

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**YAYGIN OLARAK TARIMI YAPILAN YEM BİTKİLERİNDE BAZI AĞIR
METALLERİN ÇİMLENME ÜZERİNE ETKİSİ**

Esra Nermin ERTEKİN

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TARLA BİTKİLERİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

MART 2018

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**YAYGIN OLARAK TARIMI YAPILAN YEM BİTKİLERİNDE BAZI AĞIR
METALLERİN ÇİMLENME ÜZERİNE ETKİSİ**

Esra Nermin ERTEKİN

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TARLA BİTKİLERİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MART 2018

ANTALYA

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

**YAYGIN OLARAK TARIMI YAPILAN YEM BİTKİLERİNDE BAZI
AĞIR METALLERİN ÇİMLENME ÜZERİNE ETKİSİ**

Esra Nermin ERTEKİN

TARLA BİTKİLERİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**(Bu tez Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi
tarafından FYL-2017-2009 nolu proje ile desteklenmiştir.)**

MART 2018

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAYGIN OLARAK TARIMI YAPILAN YEM BİTKİLERİNDE BAZI AĞIR
METALLERİN ÇİMLENME ÜZERİNE ETKİSİ

Esra Nermin ERTEKİN

TARLA BİTKİLERİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 02.03./2018... tarihinde jüri tarafından Oybirliği / ~~Oyçokluğu~~ ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mehmet BİLGİN (Danışman)

Prof. Dr. Sadık ÇAKMAKÇI

Prof. Dr. Mevlüt TÜRK



ÖZET

YAYGIN OLARAK TARIMI YAPILAN YEM BİTKİLERİNDE BAZI AĞIR METALLERİN ÇİMLENME ÜZERİNE ETKİSİ

Esra Nermin ERTEKİN

Yüksek Lisans Tezi, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet BİLGİN

Mart 2018, Sayfa 145

Bu çalışma Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümünde 2017 yılında yaygın olarak tarımı yapılan yem bitkilerinde bazı ağır metallerin çimlenme üzerine etkisini belirleyebilmek için yürütülmüştür. Çimlenme aşamasındaki bitkiler sulama suyu aracılığıyla ağır metal stresine maruz bırakılmıştır. Bitki türleri olarak yaygın fiğ (*Vicia sativa* L.), korunga (*Onobrychis viciifolia* Scop.), yaygın yonca (*Medicago sativa* L.), sorgum (*Sorghum bicolor* Moench.) ve mısır (*Zea mays* L.); ağır metaller olarak kurşun (Pb), nikel (Ni), krom (Cr), kadmiyum (Cd) ve cıva (Hg); ağır metalleri yoğunlukları olarak 0 (kontrol), 100, 200, 400 ve 800 mg L⁻¹ kullanılmıştır. Deneme tesadüf parsellerinde bölünen bölünmüş deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak 120 mm çapındaki petri kutularında yürütülmüştür. Deneme planında ana parselleri bitki türleri, alt parselleri ağır metaller ve altın altı parselleri yoğunluklar oluşturmuştur.

Bitkiler üzerinde çimlenme oranı (%), çimlenme indeksi, ortalama çimlenme süresi (gün), kök uzunluğu (mm), sürgün uzunluğu (mm), kök yaş ağırlığı (mg/bitki), sürgün yaş ağırlığı (mg/bitki), kök kuru ağırlığı (mg/bitki), sürgün kuru ağırlığı (mg/bitki), kuru madde oranı (%), %90-10 çimlenme süresi (gün) ve %75-25 çimlenme süresi (gün) özellikleri incelenmiştir.

Denemenin sonucunda genel olarak ağır metallere karşı en toleranslı yaygın fiğ türü bulunurken en hassas ise sorgum türü bulunmuştur. Ağır metaller ise bitki türlerinin çimlenmesi üzerine toksikolojik etki açısından genel olarak “cıva>kadmiyum>kurşun>krom>nikel” şeklinde sıralanabilir. Ağır metallerden cıva ve kadmiyum ağır metallerinin 400 ve 800 mg L⁻¹ yoğunlukları diğer ağır metallerin aynı yoğunluklarına göre daha fazla toksik etkide bulunmuştur.

ANAHTAR KELİMELE: Ağır metal, Çimlenme, Tolerans, Yem bitkileri

JÜRİ: Prof. Dr. Mehmet BİLGİN

Prof. Dr. Sadık ÇAKMAKÇI

Prof. Dr. Mevlüt TÜRK

ABSTRACT

THE EFFECTS OF SOME HEAVY METALS ON GERMINATION OF COMMONLY CULTIVATED FORAGE PLANTS

Esra Nermin ERTEKİN

M.Sc. Thesis, Department of Field Crops

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet BİLGEN

March 2018, Page 145

This study was carried out to determine effect of some heavy metals on the gemination of commonly cultivated forage crops at Mediterranean University, Agricultural Faculty, Field Crops Department in 2017. Common vetch (*Vicia sativa* L.), sainfoin (*Onobrychis viciifolia* Scop.), alfalfa (*Medicago sativa* L.), sorghum (*Sorghum bicolor* Moench.) and maize (*Zea mays* L. plant species; lead (Pb), nickel (Ni), chromium (Cr), cadmium (Cd) and mercury (Hg) heavy metals and 0 (control), 100, 200, 400 and 800 mg L⁻¹ heavy metals concentrations were used as experimental factors. This experiment was conducted in the split-split plot with four replications in 120 mm diameter petri dishes. Plant species, heavy metals and concentrations were placed on mean, split and split-split plot, respectively.

Germination rate (%), germination index, mean germination time (day), radicle length (mm), plumula length (mm), radicle fresh weight (mg/plant), plumula fresh weight (mg/plant), radicle dry weight (mg/plant), plumula dry weight (mg/plant), dry matter rate (%), 90-10% germination time (day) and 75-25% germination time (day) traits were investigated.

At the end of this study, while the common vetch generally had the highest resistant, sorghum had the most sensitive against to these heavy metals. Heavy metals can be listed in general as "mercury> cadmium> lead> chromium> nickel" in terms of toxicological effect on germination of plant species. Mercury and cadmium heavy metals of 400 and 800 mg L⁻¹ concentrations were found to be more toxic than the same concentrations of other heavy metals.

KEYWORDS: Forage plants, Germination, Heavy metal, Tolerance

COMMITTEE: Prof. Dr. Mehmet BİLGEN

Prof. Dr. Sadık ÇAKMAKÇI

Prof. Dr. Mevlüt TÜRK

ÖNSÖZ

Uzun yıllar boyunca ağır metallerin bitkiler üzerindeki etkileri araştırmalara konu olmuştur. Bu zararlı maddelerin tüm canlılar üzerindeki olumsuz etkileri göz ardı edilemez. Bu çalışmada ele alınan beş farklı ağır metalin, beş farklı dozu ele alınarak beş farklı bitki türünde çimlenme üzerine etkileri araştırılmıştır.

Lisans ve yüksek lisans çalışmalarım boyunca bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, hiçbir zaman desteğini benden esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet BİLGİN'e,

Yüksek lisans tezimin belirlenmesinden itibaren her türlü desteği ve yardımı hiçbir zaman esirgemeyen, sevgili eşim Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü Çayır-Mera ve Yem Bitkileri Anabilim Dalı Araş. Gör. İbrahim ERTEKİN'e,

Ön çalışmalar için gerekli olan ağır metallerin temininde yardımlarını esirgemeyen Akdeniz Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü'nden Sayın Doç. Dr. Önder TOPEL'e ,

Çalışmam için gerekli olan tohumların teminini sağlayan Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü'nden Sayın Prof. Dr. Sadık ÇAKMAKÇI'ya, Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü İdari Müdür Yardımcısı Sayın Dr. Cengiz ERDURMUŞ'a ve Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü Çayır-Mera ve Yem Bitkileri Anabilim Dalı Araş. Gör. İbrahim ERTEKİN'e,

Laboratuvar çalışmalarında her zaman yardımcı olan yüksek lisans öğrencisi Sayın Zehra DELİBALTA'ya ve lisans öğrencisi Sayın Murat ULAŞ'a,

Bu tezi “FYL-2017-2009” proje numarası ile maddi olarak desteklediği için Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne,

Eğitimim boyunca her zaman arkamda olan, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen canım aileme canı gönülden teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
AKADEMİK BEYAN	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI.....	3
2.1. Başlıca Ağır Metaller	3
2.1.1. Kurşun (Pb).....	4
2.1.2. Kadmiyum (Cd)	5
2.1.3. Cıva (Hg)	5
2.1.4. Krom (Cr)	5
2.1.5. Nikel (Ni).....	5
2.2. Ağır Metallerin Tarımsal Kaynakları	6
2.3. Ağır Metallerin Endüstriyel Kaynakları	6
2.4. Evsel Atık Sular.....	7
2.5. Tarımı Yaygın Olarak Yapılan Yem Bitkileri.....	7
2.5.1. Yaygın yonca	7
2.5.2. Yaygın fiğ	7
2.5.3. Korunga	8
2.5.4. Mısır.....	8
2.5.5. Sorgum.....	8
2.6. Bitkiler Üzerinde Ağır Metallerin Etkileri	9
2.6.1. Kadmiyumun bitkiler üzerindeki etkileri.....	9
2.6.2. Cıvanın bitkiler üzerindeki etkileri	10
2.6.3. Kurşunun bitkiler üzerindeki etkileri.....	10
2.6.4. Kromun bitkiler üzerindeki etkileri	11
2.6.5. Nikelin bitkiler üzerindeki etkileri.....	11
2.7. Ağır Metaller Konusunda Yapılmış Diğer Çalışmalar.....	12

3. MATERYAL VE YÖNTEM	17
3.1. Materyal.....	17
3.2. Yöntem	17
3.3. Tez Çalışmasında Yapılan Gözlem ve Analizler.....	18
3.4. Denemenin Planlanması ve İstatistik Analizler.....	20
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	21
4.1. Çimlenme Oranı (%)	21
4.2. Çimlenme İndeksi.....	30
4.3. Ortalama Çimlenme Süresi (gün).....	40
4.4. Kök Uzunluğu (mm)	49
4.5. Sürgün Uzunluğu (mm).....	57
4.6. Sürgün Yaş Ağırlığı (mg/bitki)	67
4.7. Kök Yaş Ağırlığı (mg/bitki)	75
4.8. Kök Kuru Ağırlığı (mg/bitki)	85
4.9. Sürgün Kuru Ağırlığı (mg/bitki)	94
4.10. Kuru Madde Oranı (%).....	103
4.11. %90-10 Çimlenme Süresi (gün)	111
4.12. %75-25 Çimlenme Süresi (gün)	120
5. SONUÇ	130
5.1. Öneriler.....	130
6. KAYNAKLAR	132
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum
**“Yaygın Olarak Tarımı Yapılan Yem Bitkilerinde Bazı Ağır Metallerin Çimlenme
Üzerine Etkisi”** adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak
yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını
gösterdiğimi beyan ederim.

02/03/2018

Esra Nermin ERTEKİN

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

°C	: Derece celsius
Ag	: Gümüş
Al	: Alüminyum
As	: Arsenik
B	: Bor
Be	: Berilyum
Ca	: Kalsiyum
Co	: Kobalt
CO ₂	: Karbondioksit
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
g/cm ³	: Santimetre küpteki gram
H ₂ O ₂	: Hidrojen peroksit
K	: Potasyum
Mg	: Magnezyum
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
O ₂	: Oksijen
P	: Fosfor
Sb	: Antimon
Se	: Selenyum
Sn	: Kalay
Sr	: Stronsiyum
Tl	: Talyum

V : Vanadyum

Zn : Çinko

Kısaltmalar

µg : Mikrogram

µM : Mikromolar

µmol : Mikromol

EDTA : Etilendiamin tetra asetik asit

F : Frekans

IAA : Indol asetik asit

kg : Kilogram

KO : Kareler ortalaması

L : Litre

mg : Miligram

ml : Mililitre

mm : Milimetre

mM : Milimolar

NADH: Nikotinamid adenin dinükleotid

pH : Power of hydrogen

Ppm : Parts per million

ROS : Reactive oxygen specias

SD : Serbestlik derecesi

vb. : ve benzeri

vd. : ve diğerleri

VK : Varyans kaynağı

. : Nokta (72.18’de olduğu gibi ondalık ayraç)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1. Tür-metal interaksyonuna ait çimlenme oranları sonuçları.....	23
Şekil 4.2. Tür-yoğunluk interaksyonuna ait çimlenme oranları sonuçları.....	24
Şekil 4.3. Metal-yoğunluk interaksyonuna ait çimlenme oranları sonuçları	26
Şekil 4.4. Tür-metal interaksyonuna ait çimlenme indeksi sonuçları.....	33
Şekil 4.5. Tür-yoğunluk interaksyonuna ait çimlenme indeksi sonuçları	34
Şekil 4.6. Metal-yoğunluk interaksyonuna ait çimlenme indeksi sonuçları	36
Şekil 4.7. Tür-metal interaksyonlarına ait ortalama çimlenme süresi sonuçları.....	42
Şekil 4.8. Tür-yoğunluk interaksyonuna ait ortalama çimlenme süresi sonuçları.....	43
Şekil 4.9. Metal-yoğunluk interaksyonuna ait ortalama çimlenme süresi sonuçları	45
Şekil 4.10. Tür-metal interaksyonuna ait kök uzunluğu sonuçları	51
Şekil 4.11. Tür-yoğunluk interaksyonuna ait kök uzunluğu sonuçları	52
Şekil 4.12. Metal-yoğunluk interaksyonuna ait kök uzunluğu sonuçları	53
Şekil 4.13. Tür-metal interaksyonuna ait sürgün uzunluğu sonuçları	60
Şekil 4.14. Tür-yoğunluk interaksyonuna ait sürgün uzunluğu sonuçları	61
Şekil 4.15. Metal-yoğunluk interaksyonuna ait sürgün uzunluğu sonuçları	63
Şekil 4.16. Tür-metal interaksyonuna ait sürgün yaş ağırlığı sonuçları	69
Şekil 4.17. Tür-yoğunluk interaksyonuna ait sürgün yaş ağırlığı sonuçları	70
Şekil 4.18. Metal-yoğunluk interaksyonuna ait sürgün yaş ağırlığı sonuçları	72
Şekil 4.19. Tür-metal interaksyonuna ait kök yaş ağırlığı sonuçları	78
Şekil 4.20. Tür-yoğunluk interaksyonuna ait kök yaş ağırlığı sonuçları	79
Şekil 4.21. Metal-yoğunluk interaksyonuna ait kök yaş ağırlığı sonuçları	81
Şekil 4.22. Tür-metal interaksyonuna ait kök kuru ağırlığı sonuçları	87
Şekil 4.23. Tür-yoğunluk interaksyonuna ait kök kuru ağırlığı sonuçları	88
Şekil 4.24. Metal-yoğunluk interaksyonuna ait kök kuru ağırlığı sonuçları	90
Şekil 4.25. Tür-metal interaksyonuna ait sürgün kuru ağırlığı sonuçları	96
Şekil 4.26. Tür-yoğunluk interaksyonuna ait sürgün kuru ağırlığı sonuçları	97
Şekil 4.27. Metal-yoğunluk interaksyonuna ait sürgün kuru ağırlığı sonuçları	99
Şekil 4.28. Tür-metal interaksyonuna ait kuru madde oranı sonuçları.....	105
Şekil 4.29. Tür-yoğunluk interaksyonuna ait kuru madde oranı sonuçları.....	106
Şekil 4.30. Metal-yoğunluk interaksyonuna ait kuru madde oranı sonuçları	107
Şekil 4.31. Tür-metal interaksyonuna ait %90-10 çimlenme süresi sonuçları	113
Şekil 4.32. Tür-yoğunluk interaksyonuna ait %90-10 çimlenme süresi sonuçları	115
Şekil 4.33. Metal-yoğunluk interaksyonuna ait %90-10 çimlenme süresi sonuçları ..	116
Şekil 4.34. Tür-metal interaksyonuna ait %75-25 çimlenme süresi sonuçları	122
Şekil 4.35. Tür-yoğunluk interaksyonuna ait %75-25 çimlenme süresi sonuçları	124
Şekil 4.36. Metal-yoğunluk interaksyonuna ait %75-25 çimlenme süresi sonuçları ..	125

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Bitkilerde çevre açısından önemli bazı ağır metallerin dağılımı (Misra ve Mani 1991)	4
Çizelge 3.1. Ele alınan bitki türlerine ait ticari çeşitler.....	17
Çizelge 3.2. Ele alınan ağır metallere ilişkin bilgiler.....	17
Çizelge 3.3. Her bir bitki türü için kullanılan tohum sayısı ve solüsyon hacmi	18
Çizelge 4.1. Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında çimlenme oranlarına ait varyans analizi sonuçları	21
Çizelge 4.2. Tür, metal ve yoğunluk faktörlerinin çimlenme oranlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları	21
Çizelge 4.3. Tür-metal interaksiyonlarının çimlenme oranlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları	22
Çizelge 4.4. Tür-yoğunluk interaksiyonlarının çimlenme oranlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları	23
Çizelge 4.5. Metal-yoğunluk interaksiyonlarının çimlenme oranlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları	25
Çizelge 4.6. Tür-metal-yoğunluk interaksiyonlarının çimlenme oranlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları	26
Çizelge 4.7. Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında bitki türlerinin çimlenme indeksi değerlerine ait varyans analizi sonuçları	31
Çizelge 4.8. Tür, metal ve yoğunluk faktörlerinin çimlenme indekslerine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları	31
Çizelge 4.9. Tür-metal interaksiyonlarının çimlenme indeksine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları	32
Çizelge 4.10. Tür-yoğunluk interaksiyonlarının çimlenme indeksine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları	33
Çizelge 4.11. Metal-yoğunluk interaksiyonlarının çimlenme indeksine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları	34
Çizelge 4.12. Tür-metal-yoğunluk interaksiyonlarının çimlenme indeksine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları	36
Çizelge 4.13. Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında bitki türlerinin ortalama çimlenme süresi değerlerine ait varyans analizi sonuçları	40
Çizelge 4.14. Tür, metal ve yoğunluk faktörlerinin ortalama çimlenme süresine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları	40
Çizelge 4.15. Tür-metal interaksiyonlarının ortalama çimlenme süresine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları	41
Çizelge 4.16. Tür-yoğunluk interaksiyonlarının ortalama çimlenme süresine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları	42
Çizelge 4.17. Metal-yoğunluk interaksiyonlarının ortalama çimlenme süresine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları	43
Çizelge 4.18. Tür-metal-yoğunluk interaksiyonlarının ortalama çimlenme süresine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları	45
Çizelge 4.19. Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında bitki türlerinin kök uzunluğu değerlerine ait varyans analizi sonuçları	49
Çizelge 4.20. Tür, metal ve yoğunluk faktörlerinin kök uzunluğuna ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları	49

Çizelge 4.21. Tür-metal interaksiyonlarının kök uzunluğuna ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	50
Çizelge 4.22. Tür-yoğunluk interaksiyonlarının kök uzunluğuna ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	51
Çizelge 4.23. Metal-yoğunluk interaksiyonlarının kök uzunluğuna ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	52
Çizelge 4.24. Tür-metal-yoğunluk interaksiyonlarının kök uzunluğu ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	54
Çizelge 4.25. Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında sürgün uzunluğu değerlerine ait varyans analizi sonuçları.....	58
Çizelge 4.26. Tür, metal ve yoğunluk faktörlerinin sürgün uzunluğuna ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	58
Çizelge 4.27. Tür-metal interaksiyonlarının sürgün uzunluğuna ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	59
Çizelge 4.28. Tür-yoğunluk interaksiyonlarının sürgün uzunluğuna ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	60
Çizelge 4.29. Metal-yoğunluk interaksiyonlarının sürgün uzunluğuna ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	61
Çizelge 4.30. Tür-metal-yoğunluk interaksiyonlarının sürgün uzunluğuna ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	63
Çizelge 4.31. Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında sürgün yaş ağırlığı değerlerine ait varyans analizi sonuçları.....	67
Çizelge 4.32. Tür, metal ve yoğunluk faktörlerinin sürgün yaş ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	68
Çizelge 4.33. Tür-metal interaksiyonlarının sürgün yaş ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	68
Çizelge 4.34. Tür-yoğunluk interaksiyonlarının sürgün yaş ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	69
Çizelge 4.35. Metal-yoğunluk interaksiyonlarının sürgün yaş ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	71
Çizelge 4.36. Tür-metal-yoğunluk interaksiyonlarının sürgün yaş ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	72
Çizelge 4.37. Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında kök yaş ağırlığı değerlerine ait varyans analizi sonuçları.....	76
Çizelge 4.38. Tür, metal ve yoğunluk faktörlerinin kök yaş ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	76
Çizelge 4.39. Tür-metal interaksiyonlarının kök yaş ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	77
Çizelge 4.40. Tür-yoğunluk interaksiyonlarının kök yaş ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	78
Çizelge 4.41. Metal-yoğunluk interaksiyonlarının kök yaş ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	79
Çizelge 4.42. Tür-metal-yoğunluk interaksiyonlarının kök yaş ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	81
Çizelge 4.43. Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altındakök kuru ağırlığı değerlerine ait varyans analizi sonuçları.....	85
Çizelge 4.44. Tür, metal ve yoğunluk faktörlerinin kök kuru ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	85

Çizelge 4.45. Tür-metal interaksiyonlarının kök kuru ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	86
Çizelge 4.46. Tür-yoğunluk interaksiyonlarının kök kuru ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	87
Çizelge 4.47. Metal-yoğunluk interaksiyonlarının kök kuru ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	88
Çizelge 4.48. Tür-metal-yoğunluk interaksiyonlarının kök kuru ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	90
Çizelge 4.49. Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında sürgün kuru ağırlığı değerlerine ait varyans analizi sonuçları.....	94
Çizelge 4.50. Tür, metal ve yoğunluk faktörlerinin sürgün kuru ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	95
Çizelge 4.51. Tür-metal interaksiyonlarının sürgün kuru ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	95
Çizelge 4.52. Tür-yoğunluk interaksiyonlarının sürgün kuru ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	96
Çizelge 4.53. Metal-yoğunluk interaksiyonlarının kök kuru ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	98
Çizelge 4.54. Tür-metal-yoğunluk interaksiyonlarının sürgün kuru ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	99
Çizelge 4.55. Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında kuru madde oranı değerlerine ait varyans analizi sonuçları.....	103
Çizelge 4.56. Tür, metal ve yoğunluk faktörlerinin kuru madde oranına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	103
Çizelge 4.57. Tür-metal interaksiyonlarının kuru madde oranına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	104
Çizelge 4.58. Tür-yoğunluk interaksiyonlarının kuru madde oranına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	105
Çizelge 4.59. Metal-yoğunluk interaksiyonlarının kuru madde oranına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	106
Çizelge 4.60. Tür-metal-yoğunluk interaksiyonlarının kuru madde oranına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	108
Çizelge 4.61. Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında bitki türlerinin %90-10 çimlenme süresi değerlerine ait varyans analizi sonuçları.....	111
Çizelge 4.62. Tür, metal ve yoğunluk faktörlerinin %90-10 çimlenme süresine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	112
Çizelge 4.63. Tür-metal interaksiyonlarının %90-10 çimlenme süresine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	112
Çizelge 4.64. Tür-yoğunluk interaksiyonlarının %90-10 çimlenme süresine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	114
Çizelge 4.65. Metal-yoğunluk interaksiyonlarının %90-10 çimlenme süresine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	115
Çizelge 4.66. Tür-metal-yoğunluk interaksiyonlarının %90-10 çimlenme süresine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	117
Çizelge 4.67. Bitki türlerinin farklı ağır metal ve yoğunlukları stresi altında %75-25 çimlenme süresi değerlerine ait varyans analizi sonuçları.....	120
Çizelge 4.68. Tür, metal ve yoğunluk faktörlerinin %75-25 çimlenme süresine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	121

Çizelge 4.69. Tür-metal interaksiyonlarının %75-25 çimlenme süresine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	121
Çizelge 4.70. Tür-yoğunluk interaksiyonlarının %75-25 çimlenme süresine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	123
Çizelge 4.71. Metal-yoğunluk interaksiyonlarının %75-25 çimlenme süresine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	124
Çizelge 4.72. Tür-metal-yoğunluk interaksiyonlarının %90-10 çimlenme süresine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları.....	126



1. GİRİŞ

Kültür yapılan alanlarda tohum ekiminden sonra gerekli bakımın sağlanarak, tohum çimlenmesinin gerekli şekilde olması bitki sıklığının oluşmasına katkı sağlar (Almansouri vd. 2001). İstenen oranda çimlenmenin sağlanması ve bitki sıklığının oluşması, doğrudan tohum yatağının çevre koşullarına ve kalitesine bağlıdır. Tohum yatağında var olan bazı stres koşulları, toprağa atılan tohumun yeterli çimlenmemesine ve bunun sonucunda yeterli sıklıkta ve olgunlukta fide oluşmamasına neden olmaktadır.

Türkiye’de her geçen gün sanayileşme faaliyetleri artmaktadır. Bunun yanında tarımsal faaliyetler çerçevesinde kimyasal girdi kullanımı da hem bilinçli kullanılmaktan hem de diğer başka sebeplerden dolayı giderek yükselmektedir. Bu yüzden özellikle sanayileşmenin yoğun yapıldığı bölgelerde çevre kirliliği yaşamsal faaliyetleri kısıtlar niteliktedir. Toprakta çeşitli çevresel problemlerden dolayı ağır metal birikimi hem toprağın biyolojik yapısını etkilemekte hem de kültürü yapılmakta olan bitki türleri üzerine olumsuz etki etmektedir. Toprak, su ve hava da çok farklı oranlarda bulunabilen ağır metaller, belirli bir konsantrasyonun üzerinde ciddi çevresel problemlere yol açar. Bu durum bitkiler için çok önemli bir abiyotik stres kaynağıdır. Tarım alanlarında bitkiler için stres koşullarının meydana gelmesi onların fizyolojisini etkiler, genetik potansiyellerini değiştirir, verimliliklerini azaltır ve hatta ölümlerine sebep olabilir (Kırbağ-Zengin ve Munzuroğlu 2003).

Ağır metaller içerisinde 20 element (Fe, Mn, Zn, Cu, V, Mo, Co, Ni, Cr, Pb, Be, Al, Hg, Se, Sn, Cd, Tl, Sb, Ag, As) ön plana çıkmaktadır. Bunların bazıları bitki ve hayvanlar için mikrobesein kaynağı (Fe, Ni, Mo, Zn, Mn, Cu) olarak işlev görmektedir ve belirli sınırı aşmadığı sürece toksik etki yaratmamaktadır (Okcu vd. 2009).

Bu ağır metallerden kadmiyum, kullanım alanlarının yaygın olmasından dolayı vazgeçilemeyen ve çevre kirliliği üzerindeki önemli etkisi ile gündeme gelmiş oldukça toksik önemli bir ağır metaldir. Kadmiyumun toksik metal olarak bu derece gündemde olmasının temel nedeni çok düşük dozlarının bile öldürücü etkide bulunmasından dolayıdır (Goyer 1991; Lyons-Alcantara vd. 1996; Okcu vd. 2009). Birçok araştırmacı kadmiyumun bitkiler üzerindeki toksikolojik etkisi üzerine dikkati çekmiştir (Kabata-Pendias ve Dudka 1990; Iqbal ve Mehmood 1991; Breckle ve Kahile 1992). Bazı araştırmacılar kadmiyumun artan dozlarının bitkilerin üzerindeki etkisini incelemişler ve artan kadmiyum dozları ile birlikte bitkilerin olumsuz etkilendiğini ortaya koymuşlar ve bu olumsuz etkinin bitki türleri arasında farklılık gösterdiğini belirtmektedirler (Peralta vd. 2001; Muhammad vd. 2008; Kabir vd. 2008; Houshmandfar ve Moragebi 2010; Smiri 2011).

Ağır metaller içerisinde nikel düşük dozlarda bitkiler için mikrobesein kaynağıdır, ancak artan dozlarda toksik etkisi ortaya çıkmaktadır. Nitekim artan sanayileşme, kimyasal gübre ve ilaç kullanımı, yerleşim yerlerinin ve sanayilerin atıklarından dolayı çevrede nikel miktarının toksik seviyelere ulaştığı (Zornoza vd.1999), böylece bitkiler üzerinde toksik etkilerin ortaya çıktığı bilinmektedir (Erdoğan 2005). Nikelin aşırı dozları bitkiler üzerinde çimlenme, büyüme ve gelişme aşamasında toksik etki yapar (Marschner 1995). Bazı araştırmacılar nikelin bazı dozlarını farklı bitkiler üzerinde denemişler ve sonuç olarak düşük nikel dozlarının bitkinin çimlenme ve erken fide oluşumunu olumlu etkilediğini, yüksek dozlarının ise bitkiler üzerinde olumsuz etkiler teşkil ettiğini bildirmişlerdir (Peralta vd. 2001; Akıncı ve Akıncı 2011). Nitekim Akıncı

ve Akıncı (2011) ıspanak üzerinde 25 mg L⁻¹ nikel konsantrasyonunda çimlenme oranının kontrol grubuna göre arttığını ve bu dozun 800 mg L⁻¹ konsantrasyonunda çimlenme oranını azalttığını bildirmişlerdir.

Krom metal sanayisi için önemli bir ağır metaldir. Krom tuzları çelik üretimi, elektrokaplama, deri dövmeciliği, metal işleme, metal oksitlenmesini önleme, tekstil boyama ve pigment oluşturma, katalizör uygulamaları, fungusit ve nükleer silah üretimi gibi sanayi faaliyetlerinde yaygın olarak kullanılır (Wong vd. 2001; Zayed Terry 2003; Nath vd. 2005; Babel ve Opiso 2007;). ve krom yer altı sularını, toprağı ve toprak tabakalarını kirleten en önemli ikinci ağır metaldir (Shresta ve Kazama 2007; Ogundiran ve Afolabi 2008; Kar vd. 2008). Bu yüzden özellikle sanayileşmenin hızlı bir şekilde arttığı bölgelerde çeşitli yollarla tarım arazilerini kirleten krom, kültür bitkileri için büyük tehlike arz etmektedir.

Kurşun, kökeni çok eski çağlara dayanan metallere biridir. Çevrenin kurşun ile kontaminasyonu, kurşun madenlerindeki kazı faaliyetleri ve kurşuna dayalı sanayi faaliyetleri sonucunda gerçekleşir (Chaney ve Ryan 1994). Birçok ülkede kurşunun çevre ile kontaminasyonunu engellemeye yönelik mevzuat olmasına karşın, yine de bu ağır metal en ciddi çevre ve insan tehlikesi olmaya devam etmektedir. Kurşun kaynaklı kullanım modern insan yaşamında vazgeçilmezler arasında olduğu için, yakın gelecekte toprakların bu metal ile kontamine olmasının önüne geçilemeyecektir (Yang vd. 2000). Bu yüzden canlı yaşamını etkileyen kurşun her zaman çevreyi ve tüm canlılığı risk altında tutacaktır.

Cıva toprakta sülfid, fosfat ve karbonat şeklinde ve çözünürlüğü çok düşük formlarını meydana getirmek suretiyle toprakta hareketsiz (immobilize) halde bulunabilir. Hareketsiz halde bulunan ve suya geçmeyen cıva bitkiler için alınabilir durumda değildir. Ancak bu bileşiklerin daha sonra metalik cıvaya dönüşme olasılığı vardır. Böylece cıvanın buharlaşması ve çevresel hareketi mümkün olabilir (Yıldız 2004).

Çok önemli bir çevresel kirletici olan ağır metallerin küçük miktarları bile canlılar için öldürücü etkide olabilir. Endüstriyel devrimlerle birlikte öldürücü etkide bulunabilen bu ağır metallerin çevreyi aşırı derecede tehdit eder hale gelmesi hızlanmıştır. Ağır metallerin bitkiler tarafından alınma miktarları ve bitkilerin ağır metallere karşı göstermiş oldukları tepkileri hem metalden metale hem de bitki türünden bitki türüne değişiklik göstermektedir. Geniş alanlarda yetiştiriciliği yapılan yem bitkileri çeşitli ağır metaller ile kontamine olmuş bölgelere maruz kalabilmektedir. Ancak bu alanların bitkileri tam anlamıyla nasıl etkilediği bilinmemektedir. Yapılan bu çalışma, önemli çevre kirliliği yaratan cıva, kurşun, kadmiyum, krom ve nikel elementlerinin yaygın olarak yetiştirilen yem bitkilerinde, çimlenme ve erken fide aşamasındaki etkilerinin belirlenmesini amaçlamıştır.

2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI

Çevre, özellikle organizmaların büyümesini, gelişmesini ve hayatta kalmasını etkileyen dış fiziksel koşulların kombinasyonu ve bir organizmayı veya organizma grubunu tamamen çevreleyen koşullar olarak tanımlanır. Çevredeki metal kirliliği konuları son zamanlarda Türkiye’de ve hatta Dünya’da giderek yaygınlaşmaktadır. Kadmiyum, kurşun, krom, cıva, nikel ve bakır gibi ağır metaller özellikle insan kaynaklı baskıların (sanayileşme, maden kazıları, şehrsel atıklar vb.) yüksek olduğu bölgelerde büyük bir çevresel tehdittir. Toprakta ağır metalin birikmesi gıda güvenliği ve pazarlanması üzerine olumsuz etkilerinden ve bitki gelişimine toksik etkilerinden dolayı tarımsal üretim üzerinde büyük bir kaygı ortaya çıkarmaktadır (Nagajyoti vd. 2010). Ağır metaller önemli bir çevresel kirleticidir ve bu metallerin toksisiteleri ekolojik, evrimsel, besinsel ve çevresel konular üzerine büyük bir önemliliğe sahiptir. Ağır metal terimi genel anlamda sudan 5 kat daha yoğun ya da 4 g/cm³’den daha yoğun olan metallerdir (Hawkes 1997). Ağır metal terimi düşük konsantrasyonlarında bile zehirli etkide bulunan herhangi bir metal elementi anlamına gelir (Lenntech Water Treatment and Air Purification 2004). Başlıca ağır metaller kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), nikel (Ni), kobalt (Co), demir (Fe), çinko (Zn), krom (Cr), gümüş (Ag) ve arsenik (As) gibi elementlerdir.

Bütün bitkiler toprak ve sudan kendi büyüme ve gelişimleri için şart olan ağır metalleri toplama kabiliyetine sahiptirler. Bu metaller Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Mo ve Ni içermektedirler (Langille ve MacLean 1976). Bazı bitkiler de biyolojik fonksiyonları bilinmeyen ağır metalleri biriktirme kabiliyetine sahiptirler. Bunlar Cd, Cr, Pb, Co, Ag, Se ve Hg içermektedirler (Hana ve Grant 1962; Baker ve Brooks 1989). Yüksek konsantrasyonlardaki ağır metallerin hem tolere edilebilir hem de biriktirilebilir üst sınırları farklı bitki türlerine göre değişmektedir (Ernst vd. 1992).

2.1. Başlıca Ağır Metaller

Ağır metallerin bazıları (Fe, Cu, Zn, Ni) bitkiler ve hayvanlar için gereklidir (Wintz vd. 2002). Bir ortamdaki ağır metallerin varlığı değişkendir ve Cu, Zn, Fe, Mn, Mo, Ni ve Co gibi metaller temel mikrobeyinlerdir (Reeves ve Baker 2000) ki bu mikrobeyinlerin fazlalığı toksik etkilere neden olabilir (Monni vd. 2000; Blaylock ve Huang 2000). Ayrıca bu elementler çevresel matriste iz (10 mg kg⁻¹ ya da µg L⁻¹) miktarda bulunmasından dolayı eser elementler olarak adlandırılır (Nagajyoti vd. 2010).

Temel ağır metaller (Cu, Zn, Fe, Mn ve Mo vs.), bitkilerde ve hayvanlarda biyokimyasal ve fizyolojik fonksiyonlar üzerine etkilidir (Nagajyoti vd. 2010). Ancak yüksek dozlarının bitkiler tarafından alınması toksikolojik sonuçlar ortaya çıkarabilir.

Bazı ağır metaller uygun konsantrasyonlarda enzim faaliyetleri için gerekli ise de, bunlar doğal konsantrasyonlar aşıldığında önemli bir enzim engelleyici grubu oluştururlar. Ag, Hg, Cu, Cd ve Pb gibi metaller bu sebeple zehirlidirler. Ağır metal içeren çözeltilerin zehirliliğini etkileyen faktörler, organizmanın türüne, üreme zamanına, su ortamının; ısı, ışık, tuzluluk gibi fiziksel değişkenlere ve metalin cinsine göre değişir (Bryan 1976).

Çizelge 2.1. Bitkilerde çevre açısından önemli bazı ağır metallerin dağılımı (Misra ve Mani 1991)

Elementler	Bitkilerde $\mu\text{g g}^{-1}$ kuru ağırlık
As	0.02-7
Cd	0.1-2.4
Hg	0.005-0.02
Pb	1-13
Sb	0.02-0.06
Co	0.05-0.5
Cr	0.2-1
Cu	4.15
Fe	140
Mn	15-100
Mo	1-10
Ni	1
Sr	0.30
Zn	8-100

2.1.1. Kurşun (Pb)

Kurşun insandan kaynaklanan sebeplerden dolayı ekolojik çevreye önemli zarar veren ilk metal olma özelliği taşımaktadır (Okcu vd. 2009). Bunun yanında kurşun ekonomik yönden insanlık için önemli bir metaldir (Saygıdeğer 1995; Karademir ve Toker 1995). Kurşun doğada organik ve inorganik formlarda bulunmaktadır. İnorganik kurşun daha çok doğada partiküller halinde bulunmaktayken, organik kurşun ise uçucu halde olup çoğu kez gıda maddeleri ve içme sularını tehdit etme riskinde bulunurlar. Bu nedenle organik kurşun inorganik kurşuna göre canlı yaşamı üzerinde daha fazla öneme sahiptir (De Jonghe ve Adams 1982; Karademir ve Toker 1995). Kurşunlu benzin ve boya maddelerinin yanı sıra yiyecekler ve sularda kurşun ile bulaşık olabilir. Özellikle de şehir merkezine yakın yerlerde yetiştirilen tarımsal ürünler normal seviyelerinin üzerinde kurşun içerebilirler. Ayrıca su borularının yapımında kullanılan kurşun kaynakları ve eski evlerde bulunan kurşun tesisatlar kurşunun suyu kontamine etmesine sebep olur. Kozmetik malzemeleri, sigara ve böcek ilaçları kurşun kaynağı olarak gösterilebilir. Ayrıca, endüstriyel kuyumculukta altın rafinasyonu ve geri kazanımı esnasında uygulanan “Kal” işlemi yasal olmayan bir olaydır ve bu yol ile aşırı derecede kurşun, kurşun oksit formunda atmosfere salınır (Kahvecioğlu vd. 2007).

Kurşun atmosfere ve toprağa çeşitli yollar ile bulaşmaktadır. Bu yollar arasında en başta taşıtlardan çıkan egzoz gazları olmak üzere, akü boya, lehim ve petrol sanayisi atıkları ile pestisit kullanımı sayılabilir (De Jonghe ve Adams 1982; Servant 1982; Kalinowska 1984; Aksoy 1995; Saygıdeğer 1995; Mark ve Hendershot 1997).

2.1.2. Kadmiyum (Cd)

Kullanım alanlarının genişliği ile bilinen kadmiyum, çevre kirliliği üzerinde çok önemli etkilere sahip bir ağır metaldir ve doğada saf halde bulunmaz. Çok önemli bir kirleticisi olmasının nedeni ise, çok düşük dozlarının bile öldürücü olması ve biyolojik yarı ömrünün kısa olmasıdır (Goyer 1991; Lyons vd. 1996). Kadmiyum daha çok bitki yaşamı üzerindeki toksikolojik etkisiyle bilinmektedir (Jiang ve Li 1989; Çatak vd. 2000). Bitki yaşamını olumsuz etkileyen kadmiyumun çevre ile kontamine olmasına neden olan önemli kaynakları; su boruları, enerji kaynağı olarak kömürün yakılması, tohum aşamasında ve endüstriyel üretim aşamasında gübreler ve sanayi faaliyetleri kapsamında salınan baca gazlarıdır (Kahvecioğlu vd. 2007).

2.1.3. Cıva (Hg)

Cıva çok eski çağlarda medeniyetler tarafından zehir olarak kullanılmaktaydı (Li 1948). Tıbbi alanda bazı cıvalı ilaçlar çeşitli deri rahatsızlıkları üzerine (Farler 1952) 300 yıldan daha fazla süre kullanılmıştır (Webb 1966). Cıvanın toksik etkilerinin fark edilmesiyle birlikte eczacılık alanında bu ağır metalin kullanımı durdurulmuştur. Ancak, modern teknolojide cıva kullanımının artmasıyla birlikte çevre kirliliğinde ve cıva zehirlenmelerinde bir artış meydana gelmiştir (Kazantzis 1980). 1960'lı yıllarda Orta ve Güney Asya'da cıva esaslı fungusit ile muamele edilen tahıl tohumlarının tüketilmesi sonucunda yüzlerce kişi ölmüştür (Bowen 1979).

Cıva yeryüzünde ki miktarı açısından az bulunan bir elementtir. Çevreye bulaşmış cıvanın en önemli kaynakları fungusitlerin kullanılması ve metal formundaki cıvanın buhar haline dönüşmesidir. Kömür ve yağların yakılması çevreye, gaz halinde cıva salınımı gerçekleştirir. Ayrıca kayaçların ve minerallerin doğal yollarla fiziksel ve kimyasal olarak ayrışması sonucunda yılda yaklaşık 230 ton kadar cıva okyanusa bulaşmaktadır (Yıldız 2004).

2.1.4. Krom (Cr)

Krom dünyada miktar açısından en fazla bulunan yedinci elementtir (Cervantes vd. 2001). Dünyada krom üretimi yaklaşık olarak yılda 107 ton civarındadır (Han vd. 2004). Bitkilerde krom ağır metali, tohum çimlenmesi ve fide gelişimini olumsuz etkilemekte, besin ve su dengesini bozmakta, fotosentetik pigmentlerde bozulmalara ve antioksidant enzimlerin aktivitesinde değişimlere yol açmaktadır (Choudhury ve Panda 2005; Ali vd. 2011). Ayrıca bu ağır metalin bitkiler tarafından alımı, taşınması ve fizyolojik etkilerin oluşumu hem gerçek anlamda hem de moleküler ve genetiksel düzeyde incelenmesi gerektiği vurgulanmıştır (Zayed ve Terry 2003).

2.1.5. Nikel (Ni)

Nikel genellikle serpantinli (yılan taşı) topraklar ile ilişkilidir (Soane ve Saunder 1959; Proctor ve Woodel 1975). Bu topraklarda yetişen bitkilerden alınan örneklerin analizi ile bu bölgelerin dışında kalan topraklardan daha fazla nikel içeriğinin olduğu anlaşılmıştır (Hunter ve Vergano 1952; Crooke vd. 1954; Knight ve Crooke 1956). Topraklarda aşırı miktarda nikel bulunması, böyle topraklarda bitkilerin gelişmesi ve büyümesini kısıtlayan önemli bir etkidir (Hunter 1954; Proctor 1971; Khalid 1974).

Nikelin bitkiler üzerindeki fitotoksitesisi, topraktaki konsantrasyonuna ve bitki türlerine göre değişkenlik gösterir (Mizuno 1968). Bazı bitki türleri nikel ağırlıklı topraklara karşı çok fazla toleranslıdır, böylece bu bitki türlerinde büyük miktarda birikmiş olan nikel bitkinin yaşamsal faaliyetlerini olumsuz etkilemez (Dekock 1956; Severne 1974). Bazı bitki türlerinde ise nikelin düşük dozlarının uyarıcı (pozitif anlamda) etkide bulunduğu bildirilmiştir, fakat nikelin bulunma durumu bitki türünden bitki türüne değişkenlik gösteren bu uyarı eşiğini aşarsa, bu ağır metalin toksikolojik etkisi gün yüzüne çıkar ve bitkiler üzerindeki olumsuz etkisi belirgin hale gelir. Toksik nikel seviyeleri başta verimi düşürür ve bitkilerde besin alınımını azaltır (Hewilt 1953; Nicholas ve Thomas 1954; Knight ve Crooke 1956). Ayrıca diğer ağır metaller gibi Ni'in fazla alınması Fe alımını ve metabolizmayı etkileyerek, bitkilerde kloroz ve nekrozun oluşmasına neden olabilir (Dekock 1956; Crooke 1958; Wallace ve Romney 1977).

2.2. Ağır Metallerin Tarımsal Kaynakları

İnorganik ve organik gübreler, pestisitler vb. tarımsal girdiler tarım topraklarında ağır metal kontaminasyonunun en önemli kaynaklarıdır. Özellikle fungusitler, inorganik gübreler ve fosfat gübreleri kaynaklarına bağlı olarak değişik miktarlarda Cd, Cr, Ni, Pb, ve Zn gibi ağır metallerle sahiptir. Kadmiyum özellikle bitkiler tarafından alınarak yapraklarda biriktirildiği için endişe vericidir, ayrıca kadmiyumun topraklarda artışı kanalizasyon çamuru, organik gübre ve kireç uygulamalarından kaynaklanabilir (Nriagu 1988; Yanqun vd. 2005). Ağır metaller tarım topraklarında çok düşük seviyelerde bulunmasına rağmen, fosfatlı gübrelerin uzun süre tekrar tekrar kullanılması topraktaki ağır metal içeriğini artırır ve sonuçta tarım arazileri tehlike arz etmeye başlar (Verkleji 1993).

2.3. Ağır Metallerin Endüstriyel Kaynakları

Ağır metallerin endüstriyel kaynakları arasında madencilik ve maden işleme faaliyetleri gösterilebilir. Madencilik faaliyetleri kapsamında maden ocağının tipine bağlı olarak farklı ağır metaller dışarıya yayılır. Örneğin, kömür madenleri As, Cd, Fe, vb. ağır metallerin kaynağıdır ve bu ağır metaller kömür madeninin çevresindeki toprakları kontamine eder. Altın madenciliğinde ve işlenmesinde cıvanın kullanılması bu ağır metalin çevreye salınmasına neden olmaktadır (Lacerda 1997). Bu uygulamalar neredeyse 1960 yılından beri devam etmektedir. Hala günümüzde Latin Amerika ve Asya'da 10 milyondan fazla kişiyi içine alan tropik alanlarda hızla yayılmaktadır. Metallerin yüksek sıcaklıkta (eritme, dökme gibi işlemleri) işlenmesi partikül ve buhar halinde çevreye salınmaktadır. As, Cd, Cu, Pb, Sn, ve Zn gibi ağır metallerin gaz formu aerosollere dönüşmek üzere atmosferdeki su ile birleşir. Bu durum ise toprakları ya kuru rüzgarlar ya da yağmur gibi yağışlar aracılığı ile kontamine eder. Ağır metallerin toprağa bulaşması, ağır metallerin rafinerilerdeki işlenme tiplerine bağlı olarak gerçekleşir. Petrol ve kömür yakarak enerji elde eden güç santralleri, nükleer enerji santralleri ve yüksek gerilim hatları Se, B, Cd, Cu, Zn ve Ni gibi birçok ağır metali çevreye bırakır (Verkleji 1993). Diğer endüstriyel kaynak faaliyetleri arasında ise, plastik, tekstil, ahşap koruma ve kağıt işleme bulunmaktadır. Enerji hatlarının altında yetişen bitkilerin yüksek konsantrasyonda Cu ile bulaşık olması, otlayan hayvanlara toksik etki yaptığı bildirilmiştir (Kraal ve Ernst 1976).

2.4. Evsel Atık Sular

Bu atık sular muhtemelen nehir ve göllerdeki ağır metal birikiminin en büyük kaynağıdır. Evsel atık sular, işlenmemiş veya tamamen mekanik olarak işlenmiş atık sular, biyolojik arıtma sistemlerinin filtrelerinden geçen maddeler ve kıyı yerleşim yerlerindeki insanlar tarafından sık sık kanalizasyonlardan dışarı bırakılan atık maddelerden oluşur. Evde kullanılan temizlik deterjanları su kalitesini etkileyeceğinden dolayı, deterjanların gereksiz ve fazla kullanılması kirlilik riskini artırır. Angino vd. (1970) deterjanlarda az miktarda da olsa Fe, Mn, Cr, Co, Zn, Sr ve B gibi ağır metalleri keşfetmiştir.

Kentleşmenin yoğun olduğu alanlardan kaynaklanan kirlilikle ilgili olarak, kentsel atık suların bırakılmasıyla ciddi bir ağır metal kontaminasyonunun ortaya çıktığı bilinci insanlarda gün geçtikçe artmaktadır.

2.5. Tarımı Yaygın Olarak Yapılan Yem Bitkileri

2.5.1. Yaygın yonca

Yaygın yonca (*Medicago sativa* L.) baklagiller familyasından çok yıllık bir bitkidir. Bu bitki Dünya’da en fazla Türkiye’de ise silajlık mısırdan sonra en fazla yetiştirilen yem bitkisidir. Geniş bir adaptasyon yeteneğine sahiptir ve oldukça farklı koşullar altında dahi yetiştiriciliği yapılabilir.

Yaygın yonca bitkisi besinsel kalitesinden dolayı çiftlik hayvanları için oldukça lezzetli ve besleyici niteliktedir. Bitkinin protein oranının yüksek ve çeşitli vitaminler ve mineral maddelerce zengin olmasından dolayı verimli ve kaliteli hayvansal üretim için vazgeçilemez niteliktedir.

Ot elde etme amacıyla, 2016 yılında ülkemizde yaklaşık 6.5 milyon dekar alanda ekilmiş olup yine yaklaşık olarak 15.7 milyon ton yeşil ot üretilmiştir. Bunun yanı sıra tohum elde etme amacıyla ise yaklaşık 21.5 bin dekar alanda yaklaşık 1.2 bin ton tohum üretilmiştir (Anonim 2016).

2.5.2. Yaygın fiğ

Yaygın fiğ (*Vicia sativa* L.) baklagiller familyasından tek yıllık bir yem bitkisidir. Ülkemizde bu yem bitkisi türü yaygın olarak yetiştirilmektedir. Kıyı bölgelerimizde yeşil ve kuru ot, iç bölgelerimizde ise tane üretimi amacıyla kültürlü yapılmaktadır.

Bu bitkinin otu da bir baklagil yem bitkisi olmasına istinaden çeşitli besin maddeleri yönünden oldukça zengindir. Hemen hemen her türlü çiftlik hayvanlarının beslenmesinde kolaylıkla kullanılabilir. Özellikle yaygın fiğ tohumları yüksek oranda protein içermesinden dolayı hayvanlar için çok değerlidir. Hatta kıtlık yıllarında (savaş yılları vb.) tohumun protein oranının yüksekliğinden dolayı insanlar gıda amacıyla değerlendirmiştir (Açıkgöz 2001).

Yaygın fiğ 2016 yılında ülkemizde ot elde etme amacıyla yaklaşık 2.8 milyon dekar alanda ekilmiş olup, yaklaşık olarak 2.8 milyon ton yeşil ot elde edilmiştir. Bunun

yanı sıra tohum elde etme amacıyla ise yaklaşık 391.5 bin dekar alanda yine yaklaşık olarak 49 bin ton tohum elde edilmiştir (Anonim 2016).

