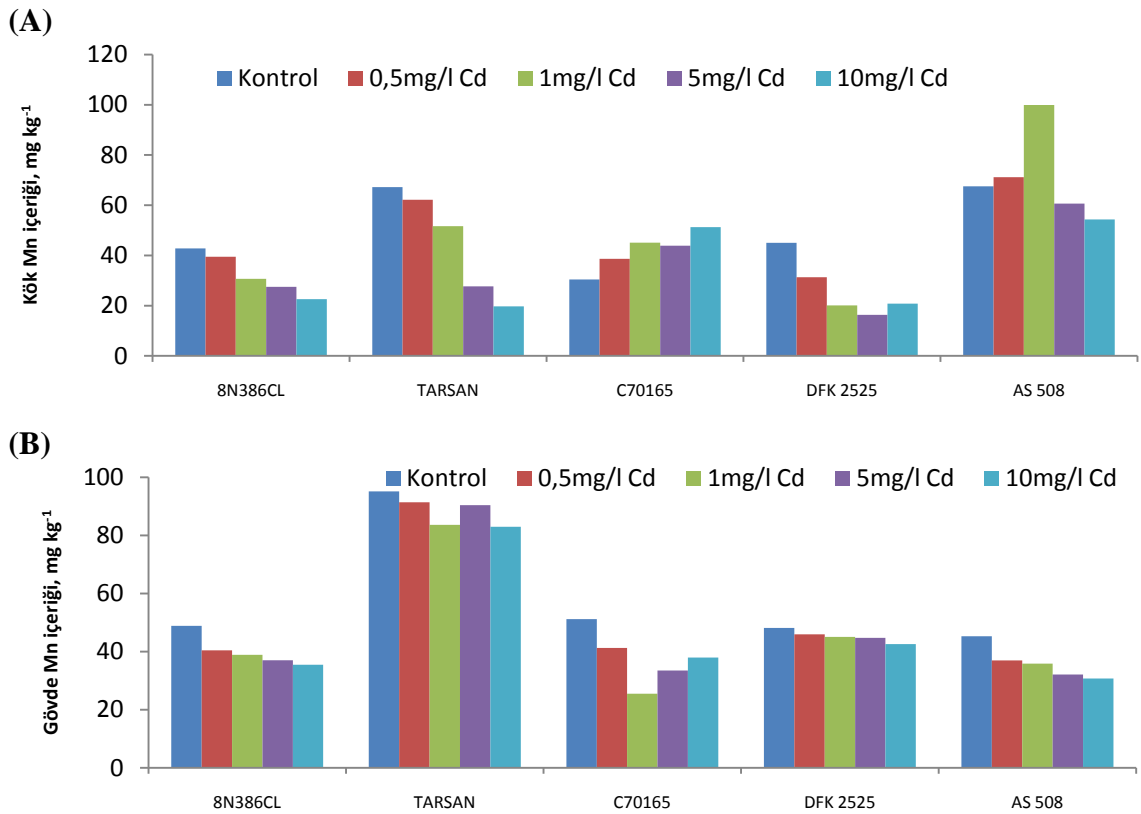


Şekil 4.45. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Zn içeriği üzerine etkisi

Şekil 4.45'de ayçiçeği genotiplerine artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un kök (A) ve gövde (B) Zn içeriğine etkisi gösterilmiştir. Artan Cd konsantrasyonları bitki Zn içeriğini önemli düzeyde etkilemiştir. Kökteki Zn birikimi gövdedeki birikimden fazladır. Kök Zn içeriğinin 8N386CL ve C70165 genotiplerinde Cd seviyelerindeki artışa bağlı olarak arttığı diğer genotiplerde azaldığı belirlenmiştir. Gövde Zn içeriği ise DFK2525 ve AS508 genotiplerinde artmış, diğer genotiplerde azalmıştır.

Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde Zn içeriği üzerine etkisinin ortalama değerlerine ait Duncan test sonuçları Çizelge 4.52'de verilmiştir. Tüm çeşitlerde Cd uygulamasına bağlı olarak kök ve gövde Zn içeriğinde önemli farklılıklar mevcuttur. Uygulanan Cd seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek kök Zn içeriği C70165 ($359,84 \text{ mg kg}^{-1}$) genotipinde, en düşük AS508 ($154,81 \text{ mg kg}^{-1}$) genotipinde tespit edilmiştir. Cd uygulama seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek gövde Zn içeriği Tarsan ($420,05 \text{ mg kg}^{-1}$) çeşidinde, en düşük ise 8N386CL ($235,18 \text{ mg kg}^{-1}$) ve AS508 ($229,11 \text{ mg kg}^{-1}$) çeşitlerinde belirlenmiştir.

Cd uygulama seviyelerindeki ortalama kök ve gövde Zn içerikleri incelendiğinde, farklılıkların tüm çeşitlerde önemli olduğu belirlenmiştir. Kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak Zn içeriği kökte $295,15 \text{ mg kg}^{-1}$, gövdede $329,50 \text{ mg kg}^{-1}$ iken en yüksek uygulama dozu olan 10 mg l^{-1} Cd'da kökte $245,03 \text{ mg kg}^{-1}$ ve gövdede $285,30 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.46. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Mn içeriği üzerine etkisi

Ayçiçeği genotiplerine artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un kök (A) ve gövde (B) Mn içeriğine etkisi Şekil 4.46'da gösterilmiştir. Gövde Mn içeriği tüm genotiplerde Cd uygulamalarında kontrole göre azalmıştır. Kök Mn içeriği C70165 genotipinde artmış, AS508 genotipinde 1 mg l^{-1} Cd seviyesine kadar artmış daha yüksek Cd seviyelerinde ise azalmıştır. Diğer genotiplerde uygulamalara bağlı olarak kök Mn içeriğinde azalma olduğu tespit edilmiştir.

Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde Mn içeriğine ait Duncan test sonuçları Çizelge 4.53'de verilmiştir. Kök ve gövde Mn içeriği tüm genotiplerde Cd uygulamasından etkilenmiştir. Uygulanan Cd seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek kök Mn içeriği AS508 ($70,72 \text{ mg kg}^{-1}$) genotipinde, en düşük kök Mn içeriği ise DFK2525 ($26,72 \text{ mg kg}^{-1}$) genotipinde tespit edilmiştir. Gövde Mn içeriği ise Cd uygulama seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek Tarsan ($88,69 \text{ mg kg}^{-1}$), en düşük ise AS508 ($36,19 \text{ mg kg}^{-1}$) genotipinde belirlenmiştir.

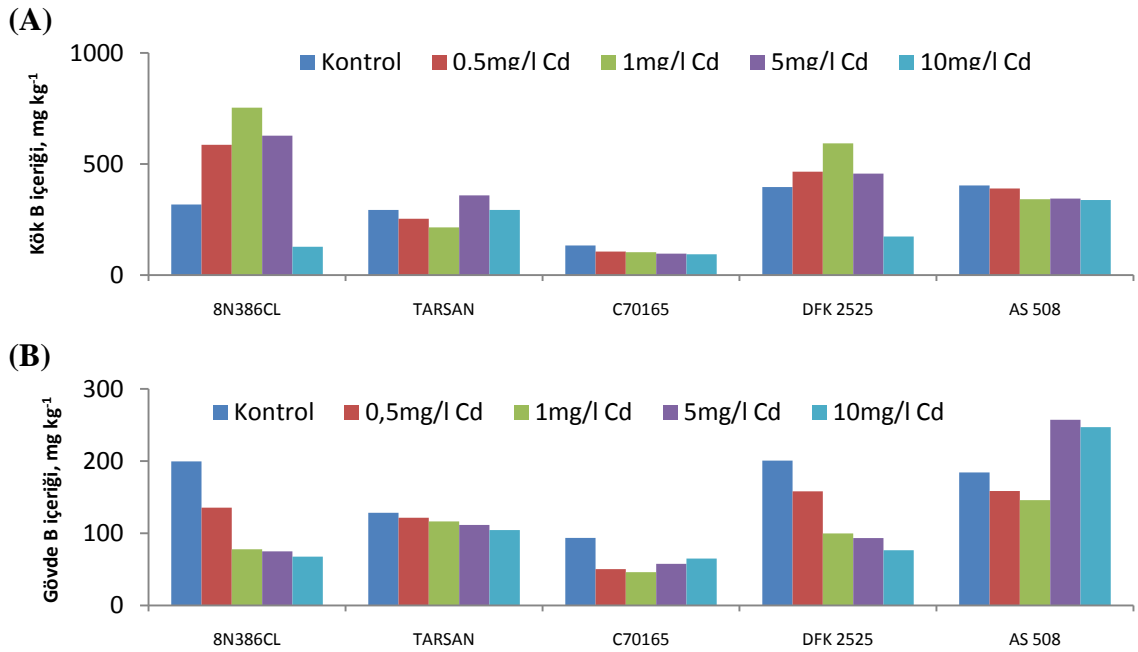
Cd uygulama seviyelerindeki ortalama kök ve gövde Mn içerikleri incelendiğinde, Cd seviyesindeki artışa bağlı olarak farklılıkların tüm çeşitlerde önemli olduğu belirlenmiştir. Kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak Mn içeriği kökte $50,59 \text{ mg kg}^{-1}$, gövdede $57,70 \text{ mg kg}^{-1}$ iken en yüksek uygulama dozu olan 10 mg l^{-1} Cd'da kökte $33,74 \text{ mg kg}^{-1}$, gövdede $45,94 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.53. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde Mn, B ve Cd içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları

Genotip	Kök Mn İçeriği, mg kg ⁻¹						Genotip	Gövde Mn İçeriği, mg kg ⁻¹					
	Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort		Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort
	0	0,5	1	5	10			0	0,5	1	5	10	
8N386CL	42,80a	39,50b	30,69c	27,52c	22,57d	32,62D	8N386CL	48,87a	40,42b	38,86bc	36,99cd	35,46d	40,12C
TARSAN	67,18a	62,20a	51,69b	27,72c	19,70d	45,70B	TARSAN	95,12a	91,38b	83,60c	90,37b	82,96c	88,69A
C70165	30,44d	38,66c	45,06b	43,86b	51,30a	41,87C	C70165	51,15a	41,23b	25,51d	33,49c	37,97b	37,87D
DFK2525	45,00a	31,34b	20,10c	16,36d	20,79c	26,72E	DFK2525	48,13a	45,92ab	45,05bc	44,70bc	42,57c	45,27B
AS 508	67,50bc	71,19b	99,92a	60,63cd	54,34d	70,72A	AS 508	45,25a	36,95b	35,87b	32,12c	30,75c	36,19E
Ort	50,59A	48,58A	49,49A	35,22B	33,74B		Ort	57,70A	51,18B	45,78D	47,53C	45,94D	
Genotip	Kök B İçeriği, mg kg ⁻¹						Genotip	Gövde B İçeriği, mg kg ⁻¹					
	Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort		Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort
	0	0,5	1	5	10			0	0,5	1	5	10	
8N386CL	317,39c	586,51c	753,19b	627,33b	127,42a	482,37A	8N386CL	199,50a	135,48b	77,85c	74,92c	67,74c	111,10C
TARSAN	293,35b	253,60bc	214,34c	358,89a	292,85b	282,60D	TARSAN	128,42a	121,46ab	116,47ab	111,54ab	104,43b	116,46C
C70165	132,81a	105,58b	102,66b	96,30b	93,54b	106,18E	C70165	93,54a	50,31bc	46,17c	57,64bc	64,90b	62,51D
DFK2525	396,22c	465,46b	592,87a	456,75b	173,45d	416,95B	DFK2525	200,73a	158,17b	99,74c	93,26cd	76,41d	125,66B
AS 508	403,39a	389,42ab	341,45b	343,96b	337,58b	363,16C	AS 508	184,25b	158,44bc	145,83c	257,20a	247,03a	198,55A
Ort	308,63C	360,11B	400,90A	376,65B	204,97D		Ort	161,29A	124,77B	97,21D	118,91BC	112,10C	
Genotip	Kök Cd İçeriği, mg kg ⁻¹						Genotip	Gövde Cd İçeriği, mg kg ⁻¹					
	Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort		Cd seviyeleri, mg l ⁻¹					Ort
	0	0,5	1	5	10			0	0,5	1	5	10	
8N386CL	2,99d	82,19d	350,00c	709,16b	1164,53a	461,77C	8N386CL	1,46d	7,08d	40,44c	76,93b	211,00a	67,38D
TARSAN	18,00d	485,84c	494,56c	1288,71b	1737,24a	804,87A	TARSAN	23,44d	58,63c	60,92c	199,98b	234,72a	115,54B
C70165	4,09d	292,52c	633,68b	1029,15a	1078,79a	607,65B	C70165	2,01c	64,13b	76,37b	255,51a	285,11a	136,63A
DFK2525	2,69e	66,02d	282,49c	537,63b	1538,60a	485,49C	DFK2525	1,52d	8,60d	44,90c	88,22b	253,82a	79,41C
AS 508	5,13e	173,23d	273,08c	415,77b	1031,31a	379,70D	AS 508	2,61e	15,80d	32,26c	149,00b	234,20a	86,77C
Ort	6,58E	219,96D	406,76C	796,08B	1310,09A		Ort	6,21E	30,85D	50,98C	153,93B	243,77A	

Şekil 4.47’de ayçiçeği genotiplerine artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd’un kök (A) ve gövde (B) B içeriğine etkisi gösterilmiştir. Kökteki B birikimi gövdedeki birikimden fazladır.

Kök B içeriği C70165 ve AS508 genotiplerinde Cd uygulamasına bağlı olarak azalmış, 8N386CL ve DFK2525 genotiplerinde 1 mg l⁻¹ Cd seviyesine kadar artmış daha yüksek Cd seviyelerinde ise azalmıştır. Tarsan genotipinde ise 1 mg l⁻¹ Cd seviyesine kadar azalma gösterirken daha yüksek uygulama seviyelerinde artmıştır. Gövde B içeriğindeki değişim ise Cd uygulamasına bağlı olarak azalma şeklinde ortaya çıkmıştır. Ancak AS508 genotipinde bu azalma 1 mg l⁻¹ Cd seviyesine kadar sürmüştü ve 5 ile 10 mg l⁻¹ Cd seviyelerinde tekrar artmıştır.



Şekil 4.47. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) B içeriği üzerine etkisi

Çizelge 4.53’de verilen Duncan test sonuçları değerlendirildiğinde, kök ve gövde B içeriklerinin uygulanan Cd seviyelerine bağlı olarak farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Uygulanan Cd seviyelerinin ortalaması olarak en düşük B içeriği C70165 (kökte 106,18 mg kg⁻¹-gövdede 62,51 mg kg⁻¹) genotipinde, en yüksek B içeriği ise kökte 8N386CL (482,37 mg kg⁻¹), gövdede AS508 (198,55 mg kg⁻¹) genotiplerinde belirlenmiştir.

Cd uygulama seviyelerindeki ortalama kök ve gövde B içerikleri incelendiğinde, kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak B içeriği kökte 308,63 mg kg⁻¹, gövdede 161,29 mg kg⁻¹ iken en yüksek uygulama dozu olan 10 mg l⁻¹ Cd'da kökte 204,97 mg kg⁻¹ ve gövdede 112,10 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. 1 mg l⁻¹ Cd seviyesinde ise kök için en yüksek (400,90 mg kg⁻¹), gövde için en düşük (97,21 mg kg⁻¹) B içeriği tespit edilmiştir.

4.3.7. Cd ağır metalinin ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde aksamlarında Cd birikimi üzerine etkisi

Çizelge 4.54'de varyans analiz sonuçları incelendiğinde görüleceği gibi, Cd ağır metalinin ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde aksamlarında Cd birikimi üzerine etkisi istatistiksel olarak değerlendirildiğinde genotip, Cd seviyesi ile genotip*Cd seviyesi etkileşimlerinin etkisi çok önemli olarak belirlenmiştir (p<0,01).

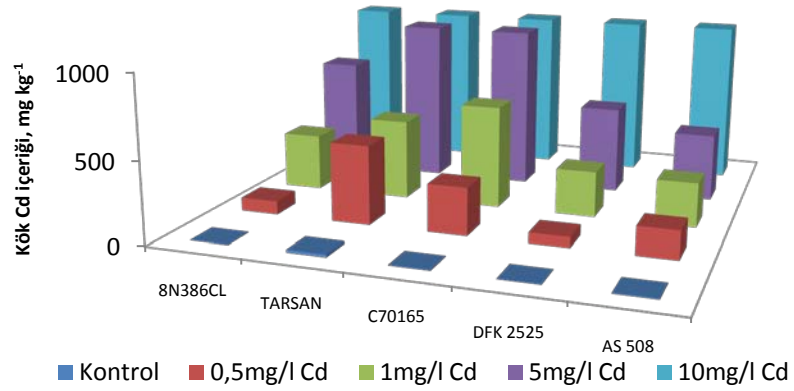
Çizelge 4.54. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un ayçiçeği bitkisinin kök ve gövde Cd içeriğine ait varyans analiz sonuçları

	Varyans Kaynağı	S. D.	Cd mg kg ⁻¹			Varyans Kaynağı	S. D.	Cd mg kg ⁻¹	
			K.O.	F				K.O.	F
Kök	Genotip	4	409518,07	248,39**	Gövde	Genotip	4	12018,75	85,85**
	Cd seviyesi	4	3986344,10	2417,85**		Cd seviyesi	4	148199,13	1058,56**
	Genotip x Cd Seviyesi	16	107580,59	65,25**		Genotip x Cd Seviyesi	16	2723,25	19,45**
	Hata	50	1648,72			Hata	50	140,00	
	Genel	75				Genel	75		

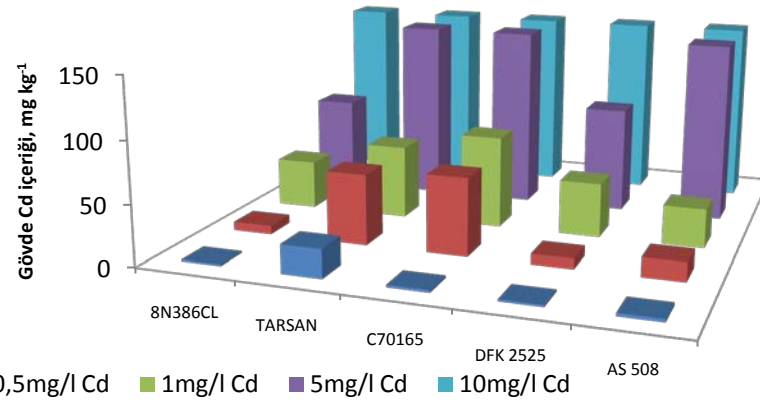
** : p<0,01 düzeyinde çok önemli, * : p<0,05 düzeyinde önemli, ns: Önemsiz

Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd' un ayçiçeği çeşitlerinin kök ve gövde aksamlarında Cd birikimi üzerine etkisi incelendiğinde; uygulanan Cd konsantrasyonlarındaki artışa bağlı olarak tüm çeşitlerin kök ve gövdelerinde önemli miktarda Cd birikimi olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.48. A ve B). Gövdede, uygulanan yüksek Cd konsantrasyonunda (10 mg l⁻¹ Cd) Tarsan genotipinde Cd miktarı kontrole göre 10 kat artış gösterirken, DFK2525'de 167 kat artış olmuştur. Kökte ise Tarsan ayçiçeği genotipinde Cd miktarı kontrole göre 96 kat artarken, bu artış 8N386CL'de 389 kat ve DFK2525'da 571 kat olmuştur.

(A)



(B)



Şekil 4. 48. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Cd birikimi üzerine etkisi

Artan konsantrasyonlarda uygulanan Cd'un ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde aksamalarında Cd birikimine ait Duncan test sonuçları Çizelge 4.53'de verilmiştir. Tüm genotiplerde Cd birikimi uygulanan Cd seviyelerine bağlı olarak farklılık göstermiştir. Kökteki Cd birikimi gövdedeki birikimden fazla olmuştur. Uygulanan Cd seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek Cd içeriği kökte Tarsan ($804,87 \text{ mg kg}^{-1}$), gövdede ise C70165 ($136,63 \text{ mg kg}^{-1}$) genotipinde belirlenmiştir. En düşük Cd içeriği ise kökte AS508 ($379,70 \text{ mg kg}^{-1}$), gövdede 8N386CL ($67,38 \text{ mg kg}^{-1}$) genotipinde tespit edilmiştir.

Kök ve gövde Cd içeriğinin her bir uygulama seviyelerindeki ortalama miktarları incelendiğinde, Cd seviyesindeki artışa bağlı olarak farklılıkların önemli olduğu belirlenmiştir. Kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak Cd içeriği kökte $6,58 \text{ mg}$

kg^{-1} gövdede ise $6,21 \text{ mg kg}^{-1}$ iken en yüksek uygulama dozu olan 10 mg l^{-1} Cd'da kökte $1310,09 \text{ mg kg}^{-1}$, gövdede $243,77 \text{ mg kg}^{-1}$ 'dir.

Ayçiçeği genotiplerinin uygulama seviyelerindeki biyolojik alınabilirlik indeks değerleri (BAİ) ve Transfer faktörü (TF) Çizelge 4.55'de verilmiştir.

Çizelge 4.55. Artan konsantrasyonlarda Cd uygulamasına bağlı olarak mısır genotiplerinin biyolojik alınabilirlik indeks değerleri (BAİ) ve Transfer faktörü (TF)

Genotip	Biyolojik alınabilirlik indeksi				Transfer faktörü			
	Cd seviyeleri, mg l^{-1}				Cd seviyeleri, mg l^{-1}			
	0,5	1	5	10	0,5	1	5	10
3394	178,55	390,45	157,22	137,55	0,09	0,12	0,11	0,18
31P41	1088,93	555,48	297,74	197,20	0,12	0,12	0,16	0,14
31G98	713,30	710,05	256,93	136,39	0,22	0,12	0,25	0,26
3223	149,23	327,39	125,17	179,24	0,13	0,16	0,16	0,16
34N24	378,05	305,34	112,96	126,55	0,09	0,12	0,36	0,23

Ayçiçeği genotiplerinin BAİ değerleri tüm uygulama seviyelerinde 1'in üzerindedir. TF değeri ise 1'in altındadır. BAİ değerleri konsantrasyon artışına bağlı olarak azalma göstermiştir. Yapılan benzer bir çalışmada, yetiştirme ortamındaki Cd konsantrasyonu arttıkça bitki organlarındaki Cd miktarının arttığı ancak BAİ değerinin azaldığı belirlenmiştir (Kahle 1988).

4.4. Pb Ağır Metalinin Ayçiçeği Genotipleri Üzerine Etkisi

4.4.1. Pb ağır metalinin ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde büyümesi üzerine etkisi

Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb' un ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde uzunlukları istatistiksel olarak değerlendirildiğinde, kök ve gövde uzunluğu üzerine genotip, Pb seviyesi ile genotip*Pb seviyesi etkileşimlerinin etkisi çok önemli bulunmuştur (Çizelge 4.56).

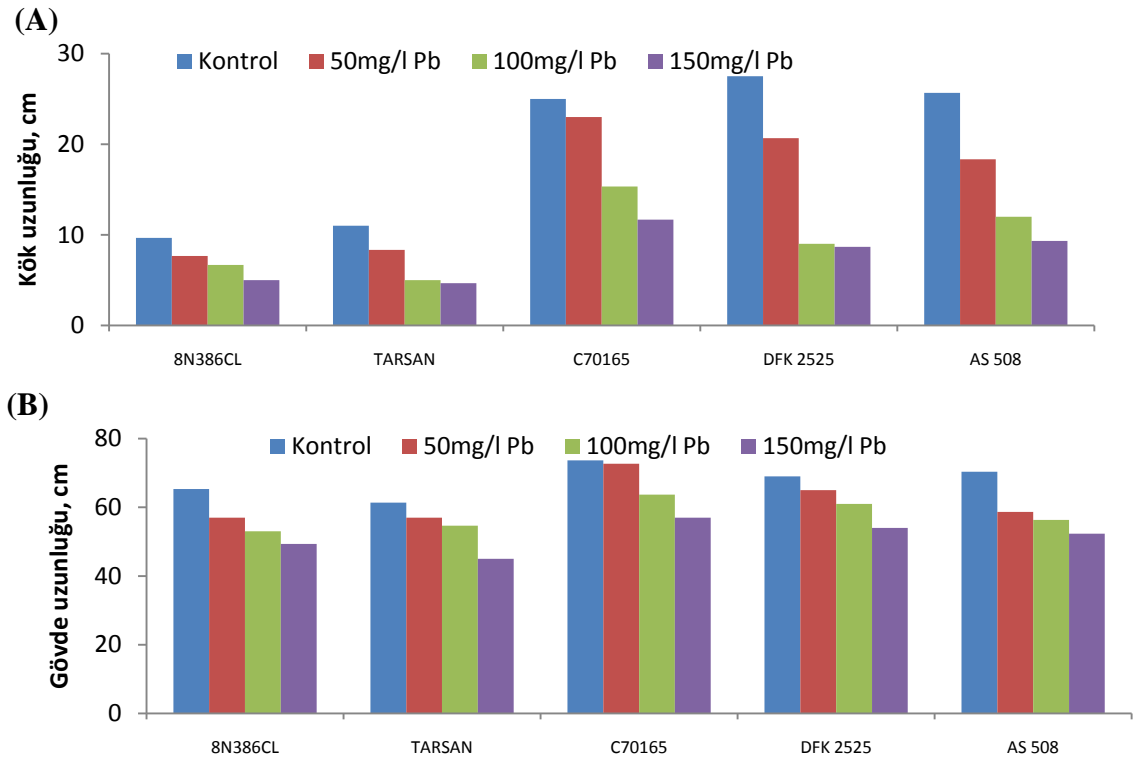
Çizelge 4.56. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un ayçiçeği bitkisinin kök ve gövde verim kriterlerine ait varyans analiz sonuçları

Varyans Kaynağı	S. D.	Kök uzunluğu cm		Kök yaş ağırlığı g saksı ⁻¹		Kök kuru ağırlığı g saksı ⁻¹		Kök su içeriği %	
		K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F
Genotip	4	366,13	290,00**	2,11	77,40**	0,002	22,17**	113,41	1,31 ^{ns}
Pb seviyesi	3	451,43	357,57**	0,60	21,90**	0,000	4,56**	149,94	1,73 ^{ns}
Genotip x Pb Seviyesi	12	30,20	23,92**	0,25	9,09**	0,001	5,94**	90,50	1,04 ^{ns}
Hata	40	1,26		0,03		0,000		86,74	
Genel	60								

Varyans Kaynağı	S. D.	Gövde uzunluğu cm		Gövde yaş ağırlığı g saksı ⁻¹		Gövde kuru ağırlığı g saksı ⁻¹		Gövde su içeriği %	
		K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F
Genotip	4	287,23	120,51**	182,09	737,13**	0,067	50,46**	45,76	71,27**
Pb seviyesi	3	719,48	301,88**	80,05	324,05**	0,079	60,20**	12,07	18,80**
Genotip x Pb Seviyesi	12	13,69	5,75**	9,04	36,61**	0,012	8,78**	5,92	9,22**
Hata	40	2,38		0,25		0,001		0,64	
Genel	60								

** : p<0,01 düzeyinde çok önemli, * : p<0,05 düzeyinde önemli, ns: Önemsiz

Pb seviyesindeki artışa bağlı olarak tüm genotiplerin kök (A) ve gövde (B) uzunluklarındaki değişim Şekil 4.49'da görülmektedir. Uygulanan en yüksek Pb konsantrasyonunda (150 mg l⁻¹ Pb); 8N386CL genotipinde kök uzunluğu kontrole göre %48 azalırken, AS508'de %64 ve DFK2525'de %68 azalma olmuştur. Gövde uzunluğu ise DFK2525 genotipinde uygulanan en yüksek Pb konsantrasyonunda (150 mg l⁻¹ Pb) kontrole göre %22 azalırken, bu oran AS508 genotipinde %26 ve Tarsan genotipinde %27 olarak belirlenmiştir. Kurşunun bitki gelişimi üzerindeki inhibitör etkisi *Avena* koleoptil analizlerinde kanıtlandığı gibi Pb'nun hücre uzamasında oksin regülasyonunu etkilemesiyle meydana gelebilir (Lane vd 1978).



Şekil 4.49 Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) uzunluğu üzerine etkisi

Çizelge 4.57’de Duncan çoklu karşılaştırma sonuçları incelendiğinde görüleceği gibi, tüm genotiplerde uygulanan Pb seviyesine bağlı olarak kök ve gövde uzunlukları farklılık göstermiştir. Uygulanan Pb seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek kök uzunluğu C70165 (18,75 cm) genotipinden, en düşük kök uzunluğu ise 8N386CL (7,25 cm) ve Tarsan (7,25 cm) genotiplerinden elde edilmiştir. Gövde uzunluklarındaki değişim incelendiğinde, uygulanan Pb seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek gövde uzunluğu C70165 (66,75 cm) genotipinde elde edilirken, en düşük gövde uzunluğu ise Tarsan (57,27 cm) genotipindedir.

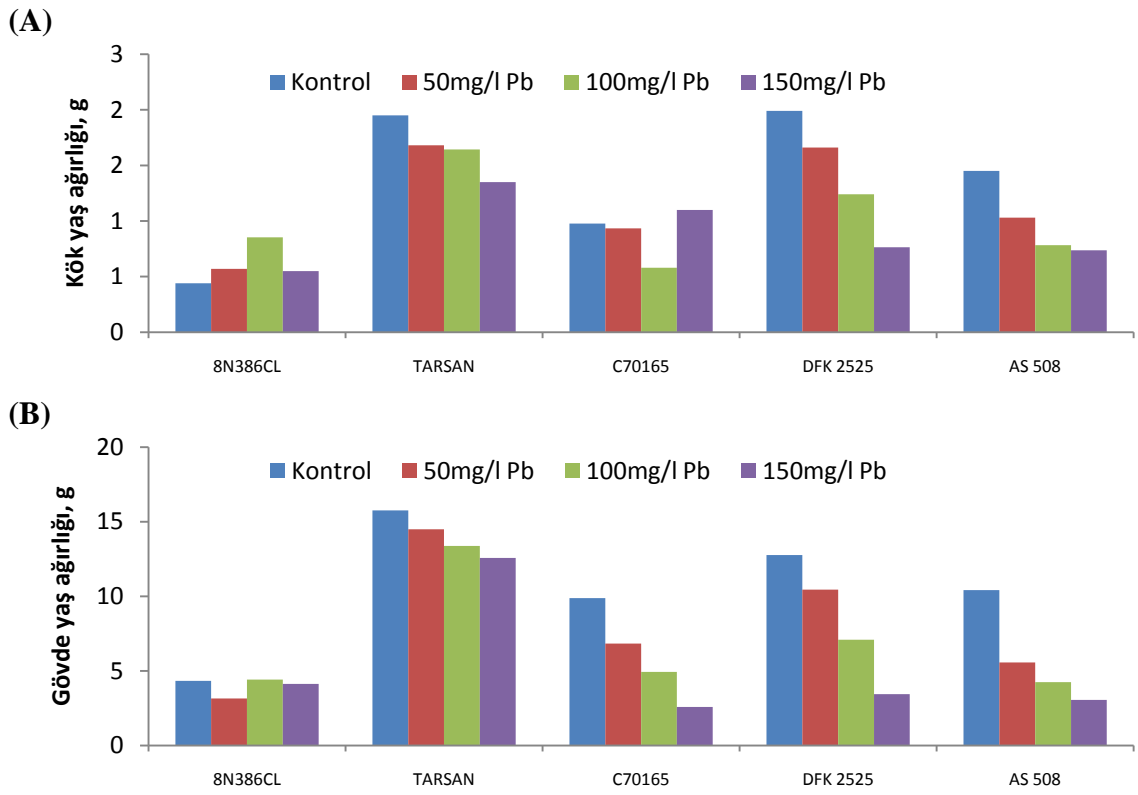
Uygulanan her bir Pb seviyesindeki tüm genotiplerin kök ve gövde uzunluklarının ortalamaları dikkate alındığında, Pb seviyesindeki artışla beraber kök ve gövde uzunluklarının önemli farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Kontrolde kök uzunluğu 19,77 cm ve gövde uzunluğu 67,93 cm iken en yüksek uygulama dozu olan 150 mg l⁻¹ Pb’da kök uzunluğu 7,87 cm, gövde uzunluğu ise 51,53 cm olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.57. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde uzunluğu, yaş ağırlığı, kuru ağırlığı ve su içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları

Kök Uzunluğu, cm						Genotip	Gövde Uzunluğu, cm					
Genotip	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort		Genotip	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort
	0	50	100	150				0	50	100	150	
8N386CL	9,67a	7,67b	6,67b	5,00c	7,25C	8N386CL	65,33a	57,00b	53,00c	49,33d	56,17D	
TARSAN	11,00a	8,33b	5,00c	4,67c	7,25C	TARSAN	61,33a	57,00b	54,67c	45,00d	54,50E	
C70165	25,00a	23,00a	15,33b	11,67c	18,75A	C70165	73,67a	72,67a	63,67b	57,00c	66,75A	
DFK2525	27,50a	20,67b	9,00c	8,67c	16,46B	DFK2525	69,00a	65,00ab	61,00b	54,00c	62,25B	
AS 508	25,67a	18,33b	12,00c	9,33d	16,33B	AS 508	70,33a	58,67b	56,33b	52,33c	59,42C	
Ort	19,77A	15,60B	9,60C	7,87D		Ort	67,93A	62,07B	57,73C	51,53D		
Kök Yaş Ağırlığı, g saksı ⁻¹						Genotip	Gövde Yaş Ağırlığı, g saksı ⁻¹					
Genotip	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort		Genotip	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort
	0	50	100	150				0	50	100	150	
8N386CL	0,44c	0,57b	0,85a	0,55b	0,60D	8N386CL	4,33ab	3,15c	4,42a	4,13b	4,01D	
TARSAN	1,95a	1,68b	1,64b	1,35c	1,66A	TARSAN	15,76a	14,49b	13,37c	12,57d	14,05A	
C70165	0,98b	0,93b	0,58c	1,10a	0,90C	C70165	9,88a	6,83b	4,93c	2,58d	6,06C	
DFK2525	1,99a	1,66ab	1,24bc	0,76c	1,41B	DFK2525	12,77a	10,45b	7,09c	3,44d	8,44B	
AS 508	1,45a	1,03b	0,78c	0,74c	1,00C	AS 508	10,41a	5,56b	4,25c	3,05d	5,82C	
Ort	1,36A	1,17B	1,02C	0,90C		Ort	10,63A	8,10B	6,81C	5,15D		
Kök Kuru Ağırlığı, g saksı ⁻¹						Genotip	Gövde Kuru Ağırlığı, g saksı ⁻¹					
Genotip	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort		Genotip	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort
	0	50	100	150				0	50	100	150	
8N386CL	0,02b	0,03ab	0,04a	0,03b	0,03C	8N386CL	0,26b	0,17c	0,32a	0,15c	0,23E	
TARSAN	0,05a	0,03b	0,02b	0,05a	0,04C	TARSAN	0,28a	0,27ab	0,24ab	0,24b	0,26D	
C70165	0,04b	0,03b	0,03b	0,07a	0,05B	C70165	0,42a	0,32b	0,28c	0,21d	0,31C	
DFK2525 ^{ns}	0,05	0,07	0,08	0,07	0,07A	DFK2525	0,56a	0,44ab	0,40b	0,23c	0,41A	
AS 508	0,06a	0,04ab	0,04b	0,05ab	0,05B	AS 508	0,51a	0,34b	0,31b	0,31b	0,37B	
Ort	0,045B	0,04B	0,04B	0,052A		Ort	0,40A	0,31B	0,31B	0,23C		
Kök Su İçeriği, %						Genotip	Gövde Su İçeriği, %					
Genotip	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort ^{ns}		Genotip	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort
	0	50	100	150				0	50	100	150	
8N386CL ^{ns}	94,72	94,13	94,92	95,12	94,73	8N386CL	94,07b	94,47b	92,68c	96,36a	94,40B	
TARSAN	97,61a	98,37a	98,57a	96,54b	97,77	TARSAN ^{ns}	98,22	98,11	98,18	98,12	98,16A	
C70165	95,56ab	96,42a	94,83b	93,34c	95,04	C70165	95,74a	95,26a	94,26a	91,72b	94,25B	
DFK2525	97,55a	95,78a	93,95a	70,14b	89,35	DFK2525	95,63a	95,79a	94,14ab	93,20b	94,69B	
AS 508	95,60a	96,11a	95,32a	93,21b	95,06	AS 508	95,13a	93,89b	92,69c	89,97d	92,92C	
Ort^{ns}	96,21	96,16	95,52	89,67		Ort	95,76A	95,50A	94,39B	93,87B		

4.4.2. Pb ağır metalinin ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde yaş ağırlığı üzerine etkisi

Ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde yaş ağırlıkları ($g\ saksı^{-1}$) istatistiksel olarak değerlendirildiğinde, kök ve gövde yaş ağırlığı üzerine genotip, Pb seviyesi ile genotip*Pb seviyesi interaksiyonlarının etkisi çok önemli olarak bulunmuştur (Çizelge 4.56).



Şekil 4.50. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı mısır genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) yaş ağırlığı üzerine etkisi

Şekil 4.50'de artan seviyelerde uygulanan Pb' un ayçiçeği genotiplerinin kök (A) ve gövde (B) yaş ağırlığı üzerine etkisi gösterilmiştir. Pb konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak kök yaş ağırlığı DFK2525 genotipinde %62 azalırken, C70165'de $100\ mg\ l^{-1}$ Pb seviyesine kadar kontrole %41 oranında azalmış, $150\ mg\ l^{-1}$ Pb seviyelerde ise kontrole göre artmıştır (%13). 8N386CL genotipi ise Pb seviyesindeki artmaya bağlı olarak $100\ mg\ l^{-1}$ Pb seviyesine kadar kontrole göre %94 artış gösterirken $150\ mg\ l^{-1}$ Pb seviyesinde yükselmiş ve artış oranı kontrole göre %25 olmuştur. Gövde yaş ağırlığı

8N386CL genotipinde düzenli bir değişim göstermemiştir. Uygulanan en yüksek Pb seviyesinde gövde yaş ağırlığı kontrole göre C70165 genotipinde %74, DFK2525 genotipinde %73 azalırken, Tarsan genotipinde %20 azalma tespit edilmiştir.

Artan seviyelerde uygulanan Pb'un ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde yaş ağırlığı üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları Çizelge 4.57'de görülmektedir. Tüm genotiplerde kök ve gövde yaş ağırlığı Pb uygulamalarına bağlı olarak farklılık göstermiştir. En yüksek kök ve gövde yaş ağırlığı, uygulanan Pb seviyelerinin ortalaması olarak Tarsan (kökte 1,66 g-gövdede 14,05 g) genotipinde, en düşük ise 8N386CL (kökte 0,60 g-gövdede 4,01 g) genotipinden belirlenmiştir.

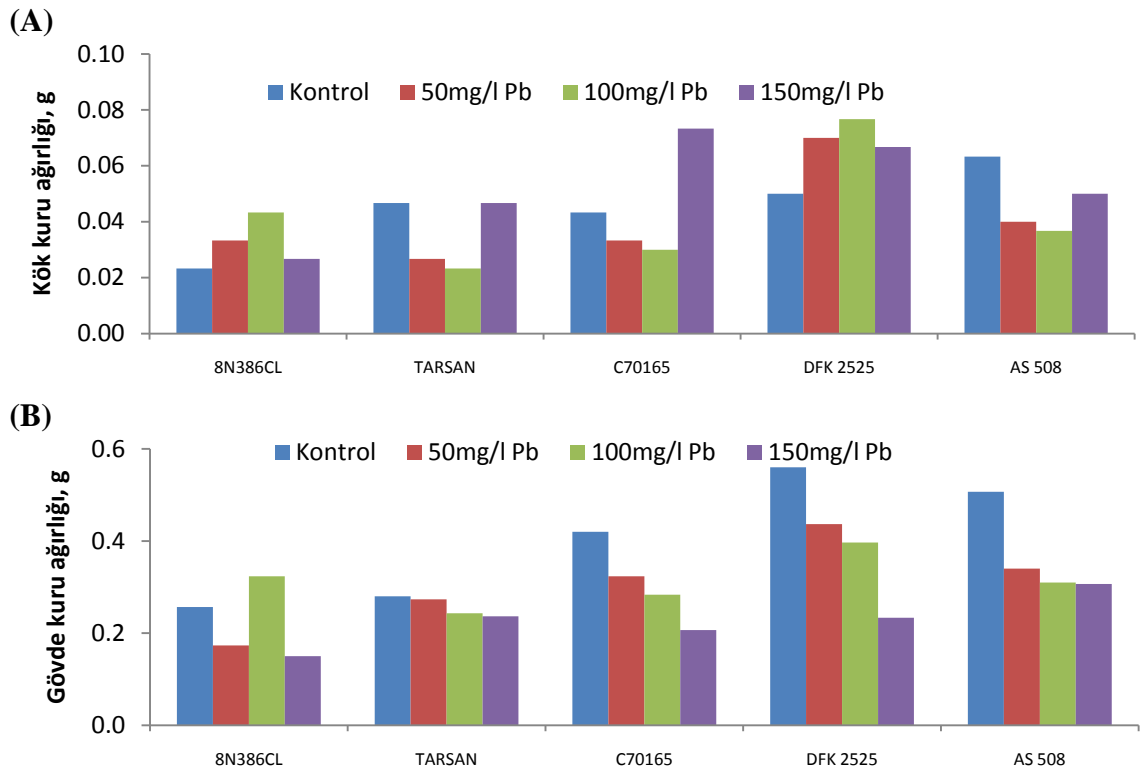
Her bir Pb seviyesindeki tüm genotiplerin kök ve gövde yaş ağırlık ortalamaları incelendiğinde, Pb seviyesindeki artışla beraber kök ve gövde yaş ağırlıklarının farklılıklar gösterdiği görülmektedir. Kontrolde kök yaş ağırlığı 1,36 g, gövde yaş ağırlığı ise 10,63 g iken, en yüksek uygulama seviyesinde (150 mg l⁻¹ Pb) kökte 0,90 g, gövdede 5,15 g olarak tespit edilmiştir.

4.4.3. Pb ağır metalinin ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde kuru ağırlığı üzerine etkisi

Artan seviyelerde Pb uygulamasına bağlı olarak ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde kuru ağırlıkları istatistiksel olarak değerlendirildiğinde; genotip, Pb seviyesi ile genotip*Pb seviyesi interaksiyonlarının etkisi çok önemli olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.56).

Şekil 4.51'de, ayçiçeği genotiplerinin Pb seviyesindeki artışa bağlı olarak kök (A) ve gövde (B) kuru ağırlıklarındaki değişim görülmektedir. Uygulanan en yüksek Pb konsantrasyonunda (150 mg l⁻¹ Pb); kök kuru ağırlığı kontrole göre 8N386CL genotipine %15 artarken 100 mg l⁻¹ Pb seviyesinde %86'lık bir artış sergilemiştir. Tarsan ve C70165 genotipleri 100 mg l⁻¹ Pb uygulamasında kontrole göre sırasıyla %50 ve %31 azalırken, 150 mg l⁻¹ Pb seviyesinde Tarsan genotipi kontrole yakın değerlere

ulaşmış, C70165 genotipi ise %69 artmıştır. DFK2525 ayçiçeği çeşitinde 100 mg I⁻¹ Pb uygulaması kök kuru ağırlığının kontrole göre %53, 150 mg I⁻¹ Pb uygulaması ise %33 artmasına sebep olmuştur. AS508 genotipinde ise uygulamalara bağlı olarak düzenli bir azalma olduğu tespit edilmiştir (en yüksek uygulama seviyesinde kontrole göre %42 azalma). Gövde kuru ağırlığı 150 mg I⁻¹ Pb seviyesinde kontrole göre DFK2525 çeşitinde %58, Tarsan çeşitinde %15 oranında azalmıştır.



Şekil 4.51. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) kuru ağırlığı üzerine etkisi

Çizelge 4.57 Duncan çoklu karşılaştırma sonuçları incelendiğinde görüleceği gibi, DFK2525 genotipinde Pb uygulamalarına bağlı olarak kök kuru ağırlığında önemli bir fark meydana gelmemiştir. Diğer genotiplerde uygulanan Pb seviyesine bağlı olarak kök ve gövde kuru ağırlıkları farklılık göstermektedir. Uygulanan Pb seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek kök kuru ağırlığı DFK2525 (0,07 g) genotipinde, en düşük kök kuru ağırlığı ise 8N386CL (0,03 g) ve Tarsan (0,04 g) genotiplerinde tespit edilmiştir. En yüksek gövde kuru ağırlığı ise 0,41 g ile DFK2525 genotipinde elde edilirken, en düşük gövde kuru ağırlığı 8N386CL (0,23 g) genotipindedir.