2.5.3. Korunga

Korunga (*Onobrychis viciifolia* Scop.) baklagiller familyasından tek yıllık, yılda bakım koşullarına bağlı olarak 2-3 biçim verebilen tek yıllık bir yem bitkisidir. Korunga türleri ülkemiz iklim koşullarına oldukça uyumludur ve ülkemizde Orta ve Doğu Anadolu bölgeleri ile geçit bölgelerinde yaygın bir şekilde kültürü yapılmaktadır.

Korunga bitkisinin otu çiftlik hayvanları için neredeyse yaygın yonca otu kadar besleyicidir. Bu bitkininde protein oranı oldukça yüksektir ve otu mineral maddelerce zengindir. Ayrıca yaygın yonca otu taze iken hayvanlara yedirildiği zaman şişlik yaparken, korunga bitkisinin otu taze yedirildiği zaman hayvanlarda şişlik problemine sebep olmamaktadır.

Korunga ot elde etme amacıyla 2016 yılında ülkemizde yaklaşık 2 milyon dekar ekilmiş olup, yaklaşık 2 milyon ton yeşil ot üretilmiştir. Bunun yanında yaklaşık 6.4 bin dekar alanda tohum üretimi amacıyla korunga ekilmiş ve 960 ton tohum elde edilmiştir (Anonim 2016).

2.5.4. Mısır

Mısır (*Zea mays* L.) buğdaygiller familyasından tek yıllık bir yem bitkisidir. Ancak tüm dünyada endüstri amaçlı üretimi yem amaçlı üretiminden daha önde gelmektedir. Mısır Orta ve Güney Amerika, Afrika ve Çin’de insanlar için en önemli gıda maddesi durumundadır. Ülkemizde de esas olarak tane elde etme amacıyla üretilen mısırın tarımı, silaj ve yem elde etme amacıyla da git gide yaygınlaşmaktadır. Silaj üretiminde tüm dünyada mısır bitkisi en çok kullanılan yem bitkisi durumundadır.

Mısır çok iyi silolanabilen bir bitkidir. Bu avantajı temelde suda eriyebilir karbonhidrat içeriğinin yüksek olmasından gelmektedir. Bu sebeplerden dolayı hayvancılığı gelişmekte olan ülkemizde silajlık amacıyla mısır tarımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır.

Mısır ülkemizde 2016 yılında silajlık olarak 4.1 milyon dekar alanda 20.1 milyon ton, hasıl amacıyla 119 bin dekar alanda 230 bin ton ve dane elde etme amacıyla 6.8 milyon dekar alanda 6.4 milyon ton üretilmiştir (Anonim 2016).

2.5.5. Sorgum

Sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) yaklaşık 5 bin yıldan beri tarımı yapılan tek yıllık buğdaygil yem bitkisidir. Yem sorgumları uzun boylu bol yapraklı ve çok kardeş oluşturan bitkilerdir. Yem sorgumlarının ot verimi yüksek tane verimi ise düşüktür.

Ülkemizde sorgum çeşitlerinin ekimi otlatma, günlük yem ihtiyacının karşılanması ve silaj üretimi gibi değişik amaçlarla yapılmaktadır. Bitkinin yem veriminin üstün olması nedeni ile dünyanın bazı bölgelerinde sorgumun kullanımı silajlık mısırı geçmiş durumdadır.

Sorgum ülkemizde 2016 yılında ot elde etme amacıyla 16.8 bin dekar alanda 60.4 bin ton üretilmiştir. Bunun yanında tohum elde etme amacıyla ise 5 dekar alanda 3 ton üretilmiştir (Anonim 2016).

2.6. Bitkiler Üzerinde Ağır Metallerin Etkileri

Yaşayan tüm organizmalar gibi bitkilerde bazı ağır metallerin (Hg, Cd ve As gibi) küçük miktarlarına karşı bile hassasiyet gösterirken, mikrobesein olarak nitelendirilen ağır metallerin (Ni gibi) aşırı dozlarından etkilenmektedirler. Dünya çapında, ağır metallerin bitkiler üzerindeki etkilerini belirlemek için birçok araştırma yürütülmüştür (Fernandes ve Henriques 1991; Claire vd. 1991; Reeves ve Baker 2000). Araştırmacılar bazı bitki türlerinin metal ağırlıklı topraklarda endemik olduğunu ve ağır metallerin ve diğer toksik bileşenlerin alışılmış miktarından daha fazlasını tolere edebileceğini bildirmişlerdir (Banuelos vd. 1997; Blaylock ve Huang 2000; Raskin ve Ensley 2000; Dahmani-Muller vd. 2000).

Ağır metallerle tarım topraklarının kirlenmesi, ağır metallerin olumsuz ekolojik etkilerinden dolayı önemli çevresel bir endişeye dönüşmüştür. Böyle toksik elementler yaygın bulunmasından ve tarım topraklarında bitkilerin büyümesi üzerine şiddetli ve kronik zehirli etkilerinden dolayı toprak kirleticileri olarak nitelendirilir. Ağır metallerin toksisite derecesi; metalin yoğunluğuna, bulunuş şekline (metal, iyon, organik bileşik..vs), türlere, etki süresine, bulunduğu yere vb. gibi etmenlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Okcu vd. 2009).

2.6.1. Kadmiyumun bitkiler üzerindeki etkileri

Kadmiyumun (Cd) tarım topraklarındaki bulunma durumunu kısıtlayan mevzuat, bir tarım toprağında kilogramda 100 miligramdan fazla bulunamayacağını ifade etmektedir (Salt vd. 1995). Kadmiyum seviyesi yüksek olan topraklarda yetiştirilen bitkilerde gözle görülebilen belirtiler (kloroz, kök ve gövde büyümesinde gerileme ve hatta ölüm) ortaya çıkar (Sanita di Toppi ve Gabbrielli 1999; Wojcik ve Tukiendorf 2004; Mohanpuria vd. 2007; Guo vd. 2008). Kadmiyumun bitki kökleri tarafından demir alımını engellemesi, bitkilerde demir (Fe) eksikliğine yol açar ve fotosentez ciddi bir şekilde, olumsuz etkilenir (Alcantara vd. 1994). Ayrıca, Cd'un bazı elementlerin (Ca, Mg, P ve K) alımını, taşınımını ve kullanımını engellediğinden bahsedilmiştir (Das vd. 1997). Cd köklerdeki nitrat redüktaz aktivitesini engelleyerek nitrat alımını ve köklerden gövdeye nitrat taşınmasını kısıtlar (Hernandez vd. 1996). Cd'a maruz kalan soya bitkilerinin nodüllerinde azot fiksasyonu ve amonyum asimilasyonu azalmıştır (Balestrasse vd. 2003). Metal toksisitesi plazma membranda geçirgenliği etkiler ve su içeriğinde azalmaya neden olur; özellikle, Cd'nin su dengesi ile etkileşime geçtiği bildirilmiştir (Costa ve Morel 1994). Kadmiyum uygulamalarının buğday ve ayçiçeği köklerinde plazma membran parçasının ATPaz aktivitesini azalttığı belirtilmiştir. Kadmiyum, lipid peroksidasyonunu kısıtlayarak membranların işlevselliğinde değişiklikler yapar (Fodor vd. 1995). Ayrıca Cd klorofil biyosentezini kısıtlayarak ve CO₂ fiksasyonuna katılan enzimlerin aktivitesini azaltarak kloroplast metabolizmasında bozulmalara neden olur (De Filippis ve Ziegler 1993).

2.6.2. Cıvanın bitkiler üzerindeki etkileri

Tarıma elverişli olan topraklara yoğun miktarlarda cıva (Hg) girişi besin zincirinde cıva kirliliğinin yaygınlaşmasına sebep olmuştur. Cıva örneğin HgS, Hg⁺², Hg⁰ ve metil-Hg gibi farklı formlara sahip olmasından dolayı eşsiz bir metaldir. Fakat, tarım topraklarında iyonik formu (Hg⁺²) baskındır (Han vd. 2006). Yapılan bazı çalışmalar Hg⁺²'nin daha büyük (odunsu) ve sucul bitkilerde bulunabileceğini ortaya çıkarmıştır (Wang ve Greger 2004; Kamal vd. 2004; Israr vd. 2006). Yüksek seviyelerde Hg⁺² bitki hücrelerine karşı güçlü bir fitotoksik etkiye sahiptir. Hg⁺²'nin toksik seviyeleri bitkilerde görülebilir yaralara ve fizyolojik bozukluklara neden olur (Zhou vd. 2007). Örneğin, Hg⁺² su kanal proteinlerine bağlanabilir, bu şekilde yaprak stomaları kapanır ve bu durum bitkilerde su akışının fiziksel olarak engellenmesine neden olur (Zhang ve Tyerman 1999). Hg⁺² seviyesinin yüksek olması mitokondriyal aktiviteyi etkiler ve ROS üretimini tetikleyerek oksidatif stres oluşturur. Bu durum bitkilerde biomembran lipidlerinin ve hücre metabolizmasının bozulmasına yol açar (Messer vd. 2005; Cargnelutti vd. 2006).

2.6.3. Kurşunun bitkiler üzerindeki etkileri

Kurşun (Pb) topraklarda en bol bulunan ve en fazla yayılan elementlerden biridir. Kurşunun *Spartiana alterniflora* (Morzck ve Funicelli 1982) ve *Pinus helipensis* (Nakos 1979) bitkilerinde çimlenmeyi engellediği bildirilmiştir. Çimlenmenin engellenmesi kurşunun bazı önemli enzimleri engellemesi ile ilişkilendirilir. Mukherji ve Maitra (1976) 60 mikromolar kurşun asetatın çeltik endospermelerinde yaklaşık %50 oranında proteaz ve amilaz enziminin engellendiğini belirtmişlerdir. Ayrıca kurşunun soya (Huang vd. 1974), çeltik (Mukherji ve Maitra 1976), mısır (Miller vd. 1975), arpa (Stiborova vd. 1987), domates, patlıcan (Khan ve Khan 1983) ve bazı baklagil bitkilerinde ilk gelişim aşamalarını olumsuz etkilediğini bildirmişlerdir (Huang vd. 1974). Ayrıca kurşun *Allium* türlerinde (Gruenhage ve Jager 1985), arpa (Juwarkar ve Shende 1986) ve *Raphanus sativus* bitkisinde kök ve gövde büyümesini ve yaprak genişlemesini engellemiştir. Kök büyümesinin engellenme derecesi kurşun ve iyonik kompozisyon konsantrasyonuna ve ortamın pH'sına bağlıdır (Goldbold ve Hutterman 1986). *Sesamum indicum*'da kök büyümesinin engellenmesi, konsantrasyona bağlı olarak gerçekleşmiştir (Kumar vd. 1992). Topraklardaki yüksek kurşun seviyesi çoğu bitki türünde morfolojik anormalliklere yol açar. Örneğin, kurşun bezelye köklerinde düzensiz radyal kalınlaşma, endodermis hücre duvarları ve kortikal parankima lignifikasyonuna neden olur (Paivoke 1983). Ayrıca kurşun vasküler bitkilerin onarım sürecinde hücrelerde düzensiz çoğalmalara sebep olur (Kaji vd. 1995). Saksılarda yetiştirilmiş şeker pancarı bitkilerine uygulanmış 100-200 ppm yoğunluğundaki kurşun, bitkilerde klorozis oluşumuna ve büyümede gerilemelere neden olmuştur (Hewilt 1953). Bunun aksine 100 mg/mL yoğunluğunda kurşun uygulanmış yonca bitkilerinde herhangi bir simpton ortaya çıkmamıştır (Porter ve Sheridan 1981). Daha az kurşun yoğunluğu (0.005 ppm) ise marul ve turp köklerinin büyümesinde azalmalara neden olmuştur (Baker 1972). Bitki büyümesi ve biomas üretimi üzerinde Pb⁺² iyonunun engelleyici etkisi, muhtemelen metabolik bitki süreçleri üzerindeki etkilerinden kaynaklanmaktadır (Van Assche ve Clijsters 1990). Hücre büyümesinin engellenmesinin birincil nedeni indol-3 asetik asit (IAA) oksidasyonunun kurşun kaynaklı simülasyonundan kaynaklanır. Ayrıca kurşun, karboksilasyon aktivitesini inhibe ederek fotosentezi de etkiler (Stiborova vd. 1987). Ek olarak, yüksek kurşun

seviyesi enzim aktivitelerinin engellenmesine, su dengesizliğine, membran geçirgenliğindeki değişikliklere ve mineral beslenmede eksikliklere neden olur (Sharma ve Dubey 2005). Kurşun sülfhidril gruplarıyla reaksiyona girerek enzimlerin aktivitesini hücresel düzeyde engeller. Ayrıca yüksek kurşun konsantrasyonu, bitkilerde ROS'un üretimini artırarak oksidatif strese neden olur (Reddy vd. 2005).

2.6.4. Kromun bitkiler üzerindeki etkileri

Krom (Cr) bileşikleri bitkiler için oldukça toksiktir ve bitkilerin büyüme ve gelişimini olumsuz etkilemektedir. Bazı bitkiler düşük Cr (3.8×10^{-4} μ M) konsantrasyonlarından etkilenmemesine rağmen (Huffman ve Allaway 1973), daha yüksek konsantrasyonları ise birçok bitkinin yaşamını ve/veya yaşamsal faaliyetlerini olumsuz etkilemektedir (Davies vd. 2002). Tohum çimlenmesi Cr tarafından etkilenen ilk fizyolojik süreç olduğu için, Cr içeren bir ortamda tohumun çimlenme yeteneği onun bu metale karşı göstermiş olduğu toleransa bağlıdır (Peralta vd. 2001). Bir çalışmada, yabancı ot olarak nitelendirilen *Echinochloa colona* tohumlarının çimlenmesi 200 μ M Cr dozunda %25 oranında azalış göstermiştir (Rout vd. 2000). Toprakta Cr'un yüksek seviyeleri (500 ppm) fasulye (*Phaseolus vulgaris*)'de çimlenmeyi %48'e kadar azaltmıştır (Parr ve Taylor 1982). Peralta vd. (2001) yonca (*Medicago sativa* Malone çeşidi)'da tohum çimlenmesi ve gelişmesinin 40 ppm Cr ile kontamine olmuş bir ortamda %23'e kadar azaldığını bildirmişlerdir. Şeker kamışı sürgünlerinin Cr toksisitesi altında, 20 ppm dozda %32 ve 80 ppm dozda %57 oranında büyümediği gözlemlenmiştir (Jain vd. 2000). Cr stresi altında tohum çimlenmesinin azalması Cr'un amilaz aktivitesi ve şekerlerin embriyo kesesine yeterince taşınmaması üzerine kısıtlayıcı etkilerinden kaynaklanıyor olabilir. Diğer yandan, Cr stresi ile birlikte proteaz aktivitesi artar ki bu durumda muhtemelen tohum çimlenmesini kısıtlamaktadır (Zeid 2001). Ağaçlarda ve otsu bitkilerde ağır metallerin olumsuz etkisinden dolayı kök büyümesinin engellenmesi, literatürde geniş bir yer tutmaktadır (Tang vd. 2001). Cr stresi CO₂ fiksasyonu, elektron taşınması, fotofosforilasyon ve enzim aktiviteleri açısından fotosentezi etkileyen en önemli faktörlerden birisidir (Clijsters ve Van Assche 1985). Ağır Cr toksisitesi altında kök gelişiminde meydana gelen azalma, besin ortamındaki suyun bitkicikler tarafından yeterince alınmasını engeller.

Bitkilerde verim açısından biyo-kütlenin yeterli düzeyde oluşması önemlidir. Bir bitkide biyo-kütle artışı ne kadar yüksekse kuru ağırlık artışı da o derece yüksek olur. Genel olarak kuru ağırlığın %80-90'ını karbon bileşikleri oluşturur. Cr, kloroplast ve mitokondrinin yapı ve işlevlerinde zarara neden olur ve bunun neticesinde kuru ağırlıkta kayıplar meydana gelir (Subrahmanyam 2008).

2.6.5. Nikelin bitkiler üzerindeki etkileri

Nikel (Ni) bir geçiş metalidir ve ultramafik ya da serpantinik topraklar dışındaki doğal topraklarda az miktarda bulunur. Ancak, son zamanlarda artan insan kaynaklı maden kazısı çalışmaları, sanayide nikelin eritilerek işlenmesi ile gerçekleştirilen salınımlar, petrol ve kömür yakımları, atık sular, fosfat gübreleri ve pestisitler belli alanlarda Ni⁺² konsantrasyonunu arttırmaktadır (Gimeno-Garcia vd. 1996). Nikel ile kontamine olmuş topraklarda nikel içeriği kontaminasyon olmamış topraklara göre 20-30 kat daha fazladır (Izosimova 2005). Nikelin topraklarda çok yüksek seviyelerde bulunması, farklı bitki türlerinde çeşitli fizyolojik değişikliklere, kloroz ve nekroz gibi

çeşitli toksik simptonlara sebep olur (Zornoza vd. 1999; Pandey ve Sharma 2002; Rahman vd. 2005). Yüksek Ni^{+2} içeren toprakta yetiştirilen bitkilerin besin dengelerinde bozulma görülür ve hücre membran fonksiyonlarında bozukluk meydana gelir. Bu yüzden Ni^{+2} *Oryza sativa* köklerinde bildirildiği gibi, plazma membranının lipid kompozisyonunu ve H-ATPaz aktivitesini etkiler (Ros vd. 1992). Yüksek oranda Ni^{+2} alımı monokot ve dikot bitki türlerinde su içeriğinde azalışa neden olur. Su alımındaki azalış, bitkilerde Ni^{+2} toksisitesinin bir göstergesi olarak kullanılır (Pandey ve Sharma 2002; Gajewska vd. 2006).

2.7. Ağır Metaller Konusunda Yapılmış Diğer Çalışmalar

Yonca birçok ağır metali bünyesine alabilmektedir. Ağır metal alımı bazı durumlarda yapraklarla havadaki partiküllerden olabilmektedir (Izadiyar ve Yargholi 2010). Ancak çoğunlukla ağır metaller yonca köklerinden hızlı bir şekilde alınmakta ve üst akşamlara taşınabilmektedir (Gardea-Torresdey vd. 1995; Tiemann vd. 1998; Gardea-Torresdey vd. 1999; Peralta-Videa vd. 2002; Peralta-Videa vd. 2004; López vd. 2005; Bonfranceschi vd. 2009; Singh vd. 2009; Qing vd. 2011). Bazı araştırmacılar ise yoncanın farklı ağır metalleri, topraktan ve/veya sudan fazla miktarda kaldırdığını ve bu nedenle kirlenmiş toprak veya suların temizlenmesinde kullanılabileceğini belirtmektedir (Gardea-Torresdey vd. 1995; Tiemann 1998; Gardea-Torresdey vd. 1999; Peralta-Videa vd. 2002; Peralta-Videa vd. 2004; Singh vd. 2009; Bonfranceschi vd. 2009; Qing vd. 2011; Zribi vd. 2012). Bunlara ek olarak, López vd. (2005), EDTA ve IAA'nın birlikte uygulandığında, 100 μ M IAA/0.2 mM EDTA uygulamasının, kurşun alımını yaklaşık %2800 artırdığını belirlemişlerdir. Bu sonuçlar göre, metal biriktirici olmayan bitkilerin, genetik yapılarını değiştirmeden metal biriktirici şeklinde kullanılabileceğini belirtmektedir.

Ağır metaller yoncanın fizyolojik sistemleri üzerine farklı etkiler yapmaktadır. Sobrino-Plata vd. (2009), üç haftalık yonca bitkilerine, 0, 3, 10 ve 30 μ M kadmiyum ve cıva uygulanması sonucunda glutathione, homoglutathione ve phytochelatins konsantrasyonları önemli ölçüde artış olduğunu, biotiol konsantrasyon, antioksidant enzimatik aktivite ve oksidatif stres indeksi ile kadmiyum ve cıva arasındaki toksik mekanizmasının farklı olduğunu saptamıştır. Zhou vd. (2008) ise, cıvanın bitkiler tarafından biriktirilmesi sonucu, birçok hücresel fonksiyona zarar verdiğini, büyüme ve gelişmeyi engellediğini belirtmektedir. Araştırmacılar, yonca yapraklarındaki cıva konsantrasyonu, O_2 ve H_2O_2 ile olumlu korelasyon gösterdiğini, cıva konsantrasyonu arttıkça, NADH oksidaz ve lipoksigenaz aktivitelerinin arttığını ve biomembran lipidlerin zarar gördüğünü belirtmektedirler. Cıva stresi altında, O_2 ve H_2O_2 düzeylerindeki artış, antioksidant enzimlerini arttırmaktadır.

Yoncanın büyüme ve gelişmesi açısından, ağır metallerden etkilenmesi ile ilgili farklı bulgular elde edilmiştir. Bazı araştırmacılara göre, yoncanın büyümesi ve gelişmesi ağır metallerden çok fazla etkilenmemektedir. Bu araştırmacılara göre yonca, ağır metallerle kirlenmiş topraklarda normal büyüme ve gelişmesini tamamlamaktadır (Peralta vd. 2001; Bonfranceschi vd. 2009; Qing vd. 2011; Zribi vd. 2012). Bazı araştırmacılar ise ağır metallerin farklı olumsuz etkilerinden bahsetmektedir. Zhang vd. (2005) yüksek kadmiyum ve çinko dozlarının çimlenmeyi engellediğini, Barton vd. (2000), Hidrofonik kültürde 5 μ M den fazla Ni eklenmesiyle hem kök hem de sürgün gelişimi engellediğini, Harada ve Murata (1990), topraktaki nikel miktarı arttıkça

verimde azalma olduğunu, Zenovia vd. (2008), nikel, kurşun ve kadmiyumun stres koşullarının göstergesi olan superoxide dis-mutase enziminin faaliyetini arttırdığını, 50 ve 300 ppm dozlarında, asimilat pigment içeriğinin azaldığını, tohum çimlenmesi ve sürgün uzaması engellendiğini, Bingham vd. (1976), artan kadmiyum konsantrasyonlarında %25 verim düşmesi saptandığını, Motesharezadeh ve Savaghebi-Firoozabadi (2010), artan nikel konsantrasyonlarında, yoncanın aldığı miktarda artış olduğunu, bitki gelişimi ve büyümenin önemli ölçüde azaldığını bildirmektedirler.

Ağır metal ile kirlenmiş topraklarda yetiştirilen yoncanın, metalleri toprak üstü aksamlarına taşımaları nedeniyle yem amacıyla kullanılmasından kaçınılmalıdır (Bonfranceschi vd. 2009). Bununla birlikte bazı uygulamalar ağır metal alımını azaltabilmektedir. Örneğin kültür ortamına salisilik asit eklenmesi, yonca fidelerindeki kadmiyum miktarını azaltmaktadır (Dražić vd. 2006). Miller vd. (1995) ise, arıtma çamuru eklenmesiyle, bitkilerin daha hızlı geliştiğini ve kadmiyum ve çinko içeriğinde %50 azaldığını saptamıştır. Benzer şekilde, bazı *Sinorhizobium* suşları daha az metal emilimine neden olmaktadır (Zribi vd. 2012). Yoncanın ağır metal alımının azaltılmasının kirlenmiş topraklarda yetiştirilmesi açısından önemli olmakla birlikte farklı avantajları da bulunmaktadır. Özellikle suyun kıt olduğu kurak ve yarı kurak alanlarda, atık suların tekrar kullanılması su kıtlığına kısmi bir çözüm olmaktadır. Bu yöntem suyu, fosfor ve azot gibi bazı elementleri geri kazandırdığı gibi, ağır metaller gibi bazı kirleticileri de toprağa bulaştırmaktadır. Bu metallerden kadmiyum çok daha kolay ve hızlı emilir. Kadmiyum bir kere bitkiler tarafından standart sınırların üstünde alındıktan sonra, hayvanlar üstünde farklı etkilerde bulunur (Izadiyar ve Yargholi 2010).

Yoncada olduğu gibi, üçgüllerde de metal alımını etkileyen farklı etmenler bulunmaktadır. Wang ve Song (2009), toprağa eklenen kalsiyumun, ak üçgülde hem kadmiyum alımını hem de kadmiyumun olumsuz etkisini kısmen de olsa azalttığını bildirmektedir. Shahid vd. (2014) da iran üçgülünün organik gübrelenmesi sonucu, düşük dozda bulunan nikelin yarayışlılığını ve dolayısıyla alımını arttırdığını, yüksek düzeylerde ise azaltmış olduğunu tespit etmişlerdir. Yang vd. (1996) ise, ak üçgülde, çinko, bakır, kalsiyum, ve magnezyum çözeltilerinde hem köklerdeki nikel miktarı hem de üst organlara aktarılan miktarın azaldığını, demir ve mangan çözeltilerinde ise yalnızca üst organlara aktarılan miktarın azaldığını belirlemişlerdir. Yeraltı üçgülünde mikorizal (*Glomus mosseae* ile) bitkilerle yapılan çalışmada, fungusların hiflerinin yoğun olduğu bölgelerde kadmiyum içeriğinin arttığını ancak funguslar tarafından alınan kadmiyumun bu bölgede hareketsiz kalarak bitkinin diğer taraflarına taşınmadığı belirlenmiştir (Joner ve Leyval 1997). Bunların dışında farklı toprak tipleri de yeraltı üçgülünde metal alımını etkilemektedir. Yeraltı üçgülü arıtma çamuru uygulanan topraklarda italyan çimine göre daha az miktarda çinko almıştır (Ahumada vd. 2009). Bununla birlikte ak üçgülün kadmiyum, kurşun ve çinko ile kirlenmiş topraklarda azot fiksasyonunun bir miktar etkilenmesine karşın, yeterince azot fiksasyonu yapabilmektedir (Rother vd. 1983).

Yem bitkileri üzerine ağır metallerin etkisini inceleyen çalışmalar genel olarak sınırlıdır. Bu çalışmaların da birçoğu yonca ve üçgüller üzerinedir. Diğer bitkilerde ya hiç çalışma bulunmamakta ya da çok az sayıda bulunmaktadır. Beladi vd. (2011), korungada, kurşun alımı açısından kökler ve toprak üstü aksamı arasında fark bulunmadığını, yapraklardan absorbe edilen bakır miktarının kurşun miktarından daha fazla olduğunu bildirmektedir. Araştırmacılar, toprakta kurşun ve bakır artışı ve element

alımının da artışıyla Malondialdehyde, Dityrosine ve 8-hydroxy-2-deoxyguanosine biomarkırlarında da artış olduğunu, yüksek kurşun ve bakır seviyelerinde klorofil a ve klorofil b miktarlarının azaldığını, bazı enzimlerde ise artış olduğunu saptamıştır. Akhzari vd. (2016), *Onobrychis sativa*, *Medicago polymorpha* ve *Medicago rigidula* ve üzerinde yaptıkları çalışmada, artan kurşun dozlarında sürgün ve kök uzunluğu ile toplam protein içeriğinin azaldığı, yaşama oranının düştüğünü belirlemiştir.

Ipomea variada, *Poa pratensis*, buğdaygil karışımı (*Festuca rubra*, *Cynodon dactylon*, *Lolium multiflorum*, *Pennisetum* sp.), *Tropaeolum majus*, (*Ficus benajamina*) ve *Pteris cretica* türlerinde, nikel arsenik ve bakır elementleriyle kirlenmiş toprakların temizlenmesinde kullanılabilirliği üzerine bir çalışma yapmıştır. Çalışmanın sonucunda, buğdaygil karışımlarının metal içeriği, metallerin üst aksama taşınması ve biyolojik emilim katsayısı açısından yüksek değerler verdiği ve kirlenmiş toprakların temizlenmesi amacıyla kullanılabileceği bulunmuştur (Zacarias vd. 2012).

Kılçıksız bromda topraktaki nikel miktarı arttıkça verimde azalma olmaktadır. Bitkideki nitrat içeriğiyle topraktaki nikel miktarı arasında ise olumsuz ilişki bulunmuştur (Harada ve Murata 1990). Azimi vd. (2016), yarı kurak bölgelerin en önemli bitkilerinden biri olan *Bromus kopetdaghensis* üzerinde yaptıkları çalışmada, kadmiyum ile kirlenmiş toprakta, bitkinin yayılması, uzaması ve kök kuru ağırlığının azaldığını tespit etmiştir. Bununla birlikte, *Glomus intraradices* inokulasyonu ile, fungus uygulanmayanlara göre yayılması, yüksekliği, sürgün ve kök kuru maddesinin arttığını saptamıştır. Bu sonuçlar, mikorizal funguslarla biyolojik gübreleme yapılabileceği ve böylece *Bromus kopetdaghensis*'in yem üretiminin artırılabilceğini göstermektedir.

Patel ve Wallace (1980), artan kadmiyum, çinko ve nikel düzeylerin *Bromus rubens*'de çimlenmeyi olumsuz etkilediğini, çinko için 5300, nikel için 3000 mg/kg üzerindeki düzeylerde ise çimlenmenin hiç gerçekleşmediğini saptamıştır. ShuAng vd. (2009) ise *Bromus inermis* tohumlarının çimlenmesinin 150 mg/L üzerindeki çinko düzeylerinden olumsuz etkilendiğini bildirmektedir. Bununla birlikte, Saberi vd. (2012) salisilik asit eklenmesi ile, *Bromus tomentellus* fidelerindeki kadmiyum birikiminin azaldığını belirtmektedir.

Fang vd. (2017) yirmibir adet ticari İtalyan ryegrass çeşidi üzerinde, çimlendirme periyodu boyunca kadmiyumun etkilerini incelemişlerdir. Bu amaçla kontrol (0), 50, 100, 250, 500, 1000 $\mu\text{mol L}^{-1}$ kadmiyum dozu belirlemişler, çimlenme ve ilk fide gelişimi aşamasında çimlenme enerjisi, çimlenme oranı, çimlenme indeksi, canlılık indeksi, nisbi kök uzunluğu ve nisbi sap uzunluğu özelliklerini incelemişlerdir. Bu çalışmanın sonucunda, araştırmacılar ele aldıkları yirmibir adet ticari İtalyan ryegrass çeşidini Cd-tolerant, Cd-orta tolerant, Cd-düşük tolerant ve Cd-hassas olarak 4 gruba ayırmışlardır.

Bautista vd. (2013) marul, ıspanak ve pazı üzerinde çimlenme ve ilk fide gelişimi aşamasında kadmiyum ve kromun etkilerini incelemişlerdir. Bu amaçla her iki ağır metal içinde 3 farklı konsantrasyon (25, 35 ve 50 $\mu\text{M L}^{-1}$) belirlemişlerdir. Her üç bitki türünün de ele alınan metallere karşı farklı tepki gösterdikleri belirtilmiştir. Kadmiyum çimlenmeyi marulda %46, ıspanakta %97, pazı bitkisinde ise %8 oranında azaltmıştır. Kadmiyum kök gelişimini ise marulda %57, ıspanakta %89 ve pazı bitkisinde %56

oranında azaltmıştır. Kadmiyuma göre daha az negatif etkiye sahip krom ise çimlenmeyi kontrole göre marulda %6, ıspanakta %34 ve pazı bitkisinde %29 oranında düşürmüştür.

Jun vd. (2009) yürütmüş oldukları bir çalışmada altı tane baklagil (*Glycine max*, *Lablab purpureus*, *Lathyrus adoratus*, *Dumasia villosa*, *Vigna radiate*, *Vigna angularis*) bitkisi üzerinde Cr^{+2} ağır metalinin çimlenme ve ilk fide gelişimi aşamasındaki etkilerini incelemişlerdir. Araştırmacılar bu amaçla çimlenme oranı ile kök ve sap uzunluğunu incelemişlerdir. Çalışmada Cr^{+2} dozu olarak kontrol (0), 0.1 mM, 0.2 mM, 0.4 mM, 0.8 mM, 1.6 mM ve 3.2 mM değerlerini belirlemişlerdir. Çalışmanın sonucunda *Lablab purpureus* ve *Glycine max*'ın Cr^{+2} 'ye karşı diğer bitkilerden daha hassas olduğu belirtilmiştir. Ancak *Lathyrus adoratus* ve *Dumasia villosa*'nın Cr^{+2} 'ye karşı diğer bitkilerden daha dayanıklı olduğu bildirilmiştir.

Aydınalp ve Marinova (2009) yoncada çimlenme ve bitki büyümesi üzerine ağır metallerin etkileri adlı bir çalışmada, ağır metal dozlarını kontrol (0), 5, 10, 20 ve 40 ppm olarak kullanmışlardır. 10 ppm kadmiyum ve krom uygulamasında tohum çimlenmesi ve bitki büyümesi önemli ölçüde etkilenirken, nikelde ise 20 ppm'lik dozda bu sonuç ortaya çıkmıştır. Bitki kökleri ise kadmiyumun 5 ppm dozunda, krom ve nikelin 5 ve 10 ppm dozunda olumsuz etkilenmiştir. 5 ppm krom ve nikel dozu sap büyümesini sırasıyla %0.13 ve %0.35 oranında arttırmıştır.

Shafiq vd. (2008) *Leucaena leucocephala* bitkisinde çimlenme ve erken fide gelişimi üzerine kurşun ve kadmiyum etkilerini araştırdıkları bir çalışmada, 25, 50, 75 ve 100 ppm ağır metal dozu kullanmışlardır. Kurşun dozunun 75 ppm'e yükselmesi kontrole (0 ppm) göre tohum çimlenmesini önemli ölçüde azaltmıştır. Kurşun dozunun 50 ppm'e kadar artması ise kök uzunluğunu önemli derecede düşürmüştür. Kontrolle kıyaslandığı zaman tohum çimlenmesi ve kök uzunluğu 50 ppm kadmiyum dozunda önemli ölçüde azalmıştır. Ayrıca 25 ppm kurşun ve kadmiyum dozunda toplam kuru ağırlık önemli ölçüde düşmüştür. 100 ppm kadmiyum muamelesi kurşun ile kıyaslandığı zaman *L. leucocephala* bitkisinin çimlenmesi ve erken fide gelişimi üzerine daha fazla olumsuz etkide bulunmuştur.

Ayçiçek vd. (2008) kadmiyumun pamuk bitkisinin çimlenme, erken fide gelişimi ve metal içeriği üzerine etkisini inceledikleri çalışmada, araştırmacılar pamuk bitkisini farklı konsantrasyonlarda Cd içeren sulama suyu ile yetiştirmişlerdir. Sulama suyu ile Cd uygulaması kontrolle kıyaslandığında, araştırmanın ilk iki haftasında kök kuru ağırlığında düşüşler olmuş, fakat ilerleyen zamanlarda artan Cd dozlarına bağlı olarak kök kuru ağırlığı artmıştır.

Ayhan vd. (2007) erken fide evresindeki bazı mısır çeşitlerinin kadmiyum ve kurşun stresine karşı dayanıklılıklarını araştırdıkları bir çalışmada, mısır çeşitlerinin erken fide evresindeki tohumlarını kontrol (0), 0.1, 0.2, 0.4 ve 0.6 mM kadmiyum ve kontrol (0), 1, 2, 4, 6 mM kurşun dozları ile muamele etmişlerdir. Bunun sonucunda, çeşitlerin çimlenme oranlarında önemli bir değişimin olmadığı gözlemlenirken, koleoptil ve kök uzunluklarında önemli bir azalma olduğu gözlemlenmiştir. Tüm çeşitlerin kök nisbi büyüme hızının artan Pb dozlarıyla birlikte azaldığı, fakat bu etkinin Cd dozlarında sadece tek bir çeşitte ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Farklı Cd ve Pb dozlarının kök ve koleoptil su içeriklerini etkilemediği bildirilmiştir.

Basmakov vd. (2005) farklı ağır metal (Ni, Pb, Cu, Zn) konsantrasyonlarının mısırın (*Zea mays* L.) çimlenme ve ilk fide gelişimi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bu amaçla kontrol (0), 10 μ M, 50 μ M, 0.1 mM, 1 mM, 5 mM ve 10 mM olmak üzere 7 ağır metal dozu belirlemişlerdir. Genel olarak tüm ağır metallerin dozu arttıkça, mısır bitkisinin çimlenme oranı, kök uzunluğu ve sap uzunluğu azalmıştır.

Peralta vd. (2001) yapmış oldukları bir çalışmada, kontrol (0), 5, 10, 20 ve 40 ppm dozunda kadmiyumu, kromu ve nikeli yonca tohumlarını çimlendirdikleri pH'sı 5.3 olan 250 mL'lik bir yapay besi ortamına eklemişlerdir. İki hafta sonra çıkarılan bitkicikler üzerinde çimlenme oranı, kök ve sap uzunluğu ölçümleri yapılmıştır. Ele alınan ağır metaller her üç özellik üzerinde de olumsuz bir etki yaratmıştır.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu araştırmada ülkemizde yetiştiriciliği yaygın olarak yapılan önemli yem bitkileri bitkisel materyal olarak seçilmiştir. Bunlar, Mısır (*Zea mays* L.), sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), yaygın yonca (*Medicago sativa* L.), korunga (*Onobrychis viciifolia* Scop.) ve yaygın fiğ (*Vicia sativa* L.) türlerinden oluşmaktadır. Kullanılan bitki türlerine ait ticari çeşitler Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Ele alınan bitki türlerine ait ticari çeşitler

Uygulama Kodu	Bitki Türü	Çeşit Adı	Tescil Ettiren Kurum/Kuruluş
TFi	Yaygın Fiğ	Gülhan 2005	Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi
TKo	Korunga	Özerbey-03	Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü
TYo	Yaygın Yonca	Elçi	Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi
TSo	Sorgum	N48 x Early Sumac	Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü
TMı	Mısır	DKC6590	Monsanto Gıda ve Tarım Ticaret Limited Şirketi

Uygulama materyali olarak ise çevreye ciddi zararlar veren cıva (Hg^{+}), kurşun (Pb^{+2}), nikel (Ni^{+2}), kadmiyum (Cd^{+2}) ve krom (Cr^{+3}) ağır metalleri kullanılmıştır. Bu ağır metalleri içeren bileşiklerin formülleri ve molekül ağırlıkları Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Ele alınan ağır metallere ilişkin bilgiler

Uygulama Kodu	Ağır Metal	Bileşik Formülü	Molekül Ağırlığı ($g\ mol^{-1}$)	Üretici Firma
MPb	Kurşun	$Pb(NO_3)_2$	331.2	Riedel
MNi	Nikel	$Ni(NO_3)_2 \times 6H_2O$	290.81	Merck
MGr	Krom	$Cr(NO_3)_3 \times 9 H_2O$	400.15	Merck
MCd	Kadmiyum	$Cd(NO_3)_2 \times 4 H_2O$	308.49	Panrae
MHg	Cıva	$Hg(NO_3)_2 \times H_2O$	342.62	Merck

3.2. Yöntem

Bu çalışma 2017 yılı içerisinde Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü Çayır-Mera ve Yem Bitkileri laboratuvarında yürütülmüştür. 120 mm çapındaki (120 x 17 mm) plastik steril haldeki petri kaplarına çift katlı filtre kağıdı yerleştirilmiştir. Yerleştirilen kurutma kâğıtlarının üzerine mikro pipetler aracılığı ile Kontrol/0 (Y000), 100 (Y100), 200 (Y200), 400 (Y400) ve 800 (Y800) $mg\ L^{-1}$ dozlarında ağır metal solüsyonları uygulanmıştır. Çalışma boyunca tüm bitki türleri %70 nispi nem de çimlenmeye bırakılmıştır. Tam çimlenme gerçekleşikten sonra

bitkicikler 12 saat gece 12 saat gündüz olacak şekilde ışıklanmaya bırakılmıştır. Denemede her bitki türü için farklı tohum sayısı, farklı solüsyon hacmi ve farklı sıcaklıklar (ISTA 2007) kullanılmış olup bu bilgiler Çizelge 3.3.'de verilmiştir. Petri kaplarında kullanılan tohumların tür bazında iriliklerinin farklı olmasından dolayı tohum sayısı ve solüsyon hacmi farklı kullanılmıştır. Çimlenme çalışması öncesinde, tohumların yüzey sterilizasyonunu sağlamak için %5'lik sodyum hipoklorit (Ticari çamaşır suyu) çözeltisinde 3 dakika süre ile sterilize edilmiş ve daha sonra 5 kez saf su ile durulanmıştır. Sterilize edilmiş tohumlar; 120 mm çapında, plastik petri kaplarına, her petri kabında farklı adetlerde tohum olacak şekilde, kapların tabanına konan 2 tabaka filtre kâğıdı (Whatman's No:1) üzerine, pens yardımıyla ekilmiştir (Nizam 2011). Her petri kabına, Çizelge 3.3.'de verilen bilgilere göre, laboratuvarda hazırlanmış ağır metal-su solüsyonlarından eklenmiştir. Petri kaplarındaki olası buharlaşmayı önlemek için petri kaplarının üzeri plastik kapak ile kapatılmış ve parafilm ile sarılmıştır. Çimlendirme kapları iklimlendirme dolabına alınarak, Çizelge 3.3.'de verilen bilgilere göre iklimlendirme dolabında, çimlenmeye bırakılmıştır. Çimlenme süresinin her gününde çimlenen tohumlar sayılmış ve "Uluslararası Tohum Test Birliği" kurallarına göre 2 mm kökçük uzunluğuna sahip olan tohum, çimlenmiş olarak kabul edilmiştir (ISTA 1993).

Çizelge 3.3. Her bir bitki türü için kullanılan tohum sayısı ve solüsyon hacmi

Bitki Türü	Tohum Sayısı (adet/petri)	Solüsyon Hacmi (mL)	Sıcaklık (°C)
Yaygın Fiğ	25	10	20
Korunga	30	10	20
Yaygın Yonca	40	8	20
Sorgum	30	8	30
Mısır	20	15	25

3.3. Tez Çalışmasında Yapılan Gözlem ve Analizler

➤ Çimlenme Oranı (%) [ÇO]

Çimlenen tohumların sayısı, çimlenmeye bırakılan toplam tohum sayısına oranlanmış, aşağıdaki formüle göre yüzde olarak hesaplanmıştır.

$$\text{ÇO} = (A/B) \cdot 100 \quad (3.1)$$

A: Çimlenme sonunda toplam çimlenen tohum sayısı

B: Çimlenmeye bırakılan toplam tohum sayısı

➤ Çimlenme İndeksi [Çİ]

Her gün çimlenen tohumlar sayılmış, J.D. Maguire tarafından 1962'de geliştirilen, aşağıdaki formülde yerine konularak çimlenme indeksi hesaplanmıştır (Copeland ve McDonald 2001).

$$\text{Çİ} = \sum n / d \quad (3.2)$$

n: d gününde elde edilen normal fide sayısı

d: Testin başlangıcından itibaren sayılan günler

➤ **Ortalama Çimlenme Süresi (gün) [OÇS]**

ISTA kurallarına göre her gün çimlenen tohumlar sayılmış Ellis ve Roberts (1981)'in geliştirmiş olduğu aşağıdaki formülde yerine konarak ortalama çimlenme süresi hesaplanmıştır.

$$OÇS = \sum D \cdot n / \sum n \quad (3.3)$$

D: Testin başlangıcından itibaren sayılan günler

n: D gününde çimlenen tohum sayısı

➤ **Kök ve Sürgün Uzunluğu (mm) [KU-SU]**

Çimlendirme testi sonunda petrilere rastgele seçilen 13 bitki üzerinde kök ve sürgün uzunluğu ölçümleri yapılmış ve ortalamaları hesaplanmıştır.

➤ **Kök ve Sürgün Yaş Ağırlığı (mg) [KYA-SYA]**

Petrilerde çimlenen tüm bitkilerin arasından rastgele seçilen 13 bitkinin kökleri ve sürgünleri ayrılarak yaş ağırlıkları tartılmıştır. Daha sonra bu tartımların tek bitki ağırlığını tespit etmek için ortalamaları alınmıştır.

➤ **Kök ve Sürgün Kuru Ağırlığı (mg) [KKA-SKA]**

Kök ve sürgün yaş ağırlığı tartılan 13 bitkinin kökleri ve sürgünleri 70 °C etüvde 48 saat süre kurutulduktan sonra tartılmış ve tek bitkinin ağırlığını tespit etmek için ortalamaları hesaplanmıştır.

➤ **Kuru Madde Oranı (%) [KMO]**

Kök ve sürgün yaş ağırlığı tartılan bitkiler 70 °C'de etüvde 48 saat süre kurutulduktan sonra kuru ağırlıkları tartılmış ve kuru-yaş ağırlık farkından aşağıdaki formüle göre kuru madde oranları hesaplanmıştır.

$$KMO = (KA/YA) \cdot 100 \quad (3.4)$$

KA: 70 °C'de etüvde 48 saat süre kurutulduktan sonra tartılan kuru ağırlık

YA: Tam çimlenmeden 3 gün sonra tartılan yaş ağırlık

➤ **%90-10 Çimlenme Süresi (gün) [%90-10 ÇS]**

Çimlenen tohumların %90 ile %10'unun çimlenmesi için geçen süre arasındaki zaman (gün) aralığı olarak hesaplanmıştır.

➤ **%75-25 Çimlenme Süresi (gün) [%75-25 ÇS]**

Çimlenen tohumların %75 ile %25'inin çimlenmesi için geçen süre arasındaki zaman (gün) aralığı olarak hesaplanmıştır.

3.4. Denemenin Planlanması ve İstatistik Analizler

Deneme tesadüf parsellerinde bölünen bölünmüş deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Deneme planında ana parselleri bitki türleri, alt parselleri ağır metaller ve altın altı parselleri yoğunluklar oluşturmuştur.

Elde edilen sayısal veriler ANOVA ve General Linear Modele göre varyans analizine tabi tutulmuş ve ortalamalar arasındaki fark Tukey çoklu karşılaştırma testine göre gerçekleştirilmiştir.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yaygın olarak tarımı yapılan yem bitkilerinde bazı ağır metallerin çimlenme üzerine etkisini araştırmak için yürütülen bu çalışmada incelenen özellikler ve istatistiksel analizler sonucunda elde edilen sonuçlar ilerleyen bölümlerde tek tek ele alınmıştır.

4.1. Çimlenme Oranı (%)

Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında bitki türlerinin çimlenme oranlarına ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında çimlenme oranlarına ait varyans analizi sonuçları

VK	SD	KO	F
Tekerrür	3	50.54	1.95
Tür	4	1176.38	45.52**
Hata 1	12	25.83	
Metal	4	277.34	9.08**
Tür*Metal	16	79.52	2.60**
Hata 2	60	30.53	
Yoğunluk	4	343.40	15.91**
Tür*Yoğunluk	16	44.10	2.04*
Metal*Yoğunluk	16	142.33	6.59**
Tür*Metal*Yoğunluk	64	39.06	1.81**
Hata	300	21.57	
Genel	499		

** : $P \leq 0.01$ * : $P \leq 0.05$

Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında bitki türlerinin varyans analizi sonuçlarına baktığımız zaman, çimlenme oranları açısından türler, metaller, tür-metal interaksiyonları, metal-yoğunluk interaksiyonları ve tür-metal-yoğunluk interaksiyonları arasında %1; tür-yoğunluk interaksiyonları %5 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Tür, metal ve yoğunluk faktörlerine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Tür, metal ve yoğunluk faktörlerinin çimlenme oranlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

	Ortalama (%)	Gruplar		Ortalama (%)	Gruplar		Ortalama (%)	Gruplar
TFi	98.88	a	MNi	94.64	a	Y000	94.70	a
TMi	93.70	b	MCr	94.62	a	Y200	94.68	a
TKo	92.20	b c	MPb	93.90	a b	Y100	93.45	a
TYo	91.49	b c	MCd	92.20	b c	Y400	93.22	a
TSo	89.94	c	MHg	90.85	c	Y800	90.16	b

Türler arasında TFi türü en yüksek çimlenme oranını (%98.88) verirken TSo türü ise en düşük çimlenme oranını (%89.94) vermiştir. Fakat TKo, TYo ve TSo türleri arasında istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır. Metallerin çimlenme oranı üzerine etkisini incelediğimiz zaman MNi en yüksek çimlenme oranını (%94.64) verirken, en düşük çimlenme oranı (%90.85) MHg uygulamasında ortaya çıkmıştır. Ancak MNi, MCr ve MPb uygulamaları ve ayrıca MCd ve MHg uygulamaları arasında istatistiki bir fark yoktur. Yoğunluk uygulamalarını incelediğimizde, en yüksek çimlenme oranı (%94.70) Y000 uygulamasında elde edilirken en düşük çimlenme oranı (%90.16) Y800 uygulamasında elde edilmiştir. Fakat Y000, Y100, Y200 ve Y400 uygulamaları arasında istatistiki bir fark yoktur.

Tür-metal interaksiyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.3.'de verilmiştir.

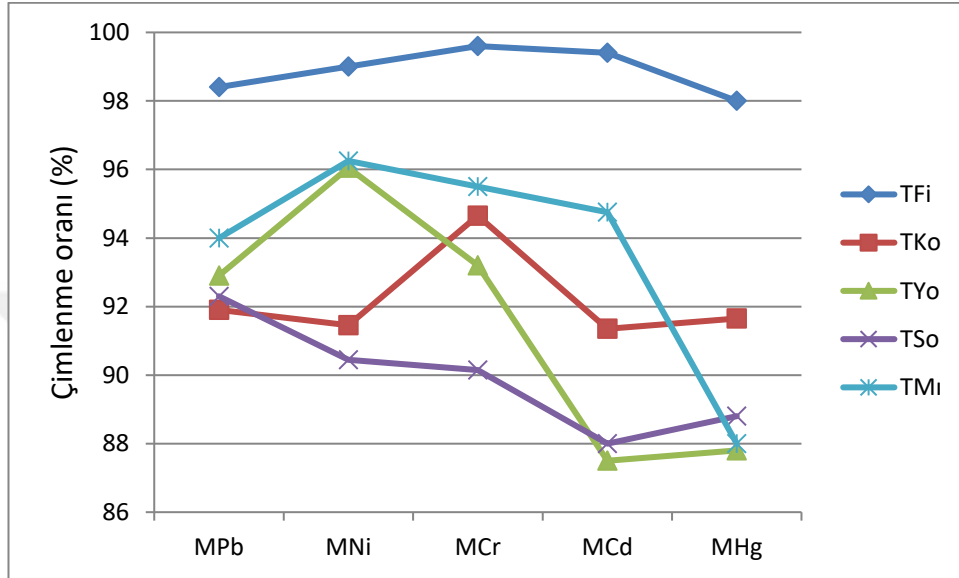
Çizelge 4.3. Tür-metal interaksiyonlarının çimlenme oranlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (%)	Gruplar
TFi,MCr	99.60	a
TFi,MCd	99.40	a b
TFi,MNi	99.00	a b
TFi,MPb	98.40	a b c
TFi,MHg	98.00	a – d
TMi,MNi	96.25	a – e
TYo,MNi	96.05	a – e
TMi,MCr	95.50	a – e
TMi,MCd	94.75	a – f
TKo,MCr	94.65	a – g
TMi,MPb	94.00	a – h
TYo,MCr	93.20	a – h
TYo,MPb	92.90	b – h
TSo,MPb	92.30	c – h
TKo,MPb	91.90	c – h
TKo,MHg	91.65	d – h
TKo,MNi	91.45	d – h
TKo,MCd	91.35	d – h
TSo,MNi	90.45	e – h
TSo,MCr	90.15	e – h
TSo,MHg	88.80	f g h
TSo,MCd	88.00	g h
TMi,MHg	88.00	g h
TYo,MHg	87.80	h
TYo,MCd	87.50	h

Tür-metal interaksiyonu ortalamalarına göre, en yüksek çimlenme oranı (%99.60) TFi-MCr interaksiyonu uygulamasında elde edilirken en düşük çimlenme oranı (%87.50) TYo-MCd uygulamasında elde edilmiştir. Fakat TFi-MCr, TFi-MCd, TFi-MNi, TFi-MPb, TFi-MHg, TMi-MNi, TYo-MNi, TMi-MCr, TMi-MCd, TKo-MCr,

TM₁-MPb ve TYo-MCr interaksiyonları arasında ve ayrıca TM₁-MPb, TYo-MCr, TYo-MPb, TSo-MPb, TKo-MPb, TKo-MHg, TKo-MNi, TKo-MCd, TSo-MNi, TSo-MCr, TSo-MHg, TSo-MCd, TM₁-MHg, TYo-MHg ve TYo-MCd interaksiyonları ortalamaları arasında istatistiki bir fark yoktur.