Tüm ayçiçeği genotiplerinin her bir Pb uygulama seviyesindeki ortalama kök ve gövde kuru ağırlık değerleri incelendiğinde, kök kuru ağırlığının ilk iki seviyede kontrolle benzer olduğu, 150 mg l⁻¹ Pb (0,052 g) uygulamasında ise en yüksek değere ulaştığı tespit edilmiştir. Gövde kuru ağırlığı ise kontrolde 0,40 g iken 150 mg l⁻¹ Pb seviyesinde 0,23 g olarak belirlenmiştir.

Artan seviyelerde Pb stresine maruz bırakılan ayçiçeği genotiplerinin kuru ağırlık değerleri ile hesaplanan kök ve gövde tolerans indeks değerleri Çizelge 4.58'de verilmiştir.

Çizelge 4.58. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasına bağlı olarak mısır genotiplerinin tolerans indeksleri

Genotip	Kök Tolerans İndeksi			Gövde Tolerans İndeksi		
	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹			Pb seviyeleri, mg l ⁻¹		
	50	100	150	50	100	150
8N386CL	143	186	115	68	126	58
TARSAN	57	50	100	98	87	85
C70165	77	69	169	77	67	49
DFK2525	140	153	133	78	71	42
AS 508	63	58	79	67	61	61

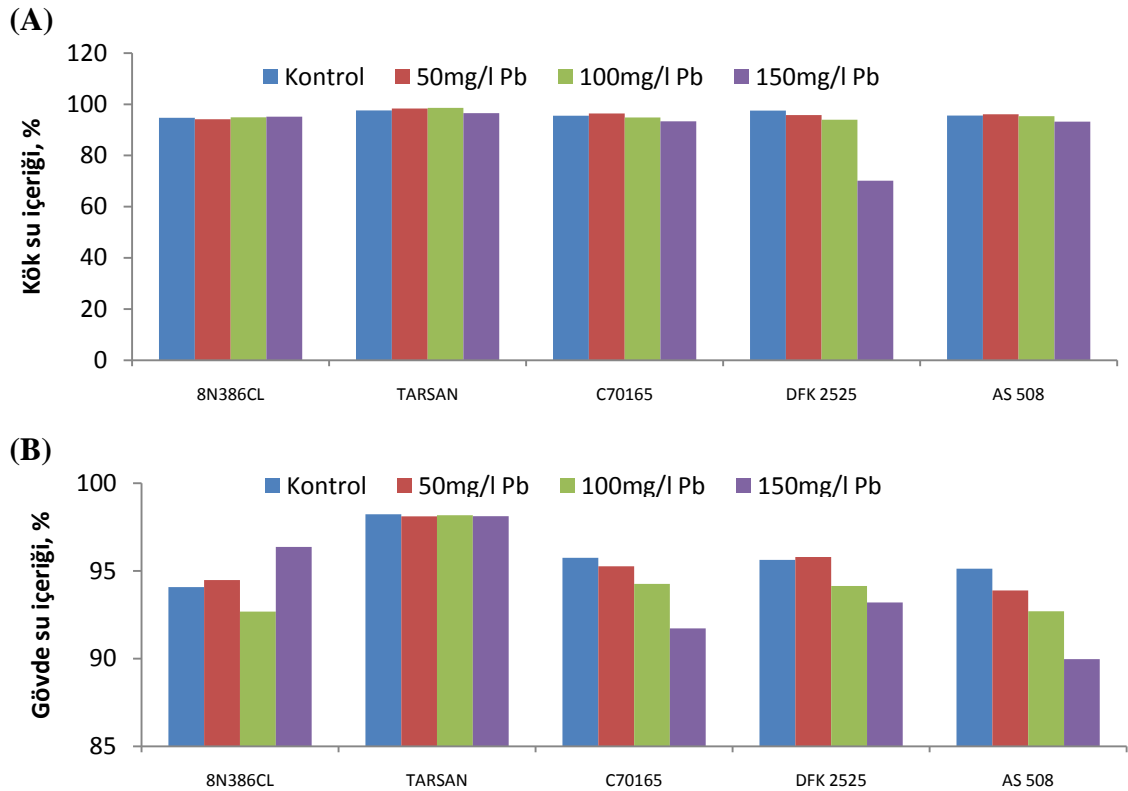
Kök tolerans indeks değeri 50 mg l⁻¹ Pb uygulama seviyesinde en yüksek 8N386CL (%143) ve DFK2525 (%140) genotiplerinde, en düşük Tarsan (%57) genotipinde hesaplanmıştır. 100 mg l⁻¹ Pb seviyesinde kök tolerans indeks değerleri 8N386CL ve DFK2525 genotiplerinde sırasıyla %186 ve %153 olurken, Tarsan genotipinde %50 olarak belirlenmiştir. En yüksek uygulama seviyesi olan 150 mg l⁻¹ Pb'da ise C70165 genotipinde %169, AS508 genotipinde ise %79'dur.

Hesaplanan gövde tolerans indeksleri incelendiğinde görüleceği gibi, 50 mg l⁻¹ Pb uygulama seviyesinde Tarsan genotipinin tolerans indeks değeri %98, AS508 genotipinin ise %67'dir. 100 mg l⁻¹ Pb seviyesinde en düşük AS508 (%61), en yüksek ise 8N386CL (%126) genotipinde hesaplanmıştır. En yüksek uygulama seviyesi olan 150 mg l⁻¹ Pb'da ise Tarsan genotipinde %85, DFK2525 genotipinde ise %42 olmuştur.

Her bir uygulama seviyesindeki tolerans indeks değerlerine bağlı olarak yapılan puanlandırmaya göre kök tolerans sıralaması; 8N386CL (13)> DFK2525 (12)> C70165 (11)> AS508 (5)> Tarsan (4), gövde tolerans sıralaması ise; Tarsan (14)> 8N386CL (10)> DFK2525 (8)> C70165 (7)> AS508 (6) ve şeklindedir.

4.4.4. Pb ağır metalinin ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde su içeriği üzerine etkisi

Artan konsantrasyonlarda Pb uygulanan ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde su içeriklerine ait sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirildiğinde, genotip, Pb seviyesi ile genotip*Pb seviyesi interaksiyonlarının kök su içeriğine etkisi önemsiz bulunurken gövde su içeriği üzerine yaptığı etki çok önemli olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.56).



Şekil 4.52. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) su içeriği üzerine etkisi

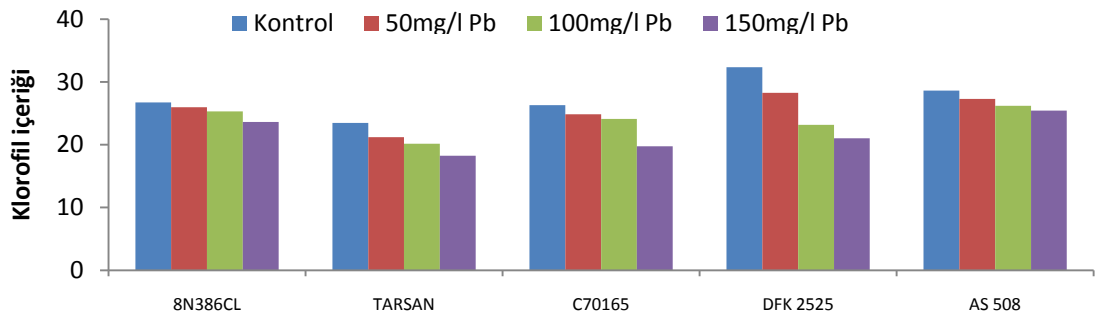
Yüksek Pb konsantrasyonunda ($150 \text{ mg l}^{-1} \text{ Pb}$) 8N386CL genotipinin kök su içeriğinde kontrole göre bir değişim olmazken, DFK2525 çeşidinde %28 azalma tespit edilmiştir. Gövde su içeriği ise AS508 genotipinde %5 azalırken 8N386CL genotipinde %2 artmıştır (Şekil 4.52. A ve B).

Çizelge 4.57’de Duncan test sonuçları incelendiğinde görüleceği gibi, kökte 8N386CL genotipi, gövdede ise Tarsan genotipi su içeriği bakımından Pb uygulamasından etkilenmemiştir. Uygulama seviyelerinin ortalaması olarak kök su içeriği bakımından genotipler arasında farklılıkların olmadığı tespit edilmiştir. Gövde su içeriği ise en yüksek Tarsan (%98,16) genotipinde, en düşük AS508 (%92,92) genotipinde belirlenmiştir.

Her bir Pb uygulama seviyesinin ortalama su içeriği dikkate alındığında, kök su içeriğinin Pb uygulama seviyelerinde farklılık göstermediği, gövde su içeriğinin ise kontrolde %95,76 iken $150 \text{ mg l}^{-1} \text{ Pb}$ uygulama seviyesinde %93,87 olduğu tespit edilmiştir.

4.4.5. Pb ağır metalinin ayçiçeği genotiplerinin klorofil içeriği (SPAD değeri) üzerine etkisi

Ayçiçeği genotiplerinin klorofil içeriğine artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb’ un etkisi incelendiğinde; genotip, Pb seviyesi ile genotip*Pb seviyesi etkileşimlerinin etkisi çok önemli olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.59).



Şekil 4.53. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde klorofil içeriği (SPAD değeri) üzerine etkisi

Çizelge 4.59. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un ayçiçeği genotiplerinin klorofil içeriğine ait varyans analizi ve Duncan test sonuçları

Varyans Kaynağı	S. D.	Klorofil			
		K.O.	F		
Genotip	4	71,65	67,61**		
Pb seviyesi	3	93,87	88,58**		
Genotip x Pb Seviyesi	12	8,26	7,80**		
Hata	40	1,06			
Genel	60				

Genotip	Klorofil içeriği, SPAD				
	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				
	0	50	100	150	Ort
8N386CL	26,73a	25,97ab	25,30b	23,63c	25,41B
TARSAN	23,47a	21,20b	20,17c	18,23d	20,77D
C70165	26,30a	24,85b	24,10b	19,75c	23,75C
DFK2525	32,33a	28,27b	23,17c	21,03c	26,20AB
AS 508	28,63a	27,30ab	26,20b	25,43b	26,89A
Ort	27,49A	25,52B	23,79C	21,62D	

Ayçiçeği genotiplerinin klorofil içerikleri Pb uygulamalarına bağlı olarak azalmıştır (Şekil 53). AS508 ayçiçeği çeşitinin SPAD değeri, uygulanan en yüksek Pb konsantrasyonunda (150 mg l⁻¹ Pb); kontrole göre yaklaşık olarak %11 azalırken, DFK2525 de %35 azalma olmuştur. Fotosentez, kurşun toksisitesine en hassas metabolik olaylardan biridir. Yaprakta fotosentez hızını yaklaşık % 50 oranında azalttığı belirtilmiştir (Miles *et al.* 1972).

Çizelge 4.59'de Duncan test sonuçları incelendiğinde görüleceği gibi, tüm genotiplerde uygulanan Pb seviyesine bağlı olarak klorofil içeriği farklılık göstermektedir. Uygulanan Pb seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek klorofil içeriği AS508 (26,89) genotipinde, en düşük klorofil içeriği ise Tarsan (20,77) genotipinde tespit edilmiştir. Her bir uygulama seviyesinde tüm genotiplerin ortalaması olarak klorofil içerikleri dikkate alındığında, kontrolde klorofil miktarı 27,94 iken en yüksek uygulama dozu olan 150 mg l⁻¹ Pb'da 21,62 olarak belirlenmiştir.

4.4.6. Pb ağır metalinin ayçiçeği genotiplerinin besin elementi içeriği üzerine etkisi

4.4.6.1. Pb ağır metalinin ayçiçeği genotiplerinin makro besin elementi (N, P, K, Ca ve Mg) içeriği üzerine etkisi

Pb ağır metalinin ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde aksamalarının N, P, K, Ca ve Mg içerikleri istatistiksel olarak değerlendirildiğinde genotip, Pb seviyesi ile genotip*Pb seviyesi interaksiyonlarının etkisi çok önemli olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.60). Ortalama değerlere ait Duncan test sonuçları ise Çizelge 4.61’de verilmiştir.

Çizelge 4.60. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb’un ayçiçeği bitkisinin gövde N, P, K, Ca ve Mg içeriğine ait varyans analiz sonuçları

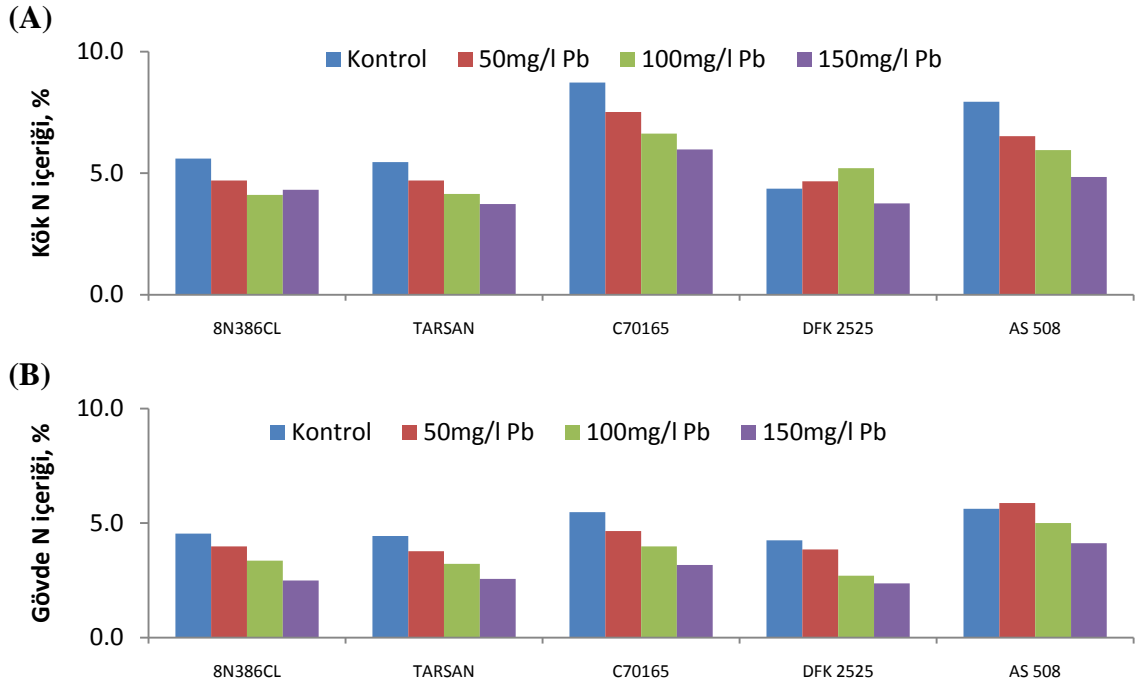
Varyans Kaynağı	S. D.	N %		P %		K %		Ca %		Mg %		
		K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	
Kök	Genotip	4	18,69	274,04**	9,39	496,16**	21,76	173,30**	12,28	1044,98**	0,17	293,66**
	Pb seviyesi	3	9,40	137,83**	6,73	355,57**	34,13	271,85**	0,47	40,27**	0,01	12,51**
	Genotip x Pb Seviyesi	12	0,98	14,33**	3,07	162,25**	4,93	39,27**	5,37	457,14**	0,02	25,78**
	Hata	40	0,07		0,02		0,13		0,01		0,01	
	Genel	60										
Varyans Kaynağı	S. D.	N %		P %		K %		Ca %		Mg %		
		K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	
Gövde	Genotip	4	7,05	380,98**	0,75	87,63**	16,44	66,76**	2,85	72,54**	0,13	40,32**
	Pb seviyesi	3	10,79	583,11**	0,07	8,47**	4,69	19,03**	0,47	12,02**	0,37	120,22**
	Genotip x Pb Seviyesi	12	0,14	7,30**	0,13	15,27**	1,62	6,59**	0,46	11,75**	0,03	8,77**
	Hata	40	0,02		0,01		0,25		0,04		0,01	
	Genel	60										

** : p<0,01 düzeyinde çok önemli, * : p<0,05 düzeyinde önemli, ns: Önemsiz

Çizelge 4.61. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde N, P, K, Ca ve Mg içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları

Kök N İçeriği, %						Genotip	Gövde N İçeriği, %					
Genotip	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort		Genotip	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort
	0	50	100	150				0	50	100	150	
8N386CL	5,60a	4,70b	4,11bc	4,31c	4,68C	8N386CL	4,54a	3,98b	3,36c	2,49d	3,59C	
TARSAN	5,46a	4,70b	4,14c	3,73d	4,51C	TARSAN	4,43a	3,77b	3,22c	2,57d	3,50C	
C70165	8,73a	7,51b	6,63c	5,97d	7,21A	C70165	5,48a	4,65b	3,98c	3,17d	4,32B	
DFK2525	4,36b	4,67b	5,20a	3,76c	4,50C	DFK2525	4,25a	3,85b	2,71c	2,37d	3,29D	
AS 508	7,94a	6,52b	5,95c	4,84d	6,31B	AS 508	5,62a	5,88a	5,00b	4,12c	5,16A	
Ort	6,42A	5,62B	5,21C	4,52D		Ort	4,86A	4,43B	3,65C	2,94D		
Kök P İçeriği, %						Genotip	Gövde P İçeriği, %					
Genotip	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort		Genotip	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort
	0	50	100	150				0	50	100	150	
8N386CL	1,91a	1,87a	1,64b	1,03c	1,61E	8N386CL	1,26a	0,96b	0,93b	1,11ab	1,07C	
TARSAN	1,72a	1,32b	0,92c	0,86c	1,20D	TARSAN	1,04a	0,96b	0,93bc	0,89c	0,96D	
C70165	1,63c	2,61b	3,52a	2,41b	2,54B	C70165	0,92b	1,00b	1,25a	1,38a	1,14BC	
DFK2525	3,95a	2,52b	1,36d	1,82c	2,41C	DFK2525	1,24b	1,05c	1,04c	1,52a	1,21B	
AS 508	5,48a	4,45b	3,23c	0,76d	3,48A	AS 508	1,87a	1,82a	1,44b	1,32b	1,61A	
Ort	2,94A	2,55B	2,13C	1,38D		Ort	1,27A	1,16B	1,12B	1,24A		
Kök K İçeriği, %						Genotip	Gövde K İçeriği, %					
Genotip	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort		Genotip	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort
	0	50	100	150				0	50	100	150	
8N386CL	4,98a	3,93b	3,78c	2,01d	3,67C	8N386CL	8,82a	7,47b	7,31b	7,38b	7,74B	
TARSAN	2,71a	2,39b	2,08c	0,85d	2,01D	TARSAN ^{ms}	5,68	5,51	5,50	5,14	5,46D	
C70165	3,78b	4,11ab	4,40a	3,21c	3,87C	C70165 ^{ms}	8,74	8,72	8,64	8,49	8,65A	
DFK2525	9,19a	4,44b	4,30b	1,65c	4,90B	DFK2525	9,49a	7,09b	5,93b	5,56b	7,02C	
AS 508	7,25a	6,73b	6,14c	2,03d	5,54A	AS 508 ^{ms}	7,50	7,41	7,25	7,44	7,40BC	
Ort	5,58A	4,32B	4,14B	1,95C		Ort	8,05A	7,24B	6,93BC	6,80C		
Kök Ca İçeriği, %						Genotip	Gövde Ca İçeriği, %					
Genotip	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort		Genotip	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort
	0	50	100	150				0	50	100	150	
8N386CL	1,35a	1,13b	1,09b	1,05b	1,15C	8N386CL ^{ms}	3,71	3,72	3,63	3,54	3,65B	
TARSAN	0,85c	0,86c	1,04b	1,30a	1,01D	TARSAN	2,16c	2,18c	3,44b	3,05a	2,71D	
C70165	1,49c	2,64b	4,04a	3,94a	3,03A	C70165 ^{ms}	3,50	3,16	3,05	2,97	3,17C	
DFK2525	1,71b	1,86b	1,90b	4,53a	2,50B	DFK2525	3,85a	3,29b	3,19b	3,99a	3,58B	
AS 508	5,51a	3,93b	1,81c	1,16d	3,10A	AS 508	3,87b	3,48c	4,17a	4,35a	3,97A	
Ort	2,18B	2,08C	1,98D	2,39A		Ort	3,42B	3,17C	3,49AB	3,58A		
Kök Mg İçeriği, %						Genotip	Gövde Mg İçeriği, %					
Genotip	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort		Genotip	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort
	0	50	100	150				0	50	100	150	
8N386CL	0,29a	0,24b	0,19c	0,12d	0,21D	8N386CL	0,81c	0,85bc	0,90b	1,02a	0,90B	
TARSAN	0,12a	0,18b	0,27c	0,12a	0,17E	TARSAN	0,54b	0,64b	1,03a	1,04a	0,81C	
C70165	0,21b	0,31a	0,34a	0,37a	0,31C	C70165	0,55c	0,74b	0,74b	0,83a	0,72D	
DFK2525	0,39c	0,41b	0,43a	0,39c	0,41B	DFK2525	0,68b	0,72b	0,79b	1,00a	0,80C	
AS 508	0,55a	0,47b	0,39c	0,38c	0,45A	AS 508	0,80d	0,87c	0,97b	1,30a	0,98A	
Ort	0,31A	0,32A	0,33A	0,28B		Ort	0,67D	0,76C	0,89B	1,04A		

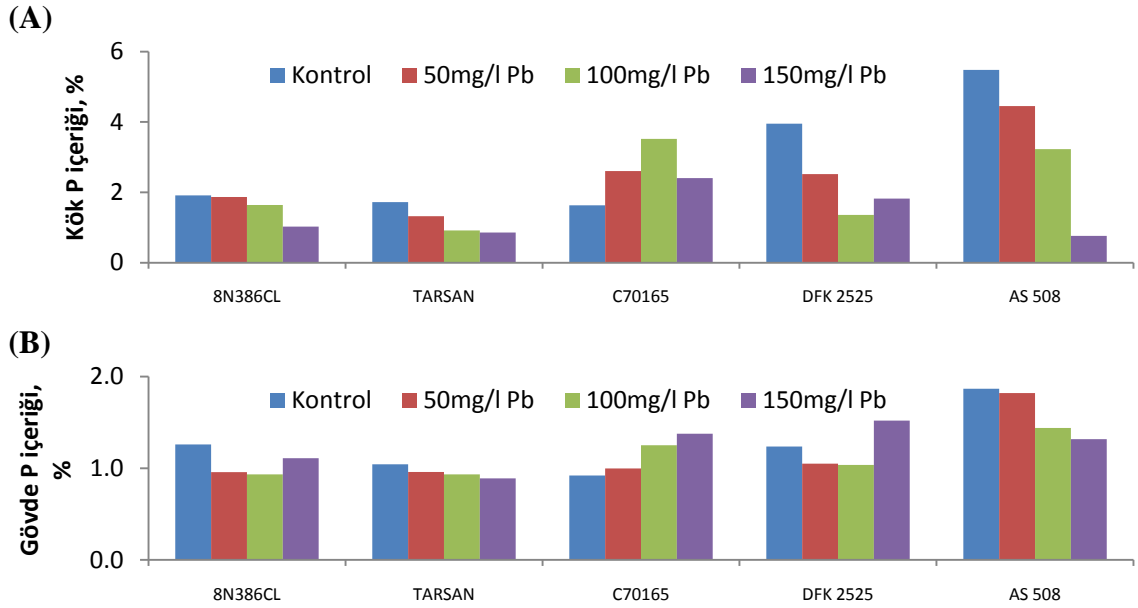
Şekil 4.54'de ayçiçeği genotiplerine artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un kök (A) ve gövde (B) N içeriğine etkisi incelendiğinde, kök azot içeriği DFK2525 genotipinde 100 mg l⁻¹ Pb seviyesine kadar artmış, 150 mg l⁻¹ Pb'da ise azalmıştır. Diğer genotiplerin kök azot içeriği uygulama dozundaki artışa bağlı olarak azalma göstermiştir. Gövdedeki N içeriği ise uygulanan Pb seviyesindeki artışa bağlı olarak tüm genotiplerde azalmıştır.



Şekil 4.54. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) N içeriği üzerine etkisi

Çizelge 4.61’de Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları incelendiğinde, ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde N içeriklerinin uygulamalara bağlı olarak farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Uygulanan Pb seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek kök N içeriği C70165 (%7,21) genotipinde, en düşük kök N içeriği ise 8N386CL (%4,68), Tarsan (%4,51) ve DFK2525 (%5,07) genotiplerinde belirlenmiştir. Pb uygulama seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek gövde N içeriği AS508 (%1,61), en düşük ise Tarsan (%0,96) genotipinde belirlenmiştir.

Her bir Pb uygulama seviyesindeki ortalama kök ve gövde N içerikleri incelendiğinde, Pb seviyesindeki artışa bağlı olarak farklılıkların tüm çeşitlerde önemli olduğu belirlenmiştir. Kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak N içeriği kökte %6,42, gövdede %5,16 iken en yüksek uygulama dozu olan 150 mg l⁻¹ Pb’da kökte %4,52 ve gövdede %3,29 olarak tespit edilmiştir.



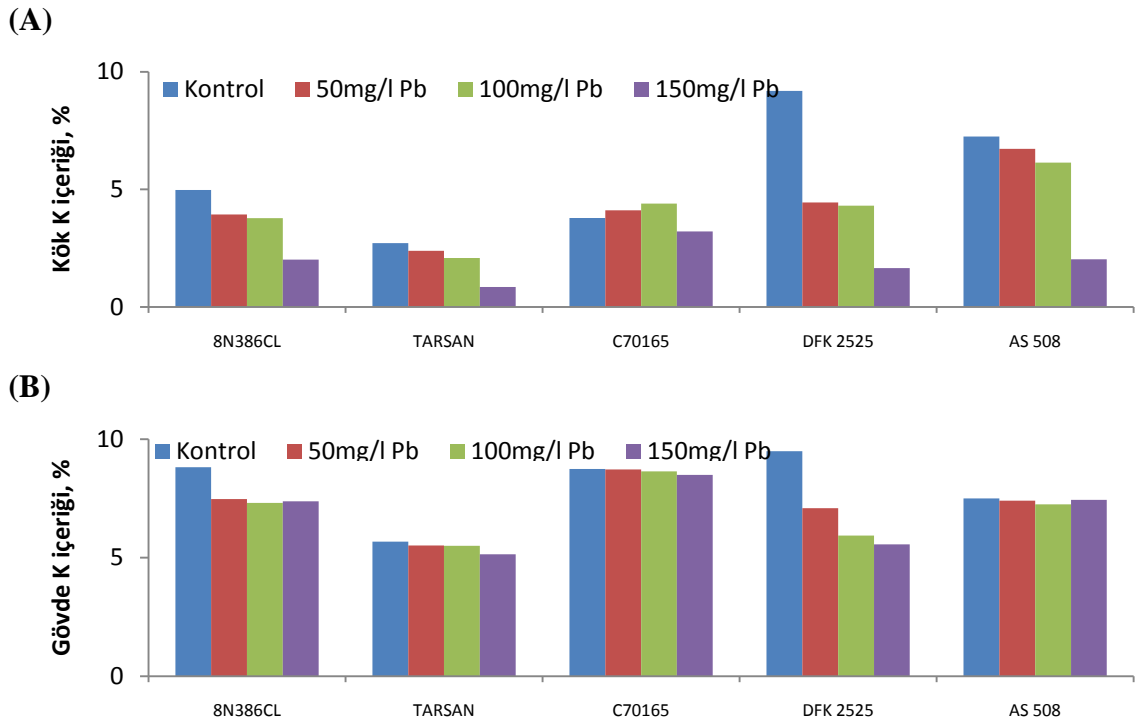
Şekil 4.55. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) P içeriği üzerine etkisi

Şekil 4.55’de ayçiçeği genotiplerinde Pb uygulamalarının kök (A) ve gövde (B) P içeriğine etkisi gösterilmiştir. Tüm çeşitlerde kökteki P birikimi gövdedeki birikimden fazladır. Kök P içeriği uygulama seviyesindeki artışa bağlı olarak C70165 genotipinde artarken diğer genotiplerde azalmıştır. Gövde P içeriği ise DFK2525 genotipinde 100 mg l⁻¹ Pb seviyesine kadar azalmış, en yüksek uygulama seviyesi olan 150 mg l⁻¹ Pb’da kontrole göre artmıştır.

Çizelge 4.61’de artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb’un ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde P içeriğine ait Duncan test sonuçları verilmiştir. Kök ve gövde P içerikleri tüm genotiplerde farklılık göstermiştir. Uygulanan Pb seviyelerinin ortalaması dikkate alındığında en yüksek kök ve gövde P içeriği AS508 (kökte %3,48-gövdede %1,66), en düşük ise kökte 8N386CL (%1,61), gövdede Tarsan (%0,96) genotipinde belirlenmiştir.

Her bir uygulama seviyesindeki ortalama kök ve gövde P içerikleri incelendiğinde, Pb seviyesindeki artışa bağlı olarak farklılıkların önemli olduğu belirlenmiştir. Kök P içeriği kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak %2,94 iken en yüksek uygulama seviyesinde %1,38 olarak belirlenmiştir. Gövdede ise kontrolde %1,27 ve 150 mg l⁻¹ Pb seviyesinde %1,24’dür.

Ayçiçeği genotiplerine artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un kök (A) ve gövde (B) K içeriğine etkisi Şekil 4.56'de gösterilmiştir. Gövdede K birikimi kökteki birikimden daha fazladır. Kök K içeriği C70165 genotipinde 100 mg l^{-1} Pb seviyesine kadar artış gösterip en yüksek uygulama seviyesinde azalmıştır. Diğer genotiplerde uygulama seviyesindeki artışa bağlı olarak azalmıştır. Gövde K içerikleri değerlendirildiğinde, Tarsan, C70165 ve AS508 genotiplerinin K içeriklerinin uygulamalardan etkilenmediği, 8N386CL ve DFK2525 genotiplerinde ise uygulama seviyesindeki artışla azaldığı belirlenmiştir.

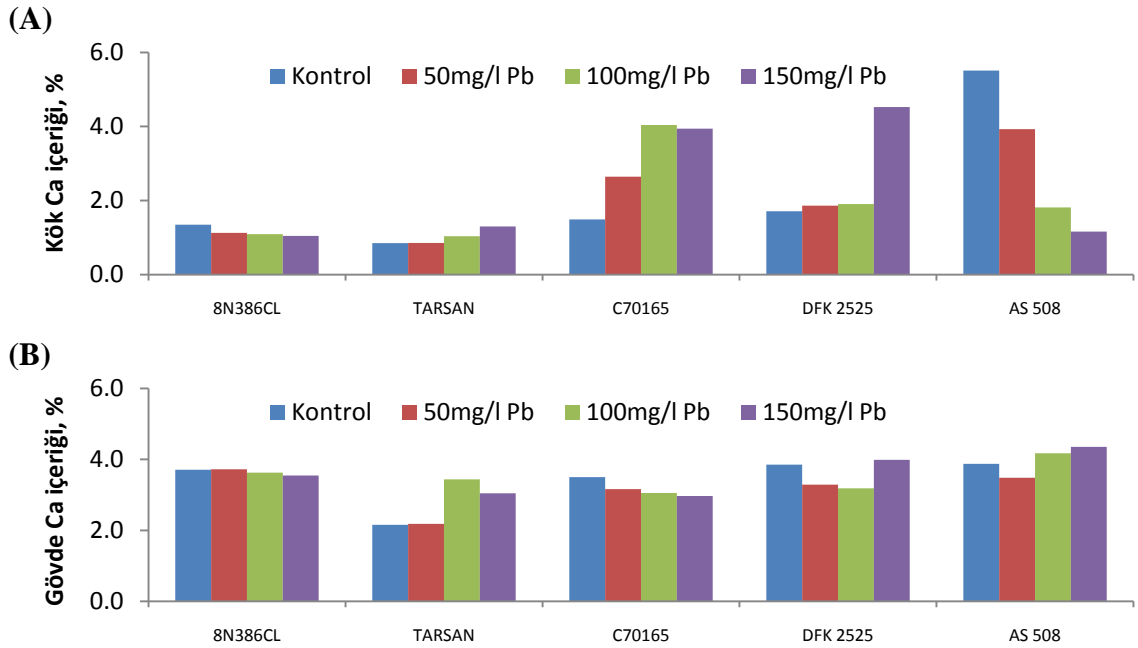


Şekil 4.56. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) K içeriği üzerine etkisi

Çizelge 4.61'de verilen Duncan test sonuçlarına göre, tüm genotiplerin kök K içerikleri uygulamalara bağlı olarak farklılık gösterirken, gövde K içerikleri Tarsan, C70165 ve AS508 genotiplerinde Pb uygulamasından etkilenmemiştir. Uygulama seviyelerinin ortalaması dikkate alındığında en yüksek kök K içeriği AS508 (%5,54) genotipinde, en düşük Tarsan (%4,24) genotipinde belirlenmiştir. Gövde K içeriği ise en yüksek C70165 (%8,65) genotipinde, en düşük Tarsan (%5,46) genotipinde tespit edilmiştir.

Her bir Pb uygulama seviyesindeki ortalama kök ve gövde K içerikleri incelendiğinde, Pb seviyesindeki artışa bağlı olarak farklılıkların önemli olduğu tespit edilmiştir. Kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak kök K içeriği %5,58 iken 150 mg l⁻¹ Pb seviyesinde %1,95'dir. Gövdede ise kontrolde %8,05, en yüksek uygulama dozu olan 150 mg l⁻¹ Pb'da ise %6,80 olarak belirlenmiştir.

Şekil 4.57'da ayçiçeği genotiplerine artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un kök (A) ve gövde (B) Ca içeriğine etkisi görülmektedir. Tüm genotiplerde gövdedeki Ca birikimi kökten fazladır.



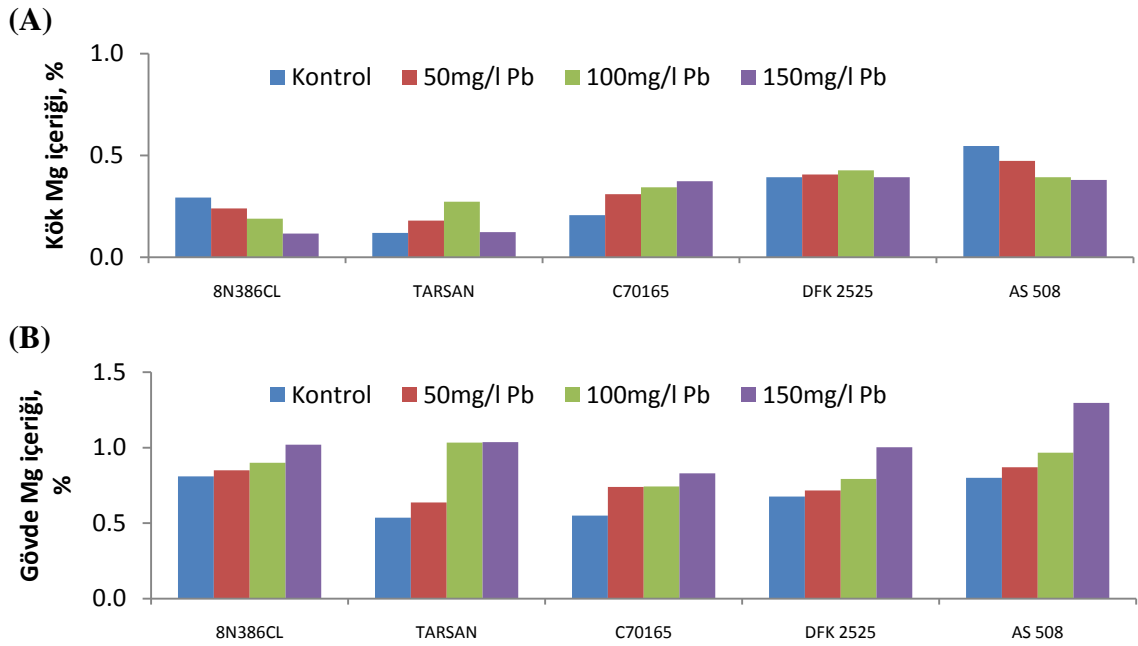
Şekil 4.57. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı ayçiçeği çeşitlerinde kök (A) ve gövde (B) Ca içeriği üzerine etkisi

Kök Ca içeriği AS508 genotipinde artan seviyelerdeki Pb uygulamalarına bağlı olarak kontrole göre artarken diğer genotiplerde azalmıştır. Gövde Ca içeriği ise Tarsan ve AS508 genotiplerinde Pb seviyesinin artışına bağlı olarak artarken DFK2525 genotipinde 100 mg l⁻¹ Pb seviyesine kadar azalmış, en yüksek uygulama seviyesinde ise kontrole göre artmıştır. Benzer şekilde Paivoke (2002), yaptığı bir çalışmada *V. Natans*'da Pb uygulamalarının bitkide Ca ve Mg içeriğini önemli oranda artırdığını tespit etmişlerdir.

Çizelge 4.61’de artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb’un ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde Ca içeriğine ait Duncan test sonuçları incelendiğinde, kök Ca içeriğinin tüm genotiplerde Pb uygulamalarından etkilendiği görülmüştür. Gövde Ca içeriği ise uygulamalara bağlı olarak 8N386CL ve C70165 genotiplerinde farklılık göstermemiştir. Uygulama seviyelerinin ortalama Ca içeriği dikkate alındığında en yüksek kök Ca içeriği C70165 (%3,03) ve AS508 (%3,10) genotiplerinde, en düşük ise Tarsan (%1,01) genotipinde tespit edilmiştir. Gövde Ca içeriği ise en yüksek AS508 (%3,97), en düşük Tarsan (%2,71) genotipinde belirlenmiştir.

Her bir Pb uygulama seviyesindeki ortalama kök ve gövde Ca içerikleri incelendiğinde, Pb seviyesindeki artışa bağlı olarak farklılıkların önemli olduğu tespit edilmiştir. Kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak Ca içeriği kökte %2,18, gövdede ise %3,42 olarak belirlenmiştir. Kök Ca içeriği 100 mg l^{-1} Pb seviyesinde %1,98 iken en yüksek uygulama seviyesi olan 150 mg l^{-1} Pb’da %2,39’a yükselmiştir. Gövde Ca içeriği ise en düşük değere 50 mg l^{-1} Pb (%3,17) uygulama seviyesinde ulaşmış, 150 mg l^{-1} Pb (%3,58) seviyesinde ise en yüksek değeri almıştır.

Ayçiçeği genotiplerine artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb’un kök (A) ve gövde (B) Mg içeriğine etkisi Şekil 4.58’de gösterilmiştir. Tüm genotiplerde Mg birikimi gövdede köke göre daha fazla olmuştur. Kök Mg içeriği uygulamalara bağlı olarak 8N386CL ve AS508 genotiplerinde kontrole göre azalırken C70165 ve DFK2525 genotiplerinde artmıştır. Tarsan genotipinde ise 100 mg l^{-1} Pb seviyesine kadar artış gösterip en yüksek uygulama seviyesinde kontrole göre azalmıştır. Gövde Mg içeriği ise tüm genotiplerde Pb uygulamalarına bağlı olarak artış göstermiştir.



Şekil 4.58. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Mg içeriği üzerine etkisi

Artan seviyelerde uygulanan Pb'un ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde Mg içeriğine ait Duncan test sonuçları Çizelge 4.61'de verilmiştir. Uygulanan Pb seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek kök ve gövde Mg içeriği AS508 (kökte %0,45-gövdede %0,98) genotipinde, en düşük ise kökte Tarsan (%0,17), gövdede C70165 (%0,72) genotiplerinde tespit edilmiştir. Pb uygulama seviyelerindeki ortalama kök ve gövde Mg içerikleri incelendiğinde, kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak Mg içeriği kökte %0,31, gövdede %0,67 iken en yüksek uygulama dozu olan 150 mg l⁻¹ Pb'da kökte %0,28 ve gövdede %1,04 olarak belirlenmiştir. Gövde Mg içeriği tüm seviyelerde farklılık gösterirken, kök Mg içeriği kontrole göre sadece en yüksek uygulama dozunda fark göstermiştir.

4.4.6.2. Pb ağır metalinin ayçiçeği genotiplerinin mikro besin elementi (Fe, Cu, Zn, Mn ve B) içeriği üzerine etkisi

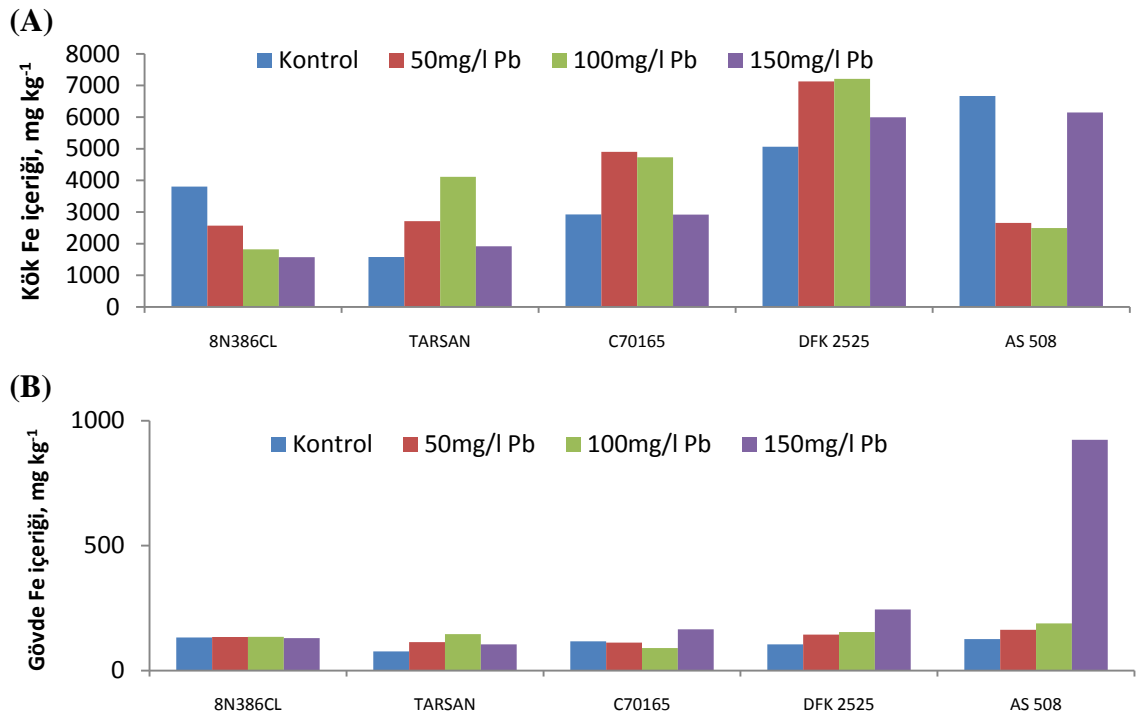
Çizelge 4.62'de verilen varyans analiz sonuçlarına göre uygulamalara bağlı olarak genotiplerin kök ve gövde aksamalarının Fe, Cu, Zn, Mn ve B içerikleri üzerine genotip, Pb seviyesi ile genotip*Pb seviyesi interaksiyonlarının etkisi çok önemli olarak tespit edilmiştir (p<0,01).

Çizelge 4.62. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un ayçiçeği bitkisinin gövde Fe, Cu, Zn, Mn, B, ve Pb içeriğine ait varyans analiz sonuçları

	Varyans Kaynağı	S. D.	Fe mg kg ⁻¹		Cu mg kg ⁻¹		Zn mg kg ⁻¹		Mn mg kg ⁻¹		B mg kg ⁻¹	
			K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F
			Kök	Genotip	4	30610365,73	1921,37**	3135431,856	9716,89**	305799,02	5397,49**	3908,15
	Pb seviyesi	3	393687,33	24,71**	321949,62	997,74**	22972,48	405,48**	155,04	65,03**	14829,40	76,71**
	Genotip x Pb Seviyesi	12	7002003,67	439,51**	55923,13	173,31**	40676,61	717,96**	578,41	242,62**	25357,86	131,17**
	Hata Genel	40 60	15931,52		322,68		56,66		2,38		193,33	
	Varyans Kaynağı	S. D.	Fe mg kg ⁻¹		Cu mg kg ⁻¹		Zn mg kg ⁻¹		Mn mg kg ⁻¹		B mg kg ⁻¹	
			K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F	K.O.	F
			Gövde	Genotip	4	119344,17	2315,91**	41197,77	3529,51**	29947,83	608,90**	3320,84
	Pb seviyesi	3	129911,83	2520,97**	4434,39	379,91**	913,71	18,58**	50,37	28,02**	588,27	10,34**
	Genotip x Pb Seviyesi	12	81386,63	1579,33**	3357,96	287,68**	4694,04	95,44**	146,23	81,34**	2205,87	38,79**
	Hata Genel	40 60	51,53		11,67		49,18		1,80		56,85	

** : p<0,01 düzeyinde çok önemli, * : p<0,05 düzeyinde önemli, ns: Önemsiz

Ayçiçeği genotiplerine artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un kök (A) ve gövde (B) Fe içeriğine etkisi Şekil 4.59'da gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, artan Pb konsantrasyonları bitki Fe içeriğini önemli düzeyde etkilememiştir. Kökte Fe birikim gövdeden fazladır. Kök Fe içeriğinin Pb uygulamalarına bağlı olarak Tarsan, C70165 ve DFK2525 genotiplerinde arttığı, Tarsan ve 8N386C'da ise azaldığı tespit edilmiştir. AS508 genotipinde ise 100 mg l⁻¹ Pb seviyesine kadar azalırken 150 mg l⁻¹ Pb uygulama seviyesinde önemli düzeyde arttığı belirlenmiştir. Gövde Fe içeriğinin uygulamalara bağlı olarak değişimi incelendiğinde; Tarsan, DFK2525 ve AS508 genotiplerinde kontrole göre arttığı, C70165 genotipinde 100 mg l⁻¹ Pb seviyesine kadar azaldığı ve en yüksek uygulama seviyesinde kontrole göre arttığı gözlenmiştir.