Tür-metal interaksiyonun çimlenme oranı üzerindeki etkisini açıklayan grafik Şekil 4.1.'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Tür-metal interaksiyonuna ait çimlenme oranları sonuçları

Tür-yoğunluk interaksiyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.4.'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Tür-yoğunluk interaksiyonlarının çimlenme oranlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (%)	Gruplar
TFi,Y000	99.60	a
TFi,Y200	99.20	a b
TFi,Y100	99.20	a b
TFi,Y400	98.40	a b c
TFi,Y800	98.00	a b c
TM ₁ ,Y200	97.25	a – d
TM ₁ ,Y400	95.50	a – e
TKo,Y100	94.05	b – f
TKo,Y000	93.90	b – f
TM ₁ ,Y000	93.50	c – f
TKo,Y200	93.45	c – f
TSo,Y000	93.35	c – f
TYo,Y000	93.15	c – f
TM ₁ ,Y100	92.50	d – g

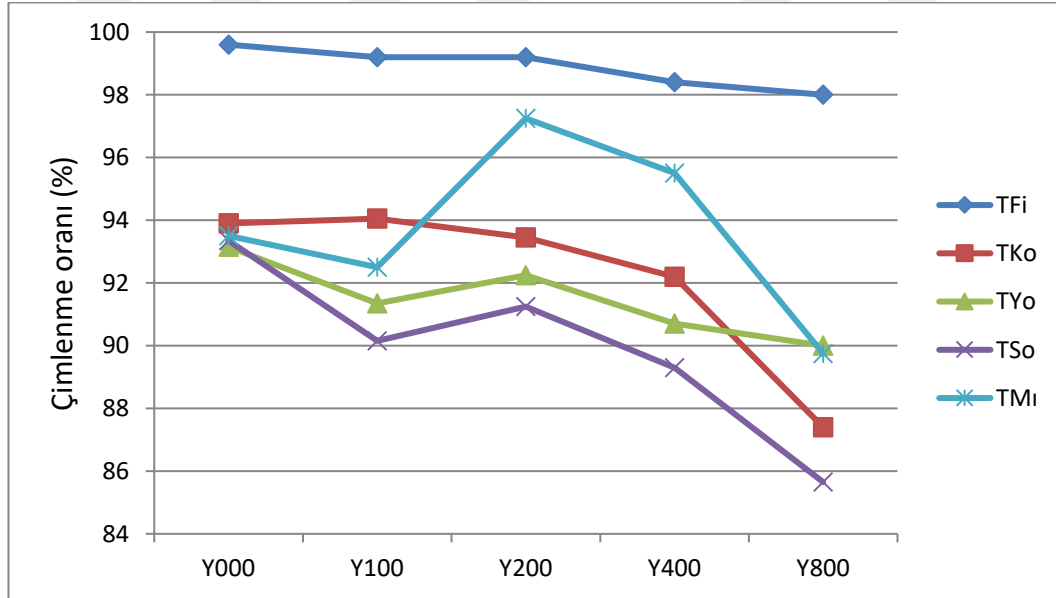
Devamı arkada

Çizelge 4.4.'ün devamı

Uygulamalar	Ortalama (%)	Gruplar
TYo,Y200	92.25	d – g
TKo,Y400	92.20	d – g
TYo,Y100	91.35	e f g
TSo,Y200	91.25	e f g
TYo,Y400	90.70	e – h
TSo,Y100	90.15	e – h
TYo,Y800	90.00	f g h
TMı,Y800	89.75	f g h
TSo,Y400	89.30	f g h
TKo,Y800	87.40	g h
TSo,Y800	85.65	h

Tür-yoğunluk interaksionu ortalamalarını incelediğimiz zaman, en yüksek çimlenme oranı (%99.60) TFi-Y000 interaksionunda elde edilirken en düşük çimlenme oranı (%85.65) TSo-Y800 interaksionunda elde edilmiştir. Ancak TFi-Y000, TFi-Y200, TFi-Y100, TFi-Y400, TFi-Y800, TMı-Y200 ve TMı-Y400 interaksionları arasında ve ayrıca TYo-Y400, TSo-Y100, TYo-Y800, TMı-Y800, TSo-Y400, TKo-Y800 ve TSo-Y800 interaksionları ortalamaları arasında istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır.

Tür-yoğunluk interaksionunun çimlenme oranı üzerindeki etkisini açıklayan grafik Şekil 4.2.'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Tür-yoğunluk interaksionuna ait çimlenme oranları sonuçları

Metal-yoğunluk interaksionlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.5.'de verilmiştir.

Metal-yoğunluk interaksyonu ortalamalarını incelediğimiz zaman, en yüksek çimlenme oranı (%95.45) MNi-Y000 interaksyonu uygulamasında elde edilirken en düşük çimlenme oranı (%81.90) ise MHg-Y800 interaksyonu uygulamasında elde edilmiştir. Fakat MNi-Y000, MPb-Y200, MCr-Y800, MCr-Y200, MCr-Y000, MHg-Y000, MNi-Y800, MHg-Y200, MNi-Y200, MPb-Y400, MCd-Y400, MPb-Y000, MNi-Y400, MCr-Y400, MNi-Y100, MCr-Y100, MHg-Y100, MCd-Y000, MCd-Y200, MCd-Y100, MPb-Y800 ve MPb-Y100 interaksyonları arasında ve ayrıca MCd-Y800 ve MHg-Y800 interaksyonları ortalamaları arasında istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır.

Çizelge 4.5. Metal-yoğunluk interaksyonlarının çimlenme oranlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

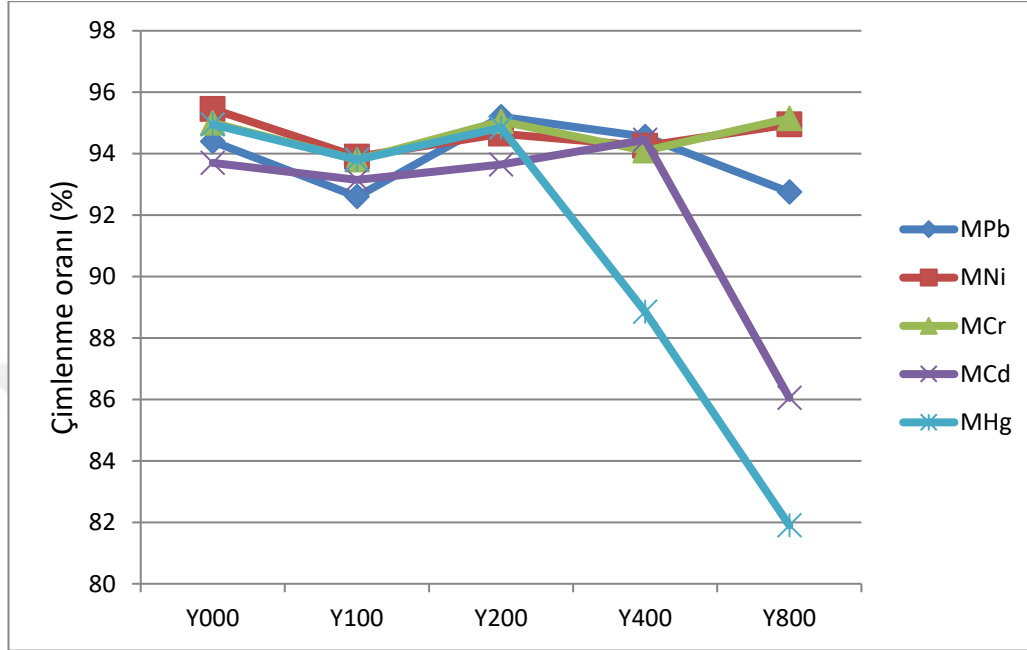
Uygulamalar	Ortalama (%)	Gruplar
MNi,Y000	95.45	a
MPb,Y200	95.20	a
MCr,Y800	95.15	a
MCr,Y200	95.05	a
MCr,Y000	95.00	a
MHg,Y000	94.95	a
MNi,Y800	94.95	a
MHg,Y200	94.85	a
MNi,Y200	94.65	a
MPb,Y400	94.55	a
MCd,Y400	94.45	a
MPb,Y000	94.40	a
MNi,Y400	94.25	a
MCr,Y400	94.10	a b
MNi,Y100	93.90	a b
MCr,Y100	93.80	a b
MHg,Y100	93.80	a b
MCd,Y000	93.70	a b
MCd,Y200	93.65	a b
MCd,Y100	93.15	a b
MPb,Y800	92.75	a b
MPb,Y100	92.60	a b
MHg,Y400	88.75	b c
MCd,Y800	86.05	c d
MHg,Y800	81.90	d

Tür-metal-yoğunluk interaksyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.6.'da verilmiştir.

Metal-yoğunluk interaksyonu ortalamalarının sonuçlarına baktığımızda, en yüksek çimlenme oranı (%95.45) MNi-Y000 interaksyonu uygulamasında elde edilirken en düşük çimlenme oranı (%81.90) ise MHg-Y800 interaksyonu uygulamasında elde edilmiştir. Fakat MNi-Y000, MPb-Y200, MCr-Y800, MCr-Y200, MCr-Y000, MHg-Y000, MNi-Y800, MHg-Y200, MNi-Y200, MPb-Y400, MCd-Y400, MPb-Y000, MNi-Y400, MCr-Y400, MNi-Y100, MCr-Y100, MHg-Y100, MCd-Y000, MCd-Y200, MCd-

Y100, MPb-Y800 ve MPb-Y100 interaksyonları arasında ve ayrıca MCd-Y800 ve MHg-Y800 interaksyonları ortalamaları arasında istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır.

Metal-yoğunluk interaksyonun çimlenme oranı üzerindeki etkisini açıklayan grafik Şekil 4.3.'de verilmiştir.



Şekil 4.3. Metal-yoğunluk interaksyonuna ait çimlenme oranları sonuçları

Tür-metal-yoğunluk interaksyonunu ortalamalarını incelediğimiz zaman, en yüksek çimlenme oranı (%100.00) TFi-MHg-Y000 interaksyonunu uygulamasında elde edilirken, en düşük çimlenme oranı (%71.25) TM₁-MHg-Y800 interaksyonunu uygulamasında elde edilmiştir. Fakat en yüksek değerler olarak TFi-MHg-Y000 interaksyonundan TYo-MCd-Y200 interaksyonuna kadar ve ayrıca en düşük değer olarak ise TKo-MCd-Y800 interaksyonundan TM₁-MHg-Y800 interaksyonuna kadar olan ortalamalar arasında istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır.

Çizelge 4.6. Tür-metal-yoğunluk interaksyonlarının çimlenme oranlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (%)	Gruplar
TFi,MHg,Y000	100.00	a
TFi,MCr,Y800	100.00	a
TFi,MNi,Y200	100.00	a
TFi,MPb,Y000	100.00	a
TFi,MPb,Y200	100.00	a
TFi,MCr,Y100	100.00	a
TFi,MCr,Y400	100.00	a
TFi,MCd,Y000	100.00	a
TFi,MCd,Y100	100.00	a

Devamı arkada

Çizelge 4.6.'nın devamı

Uygulamalar	Ortalama (%)	Gruplar
TM ₁ ,MCd,Y200	100.00	a
TM ₁ ,MCd,Y400	100.00	a
TFi,MCr,Y200	99.00	a b
TFi,MCd,Y200	99.00	a b
TFi,MCd,Y800	99.00	a b
TFi,MPb,Y100	99.00	a b
TFi,MNi,Y000	99.00	a b
TFi,MNi,Y100	99.00	a b
TFi,MCr,Y000	99.00	a b
TFi,MCd,Y400	99.00	a b
TFi,MNi,Y800	99.00	a b
TM ₁ ,MNi,Y800	98.75	a b
TFi,MHg,Y200	98.00	a b
TFi,MHg,Y100	98.00	a b
TFi,MPb,Y400	98.00	a b
TFi,MNi,Y400	98.00	a b
TYo,MNi,Y800	97.75	a b c
TKo,MCr,Y200	97.50	a b c
TSo,MHg,Y000	97.50	a b c
TM ₁ ,MPb,Y200	97.50	a b c
TM ₁ ,MNi,Y200	97.50	a b c
TM ₁ ,MCr,Y000	97.50	a b c
TKo,MHg,Y000	97.50	a b c
TM ₁ ,MCr,Y400	97.50	a b c
TKo,MHg,Y100	97.50	a b c
TM ₁ ,MHg,Y200	97.50	a b c
TYo,MCr,Y800	97.25	a b c
TFi,MHg,Y400	97.00	a b c
TYo,MNi,Y400	97.00	a b c
TFi,MHg,Y800	97.00	a b c
TM ₁ ,MCr,Y800	96.25	a – d
TM ₁ ,MNi,Y400	96.25	a – d
TYo,MCr,Y200	96.00	a – d
TKo,MCr,Y100	96.00	a – d
TYo,MCr,Y000	96.00	a – d
TSo,MHg,Y200	95.75	a – d
TYo,MNi,Y000	95.75	a – d
TYo,MNi,Y200	95.25	a – e
TFi,MPb,Y800	95.00	a – e
TKo,MCd,Y000	95.00	a – e
TSo,MPb,Y000	95.00	a – e
TM ₁ ,MPb,Y800	95.00	a – e
TKo,MPb,Y200	95.00	a – e

Devamı arkada

Çizelge 4.6.'nın devamı

Uygulamalar	Ortalama (%)	Gruplar
TKo,MCr, Y400	95.00	a – e
TSo,MNi, Y000	95.00	a – e
TMi,MCd, Y100	95.00	a – e
TMi,MNi, Y000	95.00	a – e
TYo,MPb, Y400	94.75	a – f
TYo,MNi, Y100	94.50	a – f
TYo,MPb, Y100	94.00	a – f
TSo,MHg, Y100	94.00	a – f
TKo,MNi, Y100	94.00	a – f
TYo,MCd, Y000	94.00	a – f
TSo,MPb, Y400	94.00	a – f
TMi,MNi, Y100	93.75	a – f
TMi,MPb, Y000	93.75	a – f
TMi,MCr, Y200	93.75	a – f
TKo,MPb, Y400	93.50	a – f
TKo,MCr, Y800	93.25	a – f
TKo,MCd, Y400	93.25	a – f
TSo,MPb, Y800	93.25	a – f
TKo,MPb, Y000	93.00	a – f
TYo,MPb, Y800	92.75	a – g
TYo,MPb, Y200	92.75	a – g
TKo,MNi, Y000	92.50	a – g
TSo,MCd, Y200	92.50	a – g
TKo,MCd, Y100	92.50	a – g
TMi,MCr, Y100	92.50	a – g
TMi,MPb, Y400	92.50	a – g
TKo,MNi, Y200	92.25	a – g
TKo,MHg, Y200	91.75	a – g
TSo,MNi, Y800	91.75	a – g
TSo,MCd, Y400	91.75	a – g
TKo,MCr, Y000	91.50	a – g
TYo,MHg, Y200	91.25	a – g
TMi,MPb, Y100	91.25	a – g
TMi,MCd, Y000	91.25	a – g
TMi,MHg, Y400	91.25	a – g
TKo,MNi, Y400	91.00	a – g
TSo,MCr, Y000	91.00	a – g
TSo,MCr, Y400	91.00	a – g
TSo,MPb, Y200	90.75	a – g
TKo,MCd, Y200	90.75	a – g
TSo,MCr, Y100	90.75	a – g
TKo,MPb, Y100	90.25	a – h
TYo,MPb, Y000	90.25	a – h

Devamı arkada

Çizelge 4.6.'nın devamı

Uygulamalar	Ortalama (%)	Gruplar
TM ₁ ,MHg, Y100	90.00	a – h
TM ₁ ,MHg, Y000	90.00	a – h
TYo,MCr, Y100	89.75	a – h
TYo,MHg, Y000	89.75	a – h
TYo,MHg, Y100	89.50	a – h
TSo,MCd, Y100	89.25	a – h
TSo,MCr, Y400	89.00	a – h
TSo,MNi, Y400	89.00	a – h
TSo,MCr, Y200	89.00	a – h
TYo,MCd, Y100	89.00	a – h
TSo,MPb, Y100	88.50	a – h
TKo,MHg, Y400	88.25	a – h
TSo,MCd, Y000	88.25	a – h
TYo,MCd, Y400	88.25	a – h
TSo,MNi, Y100	88.25	a – h
TSo,MNi, Y200	88.25	a – h
TKo,MPb, Y800	87.75	a – h
TKo,MNi, Y800	87.50	a – h
TM ₁ ,MCd, Y800	87.50	a – h
TYo,MCr, Y400	87.00	a – h
TYo,MHg, Y800	86.50	a – h
TYo,MCd, Y200	86.00	a – h
TKo,MCd, Y800	85.25	b – 1
TKo,MHg, Y800	83.25	c – 1
TYo,MHg, Y800	82.00	d – 1
TSo,MHg, Y400	80.75	e – 1
TYo,MCd, Y800	80.25	f – 1
TSo,MCd, Y800	78.25	g h 1
TSo,MHg, Y800	76.00	h 1
TM ₁ ,MHg, Y800	71.25	1

Kurşunun *Lens culinaris* Medik. tohumlarının çimlenmesi, kök gelişimi ve kök ucu mitotik hücreleri üzerine etkilerinin incelendiği bir çalışmada 0 mM'dan 1 mM'a kadar artan kurşun yoğunluğunda tohumların çimlenme oranının azaldığı bildirilmiştir (Şahin ve Kıran 2005). Kadmiyumun *Vicia peregrina* L. tohumlarının çimlenmesi, kök gelişimi ve kök ucu hücreleri üzerindeki etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada ise 0 mM'dan 2 mM'a kadar artan kadmiyum yoğunluğunda çimlenme oranının azaldığı belirtilmiştir (Gedik vd. 2015). Bazı mısır çeşitlerinin ağır metal (kadmiyum ve kurşun) stresi altında çimlenme ve erken fide gelişimlerinin araştırıldığı bir çalışmada ağır metal yoğunluklarındaki artışa bağlı olarak mısır çeşitlerinin çimlenme oranlarında önemli bir değişimin olmadığı bildirilmiştir (Ayhan vd. 2007). Yonca (*Medicago sativa* L.) tohumlarının 40 ppm'lik krom toksisitesi altında çimlenmesinin %23 oranında azaldığı bulunmuştur (Peralta vd. 2001). 200 µM Cr toksisitesinin yabancı *Echinochloa* bitkisinin tohum çimlenmesini %25 oranında azalttığı belirtilmiştir (Rout vd. 2000). Çeltik tohumlarının çimlenmesi ve ilk fide gelişimi üzerine 0, 10, 50, 100, 200, 400 ve 800

ppm'lik Cr konsantrasyonlarının etkisinin araştırıldığı bir çalışmada krom konsantrasyonu yoğunluğu arttıkça çimlenme oranının azaldığı bildirilmiştir. Ayrıca 800 ppm yoğunluğunun öldürücü etkide olduğu ve 10 ppm yoğunluğun ise çok az olumsuz etkide bulunduğu bahsedilmiştir (Gyawali ve Lekhak 2006). Çemen (*Trigonella foenum-graceum* L.) çimlenmesi ve ilk fide gelişimi üzerine 200, 400, 600, 800 ve 1000 µg/mL yoğunluğundaki sodyum dikromatın etkisinin incelendiği bir çalışmada, sodyum dikromat yoğunluğu arttıkça çimlenme oranının azaldığı bildirilmiştir (Dabhi vd. 2005). Yoncanın (*Medicago sativa* L.) çimlenmesi üzerine 5, 10, 20 ve 40 ppm'lik Cd, Cr ve Ni'in etkisinin incelendiği bir araştırmada, ağır metallerin konsantrasyonlarının artmasıyla birlikte çimlenme oranlarının azaldığı belirtilmiştir. Ayrıca toksikolojik etki açısından ağır metaller Cd>Cr>Ni şeklinde sıralanmıştır (Peralta vd. 2001). *Tagetes erecta*, *Zinnia elegans*, *Dianthus chabud* ve *Impatiens balsamina* bitki türlerinin çimlenmesi üzerine Cd, Ni ve Pb'un etkisinin araştırıldığı bir çalışmada ise bu ele alınan ağır metallerin yoğunluğunun artması ile birlikte bu bitki türlerinin çimlenme oranları olumsuz etkilenmiştir (Sharma vd. 2004). İki ticari çeltik çeşidi üzerinde kurşun ve cıvanın etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, ağır metal yoğunluklarının artmasıyla birlikte çimlenme oranlarının azaldığı bulunmuştur (Mishra ve Choudhuri 1998). Prodanovic vd. (2016) *Picea omorika* bitkisinde 1 mM Cd konsantrasyonunun tohum çimlenmesini engellediğini rapor etmişlerdir. Liu vd. (2012) 200-300 µmol L⁻¹ Cd yoğunluğunun çimlenme oranını *Solanum nigrum* bitkisinde önemli derecede kısıtladığını belirtmişlerdir. Ahmad vd. (2013) *Triticum aestivum* bitkisinin çimlenmesini 20 mg L⁻¹ Cd dozunun azalttığını bildirmişlerdir. Yine Abraham vd. (2013) sırasıyla Cd ve Pb ağır metallerinin 75 ve 100 mg L⁻¹ konsantrasyonlarının *Arachis hypogea* bitkisinin çimlenme oranını düşürdüğünü rapor etmişlerdir. Muhammad vd. (2015) cıvanın 1 mM'lık yoğunlukta *Vigna radiata* bitkisinin çimlenmesine olumsuz etkide bulunmadığını fakat 3 mM'lık yoğunlukta çimlenmeyi azalttığını bildirmişlerdir. Ayrıca mercimek bitkisinde 0.5 mM Pb konsantrasyonunun çimlenmeyi kısıtladığı bildirilmiştir (Cokkizgin ve Cokkizgin 2015).

Bu çalışmada ele alınan metal türlerinin yoğunluklarının artmasıyla birlikte tüm bitki türlerinin çimlenme oranları olumsuz yönde etkilenmiştir. Yukarıda ağır metaller üzerine yapılmış bazı çalışmaların çimlenme üzerine etkilerinin sonuçları verilmiştir. Çoğu araştırma sonucu, bizim bulgularımızı destekler niteliktedir. Böyle bir sonucun ortaya çıkmasının temel sebebi Zeid (2001)'in bildirdiği şekilde ağır metal stresi altında çimlenme boyunca amino asitleri ve şekerleri tedarik eden protein ve nişasta hidrolizinin meydana gelmesinde sıkıntılar olduğu, ayrıca ağır metal toksisitesi altında α ve β amilaz enzimlerinde azalışa sebep olarak embriyo ekseninin gelişiminin ve çimlenmenin etkilendiğini söyleyebiliriz. Diğer taraftan ağır metal toksisitesi ile birlikte proteaz aktivitesi artabilir ve bunun sonucunda ağır metala maruz kalmış tohumlarda çimlenme olumsuz etkilenebilir.

4.2. Çimlenme İndeksi

Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında bitki türlerinin çimlenme indeksi değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında bitki türlerinin çimlenme indeksi değerlerine ait varyans analizi sonuçları

VK	SD	KO	F
Tekerrür	3	6.30	2.33
Tür	4	9607.31	3559.54**
Hata 1	12	2.69	
Metal	4	57.27	27.05**
Tür*Metal	16	34.83	16.45**
Hata 2	60	2.11	
Yoğunluk	4	59.60	27.94**
Tür*Yoğunluk	16	8.42	3.94**
Metal*Yoğunluk	16	16.63	7.79**
Tür*Metal*Yoğunluk	64	9.25	4.34**
Hata	300	2.10	
Genel	499		

** : $P \leq 0.01$ * : $P \leq 0.05$

Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında bitki türlerinin varyans analizi sonuçlarına baktığımız zaman, çimlenme indeksleri açısından türler, metaller, tür-metal interaksyonları, yoğunluk, tür-yoğunluk, metal-yoğunluk interaksyonları ve tür-metal-yoğunluk interaksyonları %1 hata payında önemli bulunmuştur.

Tür, metal ve yoğunluk faktörlerine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.8.'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Tür, metal ve yoğunluk faktörlerinin çimlenme indekslerine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

	Ortalama	Gruplar		Ortalama	Gruplar		Ortalama	Ortalama
TYo	32.25	a	MCr	19.28	a	Y000	19.30	a
TSo	25.27	b	MNi	19.02	a	Y100	18.91	a b
TFi	13.49	c	MPb	18.96	a	Y200	18.85	a b
TKo	13.02	c	MHg	18.03	b	Y400	18.45	b
TMi	8.79	d	MCd	17.50	b	Y800	17.29	c

Türler arasında TYo türü en yüksek çimlenme indeksini (32.25) verirken TMi türü ise en düşük çimlenme indeksini (8.79) vermiştir. Metallerin çimlenme indeksi üzerine etkisini incelediğimiz zaman MCr en yüksek çimlenme indeksini (19.28) verirken, en düşük çimlenme indeksi (17.50) MCd uygulamasında ortaya çıkmıştır. Ancak MCr, MNi ve MPb uygulamaları ve ayrıca MHg ve MCd uygulamaları arasında istatistiki bir fark yoktur. Yoğunluk uygulamalarını incelediğimizde, en yüksek çimlenme indeksi (19.30) Y000 uygulamasında elde edilirken en düşük çimlenme indeksi (17.29) Y800 uygulamasında elde edilmiştir. Fakat Y000, Y100 ve Y200 uygulamaları arasında istatistiki bir fark yoktur.

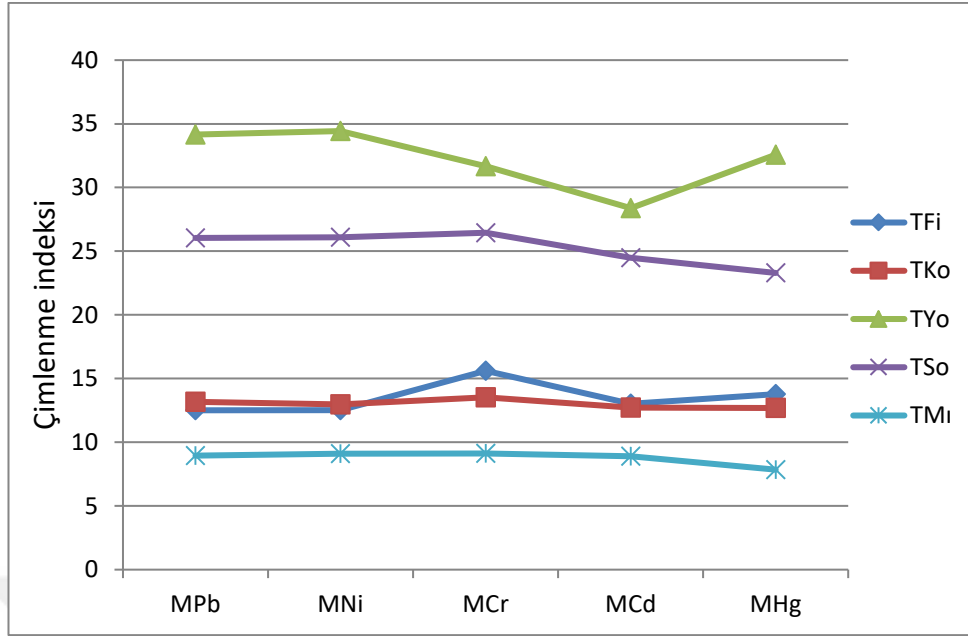
Tür-metal interaksyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.9.'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Tür-metal interaksiyonlarının çimlenme indeksine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama	Gruplar
TYo,MNi	34.43	a
TYo,MPb	34.17	a b
TYo,MHg	32.57	b c
TYo,MCr	31.68	c
TYo,MCd	28.38	d
TSo,MCr	26.45	e
TSo,MNi	26.09	e f
TSo,MPb	26.03	e f
TSo,MCd	24.48	f g
TSo,MHg	23.29	g
TFi,MCr	15.61	h
TFi,MHg	13.77	1
TKo,MCr	13.53	1
TKo,MPb	13.17	1
TFi,MCd	13.02	1
TKo,MNi	12.98	1
TKo,MCd	12.72	1
TKo,MHg	12.69	1
TFi,MNi	12.53	1
TFi,MPb	12.51	1
TM ₁ ,MCr	9.12	j
TM ₁ ,MNi	9.10	j
TM ₁ ,MPb	8.94	j
TM ₁ ,MCd	8.91	j
TM ₁ ,MHg	7.85	j

Tür-metal interaksiyonu ortalamalarını incelediğimiz zaman, en yüksek çimlenme indeksi (34.43) TYo-MNi interaksiyonu uygulamasında elde edilirken en düşük çimlenme indeksi (7.85) TM₁-MHg uygulamasında elde edilmiştir. Fakat TYo-MNi ve TYo-MPb interaksiyonları arasında ve ayrıca TM₁-MCr, TM₁-MNi, TM₁-MPb, TM₁-MCd ve TM₁-MHg interaksiyonları ortalamaları arasında istatistiki bir fark yoktur.

Tür-metal interaksiyonunun çimlenme indeksi üzerindeki etkisini açıklayan grafik Şekil 4.4.'de verilmiştir.



Şekil 4.4. Tür-metal interaksyonuna ait çimlenme indeksi sonuçları

Tür-yoğunluk interaksyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.10.'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Tür-yoğunluk interaksyonlarının çimlenme indeksine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama	Gruplar
TYo,Y000	33.22	a
TYo,Y100	33.19	a
TYo,Y200	32.50	a
TYo,Y400	32.04	a
TYo,Y800	30.29	b
TSo,Y000	26.66	c
TSo,Y200	26.34	c
TSo,Y100	25.86	c
TSo,Y400	24.61	d
TSo,Y800	22.88	d
TFi,Y000	14.50	e
TFi,Y100	13.57	f
TKo,Y000	13.45	f
TFi,Y400	13.43	f
TKo,Y100	13.33	f
TKo,Y200	13.19	f
TKo,Y400	13.11	f
TFi,Y200	13.10	f
TFi,Y800	12.84	f
TKo,Y800	12.01	g

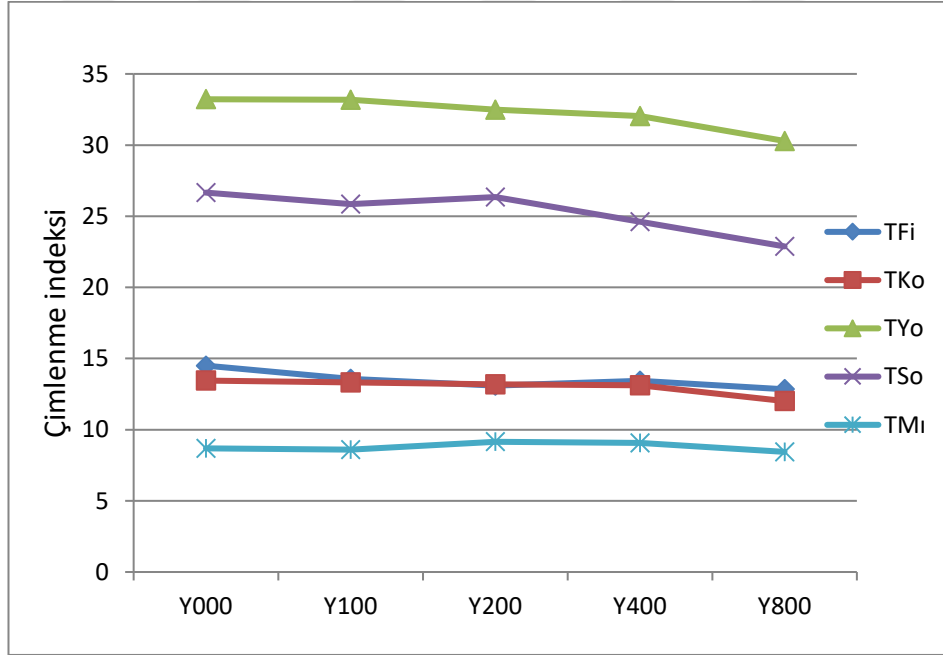
Devamı arkada

Çizelge 4.10.'nun devamı

Uygulamalar	Ortalama	Gruplar
TM ₁ ,Y200	9.15	h
TM ₁ ,Y400	9.06	
TM ₁ ,Y000	8.69	
TM ₁ ,Y100	8.60	
TM ₁ ,Y800	8.44	

Tür-yoğunluk interaksyonu ortalamalarını incelediğimiz zaman, en yüksek çimlenme indeksi (33.22) TYo-Y000 interaksyonunda elde edilirken en düşük çimlenme indeksi (8.44) TM₁-Y800 interaksyonunda elde edilmiştir. Ancak TYo-Y000, TYo-Y100, TYo-Y200 ve TYo-Y400 interaksyonları arasında ve ayrıca TM₁-Y200, TM₁-Y400, TM₁-Y000, TM₁-Y100 ve TM₁-Y800 interaksyonları ortalamaları arasında istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır.

Tür-yoğunluk interaksyonunun çimlenme indeksi üzerindeki etkisini açıklayan grafik Şekil 4.5.'de verilmiştir.

**Şekil 4.5.** Tür-yoğunluk interaksyonuna ait çimlenme indeksi sonuçları

Metal-yoğunluk interaksyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.11.'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Metal-yoğunluk interaksyonlarının çimlenme indeksine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama	Gruplar
MCr,Y000	19.80	a
MHg,Y000	19.58	

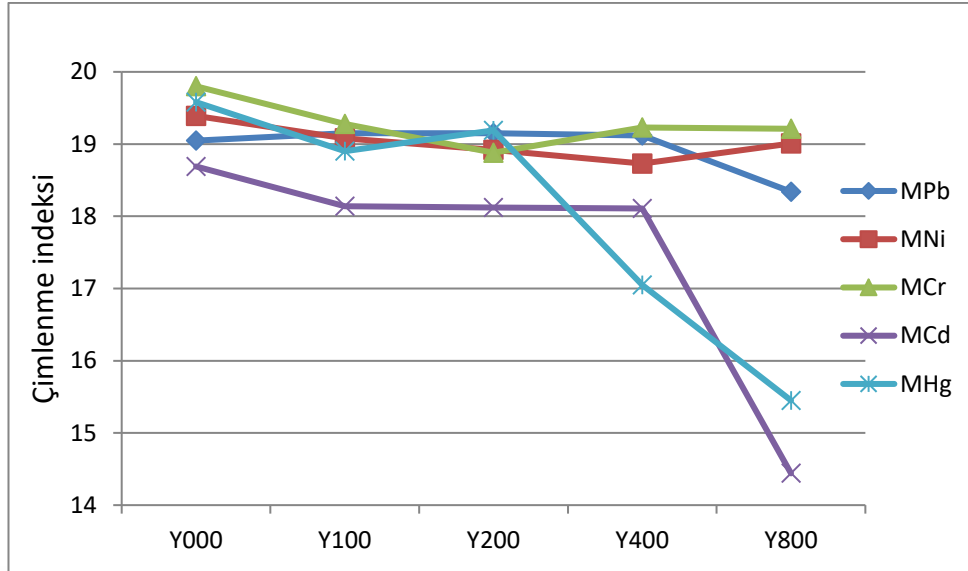
Devamı arkada

Çizelge 4.11.'in devamı

Uygulamalar	Ortalama	Gruplar
MNi, Y000	19.39	a
MCr, Y100	19.28	a
MCr, Y400	19.23	a
MCr, Y800	19.21	a
MHg, Y200	19.19	a
MPb, Y200	19.15	a
MPb, Y100	19.15	a
MPb, Y800	19.12	a
MNi, Y100	19.08	a
MPb, Y000	19.05	a
MNi, Y800	19.01	a
MNi, Y400	18.92	a
MHg, Y100	18.90	a
MCr, Y200	18.88	a
MNi, Y400	18.73	a b
MCd, Y000	18.69	a b
MPb, Y800	18.34	a b
MCd, Y100	18.14	a b
MCd, Y200	18.12	a b
MCd, Y400	18.11	a b
MHg, Y400	17.05	b c
MHg, Y800	15.45	c d
MCd, Y800	14.44	d

Metal-yoğunluk interaksyonu ortalamalarına göre, en yüksek çimlenme indeksi (19.80) MCr-Y000 interaksyonu uygulamasında elde edilirken en düşük çimlenme indeksi (14.44) ise MCd-Y800 interaksyonu uygulamasında elde edilmiştir. Fakat MCr-Y000, MHg-Y000, MNi-Y000, MCr-Y100, MCr-Y400, MCr-Y800, MHg-Y200, MPb-Y200, MPb-Y100, MPb-Y800, MNi-Y100, MPb-Y000, MNi-Y800, MNi-Y400, MHg-Y100, MCr-Y200, MNi-Y400, MCd-Y000, MPb-Y800, MCd-Y100, MCd-Y200 ve MCd-Y400 interaksyonları arasında ve ayrıca MHg-Y800 ve MCd-Y800 interaksyonları ortalamaları arasında istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır.

Metal-yoğunluk interaksyonunun çimlenme indeksi üzerindeki etkisini açıklayan grafik Şekil 4.6.'da verilmiştir.



Şekil 4.6. Metal-yoğunluk interaksyonuna ait çimlenme indeksi sonuçları

Tür-metal-yoğunluk interaksyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.12.'de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Tür-metal-yoğunluk interaksyonlarının çimlenme indeksine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama	Gruplar
TYo,MPb,Y100	36.12	a
TYo,MNi,Y800	35.50	a b
TYo,MNi,Y100	35.08	a b
TYo,MNi,Y000	34.25	a b c
TYo,MPb,Y200	34.17	a b c
TYo,MNi,Y200	34.08	a b c
TYo,MPb,Y400	33.79	a - d
TYo,MCr,Y200	33.71	a - d
TYo,MPb,Y000	33.46	a - d
TYo,MPb,Y800	33.33	a - d
TYo,MNi,Y400	33.25	a - d
TYo,MCd,Y000	32.96	a - d
TYo,MHg,Y400	32.83	a - d
TYo,MHg,Y000	32.79	a - d
TYo,MCr,Y000	32.67	a - e
TYo,MHg,Y100	32.54	a - e
TYo,MCr,Y800	32.25	a - e
TYo,MCr,Y100	31.92	a - f
TYo,MCr,Y200	31.17	b - g
TYo,MHg,Y800	31.00	b - h
TYo,MCr,Y400	30.42	c - i

Devamı arkada

Çizelge 4.12.'nin devamı

Uygulamalar	Ortalama	Gruplar
TYo,MCd,Y100	30.29	c - ı
TYo,MCd,Y400	30.92	c - j
TYo,MCd,Y200	29.38	d - k
TSo,MHg,Y000	28.17	e - l
TSo,MNi,Y000	27.52	f - l
TSo,MHg,Y200	27.40	f - l
TSo,MCr,Y400	27.06	g - l
TSo,MPb,Y000	26.90	g - l
TSo,MPb,Y400	26.67	g - l
TSo,MCr,Y100	26.60	g - l
TSo,MCd,Y200	26.42	h - l
TSo,MCr,Y200	26.38	ı - l
TSo,MHg,Y100	26.29	ı - l
TSo,MNi,Y800	26.23	ı - l
TSo,MCr,Y800	26.13	ı - l
TSo,MCr,Y000	26.13	ı - l
TSo,MPb,Y200	26.02	ı - l
TSo,MNi,Y400	25.88	ı - l
TSo,MCd,Y100	25.63	j k l
TSo,MNi,Y200	25.50	j k l
TSo,MPb,Y100	25.46	j k l
TSo,MNi,Y100	25.33	j k l
TSo,MCd,Y400	25.19	k l
TSo,MPb,Y800	25.15	k l
TSo,MCd,Y000	24.63	l m
TSo,MCd,Y800	20.58	m n
TYo,MCd,Y800	19.38	n o
TSo,MHg,Y400	18.27	n o p
TFi,MCr,Y000	17.46	n - q
TSo,MHg,Y800	16.35	n - r
TFi,MCr,Y400	16.25	n - r
TFi,MHg,Y000	15.83	o - s
TFi,MCr,Y100	15.29	o - t
TFi,MCr,Y800	15.12	o - t
TFi,MHg,Y100	14.83	o - t
TFi,MCr,Y200	13.96	p - u
TKo,MCr,Y200	13.96	p - u
TFi,MCd,Y000	13.87	p - u
TKo,MCr,Y100	13.75	p - v
TKo,MPb,Y400	13.69	p - w
TKo,MHg,Y000	13.63	q - x
TKo,MHg,Y100	13.60	q - z
TKo,MNi,Y100	13.54	q - z

Devamı arkada

Çizelge 4.12.'nin devamı

Uygulamalar	Ortalama	Gruplar
TKo,MCd,Y400	13.50	q – z
TKo,MPb,Y000	13.46	q – a1
TKo,MNi,Y000	13.44	q – b1
TKo,MCr,Y000	13.38	q – b1
TKo,MCd,Y000	13.35	q – c1
TKo,MCr,Y400	13.29	q – c1
TKo,MCr,Y800	13.29	q – c1
TKo,MPb,Y200	13.25	q – d1
TKo,MNi,Y200	13.21	q – d1
TFi,MHg,Y400	13.13	q – d1
TFi,MPb,Y200	13.12	q – d1
TKo,MHg,Y200	13.04	q – d1
TKo,MPb,Y100	13.02	q – d1
TFi,MCd,Y100	13.00	q – d1
TFi,MCd,Y200	12.88	q – d1
TFi,MNi,Y000	12.87	q – d1
TFi,MHg,Y200	12.83	r – d1
TKo,MNi,Y400	12.79	r – d1
TKo,MCd,Y100	12.77	r – e1
TFi,MNi,Y200	12.75	r – e1
TFi,MCd,Y400	12.75	r – e1
TFi,MCd,Y800	12.63	r – e1
TFi,MNi,Y400	12.54	r – e1
TKo,MCd,Y200	12.50	r – e1
TFi,MPb,Y000	12.50	r – e1
TFi,MPb,Y100	12.50	r – e1
TFi,MPb,Y400	12.50	r – e1
TKo,MPb,Y800	12.44	r – e1
TKo,MHg,Y400	12.29	r – e1
TFi,MHg,Y800	12.25	r – e1
TFi,MNi,Y800	12.25	r – e1
TFi,MNi,Y100	12.25	r – e1
TKo,MNi,Y800	11.96	r – f1
TFi,MPb,Y800	11.96	r – f1
TKo,MCd,Y800	11.48	s – g1
TKo,MHg,Y800	10.90	t – h1
TMi,MCd,Y200	9.47	u – h1
TMi,MCr,Y000	9.40	u – h1
TMi,MCr,Y800	9.27	v – h1
TMi,MPb,Y200	9.24	v – h1
TMi,MNi,Y100	9.22	v – h1
TMi,MCd,Y400	9.21	v – h1
TMi,MNi,Y400	9.20	v – h1

Devamı arkada

Çizelge 4.12.'nin devamı

Uygulamalar	Ortalama	Gruplar
TM ₁ ,MCr,Y400	9.15	v – h1
TM ₁ ,MNi,Y800	9.13	w – h1
TM ₁ ,MNi,Y200	9.07	x – h1
TM ₁ ,MCd,Y100	9.04	x – h1
TM ₁ ,MHg,Y200	9.00	y – h1
TM ₁ ,MPb,Y400	9.00	z – h1
TM ₁ ,MCr,Y200	8.98	z – h1
TM ₁ ,MPb,Y000	8.95	z – h1
TM ₁ ,MNi,Y000	8.90	a1 – h1
TM ₁ ,MPb,Y800	8.87	a1 – h1
TM ₁ ,MCr,Y100	8.84	b1 – h1
TM ₁ ,MHg,Y400	8.77	c1 – h1
TM ₁ ,MCd,Y000	8.69	d1 – h1
TM ₁ ,MPb,Y100	8.67	d1 – h1
TM ₁ ,MCd,Y800	8.18	e1 – h1
TM ₁ ,MHg,Y000	7.52	f1 g1 h1
TM ₁ ,MHg,Y100	7.24	g1 h1
TM ₁ ,MHg,Y800	6.77	h1

Tür-metal-yoğunluk interaksyonu ortalamalarına baktığımız zaman, en yüksek çimlenme indeksi (36.12) TYo-MPb-Y100 interaksyonu uygulamasında elde edilirken, en düşük çimlenme indeksi (6.77) TM₁-MHg-Y800 interaksyonu uygulamasında elde edilmiştir. Fakat en yüksek değerler arasında TYo-MPb-Y100 interaksyonundan TYo-MCr-Y100 interaksyonuna ve ayrıca en düşük değerler arasında ise TKo-MHg-Y800, TM₁-MHg-Y800 interaksyonuna kadar istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır.

Ispanakta nikelin çimlenme indeksi üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada, en yüksek çimlenme indeksi 25 mg L⁻¹ ve kontrol uygulamasında bulunurken, en düşük çimlenme indeksi ise 800 mg L⁻¹ nikel uygulamasında bulunmuştur. Fakat 50 mg L⁻¹ nikel uygulamasından sonra çimlenme indeksinin azalmaya başladığı bildirilmiştir (Akıncı ve Akıncı 2011). Yirmibir tane ticari İtalyan çimi çeşidinin kadmiyum toksisitesi altında incelendiği bir çalışmada, nispi çimlenme indeksinin 0'dan 1000 µmol L⁻¹'e artan kadmiyum yoğunluklarında azaldığı belirtilmiştir (Fang vd. 2017). Çeltikte kadmiyum stresi altında çimlenme indeksinin kontrolle kıyaslandığı zaman 100 µM'da önemli ölçüde kısıtlandığı rapor edilmiştir (He vd. 2014). İn vitro doku kültürü şartlarında Cd, Cr ve Pb elementlerinin 0, 2.5 ve 5 g L⁻¹ yoğunluklarında *Brassica rapa* var. *turnip* bitkisinin çimlenme indeksini yoğunluk arttıkça azaltmıştır (Siddiqui vd. 2014).

Bu tez çalışmasında her metal türünün yoğunluğu arttıkça tüm bitki türlerinin çimlenme indeksi azalmıştır. Fakat metal türünün değişimi ile birlikte azalış seyirleri değişmiştir. Yukarıda bahsi geçen tüm araştırmalar bu çalışmayı destekler niteliktedir.

4.3. Ortalama Çimlenme Süresi (gün)

Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında bitki türlerinin ortalama çimlenme süresi değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.13.'de verilmiştir.

Çizelge 4.13. Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında bitki türlerinin ortalama çimlenme süresi değerlerine ait varyans analizi sonuçları

VK	SD	KO	F
Tekerrür	3	0.03	2.72
Tür	4	26.52	2014.22**
Hata 1	12	0.01	
Metal	4	0.33	16.46**
Tür*Metal	16	0.16	8.12**
Hata 2	60	0.02	
Yoğunluk	4	0.19	10.10**
Tür*Yoğunluk	16	0.04	2.30**
Metal*Yoğunluk	16	0.03	1.60
Tür*Metal*Yoğunluk	64	0.05	2.84**
Hata	300	0.02	
Genel	499		

** : $P \leq 0.01$ * : $P \leq 0.05$

Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında bitki türlerinin varyans analizi sonuçlarına baktığımız zaman, ortalama çimlenme süreleri açısından türler, metaller, tür-metal interaksiyonları, yoğunluk, tür-yoğunluk, ve tür-metal-yoğunluk interaksiyonları %1 düzeyinde önemli fakat metal-yoğunluk interaksiyonları önemsiz bulunmuştur.

Tür, metal ve yoğunluk faktörlerine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.14.'de verilmiştir.

Çizelge 4.14. Tür, metal ve yoğunluk faktörlerinin ortalama çimlenme süresine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

	Ortalama (gün)	Gruplar		Ortalama (gün)	Gruplar		Ortalama (gün)	Gruplar
TM ₁	2.24	a	MHg	1.83	a	Y800	1.83	a
TKo	2.20	a	MCd	1.81	a	Y400	1.76	b
TFi	1.94	b	MPb	1.74	b	Y200	1.75	b
TYo	1.25	c	MNi	1.74	b	Y100	1.74	b
TSo	1.17	d	MCr	1.68	c	Y000	1.72	b

Ortalama çimlenme süresi bakımından en yüksek değerler TM₁ (2.24 gün) ve TKo'da (2.20 gün) elde edilirken, en düşük değer TSo'da (1.17 gün) elde edilmiştir. Metallerin ortalama çimlenme süresi üzerine etkisini incelediğimiz zaman MHg en yüksek ortalama çimlenme süresini (1.83 gün) verirken, en düşük ortalama çimlenme süresi (1.68 gün) MCr uygulamasında ortaya çıkmıştır. Ancak MHg ve MCd uygulamaları arasında istatistikî bir fark yoktur. Bu durum ağır metal yoğunlukları

arttıkça çimlenme süresinin uzadığını göstermektedir. Yoğunluk uygulamalarını incelediğimizde, en yüksek ortalama çimlenme süresi (1.83 gün) Y800 uygulamasında elde edilirken en düşük ortalama çimlenme süresi (1.72 gün) ortalama çimlenme süresi bakımından hepsi aynı gruba girmiştir.

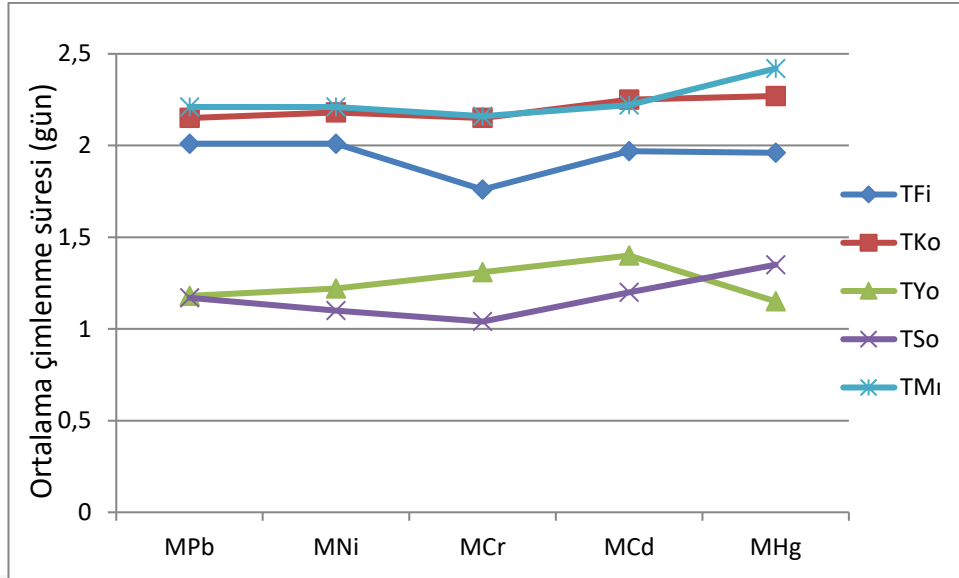
Tür-metal interaksiyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.15.'de verilmiştir.

Çizelge 4.15. Tür-metal interaksiyonlarının ortalama çimlenme süresine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (gün)	Gruplar
TM ₁ ,MHg	2.42	a
TKo,MHg	2.27	a b
TKo,MCd	2.25	a b
TM ₁ ,MCd	2.22	b
TM ₁ ,MNi	2.21	b
TM ₁ ,MPb	2.21	b
TKo,MNi	2.18	b c
TM ₁ ,MCr	2.16	b c
TKo,MPb	2.15	b c
TKo,MCr	2.15	b c
TFi,MNi	2.01	c d
TFi,MPb	2.01	c d
TFi,MCd	1.97	d
TFi,MHg	1.96	d
TFi,MCr	1.76	e
TYo,MCd	1.40	f
TSo,MHg	1.35	f g
TYo,MCr	1.31	f g h
TYo,MNi	1.22	g h ı
TSo,MCd	1.20	g - j
TYo,MPb	1.18	g - j
TSo,MPb	1.17	h ı j
TYo,MHg	1.15	h ı j
TSo,MNi	1.10	ı j
TSo,MCr	1.04	j

Tür-metal interaksiyonu ortalamalarını incelediğimizde, en yüksek ortalama çimlenme süresi (2.42 gün) TM₁-MHg interaksiyonu uygulamasında elde edilirken en düşük ortalama çimlenme süresi (1.04 gün) TSo-MCr uygulamasında elde edilmiştir. Fakat TM₁-MHg, TKo-MHg ve TKo-MCd interaksiyonları arasında ve ayrıca TSo-MCd, TYo-MPb, TSo-MPb, TYo-MHg, TSo-MNi ve TSo-MCr interaksiyonları ortalamaları arasında istatistiki bir fark yoktur.

Tür-metal interaksiyonunun ortalama çimlenme süresi üzerindeki etkisini açıklayan grafik Şekil 4.7.'de verilmiştir.



Şekil 4.7. Tür-metal interaksiyonlarına ait ortalama çimlenme süresi sonuçları

Tür-yoğunluk interaksiyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.16.'da verilmiştir.

Çizelge 4.16. Tür-yoğunluk interaksiyonlarının ortalama çimlenme süresine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (gün)	Gruplar
TKo,Y800	2.28	a
TMi,Y100	2.28	a
TMi,Y000	2.27	a
TMi,Y800	2.24	a
TMi,Y200	2.24	a
TKo,Y200	2.21	a
TKo,Y400	2.19	a
TMi,Y400	2.19	a
TKo,Y100	2.17	a b
TKo,Y000	2.15	a b
TFi,Y800	2.02	b c
TFi,Y200	1.97	c d
TFi,Y400	1.94	c d
TFi,Y100	1.93	c d
TFi,Y000	1.84	d
TYo,Y800	1.34	e
TSo,Y800	1.31	e
TYo,Y200	1.25	e f
TYo,Y400	1.24	e f
TYo,Y000	1.23	e f
TSo,Y400	1.22	e f

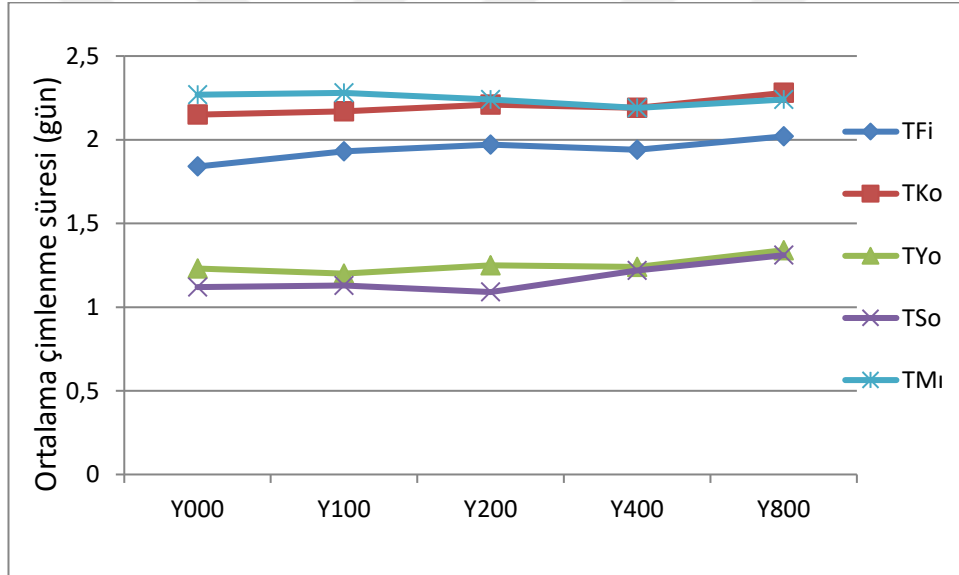
Devamı arkada

Çizelge 4.16.'nın devamı

Uygulamalar	Ortalama (gün)	Gruplar
TYo,Y100	1.20	e f
TSo,Y100	1.13	f
TSo,Y000	1.12	f
TSo,Y200	1.09	f

Tür-yoğunluk interaksyonu ortalamaları incelediğinde, en yüksek ortalama çimlenme süresi (2.28 gün) TKo-Y800 interaksyonunda elde edilirken en düşük ortalama çimlenme süresi (1.09 gün) TSo-Y200 interaksyonunda elde edilmiştir. Ancak TKo-Y800, TMı-Y100, TMı-Y000, TMı-Y800, TMı-Y200, TKo-Y200, TKo-Y400, TMı-Y400, TKo-Y100 ve TKo-Y000 interaksyonları arasında ve ayrıca TYo-Y200, TYo-Y400, TYo-Y000, TSo-Y400, TYo-Y100, TSo-Y100, TSo-Y000 ve TSo-Y200 interaksyonları ortalamaları arasında istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır.

Tür-yoğunluk interaksyonunun ortalama çimlenme süresi üzerindeki etkisini açıklayan grafik Şekil 4.8.'de verilmiştir.

**Şekil 4.8.** Tür-yoğunluk interaksyonuna ait ortalama çimlenme süresi sonuçları

Metal-yoğunluk interaksyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.17.'de verilmiştir.

Çizelge 4.17. Metal-yoğunluk interaksyonlarının ortalama çimlenme süresine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (gün)	Gruplar
MCd,Y800	1.95	a
MHg,Y800	1.94	a b
MHg,Y100	1.86	a b c
MPb,Y800	1.81	a – d

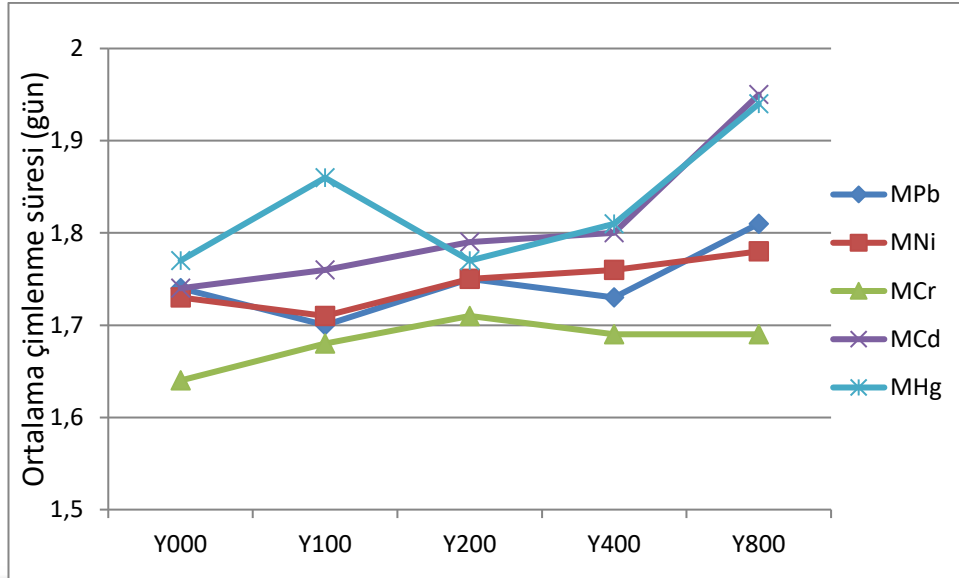
Devamı arkada

Çizelge 4.17.'nin devamı

Uygulamalar	Ortalama (gün)	Gruplar
MHg, Y400	1.81	a – d
MCd, Y400	1.80	a – d
MCd, Y200	1.79	b – e
MNi, Y800	1.78	c d e
MHg, Y000	1.77	c d e
MHg, Y200	1.77	c d e
MNi, Y400	1.76	c d e
MCd, Y100	1.76	c d e
MPb, Y200	1.75	c d e
MNi, Y200	1.75	c d e
MCd, Y000	1.74	c d e
MPb, Y000	1.74	c d e
MPb, Y400	1.73	c d e
MNi, Y000	1.73	c d e
MNi, Y100	1.71	c d e
MCr, Y200	1.71	c d e
MPb, Y100	1.70	c d e
MCr, Y400	1.69	d e
MCr, Y800	1.69	d e
MCr, Y100	1.68	d e
MCr, Y000	1.64	e

Metal-yoğunluk interaksyonu varyans analizi sonucunda önemsiz bulunmasına rağmen, ortalamaları incelediğimiz zaman farklı grupların olduğu gözlenmektedir. En yüksek ortalama çimlenme süresi (1.95 gün) MCd-Y800 interaksyonu uygulamasında elde edilirken en düşük çimlenme indeksi (1.64 gün) ise MCr-Y000 interaksyonu uygulamasında elde edilmiştir. Fakat MCd-Y800, MHg-Y800, MHg-Y100, MPb-Y800, MHg-Y400 ve MCd-Y400 interaksyonları arasında ve ayrıca MNi-Y800, MHg-Y000, MHg-Y200, MNi-Y400, MCd-Y100, MPb-Y200, MNi-Y200, MCd-Y000, MPb-Y000, MPb-Y400, MNi-Y000, MNi-Y100, MCr-Y200, MPb-Y100, MCr-Y400, MCr-Y800, MCr-Y100 ve MCr-Y000 interaksyonları ortalamaları arasında istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır.

Metal-yoğunluk interaksyonunun ortalama çimlenme süresi üzerindeki etkisini açıklayan grafik Şekil 4.9.'da verilmiştir.



Şekil 4.9. Metal-yoğunluk interaksiyonuna ait ortalama çimlenme süresi sonuçları

Tür-metal-yoğunluk interaksiyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.18.'de verilmiştir.

Çizelge 4.18. Tür-metal-yoğunluk interaksiyonlarının ortalama çimlenme süresine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (gün)	Gruplar
TM ₁ ,MHg,Y100	2.80	a
TM ₁ ,MHg,Y000	2.60	a b
TKo,MHg,Y800	2.48	a b c
TKo,MCd,Y800	2.33	b c d
TM ₁ ,MPb,Y800	2.30	b - e
TKo,MCd,Y200	2.30	b - e
TM ₁ ,MHg,Y200	2.30	b - e
TM ₁ ,MNi,Y200	2.30	b - e
TKo,MNi,Y800	2.28	b - e
TM ₁ ,MCd,Y800	2.28	b - e
TM ₁ ,MCd,Y400	2.28	b - e
TM ₁ ,MNi,Y800	2.28	b - e
TKo,MPb,Y200	2.25	b - f
TKo,MCd,Y100	2.25	b - f
TKo,MHg,Y400	2.25	b - f
TKo,MHg,Y000	2.23	b - g
TKo,MCr,Y400	2.23	b - g
TKo,MHg,Y100	2.23	b - g
TKo,MNi,Y400	2.23	b - g
TM ₁ ,MCr,Y400	2.23	b - g
TM ₁ ,MPb,Y200	2.23	b - g

Devamı arkada

Çizelge 4.18.'in devamı

Uygulamalar	Ortalama (gün)	Gruplar
TM ₁ ,MHg, Y800	2.23	b - g
TM ₁ ,MCd, Y200	2.23	b - g
TM ₁ ,MNi, Y000	2.23	b - g
TFi,MHg, Y800	2.20	b - h
TKo,MCd, Y000	2.20	b - h
TM ₁ ,MPb, Y000	2.20	b - h
TKo,MHg, Y200	2.18	b - h
TM ₁ ,MPb, Y100	2.18	b - h
TM ₁ ,MCr, Y100	2.18	b - h
TM ₁ ,MCd, Y000	2.18	b - h
TM ₁ ,MNi, Y400	2.18	b - h
TKo,MPb, Y800	2.15	c - i
TKo,MCd, Y400	2.15	c - i
TKo,MCr, Y200	2.15	c - i
TKo,MCr, Y800	2.15	c - i
TKo,MNi, Y200	2.15	c - i
TM ₁ ,MCd, Y100	2.15	c - i
TM ₁ ,MHg, Y400	2.15	c - i
TM ₁ ,MCr, Y800	2.13	c - j
TKo,MPb, Y000	2.13	c - j
TKo,MPb, Y100	2.13	c - j
TKo,MCr, Y100	2.13	c - j
TKo,MNi, Y100	2.13	c - j
TM ₁ ,MPb, Y400	2.13	c - j
TM ₁ ,MCr, Y000	2.13	c - j
TM ₁ ,MCr, Y200	2.13	c - j
TKo,MPb, Y400	2.10	c - j
TKo,MCr, Y000	2.10	c - j
TKo,MNi, Y000	2.10	c - j
TM ₁ ,MNi, Y100	2.08	c - j
TFi,MNi, Y800	2.05	c - j
TFi,MNi, Y100	2.05	c - j
TFi,MHg, Y200	2.05	c - j
TFi,MPb, Y800	2.03	d - k
TFi,MPb, Y000	2.03	d - k
TFi,MPb, Y100	2.03	d - k
TFi,MPb, Y400	2.03	d - k
TFi,MNi, Y200	2.00	d - k
TFi,MNi, Y400	2.00	d - k
TFi,MCd, Y800	2.00	d - k
TFi,MCd, Y200	1.98	d - l
TFi,MHg, Y400	1.98	d - l
TFi,MCd, Y400	1.98	d - l

Devamı arkada

Çizelge 4.18.'in devamı

Uygulamalar	Ortalama (gün)	Gruplar
TFi,MCd,Y100	1.98	d - l
TFi,MNi,Y000	1.95	d - l
TFi,MPb,Y200	1.95	d - l
TFi,MCd,Y000	1.90	d - l
TFi,MCr,Y200	1.88	e - l
TFi,MHg,Y100	1.83	f - l
TYo,MCd,Y800	1.83	f - l
TFi,MCr,Y800	1.80	g - m
TFi,MCr,Y100	1.78	h - n
TFi,MHg,Y000	1.73	i - o
TFi,MCr,Y400	1.73	i - o
TSo,MHg,Y800	1.70	j - p
TFi,MCr,Y000	1.60	k - q
TSo,MHg,Y400	1.56	l - r
TYo,MCr,Y200	1.38	m - s
TYo,MCr,Y800	1.35	n - s
TSo,MPb,Y800	1.35	n - s
TYo,MCd,Y100	1.33	o - s
TSo,MCd,Y800	1.33	o - s
TYo,MCr,Y000	1.30	o - s
TYo,MCd,Y200	1.30	o - s
TYo,MCd,Y400	1.30	o - s
TYo,MNi,Y400	1.30	o - s
TYo,MCr,Y400	1.28	p - s
TSo,MCd,Y400	1.28	p - s
TYo,MNi,Y000	1.25	q r s
TYo,MCr,Y100	1.25	q r s
TYo,MCd,Y000	1.25	q r s
TSo,MHg,Y100	1.23	q r s
TYo,MPb,Y400	1.23	q r s
TYo,MPb,Y800	1.23	q r s
TYo,MNi,Y200	1.20	q r s
TYo,MPb,Y200	1.20	q r s
TYo,MHg,Y100	1.20	q r s
TYo,MNi,Y800	1.18	q r s
TYo,MHg,Y000	1.18	q r s
TSo,MPb,Y400	1.18	q r s
TYo,MPb,Y000	1.18	q r s
TSo,MCd,Y000	1.18	q r s
TSo,MPb,Y000	1.15	r s
TYo,MNi,Y100	1.15	r s
TYo,MHg,Y200	1.15	r s
TSo,MNi,Y100	1.15	r s

Devamı arkada

Çizelge 4.18.'in devamı

Uygulamalar	Ortalama (gün)	Gruplar
TSo,MHg,Y200	1.15	r s
TSo,MCd,Y200	1.13	r s
TSo,MHg,Y000	1.13	r s
TSo,MPb,Y200	1.10	s
TSo,MNi,Y000	1.10	s
TYo,MHg,Y800	1.10	s
TSo,MNi,Y800	1.10	s
TYo,MHg,Y400	1.10	s
TSo,MPb,Y100	1.10	s
TSo,MNi,Y400	1.08	s
TSo,MCr,Y100	1.08	s
TSo,MNi,Y200	1.08	s
TYo,MPb,Y100	1.08	s
TSo,MCd,Y200	1.08	s
TSo,MCr,Y000	1.05	s
TSo,MCr,Y800	1.05	s
TSo,MCr,Y400	1.03	s
TSo,MCr,Y200	1.00	s

Tür-metal-yoğunluk interaksyonu ortalamalarını incelediğimiz zaman, en yüksek ortalama çimlenme süresi (2.80 gün) TMı-MHg-Y100 interaksyonu uygulamasında elde edilirken, en düşük ortalama çimlenme süresi (1.00 gün) TSo-MCr-Y200 interaksyonu uygulamasında elde edilmiştir. Fakat en yüksek değerler arasında TMı-MHg-Y100 interaksyonundan TKo-MHg-Y800 interaksyonuna ve ayrıca en düşük değerler arasında ise TYo-MCr-Y200 interaksyonundan TSo-MCr-Y200 interaksyonuna kadar istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır.

Akinci ve Akinci (2011), ıspanakta ortalama çimlenme süresinin 0'dan 800 mg L⁻¹'a doğru nikel dozunun artmasıyla arttığını bulmuştur. Akinci ve Çalışkan (2010) yazlık sebzelerin çimlenmesi üzerine kurşunun etkisini inceledikleri bir çalışmada, 0'dan 800 mg L⁻¹'a kurşun dozunun artışıyla birlikte biber, patlıcan, hıyar, kabak, karpuz, kavun, bamya ve fasulye bitki cinslerinde ortalama çimlenme sürelerinin arttığını bildirmiştir. Ahmad vd. (2013) 0'dan 80 mg L⁻¹'a kadmiyum dozunun yükselmesiyle dört tane ticari buğday çeşidinde ortalama çimlenme sürelerinde arttığını bildirmiştir. Akinci ve Akinci (2010) karpuzun 0'dan 300 mg L⁻¹ krom toksisitesi altında ortalama çimlenme sürelerinin doz arttıkça arttığını bildirmiştir.

Bu çalışmada, türler, metaller ve yoğunluklar arasında ortalama çimlenme süresinin değiştiği gözükmemektedir. Tüm türlerin metal yoğunlukları arttıkça ortalama çimlenme sürelerinin de uzadığı belirlenmiştir. Yukarıdaki bahsi geçen çalışmalar ve bu çalışmalardan ortalama çimlenme süresine ait elde edilen sonuçlar bizim sonuçlarımızı destekler niteliktedir.

4.4. Kök Uzunluğu (mm)

Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında bitki türlerinin kök uzunluğu değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.19.'da verilmiştir.

Çizelge 4.19. Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında bitki türlerinin kök uzunluğu değerlerine ait varyans analizi sonuçları

VK	SD	KO	F
Tekerrür	3	81.54	0.81
Tür	4	43782.60	435.00**
Hata 1	12	100.65	
Metal	4	24355.70	208.65**
Tür*Metal	16	4378.94	37.51**
Hata 2	60	116.73	
Yoğunluk	4	23683.80	266.59**
Tür*Yoğunluk	16	1976.69	22.25**
Metal*Yoğunluk	16	845.69	9.52**
Tür*Metal*Yoğunluk	64	177.10	1.99**
Hata	300	88.84	
Genel	499		

** : $P \leq 0.01$ * : $P \leq 0.05$

Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında bitki türlerinin varyans analizi sonuçlarına baktığımız zaman, kök uzunlukları açısından türler, metaller, tür-metal interaksiyonları, yoğunluk, tür-yoğunluk, metal-yoğunluk ve tür-metal-yoğunluk interaksiyonları %1 hata payında önemli bulunmuştur.

Tür, metal ve yoğunluk faktörlerine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.20.'de verilmiştir.

Çizelge 4.20. Tür, metal ve yoğunluk faktörlerinin kök uzunluğuna ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

	Ortalama (mm)	Gruplar		Ortalama (mm)	Gruplar		Ortalama (mm)	Gruplar
TM ₁	69.46	a	M _{Cr}	62.12	a	Y ₀₀₀	59.05	a
T _{So}	42.51	b	M _{Pb}	38.68	b	Y ₁₀₀	42.08	b
T _{Fi}	30.84	c	M _{Ni}	33.22	c	Y ₂₀₀	36.00	c
T _{Ko}	24.90	d	M _{Hg}	26.14	d	Y ₄₀₀	26.75	d
T _{Yo}	15.00	e	M _{Cd}	22.54	d	Y ₈₀₀	18.83	e

Türler arasında TM₁ türü en yüksek kök uzunluğunu (69.46 mm) verirken TY₀ türü ise en düşük kök uzunluğunu (15.00 mm) vermiştir. Metallerin kök uzunluğu üzerine etkisini incelediğimiz zaman M_{Cr} en yüksek kök uzunluğunu (62.12 mm) verirken, en düşük kök uzunluğu (22.54 mm) M_{Cd} uygulamasında ortaya çıkmıştır. Ancak M_{Hg} ve M_{Cd} uygulamaları arasında istatistiki bir fark yoktur. Yoğunluk uygulamalarını incelediğimizde, en yüksek kök uzunluğu (59.05 mm) Y₀₀₀ uygulamasında elde edilirken en düşük kök uzunluğu (18.83 mm) Y₈₀₀ uygulamasında elde edilmiştir.

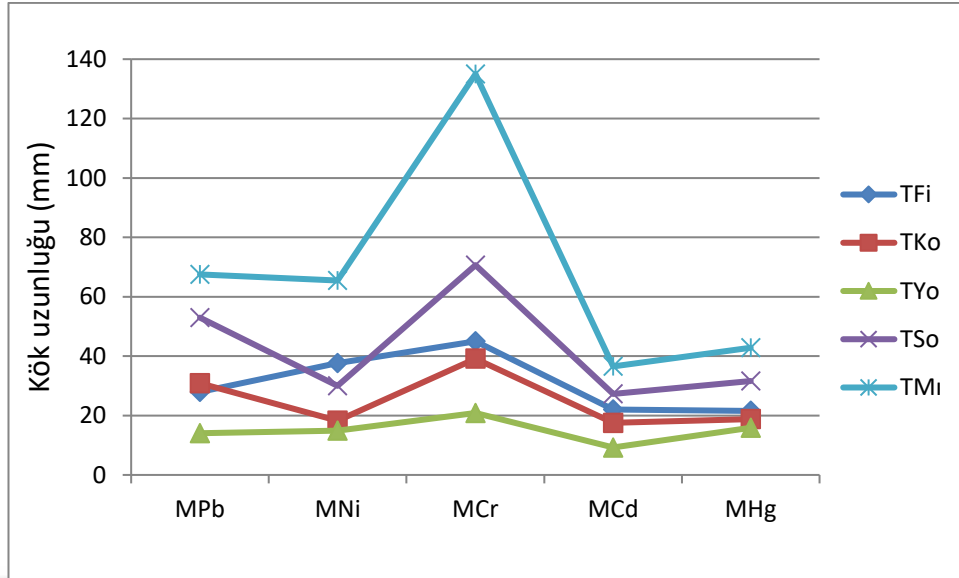
Tür-metal interaksyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.21.'de verilmiştir.

Çizelge 4.21. Tür-metal interaksyonlarının kök uzunluğuna ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (mm)	Gruplar
TM ₁ ,MCr	134.97	a
TSo,MCr	70.65	b
TM ₁ ,MPb	67.48	b
TM ₁ ,MNi	65.42	b c
TSo,MPb	53.01	c d
TFi,MCr	45.00	d e
TM ₁ ,MHg	42.88	d e f
TKo,MCr	39.13	e f g
TFi,MNi	37.62	e f g
TM ₁ ,MCd	36.54	e f g
TSo,MHg	31.61	f g h
TKo,MPb	30.87	f -1
TSo,MNi	29.98	f - j
TFi,MPb	27.93	g - k
TSo,MCd	27.28	g - k
TFi,MCd	22.07	h - l
TFi,MHg	21.55	h - l
TYo,MCr	20.86	h - l
TKo,MHg	18.75	h - l
TKo,MNi	18.21	1 - l
TKo,MCd	17.55	j k l
TYo,MHg	15.92	k l
TYo,MNi	14.86	k l
TYo,MPb	14.10	l
TYo,MCd	9.25	l

Tür-metal interaksyonu ortalamalarını gözlemlediğimizde, en yüksek kök uzunluğu (134.97 mm) TM₁-MCr interaksyonu uygulamasında elde edilirken en düşük kök uzunluğu (9.25 mm) TYo-MCd uygulamasında elde edilmiştir. TFi-MCd, TFi-MHg, TYo-MCr, TKo-MHg, TKo-MNi, TKo-MCd, TYo-MHg, TYo-MNi, TYo-MPb ve TYo-MCd interaksyonları ortalamaları arasında istatistiki bir fark yoktur.

Tür-metal interaksyonunun kök uzunluğu üzerindeki etkisini açıklayan grafik Şekil 4.10.'da verilmiştir.



Şekil 4.10. Tör-metal interaksijonuna ait kök uzunluğu sonuçları

Tör-yoğunluk interaksijonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.22.'de verilmiştir.

Çizelge 4.22. Tör-yoğunluk interaksijonlarının kök uzunluğuna ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (mm)	Gruplar
TMi,Y000	105.38	a
TMi,Y100	81.27	b
TSo,Y000	76.75	b
TMi,Y200	74.02	b
TFi,Y000	54.62	c
TSo,Y100	53.65	c
TMi,Y400	50.58	c
TSo,Y200	39.01	d
TMi,Y800	36.05	d e
TKo,Y000	34.92	d e f
TFi,Y100	30.30	d - g
TKo,Y100	28.09	d - g
TSo,Y400	27.91	e - h
TFi,Y200	27.06	e - i
TKo,Y200	24.68	f - j
TYo,Y000	23.60	g - j
TFi,Y400	22.80	g - k
TKo,Y400	20.64	g - k
TFi,Y800	19.40	g - k
TYo,Y100	17.07	h - l
TKo,Y800	16.17	i - l

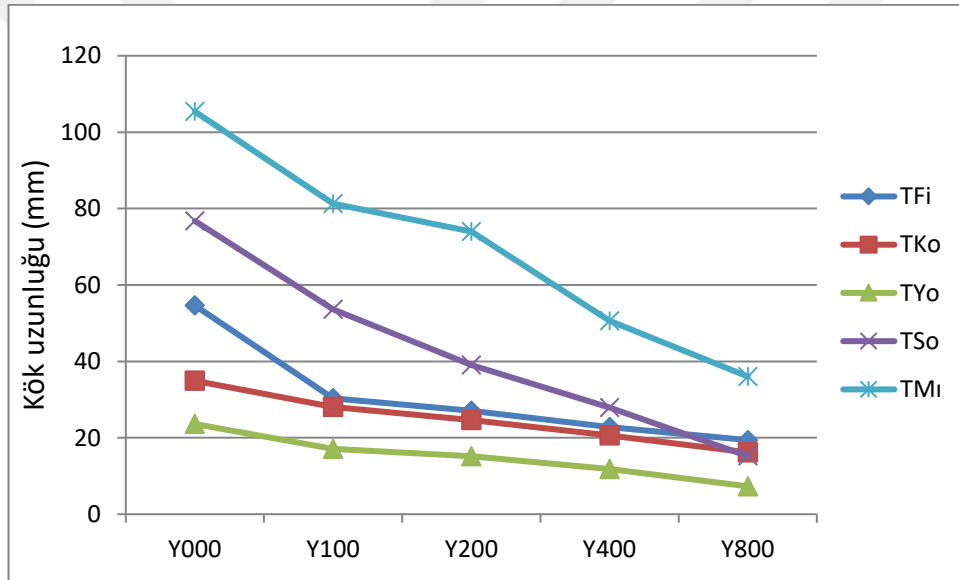
Devamı arkada

Çizelge 4.22.'nin devamı

Uygulamalar	Ortalama (mm)	Gruplar
TSo,Y800	15.22	j k l
TYo,Y200	15.21	j k l
TYo,Y400	11.82	k l
TMi,Y800	7.30	l

Tür-yoğunluk etkileşimini ortalamalarını incelendiği zaman, en yüksek kök uzunluğu (105.38 mm) TMi-Y000 etkileşiminde elde edilirken en düşük kök uzunluğu (7.30 mm) TMi-Y800 etkileşiminde elde edilmiştir. Ancak TYo-Y100, TKo-Y800, TSo-Y800, TYo-Y200, TYo-Y400 ve TMi-Y800 etkileşimleri ortalamaları arasında istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır.

Tür-yoğunluk etkileşiminin kök uzunluğu üzerindeki etkisini açıklayan grafik Şekil 4.11.'de verilmiştir.

**Şekil 4.11.** Tür-yoğunluk etkileşimine ait kök uzunluğu sonuçları

Metal-yoğunluk etkileşimlerine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.23.'de verilmiştir.

Çizelge 4.23. Metal-yoğunluk etkileşimlerinin kök uzunluğuna ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (mm)	Gruplar
MCr,Y000	69.77	a
MCr,Y200	65.54	a b
MCr,Y100	63.63	a b c
MNi,Y000	59.49	a b c
MCr,Y400	59.03	a b c
MPb,Y000	57.55	b c

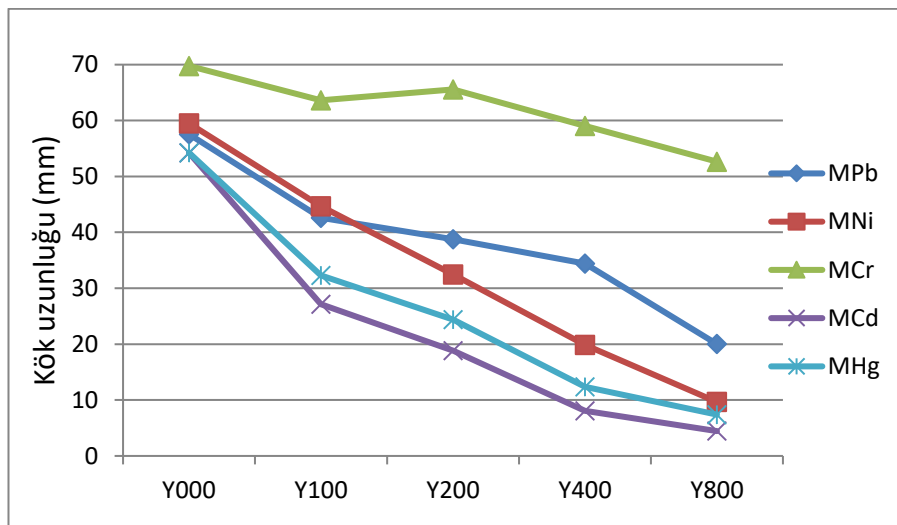
Devamı arkada

Çizelge 4.23.'ün devamı

Uygulamalar	Ortalama (mm)	Gruplar
MHg, Y000	54.24	c d
MCd, Y000	54.22	c d
MCr, Y800	52.65	c d e
MNi, Y100	44.66	d e f
MPb, Y100	42.62	e f g
MPb, Y200	38.79	f g
MPb, Y400	34.42	f g h
MNi, Y200	32.45	g h
MHg, Y100	32.30	g h
MCd, Y100	27.16	h 1
MHg, Y200	24.38	h 1
MPb, Y800	20.01	1 j
MNi, Y400	19.85	1 j
MCd, Y200	18.81	1 j k
MHg, Y400	12.39	j k l
MNi, Y800	9.65	j k l
MCd, Y400	8.06	k l
MHg, Y800	7.39	l
MCd, Y800	4.44	l

Metal-yoğunluk interaksyonu ortalamalarını bakıldığında, en yüksek kök uzunluğu (69.77 mm) MCr-Y000 interaksyonu uygulamasında elde edilirken en düşük kök uzunluğu (4.44 mm) ise MCd-Y800 interaksyonu uygulamasında elde edilmiştir. Fakat MCr-Y000, MCr-Y200, MCr-Y100, MNi-Y000 ve MCr-Y400 interaksyonları arasında ve ayrıca MHg-Y400, MNi-Y800, MCd-Y400, MHg-Y800 ve MCd-Y800 interaksyonları ortalamaları arasında istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır.

Metal-yoğunluk interaksyonunun kök uzunluğu üzerindeki etkisini açıklayan grafik Şekil 4.12.'de verilmiştir.



Şekil 4.12. Metal-yoğunluk interaksyonuna ait kök uzunluğu sonuçları

Tür-metal-yoğunluk interaksyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.24.'de verilmiştir.

Çizelge 4.24. Tür-metal-yoğunluk interaksyonlarının kök uzunluğu ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (mm)	Gruplar
TM ₁ ,MCr,Y000	157.13	a
TM ₁ ,MCr,Y200	143.56	a b
TM ₁ ,MCr,Y100	138.48	a b c
TM ₁ ,MCr,Y400	118.88	b c d
TM ₁ ,MCr,Y800	116.81	b c d
TM ₁ ,MPb,Y000	112.38	c d e
TM ₁ ,MNi,Y000	111.15	c d e
TM ₁ ,MNi,Y100	96.77	d e f
TSo,MCr,Y000	84.06	e f g
TSo,MCd,Y000	80.96	f g h
TSo,MHg,Y000	79.98	f g h
TSo,MCr,Y100	76.92	f - 1
TM ₁ ,MHg,Y000	76.75	f - 1
TSo,MCr,Y200	73.37	f - j
TM ₁ ,MPb,Y200	72.69	f - j
TSo,MPb,Y100	70.71	f - k
TSo,MNi,Y000	69.87	f - l
TM ₁ ,MCd,Y000	69.46	f - m
TSo,MCr,Y400	68.92	f - n
TSo,MPb,Y000	68.87	f - n
TM ₁ ,MPb,Y100	68.46	f - o
TM ₁ ,MNi,Y200	65.65	g - p
TFi,MCd,Y000	62.75	g - q
TFi,MNi,Y000	59.63	g - r
TFi,MHg,Y000	55.94	g - s
TM ₁ ,MPb,Y400	55.37	g - s
TSo,MPb,Y400	54.44	g - t
TM ₁ ,MHg,Y100	53.44	h - u
TSo,MPb,Y200	53.13	h - u
TSo,MCr,Y800	50.00	1 - v
TM ₁ ,MCd,Y100	49.19	1 - v
TFi,MPb,Y000	48.98	1 - v
TFi,MCr,Y800	47.81	1 - w
TSo,MNi,Y100	46.31	j - x
TFi,MCr,Y000	45.79	j - y
TM ₁ ,MHg,Y200	45.37	j - z
TFi,MCr,Y200	45.25	j - z
TFi,MCr,Y400	44.49	j - a1
TM ₁ ,MCd,Y200	42.83	k - b1

Devamı arkada

Çizelge 4.24.'ün devamı

Uygulamalar	Ortalama (mm)	Gruplar
TFi,MCr,Y100	41.67	k – c1
TKo,MCr,Y200	41.38	k – d1
TSo,MHg,Y100	40.37	l – e1
TKo,MCr,Y400	39.98	m – f1
TKo,MCr,Y100	39.35	n – f1
TKo,MCr,Y000	39.13	o – g1
TMI,MNi,Y400	39.02	o – g1
TFi,MNi,Y100	38.79	o – h1
TFi,MNi,Y200	38.73	p – h1
TKo,MCr,Y800	35.79	q – i1
TKo,MCd,Y000	35.77	q – i1
TKo,MPb,Y000	35.56	q – i1
TSo,MCd,Y100	33.96	q – j1
TKo,MHg,Y000	32.96	r – k1
TKo,MPb,Y100	32.52	r – l1
TFi,MNi,Y400	31.92	r – l1
TKo,MNi,Y000	31.19	r – m1
TKo,MPb,Y400	30.17	r – m1
TKo,MPb,Y200	29.17	s – m1
TMI,MPb,Y800	28.48	s – m1
TSo,MHg,Y200	28.42	s – m1
TFi,MPb,Y100	27.94	s – m1
TKo,MPb,Y800	26.94	s – m1
TYo,MNi,Y000	25.60	t – m1
TYo,MHg,Y000	25.58	t – m1
TMI,MHg,Y400	24.87	t – m1
TFi,MPb,Y200	24.77	t – m1
TYo,MCr,Y200	24.13	u – m1
TSo,MNi,Y200	24.00	u – m1
TKo,MCd,Y100	23.88	u – m1
TFi,MHg,Y100	23.81	u – m1
TKo,MNi,Y100	23.29	v – m1
TYo,MCr,Y400	22.89	v – m1
TYo,MCr,Y000	22.71	v – m1
TYo,MHg,Y100	22.50	v – m1
TYo,MCd,Y000	22.13	v – m1
TYo,MPb,Y000	21.96	v – m1
TYo,MCr,Y100	21.73	v – m1
TKo,MHg,Y100	21.40	v – m1
TFi,MPb,Y400	20.37	v – m1
TFi,MCd,Y100	19.27	w – m1
TFi,MNi,Y800	19.02	w – m1
TKo,MHg,Y200	18.40	w – m1

Devamı arkada

Çizelge 4.24.'ün devamı

Uygulamalar	Ortalama (mm)	Gruplar
TYo,MNi,Y100	18.15	w – m1
TSo,MPb,Y800	17.88	x – m1
TKo,MNi,Y200	17.81	x – m1
TFi,MPb,Y800	17.62	x – m1
TKo,MCd,Y200	16.65	x – m1
TSo,MCd,Y200	16.12	y – m1
TYo,MNi,Y200	16.06	z – m1
TYo,MHg,Y200	15.06	a1 – m1
TMi,MCd,Y400	14.77	b1 – m1
TFi,MHg,Y200	14.67	b1 – m1
TMi,MNi,Y800	14.52	b1 – m1
TKo,MHg,Y400	14.37	b1 – m1
TYo,MPb,Y200	14.19	b1 – m1
TMi,MHg,Y800	13.98	b1 – m1
TYo,MPb,Y100	13.46	b1 – m1
TYo,MCr,Y800	12.83	c1 – m1
TFi,MCd,Y200	11.87	d1 – m1
TYo,MPb,Y400	11.73	d1 – m1
TKo,MNi,Y400	11.27	e1 – m1
TYo,MNi,Y400	10.29	f1 – m1
TFi,MCd,Y400	9.62	g1 – m1
TYo,MCd,Y100	9.50	g1 – m1
TYo,MHg,Y400	9.27	h1 – m1
TYo,MPb,Y800	9.13	h1 – m1
TFi,MHg,Y400	7.62	i1 – m1
TKo,MNi,Y800	7.50	i1 – m1
TKo,MCd,Y400	7.42	i1 – m1
TYo,MHg,Y800	7.17	i1 – m1
TFi,MCd,Y800	6.84	i1 – m1
TSo,MNi,Y400	6.75	i1 – m1
TKo,MHg,Y800	6.62	i1 – m1
TYo,MCd,Y200	6.60	i1 – m1
TMi,MCd,Y800	6.44	i1 – m1
TSo,MHg,Y400	5.83	j1 – m1
TFi,MHg,Y800	5.73	j1 – m1
TYo,MCd,Y400	4.90	j1 – m1
TYo,MNi,Y800	4.21	k1 l1 m1
TKo,MCd,Y800	4.02	k1 l1 m1
TSo,MCd,Y400	3.60	k1 l1 m1
TSo,MHg,Y800	3.46	k1 l1 m1
TYo,MCd,Y800	3.13	l1 m1
TSo,MNi,Y800	2.98	l1 m1
TSo,MCd,Y800	1.75	m1

Tür-metal-yoğunluk interaksyonu ortalamalarını incelediğimiz zaman, en yüksek kök uzunluğu (157.13 mm) TMı-MCr-Y000 interaksyonu uygulamasında elde edilirken, en düşük kök uzunluğu (1.75 mm) TSo-MCd-Y800 interaksyonu uygulamasında elde edilmiştir. Fakat en yüksek değerler arasında TMı-MCr-Y000 interaksyonundan TSo-MCd-Y800 interaksyonuna kadar istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır.

Şahin ve Kıran (2005), kurşun ağır metalinin 0'dan 100 mM yoğunluğa doğru arttıkça *Lens culinaris* Medik. bitkisinde kök uzunluğunu azalttığını bildirmiştir. Gedik vd. (2015) 0 mM'dan 2 mM'a doğru kadmiyum yoğunluğunun artmasıyla birlikte *Vicia peregrina* L. bitkisinde kök büyümesinin kontrolle kıyaslandığında engellendiğini bildirmiştir. Ayhan vd. (2007) kadmiyum ve kurşunun bazı mısır çeşitlerinde kök uzunluğunu kontrole göre düşürdüğünü bildirmiştir. Verma ve Dubey (2003) 0, 500 ve 1000 μM Pb konsantrasyonu altında çeltik bitkilerinin kök uzunluklarının konsantrasyon attıkça azaldığını bildirmiştir. Gyawali ve Lekhak (2006) çeltik tohumlarının çimlenmesi üzerine 0, 10, 50, 100, 200, 400 ve 800 ppm'lik krom toksisitesinin etkisini araştırmışlar ve sonuç olarak kök uzunluğunun konsantrasyon arttıkça kısıtlandığını belirtmişlerdir. Dabhi vd. (2005) çemen (*Trigonella foenum-graceum*)'in çimlenmesi üzerine 200, 400, 600, 800 ve 1000 mg mL⁻¹ sodyum dikromatın etkisini inceledikleri bir çalışmada, yoğunluk artışına bağlı olarak kök uzunluğunun azaldığını bildirmişlerdir. Peralta vd. (2001) Cd, Cr ve Ni ağır metallerinin kök uzunluğunu kısıtladığını bildirmiş ve toksikolojik açıdan Cd>Cr>Ni sıralamasını yapmıştır. Mishra ve Choudhuri (1998) iki ticari çeltik çeşidinin çimlenmesi üzerine kurşun ve cıvanın etkisini araştırmış ve sonuç olarak ağır metal yoğunluklarının artmasıyla kök uzunluğunun azaldığını bildirmişlerdir. Ayrıca bu araştırmacılar cıva toksisitesinin kurşun toksisitesinden daha ağır olduğunu bildirmişlerdir. Çeltikte kadmiyum stresi altında kök uzunluğunun kontrolle kıyaslandığı zaman 100 μM 'da önemli ölçüde kısıtlandığı rapor edilmiştir (He vd. 2014). *Vigna radiata* bitkisinin tohumları çimlenme aşamasında 1, 3, 5 ve 7 mM Hg konsantrasyonu ile muamele edilmiş, 1 mM'lık Hg muamelesinde kök uzunluğunda önemli bir değişiklik olmamasına rağmen 7 mM'lık Hg muamelesinde ise uygulamalar arasında en düşük kök uzunluğu keşfedilmiştir (Muhammad vd. 2015).

Kök uzunluğu açısından elde ettiğimiz sonuçları incelediğimiz zaman, tüm metallerin yoğunluğu arttıkça tüm türlerin kök uzunluğu negatif yönde etkilenmiştir. Fakat ele alınan ağır metallerin negatif etki düzeyleri kendi içerisinde değişmektedir. Ayrıca ele alınan bitki türlerinin de kök uzunlukları değerleri metal ve yoğunluğa bağlı olarak yine kendi içerisinde farklılık göstermektedir. Yukarıda bahsi geçen tüm çalışmalar kök uzunluğu açısından elde ettiğimiz sonuçları destekler niteliktedir.

4.5. Sürgün Uzunluğu (mm)

Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında sürgün uzunluğu değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.25.'de verilmiştir.

Çizelge 4.25. Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında sürgün uzunluğu değerlerine ait varyans analizi sonuçları

VK	SD	KO	F
Tekerrür	3	52.56	1.82
Tür	4	22283.80	769.77**
Hata 1	12	28.95	
Metal	4	8089.57	257.09**
Tür*Metal	16	1224.93	38.93**
Hata 2	60	31.47	
Yoğunluk	4	4892.12	151.06**
Tür*Yoğunluk	16	482.61	14.90**
Metal*Yoğunluk	16	648.42	20.02**
Tür*Metal*Yoğunluk	64	141.28	4.36**
Hata	300	32.39	
Genel	499		

** : $P \leq 0.01$ * : $P \leq 0.05$

Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında bitki türlerinin varyans analizi sonuçlarına baktığımız zaman, sürgün uzunlukları açısından türler, metaller, tür-metal interaksiyonları, yoğunluk, tür-yoğunluk, metal-yoğunluk ve tür-metal-yoğunluk interaksiyonları %1 hata payında önemli bulunmuştur.

Tür, metal ve yoğunluk faktörlerine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.26.'da verilmiştir.

Çizelge 4.26. Tür, metal ve yoğunluk faktörlerinin sürgün uzunluğuna ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

	Ortalama (mm)	Gruplar		Ortalama (mm)	Gruplar		Ortalama (mm)	Gruplar
TSo	51.73	a	MCr	45.80	a	Y000	45.41	a
TMi	46.17	b	MPb	41.79	b	Y100	39.10	b
TFi	38.23	c	MNi	37.60	c	Y200	35.54	c
TYo	28.83	d	MCd	30.44	d	Y400	31.87	d
TKo	14.00	e	MHg	23.32	e	Y800	27.03	e

Türler arasında TSo türü en yüksek sürgün uzunluğunu (51.73 mm) verirken TKo türü ise en düşük sürgün uzunluğunu (14.00 mm) vermiştir. Metallerin sürgün uzunluğu üzerine etkisini incelediğimiz zaman MCr en yüksek sürgün uzunluğunu (45.80 mm) verirken, en düşük sürgün uzunluğu (23.32 mm) MHg uygulamasında ortaya çıkmıştır. Yoğunluk uygulamalarını incelediğimizde, en yüksek sürgün uzunluğu (45.51 mm) Y000 uygulamasında elde edilirken en düşük sürgün uzunluğu (27.03 mm) Y800 uygulamasında elde edilmiştir.

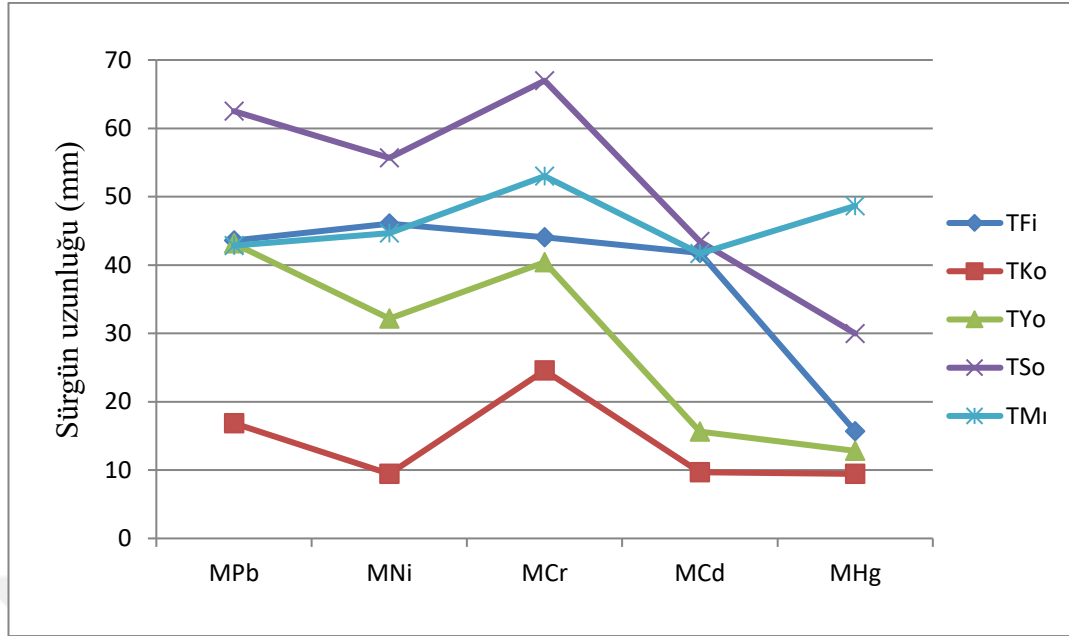
Tür-metal interaksiyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.27.'de verilmiştir.

Çizelge 4.27. Tür-metal interaksyonlarının sürgün uzunluğuna ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (mm)	Gruplar
TSo,MCr	66.98	a
TSo,MPb	62.53	a
TSo,MNi	55.69	b
TMi,MCr	53.00	b c
TMi,MHg	48.67	c d
TFi,MNi	46.05	d e
TMi,MNi	44.66	d e
TFi,MCr	44.05	d e
TFi,MPb	43.59	d e
TSo,MCd	43.47	d e
TYo,MPb	43.15	d e
TMi,MPb	42.83	d e
TFi,MCd	41.77	e e
TMi,MCd	41.68	e e
TYo,MCr	40.40	e
TYo,MNi	32.15	f
TSo,MHg	29.98	f g
TKo,MCr	24.57	g
TKo,MPb	16.83	h
TFi,MHg	15.69	h 1
TYo,MCd	15.63	h 1
TYo,MHg	12.81	h 1
TKo,MCd	9.66	1
TKo,MNi	9.46	1
TKo,MHg	9.44	1

Tür-metal interaksyonu ortalamalarını incelediğimiz zaman, en yüksek sürgün uzunluğu (66.98 mm) TSo-MCr interaksyonu uygulamasında elde edilirken en düşük sürgün uzunluğu (9.44 mm) TKo-MHg uygulamasında elde edilmiştir. Fakat TSo-MCr ve TSo-MPb ayrıca TFi-MHg, TYo-MCd, TYo-MHg, TKo-MCd, TKo-MNi ve TKo-MHg interaksyonları ortalamaları arasında istatistiki bir fark yoktur.

Tür-metal interaksyonunun sürgün uzunluğu üzerindeki etkisini açıklayan grafik Şekil 4.13.'de verilmiştir.



Şekil 4.13. Tür-metal interaksiyonuna ait sürgün uzunluğu sonuçları

Tür-yoğunluk interaksiyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.28.'de verilmiştir.