Şekil 4.59. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Fe içeriği üzerine etkisi

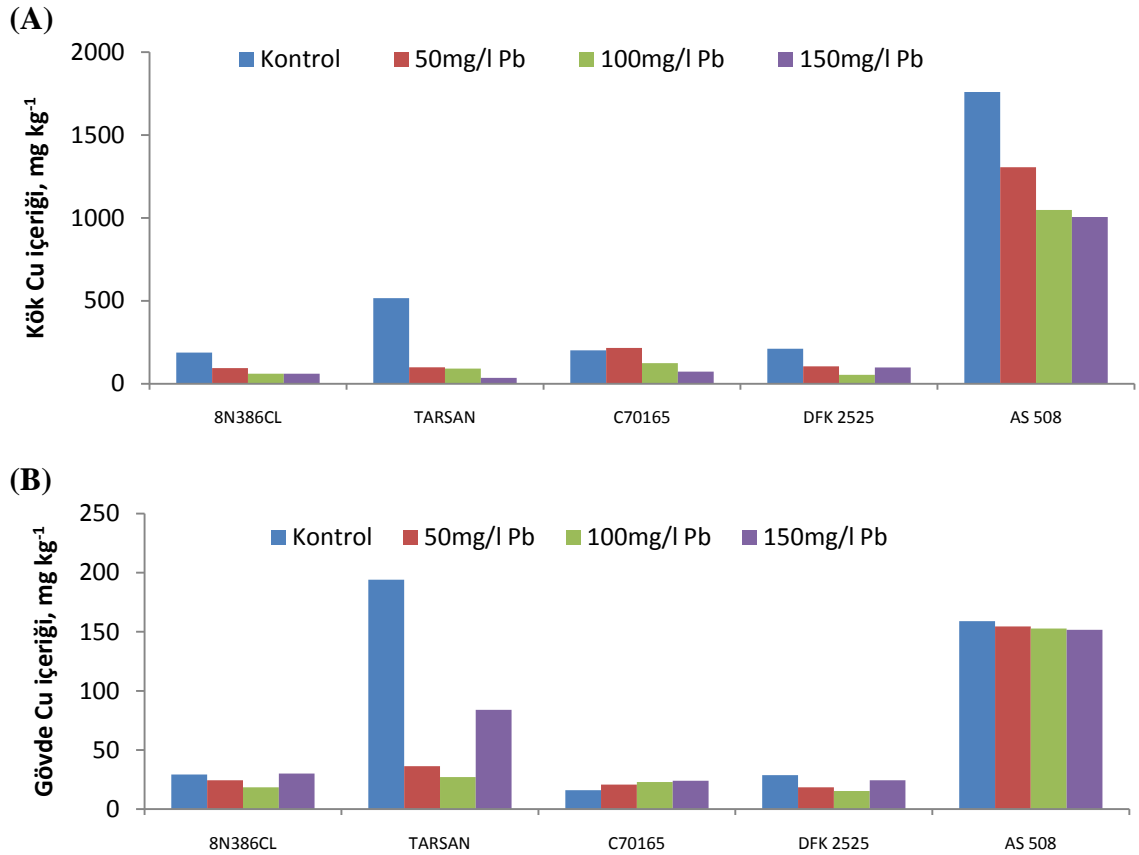
Çizelge 4.63'de artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde Fe içeriğine ait Duncan test sonuçları verilmiştir. Kök Fe içeriği tüm genotiplerde Pb uygulamasından etkilenmiştir. Gövde Fe içeriği ise 8N386CL genotipinde uygulamalara bağlı olarak farklılık göstermemiştir. Diğer genotiplerde gövde Fe içeriği bakımından farklılıklar tespit edilmiştir.

Çizelge 4.63. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde Fe, Cu ve Zn içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları

Genotip	Kök Fe İçeriği, mg kg ⁻¹					Genotip	Gövde Fe İçeriği, mg kg ⁻¹				
	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort		Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort
	0	50	100	150			0	50	100	150	
8N386CL	3806,62a	2571,67b	1823,27c	1571,23d	2443,20E	8N386CL ^{ms}	132,19	134,64	135,11	130,00	132,99C
TARSAN	1578,28d	2713,79a	4113,04b	1916,29c	2580,35D	TARSAN	76,76c	113,89b	146,15a	104,87b	110,42E
C70165	2926,33b	4903,27a	4732,57a	2918,31b	3870,12C	C70165	117,31b	112,13b	90,28c	165,22a	121,24D
DFK2525	5063,66c	7129,68a	7209,27a	5995,94b	6349,64A	DFK2525	105,17d	143,94c	154,50b	244,70a	162,08B
AS 508	6668,52a	2656,95c	2492,57c	6145,20b	4490,81B	AS 508	126,21d	163,19c	189,14b	923,32a	350,47A
Ort	4008,68A	3995,07A	4074,14A	3709,39B		Ort	111,53D	133,56C	143,04B	313,62A	
Genotip	Kök Cu İçeriği, mg kg ⁻¹					Genotip	Gövde Cu İçeriği, mg kg ⁻¹				
	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort		Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort
	0	50	100	150			0	50	100	150	
8N386CL	187,50a	94,48b	60,19c	60,12c	100,58E	8N386CL	29,24a	24,42b	18,52c	30,14a	25,58C
TARSAN	515,83a	99,21b	90,96c	35,14d	185,28B	TARSAN	194,01a	36,35c	27,08c	84,05b	85,37B
C70165	201,42b	216,12a	124,34c	73,36d	153,81C	C70165	16,09c	20,82b	22,93ab	24,02a	20,97D
DFK2525	211,37a	104,54b	53,36d	97,99c	116,82D	DFK2525	28,74a	18,47c	15,30d	24,37b	21,72D
AS 508	1759,49a	1305,89b	1047,95c	1005,64c	1279,74A	AS 508	159,02a	154,46ab	152,82ab	151,65b	154,49A
Ort	575,12A	364,05B	275,36C	254,45D		Ort	85,42A	50,90C	47,33D	62,84B	
Genotip	Kök Zn İçeriği, mg kg ⁻¹					Genotip	Gövde Zn İçeriği, mg kg ⁻¹				
	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort		Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort
	0	50	100	150			0	50	100	150	
8N386CL	93,40a	54,05b	13,97d	32,73c	48,54D	8N386CL	168,72a	141,52c	137,48d	158,94b	151,66E
TARSAN	13,78d	20,40c	25,13b	38,20e	24,38E	TARSAN	165,43c	167,38c	228,43a	211,27b	193,13D
C70165	267,12a	255,06ab	251,11b	107,44c	220,18C	C70165	177,75c	216,51b	238,45a	181,34c	203,51C
DFK2525	228,38b	141,12c	130,44c	438,87a	234,70B	DFK2525	320,95b	233,61c	213,60c	342,79a	277,74A
AS 508	590,11a	539,27b	356,29c	182,84d	417,13A	AS 508	265,09a	274,44a	244,00b	227,62c	252,78B
Ort	238,56A	201,98B	155,39C	160,02C		Ort	219,59A	206,69C	212,39B	224,39A	

Pb uygulama seviyelerinin ortalaması dikkate alındığında en yüksek kök Fe içeriği DFK2525 ($6349,64 \text{ mg kg}^{-1}$), en düşük ise 8N386CL ($2443,20 \text{ mg kg}^{-1}$) genotipinde tespit edilmiştir. Gövde Fe içeriği ise en yüksek AS508 ($350,47 \text{ mg kg}^{-1}$) ve en düşük Tarsan ($110,42 \text{ mg kg}^{-1}$) genotipinde belirlenmiştir.

Her bir Pb uygulama seviyesindeki ortalama kök ve gövde Fe içerikleri incelendiğinde, Pb seviyesindeki artışa bağlı olarak farklılıkların önemli olduğu belirlenmiştir. Kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak Fe içeriği kökte $4008,68 \text{ mg kg}^{-1}$, gövdede ise $111,53 \text{ mg kg}^{-1}$ 'dir. Fe içeriği en yüksek uygulama seviyesi olan 150 mg l^{-1} Pb'da kökte $3709,39 \text{ mg kg}^{-1}$ iken gövdede $313,62 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak tespit edilmiştir. Gövde Fe içeriğinin uygulamalarda kontrole göre arttığı, kök Fe içeriğinin ise ilk iki uygulamada kontrolden farklı olmadığı görülmüştür.



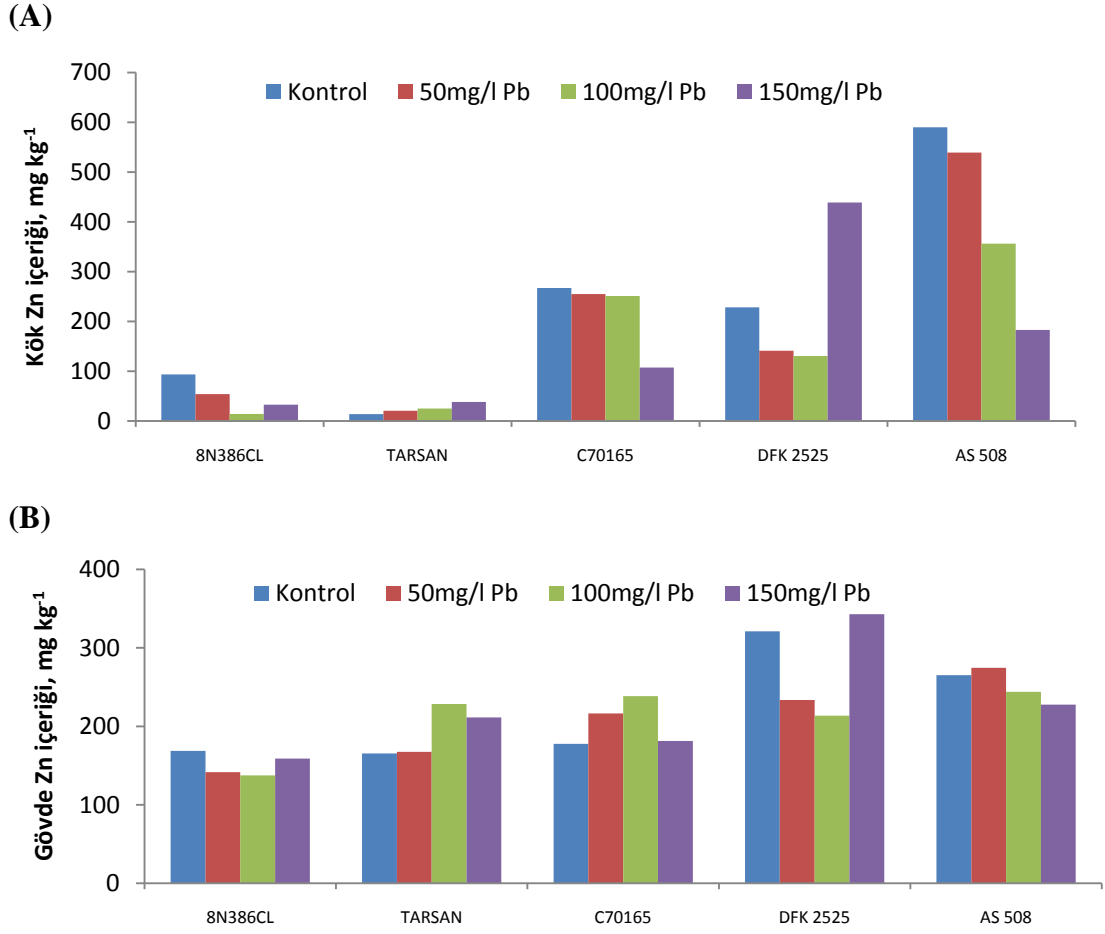
Şekil 4.60 Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Cu içeriği üzerine etkisi

Şekil 4.60'da ayçiçeği genotiplerine artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un kök (A) ve gövde (B) Cu içeriğine etkisi gösterilmiştir. Ayrıca genotipler arasında Cu birikimleri de oldukça farklılık göstermektedir. Tüm genotiplerde kökteki Cu birikimi gövdedeki birikimden fazladır. Kök Cu içeriği tüm genotiplerde Pb uygulama seviyesindeki artışa bağlı olarak azalmıştır. Gövde Cu içeriği ise C70165 genotipinde Pb seviyesindeki artışa paralel olarak artarken diğer genotiplerde kontrole göre azalmıştır. Ancak uygulama seviyelerindeki azalış oranları düzenli bir değişim göstermemektedir.

Çizelge 4.63'de Duncan test sonuçları incelendiğinde görüleceği gibi, kök ve gövde Cu içeriği tüm genotiplerde Pb uygulama seviyelerine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Tüm uygulama seviyelerinin ortalaması olarak Cu içeriği dikkate alındığında en yüksek kök ve gövde Cu içeriği AS508 (kökte 1279,74 mg kg⁻¹-gövdede 154,49 mg kg⁻¹) genotipinde belirlenmiştir. En düşük kök Cu içeriği 8N386CL (100,58 mg kg⁻¹) genotipinde, gövde Cu içeriği ise C70165 (20,97 mg kg⁻¹) ve DFK2525 (21,72 mg kg⁻¹) genotiplerinde tespit edilmiştir.

Her bir Pb uygulama seviyesindeki ortalama kök Cu içeriği kontrolde 575,12 mg kg⁻¹, 150 mg l⁻¹ Pb uygulama seviyesinde 254,45 mg kg⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Gövde Cu içeriği ise kontrolde 85,42 mg kg⁻¹, en yüksek uygulama seviyesi olan 150 mg l⁻¹ Pb'da 62,84 mg kg⁻¹ iken 100 mg l⁻¹ Pb seviyesinde 47,33 mg kg⁻¹'dir.

Şekil 4.61'de ayçiçeği genotiplerine artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un kök (A) ve gövde (B) Zn içeriğine etkisi gösterilmiştir. Kökteki Zn birikimi gövdedeki birikimden fazladır. Kök Zn içeriğinin Tarsan genotipinde Pb seviyelerindeki artışa bağlı olarak arttığı, DFK2525 genotipinde 100 mg l⁻¹ Pb seviyesine kadar azalıp en yüksek uygulama seviyesinde kontrole göre arttığı ve diğer genotiplerde azaldığı belirlenmiştir. Gövde Zn içeriği ise uygulamalara bağlı olarak kontrole göre 8N386CL ve AS508 genotiplerinde azalmış, Tarsan ve C70165 genotiplerinde artmış, DFK2525 genotipinde ise 100 mg l⁻¹ Pb seviyesine kadar azalıp en yüksek uygulama seviyesinde azaldığı tespit edilmiştir.

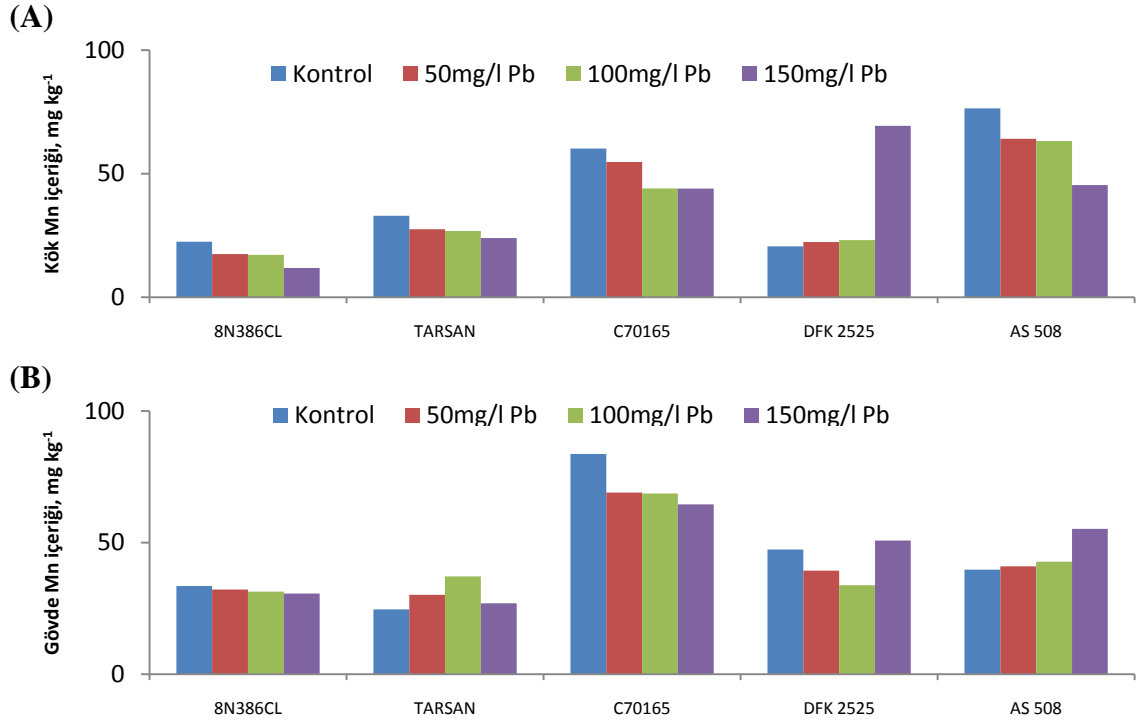


Şekil 4.61 Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Zn içeriği üzerine etkisi

Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde Zn içeriği üzerine etkisinin ortalama değerlerine ait Duncan test sonuçları Çizelge 4.63'de verilmiştir. Tüm genotiplerde Pb uygulamasına bağlı olarak kök ve gövde Zn içeriğinde önemli farklılıklar mevcuttur. Uygulanan Pb seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek kök Zn içeriği AS508 ($417,13 \text{ mg kg}^{-1}$) genotipinde, en düşük Tarsan ($24,38 \text{ mg kg}^{-1}$) genotipinde tespit edilmiştir. En yüksek gövde Zn içeriği DFK2525 ($277,74 \text{ mg kg}^{-1}$) genotipinde, en düşük ise 8N386CL ($151,66 \text{ mg kg}^{-1}$) genotiplerinde belirlenmiştir.

Pb uygulama seviyelerindeki ortalama kök ve gövde Zn içerikleri incelendiğinde, farklılıkların tüm çeşitlerde önemli olduğu belirlenmiştir. Kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak Zn içeriği kökte $238,56 \text{ mg kg}^{-1}$, gövdede $219,59 \text{ mg kg}^{-1}$ iken en

yüksek uygulama dozu olan 150 mg l⁻¹ Pb’da kökte 160,02 mg kg⁻¹ ve gövdede 224,39 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.62. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Mn içeriği üzerine etkisi

Şekil 4.62’de ayçiçeği genotiplerine artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb’un kök (A) ve gövde (B) Mn içeriğine etkisi gösterilmiştir. Artan Pb konsantrasyonları bitki Mn içeriğini önemli düzeyde etkilemiştir. Gövdedeki Mn birikimi tüm genotiplerde kökten fazladır. Kök Mn içeriği DFK2525 genotipinde uygulamalara bağlı olarak artarken diğer genotiplerde azalmıştır. Gövde Mn içeriği ise 8N386CL ve C70165 genotiplerinde azalmış, AS508 ve Tarsan genotiplerinde kontrole göre artmış, DFK2525 genotipinde ise 100 mg l⁻¹ Pb seviyesine kadar azalıp en yüksek uygulama seviyesinde artmıştır.

Çizelge 4.64. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde Mn, B ve Pb içeriği üzerine etkisinin ortalama değerleri için Duncan test sonuçları

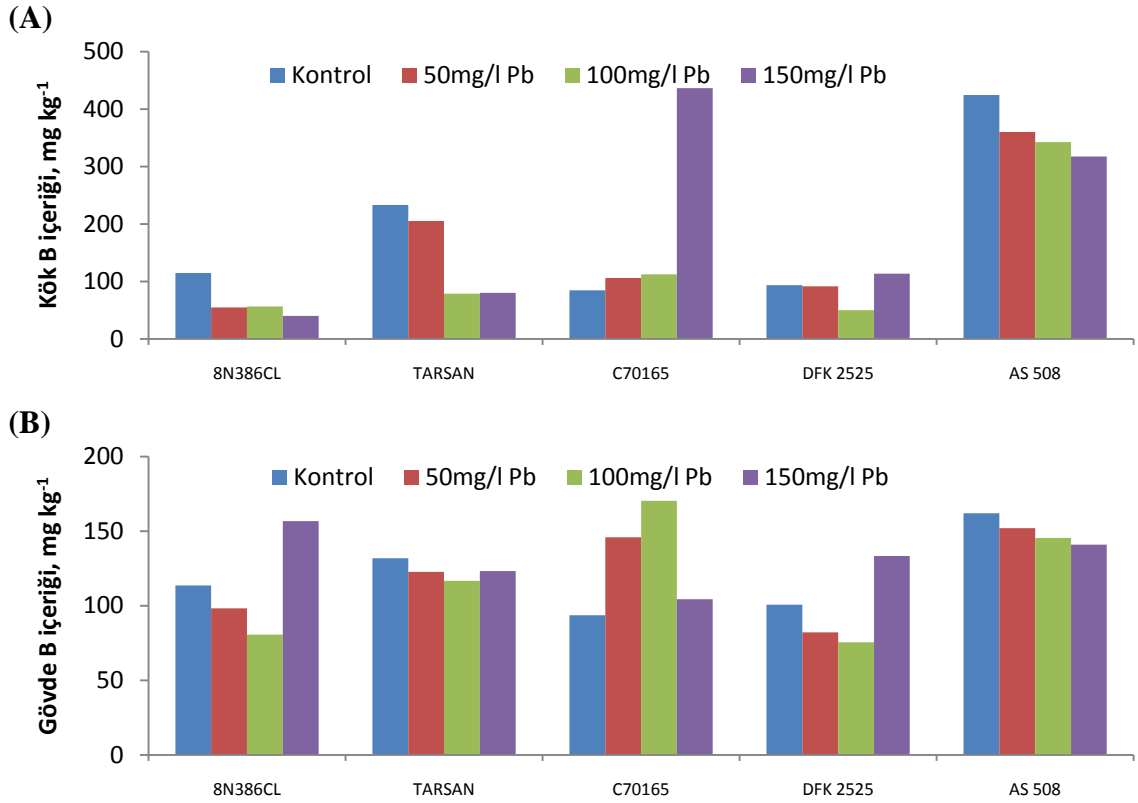
Kök Mn İçeriği, mg kg ⁻¹						Gövde Mn İçeriği, mg kg ⁻¹					
Genotip	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort	Genotip	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort
	0	50	100	150			0	50	100	150	
8N386CL	22,45a	17,48b	17,12b	11,81c	17,22E	8N386CL	33,48a	32,15ab	31,36b	30,63b	31,91D
TARSAN	32,91a	27,52b	26,81c	23,91d	27,79D	TARSAN	24,60d	30,13b	37,13a	26,90c	29,69E
C70165	60,17a	54,69b	44,01c	43,97c	50,71B	C70165	83,65a	69,02b	68,63b	64,54b	71,46A
DFK2525	20,54c	22,30b	23,11b	69,34a	33,82C	DFK2525	47,33b	39,36c	33,77d	50,78a	42,81C
AS 508	76,38a	64,09b	63,17b	45,37c	62,25A	AS 508	39,70c	40,95c	42,73b	55,21a	44,65B
Ort	42,49A	37,22C	34,84D	38,88B		Ort	45,75A	42,32B	42,72B	45,61A	
Kök B İçeriği, mg kg ⁻¹						Gövde B İçeriği, mg kg ⁻¹					
Genotip	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort	Genotip	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort
	0	50	100	150			0	50	100	150	
8N386CL	114,92a	54,93b	56,68b	40,34c	66,72E	8N386CL	113,54b	98,26bc	80,61c	156,74a	112,29C
TARSAN	233,14a	205,32b	78,89c	80,41c	149,44C	TARSAN	131,84a	122,69b	116,68c	123,25b	123,62B
C70165	84,82b	106,15b	112,53b	436,45a	184,99B	C70165	93,64c	145,84b	170,36a	104,32c	128,54B
DFK2525	93,67b	91,74b	50,23c	113,76a	87,35D	DFK2525	100,75b	82,16c	75,55c	133,38a	97,96D
AS 508	424,47a	360,11b	342,48b	317,50c	361,14A	AS 508	161,97a	151,98b	145,49bc	140,91c	150,09A
Ort	190,20A	163,65B	128,16C	197,69A		Ort	120,35B	120,19B	117,74B	131,72A	
Kök Pb İçeriği, mg kg ⁻¹						Gövde Pb İçeriği, mg kg ⁻¹					
Genotip	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort	Genotip	Pb seviyeleri, mg l ⁻¹				Ort
	0	50	100	150			0	50	100	150	
8N386CL	550,08d	736,88c	1195,68b	1733,86a	1054,13D	8N386CL	6,79d	10,58c	30,90b	41,61a	22,47C
TARSAN	199,72d	1528,02c	2962,50b	4212,04a	2225,57C	TARSAN	6,89d	17,46c	29,39b	40,68a	23,61B
C70165	76,15c	76,91c	142,53b	1701,82a	499,35E	C70165	3,68d	9,73c	12,58b	30,56a	14,14E
DFK2525	38,34c	43,45c	3364,15b	15059,67a	4626,40A	DFK2525	4,56c	5,38c	13,39b	56,37a	19,93D
AS 508	304,92d	1666,09c	3102,04b	8078,05a	3287,78B	AS 508	12,80d	28,06c	47,32b	55,68a	35,96A
Ort	233,84D	810,27C	2153,38B	6157,09A		Ort	6,95D	14,24C	26,72B	44,98A	

Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde Mn içeriğine ait Duncan test sonuçları Çizelge 4.64'de verilmiştir. Uygulanan Pb seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek kök Mn içeriği AS508 (62,25 mg kg⁻¹) genotipinde, en düşük kök Mn içeriği ise 8N386CL (17,22 mg kg⁻¹) genotipinde tespit edilmiştir. Gövde Mn içeriği ise en yüksek C70165 (71,46 mg kg⁻¹), en düşük Tarsan (29,69 mg kg⁻¹) genotipinde belirlenmiştir.

Her bir uygulama seviyesindeki ortalama kök ve gövde Mn içerikleri incelendiğinde, Pb seviyesindeki artışa bağlı olarak farklılıkların tüm çeşitlerde önemli olduğu belirlenmiştir. Kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak Mn içeriği kökte 42,49 mg kg⁻¹, gövdede 45,75 mg kg⁻¹ iken en yüksek uygulama dozu olan 150 mg l⁻¹ Pb'da kökte 38,88 mg kg⁻¹, gövdede 45,61 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Kök Mn içeriği 100 mg l⁻¹ Pb'da (34,84 mg kg⁻¹) en yüksek uygulama seviyesinden daha düşük bulunmuştur. Gövde Mn içeriği ise kontrol ve en yüksek uygulama seviyesinde fark göstermezken 50 ve 100 mg l⁻¹ Pb uygulama seviyelerine göre yüksek olarak belirlenmişlerdir.

Şekil 4.63'de ayçiçeği genotiplerine artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un kök (A) ve gövde (B) B içeriğine etkisi gösterilmiştir. Kökteki B birikimi gövdedeki birikimden fazladır. Kök B içeriği C70165 ve DFK2525 genotiplerinde Pb uygulamasına bağlı olarak artmış diğer genotiplerde azalmıştır. Gövde B içeriği ise uygulamalara bağlı olarak 8N386CL ve DFK2525 genotiplerinde 100 mg l⁻¹ Pb seviyesine kadar azalmış en yüksek Pb seviyesinde artmıştır. C70165 genotipinde 100 mg l⁻¹ Pb seviyesine kadar artarken 150 mg l⁻¹ Pb'da azalmıştır. Tarsan ve AS508 genotiplerinde ise artan Pb seviyelerine bağlı olarak azalma göstermiştir.

Çizelge 4.64'de Duncan test sonuçları incelendiğinde görüleceği gibi, kök ve gövde B içeriği uygulamalara bağlı olarak tüm genotiplerde farklılık göstermiştir. Uygulama seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek kök ve gövde B içeriği AS508 (kökte 361,14 mg kg⁻¹-gövdede 150,09 mg kg⁻¹) genotipinde, en yüksek B içeriği ise kökte 8N386CL (66,72 mg kg⁻¹), gövdede DFK2525 (97,96 mg kg⁻¹) genotiplerinde belirlenmiştir.



Şekil 4.63. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) B içeriği üzerine etkisi

Pb uygulama seviyelerindeki ortalama kök ve gövde B içerikleri incelendiğinde, kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak B içeriği kökte $190,20 \text{ mg kg}^{-1}$, gövdede $161,29 \text{ mg kg}^{-1}$ iken en yüksek uygulama dozu olan 150 mg l^{-1} Pb'da kökte $204,97 \text{ mg kg}^{-1}$ ve gövdede $120,35 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Kök B içeriği 100 mg l^{-1} Pb seviyesinde $128,16 \text{ mg kg}^{-1}$ 'ye düşerken 150 mg l^{-1} Pb seviyesinde $197,69 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Gövde B içeriği ise 150 mg l^{-1} Pb seviyesinde $131,72 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak tespit edilmiştir.

4.4.7. Pb ağır metalinin ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde aksamalarında Pb birikimi üzerine etkisi

Çizelge 4.65'de varyans analiz sonuçları incelendiğinde görüleceği gibi, Pb uygulamalarının ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde aksamalarında Pb birikimi üzerine etkisi istatistiksel olarak değerlendirildiğinde genotip, Pb seviyesi ile genotip*Pb seviyesi etkilerinin etkisi çok önemli olarak belirlenmiştir ($p < 0,01$).

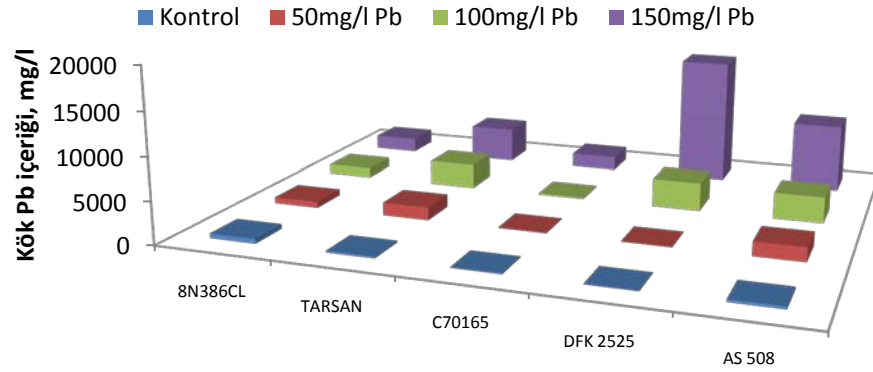
Çizelge 4.65. Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un ayçiçeği bitkisinin kök ve gövde Pb içeriğine ait varyans analiz sonuçları

	Varyans Kaynağı	S. D.	Pb mg kg ⁻¹			Varyans Kaynağı	S. D.	Pb Mg kg ⁻¹	
			K.O.	F				K.O.	F
Kök	Genotip	4	33541334,71	4480,62**	Gövde	Genotip	4	769,41	567,54**
	Pb seviyesi	3	106904815,02	14280,88**		Pb seviyesi	3	4155,65	3065,33**
	Genotip x Pb Seviyesi	12	22987797,45	3070,82**		Genotip x Pb Seviyesi	12	161,65	119,24**
	Hata	40	7485,87			Hata	40	1,36	
	Genel	60				Genel	60		

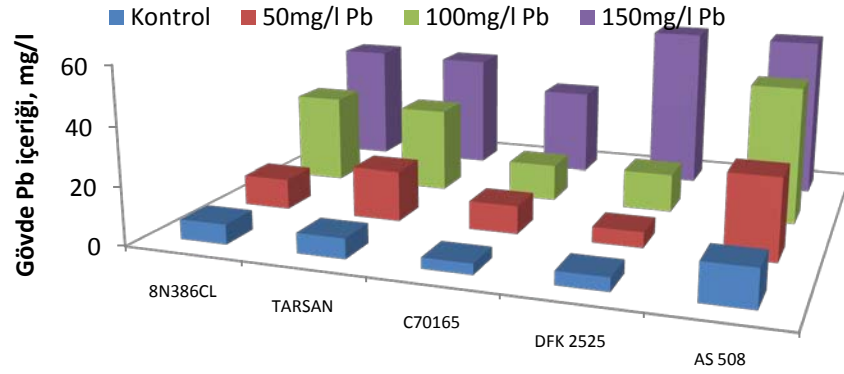
** : p<0,01 düzeyinde çok önemli, * : p<0,05 düzeyinde önemli, ns: Önemsiz

Ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde aksamalarında Pb birikimi üzerine artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb' un etkisi incelendiğinde; uygulanan Pb konsantrasyonlarındaki artışa bağlı olarak tüm çeşitlerin kök ve gövdelerinde önemli miktarda Pb birikimi olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.64. A ve B). Kökte, uygulanan yüksek Pb konsantrasyonunda (150 mg l⁻¹ Pb) 8N386CL ayçiçeği genotipinde Pb miktarı kontrole göre 3 kat artış gösterirken, bu artış DFK2525'de 393 kat olmuştur. Gövdede ise DFK2525 genotipinde Pb miktarı kontrole göre 12 kat artarken, bu artış AS508'de 4 kat olmuştur.

(A)



(B)



Şekil 4.64. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasının farklı ayçiçeği genotiplerinde kök (A) ve gövde (B) Pb birikimi üzerine etkisi

Artan konsantrasyonlarda uygulanan Pb'un ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde aksamlarında Pb birikimine ait Duncan test sonuçları Çizelge 4.64'de verilmiştir. Tüm genotiplerde Pb birikimi uygulanan Pb seviyelerine bağlı olarak farklılık göstermiştir. Kökteki Pb birikimi gövdedeki birikimden fazla olmuştur. Uygulanan Pb seviyelerinin ortalaması olarak en yüksek Pb içeriği kökte DFK2525 ($4626,40 \text{ mg kg}^{-1}$), gövdede ise AS508 ($35,96 \text{ mg kg}^{-1}$) genotipinde belirlenmiştir. En düşük Pb içeriği ise C70165 (kökte $499,35 \text{ mg kg}^{-1}$ -gövdede $14,14 \text{ mg kg}^{-1}$) genotipinde tespit edilmiştir.

Kök ve gövde Pb içeriklerinin her bir uygulama seviyesindeki ortalama miktarları incelendiğinde, Pb seviyesindeki artışa bağlı olarak farklılıkların önemli olduğu belirlenmiştir. Kontrolde tüm genotiplerin ortalaması olarak Pb içeriği kökte $233,84 \text{ mg}$

kg^{-1} gövdede ise $6,95 \text{ mg kg}^{-1}$ iken en yüksek uygulama dozu olan 150 mg l^{-1} Pb'da kökte $6157,09 \text{ mg kg}^{-1}$, gövdede $44,98 \text{ mg kg}^{-1}$ 'dir.

Ayçiçeği genotiplerinin uygulama seviyelerindeki biyolojik alınabilirlik indeks değerleri (BAİ) ve Transfer faktörü (TF) Çizelge 4.66'da verilmiştir. DFK2525 genotipinin 50 mg l^{-1} Pb uygulama seviyesinde BAİ değeri 1'in altında iken diğer genotiplerin BAİ değerleri tüm uygulama seviyelerinde 1'in üzerindedir. TF değeri ise 1'in altındadır.

Çizelge 4.66. Artan konsantrasyonlarda Pb uygulamasına bağlı olarak mısır genotiplerinin biyolojik alınabilirlik indeks değerleri (BAİ) ve Transfer faktörü (TF)

Genotip	Biyolojik alınabilirlik indeksi			Transfer faktörü		
	Pb seviyeleri, mg l^{-1}			Pb seviyeleri, mg l^{-1}		
	50	100	150	50	100	150
8N386CL	14,95	12,27	11,84	0,014	0,026	0,024
TARSAN	30,91	29,92	28,35	0,011	0,010	0,010
C70165	1,73	1,55	11,55	0,126	0,088	0,018
DFK2525	0,98	33,78	100,77	0,124	0,004	0,004
AS 508	33,88	31,49	54,22	0,017	0,015	0,007

5. SONUÇ

Bu araştırmada, ülkemizde yaygın olarak yetiştirilen farklı mısır ve ayııeği genotiplerinin bitki gelişmesi, kuru madde üretimi ve mineral iğeriği zerine Cd ve Pb metallерinin etkileri araştırılmıştır. Çevresel koşullara direnç ve tolerans bakımından bitki türleri arasında fark olduğu gibi aynı bitkinin genotipleri arasında da farklılıkların olduğu bilinmektedir. Bu noktadan hareketle, iki farklı bitkiye ait genotipler değerlendirilerek farklılıkların ortaya konması amaçlanmıştır. Bu bağlamda ticari değeri olan, insan ve hayvan beslenmesinde önemli bir yer tutan mısır ve ayııeği bitkileri seçilmiştir. Ülkemizde yaygın bir şekilde yetiştirilen bu bitkilerin genotipleri seilerken bölgelere uyumları dikkate alınarak tüm bölgelere uyumlu olan çeşitler çalışma konusu olarak belirlenmiştir. Araştırmada kullanılan genotiplere ait tohumlar kabuk sterilizasyonları yapıldıktan sonra torf+kum karışımında çimlendirilmiştir. 3-4 yaprak aşamasına gelen fideler çimlendirme ortamından kökleri temizlenerek çıkarılmış ve yetiştirme ortamı olan su kültürüne aktarılmışlardır. 45 günlük gelişme periyodunun ardından kök ve kök üstü aksam olarak ayrılan bitkilerde uzunluk, yaş ağırlık, kuru ağırlık, klorofil iğeriği ve mineral içerik uygun yöntemlerle belirlenmiştir.

Elde edilen bulgulara göre, Cd ve Pb ağır metalleri mısır ve ayııeği genotiplerinin kök ve gövde gelişimi ile mineral içeriklerini önemli düzeyde etkilemiştir. Her iki ağır metal de genotiplerin klorofil düzeylerinde önemli azalışlara neden olduğu, ayrıca genotiplerin araştırma konusu olan Cd ve Pb ağır metallerini kök ve gövdede akümüle etme kapasitelerinin de farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Cd ve Pb toksisitesi genotiplerde genel olarak benzer zararlara yol amasına rağmen bu zararların dereceleri arasında büyük fark olduğu belirlenmiştir.

Ağır metal konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak mısır ve ayııeği genotiplerinin kök ve gövde büyümesinin azaldığı görülmüştür. Ancak Pb uygulamasında mısır genotiplerinin kök uzunluklarındaki değişim genotiplerden bağımsız olarak ortaya çıkmıştır. Büyümenin bir diğer göstergesi de ağırlık artışıdır. Ayııeği genotiplerinde düşük seviyelerdeki Cd ve Pb uygulamalarında bitki ağırlığının arttığı, yüksek

seviyelerdeki uygulamalarda kontrole göre azaldığı dikkat çekicidir. Mısır genotiplerinde ise gövde ağırlık parametreleri bakımından uygulanan Cd seviyesi ile genotip interaksiyonlarının önemli olmaması, Cd uygulamasının söz konusu parametreler üzerine etkilerinin genotiplere bağlı olarak değişmediğini göstermektedir. Aynı durum Pb uygulaması yapılan mısır genotiplerinin kök ve gövde kuru ağırlıkları için de geçerlidir.

Artan seviyelerde Cd ve Pb uygulaması yapılan mısır ve ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövde kuru ağırlıkları dikkate alınarak tolerans indeks değerleri hesaplanmıştır. Cd uygulaması yapılan mısır genotiplerinde kök tolerans sıralaması; Varenne > Vero ve Luce > 3394 > 31P41 > 31G98 > Doge > 3223 > 34N24 > Pegaso > Larigor ve Isidora > Kermess > MF714 > DK647. Gövde toleransları ise; Varenne > Luce > Doge > DK647 > 3394 > Vero > 34N24 > Pegaso > 31P41 > 31G98 > Isidora > Larigor > 3223 > MF714 > Kermess şeklindedir. Mısır genotiplerinin Pb uygulamasına bağlı olarak kök tolerans sıralaması; Varenne > Larigor > 31P41 > Kermess > 31G98, Luce ve Isidora > 34N24 > Vero > MF714 > 3394 > 3223 > Pegaso > DK647 > Doge, gövde tolerans sıralaması ise; 3394 > Larigor > Doge ve Varenne > Kermess > 3223 > Luce > 34N24 ve MF714 > Isidora > Vero > Pegaso > 31G98 > 31P41 > DK647 şeklinde olmuştur.

Ayçiçeği genotiplerinde ise Cd uygulamasında kök tolerans indeksleri; C70165 > DFK2525 > 8N386CL > Tarsan ve AS508, gövde tolerans indeksleri; AS508 > C70165 > DFK2525 > Tarsan ve 8N386CL şeklindedir. Pb uygulamasındaki durum ise kökte; 8N386CL > DFK2525 > C70165 > AS508 > Tarsan, gövdede; Tarsan > 8N386CL > DFK2525 > C70165 > AS508'dir.

Mısır ve ayçiçeği genotiplerinde bitki su içeriğinin değişimi incelendiğinde, Cd ve Pb uygulamalarının bitki köklerinden suyun alınımını çok fazla engellemediği, ancak var olan suyun içindeki çözülmüş metal konsantrasyonlarına bağlı olarak gerek kök gerekse gövde büyümesinde kullanımının sınırlandığı görülmüştür. Mısır genotiplerine uygulanan Pb seviyeleri gövde su içeriğini genotiplerden bağımsız olarak etkilerken,

ayçiçeği genotiplerinde kök su içeriği üzerine Pb seviyesi, genotip ve Pb seviyesi*genotip interaksiyonlarının etkisi önemsiz olarak belirlenmiştir.

Mısır ve ayçiçeği genotiplerinin mineral içerikleri (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn ve B) üzerine Cd ve Pb uygulamalarının etkileri önemli olup, genotiplere bağlı olarak değişim göstermektedir. Hem bitki türleri hem de aynı tür bitkinin genotipleri arasındaki fark dikkat çekicidir. Bu bağlamda, elde edilen sonuçlar genotipler arasındaki farkları belirlemenin ne kadar önemli olduğunu birkez daha vurgulamıştır.

Bazı mısır ve ayçiçeği genotipleri ile yürütülen bu çalışmada bitki kök ve gövdelerinin Cd ve Pb birikimleri de tespit edilmiştir. Mısır ve ayçiçeği genotiplerinde Cd ve Pb birikimi bitki köklerinde gövdeye oranla daha fazladır. Araştırmada mısır ve ayçiçeği genotiplerinin kök ve gövdelerinde önemli oranda Cd ve Pb ağır metallerini biriktirdiği belirlenmiştir.

Bu araştırma koşullarında; uygulamalara bağlı olarak bitki organlarında kuru ağırlık miktarlarındaki değişim ile Cd ve Pb birikimleri bir arada değerlendirildiğinde; Cd uygulamasında Luce, Pegaso, 34N24 ve Varenne mısır genotipleri ile DFK2525 ve C70165 ayçiçeği genotiplerinde, Pb uygulamasında ise; Isidora mısır genotipi ile DFK2525 ayçiçeği genotipinde kök kuru ağırlığı kontrole göre düşük oranlarda azalma gösterirken Cd ve Pb birikimlerinin diğer genotiplerden çok daha yüksek olması bu genotiplerin rizofiltrasyon amacıyla kullanılabileceğini göstermektedir. Kermess, 3223 ve MF714 mısır genotipleri ile AS508 ayçiçeği genotipinde kökte Cd birikimi; Vero, Doge ve 3223 mısır genotiplerinde ise kökte Pb birikimi düşük olmasına rağmen kuru ağırlıktaki azalma diğer genotiplere oranla çok yüksek olmuştur. Bu genotipler ise araştırmada kullanılan diğer genotiplere kıyasla köklerinde Cd ve Pb stresine karşı daha hassas olarak değerlendirilebilirler.