Çizelge 4.28. Tür-yoğunluk interaksiyonlarının sürgün uzunluğuna ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (mm)	Gruplar
TSo,Y000	65.23	a
TSo,Y100	58.86	a b
TSo,Y200	55.67	b c
TFi,Y000	53.09	b c d
TMi,Y100	50.46	c d e
TMi,Y000	49.00	d e f
TMi,Y200	46.39	e f g
TMi,Y400	45.18	e f g
TSo,Y400	43.97	e - h
TYo,Y000	42.52	f g h
TMi,Y800	39.80	g h 1
TFi,Y100	38.29	h 1 j
TSo,Y800	34.92	1 j k
TFi,Y400	34.78	1 j k
TYo,Y100	33.22	1 j k
TFi,Y800	32.61	j k
TFi,Y200	32.38	j k
TYo,Y200	28.76	k l
TYo,Y400	22.47	l m
TKo,Y000	17.23	m n

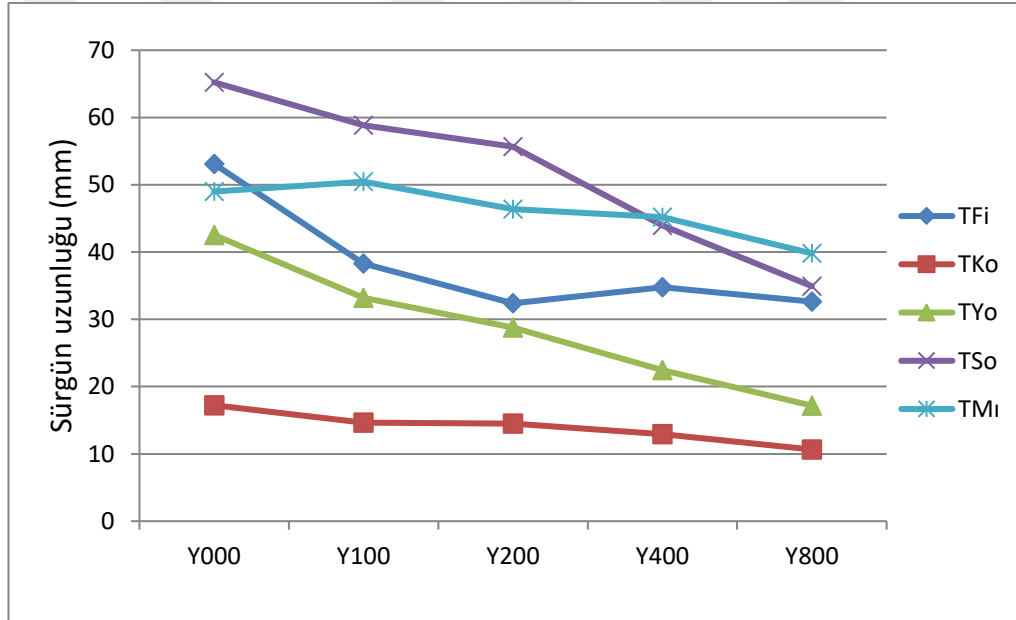
Devamı arkada

Çizelge 4.28.in devamı

Uygulamalar	Ortalama (mm)	Gruplar
TYo,Y800	17.17	m n
TKo,Y100	14.65	n
TKo,Y200	14.49	n
TKo,Y400	12.94	n
TKo,Y800	10.65	n

Tür-yoğunluk interaksyonu ortalamalarına göre, en yüksek sürgün uzunluğu (65.23 mm) TSo-Y000 interaksiyonunda elde edilirken en düşük sürgün uzunluğu (10.65 mm) TKo-Y800 interaksiyonunda elde edilmiştir. Ancak TSo-Y000 ve TSo-Y100 ayrıca TKo-Y000, TYo-Y800, TKo-Y100, TKo-Y200, TKo-Y400 ve TKo-Y800 interaksyonları ortalamaları arasında istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır.

Tür-yoğunluk interaksyonunun sürgün uzunluğu üzerindeki etkisini açıklayan grafik, Şekil 4.14.'de verilmiştir.

**Şekil 4.14.** Tür-yoğunluk interaksyonuna ait sürgün uzunluğu sonuçları

Metal-yoğunluk interaksyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.29.'da verilmiştir.

Çizelge 4.29. Metal-yoğunluk interaksyonlarının sürgün uzunluğuna ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (mm)	Gruplar
MCd,Y000	47.83	a
MCr,Y200	47.57	a
MPb,Y000	47.32	a b
MNi,Y000	46.73	a b

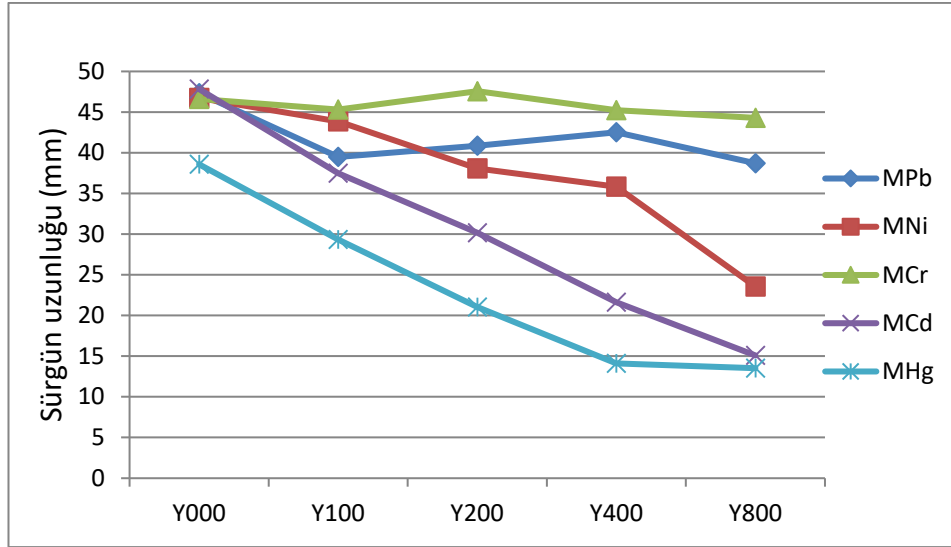
Devamı arkada

Çizelge 4.29.'un devamı

Uygulamalar	Ortalama (mm)	Gruplar
MCr, Y000	46.59	a b
MCr, Y100	45.32	a b c
MCr, Y400	45.23	a b c
MCr, Y800	44.29	a - d
MNi, Y100	43.84	a - e
MPb, Y400	42.53	a - e
MPb, Y200	40.88	b - f
MPb, Y100	39.48	c - f
MPb, Y800	38.71	c - f
MHg, Y000	38.58	d e f
MNi, Y200	38.08	d e f
MCd, Y100	37.50	e f
MNi, Y400	35.81	f g
MCd, Y200	30.15	g h
MHg, Y100	29.33	g h
MNi, Y800	23.55	h 1
MCd, Y400	21.64	1 j
MHg, Y200	21.02	1 j
MCd, Y800	15.09	j k
MHg, Y400	14.12	k
MHg, Y800	13.52	k

Metal-yoğunluk interaksyonu ortalamalarını incelediğimiz zaman, en yüksek sürgün uzunluğu (47.83 mm) MCd-Y000 interaksyonu uygulamasında elde edilirken en düşük sürgün uzunluğu (13.52 mm) ise MHg-Y800 interaksyonu uygulamasında elde edilmiştir. Fakat MCd-Y000, MCr-Y200, MPb-Y000, MNi-Y000, MCr-Y000, MCr-Y100, MCr-Y400, MCr-Y800, MNi-Y100 ve MPb-Y400 interaksyonları arasında ve ayrıca MCd-Y800, MHg-Y400 ve MHg-Y800 interaksyonları ortalamaları arasında istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır.

Metal-yoğunluk interaksyonunun sürgün uzunluğu üzerindeki etkisini açıklayan grafik, Şekil 4.15.'de verilmiştir.



Şekil 4.15. Metal-yoğunluk interaksyonuna ait sürgün uzunluğu sonuçları

Tür-metal-yoğunluk interaksyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.30.'da verilmiştir.

Çizelge 4.30. Tür-metal-yoğunluk interaksyonlarının sürgün uzunluğuna ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (mm)	Gruplar
TSo,MCd,Y000	76.29	a
TSo,MCr,Y200	74.60	a b
TSo,MCr,Y000	72.83	a b c
TSo,MNi,Y100	70.87	a - d
TSo,MNi,Y000	69.08	a - e
TSo,MPb,Y000	66.17	a - f
TSo,MCd,Y400	65.79	a - g
TFi,MPb,Y200	64.98	a - h
TSo,MCr,Y100	64.65	a - i
TMi,MHg,Y100	64.02	a - i
TSo,MCr,Y800	63.46	a - j
TFi,MNi,Y000	60.12	a - k
TSo,MCr,Y400	59.37	a - l
TSo,MNi,Y200	58.23	b - m
TSo,MPb,Y800	58.19	b - m
TMi,MCr,Y400	57.65	b - m
TSo,MPb,Y100	57.52	b - m
TFi,MCd,Y000	56.67	b - n
TFi,MPb,Y000	55.77	c - o
TSo,MCd,Y100	55.35	c - p
TMi,MCr,Y100	55.00	c - p
TMi,MCr,Y800	53.40	d - q

Devamı arkada

Çizelge 4.30.'un devamı

Uygulamalar	Ortalama (mm)	Gruplar
TM ₁ ,MHg, Y000	53.38	d - r
TM ₁ ,MCr, Y200	53.17	d - r
TM ₁ ,MPb, Y000	51.58	e - s
TFi,MCd, Y100	50.77	f - s
TSo,MNi, Y400	50.54	f - s
TM ₁ ,MCd, Y200	49.15	f - t
TM ₁ ,MNi, Y400	49.08	f - t
TFi,MCr, Y400	48.27	f - t
TFi,MCr, Y000	48.13	g - t
TFi,MNi, Y100	47.63	h - u
TFi,MCr, Y800	47.56	h - v
TM ₁ ,MNi, Y000	47.46	h - v
TM ₁ ,MCd, Y000	46.79	i - w
TSo,MHg, Y100	45.92	j - w
TM ₁ ,MCr, Y000	45.77	j - w
TM ₁ ,MCd, Y100	45.42	k - w
TYo,MCr, Y200	45.23	k - w
TFi,MNi, Y400	45.08	k - x
TM ₁ ,MNi, Y100	44.87	k - y
TSo,MCd, Y200	44.79	k - y
TFi,MHg, Y000	44.75	k - y
TYo,MNi, Y000	44.60	k - y
TYo,MNi, Y100	44.44	k - y
TYo,MCr, Y100	44.17	k - z
TM ₁ ,MHg, Y200	44.17	k - z
TFi,MPb, Y800	44.13	k - z
TYo,MPb, Y000	43.77	k - z
TM ₁ ,MPb, Y200	43.67	k - z
TYo,MPb, Y400	43.52	k - z
TM ₁ ,MPb, Y400	43.40	k - z
TYo,MCd, Y000	43.38	k - z
TM ₁ ,MNi, Y200	43.25	k - z
TM ₁ ,MPb, Y100	43.00	k - z
TYo,MPb, Y100	42.77	k - z
TYo,MCr, Y000	42.58	k - z
TM ₁ ,MPb, Y200	42.19	k - z
TYo,MPb, Y800	42.02	l - a1
TSo,MHg, Y000	41.81	l - a1
TFi,MPb, Y400	41.62	l - a1
TM ₁ ,MHg, Y800	40.96	m - b1
TM ₁ ,MHg, Y400	40.81	m - b1
TYo,MNi, Y200	40.52	m - b1
TFi,MNi, Y200	39.44	n - c1

Devamı arkada

Çizelge 4.30.'un devamı

Uygulamalar	Ortalama (mm)	Gruplar
TFi,MCr, Y100	38.67	o – c1
TMi,MNi, Y800	38.63	o – c1
TFi,MPb, Y100	38.29	o – c1
TYo,MHg, Y000	38.25	o – c1
TFi,MPb, Y200	38.13	o – c1
TFi,MNi, Y800	37.98	o – c1
TFi,MCr, Y200	37.63	p – c1
TFi,MCd, Y200	37.63	p – c1
TSo,MHg, Y200	35.77	q – d1
TYo,MCr, Y800	35.46	r – d1
TMi,MCd, Y400	34.96	s – d1
TFi,MCd, Y800	34.60	s – d1
TYo,MCr, Y400	34.54	s – d1
TMi,MPb, Y800	33.96	s – e1
TMi,MCd, Y800	32.06	t – f1
TSo,MNi, Y800	29.75	u – g1
TSo,MCd, Y400	29.67	v – g1
TFi,MCd, Y800	29.17	w – h1
TKo,MCr, Y200	27.19	x – i1
TYo,MNi, Y400	26.98	y – j1
TKo,MCr, Y400	26.33	z – k1
TKo,MCr, Y100	24.11	a1 – l1
TKo,MCr, Y000	23.65	b1 – m1
TYo,MCd, Y100	23.50	b1 – m1
TKo,MCr, Y800	21.56	c1 – n1
TKo,MPb, Y000	19.31	d1 – o1
TKo,MPb, Y400	18.35	d1 – o1
TFi,MHg, Y100	16.10	e1 – p1
TKo,MCd, Y000	16.04	e1 – p1
TKo,MPb, Y100	15.85	f1 – p1
TKo,MPb, Y200	15.42	f1 – p1
TKo,MPb, Y800	15.23	f1 – p1
TKo,MHg, Y000	14.73	f1 – p1
TSo,MHg, Y400	14.48	f1 – p1
TKo,MCd, Y200	12.44	g1 – p1
TKo,MNi, Y000	12.40	g1 – p1
TSo,MHg, Y800	11.90	g1 – p1
TKo,MNi, Y100	11.40	h1 – p1
TSo,MCd, Y800	11.27	h1 – p1
TYo,MHg, Y100	11.21	i1 – p1
TKo,MCd, Y200	11.13	i1 – p1
TKo,MHg, Y200	9.77	i1 – p1
TKo,MHg, Y100	9.42	i1 – p1

Devamı arkada

Çizelge 4.30.'un devamı

Uygulamalar	Ortalama (mm)	Gruplar
TFi,MHg,Y200	9.06	j1 – p1
TKo,MPb,Y200	8.94	k1 – p1
TYo,MCd,Y200	8.04	l1 – p1
TKo,MNi,Y400	7.38	l1 – p1
TKo,MNi,Y800	7.15	l1 – p1
TKo,MHg,Y400	6.90	l1 – p1
TKo,MHg,Y800	6.38	l1 – p1
TYo,MHg,Y200	6.35	l1 – p1
TKo,MCd,Y400	5.75	m1 – p1
TFi,MHg,Y400	4.37	n1 o1 p1
TYo,MNi,Y800	4.21	n1 o1 p1
TFi,MHg,Y800	4.19	n1 o1 p1
TYo,MHg,Y800	4.17	n1 o1 p1
TYo,MHg,Y400	4.06	n1 o1 p1
TYo,MCd,Y400	3.23	o1 p1
TKo,MCd,Y800	2.94	o1 p1
TYo,MCd,Y800	0.00	p1

Tür-metal-yoğunluk interaksyonu ortalamaları incelendiğinde, en yüksek sürgün uzunluğu (76.29 mm) TSo-MCd-Y000 interaksyonu uygulamasında elde edilirken, en düşük sürgün uzunluğu (0.00 mm) TYo-MCd-Y800 interaksyonu uygulamasında elde edilmiştir. Fakat en yüksek değerler arasında TSo-MCd-Y000 interaksyonundan TYo-MCd-Y800 interaksyonuna kadar istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır.

Mısırın çimlenmesi üzerine kadmiyumun 0, 0.1, 0.2, 0.3 ve 0.4 mM ve kurşunun 0, 1, 2, 4 ve 6 mM konsantrasyonlarının etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, ele alınan mısır çeşitlerinin her iki ağır metal türündeki yoğunlukların artışına bağlı olarak sürgün uzunlukları negatif yönde etkilenmiştir (Ayhan vd. 2007). Mercimekte çimlenme aşamasında farklı Cd konsantrasyonları uygulanmış ve Cd konsantrasyon yoğunluğu ne kadar yüksek olursa çimlenme aşamasında bitki sürgün uzunluklarının da o derece kısıtlanacağı bildirilmiştir (Berı ve Setia 1995). 0, 500 ve 1000 μM Pb konsantrasyonunun çeltik tohumlarının çimlenmesi üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, konsantrasyon yoğunluğu arttıkça çimlenen fidelerin sürgün uzunluğunun azaldığı belirtilmiştir (Verma ve Dubey 2003). Yine çeltik tohumlarının çimlenmesi üzerine 0, 10, 50, 100, 200, 400 ve 800 ppm'lik krom konsantrasyonlarının etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, krom konsantrasyonunun yoğunluğu arttıkça çimlenen fidelerin sürgün uzunlukları negatif yönde etkilenmiştir (Gyawali ve Lekhak 2006). Çemen (*Trigonella foenum-graceum* L.)'in çimlenmesi üzerine 200, 400, 600, 800 ve 1000 $\mu\text{g mL}^{-1}$ yoğunluklarındaki sodyum dikromat konsantrasyonlarının etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, sodyum dikromat yoğunluğu arttıkça sürgün uzunluğunun azaldığı bulunmuştur (Dabhi vd. 2005). Yoncanın çimlenmesi üzerine 5, 10, 20 ve 40 ppm'lik Cd, Cr ve Ni ağır metal konsantrasyonlarının etkisinin incelendiği bir çalışmada, konsantrasyon artışına bağlı olarak çimlenen fidelerin sürgün uzunluklarının olumsuz etkilendiğini ve ağır metallerin etki düzeylerinin $\text{Cd} > \text{Cr} > \text{Ni}$ olarak sıralandığı bildirilmiştir (Peralta vd. 2001). İki ticari çeltik çeşidinin çimlenmesi üzerine kurşun ve cıvanın etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, ağır metal yoğunluklarının artmasıyla

birlikte sürgün uzunluğunun azaldığı belirtilmiştir. Ayrıca cıva toksisitesinin kurşun toksisitesinden daha ağır olduğu bulunmuştur (Mishra ve Choudhuri 1998).

Bu çalışmada ele alınan bitki türlerinin sürgün uzunlukları, farklı ağır metal ve yoğunlukları stresi altında önemli derecede değişkenlik göstermiştir. Ayrıca ağır metallerinde sürgün uzunluğu üzerine etkileri birbirinden farklıdır. Ağır metal yoğunlukları arttıkça tüm metallerin tüm türlerin sürgün uzunluklarını azalttığı belirlenmiştir. Bu sonuçları yukarıda farklı türler üzerinde ve farklı ağır metaller ile çimlenme üzerine yapılmış olan çalışmalar desteklemektedir.

4.6. Sürgün Yaş Ağırlığı (mg/bitki)

Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında sürgün yaş ağırlığı değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.31.'de verilmiştir.

Çizelge 4.31. Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında sürgün yaş ağırlığı değerlerine ait varyans analizi sonuçları

VK	SD	KO	F
Tekerrür	3	39.10	1.04
Tür	4	291387.00	7760.74**
Hata 1	12	37.55	
Metal	4	3728.23	28.96**
Tür*Metal	16	1574.98	12.24**
Hata 2	60	128.72	
Yoğunluk	4	1566.00	21.10**
Tür*Yoğunluk	16	471.92	6.36**
Metal*Yoğunluk	16	1161.88	15.65**
Tür*Metal*Yoğunluk	64	415.13	5.59**
Hata	300	74.23	
Genel	499		

** : $P \leq 0.01$ * : $P \leq 0.05$

Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında bitki türlerinin varyans analizi sonuçlarına baktığımız zaman, sürgün yaş ağırlıkları açısından türler, metaller, tür-metal interaksiyonları, yoğunluk, tür-yoğunluk, metal-yoğunluk ve tür-metal-yoğunluk interaksiyonları %1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Türler arasında TM₁ türü en yüksek sürgün yaş ağırlığını (157.25 mg/bitki) verirken TY₀ türü ise en düşük sürgün yaş ağırlığını (25.86 mg/bitki) vermiştir. Metallerin sürgün yaş ağırlığı üzerine etkisini incelediğimiz zaman MCr en yüksek sürgün yaş ağırlığını (74.73 mg/bitki) verirken, en düşük sürgün yaş ağırlığı (59.78 mg/bitki) MCd uygulamasında ortaya çıkmıştır. Fakat MCr ve MPb ayrıca MNi ve MCd uygulamaları arasında istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır. Yoğunluk uygulamalarını incelediğimizde, en yüksek sürgün yaş ağırlığı (71.25 mg/bitki) Y000 uygulamasında elde edilirken en düşük sürgün yaş ağırlığı (62.37 mg/bitki) Y800 uygulamasında elde edilmiştir. Ancak Y000 ve Y100 ve ayrıca Y200, Y400 ve Y800 uygulamaları arasında istatistiki bir fark bulunmamıştır.

Tür, metal ve yoğunluk faktörlerine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.32.'de verilmiştir.

Çizelge 4.32. Tür, metal ve yoğunluk faktörlerinin sürgün yaş ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

	Ortalama (mg/bitki)	Gruplar		Ortalama (mg/bitki)	Gruplar		Ortalama (mg/bitki)	Gruplar
TM ₁	157.25	a	MCr	74.73	a	Y000	71.25	a
TKo	75.89	b	MPb	71.53	a	Y100	70.82	a
TFi	40.49	c	MHg	65.52	b	Y200	65.13	b
TSo	34.81	d	MNi	63.74	b c	Y400	64.72	b
TYo	25.86	e	MCd	59.78	c	Y800	62.37	b

Tür-metal interaksiyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.33.'de verilmiştir.

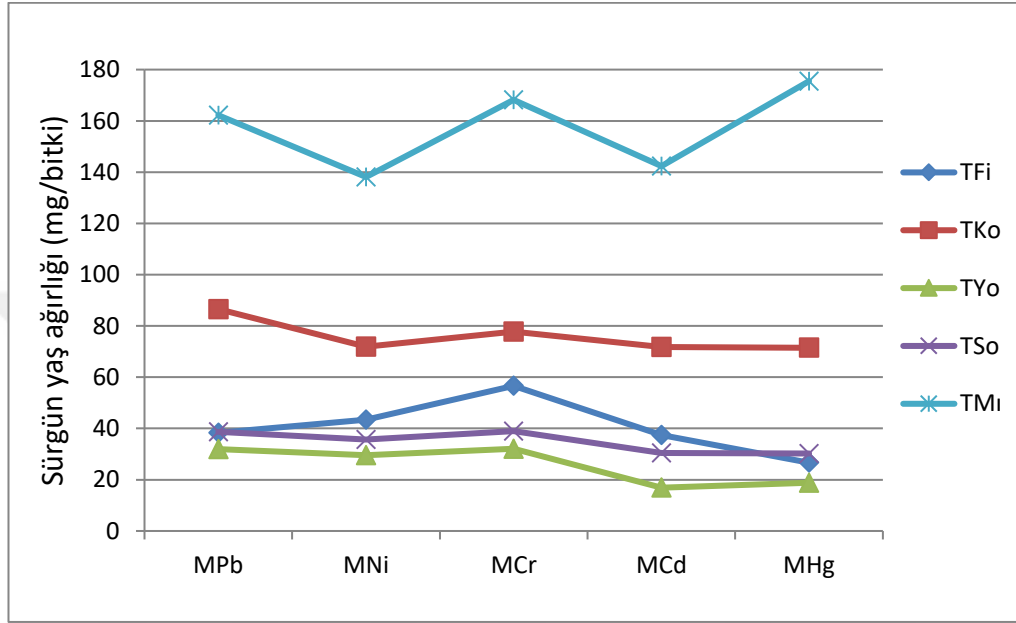
Çizelge 4.33. Tür-metal interaksiyonlarının sürgün yaş ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (mg/bitki)	Gruplar
TM ₁ ,MHg	175.49	a
TM ₁ ,MCr	168.22	a
TM ₁ ,MPb	162.14	a
TM ₁ ,MCd	142.29	b
TM ₁ ,MNi	138.10	b
TKo,MPb	86.55	c
TKo,MCr	77.78	c d
TKo,MNi	71.84	d
TKo,MCd	71.83	d
TKo,MHg	71.47	d
TFi,MCr	56.61	e
TFi,MNi	43.48	e f
TSo,MCr	38.96	f g
TSo,MPb	38.73	f g
TFi,MPb	38.28	f g
TFi,MCd	37.41	f g
TSo,MNi	35.66	f g
TYo,MCr	32.08	f g h
TYo,MPb	31.93	f g h
TSo,MCd	30.45	f - 1
TSo,MHg	30.23	f - 1
TYo,MNi	29.61	g h 1
TFi,MHg	26.64	g h 1
TYo,MHg	18.78	h 1
TYo,MCd	16.89	1

Tür-metal interaksiyonu ortalamalarını incelediğimiz zaman, en yüksek sürgün yaş ağırlığı (175.49 mg/bitki) TM₁-MHg interaksiyonu uygulamasında elde edilirken en

düşük sürgün yaş ağırlığı (16.89 mg/bitki) TYo-MCd uygulamasında elde edilmiştir. Fakat TM₁-MHg, TM₁-MCR ve TM₁-MPb ayrıca TSo-MCd, TSo-MHg, TYo-MNi, TFi-MHg, TYo-MHg ve TYo-MCd interaksiyonları ortalamaları arasında istatistiki bir fark yoktur.

Tür-metal interaksiyonunun sürgün yaş ağırlığı üzerine etkisini açıklayan grafik Şekil 4.16.'da verilmiştir.



Şekil 4.16. Tür-metal interaksiyonuna ait sürgün yaş ağırlığı sonuçları

Tür-yoğunluk interaksiyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.34.'de verilmiştir.

Çizelge 4.34. Tür-yoğunluk interaksiyonlarının sürgün yaş ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (mg/bitki)	Gruplar
TM ₁ ,Y100	167.08	a
TM ₁ ,Y800	158.16	a b
TM ₁ ,Y400	156.68	b
TM ₁ ,Y000	155.07	b
TM ₁ ,Y200	149.24	b
TKo,Y000	78.06	c
TKo,Y200	76.86	c
TKo,Y400	75.50	c
TKo,Y100	75.37	c
TKo,Y800	74.68	c
TFi,Y000	52.19	d
TFi,Y100	42.04	e

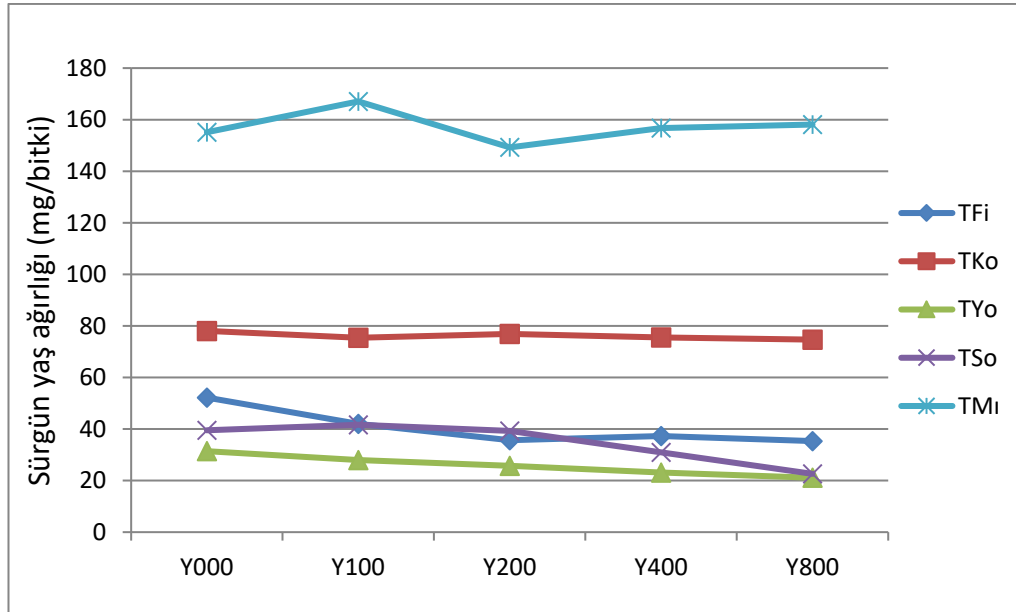
Devamı arkada

Çizelge 4.34.ün devamı

Uygulamalar	Ortalama (mg/bitki)	Gruplar
TSo,Y100	41.65	e
TSo,Y000	39.54	e f
TSo,Y200	39.24	e f
TFi,Y400	37.27	e f g
TFi,Y200	35.62	e – h
TFi,Y800	35.32	e – h
TYo,Y000	31.40	f – ı
TSo,Y400	31.01	f – j
TYo,Y100	27.96	g – j
TYo,Y200	25.69	h ı j
TYo,Y400	23.13	ı j
TSo,Y800	22.61	ı j
TYo,Y800	21.11	j

Tür-yoğunluk interaksyonu ortalamalarını incelediğimiz zaman, en yüksek sürgün yaş ağırlığı (167.08 mg/bitki) TMı-Y100 interaksyonunda elde edilirken en düşük sürgün yaş ağırlığı (21.11 mg/bitki) TYo-Y800 interaksyonunda elde edilmiştir. Ancak TMı-Y100 ve TMı-Y800 ayrıca TSo-Y400, TYo-Y100, TYo-Y200, TYo-Y400, TSo-Y800 ve TYo-Y800 interaksyonları ortalamaları arasında istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır.

Tür-yoğunluk interaksyonunun sürgün yaş ağırlığı üzerindeki etkisini açıklayan grafik Şekil 4.17.'de verilmiştir.

**Şekil 4.17.** Tür-yoğunluk interaksyonuna ait sürgün yaş ağırlığı sonuçları

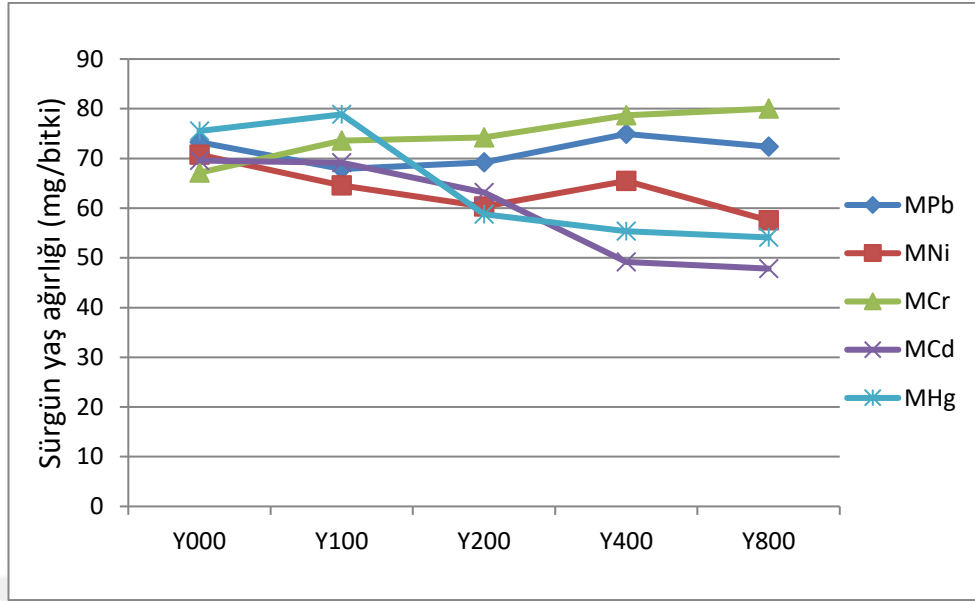
Metal-yoğunluk interaksyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.35.'de verilmiştir.

Çizelge 4.35. Metal-yoğunluk interaksiyonlarının sürgün yaş ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (mg/bitki)	Gruplar
MCr,Y800	80.03	a
MHg,Y100	78.87	a b
MCr,Y400	78.65	a b
MHg,Y000	75.50	a b c
MPb,Y400	74.93	a b c
MCr,Y200	74.23	a – d
MCr,Y100	73.61	a – d
MPb,Y000	73.28	a – d
MPb,Y800	72.35	a – e
MNi,Y000	70.75	a – e
MCd,Y000	69.58	b – f
MPb,Y200	69.20	b – f
MCd,Y100	69.17	b – f
MPb,Y100	67.88	c – g
MCr,Y000	67.13	c – h
MNi,Y400	65.50	c – h
MNi,Y100	64.57	d – i
MCd,Y200	63.14	e – j
MNi,Y200	60.33	f – j
MHg,Y200	58.76	g – k
MNi,Y800	57.54	h – l
MHg,Y400	55.37	i – l
MHg,Y800	54.11	j k l
MCd,Y400	49.15	k l
MCd,Y800	47.84	l

Metal-yoğunluk interaksyonu ortalamalarını incelediğimiz zaman, en yüksek sürgün yaş ağırlığı (80.03 mg/bitki) MCr-Y800 interaksyonu uygulamasında elde edilirken en düşük sürgün yaş ağırlığı (47.84 mg/bitki) ise MCd-Y800 interaksyonu uygulamasında elde edilmiştir. Fakat MCr-Y800, MHg-Y100, MCr-Y400, MHg-Y000, MPb-Y400, MCr-Y200, MCr-Y100, MPb-Y000, MPb-Y800 ve MNi-Y000 interaksiyonları arasında ve ayrıca MNi-Y800, MHg-Y400, MHg-Y800, MCd-Y400 ve MCd-Y800 interaksiyonları ortalamaları arasında istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır.

Metal-yoğunluk interaksyonunun sürgün yaş ağırlığı üzerindeki etkisini açıklayan grafik Şekil 4.18.'de verilmiştir.



Şekil 4.18. Metal-yoğunluk etkisi üzerine sürgün yaş ağırlığı sonuçları

Tür-metal-yoğunluk etkileşimlerine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.36.'da verilmiştir.

Çizelge 4.36. Tür-metal-yoğunluk etkileşimlerinin sürgün yaş ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (mg/bitki)	Gruplar
TM ₁ ,MHg,Y100	223.60	a
TM ₁ ,MCr,Y400	189.41	b
TM ₁ ,MHg,Y000	187.33	b
TM ₁ ,MCr,Y800	185.31	b c
TM ₁ ,MCr,Y100	172.69	b c d
TM ₁ ,MPb,Y000	170.11	b - e
TM ₁ ,MCr,Y200	167.50	b - f
TM ₁ ,MHg,Y800	164.25	b - f
TM ₁ ,MPb,Y100	164.12	b - f
TM ₁ ,MPb,Y400	162.87	b - f
TM ₁ ,MPb,Y200	159.41	c - f
TM ₁ ,MHg,Y400	157.29	d e f
TM ₁ ,MCd,Y100	156.84	d e f
TM ₁ ,MPb,Y800	154.19	d e f
TM ₁ ,MNi,Y400	154.11	d e f
TM ₁ ,MNi,Y000	149.99	d - g
TM ₁ ,MCd,Y200	148.65	d - g
TM ₁ ,MHg,Y200	144.98	e - h
TM ₁ ,MCd,Y800	144.52	e - h
TM ₁ ,MNi,Y800	142.55	f g h
TM ₁ ,MCd,Y000	141.73	f g h

Devamı arkada

Çizelge 4.36.'nın devamı

Uygulamalar	Ortalama (mg/bitki)	Gruplar
TM ₁ ,MCr,Y000	126.17	g h 1
TM ₁ ,MNi,Y200	125.69	g h 1
TM ₁ ,MCd,Y400	119.73	h 1 j
TM ₁ ,MNi,Y100	118.15	h 1 j
TKo,MPb,Y800	102.63	1 j k
TKo,MPb,Y400	98.22	j k l
TKo,MCr,Y000	81.44	k l m
TKo,MCr,Y800	80.72	k – n
TKo,MCd,Y000	79.29	k – n
TKo,MPb,Y200	79.24	k – n
TKo,MCd,Y200	79.20	k – n
TKo,MCd,Y100	79.10	k – n
TKo,MPb,Y000	78.10	k – o
TKo,MCr,Y200	78.05	k – p
TKo,MNi,Y000	77.38	k – p
TKo,MNi,Y100	76.67	k – q
TKo,MPb,Y100	74.56	l – r
TKo,MCr,Y400	74.46	l – r
TKo,MCr,Y100	74.22	l – r
TKo,MHg,Y000	74.08	l – s
TKo,MHg,Y200	73.07	l – t
TKo,MHg,Y100	72.30	l – t
TKo,MHg,Y400	71.83	l – t
TKo,MNi,Y400	71.54	l – t
TKo,MNi,Y200	69.76	m – u
TKo,MHg,Y800	66.08	m – v
TKo,MNi,Y800	63.86	m – w
TFi,MCr,Y800	63.43	m – x
TFi,MCr,Y400	63.24	m – x
TKo,MCd,Y400	61.47	m – y
TKo,MCd,Y800	60.11	m – z
TFi,MNi,Y000	55.18	m – a1
TFi,MHg,Y000	54.57	m – a1
TFi,MCr,Y000	54.06	n – a1
TFi,MCr,Y100	51.42	o – b1
TFi,MCr,Y200	50.93	p – b1
TFi,MNi,Y100	49.89	q – b1
TFi,MCd,Y000	49.29	r – b1
TFi,MPb,Y000	47.86	r – c1
TSo,MNi,Y100	47.59	r – d1
TSo,MCd,Y000	46.96	s – e1
TSo,MHg,Y100	46.00	t – e1
TSo,MPb,Y400	43.77	u – f1

Devamı arkada

Çizelge 4.36.'nın devamı

Uygulamalar	Ortalama (mg/bitki)	Gruplar
TFi,MCd,Y100	43.36	u – g1
TSo,MNi,Y200	42.20	v – h1
TSo,MCd,Y100	42.17	v – h1
TSo,MCr,Y000	41.58	v – h1
TSo,MCr,Y200	41.18	v – h1
TFi,MNi,Y400	40.95	v – h1
TSo,MPb,Y200	40.78	v – l1
TSo,MPb,Y000	39.51	v – j1
TSo,MNi,Y000	39.23	v – j1
TFi,MPb,Y800	38.28	w – k1
TSo,MCr,Y800	37.89	w – k1
TSo,MHg,Y200	37.71	w – k1
TFi,MNi,Y800	37.36	w – k1
TSo,MCr,Y400	37.34	w – k1
TSo,MCr,Y100	36.81	w – k1
TFi,MPb,Y400	36.67	x – k1
TFi,MCd,Y200	36.46	x – k1
TSo,MPb,Y100	35.68	y – k1
TFi,MPb,Y200	34.94	y – l1
TSo,MCd,Y200	34.35	y – l1
TFi,MNi,Y200	34.03	z – l1
TSo,MPb,Y800	33.94	z – l1
TFi,MPb,Y100	33.68	z – l1
TYo,MCr,Y200	33.47	z – l1
TYo,MPb,Y400	33.11	z – l1
TYo,MCr,Y100	32.91	a1 – l1
TYo,MCr,Y800	32.80	a1 – l1
TYo,MPb,Y800	32.72	a1 – l1
TYo,MCr,Y000	32.42	a1 – l1
TSo,MNi,Y400	32.00	a1 – l1
TYo,MNi,Y000	32.97	a1 – l1
TFi,MHg,Y100	31.87	a1 – l1
TFi,MCd,Y400	31.74	a1 – l1
TYo,MPb,Y200	31.62	a1 – l1
TYo,MPb,Y100	31.37	a1 – l1
TYo,MHg,Y000	31.14	a1 – l1
TYo,MPb,Y000	30.85	a1 – l1
TYo,MCd,Y000	30.62	a1 – l1
TYo,MNi,Y100	30.56	a1 – l1
TSo,MHg,Y000	30.41	a1 – l1
TYo,MNi,Y200	29.67	a1 – l1
TYo,MNi,Y400	28.90	a1 – l1
TYo,MCr,Y400	28.81	a1 – l1

Devamı arkada

Çizelge 4.36.'nın devamı

Uygulamalar	Ortalama (mg/bitki)	Gruplar
TYo,MNi,Y800	26.63	b1 – m1
TFi,MCd,Y800	26.20	b1 – m1
TYo,MCd,Y100	24.38	b1 – m1
TFi,MHg,Y200	21.73	c1 – m1
TSo,MHg,Y400	21.53	c1 – m1
TYo,MHg,Y100	20.59	d1 – m1
TSo,MCd,Y400	20.40	e1 – m1
TSo,MNi,Y200	17.30	f1 – m1
TYo,MCd,Y200	17.06	f1 – m1
TYo,MHg,Y200	16.34	g1 – m1
TSo,MHg,Y800	15.51	h1 – m1
TFi,MHg,Y400	13.74	i1 – m1
TYo,MHg,Y800	13.39	j1 – m1
TYo,MHg,Y400	12.45	j1 – m1
TYo,MCd,Y400	12.40	j1 – m1
TFi,MHg,Y800	11.31	k1 l1 m1
TSo,MCd,Y800	8.40	l1 m1
TYo,MCd,Y800	0.00	m1

Tür-metal-yoğunluk interaksyonu ortalamalarına göre, en yüksek sürgün yaş ağırlığı (223.60 mg/bitki) TM₁-MHg-Y100 interaksyonu uygulamasında elde edilirken, en düşük sürgün yaş ağırlığı (0.00 mm) TYo-MCd-Y800 interaksyonu uygulamasında elde edilmiştir. Fakat en düşük değerler arasında TYo-MNi-Y800 interaksyonundan TYo-MCd-Y800 interaksyonuna kadar istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır.

Çemen (*Trigonella foenum-graceum* L.)'in çimlenmesi üzerine 200, 400, 600, 800 ve 1000 µg mL⁻¹ yoğunluklarındaki sodyum dikromat konsantrasyonlarının etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, sodyum dikromat yoğunluğu arttıkça sürgün yaş ağırlığının azaldığı bulunmuştur (Dabhi vd. 2005). Çeltik tohumlarının çimlenmesi üzerine 0, 10, 50, 100, 200, 400 ve 800 ppm'lik krom konsantrasyonlarının etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, krom konsantrasyonunun yoğunluğu arttıkça çimlenen fidelerin sürgün yaş ağırlıkları negatif yönde etkilenmiştir (Gyawali ve Lekhak 2006). Kadmiyumun mısırdaki tohum çimlenmesi ve erken fide gelişimi üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, 10, 20, 50 ve 100 mg L⁻¹ yoğunluğunda kadmiyum konsantrasyonları kullanılmış ve yoğunluk arttıkça sürgün yaş ağırlığı azalmıştır (Ayçiçek vd. 2008).

Bu çalışmada, bitki türleri, ağır metaller ve yoğunluklar arasında sürgün yaş ağırlıkları büyük değişkenlik göstermiştir. Tüm ağır metallerin yoğunlukları arttıkça ele alınan tüm bitki türlerinin sürgün yaş ağırlıkları negatif yönde etkilenmiştir. Fakat her ağır metalin etki düzeyi ve her bitki türünün etkilenme derecesi farklı olmuştur. Yukarıda ele alınan bazı literatür bildirişleri bu çalışmayı destekler niteliktedir.

4.7. Kök Yaş Ağırlığı (mg/bitki)

Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında kök yaş ağırlığı değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.37.'de verilmiştir.

Çizelge 4.37. Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında kök yaş ağırlığı değerlerine ait varyans analizi sonuçları

VK	SD	KO	F
Tekerrür	3	883.62	1.21
Tür	4	434016.00	591.93**
Hata 1	12	733.22	
Metal	4	21195.90	55.95**
Tür*Metal	16	17203.60	45.41**
Hata 2	60	378.84	
Yoğunluk	4	7989.64	26.51**
Tür*Yoğunluk	16	3198.63	10.61**
Metal*Yoğunluk	16	1084.91	3.60**
Tür*Metal*Yoğunluk	64	613.40	2.04**
Hata	300	301.40	
Genel	499		

** : $P \leq 0.01$ * : $P \leq 0.05$

Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında bitki türlerinin varyans analizi sonuçlarına baktığımız zaman, kök yaş ağırlıkları açısından türler, metaller, tür-metal interaksiyonları, yoğunluk, tür-yoğunluk, metal-yoğunluk ve tür-metal-yoğunluk interaksiyonları %1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Tür, metal ve yoğunluk faktörlerine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.38.'de verilmiştir.

Çizelge 4.38. Tür, metal ve yoğunluk faktörlerinin kök yaş ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

	Ortalama (mg/bitki)	Gruplar		Ortalama (mg/bitki)	Gruplar		Ortalama (mg/bitki)	Gruplar
TM ₁	163.17	a	M _{Cr}	71.91	a	Y000	58.52	a
T _{Fi}	38.17	b	M _{Pb}	48.58	b	Y100	51.91	a b
T _{Ko}	21.10	c	M _{Ni}	42.97	b c	Y200	49.78	b
T _{Yo}	9.10	c d	M _{Cd}	39.43	c d	Y400	41.62	c
T _{So}	6.00	d	M _{Hg}	34.64	d	Y800	35.71	c

Türler arasında TM₁ türü en yüksek kök yaş ağırlığına (163.17 mg/bitki) sahip olurken T_{So} türü ise en düşük kök yaş ağırlığını (6.00 mg/bitki) vermiştir. Fakat T_{Yo} ve T_{So} uygulamaları arasında istatistiki bir fark yoktur. Metallerin kök yaş ağırlığı üzerine etkisini incelediğimiz zaman M_{Cr} en yüksek kök yaş ağırlığını (71.91 mg/bitki) verirken, en düşük kök yaş ağırlığı (34.64 mg/bitki) M_{Hg} uygulamasında ortaya çıkmıştır. Fakat M_{Cd} ve M_{Hg} uygulamaları arasında istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır. Yoğunluk uygulamalarını incelediğimizde, en yüksek kök yaş ağırlığı (58.52 mg/bitki) Y000 uygulamasında elde edilirken en düşük kök yaş ağırlığı (35.71 mg/bitki) Y800 uygulamasında elde edilmiştir. Ancak Y400 ve Y800 uygulamaları arasında istatistiki bir fark bulunmamıştır.

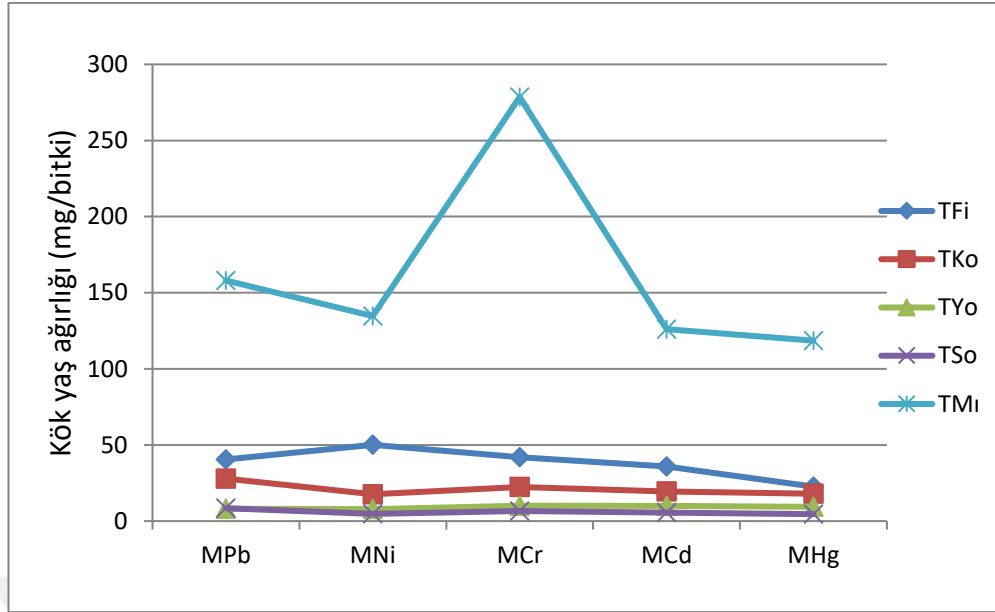
Tür-metal interaksiyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.39.'da verilmiştir.

Çizelge 4.39. Tür-metal interaksiyonlarının kök yaş ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (mg/bitki)	Gruplar
TM ₁ ,MCr	278.51	a
TM ₁ ,MPb	158.05	b
TM ₁ ,MNi	134.62	b c
TM ₁ ,MCd	126.13	c
TM ₁ ,MHg	118.53	c
TFi,MNi	50.08	d
TFi,MCr	41.92	d e
TFi,MPb	40.38	d e f
TFi,MCd	35.83	d e f
TKo,MPb	27.91	d - g
TFi,MHg	22.65	e f g
TKo,MCr	22.43	e f g
TKo,MCd	19.50	e f g
TKo,MHg	18.03	f g
TKo,MNi	17.63	f g
TYo,MCr	10.09	g
TYo,MCd	10.03	g
TYo,MHg	9.42	g
TSo,MPb	8.45	g
TYo,MPb	8.12	g
TYo,MNi	7.84	g
TSo,MCr	6.59	g
TSo,MCd	5.67	g
TSo,MNi	4.70	g
TSo,MHg	4.56	g

Tür-metal interaksiyonu ortalamalarını gözlemlendiği zaman, en yüksek kök yaş ağırlığı (278.51 mg/bitki) TM₁-MCr interaksiyonu uygulamasında elde edilirken en düşük kök yaş ağırlığı (4.56 mg/bitki) TSo-MHg uygulamasında elde edilmiştir. Fakat TKo-MPb, TFi-MHg, TKo-MCr, TKo-MCd, TKo-MHg, TKo-MNi, TYo-MCr, TYo-MCd, TYo-MHg, TSo-MPb, TYo-MPb, TYo-MNi, TSo-MCr, TSo-MCd, TSo-MNi ve TSo-MHg interaksiyonları ortalamaları arasında istatistiki bir fark yoktur.

Tür-metal interaksiyonunun kök yaş ağırlığı üzerindeki etkisini açıklayan grafik Şekil 4.19.'da verilmiştir.



Şekil 4.19. Tır-metal interaksyonuna ait kök yaş ağırlığı sonuçları

Tır-yoğunluk interaksyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.40.'da verilmiştir.

Çizelge 4.40. Tır-yoğunluk interaksyonlarının kök yaş ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (mg/bitki)	Gruplar
TM ₁ ,Y000	194.05	a
TM ₁ ,Y100	180.36	a
TM ₁ ,Y200	176.70	a
TM ₁ ,Y400	143.80	b
TM ₁ ,Y800	120.93	c
TF _i ,Y000	56.40	d
TF _i ,Y100	39.85	d
TF _i ,Y200	35.45	e
TF _i ,Y400	31.76	e
TF _i ,Y800	27.41	e
TK _o ,Y100	23.12	e-h
TK _o ,Y000	23.01	e-h
TK _o ,Y200	20.54	e-ı
TK _o ,Y400	20.13	e-ı
TK _o ,Y800	18.70	f-ı
TSo,Y000	10.43	g
TY _o ,Y800	9.68	g
TY _o ,Y400	9.45	g
TY _o ,Y200	9.26	g
TY _o ,Y000	8.69	g

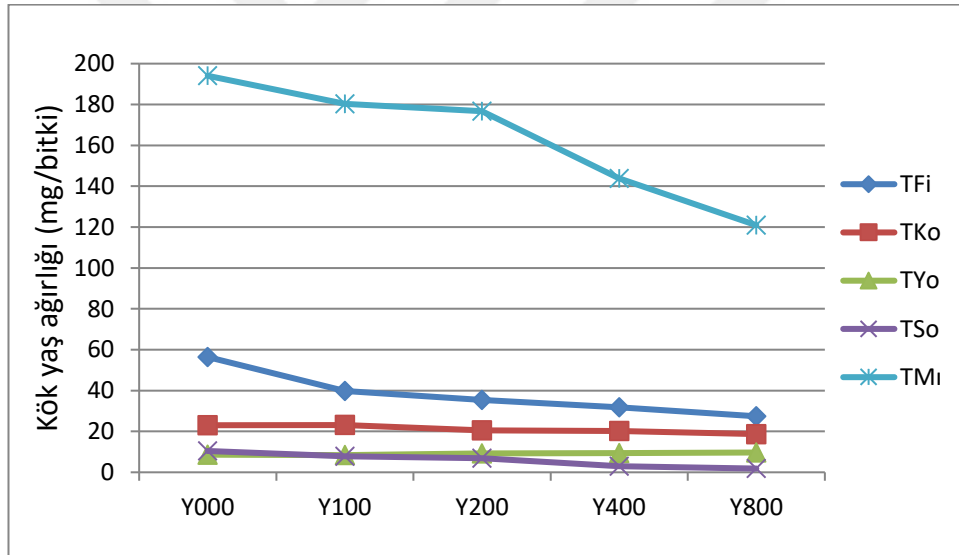
Devamı arkada

Çizelge 4.40.'ın devamı

Uygulamalar	Ortalama (mg/bitki)	Gruplar
TYo,Y100	8.40	g h 1
TSo,Y100	7.81	g h 1
TSo,Y200	6.95	h 1
TSo,Y400	2.94	h 1
TSo,Y800	1.82	1

Tür-yoğunluk interaksyonu ortalamalarını incelediğimiz zaman, en yüksek kök yaş ağırlığı (194.05 mg/bitki) TM₁-Y000 interaksyonunda elde edilirken en düşük kök yaş ağırlığı (1.82 mg/bitki) TSo-Y800 interaksyonunda elde edilmiştir. Ancak TM₁-Y000, TM₁-Y100 ve TM₁-Y200 ayrıca TKo-Y200, TKo-Y400, TKo-Y800, TSo-Y000, TYo-Y800, TYo-Y400, TYo-Y200, TYo-Y000, TYo-Y100, TSo-Y100, TSo-Y200, TSo-Y400 ve TSo-Y800 interaksyonları ortalamaları arasında istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır.