Cd uygulamalarına bağlı olarak gövde kuru ağırlığında en az düzeyde azalma mısır genotiplerinden DK647, ayçiçeği genotiplerinden ise DFK2525’de meydana gelmiştir. Bu genotiplerin Cd birikimleri ise diğer genotiplerden çok daha yüksektir. Bu

bağlamda, bu iki genotip Cd stresine karşı araştırmada kullanılan diğer genotiplerden daha dayanıklı olarak değerlendirilebilirler. 31P41, 34N24, Kermess, Isidora, Larigor ve MF714 mısır genotipleri ile Tarsan ayçiçeği genotipinde ise gövde kuru ağırlığındaki azalma düşük Cd birikiminde gerçekleşmiştir. Bu durum bu genotiplerin kök üstü aksamalarında Cd stresine hassas olduklarını göstermektedir. Pb uygulamasında ise gövdede 34N24, Varenne ve Larigor mısır genotipleri ile Tarsan ayçiçeği genotipi daha dayanıklı, Kermess ve 31G98 mısır genotipleri ise daha duyarlı olarak düşünülebilir.

Mısır ve ayçiçeği genotiplerinin ağır metalleri yüksek oranda biriktirmesi ve tolerans düzeyleri insan ve hayvan beslenmesinde önemli yeri olan bu bitkilerin kirlilik sorunu olan alanlarda yetiştirilmeleri sonucunda tüketen açısından tehlikeli bir durum oluşturacaktır. Bu nedenle tolerans düzeylerinin ve birikimlerinin belirlenmesi bu genotiplerin Cd ve Pb kirliliği olan alanlarda üretiminin yapılıp yapılamayacağı konusunda da ışık tutacaktır.

Bu araştırma kontrollü sera şartlarında ve topraksız ortamda (durgun besin çözeltisinde) yapıldığından dolayı elde edilen bilgilerin değişik özelliklere sahip topraklarda, sera ve tarla denemelerinden elde edilecek sonuçlarla bütünleştirilmesi ve uygulamalı tarımda kullanılabilirliğinin somutlaştırılması ile ilgili çalışmaların yapılması önerilmektedir.

Topraklar kirlenmeye karşı maksimum derecede korunmaya çalışılsa da, tarımsal pestisitler ve petrol atıkları gibi organik kirleticiler, endüstriyel kaynaklı ağır metaller, tarımsal gübrelerdeki inorganik kirleticiler tarafından toprağın belli düzeyde kirlenmesi kaçınılmazdır. Kirlenmiş toprakların ıslahında kullanılan tekniklerin (kimyasal, biyolojik vb) ekonomik olmak koşulu ile uygulanmaları, tarımsal üretimin temelini oluşturan toprakların geri kazanımı için zorunluluktur. Unutulmamalıdır ki, toprakların kirlenmeye karşı korunması için gerekli olan maliyet ve iř gücü, onların kirlendikten sonra temizlenmesi için gerekli olan maliyet ve iř gücünden daha düşüktür. Bu tespit, bitkisel ıslah veya bitkiyi toprağa uyumlandırma adına yapılan çalışmalar için de geçerlidir.

KAYNAKLAR

- Abdollahi, M., Bahreini-Moghadam A., Emmami B., Fooladian F., Zafariet K., 2003. "Increasing Intracellular cAMP and cGMP Inhibits Cadmium-Induced Oxidative Stress", *Comp. Biochem. Physiol.*, Vol:135, p: 331-336.
- Abdollahi, M., Ranjbar A., Shadnia S., Nikfar S., Rezaie A., 2004. "Pesticides and Oxidative Stres", *Med. Sci. Monit.*, Vol: 10, p:141-147.
- Adriano, D.C., Wenzel W.W., Vangronsveld J. and Bolan N.S., 2004. Role of assisted natural remediation in environmental cleanup. *Geoderma*, 122, 121-142.
- Aksu, E. ve Yıldız N., 2004. Besin Çözeltisinde Artan Seviyelerde Uygulanan Cd ve Pb Metallerine Farklı Domates Çeşitlerinin Tepkisinin Belirlenmesi. Atatürk Üniversitesi. Toprak Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Alloway, B. J., 1990. "In Heavy Metals in Soils", Ed. Alloway. B. J. Jhon Wiley and Sons. Inc., New York.
- Anderson, C.W.N., Stewart R.B., Wreesmann C.T.J., Smith G.L., Gardea- Torressdey J.L. and Robinson B.H., 2003. Proceedings of the gold 2003 conference on gold phytomining: New Industrial Applications of gold, The World Gold Council and the Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, Vancouver, Canada, p. 35.
- Andrew, C.S. and Pieters H.J., 1976. CSIRO Australian Div. *Trop. Agron. Tech*, 18, 1-12.
- Anonim, 1983. Çevre Kanunu (Kanun No:2572) 11.8.1983 gün ve 18132 sayılı Resmi Gazetede yayınlanmıştır.
- Anonim, 2004. "Türkiye Çevre Atlası, IX. Sanayi ve Çevre", Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- AOAC, 1990. Official Methods of Analysis, 15th Edn. Association of Official Analytical Chemists, Washington D. C.
- Arduini, I., Godbold D.L., Onnis A., 1994. Cadmium and copper change root growth and morphology of *Pinus pinea* and *Pinus pinaster* seedlings *Physiol. Plant*, 92, 675-680.
- Arıoğlu, H.H., 2000. Yağ Bitkileri Yetiştirme ve Islahı. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 220 Ders Kitapları Yayın No: A-70. Adana.
- Ayhan, B., 2006. Bazı mısır çeşitlerinde ağır metal stresinin belirlenmesi. Hacettepe Üniv. Biyoloji Anabilim dalı Yüksek Lisans Tezi.
- Bačkor, M. and Fahselt D., 2004. Physiological attributes of the lichen *Cladonia pleurota* in heavy metalrich and control sites near Sudbury (Ont., Canada), *Environ. Exp. Bot.*, 52(2), 149-159.
- Baker, A.J.M. 1995. Metal hyperaccumulation by plants: our present knowledge of the ecophysiological phenomenon. Will plants have a role in bioremediation. 14th Annualsymposium on current topics in plant biochemistry, physiology and molecular biology, Columbia, MO, pp.7-8.
- Balsberg Pahlsson, A.M. (1989). Toxicity of heavys (Zn, Cu, Cd, Pb) to vascular plants. *Water, Air, and Soil Pollution*, 47, 287-319
- Barceló, J., Cobot C., and Poschenrieder C., 1986a. Cadmium-induced decrease of water stres resistance in bush bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. Cv. Contender). II. Effects of Cd on endogenous abscisic acid level, *J. Plant Physiol.*, 125, 27-34.

- Barceló, J., Poschenrieder C., Andreu I., and Gunse B., 1986b. Cadmiuminduced decrease of water stress resistance in bush bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Contender). I. Effects of Cd on water potential, relative water content and cell wall elasticity, *J. Plant Physiol.*, 125, 17-25.
- Barker, W.G., 1972. Toxicity level of mercury, lead, copper and zinc in tissue culture system of cauliflower, lettuce, potato and carrot. *Can. J. Bot.* 50,973-976.
- Baş, A.L, Demet Ö., 1992. Çevresel Toksikoloji Yönünden Bazı Ağır Metaller. *Ekoloji* 5, 42-46.
- Başkaya, H.S. ve Teksoy A., 1997. Topraklarda ağır metaller ve ağır metal kirliliği, I. Uludağ Çevre Mühendisliği Sempozyumu, Bursa, 763-771.
- Bayçu, G., 1997. "Picea abies'te Kadmiyum Toksikitesi ve Köklerde Kadmiyum Birikimi" XIII. Ulusal Biyoloji Kongresi 17-20 Eylül 1996, İstanbul. Kongre Kitapçığı, Cilt:III, s:433-442.
- Begonia, G.B., Davis C.D., Begonia M.F.T. and Gray C.N., 1998. Growth responses of Indian mustard and its phytoextraction of lead from a contaminated soil. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 61, 38–43.
- Bekiaroglou, P. ve Karataglis S. 2002. The effect of lead and zinc on *Mentha spicata*. *J. Agronomy and Crop Science*, 188, 201-205
- Benavides, M.P., Gallego S.M., and Tomaro M.L., 2005. Cadmium toxicity in plants, *Braz. J. Plant Physiol.*, 17(1), 21-34.
- Bergmann, W., 1993. "Emährungsstörungen bei Kulturpflanzen", Dritte, Erweiterte Auflage, Gustav Fischer Verlag Jena, Stuttgart.
- Boucher, N., and Carpentier R., 1999. Hg⁺², Cu⁺², and Pb⁺² –induced changes in Photosystem II photochemical yield and energy storage in isolated thylakoid membranes; A study using simultaneous fluorescence and photoacoustic measurements, *Photosynth. Res.*, 59, 167-174.
- Brohi, A.R., Aydeniz A., Karaman M.R. ve Erşahin S., 1994. "Bitki Besleme", GOP Üniv., Ziraat Fak. Yayınları, Tokat.
- Brown, P.A., Gill S.A. and Allen, S.J., 2000. Review Paper. Metal removal from wastewater using peat. *Wat. Res.*, 34 (16), 3907-3916.
- Burzynski, M., 1985. Influence of lead on the chlorophyll content and on initial steps on its synthesis in greening cucumber seedlings. *Acta Soc. Bot. Poll.*, 54, 95-105
- Cabrera, C.E., Ortega C., Gallego M.C, Lopez M.L. and Lorengo C.A., 1994. "Cadmium Concentration in Farms in Southern Spain: Possible Sources of Contamination", *The Science of the Total Environment*, Vol:153, p: 261-265.
- Camelo, L.G.L., Miguez S.R. and Marban L., 1997. "Heavy Metals Input with Phosphate Fertilizers used in Argentina", *Science of The Total Environment*, Vol: 204, p: 45-250.
- Chaney, R.L., Angle J.S., Baker A.J.M., Yin-Ling L., 1998. Method for phytomining of nickel, cobalt and other metals from soil. US Patent No. 5711784.
- Chatterjee, J. and Chatterjee C., 2000. Phytotoxicity of cobalt, chromium and copper in cauliflower, *Environmental Pollution*, 109, 69-74.
- Chen, Y.X., He Y.F., Luo Y.M., Lin Q., Wong M.H., 2003. Physiological mechanism of plant roots exposed to cadmium. *Chemosphere*, 50:789-793.
- Chen, H.M., Zheng C.R., Tu C. and Shen Z.G. 2000. Chemical methods and phytoremediation of soil contaminated with heavy metals, *Chemosphere*, 41, 229-234.

- Chettri, M.K., Cook C.M., Vardaka E., Sawidis T. and Lanaras T., 1998. The Effect of Cu, Zn and Pb on the chlorophyll content of the lichens *Cladonia convoluta* and *Cladonia rangiformis*, *Environ. Exp. Bot.*, 39, 1-10.
- Chungh, L.K., and Sawhney S.K., 1999. Photosynthetic activities of *Pisum sativum* seedlings grown in presence of cadmium, *Plant Physiol. Bioch.*, 37(4), 297-303.
- Constantine, D.S., Constantina I.C. and George A.P., 2004. "Enrichment of PAHs and Heavy Metals in Soils in the Vicinity of the Lignitr-Fired Power Plants Of West Macedonia (Greece)", *The Science of the Total Environment*, Vol: 204, p: 135-146.
- Cross, C.E., Halliwell B., Borish E.T., Pryor W.A., Ames B.N., Saul R.L., Mccord J.M. and Harman D., 1987. "Oxygene Radicals and Human Disease", *Ann. Intern. Med.*, Vol: 107, p: 526-545.
- Cunningham, S.D., and Ow D.W., 1996. Promises and prospects of phytoremediation. *Plant Physiology* 110: 715-719
- Çepel, N., 1997. Toprak Kirliliği Erozyon ve Çevreye Verdiği Zararlar. Türkiye Erozyonla Mücadele, Ağaçlandırma ve Doğal Varlıkları Koruma Vakfı Yayın No: 14 3-35s.
- Dabas, S. 1992. To study the effect of lead on efficiency of nitrogen fixation and nitrogen assimilation in *Vigna radiata* (L.) Wilczek. Ph.D. Thesis, M.D. University, Rohtak
- Das, P., Samantaray S. and Rout G.R., 1997. Studies on Cd toxicity in plants ; a review. India.
- De Filippis, L.F., and Ziegler H., 1993. Effect of sublethal concentrations of zinc, cadmium and mercury on the photosynthetic carbon reduction cycle of *Euglena*, *J. Plant Physiol*, 142, 167-172.
- Delgado, M., Bigieriego M. and Guardiola E., 1993. Uptake of Zn, Cr and Cd by water hyacinths *Wat. Res*, 27 (2), 269-272.
- Deng, H., Ye Z.H., Wong M. H., 2004. Accumulation of lead, zinc, copper and cadmium by 12 wetland species thriving in metal-contaminated sites in China. *Environmental pollution*, 132, 29-40.
- Derici, R., Evliya H., Ağca N., Özkutlu F., Eker S. ve Öztürk L., 2002. "Çukurova Bölgesinde Toprak ve Bitkilerde Kadmiyum Konsantrasyonunun Araştırılması ve Bitkilerde Kadmiyum Birikimini Etkileyen Faktörlerin Toprak Analizleri ve Sera Denemeleri ve İncelemesi", Tübitak Araştırma Projesi, Proje No: 2382, s:1-87.
- Dickinson, N.M., and Pulford I.D., 2005. Cadmium phytoextraction using short-rotation coppice *Salix*: the evidence trail. *Environment International*, 31, 609-613.
- Doncheva, S., Nicolov B., Ogneva V., 1996. Effect of copper excess on the morphology of the nucleus in maize root meristem cells *Physiol. Plantarum*, 96, 118-122.
- Dushenkov, V., Nanda Kumar Motto P.B.A., Raskin H., 1995. Rhizofiltration: the use of plants to remove heavy metal from aqueous streams. *Environ. Sci. Technol.* 29, 1239-1245.
- Elçi, Ş., Kolsarıcı Ö., ve Geçit H.H., 1997. Tarla Bitkileri, A. Ü. Ziraat Fak. Yay., 1008, Ofset Basım, 30, 238.
- Erdem, N., 2008. Farklı Çilek (*Fragaria Sp.*) Genotiplerinin Demir (Fe) Noksanlığına Karşı Duyarlılığının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Ens., Toprak Anabilimdalı, Adana. 70s.

- FAO/WHO, 1993. Report of the 8th session of the Codex Committee on cereals, pulses and legumes held in Washington D.C., Joint FAO/WHO Food Standards Programme, Codex Alimentarius Commission, 20th Session, Geneva. pp 3.
- FAOSTAT İstatistikleri Özeti, 2005. Food and Agriculture Organization, FAOstat homepage, <http://faostat.fao.org>.
- Fediuc, E., Erdei L., 2002. Physiological and Biochemical Aspects of Cadmium Toxicity and Protective Mechanisms in *Phragmites australis* and *Typha latifolia*. *J. Plant Physiol*, 159: 265-271.
- Fei-boWu, Zhang G. and Yu J., 2003. Interaction of cadmium and four microelements for uptake and translocation in different barley genotypes, *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 34, 2003–2020.
- Fernandes, J.C. and Henriques F.S., 1991. Biochemical, physiological, and structural effects of excess copper in plants *The Bot. Rev.*, 57, 246-273.
- Fiusello, N. and Molinari M.T., 1973. Effect of lead on plant growth. *Allionia*, 19, 89-96
- Förstner, U. and Wittmann G.T.V. 1981. Metal pollution in aquatic environment. Academic press, New York.
- Fritioff, A. and Greger M., 2003. Aquatic and terrestrial plant species with potential to remove heavy metals from stormwater. *International Journal of Phytoremediation.* 5 (3), 211-224.
- Fritz, P.D., Foroughi M., Venter F., 1977. “Schwermetallgehalte in Einigen Gemüsearten Landwirtsch”, *Forsch. Sonderheft*, Vol:33(1), p: 335-343.
- Gaballah, I. and Kilbertus G., 1998. Recovery of heavy metal ions through decontamination of synthetic solutions and industrial effluents using modified barks. *Journal of Geochemical Exploration*, 62, 241-286.
- Garcia, J.S., Gratao P.L., Azevedo R.A. and Arruda M.A.Z. 2006. Metal contamination effects on sunflower (*Helianthus annuus* L.) growth and protein expression in leaves during development, *J. Agric. Food Chem.* 54, 8623–8630.
- Gardea-Torresdey, J. L., Peralta-Videa J. R. and Rosa G., 2005. Phytoremediation of heavy metals and study of the metal coordination by X-ray absorption spectroscopy. *Coordination Chemistry Reviews.* 249, 1797- 1810.
- Geebelen, W., Vangronsveld J., Adriano D.C., Poucke L.C.V. and Clijsters H., 2002. Effect of Pb-EDTA and EDTA in oxidative stress reactions and mineral uptake in *Phaseolus vulgaris*. *Physiol. Plant* 115, 377–384.
- Ghosh, M., Singh S.P., 2005. A comparative study of cadmium phytoextraction by accumulator and weed species. *Environmental Pollution.* 133, 365-371.
- Godbold, D.L., and Kettner C., 1991. Lead influences root growth and mineral nutrition of *Picea abies* seedlings, *J. Plant Physiol.*, 139, 95-99.
- Gomez, E.A., 2002. The nanoparticle formation and uptake of precious metals by alfalfa plants, MS thesis, Department of chemistry, University of Texas at El Paso.
- Goyer, A.R., 1990. “Lead Toxicity: From Overt to Subclinical to Subtle Health Effects”, *Envir. Health Perspectives*, Vol.86, p: 177-181.
- Gouia, H., Gorbil M.H. and Meyer C., 2000. Effects of cadmium on activity of nitrate reductase and on other enzymes of the nitrate assimilation pathway in bean. *Plant Physiol. Biochem.* 38:629-638.

- Göker, Ş., 1996. "İstanbul Çocuklarında Kan Kurşun Taraması", İ.Ü. Cerrahpaşa Tıp Fak., Uzmanlık Tezi.
- Greger, M., and Lindberg S., 1986. Effects of Cd⁺² and EDTA on young sugar beets (*Beta vulgaris*), I. Cd⁺² uptake and sugar accumulation, *Physiol. Plant.*, 66, 69-74.
- Greger, M., 1999. Metal availability and bioconcentration in plants. Heavy Metal Stress in Plants: from molecules to ecosystem. Prasad, M.N.V., and Hagemeyer, J., (eds.), Springer-Verlag, Berlin. pp. 1-27.
- Gündüz, T., 1994. Çevre sorunları, A. Ü. Fen fakültesi yayınları, Ankara.
- Gündüz, T., 1998, "Çevre Sorunları", Gazi Kitabevi, 2.Baskı, Ankara.
- Hakerlerler, H., Okur B. ve Yağmur B., 1995. "Gediz Havzasında Otoyollara Yakın Arazilerde Motorlu Araç Trafığından Kaynaklanan Ağır Metal Kirlenmesi Üzerine Bir Araştırma", I. Gediz Havzası Erozyon ve Çevre Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 10-11 Ekim 1995, s:138-148.
- Hall, J.L., 2002. Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance, *J. Exp. Bot.*, 53, 1-11.
- Harrison, R.M., and Chirgawi, M.B., 1989. The assessment of air and soil as contributors of some trace metals to vegetable plants. I. Use of a filtered air growth cabinet. *Science of the Total Environment*, 83, 1-2, 13-34.
- Hasselbach, G., 1992. Ergebnisse Zum Schwermetalltransfer Boden/Pflanze aufgrund von Gefäßversuchen und Chemischen Extraktionverfahren mit Boden aus Langjährigen Klärschlamm-Feldversuchen Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktor- grades (Dr.agr.) beim Fachbereich Agrarwissenschaften der Justus-Liebig- Universität, Gießen.
- He, Z., Li J., Zhang H., and Ma M., 2005. Different effects of calcium and lanthanum on the expression of phytochelatin synthase gene and cadmium absorption in *Lactuca sativa*, *Plant Sci.*, 168, 309-318.
- Heale, E.L. and D.P. Ormrod. 1982. Effects of nickel and copper on *Acer rubrum*, *Cornus stolonifera*, *Lonicera tatarica* and *Pinus resinosa*. *Can. J. Bot.* 60:2674--2681.
- Heiser, C.B., 1978. Taxonomy of Helianthus and origin of domesticated sunflower. In: J. F. Carter (ed.), *Sunflower Science and Technology*, 31—53. ASA, CSSA, SSSA, Inc. Publishers, Madison, WI.
- Hocking, P. And McLaughlin M.J., 2001. Genotypic variation in cadmium accumulation by seed of linseed, and comparison with of some other crop species. *Aust. J. Agric.*, 51: 427-433.
- Huang, C.P., Asce M. ve Ostovic F.B., 1978. Removal of Cadmium (II) by activated carbon adsorption. *Journal of The Environmental Engineering Division*, EE5, 863-878.
- Hutton, M., 1983. "Sources of Cadmium in the Enviroment", *Ecotoxicology Enviromental Safety*, Vol: 7(1), p: 9-24.
- Jackson, P.J., Unkefer P.J., Delhaize E., and Robinson N.J., 1990. Mechanisms of trace metal tolerance in plants. *Environmental Injuruuy to Plants*. Katterman, F., (ed.), Academic Press, San Diego. pp. 231-258.
- Jana, S. ve Chaudhury M.A., 1984. Synergistic effect of heavy metals pollutants on senescence in submerged aquatic plants. *Water, Air and Soil Pollut.*, 21, 351-357

- Jana, T.D. and Barua B., 1987. Effects and Relative Toxicity of Heavy Metals on *Cuscuta reflexa*, Water, Air and Soil Pollution, 33, 23-27, 1987.
- Jarvis, M.D., and Leung D.W.M., 2002. Chelated lead transport in *Pinus radiata*: an ultrastructural study, Environ. Exp. Bot., 48, 21-32.
- Jiang, X.J., Luo Y.M., Liu Q., Liu S.L. and Zhao Q.G., 2004. Effects of cadmium on nutrient uptake and translocation by Indian Mustard, Environ. Geochem. Health 26, 319–324.
- Johnson, C.M., Stout P.R., Broyer T.C. and Carlton A.B., 1957. Comparative chlorine requirements of different plants species. Plant and Soil 8:337-353.
- Kabata-Pendias, A., Pendias H., 1992. “Trace Elements in Soils and Plants”, 2nd Edition, CRC Pres Inc., Ann Arbor London.
- Kahle, H. 1988. Wirkung von Blei und Cadmium auf Wachsrum und Mineralstoffhaushalt von Jungbuchen (*Fagus sylvatica* L.) in Sandkultur. *Dissertationes Botanicae* 127, Berlin: J. Cramer
- Kannan, S. and Keppel H., 1976. Absorption and transport of Pb in young pea seedlings. Z. Naturforsch. 31, 393–396.
- Kennedy, C.D. and Gonsalves F.A.N., 1987. The action of divalent zinc, cadmium, mercury, copper and lead on the trans-root potential and efflux of excised roots, J. Exp. Bot., 38, 800-817.
- Khan, S. ve Khan N.N., 1983. Influence of lead and cadmium on the growth and nutrient concentration of tomato (*Lycopersicum esculentum*) and egg-plant (*Solanum melongena*). *Plant and Soil*, 74, 387-394
- Kırbağ Zengin, F., Koçak A., Munzuroglu Ö., 2005. Ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) fidelerinde kök, gövde ve yaprak ile yaprak disklerinin absisik asit düzeyleri üzerine civanın (Hg⁺⁺) etkileri. *Science and Eng. J of Fırat Univ.* 17 (4): 645-653.
- Kocaer, F.O., Başkaya H.S. 2003. Metallerle Kirlenmiş Toprakların Temizlenmesinde Uygulanan Teknolojiler. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 8, Sayı 1.
- Kosobrukhov, A., Knyazeva I., and Mudrik V., 2004. Plantago major plants responses to increase content of lead in soil: growth and photosynthesis, Plant Growth Regul., 42, 145-151.
- Köleli, N., Eker S., and Cakmak I., 2004. Effect of zinc fertilization on cadmium toxicity in durum and bread wheat grown in zinc-deficient soil, Environ. Pollut., 131, 453-459.
- Köleli, N. ve Kantar Ç., 2005. “Fosfat Kayası, Fosforik Asit Ve Fosforlu Gübrelerdeki Toksik Ağır Metal (Cd, Pb, Ni, As) Konsantrasyonu”, Ekoloji Çevre Dergisi, Sayı:55, 1-5.
- Krämer, U., Cotter-Howells J.M., Charnock J.M., Baker A.J.M., and Smith A.C., 1996. Free histidine as a metal chelator in plants that accumulate nickel, Nature, 379, 635-638.
- Krämer, U., Smith R.D., Wenzel W.W., Raskin I. and Salt D.E., 1997. “The role of metal transport and tolerance in nickel hyperaccumulation by *Thlaspi goesingense* Hálácsy”, *Plant Physiology*, 115: 1641-1650.
- Kumar, P.B.A.N., Dushenkov, V., Motto, H., Raskin, L., 1995. Phytoextraction: The Use Of Plants To Remove Heavy Metals From Soils. Environ. Sci. Technol. 29,1232–1238.

- Kün, E., 1997. Sıcak İklim Tahılları, A. Ü. Ziraat Fak. Yay., 1452, Ders Kitabı:432, Ankara.
- Lagriffoul, A., Mocquot B. Mench M., and Vangronsveld J., 1998. Cadmium toxicity effects on growth, mineral and chlorophyll contents, and activities of stress related enzymes in young maize plants (*Zea mays* L.), *Plant Soil*, 200, 241-250.
- Lane, S.D., Margin E.S. and Carrod J.F., 1978. Lead toxic effect on indole-3-acetic acid induced cell elongation. *Planta*. 144, 79-84
- Lasat, M.M. 2000. Phytoextraction of metals from contaminated soil: A review of plant/soil/ metal interaction and assessment of pertinent Agronomic Issues. *Journal of Hazardous Substance Research*, 2(5), 1-25.
- Lidon, F.C., Ramalho J., and Henriques F.S., 1993. Copper inhibition of rice photosynthesis, *J. Plant Physiol.*, 142, 12-17.
- Lidon, F.C. and Henriques F.S., 1998. Role of rice shoot vacuoles in copper toxicity regulation *Environ Exp Bot.*, 39, 197-202.
- Liu, J., Li K., Xu J., Liang J., Lu X., Yang J. and Zhu Q., 2003. Interaction of Cd and five mineral nutrients for uptake and accumulation in different rice cultivars and genotypes, *Field Crops Res.* 83, 271–281.
- Lindberg, S.E., Meyers T.P., Taylor Jr. G.E., Turner R.R. and Schroeder W.H., 1992. Atmosphere-surface exchange of mercury in a forest: results of modeling and gradient approaches, *Journal of Geophysical Research* 97 (D2), pp. 2519–2528
- Lombardi, L. and Sebastiani L., 2005. Copper toxicity in *Prunus cerasifera*: growth and antioxidant enzymes responses of in vitro grown plants, *Plant Sci.*, 168, 797-802.
- Luo, C., Shen Z., and Li X., 2005. Enhanced phytoextraction of Cu, Pb, Zn and Cd with EDTA and EDDS, *Chemosphere*, 59, 1-11.
- Macfarlane, G.R., and Burchett M.D., 2001. Photosynthetic Pigments and Peroxidase Activity as Indicators of Heavy Metal Stress in the Grey Mangrove, *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh., *Mar. Pollut. Bull.*, 42, 233-240.
- Madrid, F., Liphadzi M. S., Kirkham M. B., 2003. Heavy metal displacement in chelate-irrigated soil during phytoremediation. *Journal of Hydrology*, 272, 107–119.
- Marchiol, L., Assolari S., Sacco P., Zerbi G., 2004. Phytoextraction of heavy metals by canola (*Brassica napus*) and radish (*Raphanus sativus*) grown on multicontaminated soil. *Environmental Pollution*, v.132, p.21-27
- Marschner, H., 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*, Academic Press, London, pp. 299-312.
- Marschner, H., 2002. *Mineral Nutrition of Higher Plants*, Academic Press, London.
- Martens, S.N., and Boyd R.S., 1994. The ecological significance of nickel hyperaccumulation: A plant chemical defense. *Oecologia* 98:379–384.
- McLaughlin, M.J., Parker D.R., Charke J.M., 1999. “Metals and Micronutrients- Food Safety Issues”, *Field Crops Research*, Vol: 60, p: 143-163.
- Memon, A.R., Aktoprakgil D., Özdemir A. ve Vertii A. 2001. Bitkilerde Ağır Metal Toplanması ve Detoksifikasyon Mekanizmaları. *Türk J. Bot.* 25 111-121. TÜBİTAK
- Mengel, K. and Kirkby E.A., 1987. “Principles of Plant Nutrition”, International Potash Institute, Worblaufen-Bern Switzerland.

- Mertens, J., Luysaert S., Verheyen K., 2005. Use and abuse of trace metal concentrations in plants tissue for biomonitoring and phytoextraction. *Environmental Pollution* 138, 1-4.
- Miles, C.D., Brandle J.R., Daniel D.J., Chuder O., Schnare P.O. and Uhlick D.J. 1972. Inhibition of photosystem II isolated chloroplast by lead. *Plant physiol.*,49, 820-825
- Molas, J. and Bran S., 2004. Relationship between the chemical form of nickel applied to the soil and its uptake and toxicity to barley plants (*Hordeum vulgare* L.), *Geoderma*, 122, 247-255.
- Monni, S., Uhlig C., Hansen E. and Magel E., 2001. Ecophysiological responses of *Empetrum nigrum* to heavy metall pollution, *Environ. Pollut.*, 112, 121-129.
- Moral, R., Gomez I., Navarro Pedreno J. and Mataix J., 1994. "Effects of Cadmium on Nutrient Distribution, Yield and Growth of Tomato Grown in Soilless Culture" *Journal of Plant Nutrition*, 17:(6) 953 - 962
- Moustakas, M., Lanaras T., Symeonidis, L. and Karataglis, S., 1994. "Growth and some photosynthetic characteristics of field grown *Avena sativa* under copper and lead stress", *Photosynthetica*, 30: 389-396.
- Moya, J.L., Ross R., Picazo I., 1993. Influence of cadmium and nickel on growth, net photosynthesis and carbohydrate distribution in rice plants. *Photosynthesis Research*, 36, 75-80.
- Mulligan, C.N., Yong R.N. and Gibbs B.F. 2001. Remediation technologies for metalcontaminated soils and groundwater: an evaluation, *Engineering Geology*, 60, 193-207.
- Munzuroglu, O. ve Geckil H., 2002. Effects of metals on seed germination, root elongation, and coleoptile and hypocotyl growth in *Triticum aestivum* and *Cucumis sativus*, *Arch. Environ. Con. Tox.*, 43, 203-213.
- Nada, E., Ferjani B.A., Ali R., Bechir B.R., Imed M., Makki B., 2007. Cadmium-induced growth inhibition and alteration of biochemical parameters in almond seedlings grown in solution culture, *Acta Physiol. Plant* 29, 57-62.
- Nagoor, S., 1997. *J. of Phy. Research*, 10, 31-34.
- Neufeld, H.S., Chappelka A.H., Somers G.L., Burkey K.O., Davison A.W., Finkelstein P.L., 2006. Visible foliar injury caused by ozone alters the relationship between SPAD meter readings and chlorophyll concentrations in cutleaf coneflower. *Photosynth. Res.* 87:281-286.
- Nogales, R., Lara F.G., Benitez E., Soto J., Hervas D., Polo A., 1997. Metal extractability and availability in a soil after heavy application either nickel or lead in different form. *Water Air Soil Pollut.* 94, 33-44.
- Orlov, D.S., 1991. "Toprakların Kimyasal Kirlenmesi ve Onların Muhafazası", Moskova, Rusça.
- Ouzounidou, G., Eleftheriou E.P., Karataglis S., 1992. *Canadian Journal of Botany.* 70, 947-957
- Özbek, H., Kaya Z., Gök M. ve Kaptan H., 1993. "Toprak Bilimi (Çeviri)", Ç. Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın. No: 73. Ders Kitapları Yayın No: 16, Adana.
- Özdem, S. ve Şadan G., 1994. "Serbest Oksijen Radikallerinin Oluşumu ve Klinik Açından Önemi", *Akdeniz Ü. Tıp Fak. Derg.*, Sayı: 11, s: 63-71.

- Öztürk, L., Eker S. ve Özkutlu F., 2003. Effect of cadmium on growth and concentrations of cadmium, ascorbic acid and sulphhydryl groups in durum wheat cultivars. *Turk.J. Agric. For.* 27, 161-168
- Paivoke, A.E.A., 2002. Soil lead alters phytase activity and mineral nutrient balance of *Pisum sativum*. *Environ. Exp. Bot.* 48, 61-73.
- Pandit, B.R., Prasannakumar P.G., 1999. Effect of Metals on Jowar (*Sorghum bicolor* L.) Seedling Growth-I, Germination, Seedling Growth and Absorption of Elements *Pollut. Res.*, 18, 459-466.
- Peralta, J.R., Gardea-Torresdey J.L., Tiemann K.L., Gomez E., Arteaga S., Rascon E., and Parsons J.G., 2001. Uptake and Effects of Five Heavy Metals on Seed Germination and Plant Growth in Alfalfa (*Medicago sativa* L.), *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 66(6), 727-734.
- Phalsson, A.M.B., 1989. Toxicity of heavy metals (Zn, Cu, Cd & Pb) to vascular plants. *Water, Air, Soil Pollut.*, 47, 287-319.
- Poschenrieder, C.H., Gunse B., Barcelo J., 1989. Influence of silicon pretreatment on aluminium toxicity in maize roots. *Plant Physiol.* 190, 1365-1371.
- Prasad, D.D.K. and Prasad A.R.K., 1987. Effect of lead and mercury on chlorophyll synthesis in Mung Bean seedlings. *Phytochem.*, 26, 881-883
- Prasad, M.N.V., and Strzalka K., 1999. Impact of heavy metals on photosynthesis. *Heavy Metal Stress in Plants: from molecules to ecosystems*. Prasad, M.N.V., and Hagemeyer, J., (eds.), Springer-Verlag, Berlin. pp. 117-138
- Prasad, M.N.V., Malec P., Waloszek A., Bojko M. and Strzaka K., 2001. Physiological responses of *Lemna trisulca* L. (duckweed) to cadmium and copper bioaccumulation, *Plant Sci.*, 161, 881-889.
- Punz, W.F., and Sieghardt, H., 1993. The response of roots of herbaceous plant species to heavy metals, *Environ. Exp. Bot.*, 33, 85-93.
- Punshon, T., Nicolas L.W. and Alloway B.J. 1999. Bioavailability of trace elements. *Proc. 5th International Conference of Trace Elements*, pp. 578, Viyana.
- Quariti, O., Gouia H., Ghorbal M.H., 1997a. "Responses of Bean and Tomato Plants to Cadmium: Growth, Mineral Nutrition and Nitrate Reduction" *Plant Physiology and Biochemistry*, 35:(5) 347-354
- Quariti, O., Boussama N., Zarrouk M., Cherif A. and Ghorbal M.H., 1997b. "Cadmium and Copper Induced Changes in Tomato Membrane Lipids" *Phytochemistry*, 45:(7) 1343-1350
- Rascio, N., Vecchia F.D., Ferretti M., Merlo L., Ghisi R., 1993. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 25, 244-249.
- Rashid, A., Camm E.L., and Ekramoddoullah K.M., 1994. Molecular mechanism of action of Pb and Zn on water oxidizing complex of photosystem II, *FEBS Lett.*, 350, 296-298.
- Raskin, I. Kumar, N., Dushenkov, S. and Salt, D., 1994. Bioconcentration of metals by plants, *Current Opinion in Biotechnology*, 5, 285-290.
- Rivetta, A., Negrini N., and Cocucci M., 1997. Involvement of Ca calmodulin in Cd toxicity during the early phases of radish (*Raphanus sativus* L.) seed germination, *Plant Cell Environ.*, 20, 600-608.
- Saatçi, F., Hakerlerler, H., Tuncay, H., Okur B., 1988. "İzmir İli ve Civarındaki Bazı Önemli Endüstri Kuruluşlarının Tarım Arazileri ve Sulama Sularında

- Oluşturdukları Çevre Kirliliği Sorunu Üzerine Bir Araştırma”, E.Ü Rektörlüğü Araştırma Fonu Projesi, İzmir.
- Salt, D.E., Smith R.D., Raskin I., 1998. Phytoremediation. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol* 49: 643–668.
- Sanita di Toppi, L. and Gabrielli R., 1999. Response to cadmium in higher plants. *Environmental and Experimental Botany* 41, 105–130.
- Schuhmacher ,M., Domingo J.L., Lobet J.M. and Corbella J., 1993. Variability of Blood Lead Levels in an Urban in Relation to Drinking and Smoking. Habits”, *Sci. Total Environment*, Vol: 20(5), p: 327-339.
- Seçer, M. ve Elmacı Ö.L., 1991. “Tarımda Ürün Oluşumunda Beslenme Bilimi Esaslarının Uygulanması”, *Ege Üniv. Zir. Fak. Dergisi*, Cilt:28 , No:1, s: 199-210.
- Sharma, S.S., Kaul S., Metwally A., Goyal K.C., Finkemeier I., and Dietz K.J., 2004. Cadmium toxicity to barley (*Hordeum vulgare*) as affected by varying Fe nutritional status, *Plant Sci.*, 166, 1287-1295.
- Sharma, P., and Dubey R.S., 2005. Lead toxicity in plants, *Braz. J. Plant Physiol.*, 17(1), 35-52.
- Singh, R.P., Tripathi R.D., Sinha S.K., Maheshwari R. and Srivastava H.S., 1997. Response of higher plants to lead contaminated environment. *Chemosphere*, 34, 2467-2493
- Sinha, S.K., Srivastava, H.S. ve Mishra, S.N. (1988a). Nitrate assimilation in intact and excised maize leaves in the presence of lead. *Bull. Environ. Cont. Toxicol.*, 41, 419-426
- Sinha, S.K., Srivastava, H.S. ve Mishra, S.N. (1988b). Effect of lead on RNA and nitrate assimilation in Pea leaves. *Acta Soc. Bot. Poll.*, 57(4), 457-463
- Smith, J. L., 1976. Trace elements in human health and disease. Academic press, New York.
- Somashekaraiah, B.V., Padmaja K., Prasad A.R.K., 1992. Phytotoxicity of cadmium ions on germinating seedlings of mung bean (*Phaseolus vulgaris*): Involvement of lipid peroxides in chlorophyll degradation. *Physiol. Planarum*, 85, 85-89.
- SPSS, 1999. SPSS 10 for Windows. Chicago (software).
- Sresty, T.V.S. and Madhova K.V., 1999. Ultrastructural alterations in response to zinc and nickel stress in the root cell of pigeonpea. *Env. and Exp. Bot.*, 41, 3-13.
- Stolt, J.P., Sneller F.E.C., Bryngelsson T., Lundborg T., and Schat, H., 2003. Phytochelatin and cadmium accumulation in wheat, *Environ. Exp. Bot.*, 49, 21-28.
- Suzuki, N., Koizumi N. and Sano H. 2001. Screening of Cadmium-Responsive Genes in *Arabidopsis Thaliana*. *Plant Cell Environ* 24, 1177-1188.
- Symeonidis, L., McNeilly T. and Bradshaw A.D., 1985. Differential tolerance of three cultivars of *Agrostis capillaris* L. to cadmium, copper, lead, nickel and zinc. *New Phytol.* **101**, 309-315.
- Şahin, S., 2001. Türkiye’de Mısır Ekim Alanlarının Dağılışı ve Mısır Üretimi, *G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 1, 73-90.
- Tester, M., and Leigh R.A., 2001. Partitioning of nutrient transport processes in roots, *J. Exp. Bot.*, 52, 445-457.

- Tiryakioglu, M., 2002. Effect of Cadmium on Growth and Antioxidant enzymes in Two Barley Cultivars. (Yüksek lisans tezi) Sabancı Üniv.
- Topçu, S., 1998. Tarım Mühendisliğinde Çevre Sorunları. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 207 Ders Kitapları Yayın No: A-65. 269s.
- Turan, M. ve Angın İ. 2004. Organic chelate asisted phytoextraction of B, Cd, Mo and Pb from contaminated soils using two agricultural crop species. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B. Plant Soil Science*, Vol 54:221-231.
- Verklaij, J.A.C., Schat H., 1990. In: Shaw, A.J. (Ed.), Heavy metal tolerance in plants: Evolutionary aspects. CRC Press, Boca Raton, pp. 179–193.
- Verma, S. and R.S. Dubey, 2003. Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants, *Plant Sci.* 164, pp. 645–655.
- Wang, K.R., 2002. Tolerance of cultivated plants to cadmium and their utilization in polluted farmland soil. *Acta Biotechnologica*, 22(1-2), 189-198.
- Wenzel, W.W., Unterbrunner R., Sommer P. and Sacco P., 2003. Chelate-assisted phytoextraction using canola (*Brassica napus* L.) in outdoors pot and lysimeter experiments. *Plant and Soil*, v.249, p.83-96
- Wilcke, W. and Dohler H., 1995. “Heavy Metals in Agriculture”, Sources Flows, Whereabouts, KTBL-Arbeitspapier.
- Wu, F.B., Qian Q. and Yu J. 2003. Interaction of cadmium and four microelements for uptake and translocation in different barley genotypes. *Communications In: Soil Science and Plant Analysis*, 34: 2021-2034.
- Wu, H., Wu Fei-bo, Zhang G. and Bachir D.M. 2004. Effect of cadmium on uptake and translocation of three microelements in cotton, *J. Plant Nutr.* 27, 2019–2032.
- Xiong, Z.T., 1998. Lead uptake and effects on seed germination and plant growth in a Pb hyperaccumulator *Brassica pekinensis* Rupr., *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 60, 285-291
- Yaman, M. ve Güçer, Ş., 1995. “Determination of Cadmium and Lead in Vegetables After Activated, Carbon Enrichment by Atomic Absorption Spectrometry”, *Analyst*, Vol:120, p: 101-105.
- Yıldız, N., 1996. Tarımsal Faaliyetlerin Toprak Ekosistemi Üzerine Olumsuz Etkileri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi. 27 (2): 324-333.
- Yıldız, N., 2001. Toprak Kirleticisi Bazı Ağır Metallerin (Zn, Cu, Cd, Pb, Co ve Ni) Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi. 32 (2): 207-213 Erzurum.
- Yıldız, N., 2005a. Response of Tomato and Corn Plants to Increasing Cd Levels in Nutrient Culture *Pak. J. Bot.*, 37(3): 593—599.
- Yıldız, N., 2005b. Effects of Pb Levels on Growth and Mineral Contents of Different Corn Cultivars Grown in Nutrient Culture. *Bangladesh J. Bot.* 34(2): 91-94.
- Yıldız, N., 2008. Bitki Beslemenin Esasları ve Bitkilerde Beslenme Bozukluğu Belirtileri. ISBN 975-442-110-2. Erzurum.
- Youssef, R.A., Hegazy M.N.A. and Abdel-Fatteh A., 1995. Micro nutrients in corn plants as affected by the addition of N with Ni or Cd. *Egyptian Journal of Soil Science.* 35; 4, 427-437.
- Zacchini, M., Rea E., Tullio M., Agazio M., 2003. Increased antioxidative capacity in maize calli during and after oxidative stress induced by a long lead treatment. *Plant Physiol. Biochem.* 41: 49-54.

- Zaimoğlu, Z., Söğüt, Z., Erdoğan R., Doğan S., 2002. Toprak ve Su Kirliliğinde Bitkisel Islah - Phytoremediation - Yöntemlerinin Adana İli Örneğinde Uygulanabilirliği. I. Ulusal Çevre Sorunları Sempozyumu. 16–18 Ekim 2002, Erzurum. Bildiriler: 828–837.
- Zengin, F., Munzuroğlu Ö., 2003. Fasulye Fidelerinin (*Phaseolus vulgaris* L.) Kök, Gövde ve Yaprak Büyümesi Üzerine Kadmiyum(Cd^{++}) ve Civa (Hg^{++})'nın Etkileri. C.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi (2003)Cilt 24 Sayı 1
- Zenk, M.H., 1996. Heavy metal detoxification in higher plants-a review, *Gene*, 179, 21-30.

ÖZGEÇMİŞ

Erzurum'da 1980 yılında doğdu. İlk, orta, lise öğrenimini Erzurum'da tamamladı. 1997 yılında girdiği Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü'nden 2001 yılında mezun oldu. 2001-2004 yılları arasında, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimini bitirdi ve 2004 yılında aynı anabilim dalında doktora programına başladı.

Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümünde 2003 yılından beri Araştırma Görevlisi olarak çalışmakta olup, evlidir.