Tür-yoğunluk interaksyonun kök yaş ağırlığı üzerindeki etkisini açıklayan grafik Şekil 4.20.'de verilmiştir.

**Şekil 4.20.** Tür-yoğunluk interaksyonuna ait kök yaş ağırlığı sonuçları

Metal-yoğunluk interaksyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.41.'de verilmiştir.

Çizelge 4.41. Metal-yoğunluk interaksyonlarının kök yaş ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (mg/bitki)	Gruplar
MCr,Y800	76.38	a
MCr,Y000	74.74	a b
MCr,Y200	70.84	a b c

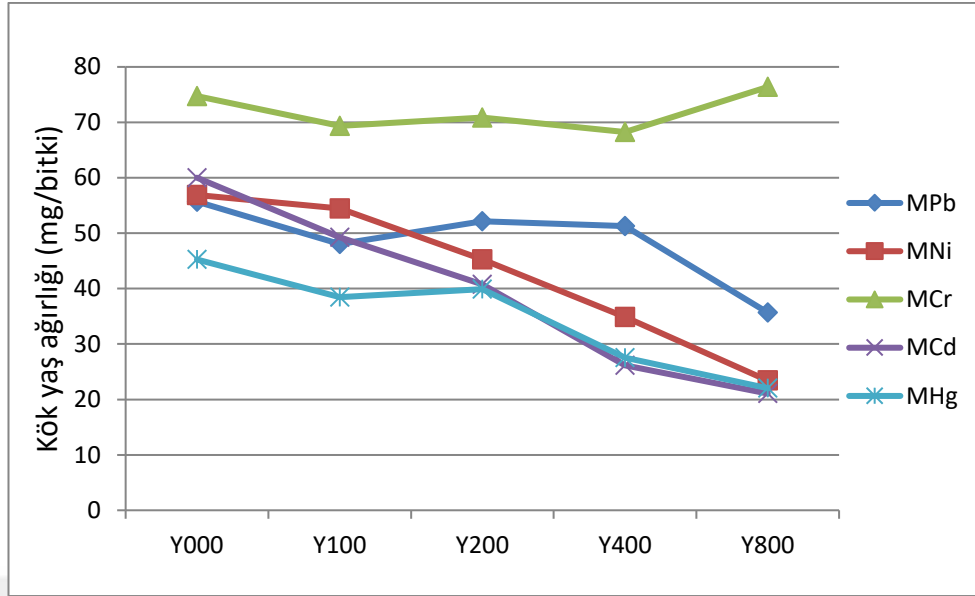
Devamı arkada

Çizelge 4.41.'in devamı

Uygulamalar	Ortalama (mg/bitki)	Gruplar
MCr, Y100	69.33	a – d
MCr, Y400	68.25	a – e
MCd, Y000	60.01	a – f
MNi, Y000	56.89	a – g
MPb, Y000	55.69	b – h
MNi, Y100	54.44	c – i
MPb, Y200	52.17	c – i
MPb, Y400	51.30	c – i
MCd, Y100	49.23	d – i
MPb, Y100	48.07	e – i
MNi, Y200	45.26	f – j
MHg, Y000	45.25	f – j
MCd, Y200	40.74	f – k
MHg, Y200	39.91	f – k
MHg, Y100	38.46	g – k
MPb, Y800	35.67	h – k
MNi, Y400	34.87	i j k
MHg, Y400	27.54	j k
MCd, Y400	26.13	j k
MNi, Y800	23.41	k
MHg, Y800	22.03	k
MCd, Y800	21.06	k

Metal-yoğunluk interaksyonu ortalamalarını incelediğimiz zaman, en yüksek kök yaş ağırlığı (76.38 mg/bitki) MCr-Y800 interaksyonu uygulamasında elde edilirken en düşük kök yaş ağırlığı (21.06 mg/bitki) ise MCd-Y800 interaksyonu uygulamasında elde edilmiştir. Fakat MCr-Y800, MCr-Y000, MCr-Y200, MCr-Y100, MCr-Y400, MCd-Y000 ve MNi-Y000 interaksyonları arasında ve ayrıca MCd-Y200, MHg-Y200, MHg-Y100, MPb-Y800, MNi-Y400, MHg-Y400, MCd-Y400, MNi-Y800, MHg-Y800 ve MCd-Y800 interaksyonları ortalamaları arasında istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır.

Metal-yoğunluk interaksyonunun kök yaş ağırlığı üzerindeki etkisini açıklayan grafik Şekil 4.21.'de verilmiştir.



Şekil 4.21. Metal-yoğunluk interaksionuna ait kök yaş ağırlığı sonuçları

Tür-metal-yoğunluk interaksionlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.42.'de verilmiştir.

Çizelge 4.42. Tür-metal-yoğunluk interaksionlarının kök yaş ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (mg/bitki)	Gruplar
TM ₁ , MCr, Y800	296.42	a
TM ₁ , MCr, Y000	295.80	a
TM ₁ , MCr, Y200	274.97	a
TM ₁ , MCr, Y100	268.26	a
TM ₁ , MCr, Y400	257.08	a
TM ₁ , MCd, Y000	182.27	b
TM ₁ , MPb, Y200	179.86	b
TM ₁ , MPb, Y400	177.11	b
TM ₁ , MNi, Y000	175.96	b
TM ₁ , MCd, Y100	175.84	b
TM ₁ , MPb, Y000	175.09	b
TM ₁ , MNi, Y100	173.73	b
TM ₁ , MPb, Y100	152.05	b c
TM ₁ , MHg, Y200	146.15	b c d
TM ₁ , MCd, Y200	141.88	b c d
TM ₁ , MHg, Y000	141.10	b c d
TM ₁ , MNi, Y200	140.66	b c d
TM ₁ , MHg, Y100	131.91	b – e
TM ₁ , MNi, Y400	110.48	c – f
TM ₁ , MPb, Y800	106.13	c – g
TM ₁ , MHg, Y400	93.93	d – h

Devamı arkada

Çizelge 4.42.'nin devamı

Uygulamalar	Ortalama (mg/bitki)	Gruplar
TM ₁ ,MCd,Y400	80.40	e – 1
TM ₁ ,MHg,Y800	79.58	e – 1
TM ₁ ,MNi,Y800	72.26	f – j
TFi,MCd,Y000	71.22	f – k
TFi,MNi,Y000	65.53	f – l
TFi,MNi,Y100	61.96	f – m
TFi,MPb,Y000	59.96	f – n
TFi,MNi,Y200	52.39	g – o
TM ₁ ,MCd,Y800	50.27	h – o
TFi,MHg,Y000	47.87	h – o
TFi,MCr,Y800	47.42	h – o
TFi,MCr,Y400	43.16	h – o
TFi,MNi,Y400	42.17	h – o
TFi,MCr,Y100	41.43	h – o
TFi,MCr,Y200	40.19	h – o
TFi,MPb,Y100	38.61	i – o
TFi,MPb,Y200	38.06	i – o
TFi,MCr,Y000	37.42	i – o
TFi,MPb,Y400	34.02	i – o
TKo,MPb,Y100	33.23	i – o
TFi,MCd,Y100	33.13	i – o
TFi,MPb,Y800	31.24	i – o
TKo,MPb,Y800	29.51	i – o
TFi,MCd,Y200	29.30	i – o
TFi,MNi,Y800	28.38	i – o
TKo,MPb,Y400	28.31	i – o
TFi,MCd,Y400	25.89	i – o
TKo,MPb,Y200	24.86	j – o
TKo,MCr,Y800	24.35	j – o
TFi,MHg,Y100	24.12	j – o
TKo,MPb,Y000	23.63	j – o
TKo,MCd,Y000	23.57	j – o
TKo,MCd,Y100	23.42	j – o
TKo,MCr,Y400	23.18	j – o
TKo,MNi,Y000	23.15	j – o
TKo,MCr,Y000	23.13	j – o
TKo,MHg,Y000	21.56	j – o
TKo,MCr,Y100	20.92	j – o
TYo,MCd,Y800	20.59	j – o
TKo,MCr,Y200	20.57	j – o
TKo,MNi,Y100	20.20	j – o
TKo,MHg,Y200	19.82	j – o
TFi,MCd,Y800	19.62	j – o

Devamı arkada

Çizelge 4.42.'nin devamı

Uygulamalar	Ortalama (mg/bitki)	Gruplar
TKo,MCd,Y200	19.48	j – o
TKo,MHg,Y400	18.36	j – o
TKo,MNi,Y200	17.98	j – o
TKo,MHg,Y100	17.82	j – o
TFi,MHg,Y200	17.33	k – o
TKo,MCd,Y400	16.24	l – o
TKo,MCd,Y800	14.82	l – o
TKo,MNi,Y400	14.57	l – o
TSo,MCd,Y000	14.46	l – o
TFi,MHg,Y400	13.56	l – o
TKo,MHg,Y800	12.57	l – o
TKo,MNi,Y800	12.24	l – o
TYo,MCr,Y400	12.10	l – o
TYo,MHg,Y400	11.87	l – o
TYo,MHg,Y100	11.21	l – o
TSo,MPb,Y000	10.85	l – o
TFi,MHg,Y800	10.39	m n o
TYo,MCr,Y200	10.31	m n o
TYo,MHg,Y200	10.29	m n o
TYo,MCr,Y000	9.99	m n o
TYo,MNi,Y000	9.92	m n o
TSo,MNi,Y000	9.88	m n o
TSo,MHg,Y000	9.63	m n o
TYo,MNi,Y200	9.36	m n o
TSo,MPb,Y200	9.11	m n o
TYo,MCr,Y100	9.08	m n o
TSo,MPb,Y400	8.99	m n o
TYo,MPb,Y200	8.97	m n o
TYo,MCr,Y800	8.97	m n o
TYo,MPb,Y000	8.92	m n o
TSo,MPb,Y100	8.91	m n o
TYo,MNi,Y100	8.63	m n o
TYo,MCd,Y000	8.54	m n o
TSo,MCd,Y100	8.24	m n o
TSo,MCr,Y200	8.15	m n o
TYo,MCd,Y400	8.11	m n o
TYo,MPb,Y400	8.07	m n o
TSo,MNi,Y100	7.70	m n o
TYo,MHg,Y800	7.63	m n o
TYo,MPb,Y100	7.57	m n o
TYo,MCd,Y200	7.40	m n o
TSo,MCr,Y000	7.37	m n o
TSo,MHg,Y100	7.23	n o

Devamı arkada

Çizelge 4.42.'nin devamı

Uygulamalar	Ortalama (mg/bitki)	Gruplar
TYo,MNi,Y400	7.13	n o
TYo,MPb,Y800	7.08	n o
TSo,MCr,Y100	6.95	n o
TYo,MHg,Y000	6.09	n o
TSo,MHg,Y200	5.96	n o
TSo,MNi,Y200	5.91	n o
TSo,MCr,Y400	5.72	n o
TSo,MCd,Y200	5.65	n o
TYo,MCd,Y100	5.50	n o
TSo,MCr,Y800	4.74	o
TSo,MPb,Y800	4.38	o
TYo,MNi,Y800	4.16	o
TSo,MHg,Y800	0.00	o
TSo,MNi,Y400	0.00	o
TSo,MHg,Y400	0.00	o
TSo,MNi,Y800	0.00	o
TSo,MCd,Y400	0.00	o
TSo,MCd,Y800	0.00	o

Tür-metal-yoğunluk interaksyonu ortalamalarını incelediğimiz zaman, en yüksek kök yaş ağırlığı (296.42 mg/bitki) TM₁-MCr-Y800 interaksyonu uygulamasında elde edilirken, en düşük kök yaş ağırlığı (0.00 mg/bitki) TSo-MCd-Y800 interaksyonu uygulamasında elde edilmiştir. Fakat en yüksek değerler arasında TM₁-MCr-Y800 interaksyonundan TM₁-MCr-Y400 interaksyonuna ve ayrıca en düşük değer arasında ise TFi-MNi-Y200 interaksyonundan TSo-MCd-Y800 interaksyonuna kadar istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır.

Çemen (*Trigonella foenum-graceum* L.)'in çimlenmesi üzerine 200, 400, 600, 800 ve 1000 µg mL⁻¹ yoğunluklarındaki sodyum dikromat konsantrasyonlarının etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, sodyum dikromat yoğunluğu arttıkça kök yaş ağırlığının azaldığı bulunmuştur (Dabhi vd. 2005). Çeltik tohumlarının çimlenmesi üzerine 0, 10, 50, 100, 200, 400 ve 800 ppm'lik krom konsantrasyonlarının etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, krom konsantrasyonunun yoğunluğu arttıkça çimlenen fidelerin kök yaş ağırlıkları negatif yönde etkilenmiştir (Gyawali ve Lekhak 2006). Kadmiyumun mısırdaki tohum çimlenmesi ve erken fide gelişimi üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, 10, 20, 50 ve 100 mg L⁻¹ yoğunluğunda kadmiyum konsantrasyonları kullanılmış ve yoğunluk arttıkça kök yaş ağırlığı azalmıştır (Ayçiçek vd. 2008).

Bu çalışmada, bitki türleri, ağır metaller ve yoğunluklar arasında kök yaş ağırlıkları büyük değişkenlik göstermiştir. Tüm ağır metallerin yoğunlukları arttıkça ele alınan tüm bitki türlerinin kök yaş ağırlıkları negatif yönde etkilenmiştir. Fakat her ağır metalin etki düzeyi ve her bitki türünün etkilenme derecesi farklı olmuştur. Yukarıda ele alınan bazı literatür bildirişleri bu çalışmayı destekler niteliktedir.

4.8. Kök Kuru Ağırlığı (mg/bitki)

Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında kök kuru ağırlığı değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.43.'de verilmiştir.

Çizelge 4.43. Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altındakök kuru ağırlığı değerlerine ait varyans analizi sonuçları

VK	SD	KO	F
Tekerrür	3	12,34	0,93
Tür	4	9166,54	688,27**
Hata 1	12	13.32	
Metal	4	377,30	42,29**
Tür*Metal	16	407,94	45,72**
Hata 2	60	8.92	
Yoğunluk	4	109,28	18,17**
Tür* Yoğunluk	16	43,05	7,16**
Metal* Yoğunluk	16	11,33	1,88*
Tür*Metal* Yoğunluk	64	9,56	1,59**
Hata	300	6.02	
Genel	499		

** : $P \leq 0.01$ * : $P \leq 0.05$

Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında bitki türlerinin varyans analizi sonuçlarına baktığımız zaman, kök kuru ağırlıkları açısından türler, metaller, tür-metal interaksiyonları, yoğunluk, tür-yoğunluk ve tür-metal-yoğunluk interaksiyonları %1 hata payında; metal-yoğunluk interaksiyonları ise %5 hata payında önemli bulunmuştur.

Tür, metal ve yoğunluk faktörlerine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.44.'de verilmiştir.

Çizelge 4.44. Tür, metal ve yoğunluk faktörlerinin kök kuru ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

	Ortalama (mg/bitki)	Gruplar		Ortalama (mg/bitki)	Gruplar		Ortalama (mg/bitki)	Gruplar
TMı	23.50	a	MCr	9.79	a	Y000	7.63	a
TFi	3.95	b	MNi	6.18	b	Y200	7.03	a
TKo	2.31	b c	MPb	6.12	b	Y100	6.93	a
TSo	1.47	c	MCd	5.64	b c	Y400	5.78	b
TYo	1.18	c	MHg	4.68	c	Y800	5.05	b

Türler arasında TMı türü en yüksek kök kuru ağırlığını (23.50 mg/bitki) verirken TYo türü ise en düşük kök kuru ağırlığını (1.18 mg/bitki) vermiştir. Fakat TKo, TSo ve TYo uygulamaları arasında istatistiki bir fark yoktur. Metallerin kök kuru ağırlığı üzerine etkisini incelediğimiz zaman MCr en yüksek kök kuru ağırlığını (9.79 mg/bitki) verirken, en düşük kök kuru ağırlığı (4.68 mg/bitki) MHg uygulamasında ortaya çıkmıştır. Fakat MCd ve MHg uygulamaları arasında istatistiki bir fark ortaya

çıkamamıştır. Yoğunluk uygulamalarını incelediğimizde, en yüksek kök kuru ağırlığı (7.63 mg/bitki) Y000 uygulamasında elde edilirken en düşük kök kuru ağırlığı (5.05 mg/bitki) Y800 uygulamasında elde edilmiştir. Ancak Y000, Y200 ve Y100 ve ayrıca Y400 ve Y800 uygulamaları arasında istatistiki bir fark bulunmamıştır.

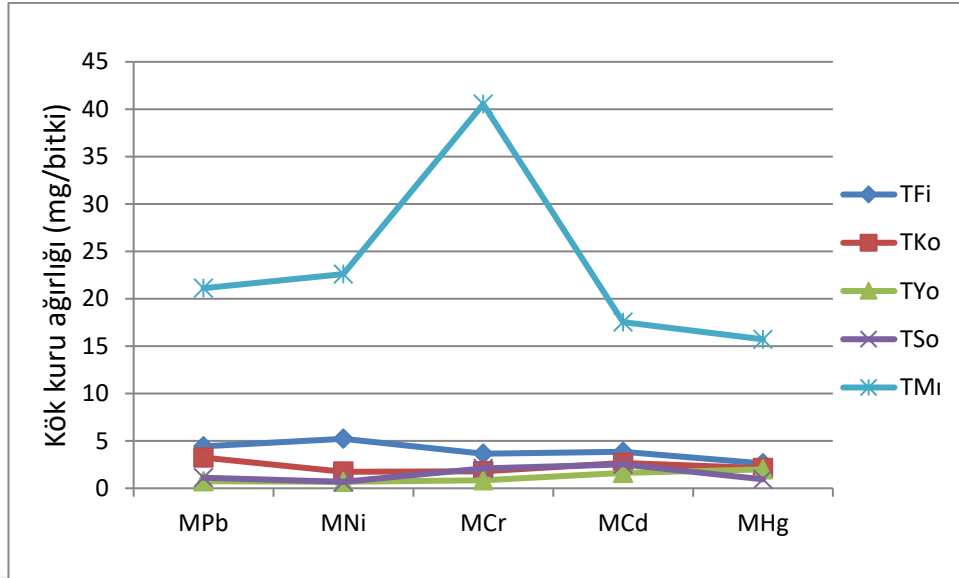
Tür-metal interaksiyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.45.'de verilmiştir.

Çizelge 4.45. Tür-metal interaksiyonlarının kök kuru ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (mg/bitki)	Gruplar
TM ₁ ,MCr	40.53	a
TM ₁ ,MNi	22.59	b
TM ₁ ,MPb	21.12	b c
TM ₁ ,MCd	17.54	c d
TM ₁ ,MHg	15.72	d
TFi,MNi	5.22	e
TFi,MPb	4.41	e f
TFi,MCd	3.86	e f g
TFi,MCr	3.65	e f g
TKo,MPb	3.24	e f g
TKo,MCd	2.67	e f g
TFi,MHg	2.62	e f g
TSo,MCd	2.52	e f g
TKo,MHg	2.12	e f g
TSo,MCr	2.11	e f g
TYo,MHg	1.99	e f g
TKo,MCr	1.79	e f g
TKo,MNi	1.74	e f g
TYo,MCd	1.61	e f g
TSo,MPb	1.10	f g
TSo,MHg	0.95	f g
TYo,MCr	0.85	f g
TYo,MPb	0.75	g
TSo,MNi	0.68	g
TYo,MNi	0.68	g

Tür-metal interaksiyonu ortalamalarını incelediğimiz zaman, en yüksek kök kuru ağırlığı (40.53 mg/bitki) TM₁-MCr interaksiyonu uygulamasında elde edilirken en düşük kök kuru ağırlığı (0.68 mg/bitki) TYo-MNi uygulamasında elde edilmiştir. Fakat TFi-MCd, TFi-MCr, TKo-MPb, TKo-MCd, TFi-MHg, TSo-MCd, TKo-MHg, TSo-MCr, TYo-MHg, TKo-MCr, TKo-MNi, TYo-MCd, TSo-MPb, TSo-MHg, TYo-MCr, TYo-MPb, TSo-MNi ve TYo-MNi interaksiyonları ortalamaları arasında istatistiki bir fark yoktur.

Tür-metal interaksiyonunun kök kuru ağırlığı üzerindeki etkisini açıklayan grafik Şekil 4.22.'de verilmiştir.



Şekil 4.22. Tır-metal interaksyonuna ait kök kuru ağırlığı sonuçları

Tır-yoğunluk interaksyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.46.'da verilmiştir.

Çizelge 4.46. Tır-yoğunluk interaksyonlarının kök kuru ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (mg/bitki)	Gruplar
TM ₁ ,Y000	26.57	a
TM ₁ ,Y200	26.17	a
TM ₁ ,Y100	24.80	a
TM ₁ ,Y400	21.69	b
TM ₁ ,Y800	18.28	c
TF _i ,Y000	5.16	d
TF _i ,Y100	4.20	d e
TF _i ,Y200	3.91	d e f
TF _i ,Y400	3.53	d – g
TF _i ,Y800	2.96	d – h
TS _o ,Y000	2.84	d – h
TK _o ,Y100	2.66	d – h
TK _o ,Y000	2.50	d – h
TK _o ,Y200	2.32	d – h
TK _o ,Y400	2.05	e – h
TK _o ,Y800	2.03	e – h
TS _o ,Y100	1.97	e – h
TS _o ,Y200	1.68	e – h
TY _o ,Y800	1.58	e – h
TY _o ,Y400	1.15	f g h
TY _o ,Y000	1.08	f g h

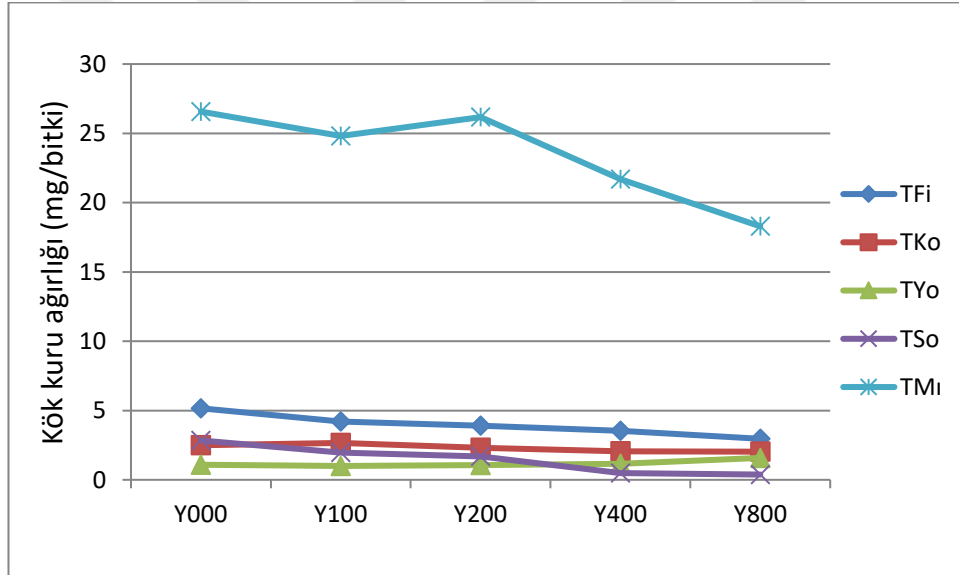
Devamı arkada

Çizelge 4.46.'nın devamı

Uygulamalar	Ortalama (mg/bitki)	Gruplar
TYo,Y200	1.07	f g h
TYo,Y100	1.00	g h
TSo,Y400	0.49	h
TSo,Y800	0.38	h

Tür-yoğunluk interaksyonu ortalamalarını incelediğimizde, en yüksek kök kuru ağırlığı (26.57 mg/bitki) TM₁-Y000 interaksyonunda elde edilirken en düşük kök kuru ağırlığı (0.38 mg/bitki) TSo-Y800 interaksyonunda elde edilmiştir. Ancak TM₁-Y000, TM₁-Y200 ve TM₁-Y100 ve ayrıca TFi-Y800, TSo-Y000, TKo-Y100, TKo-Y000, TKo-Y200, TKo-Y400, TKo-Y800, TSo-Y100, TSo-Y200, TYo-Y800, TYo-Y400, TYo-Y000, TYo-Y200, TYo-Y100, TSo-Y400 ve TSo-Y800 interaksyonları ortalamaları arasında istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır.

Tür-yoğunluk interaksyonunun kök kuru ağırlığı üzerindeki etkisini açıklayan grafik Şekil 4.23.'de verilmiştir.

**Şekil 4.23.** Tür-yoğunluk interaksyonuna ait kök kuru ağırlığı sonuçları

Metal-yoğunluk interaksyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.47.'de verilmiştir.

Çizelge 4.47. Metal-yoğunluk interaksyonlarının kök kuru ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (mg/bitki)	Gruplar
MCr,Y000	11.29	a
MCr,Y800	10.11	a b
MCr,Y100	9.53	a b c
MCr,Y200	9.45	a b c

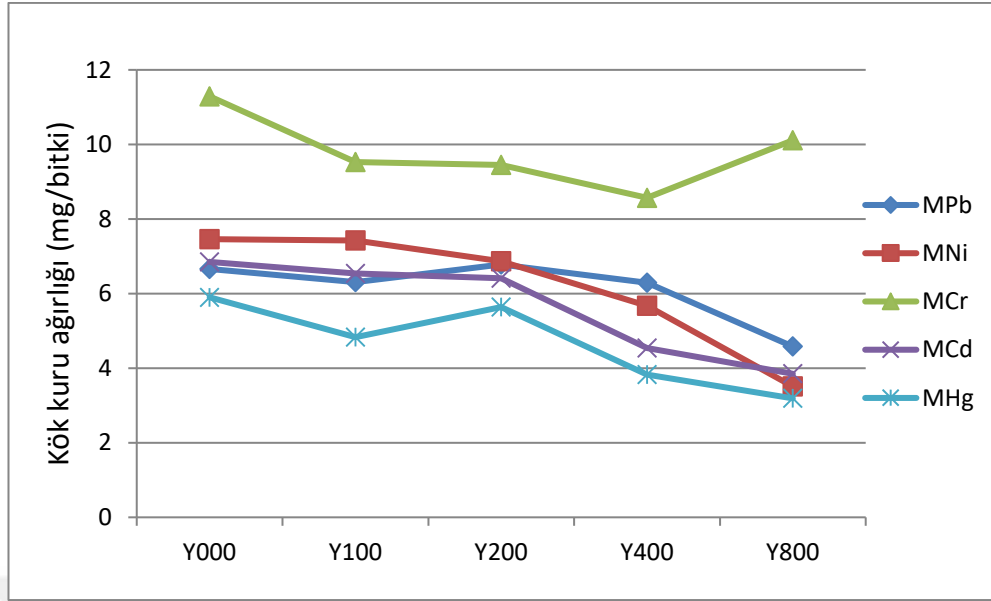
Devamı arkada

Çizelge 4.47.'nin devamı

Uygulamalar	Ortalama (mg/bitki)	Gruplar
MCr, Y400	8.57	a – d
MNi, Y000	7.46	b – e
MNi, Y100	7.42	b – f
MNi, Y200	6.87	c - g
MCd, Y000	6.85	c - g
MPb, Y200	6.78	c - g
MPb, Y000	6.66	c - g
MCd, Y100	6.54	d - h
MCd, Y200	6.41	d - h
MPb, Y100	6.31	d - ı
MPb, Y400	6.29	d - ı
MHg, Y000	5.90	d - j
MNi, Y400	5.67	e - j
MHg, Y200	5.64	e - j
MHg, Y100	4.83	e - j
MPb, Y800	4.58	f - j
MCd, Y400	4.54	g - j
MCd, Y800	3.85	h ı j
MHg, Y400	3.83	h ı j
MNi, Y800	3.51	ı j
MHg, Y800	3.19	j

Metal-yoğunluk interaksyonu ortalamalarını incelediğimiz zaman, en yüksek kök kuru ağırlığı (11.29 mg/bitki) MCr-Y000 interaksyonu uygulamasında elde edilirken en düşük kök kuru ağırlığı (3.19 mg/bitki) ise MHg-Y800 interaksyonu uygulamasında elde edilmiştir. Fakat MCr-Y000, MCr-Y800, MCr-Y100, MCr-Y200 ve MCr-Y400 interaksyonları arasında ve ayrıca MHg-Y000, MNi-Y400, MHg-Y200, MHg-Y100, MPb-Y800, MCd-Y400, MCd-Y800, MHg-Y400, MNi-Y800 ve MHg-Y800 interaksyonları ortalamaları arasında istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır.

Metal-yoğunluk interaksyonunun kök kuru ağırlığı üzerindeki etkisini açıklayan grafik Şekil 4.24.'de verilmiştir.



Şekil 4.24. Metal-yoğunluk interaksiyonuna ait kök kuru ağırlığı sonuçları

Tür-metal-yoğunluk interaksiyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.48.'de verilmiştir.

Çizelge 4.48. Tür-metal-yoğunluk interaksiyonlarının kök kuru ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (mg/bitki)	Gruplar
TM ₁ ,MCr,Y000	45.05	a
TM ₁ ,MCr,Y800	42.97	a
TM ₁ ,MCr,Y200	39.87	a b
TM ₁ ,MCr,Y100	39.79	a b
TM ₁ ,MCr,Y400	34.98	b
TM ₁ ,MNi,Y100	27.06	c
TM ₁ ,MNi,Y000	26.99	c
TM ₁ ,MPb,Y200	24.92	c d
TM ₁ ,MNi,Y200	24.80	c d
TM ₁ ,MPb,Y000	23.28	c d e
TM ₁ ,MPb,Y400	22.71	c d e
TM ₁ ,MNi,Y400	21.28	c – f
TM ₁ ,MCd,Y100	20.80	c – g
TM ₁ ,MHg,Y200	20.72	c – g
TM ₁ ,MCd,Y200	20.55	c – h
TM ₁ ,MPb,Y100	20.49	c – h
TM ₁ ,MCd,Y000	20.03	c – h
TM ₁ ,MHg,Y000	17.50	d – ı
TM ₁ ,MCd,Y400	16.06	e – ı

Devamı arkada

Çizelge 4.48.'in devamı

Uygulamalar	Ortalama (mg/bitki)	Gruplar
TM ₁ ,MHg,Y100	15.84	e – 1
TM ₁ ,MPb,Y800	14.20	f – 1
TM ₁ ,MHg,Y400	13.40	g – j
TM ₁ ,MNi,Y800	12.84	h – k
TM ₁ ,MHg,Y800	11.15	ı – l
TM ₁ ,MCd,Y800	10.25	ı – m
TFi,MCd,Y000	6.24	j – n
TFi,MNi,Y100	5.97	j – n
TFi,MNi,Y000	5.95	j – n
TFi,MNi,Y200	5.90	j – n
TFi,MNi,Y400	5.15	k – n
TFi,MHg,Y000	5.13	k – n
TSo,MCr,Y000	4.98	l m n
TFi,MPb,Y000	4.98	l m n
TFi,MPb,Y100	4.52	l m n
TKo,MPb,Y100	4.51	l m n
TSo,MCd,Y100	4.42	l m n
TSo,MCd,Y000	4.34	l m n
TFi,MPb,Y200	4.33	l m n
TFi,MPb,Y400	4.25	l m n
TYo,MCd,Y800	4.11	l m n
TFi,MCr,Y800	4.00	l m n
TFi,MPb,Y800	3.98	l m n
TSo,MCd,Y200	3.84	l m n
TFi,MCd,Y100	3.70	l m n
TFi,MCr,Y100	3.67	l m n
TFi,MCd,Y200	3.60	l m n
TFi,MCr,Y400	3.56	l m n
TFi,MCr,Y200	3.52	l m n
TFi,MCr,Y000	3.52	l m n
TKo,MPb,Y800	3.36	m n
TFi,MCd,Y400	3.32	m n
TFi,MHg,Y100	3.16	m n
TFi,MNi,Y800	3.14	m n
TKo,MCd,Y100	3.01	m n
TKo,MCd,Y200	3.00	m n
TKo,MPb,Y000	2.89	m n
TKo,MCd,Y000	2.81	m n
TKo,MPb,Y400	2.72	m n
TKo,MPb,Y200	2.71	m n

Devamı arkada

Çizelge 4.48.'in devamı

Uygulamalar	Ortalama (mg/bitki)	Gruplar
TKo,MHg,Y000	2.51	n
TFi,MCd,Y800	2.44	n
TKo,MCd,Y800	2.44	n
TKo,MHg,Y400	2.43	n
TSo,MHg,Y000	2.21	n
TKo,MHg,Y200	2.20	n
TFi,MHg,Y200	2.19	n
TKo,MNi,Y000	2.18	n
TYo,MHg,Y000	2.16	n
TKo,MNi,Y100	2.13	n
TKo,MCr,Y000	2.13	n
TKo,MCd,Y400	2.09	n
TKo,MNi,Y200	2.03	n
TYo,MHg,Y800	1.98	n
TYo,MHg,Y400	1.97	n
TYo,MHg,Y100	1.94	n
TYo,MHg,Y200	1.92	n
TKo,MHg,Y100	1.88	n
TKo,MCr,Y400	1.78	n
TKo,MCr,Y100	1.77	n
TKo,MCr,Y200	1.65	n
TKo,MCr,Y800	1.64	n
TSo,MCr,Y100	1.59	n
TKo,MHg,Y800	1.57	n
TSo,MCr,Y400	1.38	n
TSo,MCr,Y200	1.38	n
TFi,MHg,Y400	1.37	n
TSo,MPb,Y100	1.37	n
TSo,MNi,Y000	1.34	n
TSo,MHg,Y100	1.33	n
TSo,MPb,Y000	1.33	n
TFi,MHg,Y800	1.24	n
TYo,MCd,Y400	1.24	n
TKo,MNi,Y400	1.23	n
TSo,MCr,Y800	1.22	n
TSo,MHg,Y200	1.20	n
TSo,MNi,Y100	1.17	n
TKo,MNi,Y800	1.15	n
TYo,MCr,Y400	1.15	n
TYo,MCd,Y200	1.07	n

Devamı arkada

Çizelge 4.48.'in devamı

Uygulamalar	Ortalama (mg/bitki)	Gruplar
TSo,MPb,Y200	1.07	n
TSo,MPb,Y400	1.06	n
TSo,MNi,Y200	0.91	n
TYo,MPb,Y200	0.85	n
TYo,MCd,Y000	0.85	n
TYo,MPb,Y000	0.84	n
TYo,MNi,Y000	0.83	n
TYo,MCr,Y100	0.81	n
TYo,MCr,Y200	0.81	n
TYo,MCd,Y100	0.79	n
TYo,MNi,Y100	0.78	n
TYo,MCr,Y000	0.76	n
TYo,MNi,Y200	0.72	n
TYo,MCr,Y800	0.72	n
TYo,MPb,Y400	0.71	n
TYo,MPb,Y800	0.70	n
TYo,MNi,Y400	0.69	n
TSo,MPb,Y800	0.67	n
TYo,MPb,Y100	0.67	n
TYo,MNi,Y800	0.40	n
TSo,MCd,Y400	0.00	n
TSo,MNi,Y800	0.00	n
TSo,MCd,Y800	0.00	n
TSo,MHg,Y400	0.00	n
TSo,MHg,Y800	0.00	n
TSo,MNi,Y400	0.00	n

Tür-metal-yoğunluk interaksyonunu ortalamalarına baktığımızda, en yüksek kök kuru ağırlığı (45.05 mg/bitki) TM₁-MCr-Y000 interaksyonunu uygulamasında elde edilirken, en düşük kök kuru ağırlığı (0.00 mg/bitki) TSo-MNi-Y400 interaksyonunu uygulamasında elde edilmiştir. Fakat en yüksek değerler arasına TM₁-MCr-Y000 interaksyonundan TM₁-MCr-Y100 interaksyonuna ve ayrıca en düşük değerler arasında ise TFi-MCd-Y000 interaksyonundan TSo-MNi-Y400 interaksyonuna kadar ortalamalar arasında istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır.

Çemen (*Trigonella foenum-graceum* L.)'in çimlenmesi üzerine 200, 400, 600, 800 ve 1000 µg mL⁻¹ yoğunluklarındaki sodyum dikromat konsantrasyonlarının etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, sodyum dikromat yoğunluğu arttıkça kök kuru ağırlığının azaldığı bulunmuştur (Dabhi vd. 2005). Çeltik tohumlarının çimlenmesi üzerine 0, 10, 50, 100, 200, 400 ve 800 ppm'lik krom konsantrasyonlarının etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, krom konsantrasyonunun yoğunluğu arttıkça çimlenen fidelerin kök kuru ağırlıkları negatif yönde etkilenmiştir (Gyawali ve Lekhak 2006). Kadmiyumun mısırdaki tohum çimlenmesi ve erken fide gelişimi üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada,

10, 20, 50 ve 100 mg L⁻¹ yoğunluğunda kadmiyum konsantrasyonları kullanılmış ve yoğunluk arttıkça kök kuru ağırlığı değerlerinin dalgalanma gösterdiği bulunmuştur (Ayçiçek vd. 2008).

Bu çalışmada ele alınan bitki türlerinin kök kuru ağırlıkları üzerine tüm metallerin yoğunlukları negatif yönde etkide bulunmuştur. Yoğunluk arttıkça kök kuru ağırlığı değerleri azalmış fakat yoğunlukların etki dereceleri kendi aralarında birbirinden farklı olmuştur. Yukarıda bahsi geçen bazı çalışmalar bu çalışmanın sonucunu desteklerken, Ayçiçek vd. (2008)'in sonuçları ise bizim sonuçlarımıza ters düşmektedir.

4.9. Sürgün Kuru Ağırlığı (mg/bitki)

Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında sürgün kuru ağırlığı değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.49.'da verilmiştir.

Çizelge 4.49. Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında sürgün kuru ağırlığı değerlerine ait varyans analizi sonuçları

VK	SD	KO	F
Tekerrür	3	0.94	1.22
Tür	4	4146.60	5355.45 ^{**}
Hata 1	12	0.77	
Metal	4	5.69	8.32 ^{**}
Tür*Metal	16	22.51	32.92 ^{**}
Hata 2	60	0.68	
Yoğunluk	4	3.50	4.60 ^{**}
Tür*Yoğunluk	16	10.91	14.33 ^{**}
Metal*Yoğunluk	16	3.86	5.08 ^{**}
Tür*Metal*Yoğunluk	64	4.27	5.61 ^{**}
Hata	300	0.76	
Genel	499		

^{**}: P ≤ 0.01 * : P ≤ 0.05

Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında bitki türlerinin varyans analizi sonuçlarına baktığımız zaman, sürgün kuru ağırlıkları açısından türler, metaller, tür-metal interaksiyonları, yoğunluk, tür-yoğunluk, metal-yoğunluk ve tür-metal-yoğunluk interaksiyonları %1 hata payında önemli bulunmuştur.

Türler arasında TM₁ türü en yüksek sürgün kuru ağırlığını (16.67 mg/bitki) verirken TY₀ türü ise en düşük sürgün kuru ağırlığını (1.85 mg/bitki) vermiştir. Metallerin sürgün kuru ağırlığı üzerine etkisini incelediğimiz zaman MNi en yüksek sürgün kuru ağırlığını (7.98 mg/bitki) verirken, en düşük sürgün kuru ağırlığı (7.33 mg/bitki) MCd uygulamasında ortaya çıkmıştır. Fakat MHg, MCr, MPb ve MCd uygulamaları arasında istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır. Yoğunluk uygulamalarını incelediğimizde, en yüksek sürgün kuru ağırlığı (7.80 mg/bitki) Y400 uygulamasında elde edilirken en düşük sürgün kuru ağırlığı (7.34 mg/bitki) Y000 uygulamasında elde edilmiştir. Ancak Y400, Y800, Y100 ve Y200 ve ayrıca Y100, Y200 ve Y000 uygulamaları arasında istatistiki bir fark bulunmamıştır.

Tür, metal ve yoğunluk faktörlerine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.50.'de verilmiştir.

Çizelge 4.50. Tür, metal ve yoğunluk faktörlerinin sürgün kuru ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

	Ortalama (mg/bitki)	Gruplar		Ortalama (mg/bitki)	Gruplar		Ortalama (mg/bitki)	Gruplar
TM ₁	16.67	a	MNi	7.98	a	Y400	7.80	a
TKo	12.05	b	MHg	7.60	b	Y800	7.72	a
TFi	4.08	c	MCr	7.58	b	Y100	7.66	a b
TSo	3.32	d	MPb	7.49	b	Y200	7.46	a b
TYo	1.85	e	MCd	7.33	b	Y000	7.34	b

Tür-metal interaksiyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.51.'de verilmiştir.

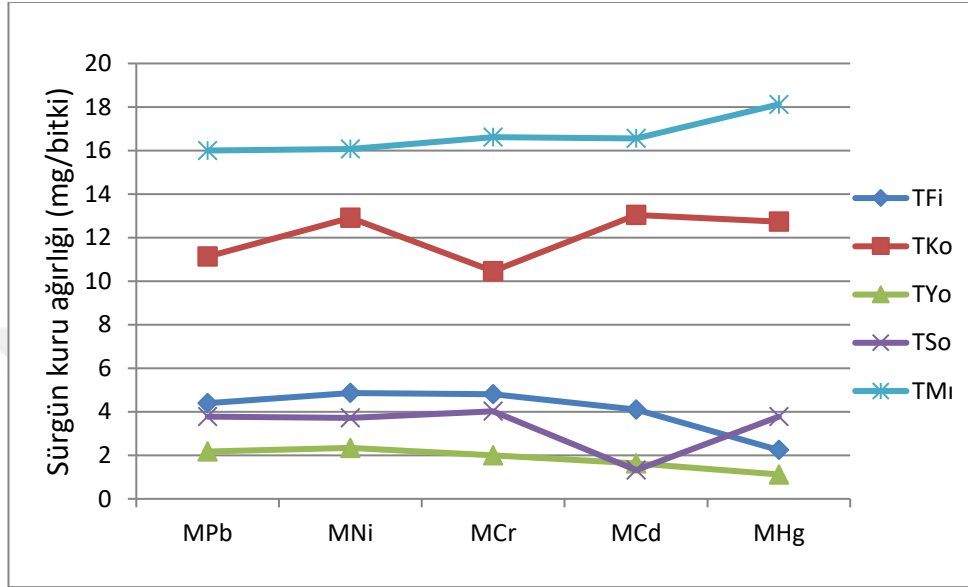
Çizelge 4.51. Tür-metal interaksiyonlarının sürgün kuru ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (mg/bitki)	Gruplar
TM ₁ ,MHg	18.12	a
TM ₁ ,MCr	16.61	b
TM ₁ ,MCd	16.56	b
TM ₁ ,MNi	16.07	b
TM ₁ ,MPb	16.00	b
TKo,MCd	13.04	c
TKo,MNi	12.91	c
TKo,MHg	12.73	c
TKo,MPb	11.13	d
TKo,MCr	10.46	d
TFi,MNi	4.86	e
TFi,MCr	4.81	e
TFi,MPb	4.39	e f
TFi,MCd	4.10	e f
TSo,MCr	4.02	e f
TSo,MPb	3.78	f
TSo,MHg	3.77	f
TSo,MNi	3.71	f
TYo,MNi	2.34	g
TFi,MHg	2.24	g h
TYo,MPb	2.17	g h
TYo,MCr	2.00	g h 1
TYo,MCd	1.63	g h 1
TSo,MCd	1.32	h 1
TYo,MHg	1.12	1

Tür-metal interaksiyonu ortalamalarını incelediğimiz zaman, en yüksek sürgün kuru ağırlığı (18.12 mg/bitki) TM₁-MHg interaksiyonu uygulamasında elde edilirken en

düşük sürgün kuru ağırlığı (1.12 mg/bitki) TYo-MHg uygulamasında elde edilmiştir. Fakat TYo-MCr, TYo-MCd, TSo-MCd ve TYo-MHg interaksyonları ortalamaları arasında istatistiki bir fark yoktur.

Tür-metal interaksyonunun sürgün kuru ağırlığı üzerindeki etkisini açıklayan grafik Şekil 4.25.'de verilmiştir.



Şekil 4.25. Tür-metal interaksyonuna ait sürgün kuru ağırlığı sonuçları

Tür-yoğunluk interaksyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.52.'de verilmiştir.

Çizelge 4.52. Tür-yoğunluk interaksyonlarının sürgün kuru ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (mg/bitki)	Gruplar
TM ₁ ,Y400	17.72	a
TM ₁ ,Y800	17.68	a
TM ₁ ,Y100	16.83	a b
TM ₁ ,Y200	16.30	b
TM ₁ ,Y000	14.84	c
TKo,Y800	13.13	d
TKo,Y400	12.06	e
TKo,Y200	11.89	e
TKo,Y100	11.60	e
TKo,Y000	11.59	e
TFi,Y000	5.00	f
TFi,Y100	4.16	f g
TFi,Y400	3.82	g
TFi,Y200	3.77	g

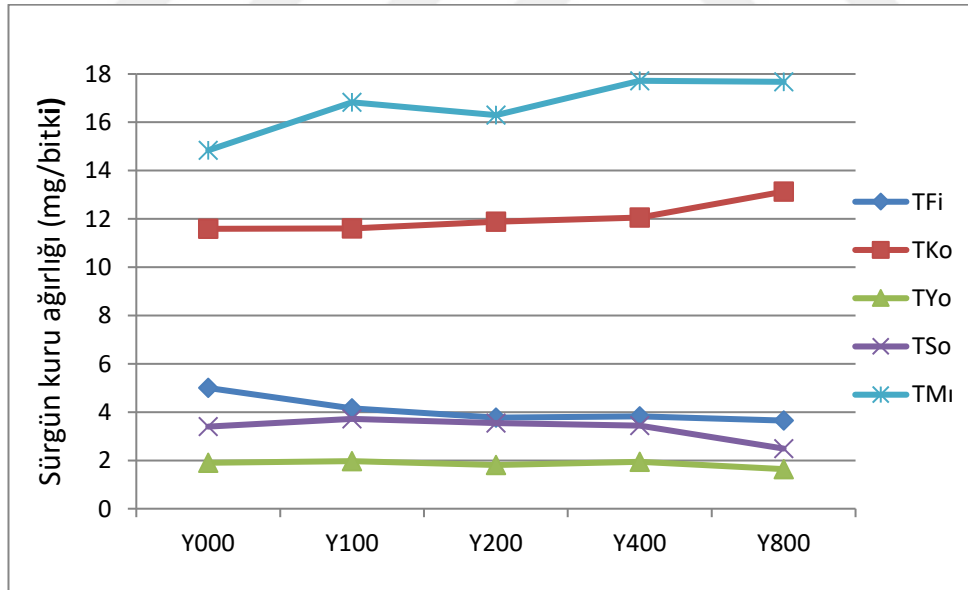
Devamı arkada

Çizelge 4.52.'nin devamı

Uygulamalar	Ortalama (mg/bitki)	Gruplar
TSo,Y100	3.72	g
TFi,Y800	3.65	g
TSo,Y200	3.55	g
TSo,Y400	3.44	g h
TSo,Y000	3.40	g h
TSo,Y800	2.49	h 1
TYo,Y100	1.97	1
TYo,Y400	1.94	1
TYo,Y000	1.90	1
TYo,Y200	1.81	1
TYo,Y800	1.64	1

Tür-yoğunluk interaksyonu ortalamalarını incelediğimiz zaman, en yüksek sürgün kuru ağırlığı (17.72 mg/bitki) TM₁-Y400 interaksyonunda elde edilirken en düşük sürgün kuru ağırlığı (1.64 mg/bitki) TYo-Y800 interaksyonunda elde edilmiştir. Ancak TM₁-Y400, TM₁-Y800 ve TM₁-Y100 ve ayrıca TSo-Y800, TYo-Y100, TYo-Y400, TYo-Y000, TYo-Y200 ve TYo-Y800 interaksyonları ortalamaları arasında istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır.

Tür-yoğunluk interaksyonunun sürgün kuru ağırlığı üzerindeki etkisini açıklayan grafik Şekil 4.26.'da verilmiştir.



Şekil 4.26. Tür-yoğunluk interaksyonuna ait sürgün kuru ağırlığı sonuçları

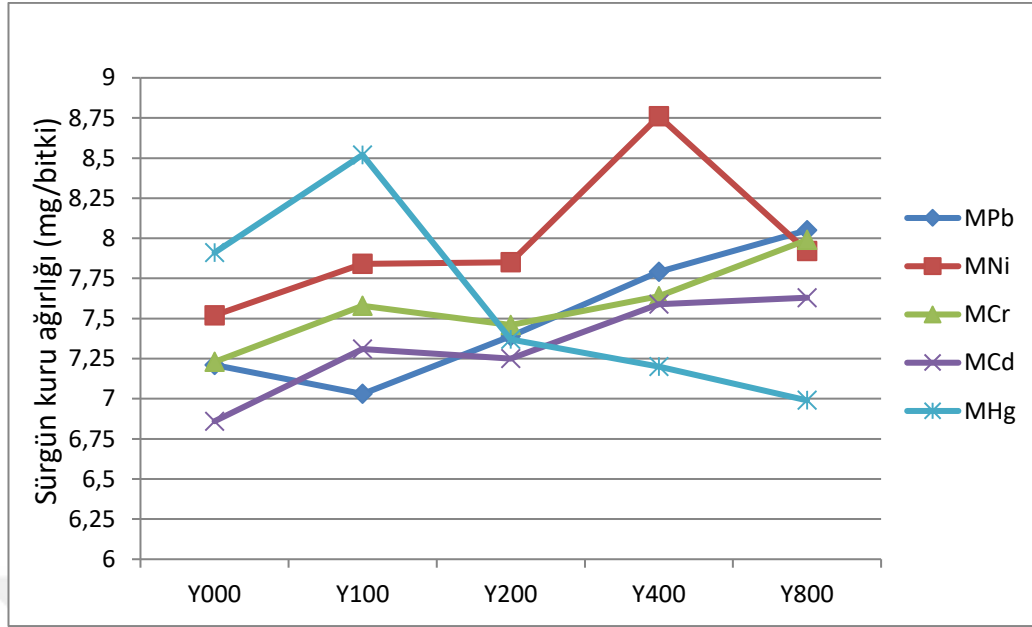
Metal-yoğunluk interaksyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.53.'de verilmiştir.

Çizelge 4.53. Metal-yoğunluk interaksiyonlarının kök kuru ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (mg/bitki)	Gruplar
MNi, Y400	8.76	a
MHg, Y100	8.52	a b
MPb, Y800	8.05	a b c
MCr, Y800	7.99	a – d
MNi, Y800	7.92	a – d
MHg, Y000	7.91	a – d
MNi, Y200	7.85	a – e
MNi, Y100	7.84	a – e
MPb, Y400	7.79	a – e
MCr, Y400	7.64	b – e
MCd, Y800	7.63	b – e
MCd, Y400	7.59	b – e
MCr, Y100	7.58	b – e
MNi, Y000	7.52	b – e
MCr, Y200	7.46	c d e
MPb, Y200	7.39	c d e
MHg, Y200	7.37	c d e
MCd, Y100	7.31	c d e
MCd, Y200	7.25	c d e
MCr, Y000	7.23	c d e
MPb, Y000	7.21	c d e
MHg, Y400	7.20	c d e
MPb, Y100	7.03	c d e
MHg, Y800	6.99	d e
MCd, Y000	6.86	e

Metal-yoğunluk interaksiyonu ortalamalarına göre, en yüksek sürgün kuru ağırlığı (8.76 mg/bitki) MNi-Y400 interakasyonu uygulamasında elde edilirken en düşük sürgün kuru ağırlığı (6.86 mg/bitki) ise MCd-Y000 interakasyonu uygulamasında elde edilmiştir. Fakat MNi-Y400, MHg-Y100, MPb-Y800, MCr-Y800, MNi-Y800, MHg-Y000, MNi-Y200, MNi-Y100 ve MPb-Y400 interaksiyonları arasında ve ayrıca MNi-Y100, MPb-Y400, MCr-Y400, MCd-Y800, MCd-Y400, MCr-Y100, MNi-Y000, MCr-Y200, MPb-Y200, MHg-Y200, MCd-Y100, MCd-Y200, MCr-Y000, MPb-Y000, MHg-Y400, MPb-Y100, MHg-Y800 ve MCd-Y000 interaksiyonları ortalamaları arasında istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır.

Metal-yoğunluk interaksiyonunun sürgün kuru ağırlığı üzerindeki etkisini açıklayan grafik Şekil 4.27.'de verilmiştir.



Şekil 4.27. Metal-yoğunluk interaksiyonuna ait sürgün kuru ağırlığı sonuçları

Tür-metal-yoğunluk interaksiyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.54.'de verilmiştir.

Çizelge 4.54. Tür-metal-yoğunluk interaksiyonlarının sürgün kuru ağırlığına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (mg/bitki)	Gruplar
TM ₁ ,MHg,Y100	20.95	a
TM ₁ ,MNi,Y400	19.68	a b
TM ₁ ,MCd,Y800	19.47	a b c
TM ₁ ,MCr,Y800	18.34	a - d
TM ₁ ,MHg,Y000	18.33	a - d
TM ₁ ,MNi,Y800	18.19	b c d
TM ₁ ,MCr,Y400	17.55	b - e
TM ₁ ,MCd,Y400	17.52	b - e
TM ₁ ,MHg,Y400	17.46	b - e
TM ₁ ,MHg,Y800	16.99	b - f
TM ₁ ,MHg,Y200	16.89	c - f
TM ₁ ,MCr,Y100	16.85	c - f
TM ₁ ,MPb,Y100	16.55	d - g
TM ₁ ,MPb,Y200	16.54	d - g
TM ₁ ,MPb,Y400	16.37	d - g
TM ₁ ,MCr,Y200	16.36	d - g
TM ₁ ,MCd,Y200	16.32	d - g
TM ₁ ,MCd,Y100	16.26	d - h
TM ₁ ,MPb,Y800	15.40	e - 1
TM ₁ ,MNi,Y200	15.38	e - 1

Devamı arkada

Çizelge 4.54.'ün devamı

Uygulamalar	Ortalama (mg/bitki)	Gruplar
TM ₁ ,MPb,Y000	15.13	e - j
TKo,MCd,Y800	14.70	f - k
TKo,MPb,Y800	14.37	f - l
TM ₁ ,MCr,Y000	13.93	g - m
TM ₁ ,MNi,Y000	13.56	h - m
TKo,MHg,Y800	13.55	h - m
TM ₁ ,MNi,Y100	13.53	h - m
TKo,MNi,Y400	13.44	i - n
TKo,MNi,Y100	13.37	i - n
TKo,MCd,Y200	13.33	i - n
TM ₁ ,MCd,Y000	13.22	i - o
TKo,MHg,Y400	12.99	i - p
TKo,MHg,Y100	12.79	i - q
TKo,MNi,Y800	12.78	i - q
TKo,MNi,Y200	12.62	j - q
TKo,MCd,Y400	12.50	j - q
TKo,MHg,Y200	12.50	j - q
TKo,MCd,Y000	12.44	j - q
TKo,MNi,Y000	12.36	k - q
TKo,MCd,Y100	12.25	k - r
TKo,MHg,Y000	11.82	l - r
TKo,MPb,Y400	11.82	l - r
TKo,MCr,Y000	11.20	m - s
TKo,MCr,Y100	10.72	n - s
TKo,MCr,Y200	10.55	o - s
TKo,MPb,Y200	10.44	p - s
TKo,MCr,Y800	10.26	p - s
TKo,MPb,Y000	10.13	q r s
TKo,MCr,Y400	9.55	r s
TKo,MPb,Y100	8.88	s
TFi,MNi,Y000	5.77	t
TFi,MCr,Y800	5.31	t u
TFi,MNi,Y100	5.28	t u
TFi,MCr,Y400	5.15	t u
TSo,MHg,Y100	5.13	t u
TFi,MCd,Y000	5.00	t u v
TFi,MPb,Y000	4.99	t u v
TFi,MPb,Y800	4.77	t - w
TSo,MHg,Y200	4.73	t - x
TFi,MCr,Y000	4.73	t - x
TSo,MNi,Y100	4.71	t - x
TFi,MNi,Y400	4.69	t - y
TFi,MCd,Y100	4.60	t - z

Devamı arkada

Çizelge 4.54.'ün devamı

Uygulamalar	Ortalama (mg/bitki)	Gruplar
TFi,MNi,Y200	4.58	t - z
TFi,MHg,Y000	4.50	t - z
TFi,MCr,Y100	4.48	t - a1
TSo,MNi,Y200	4.43	t - b1
TFi,MCr,Y200	4.38	t - b1
TFi,MPb,Y400	4.29	t - b1
TSo,MPb,Y400	4.22	t - c1
TSo,MCr,Y000	4.20	t - c1
TFi,MCd,Y200	4.13	t - c1
TFi,MPb,Y200	4.06	t - c1
TSo,MCr,Y200	4.05	t - c1
TSo,MCr,Y400	4.01	t - d1
TFi,MNi,Y800	3.97	t - e1
TSo,MCr,Y800	3.95	t - e1
TSo,MCr,Y100	3.89	t - f1
TFi,MPb,Y100	3.86	t - g1
TSo,MHg,Y000	3.84	t - g1
TFi,MCd,Y400	3.82	t - g1
TSo,MPb,Y200	3.80	t - h1
TSo,MNi,Y000	3.75	t - i1
TSo,MPb,Y100	3.74	t - j1
TSo,MPb,Y000	3.72	t - j1
TSo,MNi,Y400	3.67	t - j1
TSo,MPb,Y800	3.41	t - k1
TSo,MHg,Y400	3.10	t - k1
TFi,MCd,Y800	2.95	u - k1
TYo,MNi,Y800	2.66	u - l1
TFi,MHg,Y100	2.59	u - l1
TYo,MNi,Y400	2.33	v - l1
TYo,MCd,Y100	2.33	v - l1
TYo,MNi,Y100	2.30	v - l1
TYo,MPb,Y800	2.30	v - l1
TYo,MPb,Y400	2.26	v - l1
TYo,MNi,Y200	2.23	w - l1
TSo,MCd,Y400	2.21	w - l1
TYo,MNi,Y000	2.17	w - l1
TYo,MCd,Y000	2.15	w - l1
TYo,MPb,Y200	2.12	w - l1
TYo,MPb,Y100	2.12	w - l1
TYo,MCr,Y800	2.11	w - l1
TYo,MCr,Y000	2.08	w - l1
TYo,MPb,Y000	2.06	w - l1
TSo,MHg,Y800	2.06	w - l1

Devamı arkada

Çizelge 4.54.'ün devamı

Uygulamalar	Ortalama (mg/bitki)	Gruplar
TSo,MNi,Y800	2.02	x – l1
TYo,MCr,Y100	1.96	y – l1
TYo,MCr,Y200	1.95	y – l1
TYo,MCr,Y400	1.92	z – l1
TYo,MCd,Y400	1.92	z – l1
TYo,MCd,Y200	1.75	a1 – l1
TFi,MHg,Y200	1.71	b1 – l1
TSo,MCd,Y000	1.48	c1 – l1
TYo,MHg,Y400	1.29	d1 – l1
TFi,MHg,Y800	1.23	e1 – l1
TFi,MHg,Y400	1.16	f1 – l1
TYo,MHg,Y800	1.15	f1 – l1
TSo,MCd,Y100	1.13	g1 – l1
TYo,MHg,Y100	1.13	g1 – l1
TYo,MHg,Y000	1.05	h1 – l1
TSo,MCd,Y800	1.04	ı1 – l1
TYo,MHg,Y200	1.00	j1 k1 l1
TSo,MCd,Y200	0.73	k1 l1
TYo,MCd,Y800	0.00	l1

Tür-metal-yoğunluk interaksyonu ortalamalarını incelediğimiz zaman, en yüksek sürgün kuru ağırlığı (20.95 mg/bitki) TM₁-MHg-Y100 interaksyonu uygulamasında elde edilirken, en düşük sürgün kuru ağırlığı (0.00 mg/bitki) TYo-MCd-Y800 interaksyonu uygulamasında elde edilmiştir. Fakat en yüksek değerler arasında TM₁-MHg-Y100 interaksyonundan TM₁-MHg-Y000 interaksyonuna ve ayrıca en düşük değerler arasında TYo-MNi-Y800 interaksyonundan TYo-MCd-Y800 interaksyonuna kadar ortalamalar arasında istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır.

Çemen (*Trigonella foenum-graceum* L.)'in çimlenmesi üzerine 200, 400, 600, 800 ve 1000 µg mL⁻¹ yoğunluklarındaki sodyum dikromat konsantrasyonlarının etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, sodyum dikromat yoğunluğu arttıkça sürgün kuru ağırlığının azaldığı bulunmuştur (Dabhi vd. 2005). Çeltik tohumlarının çimlenmesi üzerine 0, 10, 50, 100, 200, 400 ve 800 ppm'lik krom konsantrasyonlarının etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, krom konsantrasyonunun yoğunluğu arttıkça çimlenen fidelerin sürgün kuru ağırlıkları negatif yönde etkilenmiştir (Gyawali ve Lekhak 2006). Kadmiyumun mısırdaki tohum çimlenmesi ve erken fide gelişimi üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, 10, 20, 50 ve 100 mg L⁻¹ yoğunluğunda kadmiyum konsantrasyonları kullanılmış ve yoğunluk arttıkça sürgün kuru ağırlığı değerlerinin dalgalanma gösterdiği bulunmuştur (Ayçiçek vd. 2007).

Bu çalışmada ele alınan bitki türlerinin sürgün kuru ağırlıkları üzerine tüm metallerin yoğunlukları negatif yönde etkide bulunmuştur. Yoğunluk arttıkça sürgün kuru ağırlığı değerleri azalmış fakat yoğunlukların etki dereceleri kendi aralarında birbirinden farklı olmuştur. Yukarıda bahsi geçen bazı çalışmalar bu çalışmanın sonucunu desteklerken, Ayçiçek vd. (2007)'in sonuçları ise bizim sonuçlarımıza ters düşmektedir.

4.10. Kuru Madde Oranı (%)

Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında kuru madde oranı değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.55.'de verilmiştir.

Çizelge 4.55. Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında kuru madde oranı değerlerine ait varyans analizi sonuçları

VK	SD	KO	F
Tekerrür	3	3.78	1.54
Tür	4	487.80	199.17**
Hata 1	12	2.45	
Metal	4	132.96	41.00**
Tür*Metal	16	62.35	19.23**
Hata 2	60	3.24	
Yoğunluk	4	60.04	30.15**
Tür*Yoğunluk	16	13.80	6.93**
Metal*Yoğunluk	16	27.59	13.85**
Tür*Metal*Yoğunluk	64	4.76	2.39**
Hata	300	1.99	
Genel	499		

** : $P \leq 0.01$ * : $P \leq 0.05$

Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında bitki türlerinin varyans analizi sonuçlarına baktığımız zaman, kuru madde oranı açısından türler, metaller, tür-metal interaksiyonları, hata 2, yoğunluk, tür-yoğunluk, metal-yoğunluk ve tür-metal-yoğunluk interaksiyonları %1 hata payında önemli bulunmuştur.

Tür, metal ve yoğunluk faktörlerine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.56.'da verilmiştir.

Çizelge 4.56. Tür, metal ve yoğunluk faktörlerinin kuru madde oranına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

	Ortalama (%)	Gruplar		Ortalama (%)	Gruplar		Ortalama (%)	Gruplar
TKo	15.14	a	MCd	13.21	a	Y800	13.00	a
TMı	12.68	b	MHg	12.74	a b	Y400	12.38	b
TSo	11.95	c	MNi	12.21	b	Y200	11.79	c
TFi	10.48	d	MCr	10.78	c	Y100	11.38	c d
TYo	9.37	e	MPb	10.66	c	Y000	11.07	d

Türler arasında TKo türü en yüksek kuru madde oranını (%15.14) verirken TYo türü ise en düşük kuru madde oranını (%9.37) vermiştir. Metallerin kuru madde oranı üzerine etkisini incelediğimiz zaman MCd en yüksek kuru madde oranını (%13.21) verirken, en düşük kuru madde oranı (%10.66) MPb uygulamasında ortaya çıkmıştır. Fakat MCd ve MHg ve ayrıca MCr ve MPb uygulamaları arasında istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır. Yoğunluk uygulamalarını incelediğimizde, en yüksek kuru madde oranı (%13.00) Y400 uygulamasında elde edilirken en düşük kuru madde oranı

(%11.07) Y000 uygulamasında elde edilmiştir. Ancak Y100 ve Y000 uygulamaları arasında istatistiki bir fark bulunmamıştır.

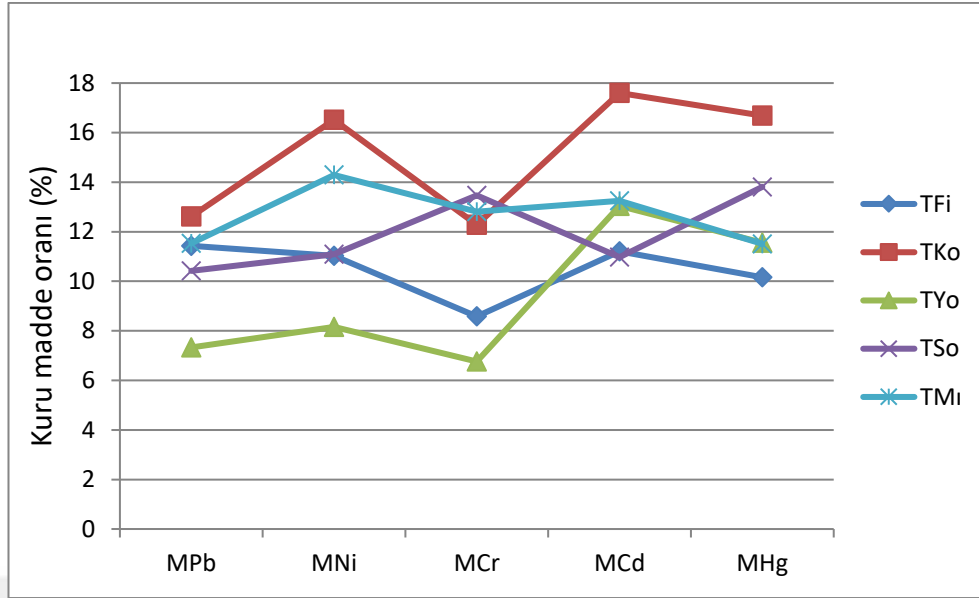
Tür-metal interaksyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.57.'de verilmiştir.

Çizelge 4.57. Tür-metal interaksyonlarının kuru madde oranına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (%)	Gruplar
TKo,MCd	17.60	a
TKo,MHg	16.68	a
TKo,MNi	16.52	a
TM ₁ ,MNi	14.29	b
TSo,MHg	13.81	b
TSo,MCr	13.47	b c
TM ₁ ,MCd	13.25	b c d
TYo,MCd	13.04	b - e
TM ₁ ,MCr	12.81	b - e
TKo,MPb	12.61	b - e
TKo,MCr	12.28	b - f
TYo,MHg	11.56	c - f
TM ₁ ,MPb	11.53	c - f
TM ₁ ,MHg	11.51	c - f
TFi,MPb	11.43	c - f
TFi,MCd	11.21	d e f
TSo,MNi	11.09	d e f
TFi,MNi	11.02	e f
TSo,MCd	10.97	e f
TSo,MPb	10.42	f g
TFi,MHg	10.16	f g h
TFi,MCr	8.58	g h 1
TYo,MNi	8.16	h 1
TYo,MPb	7.33	1
TYo,MCr	6.76	1

Tür-metal interaksyonu ortalamalarına göre, en yüksek kuru madde oranı (%17.60) TKo-MCd interaksyonu uygulamasında elde edilirken en düşük kuru madde oranı (%6.76) TYo-MCr uygulamasında elde edilmiştir. Fakat TKo-MCd, TKo-MHg ve TKo-MNi ve ayrıca TFi-MCr, TYo-MNi, TYo-MPb ve TYo-MCr interaksyonları ortalamaları arasında istatistiki bir fark yoktur.

Tür-metal interaksyonunun kuru madde oranı üzerindeki etkisini açıklayan grafik Şekil 4.28.'de verilmiştir.



Şekil 4.28. Tır-metal interaksyonuna ait kuru madde oranı sonuçları

Tır-yoğunluk interaksyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.58.'de verilmiştir.

Çizelge 4.58. Tır-yoğunluk interaksyonlarının kuru madde oranına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (%)	Gruplar
TKo,Y800	17.06	a
TKo,Y400	15.24	b
TKo,Y200	14.82	b c
TKo,Y100	14.57	b c d
TKo,Y000	14.00	b - e
TMi,Y400	13.58	c - f
TMi,Y200	13.07	d - g
TMi,Y800	13.04	d - h
TSo,Y000	12.78	e - h
TSo,Y800	11.98	f - i
TMi,Y100	11.97	f - i
TSo,Y400	11.88	g - j
TYo,Y800	11.85	g - j
TMi,Y000	11.73	g - j
TSo,Y100	11.70	g - j
TSo,Y200	11.42	h i j
TFi,Y800	11.06	i j
TFi,Y200	10.90	i j k
TFi,Y400	10.78	i j k
TYo,Y400	10.43	i j k
TFi,Y100	10.31	j k l

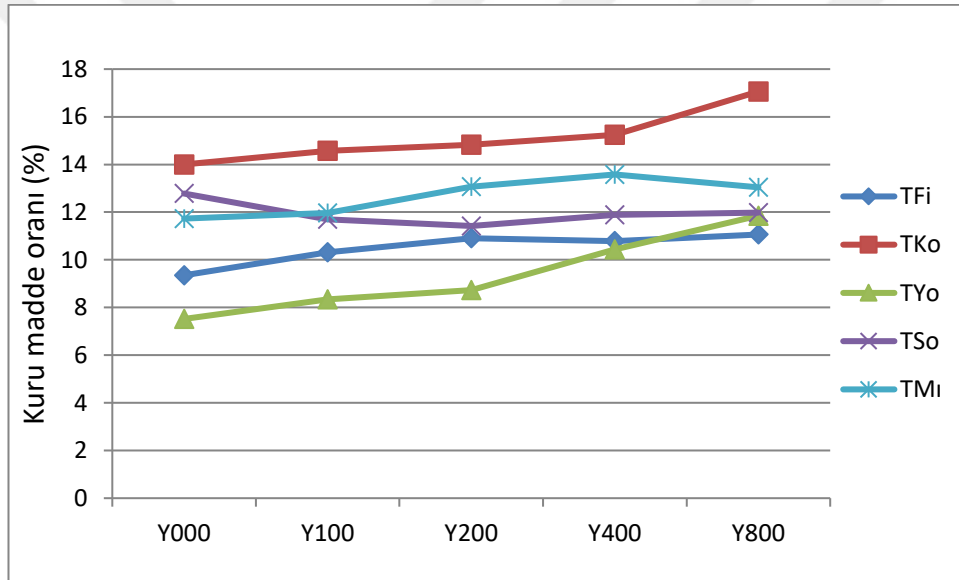
Devamı arkada

Çizelge 4.58.in devamı

Uygulamalar	Ortalama (%)	Gruplar
TFi,Y000	9.35	k l m
TYo,Y200	8.73	l m n
TYo,Y100	8.34	m n
TYo,Y000	7.52	n

Tür-yoğunluk interaksyonu ortalamalarını incelediğimiz zaman, en yüksek kuru madde oranı (%17.06) TKo-Y800 interaksyonunda elde edilirken en düşük kuru madde oranı (%7.52) TYo-Y000 interaksyonunda elde edilmiştir. Ancak TYo-Y200, TYo-Y100 ve TYo-Y000 interaksyonları ortalamaları arasında istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır.

Tür-yoğunluk interaksyonunun kuru madde oranı üzerindeki etkisini açıklayan grafik Şekil 4.29.'da verilmiştir.

**Şekil 4.29.** Tür-yoğunluk interaksyonuna ait kuru madde oranı sonuçları

Metal-yoğunluk interaksyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.59.'da verilmiştir.

Çizelge 4.59. Metal-yoğunluk interaksyonlarının kuru madde oranına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (%)	Gruplar
MCd,Y800	16.37	a
MCd,Y400	14.89	a b
MHg,Y800	14.15	b c
MHg,Y400	13.33	b c d
MNi,Y800	13.03	c d
MNi,Y400	12.86	c d

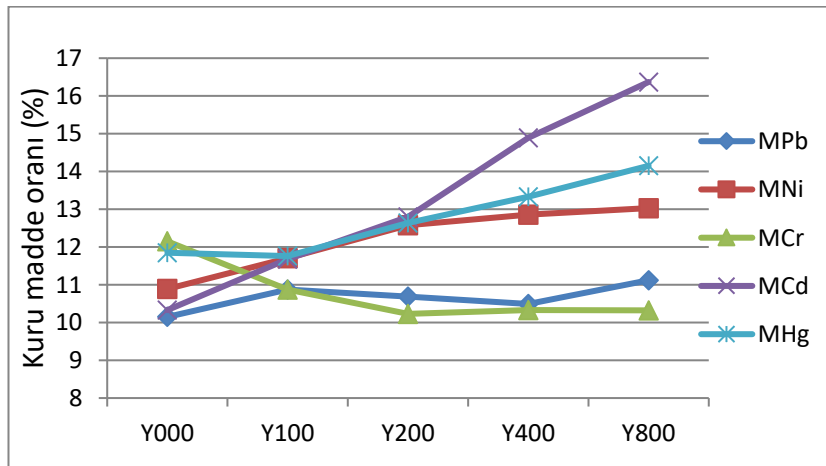
Devamı arkada

Çizelge 4.59.'un devamı

Uygulamalar	Ortalama (%)	Gruplar
MCd, Y200	12.80	c d
MHg, Y200	12.64	c d e
MNi, Y200	12.58	c d e
MCr, Y000	12.15	d e f
MHg, Y000	11.85	d - g
MHg, Y100	11.76	d - h
MNi, Y100	11.70	d - h
MCd, Y100	11.68	d - h
MPb, Y800	11.12	e - h
MNi, Y000	10.89	f g h
MCr, Y100	10.87	f g h
MPb, Y100	10.87	f g h
MPb, Y200	10.69	f g h
MPb, Y400	10.49	g h
MCd, Y000	10.33	g h
MCr, Y400	10.33	g h
MCr, Y800	10.32	g h
MCr, Y200	10.23	g h
MPb, Y000	10.15	h

Metal-yoğunluk interaksyonu ortalamalarını incelediğimiz zaman, en yüksek kuru madde oranı (%16.37) MCd-Y800 interaksyonu uygulamasında elde edilirken en düşük kuru madde oranı (%10.15) ise MPb-Y000 interaksyonu uygulamasında elde edilmiştir. Fakat MCd-Y800 ve MCd-Y400 interaksyonları arasında ve ayrıca MHg-Y100, MNi-Y100, MCd-Y100, MPb-Y800, MNi-Y000, MCr-Y100, MPb-Y100, MPb-Y200, MPb-Y400, MCd-Y000, MCr-Y400, MCr-Y800, MCr-Y200 ve MPb-Y000 interaksyonları ortalamaları arasında istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır.

Metal-yoğunluk interaksyonunun kuru madde oranı üzerindeki etkisini açıklayan grafik Şekil 4.30.'da verilmiştir.



Şekil 4.30. Metal-yoğunluk interaksyonuna ait kuru madde oranı sonuçları

Tür-metal-yoğunluk interaksyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.60.'da verilmiştir.

Çizelge 4.60. Tür-metal-yoğunluk interaksyonlarının kuru madde oranına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (%)	Gruplar
TKo,MCd,Y800	22.93	a
TYo,MCd,Y800	19.97	a b
TKo,MHg,Y800	19.22	a b c
TKo,MCd,Y400	18.80	a – d
TKo,MNi,Y800	18.30	b – e
TSo,MCr,Y000	18.29	b – e
TKo,MHg,Y400	17.11	b – f
TKo,MNi,Y400	17.10	b – f
TMi,MCd,Y400	16.81	b – g
TKo,MNi,Y200	16.68	b – h
TKo,MCd,Y200	16.55	b – ı
TKo,MHg,Y100	16.29	b – j
TKo,MNi,Y100	16.00	b – k
TKo,MHg,Y200	15.81	b – l
TYo,MCd,Y400	15.59	b – m
TMi,MNi,Y400	15.52	c – n
TSo,MHg,Y000	15.37	c – o
TMi,MCd,Y800	15.29	c – p
TMi,MNi,Y200	15.06	c – q
TYo,MHg,Y800	15.02	c – r
TKo,MHg,Y000	15.00	c – r
TKo,MCd,Y100	14.90	c – r
TKo,MCd,Y000	14.81	c – s
TKo,MNi,Y000	14.50	d – t
TMi,MNi,Y800	14.47	d – t
TSo,MHg,Y400	14.44	d – u
TMi,MCr,Y000	13.98	e – v
TMi,MNi,Y100	13.94	e – w
TSo,MHg,Y200	13.64	f – x
TKo,MPb,Y800	13.49	f – x
TYo,MHg,Y400	13.44	f – y
TSo,MHg,Y800	13.21	f – y
TKo,MCr,Y100	13.18	f – z
TSo,MCr,Y100	13.03	f – a1
TKo,MPb,Y000	12.90	f – a1
TMi,MCr,Y100	12.86	f – a1
TKo,MCr,Y000	12.78	f – b1
TMi,MHg,Y200	12.74	f – b1
TMi,MCr,Y800	12.72	f – b1

Devamı arkada

Çizelge 4.60.'in devamı

Uygulamalar	Ortalama (%)	Gruplar
TM ₁ ,MCr, Y200	12.71	f – b1
TKo,MPb, Y200	12.70	f – b1
TM ₁ ,MCd, Y200	12.69	f – b1
TFi,MPb, Y800	12.68	f – b1
TFi,MNi, Y200	12.62	g – b1
TSo,MCr, Y400	12.51	g – c1
TKo,MPb, Y100	12.48	g – c1
TM ₁ ,MNi, Y000	12.45	g – c1
TFi,MCd, Y400	12.39	g – c1
TKo,MCr, Y200	12.37	g – c1
TSo,MCr, Y800	12.37	g – c1
TSo,MHg, Y100	12.37	g – c1
TM ₁ ,MHg, Y400	12.25	h – d1
TM ₁ ,MPb, Y200	12.15	i – d1
TFi,MPb, Y400	12.10	j – e1
TSo,MCd, Y800	11.91	j – f1
TFi,MNi, Y400	11.84	k – f1
TM ₁ ,MCr, Y400	11.77	k – g1
TFi,MCd, Y200	11.74	k – g1
TFi,MCd, Y800	11.74	k – g1
TFi,MHg, Y800	11.73	k – g1
TKo,MCr, Y400	11.71	k – g1
TSo,MNi, Y800	11.67	k – h1
TM ₁ ,MPb, Y100	11.67	k – h1
TFi,MPb, Y100	11.61	k – h1
TM ₁ ,MPb, Y400	11.56	l – i1
TYo,MCd, Y200	11.55	l – i1
TM ₁ ,MHg, Y800	11.55	l – i1
TFi,MPb, Y200	11.49	l – i1
TKo,MPb, Y400	11.49	l – i1
TSo,MNi, Y400	11.48	l – i1
TSo,MCd, Y200	11.44	l – i1
TSo,MPb, Y100	11.42	l – i1
TKo,MCr, Y800	11.38	l – i1
TM ₁ ,MPb, Y800	11.16	m – j1
TSo,MCr, Y200	11.15	m – j1
TM ₁ ,MCd, Y100	11.15	m – j1
TM ₁ ,MPb, Y000	11.13	n – j1
TSo,MNi, Y200	11.08	n – k1
TSo,MCd, Y100	11.07	o – k1
TYo,MHg, Y200	10.97	o – l1
TSo,MCd, Y400	10.88	p – l1
TFi,MCd, Y100	10.87	p – l1

Devamı arkada

Çizelge 4.60.'in devamı

Uygulamalar	Ortalama (%)	Gruplar
TFi,MNi,Y800	10.80	q – l1
TMi,MHg,Y000	10.74	q – l1
TSo,MPb,Y800	10.73	q – m1
TSo,MNi,Y100	10.62	q – m1
TSo,MNi,Y000	10.59	r – m1
TYo,MCd,Y100	10.44	s – m1
TMi,MCd,Y000	10.33	t – m1
TFi,MHg,Y100	10.28	t – m1
TMi,MHg,Y100	10.26	t – m1
TSo,MPb,Y000	10.11	t – m1
TSo,MPb,Y400	10.08	t – m1
TFi,MNi,Y100	10.07	t – m1
TFi,MHg,Y200	10.02	u – m1
TYo,MNi,Y800	9.93	v – m1
TFi,MNi,Y000	9.77	v – m1
TSo,MPb,Y200	9.77	v – m1
TYo,MHg,Y100	9.63	v – m1
TSo,MCd,Y000	9.53	w – m1
TFi,MHg,Y400	9.40	x – m1
TFi,MHg,Y000	9.38	x – m1
TFi,MCd,Y000	9.34	x – m1
TFi,MPb,Y000	9.26	x – m1
TFi,MCr,Y000	9.03	y – m1
TYo,MHg,Y000	8.75	z – m1
TFi,MCr,Y100	8.71	a1 – m1
TFi,MCr,Y200	8.62	a1 – m1
TYo,MNi,Y400	8.37	b1 – m1
TFi,MCr,Y800	8.36	b1 – m1
TFi,MCr,Y400	8.16	c1 – m1
TYo,MNi,Y100	7.86	d1 – m1
TYo,MCd,Y000	7.66	e1 – m1
TYo,MPb,Y800	7.55	f1 – m1
TYo,MCr,Y400	7.49	f1 – m1
TYo,MNi,Y200	7.49	f1 – m1
TYo,MPb,Y200	7.35	g1 – m1
TYo,MPb,Y000	7.34	g1 – m1
TYo,MPb,Y400	7.23	h1 – m1
TYo,MPb,Y100	7.16	i1 – m1
TYo,MNi,Y000	7.15	i1 – m1
TYo,MCr,Y800	6.77	j1 – m1
TYo,MCr,Y000	6.68	k1 l1 m1
TYo,MCr,Y100	6.59	l1 m1
TYo,MCr,Y200	6.29	m1

Tür-metal-yoğunluk interaksyonu ortalamalarını incelediğimiz zaman, en yüksek kuru madde oranı (%22.93) TKo-MCd-Y800 interaksyonu uygulamasında elde edilirken, en düşük kuru madde oranı (%6.29) TYo-MCr-Y200 interaksyonu uygulamasında elde edilmiştir. Fakat en yüksek değerler arasında TKo-MCd-Y800 interaksyonundan TKo-MCd-Y400 interaksyonuna ve ayrıca en düşük değerler arasında ise TSo-MPb-Y800 interaksyonundan TYo-MCr-Y200 interaksyonuna kadar ortalamalar arasında istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır.

Kervesan vd. (1998) şeker pancarının çimlenme aşamasında $CdCl_2$ konsantrasyonunun artışıyla birlikte bitkinin kuru madde içeriğinin düştüğünü bildirmişlerdir.

Bu çalışmada ele alınan bitki türleri üzerinde ağır metallerin yoğunlukları arttıkça, bu bitkilerin kuru madde içeriğini de arttırmıştır. Bu sonuçlar Kervesan vd. (1998)'nin elde ettiği sonuçlara ters düşmektedir. Kuru madde oranları üzerinde bu sonuçların elde edilmesinin nedeni olarak, ağır metal yoğunluğunun artmasıyla birlikte bitkilerin bünyelerine daha fazla ağır metal alımı gerçekleştirmiş olması muhtemel olarak gösterilebilir.

4.11. %90-10 Çimlenme Süresi (gün)

Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında bitki türlerinin %90-10 çimlenme süresi değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.61.'de verilmiştir.

Çizelge 4.61. Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında bitki türlerinin %90-10 çimlenme süresi değerlerine ait varyans analizi sonuçları

VK	SD	KO	F
Tekerrür	3	0.12	0.61
Tür	4	4.24	21.80**
Hata 1	12	0.19	
Metal	4	4.60	20.34**
Tür*Metal	16	1.74	7.69**
Hata 2	60	0.23	
Yoğunluk	4	1.18	3.76**
Tür*Yoğunluk	16	0.60	1.91*
Metal*Yoğunluk	16	0.42	1.35*
Tür*Metal*Yoğunluk	64	0.55	1.74**
Hata	300	0.31	
Genel	499		

** : $P \leq 0.01$ * : $P \leq 0.05$

Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında bitki türlerinin varyans analizi sonuçlarına baktığımız zaman, %90-10 çimlenme süresi açısından türler, metaller, tür-metal interaksyonları, yoğunluk ve tür-metal-yoğunluk interaksyonları %1 düzeyinde; tür-yoğunluk ve metal-yoğunluk interaksyonları %5 hata seviyesinde önemli bulunmuştur.

Tür, metal ve yoğunluk faktörlerine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.62.'de verilmiştir.

Çizelge 4.62. Tür, metal ve yoğunluk faktörlerinin %90-10 çimlenme süresine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

	Ortalama (gün)	Gruplar		Ortalama (gün)	Gruplar		Ortalama (gün)	Gruplar
TM ₁	1.89	a	MHg	2.02	a	Y800	1.88	a
TKo	1.84	a	MCd	1.79	b	Y200	1.71	a b
TYo	1.81	a	MCr	1.65	b c	Y000	1.66	b
TFi	1.49	b	MNi	1.55	c	Y400	1.63	b
TSo	1.46	b	MPb	1.48	c	Y100	1.61	b

Türler arasında TM₁ türü en yüksek %90-10 çimlenme süresini (1.89 gün) verirken TSo türü ise en düşük %90-10 çimlenme süresini (1.46 gün) vermiştir. Ancak TM₁, TKo ve TYo ve ayrıca TFi ve TSo uygulamaları arasında istatistiki bir fark yoktur. Metallerin %90-10 çimlenme süresi üzerine etkisini incelediğimiz zaman MHg uygulaması en yüksek %90-10 çimlenme süresini (2.02 gün) verirken, en düşük %90-10 çimlenme süresi (1.48 gün) MPb uygulamasında ortaya çıkmıştır. Fakat MCr, MNi ve MPb uygulamaları arasında istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır. Yoğunluk uygulamalarını incelediğimizde, en yüksek %90-10 çimlenme süresi (1.88 gün) Y800 uygulamasında elde edilirken en düşük %90-10 çimlenme süresi (1.61 gün) Y100 uygulamasında elde edilmiştir. Ancak Y800 ve Y200 ve ayrıca Y200, Y000, Y400 ve Y100 uygulamaları arasında istatistiki bir fark bulunmamıştır.

Tür-metal interaksiyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.63.'de verilmiştir.

Çizelge 4.63. Tür-metal interaksiyonlarının %90-10 çimlenme süresine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (gün)	Gruplar
TM ₁ ,MHg	2.35	a
TKo,MHg	2.20	a b
TYo,MCd	2.10	a b c
TFi,MHg	2.10	a b c
TKo,MCd	2.00	a - d
TFi,MCr	1.95	a - d
TYo,MCr	1.95	a - d
TYo,MNi	1.85	a - d
TM ₁ ,MCd	1.85	a - d
TM ₁ ,MNi	1.85	a - d
TKo,MNi	1.80	a - d
TSo,MCd	1.80	a - d
TM ₁ ,MPb	1.75	b - e
TSo,MHg	1.75	b - e
TYo,MHg	1.70	b - f

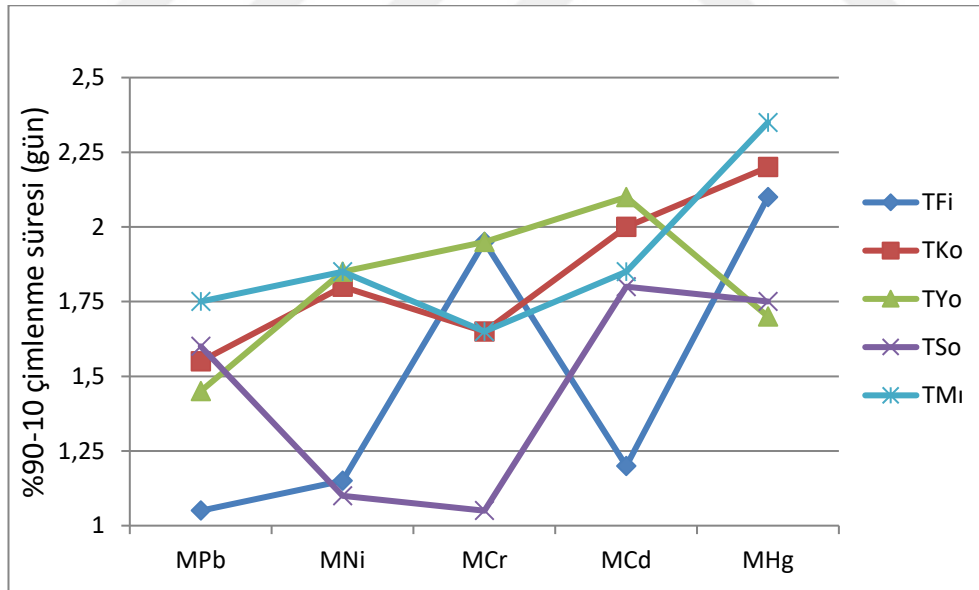
Devamı arkada

Çizelge 4.63.'ün devamı

Uygulamalar	Ortalama (gün)	Gruplar
TKo,MCr	1.65	b - g
TMi,MCr	1.65	b - g
TSo,MPb	1.60	c - h
TKo,MPb	1.55	c - h
TYo,MPb	1.45	d - h
TFi,MCd	1.20	e - h
TFi,MNi	1.15	f g h
TSo,MNi	1.10	g h
TSo,MCr	1.05	h
TFi,MPb	1.05	h

Tür-metal interaksyonu ortalamalarına baktığımızda, en yüksek %90-10 çimlenme süresi (2.35 gün) TMi-MHg interaksyonu uygulamasında elde edilirken en düşük %90-10 çimlenme süresi (1.05 gün) TFi-MPb uygulamasında elde edilmiştir. Fakat TMi-MHg, TKo-MHg, TYo-MCd, TFi-MHg, TKo-MCd, TFi-MCr, TYo-MCr, TYo-MNi, TMi-MCd, TMi-MNi, TKo-MNi ve TSo-MCd ayrıca TSo-MPb, TKo-MPb, TYo-MPb, TFi-MCd, TFi-MNi, TSo-MNi, TSo-MCr ve TFi-MPb interaksyonları ortalamaları arasında istatistiki bir fark yoktur.

Tür-metal interaksyonunun %90-10 çimlenme süresi üzerindeki etkisini açıklayan grafik Şekil 4.31.'de verilmiştir.



Şekil 4.31. Tür-metal interaksyonuna ait %90-10 çimlenme süresi sonuçları

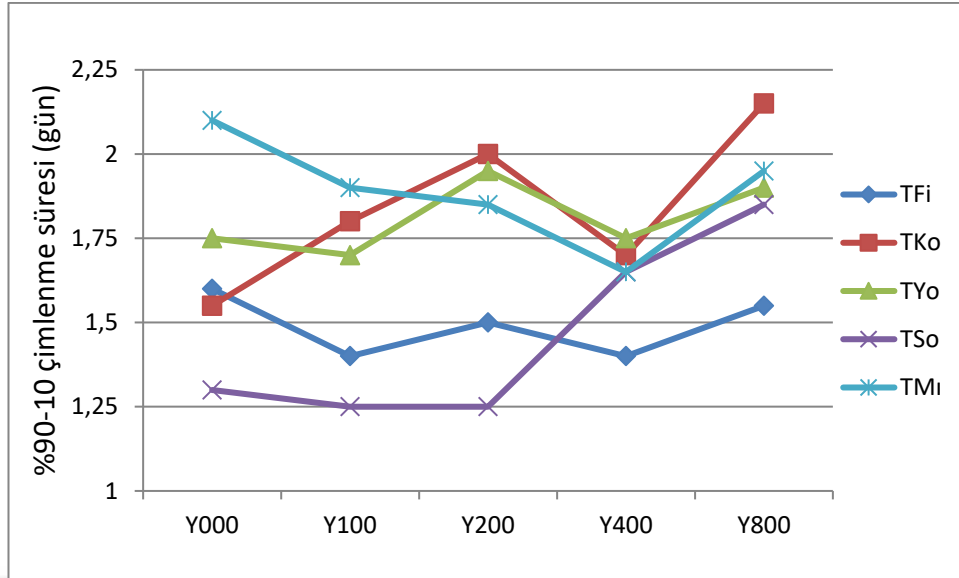
Tür-yoğunluk interaksyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.64.'de verilmiştir.

Çizelge 4.64. Tür-yoğunluk interaksiyonlarının %90-10 çimlenme süresine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (gün)	Gruplar
TKo,Y800	2.15	a
TM ₁ ,Y000	2.10	a
TKo,Y200	2.00	a b
TM ₁ ,Y800	1.95	a b c
TYo,Y200	1.95	a b c
TM ₁ ,Y100	1.90	a – d
TYo,Y800	1.90	a – d
TSo,Y800	1.85	a – d
TM ₁ ,Y200	1.85	a – d
TKo,Y100	1.80	a – d
TYo,Y000	1.75	a – d
TYo,Y400	1.75	a – d
TKo,Y400	1.70	a – d
TYo,Y100	1.70	a – d
TSo,Y400	1.65	a – d
TM ₁ ,Y400	1.65	a – d
TFi,Y000	1.60	a – d
TFi,Y800	1.55	a – d
TKo,Y000	1.55	a – d
TFi,Y200	1.50	a – d
TFi,Y100	1.40	b c d
TFi,Y400	1.40	b c d
TSo,Y000	1.30	c d
TSo,Y100	1.25	d
TSo,Y200	1.25	d

Tür-yoğunluk interaksiyonu ortalamalarını incelediğimiz zaman, en yüksek %90-10 çimlenme süresi (2.15 gün) TKo-Y800 interaksiyonunda elde edilirken en düşük %90-10 çimlenme süresi (1.25 gün) TSo-Y200 interaksiyonunda elde edilmiştir. Ancak TKo-Y800, TM₁-Y000, TKo-Y200, TM₁-Y800, TYo-Y200, TM₁-Y100, TYo-Y800, TSo-Y800, TM₁-Y200, TKo-Y100, TYo-Y000, TYo-Y400, TKo-Y400, TYo-Y100, TSo-Y400, TM₁-Y400, TFi-Y000, TFi-Y800, TKo-Y000 ve TFi-Y200 ayrıca TM₁-Y100, TYo-Y800, TSo-Y800, TM₁-Y200, TKo-Y100, TYo-Y000, TYo-Y400, TKo-Y400, TYo-Y100, TSo-Y400, TM₁-Y400, TFi-Y000, TFi-Y800, TKo-Y000, TFi-Y200, TFi-Y100, TFi-Y400, TSo-Y000, TSo-Y100 ve TSo-Y200 interaksiyonları ortalamaları arasında istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır.

Tür-yoğunluk interaksiyonunun %90-10 çimlenme süresi üzerindeki etkisini açıklayan grafik Şekil 4.32.'de verilmiştir.



Şekil 4.32. Tır-yoğunluk interaksiyonuna ait %90-10 çimlenme süresi sonuçları

Metal-yoğunluk interaksiyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.65.'de verilmiştir.

Çizelge 4.65. Metal-yoğunluk interaksiyonlarının %90-10 çimlenme süresine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (gün)	Gruplar
MHg,Y800	2.30	a
MHg,Y000	2.10	a b
MHg,Y100	2.10	a b
MCd,Y800	2.05	a b c
MHg,Y200	1.85	a – d
MCd,Y400	1.80	a – d
MPb,Y200	1.75	a – d
MCd,Y200	1.75	a – d
MHg,Y400	1.75	a – d
MPb,Y800	1.70	a – d
MNi,Y800	1.70	a – d
MCr,Y400	1.70	a – d
MCd,Y000	1.70	a – d
MCr,Y100	1.70	a – d
MCr,Y800	1.65	a – d
MCd,Y100	1.65	a – d
MNi,Y200	1.60	b c d
MCr,Y000	1.60	b c d
MCr,Y200	1.60	b c d
MNi,Y400	1.55	b c d
MNi,Y000	1.50	b c d

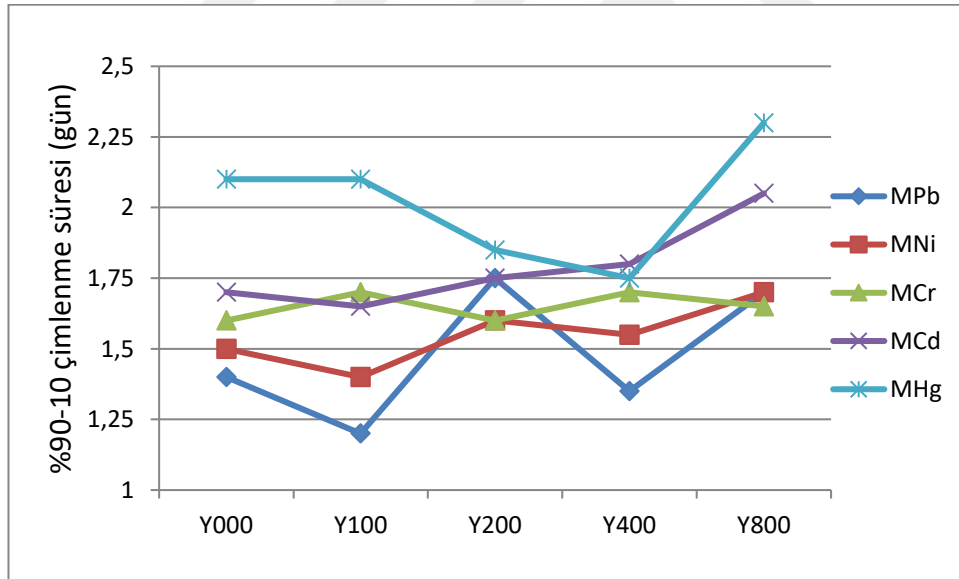
Devamı arkada

Çizelge 4.65.'in devamı

Uygulamalar	Ortalama (gün)	Gruplar	
MPb, Y000	1.40	c	d
MNi, Y100	1.40	c	d
MPb, Y400	1.35		d
MPb, Y100	1.20		d

Metal-yoğunluk interaksyonu ortalamalarını incelediğimiz zaman, en yüksek %90-10 çimlenme süresi (2.30 gün) MHg-Y800 interaksyonu uygulamasında elde edilirken en düşük %90-10 çimlenme süresi (1.20 gün) ise MPb-Y100 interaksyonu uygulamasında elde edilmiştir. Fakat MHg-Y800, MHg-Y000, MHg-Y100, MCd-Y800, MHg-Y200, MCd-Y400, MPb-Y200, MCd-Y200, MHg-Y400, MPb-Y800, MNi-Y800, MCr-Y400, MCd-Y000, MCr-Y100, MCr-Y800 ve MCd-Y100 interaksyonları arasında ve ayrıca MHg-Y200, MCd-Y400, MPb-Y200, MCd-Y200, MHg-Y400, MPb-Y800, MNi-Y800, MCr-Y400, MCd-Y000, MCr-Y100, MCr-Y800, MCd-Y100, MNi-Y200, MCr-Y000, MCr-Y200, MNi-Y400, MNi-Y000, MPb-Y000, MNi-Y100, MPb-Y400 ve MPb-Y100 interaksyonları ortalamaları arasında istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır.

Metal-yoğunluk interaksyonunun %90-10 çimlenme süresi üzerindeki etkisini açıklayan grafik Şekil 4.33.'de verilmiştir.



Şekil 4.33. Metal-yoğunluk interaksyonuna ait %90-10 çimlenme süresi sonuçları

Tür-metal-yoğunluk interaksyonu ortalamalarına göre, en yüksek %90-10 çimlenme süresi (3.50 gün) TMi-MHg-Y000 interaksyonu uygulamasında elde edilirken, en düşük %90-10 çimlenme süresi (1.00 gün) TYo-MPb-Y100 interaksyonu uygulamasında elde edilmiştir. Fakat en yüksek değerler arasında TMi-MHg-Y000 interaksyonundan TYo-MCr-Y400 interaksyonuna kadar ve ayrıca en düşük değerler arasında ise TSo-MHg-Y800 interaksyonundan TYo-MPb-Y100 interaksyonuna kadar ortalamalar arasında istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır.

Tür-metal-yoğunluk interaksionlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.66.'da verilmiştir.

Çizelge 4.66. Tür-metal-yoğunluk interaksionlarının %90-10 çimlenme süresine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (gün)	Gruplar
TM ₁ ,MHg,Y000	3.50	a
TM ₁ ,MHg,Y100	3.00	a b
TKo,MHg,Y800	3.00	a b
TSo,MHg,Y800	2.75	a b c
TKo,MPb,Y200	2.50	a b c
TKo,MCd,Y200	2.50	a b c
TYo,MCd,Y800	2.50	a b c
TKo,MCd,Y800	2.50	a b c
TSo,MCd,Y400	2.50	a b c
TM ₁ ,MCd,Y800	2.25	a b c
TFi,MHg,Y200	2.25	a b c
TSo,MPb,Y800	2.25	a b c
TM ₁ ,MNi,Y200	2.25	a b c
TFi,MHg,Y800	2.25	a b c
TM ₁ ,MHg,Y800	2.00	a b c
TM ₁ ,MNi,Y800	2.00	a b c
TM ₁ ,MCd,Y400	2.00	a b c
TYo,MCd,Y000	2.00	a b c
TM ₁ ,MPb,Y200	2.00	a b c
TM ₁ ,MPb,Y800	2.00	a b c
TFi,MCr,Y000	2.00	a b c
TFi,MCr,Y400	2.00	a b c
TFi,MCr,Y800	2.00	a b c
TFi,MHg,Y000	2.00	a b c
TFi,MHg,Y100	2.00	a b c
TKo,MNi,Y100	2.00	a b c
TKo,MCr,Y400	2.00	a b c
TKo,MHg,Y000	2.00	a b c
TKo,MHg,Y100	2.00	a b c
TKo,MHg,Y200	2.00	a b c
TYo,MNi,Y200	2.00	a b c
TYo,MNi,Y400	2.00	a b c
TYo,MCr,Y200	2.00	a b c
TYo,MCd,Y100	2.00	a b c
TYo,MCd,Y200	2.00	a b c
TYo,MCd,Y400	2.00	a b c
TYo,MHg,Y000	2.00	a b c
TYo,MHg,Y200	2.00	a b c
TSo,MCd,Y800	2.00	a b c

Devamı arkada

Çizelge 4.66.'nın devamı

Uygulamalar	Ortalama (gün)	Gruplar
TM ₁ ,MNi, Y000	2.00	a b c
TFi,MCr, Y100	2.00	a b c
TKo,MCd, Y100	2.00	a b c
TYo,MCr, Y000	2.00	a b c
TYo,MCr, Y100	2.00	a b c
TKo,MNi, Y400	2.00	a b c
TKo,MNi, Y800	2.00	a b c
TSo,MHg, Y400	2.00	a b c
TFi,MHg, Y400	2.00	a b c
TKo,MHg, Y400	2.00	a b c
TYo,MCr, Y800	2.00	a b c
TM ₁ ,MPb, Y000	1.75	a b c
TSo,MPb, Y400	1.75	a b c
TM ₁ ,MCd, Y000	1.75	a b c
TM ₁ ,MHg, Y200	1.75	a b c
TFi,MCr, Y200	1.75	a b c
TFi,MCd, Y000	1.75	a b c
TKo,MCr, Y800	1.75	a b c
TYo,MPb, Y800	1.75	a b c
TYo,MNi, Y000	1.75	a b c
TYo,MHg, Y100	1.75	a b c
TSo,MPb, Y000	1.75	a b c
TM ₁ ,MPb, Y100	1.75	a b c
TM ₁ ,MCr, Y400	1.75	a b c
TKo,MCr, Y100	1.75	a b c
TYo,MPb, Y400	1.75	a b c
TYo,MNi, Y100	1.75	a b c
TYo,MNi, Y800	1.75	a b c
TM ₁ ,MNi, Y400	1.75	a b c
TYo,MPb, Y200	1.75	a b c
TSo,MHg, Y100	1.75	a b c
TM ₁ ,MCr, Y100	1.75	a b c
TM ₁ ,MCr, Y200	1.75	a b c
TM ₁ ,MCd, Y100	1.75	a b c
TYo,MCr, Y400	1.75	a b c
TSo,MCd, Y200	1.50	b c
TM ₁ ,MCr, Y800	1.50	b c
TFi,MNi, Y800	1.50	b c
TKo,MPb, Y800	1.50	b c
TYo,MHg, Y800	1.50	b c
TSo,MCd, Y100	1.50	b c
TKo,MNi, Y200	1.50	b c
TKo,MCd, Y000	1.50	b c

Devamı arkada

Çizelge 4.66.'nın devamı

Uygulamalar	Ortalama (gün)	Gruplar
TKo,MCd,Y400	1.50	b c
TKo,MNi,Y000	1.50	b c
TKo,MCr,Y200	1.50	b c
TMi,MCd,Y200	1.50	b c
TKo,MPb,Y000	1.50	b c
TSo,MCd,Y000	1.50	b c
TMi,MCr,Y000	1.50	b c
TMi,MHg,Y400	1.50	b c
TSo,MCr,Y000	1.25	b c
TSo,MNi,Y800	1.25	b c
TFi,MPb,Y200	1.25	b c
TFi,MNi,Y000	1.25	b c
TFi,MCd,Y200	1.25	b c
TSo,MPb,Y200	1.25	b c
TSo,MNi,Y200	1.25	b c
TMi,MPb,Y400	1.25	b c
TKo,MPb,Y100	1.25	b c
TKo,MCr,Y000	1.25	b c
TMi,MNi,Y100	1.25	b c
TYo,MHg,Y400	1.25	b c
TSo,MHg,Y200	1.25	b c
TFi,MCd,Y400	1.00	c
TFi,MCd,Y800	1.00	c
TFi,MNi,Y200	1.00	c
TFi,MNi,Y400	1.00	c
TSo,MNi,Y000	1.00	c
TSo,MNi,Y400	1.00	c
TFi,MPb,Y800	1.00	c
TFi,MNi,Y100	1.00	c
TFi,MCd,Y100	1.00	c
TSo,MPb,Y100	1.00	c
TSo,MCr,Y200	1.00	c
TSo,MCr,Y400	1.00	c
TSo,MHg,Y000	1.00	c
TFi,MPb,Y100	1.00	c
TSo,MNi,Y100	1.00	c
TSo,MCr,Y800	1.00	c
TFi,MPb,Y000	1.00	c
TFi,MPb,Y400	1.00	c
TSo,MCr,Y100	1.00	c
TYo,MPb,Y000	1.00	c
TKo,MPb,Y400	1.00	c
TYo,MPb,Y100	1.00	c

Kurşunun bazı yazlık sebzelerde tohum çimlenmesi ve tolerans düzeyleri üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, 0, 100, 200, 400 ve 800 mg L⁻¹ kurşun konsantrasyonları kullanılmıştır. Sonuç olarak, domates, biber, patlıcan, hıyar, kabak, karpuz, kavun ve bamya cinslerinin %90-10 çimlenme süresi değerleri kurşun yoğunluğu arttıkça artmıştır (Akıncı ve Çalışkan 2010). Nikelin ıspanakta (*Spinacia oleracea*) çimlenme ve bazı fide büyüme parametreleri üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, nikelin çimlenme aşamasında 0, 25, 50, 100, 200, 400 ve 800 mg L⁻¹ konsantrasyonları kullanılmıştır. Nikel konsantrasyonlarının yoğunluğu arttıkça ıspanak bitkisinin %90-10 çimlenme süreside artmıştır (Akıncı ve Akıncı 2011).

Bu çalışmada ele alınan bitki türleri üzerinde ağır metallerin yoğunlukları arttıkça %90-10 çimlenme süreleri de artmıştır. Fakat her metal yoğunluğunun %90-10 çimlenme süresi üzerine etkisi farklılık arz etmiştir. Yukarıda sonuçları bildirilen çalışmalar, bizim elde ettiğimiz sonuçları destekler niteliktedir.

4.12. %75-25 Çimlenme Süresi (gün)

Bitki türlerinin farklı ağır metal ve yoğunlukları stresi altında %75-25 çimlenme süresi değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.67.'de verilmiştir.

Çizelge 4.67. Bitki türlerinin farklı ağır metal ve yoğunlukları stresi altında %75-25 çimlenme süresi değerlerine ait varyans analizi sonuçları

VK	SD	KO	F
Tekerrür	3	0.07	1.56
Tür	4	0.95	21.36**
Hata 1	12	0.04	
Metal	4	0.87	12.89**
Tür*Metal	16	0.81	12.02**
Hata 2	60	0.07	
Yoğunluk	4	0.39	4.32**
Tür*Yoğunluk	16	0.28	3.12**
Metal*Yoğunluk	16	0.14	1.54
Tür*Metal*Yoğunluk	64	0.21	2.29**
Hata	300	0.09	
Genel	499		

** : $P \leq 0.01$ * : $P \leq 0.05$

Farklı yoğunluklardaki ağır metal stresi altında bitki türlerinin varyans analizi sonuçlarına baktığımız zaman, %75-25 çimlenme süresi açısından türler, metaller, tür-metal interaksiyonları, yoğunluk, tür-yoğunluk ve tür-metal-yoğunluk interaksiyonları %1 hata seviyesinde önemli bulunmuştur. Fakat metal-yoğunluk interaksiyonu ise önemsiz çıkmıştır.

Tür, metal ve yoğunluk faktörlerine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.68.'de verilmiştir.

Çizelge 4.68. Tür, metal ve yoğunluk faktörlerinin %75-25 çimlenme süresine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

	Ortalama (gün)	Gruplar		Ortalama (gün)	Gruplar		Ortalama (gün)	Gruplar
TYo	1.34	a	MHg	1.27	a	Y800	1.26	a
TKo	1.14	b	MCr	1.22	a	Y000	1.18	a b
TMi	1.13	b	MCd	1.21	a	Y400	1.18	a b
TFi	1.13	b	MNi	1.09	b	Y100	1.12	b
TSo	1.10	b	MPb	1.05	b	Y200	1.10	b

Türler arasında TYo türü en yüksek %75-25 çimlenme süresini (1.34 gün) verirken TSo türü ise en düşük %75-25 çimlenme süresini (1.10 gün) vermiştir. Ancak TKo, TMi, TFi ve TSo uygulamaları arasında istatistiki bir fark yoktur. Metallerin %75-25 çimlenme süresi üzerine etkisini incelediğimiz zaman MHg uygulaması en yüksek %75-25 çimlenme süresini (1.27 gün) verirken, en düşük %75-25 çimlenme süresi (1.05 gün) MPb uygulamasında ortaya çıkmıştır. Fakat MHg, MCr ve MCd ayrıca MNi ve MPb uygulamaları arasında istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır. Yoğunluk uygulamalarını incelediğimizde, en yüksek %75-25 çimlenme süresi (1.26 gün) Y800 uygulamasında elde edilirken en düşük %75-25 çimlenme süresi (1.10 gün) Y200 uygulamasında elde edilmiştir. Ancak Y800, Y000 ve Y400 ve ayrıca Y000, Y400, Y100 ve Y200 uygulamaları arasında istatistiki bir fark bulunmamıştır.

Tür-metal interaksiyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.69.'da verilmiştir.

Çizelge 4.69. Tür-metal interaksiyonlarının %75-25 çimlenme süresine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (gün)	Gruplar
TYo,MCr	1.65	a
TYo,MCd	1.65	a
TMi,MHg	1.45	a b
TFi,MCr	1.45	a b
TSo,MHg	1.40	a b c
TKo,MCd	1.30	b c d
TKo,MHg	1.25	b c d
TFi,MHg	1.20	b c d
TYo,MNi	1.20	b c d
TKo,MNi	1.15	b c d
TYo,MPb	1.15	b c d
TMi,MPb	1.10	c d
TMi,MNi	1.10	c d
TSo,MCd	1.10	c d
TYo,MHg	1.05	d
TMi,MCr	1.00	d
TFi,MPb	1.00	d
TFi,MCd	1.00	d

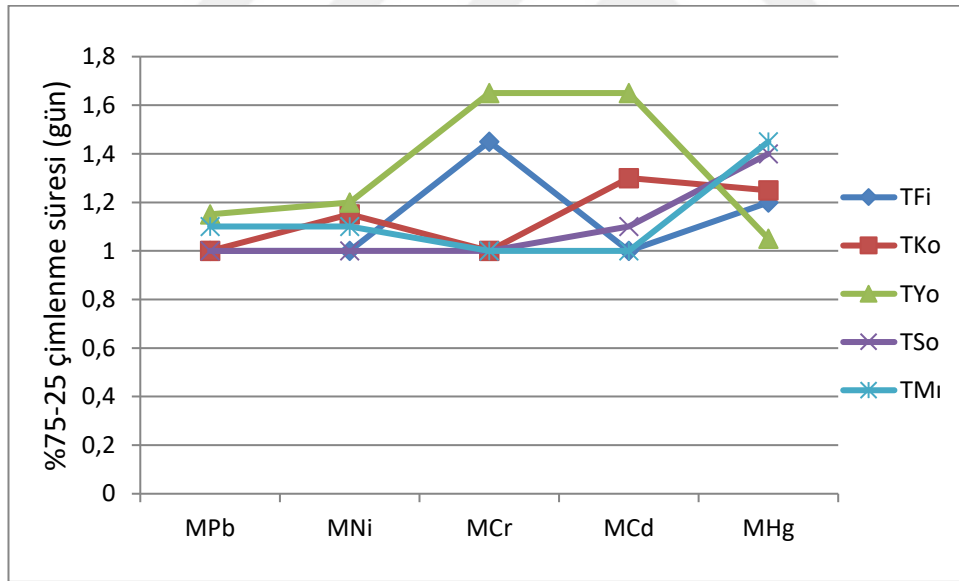
Devamı arkada

Çizelge 4.69.'un devamı

Uygulamalar	Ortalama (gün)	Gruplar
TKo,MCr	1.00	d
TSo,MPb	1.00	d
TSo,MCr	1.00	d
TMi,MCd	1.00	d
TFi,MNi	1.00	d
TKo,MPb	1.00	d
TSo,MNi	1.00	d

Tür-metal interaksyonu ortalamalarını incelediğimiz zaman, en yüksek %75-25 çimlenme süresi (1.65 gün) TYo-MCr interaksyonu uygulamasında elde edilirken en düşük %75-25 çimlenme süresi (1.00 gün) TSo-MNi uygulamasında elde edilmiştir. Fakat TYo-MCr, TYo-MCd, TMi-MHg, TFi-MCr ve TSo-MHg ayrıca TKo-MCd, TKo-MHg, TFi-MHg, TYo-MNi, TKo-MNi, TYo-MPb, TMi-MPb, TMi-MNi, TSo-MCd, TYo-MHg, TMi-MCr, TFi-MPb, TFi-MCd, TKo-MCr, TSo-MPb, TSo-MCr, TMi-MCd, TFi-MNi, TKo-MPb ve TSo-MNi interaksyonları ortalamaları arasında istatistiki bir fark yoktur.

Tür-metal interaksyonunun %75-25 çimlenme süresi üzerindeki etkisini açıklayan grafik Şekil 4.34.'de verilmiştir.



Şekil 4.34. Tür-metal interaksyonuna ait %75-25 çimlenme süresi sonuçları

Tür-yoğunluk interaksyonu ortalamaları incelediğinde, en yüksek %75-25 çimlenme süresi (1.50 gün) TYo-Y800 interaksyonunda elde edilirken en düşük %75-25 çimlenme süresi (1.00 gün) TSo-Y200 interaksyonunda elde edilmiştir. TYo-Y800, TYo-Y400, TKo-Y800, TYo-Y200, TFi-Y000, TSo-Y800, TMi-Y100, TMi-Y000, TYo-Y000, TFi-Y400, TSo-Y400 ve TYo-Y100 ayrıca TKo-Y800, TYo-Y200, TFi-Y000, TSo-Y800, TMi-Y100, TMi-Y000, TYo-Y000, TFi-Y400, TSo-Y400, TYo-Y100, TMi-Y800, TFi-Y100, TKo-Y000, TKo-Y200, TKo-Y400, TFi-Y800, TMi-

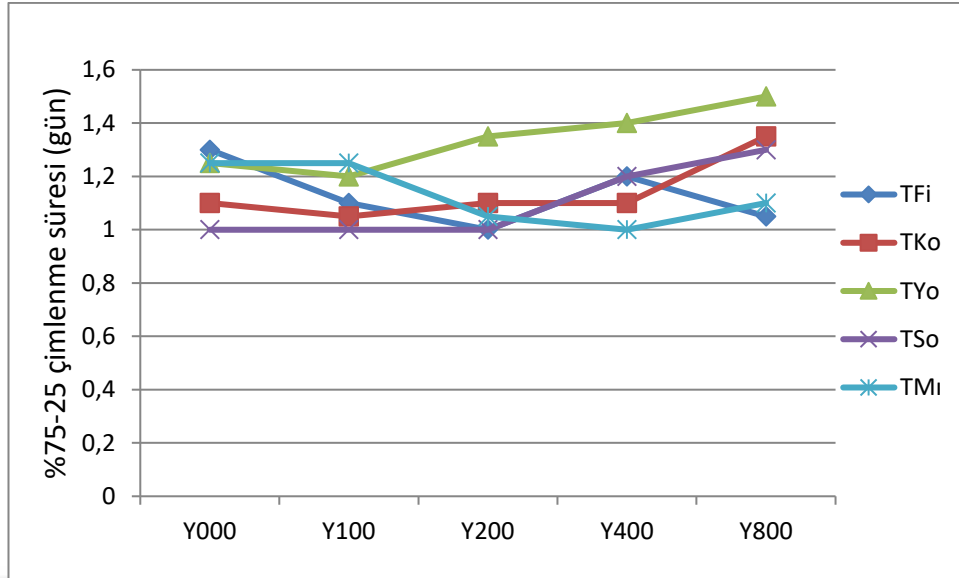
Y200, TKo-Y100, TM₁-Y400, TSo-Y000, TFi-Y200, TSo-Y100 ve TSo-Y200 interaksiyonları ortalamaları arasında istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır.

Tür-yoğunluk interaksiyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.70.'de verilmiştir.

Çizelge 4.70. Tür-yoğunluk interaksiyonlarının %75-25 çimlenme süresine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (gün)	Gruplar
TYo,Y800	1.50	a
TYo,Y400	1.40	a b
TKo,Y800	1.35	a b c
TYo,Y200	1.35	a b c
TFi,Y000	1.30	a b c
TSo,Y800	1.30	a b c
TM ₁ ,Y100	1.25	a b c
TM ₁ ,Y000	1.25	a b c
TYo,Y000	1.25	a b c
TFi,Y400	1.20	a b c
TSo,Y400	1.20	a b c
TYo,Y100	1.20	a b c
TM ₁ ,Y800	1.10	b c
TFi,Y100	1.10	b c
TKo,Y000	1.10	b c
TKo,Y200	1.10	b c
TKo,Y400	1.10	b c
TFi,Y800	1.05	b c
TM ₁ ,Y200	1.05	b c
TKo,Y100	1.05	b c
TM ₁ ,Y400	1.00	c
TSo,Y000	1.00	c
TFi,Y200	1.00	c
TSo,Y100	1.00	c
TSo,Y200	1.00	c

Tür-yoğunluk interaksiyonunun %75-25 çimlenme süresi üzerindeki etkisini açıklayan grafik Şekil 4.35.'de verilmiştir.



Şekil 4.35. Tır-yoğunluk interaksyonuna ait %75-25 çimlenme süresi sonuçları

Metal-yoğunluk interaksyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.71.'de verilmiştir.

Çizelge 4.71. Metal-yoğunluk interaksyonlarının %75-25 çimlenme süresine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (gün)	Gruplar
MCd,Y800	1.40	a
MHg,Y000	1.40	a
MHg,Y800	1.40	a
MCr,Y000	1.30	a b
MHg,Y400	1.30	a b
MCr,Y400	1.25	a b
MNi,Y800	1.20	a b
MCr,Y200	1.20	a b
MCr,Y800	1.20	a b
MCd,Y100	1.20	a b
MCd,Y200	1.20	a b
MHg,Y100	1.20	a b
MNi,Y400	1.15	a b
MCr,Y100	1.15	a b
MCd,Y400	1.15	a b
MPb,Y800	1.10	a b
MNi,Y000	1.10	a b
MCd,Y000	1.10	a b
MPb,Y100	1.05	a b
MPb,Y200	1.05	a b
MPb,Y400	1.05	a b

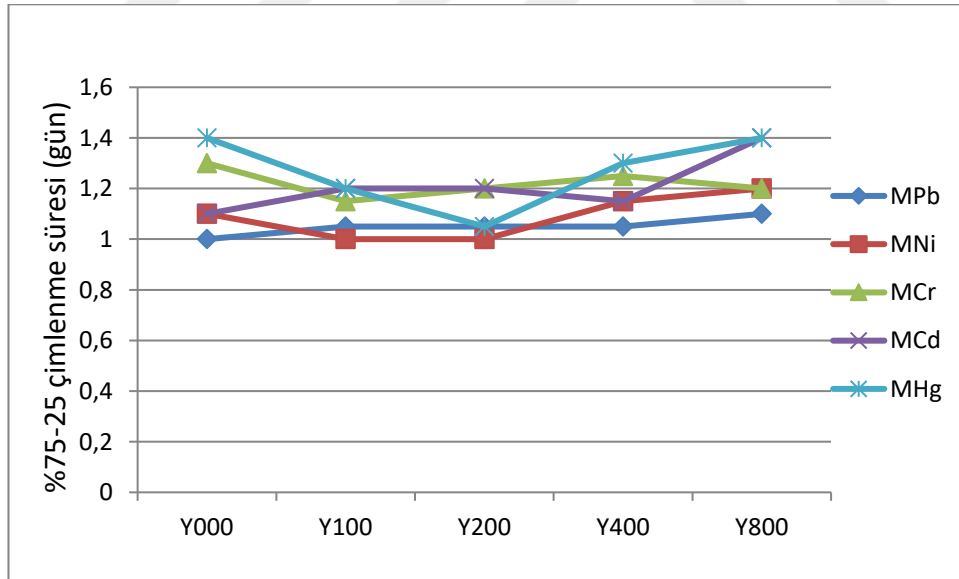
Devamı arkada

Çizelge 4.71.'in devamı

Uygulamalar	Ortalama (gün)	Gruplar
MHg, Y200	1.05	a b
MPb, Y000	1.00	b
MNi, Y100	1.00	b
MNi, Y200	1.00	b

Metal-yoğunluk interaksyonu varyans analizi sonucunda önemsiz bulunmasına rağmen, ortalamaları incelediğimiz zaman farklı grupların olduğu gözlenmektedir. En yüksek %75-25 çimlenme süresi (1.40 gün) MCd-Y800 interaksyonu uygulamasında elde edilirken en düşük %75-25 çimlenme süresi (1.00 gün) ise MNi-Y200 interaksyonu uygulamasında elde edilmiştir. Fakat MCd-Y800, MHg-Y000, MHg-Y800, MCr-Y000, MHg-Y400, MCr-Y400, MNi-Y800, MCr-Y200, MCr-Y800, MCd-Y100, MCd-Y200, MHg-Y100, MNi-Y400, MCr-Y100, MCd-Y400, MPb-Y800, MNi-Y000, MCd-Y000, MPb-Y100, MPb-Y200, MPb-Y400 ve MHg-Y200 interaksyonları arasında ve ayrıca MCr-Y000, MHg-Y400, MCr-Y400, MNi-Y800, MCr-Y200, MCr-Y800, MCd-Y100, MCd-Y200, MHg-Y100, MNi-Y400, MCr-Y100, MCd-Y400, MPb-Y800, MNi-Y000, MCd-Y000, MPb-Y100, MPb-Y200, MPb-Y400, MHg-Y200, MPb-Y000, MNi-Y100 ve MNi-Y200 interaksyonları ortalamaları arasında istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır.

Metal-yoğunluk interaksyonunun %75-25 çimlenme süresi üzerindeki etkisini açıklayan grafik Şekil 4.36.'da verilmiştir.



Şekil 4.36. Metal-yoğunluk interaksyonuna ait %75-25 çimlenme süresi sonuçları

Tür-metal-yoğunluk interaksyonlarına ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.72.'de verilmiştir.

Çizelge 4.72. Tür-metal-yoğunluk interaksiyonlarının %90-10 çimlenme süresine ait Tukey çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Uygulamalar	Ortalama (gün)	Gruplar
TM ₁ ,MHg,Y100	2.00	a
TSo,MHg,Y400	2.00	a
TFi,MCr,Y000	2.00	a
TYo,MCr,Y200	2.00	a
TYo,MCr,Y800	2.00	a
TYo,MCd,Y800	2.00	a
TM ₁ ,MHg,Y000	2.00	a
TSo,MHg,Y800	2.00	a
TFi,MCr,Y400	1.75	a b
TKo,MHg,Y800	1.75	a b
TYo,MCd,Y100	1.75	a b
TYo,MCd,Y400	1.75	a b
TKo,MCd,Y200	1.50	a b
TKo,MCd,Y800	1.50	a b
TYo,MNi,Y400	1.50	a b
TSo,MCd,Y800	1.50	a b
TFi,MCr,Y100	1.50	a b
TFi,MHg,Y000	1.50	a b
TKo,MNi,Y800	1.50	a b
TYo,MCd,Y200	1.50	a b
TYo,MCr,Y000	1.50	a b
TYo,MCr,Y400	1.50	a b
TM ₁ ,MPb,Y100	1.25	a b
TM ₁ ,MHg,Y200	1.25	a b
TKo,MNi,Y400	1.25	a b
TKo,MCd,Y100	1.25	a b
TKo,MHg,Y000	1.25	a b
TYo,MPb,Y200	1.25	a b
TYo,MPb,Y400	1.25	a b
TYo,MPb,Y800	1.25	a b
TM ₁ ,MPb,Y800	1.25	a b
TM ₁ ,MNi,Y000	1.25	a b
TM ₁ ,MNi,Y800	1.25	a b
TFi,MHg,Y400	1.25	a b
TFi,MHg,Y800	1.25	a b
TKo,MCd,Y000	1.25	a b
TYo,MNi,Y000	1.25	a b
TYo,MCr,Y100	1.25	a b
TYo,MCd,Y000	1.25	a b
TYo,MHg,Y000	1.25	a b
TKo,MHg,Y400	1.25	a b
TYo,MNi,Y800	1.25	a b

Devamı arkada

Çizelge 4.72.'nin devamı

Uygulamalar	Ortalama (gün)	Gruplar
TM ₁ ,MCr, Y400	1.00	b
TM ₁ ,MCr, Y000	1.00	b
TM ₁ ,MCr, Y100	1.00	b
TM ₁ ,MCr, Y200	1.00	b
TM ₁ ,MCr, Y800	1.00	b
TM ₁ ,MHg, Y400	1.00	b
TYo,MHg, Y800	1.00	b
TSo,MHg, Y000	1.00	b
TM ₁ ,MPb, Y000	1.00	b
TM ₁ ,MNi, Y100	1.00	b
TFi,MPb, Y100	1.00	b
TFi,MPb, Y200	1.00	b
TFi,MPb, Y400	1.00	b
TFi,MNi, Y000	1.00	b
TFi,MNi, Y800	1.00	b
TFi,MCd, Y200	1.00	b
TFi,MCd, Y400	1.00	b
TKo,MPb, Y800	1.00	b
TKo,MCd, Y400	1.00	b
TSo,MPb, Y000	1.00	b
TSo,MPb, Y400	1.00	b
TSo,MCr, Y200	1.00	b
TSo,MCd, Y000	1.00	b
TSo,MHg, Y100	1.00	b
TM ₁ ,MPb, Y200	1.00	b
TM ₁ ,MPb, Y400	1.00	b
TM ₁ ,MNi, Y200	1.00	b
TM ₁ ,MCd, Y200	1.00	b
TM ₁ ,MCd, Y400	1.00	b
TM ₁ ,MHg, Y800	1.00	b
TFi,MPb, Y000	1.00	b
TFi,MHg, Y100	1.00	b
TKo,MNi, Y000	1.00	b
TKo,MCr, Y000	1.00	b
TKo,MCr, Y200	1.00	b
TYo,MPb, Y100	1.00	b
TSo,MPb, Y200	1.00	b
TSo,MNi, Y200	1.00	b
TSo,MNi, Y400	1.00	b
TSo,MCr, Y100	1.00	b
TSo,MCd, Y100	1.00	b
TFi,MPb, Y800	1.00	b
TFi,MNi, Y200	1.00	b

Devamı arkada

Çizelge 4.72.'nin devamı

Uygulamalar	Ortalama (gün)	Gruplar
TFi,MNi,Y400	1.00	b
TFi,MCr,Y200	1.00	b
TFi,MCr,Y800	1.00	b
TFi,MCd,Y000	1.00	b
TFi,MCd,Y100	1.00	b
TKo,MPb,Y100	1.00	b
TKo,MPb,Y200	1.00	b
TKo,MPb,Y400	1.00	b
TKo,MNi,Y100	1.00	b
TKo,MNi,Y200	1.00	b
TKo,MCr,Y100	1.00	b
TKo,MCr,Y400	1.00	b
TKo,MCr,Y800	1.00	b
TYo,MPb,Y000	1.00	b
TYo,MHg,Y400	1.00	b
TSo,MPb,Y100	1.00	b
TSo,MNi,Y800	1.00	b
TSo,MCr,Y000	1.00	b
TSo,MCd,Y400	1.00	b
TSo,MHg,Y200	1.00	b
TMi,MNi,Y400	1.00	b
TMi,MCd,Y800	1.00	b
TFi,MNi,Y100	1.00	b
TFi,MCd,Y800	1.00	b
TKo,MPb,Y000	1.00	b
TYo,MHg,Y200	1.00	b
TSo,MPb,Y800	1.00	b
TSo,MNi,Y000	1.00	b
TSo,MNi,Y100	1.00	b
TSo,MCr,Y400	1.00	b
TSo,MCr,Y800	1.00	b
TSo,MCd,Y200	1.00	b
TMi,MCd,Y100	1.00	b
TFi,MHg,Y200	1.00	b
TKo,MHg,Y100	1.00	b
TKo,MHg,Y200	1.00	b
TYo,MNi,Y100	1.00	b
TYo,MNi,Y200	1.00	b
TYo,MHg,Y100	1.00	b
TMi,MCd,Y000	1.00	b

Tür-metal-yoğunluk interaksionu ortalamalarını incelediğimiz zaman, en yüksek %75-25 çimlenme süresi (2.00 gün) TMi-MHg-Y100 interaksionu uygulamasında elde edilirken, en düşük %75-25 çimlenme süresi (1.00 gün) TMi-MCd-Y000 interaksionu uygulamasında elde edilmiştir. Fakat en yüksek değerler arasında TMi-MHg-Y100

interaksiyonundan TYo-MNi-Y800 interaksiyonuna kadar ve ayrıca en düşük değerler arasında ise TFi-MCr-Y400 interaksiyonundan TMı-MCd-Y000 interaksiyonuna kadar ortalamalar arasında istatistiki bir fark ortaya çıkmamıştır.

Kurşunun bazı yazlık sebzelerde tohum çimlenmesi ve tolerans düzeyleri üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, 0, 100, 200, 400 ve 800 mg L⁻¹ kurşun konsantrasyonları kullanılmıştır. Sonuç olarak, domates, biber, patlıcan, hıyar, kabak, karpuz, kavun ve bamya cinslerinin %75-25 çimlenme süresi değerleri kurşun yoğunluğu arttıkça artmıştır (Akıncı ve Çalışkan 2010). Nikelin ıspanakta (*Spinacia oleracea*) çimlenme ve bazı fide büyüme parametreleri üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, nikelin çimlenme aşamasında 0, 25, 50, 100, 200, 400 ve 800 mg L⁻¹ konsantrasyonları kullanılmıştır. Nikel konsantrasyonlarının yoğunluğu arttıkça ıspanak bitkisinin %75-25 çimlenme süreside artmıştır (Akıncı ve Akıncı 2011).

Bu çalışmada ele alınan bitki türleri üzerinde ağır metallerin yoğunlukları arttıkça %75-25 çimlenme süreleri de artmıştır. Fakat her metal yoğunluğunun %75-25 çimlenme süresi üzerine etkisi farklılık arz etmiştir. Yukarıda sonuçları bildirilen çalışmalar, bizim elde ettiğimiz sonuçları destekler niteliktedir.

5. SONUÇ

Bu tez çalışması, yaygın olarak tarımı yapılan bazı yem bitkisi türlerinin çimlenme ve erken fide evresinde bazı ağır metallerin farklı yoğunluklarına karşı tepkilerini belirleyebilmek amacıyla yürütülmüştür.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçları genel olarak değerlendirdiğimiz zaman, ağır metallerin yoğunlukları arttıkça ele alınan bitki türlerinin incelenen çimlenme ve erken fide evresindeki özellikleri olumsuz yönde etkilenmiştir. Bu azalmaların temel nedeni ise; artan dozlar ile bu elementlerin bitki dokularında birikmesi veya bitkinin büyüme ve gelişmesini sağlayan metabolizmaların bozulmasıyla ilgili olabileceği düşünülmektedir. Ancak hem incelenen özellikler bazında ve hem de faktörler arasında etkilenme ve etkileme derecesi farklılık göstermiştir. Çimlenme oranı, çimlenme indeksi, kök ve sürgün uzunluğu, kök ve sürgün yaş ağırlıkları ve kök ve sürgün kuru ağırlıkları, toksik etkinin artışına bağlı olarak azalırken, ortalama çimlenme sürelerine ilişkin incelenen özellikler ise yine toksik etkinin artışına bağlı olarak artmıştır. Bunun sebebi ise yoğunluk artışı sonucu ozmatik basınç ile su alımının zorlaşması ve tohumların gerektiği gibi çimlenemediği görülmektedir.

Bitki türlerini incelenen tüm özelliklere dayanarak, yaygın fiğ türünün ele alınan bu ağır metallere toksikolojik etkilerine karşı diğer bitki türlerinden daha toleranslı olduğunu söyleyebiliriz. Ayrıca ağır metallerden cıva ve kadmiyumun bu çalışmada kullanılan yoğunluklarının, ele alınan bitki türlerinin çimlenme ve erken fide evresindeki incelenen özelliklerine karşı kurşun, krom ve nikel elementlerinden daha fazla toksik etkide bulunduğu görülmektedir.

Ağır metallerin bu çalışmada ele alınan bitkiler üzerine toksik etkisini cıva>kadmiyum>kurşun>nikel>krom şeklinde sıralayabiliriz. Bu çalışmadaki ağır metal yoğunluklarını incelediğimizde, özellikle nikel, krom ve kurşun ağır metalleri için düşük konsantrasyonlar olduğu sonucu çıkarılabilir. Ek olarak çalışmamızda cıva ve kadmiyumun toksikolojik etkisi kontrole göre sürgün ve kök uzunluğunu diğer metallere oranla daha fazla azaltmıştır. Bunun sebebi olarak, kökler ağır metallere ilk ve en yoğun şekilde maruz kalan ve doğal olarak en hızlı yanıtın alındığı bitki kısımları olması gösterilebilir.

5.1. Öneriler

Endüstrileşme çalışmaları ve diğer birçok sebep her geçen gün çeşitli yollar ile tarım topraklarımızı kirletmektedir. Bu tez çalışması, özellikle sanayileşmenin yoğun olduğu ve çeşitli sebeplerden dolayı toprakların ağır metaller ile kirlendiği bölgelerde ele alınan bitkilerin yetiştiriciliği konusunda çiftçilere ışık tutabilir. Ayrıca ağır metal kirliliğinin bitki yetiştiriciliği açısından olumsuz yönlerini ortaya koyarak, yetkilileri kirliliğin önüne geçmeye yönlendirilebilir. İleriki çalışmalarda bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ağır metal toksikolojisinin bitkiler üzerindeki etkisinin araştırılması üzerine olan bilimsel çalışmalarda, araştırmacılara yol gösterici olabilir.

Bu çalışma sonucunda yaygın fiğ, yaygın yonca ve korunganın çimlenme oranını farklı metallerin uygulanması pek etkilemese bile incelenen diğer özellikler yönünden farklı metaller ve dozlardan etkilendiği görülmektedir. Mısır ve sorgum ise diğer

bitkilere oranla çimlenme oranı dahil farklı ağır metaller ve dozlarından belirgin bir şekilde etkilenmiştir. Bu yüzden bu çalışmadaki ağır metal yoğunlukları dikkate alınarak, her bir bitki için farklı ağır metal yoğunlukları belirlenebilir ve bu yoğunluklar üzerinde çalışmalar yapılabilir.

Eğer bu çalışmada ele alınan metaller ile kirlenmiş tarım arazilerinde bu bitkiler ile kültür yapılacak olursa, elde edilen sonuçlara dayanarak çifçilere yaygın fiğ, yaygın yonca ve korunga türlerinin daha toleranslı olduğu söylenebilir. Ayrıca sanayi ve çevresinde yüksek kirliliğe sahip tarım arazilerindeki bitkilerin homojen çimlenme gerçekleştiremeyeceği, çimlenme süresinin uzayacağı, çimlenen bitkilerin yavaş ve cılız yetişeceği ve bunun sonucunda tarımsal üretimin olumsuz etkileneceği çıkarımı yapılabilir.

İlerde yapılacak çalışmalar ile bu çalışmada incelenen özelliklere ek olarak, çimlenme ve fide evresinde bu ağır metallerin stresi altında bitki türlerindeki biyokimyasal ve/veya genetik değişimlerde araştırılmalıdır. Ayrıca bu çalışmaya ek olarak fide ve yetiştirme koşullarında ağır metallerin etkisi çalışılabilir. Bir bitki türünün farklı çeşitleri üzerinde ağır metallerin etkisi, farklı fizyolojik devrelerde incelenebilir. Ayrıca ağır metallerin çimlenme ve erken fide evresindeki olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak amacıyla farklı yöntemler denenebilir.

Eğer bitki yetiştirme periyodu boyunca ağır metallerin bitkiler üzerindeki etkisi araştırılacak olursa kök uzunluğunun yanı sıra kök çapında ve yoğunluğunda meydana gelen değişikliklerin, bazı fizyolojik ve biyokimyasal analizler yapılarak, bitki bünyesine ağır metal alımının belirlenmesi önerilmektedir. İleriki çalışmalarda çimlenme ve erken fide evresinde bu çalışmada ele alınan ağır metallerin etkisi herhangi bir bitki veya bitkiler üzerinde araştırılacak olursa, bu ağır metallerin öldürücü etkisinin belirlenmesi iyi sonuçlar ortaya koyabilir.

6. KAYNAKLAR

- Abraham, K., Sridevi, R., Suresh, B. and Damodharam, T. 2013. Effect of heavy metals (Cd, Pb, Cu) on seed germination of *Arachis hypogaeae* L. *Asian Journal of Plant Science and Research*, 3, 1, 10-12.
- Açıkgöz, E. 2001. Yem bitkileri. Uludag Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayın No:182, Bursa, 584 s.
- Ahmad, I., Akhtar, M. J., Asghar, H. N. and Zahir, Z. A. 2013. Comparative efficacy of growth media in causing cadmium toxicity to wheat at seed germination stage. *International Journal of Agriculture & Biology*, 15, 517-522.
- Ahumada, I., Gudenschwager, O., Carrasco, M. A., Castillo, G., Ascar, L. and Richter, P. 2009. Copper and zinc bioavailabilities to ryegrass (*Lolium perenne* L.) and subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.) grown in biosolid treated Chilean soils. *Journal of Environmental Management*, 90, 8, 2665–2671.
- Akhzari, D., Khedmati, M., Soleymani, A. R. and Pessarakli, M. 2016. Growth, survival, protein content, and phytoremediation potency of various rangeland plant species (*Medicago polymorpha* L., *Medicago rigidula* L., and *Onobrychis sativa* L.) grown in vermicompost-containing potting media. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47, 20, 2261-2270.
- Akinci, İ. E. ve Çalışkan, Ü. 2010. Kurşunun bazı yazlık sebzelerde tohum çimlenmesi ve tolerans düzeyleri üzerine etkisi. *Ekoloji*, 19, 74, 164-172.
- Akinci, S. ve Akinci, İ.E. 2011. Nikelin ıspanakta (*Spinacia oleracea*) çimlenme ve bazı fide büyüme parametreleri üzerine etkisi. *Ekoloji*, 20, 79, 69-76.
- Akinci, I. E. and Akinci, S. 2010. Effect of chromium toxicity on germination and early seedling growth in melon (*Cucumis melo* L.). *African Journal of Biotechnology*, 9, 29, 4589-4594.
- Aksoy, A. 1995. Kayseri-Kırşehir karayolu kenarında yetişen bitkilerde ağır metal kirlenmesi. II. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi Programı, Kayseri.
- Alcantara, E., Romera, F. J., Canete, M. and De La Guardia, M. D. 1994. Effects of heavy metals on both induction and function of root Fe(III) reductase in Fe-deficient cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants. *J. Exp. Bot.*, 45, 1893-1898.
- Ali, S., Bai, P., Zeng, F., Cai, S., Shamsi, I. H., Qiu, B., Wu, F. and Zhang, G. 2011. The ecotoxicological and interactive effects of chromium and aluminum on growth, oxidative damage and antioxidant enzymes on two barley genotypes differing in Al tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 70, 2-3, 185-191.
- Almansouri, M., Kinet, J.M. and Lutts, S. 2001. Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Plant and Soil*, 231, 243-254.
- Angino, E. E., Magnuson, L. M., Waugh, T. C., Galle, O. K. and Bredfeldt, J. 1970. Arsenic in detergents-possible danger and pollution hazard. *Science*, 168, 3929, 389-392.
- Anonim, 2016. Türkiye İstatistik Kurumu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim İstatistikleri. <http://www.tuik.gov.tr>. [Son Erişim Tarihi: 13.11.2017].

- Ayçiçek, M., Kaplan, O. and Yaman, M. 2008. Effect of cadmium on germination, seedling growth and metal contents of sunflower (*Helianthus annus* L.). *Asian Journal of Chemistry*, 20, 4, 2663-2672.
- Aydinalp, C. and Marinova, S. 2009. The effects of heavy metals on seed germination and plant growth on alfalfa plant (*Medicago sativa*). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 15, 4, 347-350.
- Ayhan, B., Ekmekçi, Y. ve Tanyolaç, D. 2007. Erken fide evresindeki bazı mısır çeşitlerinin ağır metal (kadmium ve kurşun) stresine karşı dayanıklılığının araştırılması. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8, 2, 411-422.
- Azimi, R., Jafari, S. H., Kianian, M. K., Khaksarzade, V. and Amini, A. 2016. Studying arbuscular mycorrhiza symbiotic effects on establishment and morphological characteristics of *Bromus kopetdaghensis* in cadmium contaminated soil. *Taiwan Water Conservancy*, 64, 3, 82-91.
- Babel, S. and Opiso, E. M. 2007. Removal of Cr from synthetic wastewater by sorption into volcanic ash soil. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 4, 1, 99-107.
- Baker, A. J. M. and Brooks R. R. 1989. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements- A review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery*, 1, 81-126.
- Baker, W. G. 1972. Toxicity levels of mercury lead, copper and zinc in tissue culture systems of cauli flowers, lettuce, potato and carrot. *Can. J. Bot.*, 50, 973-976.
- Balestrasse, K. B., Benavides, M. P., Gallego, S. M. and Tomaro, M. L. 2003. Effect on cadmium stress on nitrogen metabolism in nodules and roots of soybean plants. *Func. Plant Biol.*, 30, 57-64.
- Banuelos, G. S., Ajwa, H.A., Mackey, B., Wu, L., Cook, C., Akohoue, S. and Zambruski, S. 1997. Selenium induced growth reduction in brassica land races considered for phytoremediation. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 36, 282-287.
- Barton, L. L., Johnson, G. V., O’Nan, A. G. and Wagener, B. M. 2000. Inhibition of ferric chelate reductase in alfalfa roots by cobalt, nickel, chromium, and copper. *Journal of Plant Nutrition*, 23, 11–12, 1833-1845.
- Basmakov, D. I., Lukatkin, A. S., Revin, V. V., Duchovskis, P., Brazaitytė, A. and Baranauskis, K. 2005. Growth of maize seedlings affected by different concentrations of heavy metals. *Ekologija*, 3, 22-27.
- Bautista, O. V., Fischer, G. and Cardenas, J. F. 2013. Cadmium and chromium effects on seed germination and root elongation in lettuce, spinach and Swiss chard. *Agronomía Colombiana* 31, 1, 48-57.
- Beladi, M., Habibi, D. and Kashani, A., 2011. Phytoremediation of lead and copper by sainfoin (*Onobrychis vicifolia*): Role of antioxidant enzymes and biochemical biomarkers. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 10, 3, 440-449.
- Beri, A. and Setia, R. C. 1995. Assessment of growth and yield in *Lens culinaris* Medic var. Massar 9-12 treated with heavy metals under N-supplied conditions. *J. Indian Bot. Soc.*, 74, 293-297

- Bingham, F. T., Page, A. L., Mahler, R. J. and Ganje, T. J. 1976. Yield and cadmium accumulation of forage species in relation to cadmium content of sludge-amended soil. *Journal of Environmental Quality*, 5, 1, 57-60.
- Blaylock, M. J. and Huang, J. W. 2000. Phytoextraction of metals. In: Raskin, I., Ensley, B. D. (Eds) *Phytoremediation of toxic metals-using plants to clean up the environment*. Wiley, New York, pp 53–70.
- Bonfranceschi, B. A., Flocco, C. G. and Donati, E. R. 2009. Study of the heavy metal phytoextraction capacity of two forage species growing in an hydroponic environment. *Journal of Hazardous Materials*, 165, 1–3, 366-371.
- Bowen, H. J. M. 1979. *Environmental chemistry of the elements*. Academic Press, London.
- Breckle, S.W. and Kahile, H. 1992. Effects of toxic heavy metals, Cd, Pb on growth and mineral nutrition of beech (*Fagus sylvatica* L.). *Vegetatio*, 101, 43-53.
- Bryan, G. 1976. Heavy metal contamination in the sea in: R. Johnston (Ed.) *Mar. Poll.* Academic Pres Inc., London, 185-302.
- Cargnelutti, D. et al. 2006. Mercury toxicity induces oxidative stress in growing cucumber seedlings. *Chemosphere*, 65, 999-1106.
- Cervantes, C., Campos-Garcia, J., Devars, S., Gutierrez-Corona, F., Loza-Tavera, H., Torres-Guzman, J. C. and Moreno-Sanchez, R. 2001. Interactions of chromium with microorganisms and plants. *FEMS Microbiology Reviews*, 25, 3, 335-347.
- Chaney, R.L. and Ryan, J. A. 1994. Heavy metals and toxic organic pollutants in msw-composts: Research results on phytoavailability, bioavailability, fate, etc. In H.A.J. Hoitink and H.M. Keener (Eds.). *Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects*. Ohio State Univ., Columbus, OH. pp. 451-506.
- Choudhury, S. and Panda, S. K. 2005. Toxic effect, oxidative stress and ultrastructural changes in moss *Taxitheelium nepalense* (Schwaegr.) Broth. under lead and chromium toxicity. *Water, Air and Soil Poll.*, 167, 73-90.
- Claire, L.C., Andriano, D.C., Sajwan, K.S., Abel, S.L., Thoma, D.P. and Driver, J.T. 1991. Effects of selected trace metals on germinating seeds of six plant species. *Water, Air and Soil Poll.*, 59, 231-240.
- Clijsters, H. and Van Assche, F. 1985. Inhibition of photosynthesis by heavy metals. *Photosynth. Res.*, 7, 31-40.
- Cokkizgin, A. and Cokkizgin, H. 2015. Effects of lead (PbCl₂) stress on germination of lentil (*Lens culinaris* Medic.) lines. *African Journal of Biotechnology*, 9, 50, 8608-8612.
- Copeland, L.O. and McDonald, M.B. 2001. *Principles of seed science and technology*. Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, USA, pp. 467.
- Costa, G. and Morel, J. L. 1994. Water relations, gas exchange and amino acid content in Cd-treated lettuce. *Plant Physiol. Biochem.*, 32, 561-570.
- Crooke, W. M., Hunter, J. G. and Vergano, O. 1954. The relationship of nickel toxicity and iron supply. *Ann. Appl. Biol.*, 41, 2, 311-324.

- Crooke, W. M. 1958. Further aspects of the relationship between nickel toxicity and iron supply. *Ann. Appl. Biol.*, 43, 465-476.
- Çatak, E., Güler, Ç., Süleyman, T. ve Orhan, B. 2000. Bazı Domates ve Tütün Genotiplerinde Kadmiyum Etkilerini İnceleyen İstatistiksel Bir Çalışma. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2, 1, 13-41.
- Dabhi M. S., Bhandari, P. and Vyas, A. V. 2005. Chromium toxicity study in fenugreek seedlings. *Emerging trends in plant physiology*, Ahmdabad. pp. 14.
- Das, P., Samantaray, S. and Rout, G. R. 1997. Studies on cadmium toxicity in plants: a review. *Environ. Pollut.*, 98, 29-36.
- Dahmani-Muller, H., Oort, F., Gelie, B. and Blabene, M. 2000. Strategies of heavy metal uptake by three plants species growing near a metal smelter. *Environ. Pollut.*, 109, 231-238.
- Davies, F. T., Puryear, J. D., Newton, R. J., Egilla, J. N. and Grossi, J. A. S. 2002. Mycorrhizal fungi increase chromium uptake by sunflower plants: influence on tissue mineral concentration, growth, and gas exchange. *J. Plant Nutr.*, 25, 2389-2407.
- 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.
- De Jonghe, W. R. A. and Adams, F.C. 1982. Biochemical cycling of organic lead compounds. *Ecotoxicology*, 561-593.
- Dekock, P. C. 1956. Heavy metal toxicity and iron chlorosis. *Annals of Botany*, 20, 1, 133-141.
- Dražić, G., Mihailović, N. and Lojić, M. 2006. Cadmium accumulation in *Medicago sativa* seedlings treated with salicylic acid. *Biologia Plantarum*, 50, 2, 239-244.
- Ellis, R.H. and Roberts, E.H., 1981. The Quantification of Ageing and Survival in Orthodox Seeds. *Seed Sci. & Technol.*, 9, 373-409.
- Erdoğan, O. 2005. Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) fidelerinde nikel toksitesinin humik asit ile azaltılması üzerine bir araştırma. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 36 s.
- Ernst, W. H. O., Verkleji, J. A. C. and Schat, H. 1992. Metal tolerance in plants. *Acta Bot Neerl*, 41, 229-248.
- Farler, E. 1952. The evolution of chemistry: A history of its ideas, methods, and materials. Ronald Press, New York.
- Fang, Z., Hu, Z., Zhao, H., Yang, L., Ding, C., Lou, L. and Cai, Q. 2017. Screening for cadmium tolerance of 21 cultivars from Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam) during germination. *Grassland Science*, 63, 36-45.
- Fernandes, J. C. and Henriques, F. S. 1991. Biochemical, physiological and structural effects of excess copper in plants. *Bot. Rev.*, 57, 247-273.

- Fodor, A., Szabo-Nagy, A. and Erdei, L. 1995. The effects of cadmium on the fluidity and H⁺-ATPase activity of plasma membrane from sunflower and wheat roots. *J. Plant Physiol.*, 14, 787-792.
- Gajewska, E., Sklodowska, M., Slaba, M. and Mazur, J. 2006. Effect of nickel on antioxidative enzymes activities, proline and chlorophyll contents in wheat shoots. *Biol. Planta.*, 50, 4, 653-659.
- Gardea-Torresdey, J. L., Tiemann, K. J., Gonzalez, J. H., Cano-Aguilera, I., Henning, J. A. and Townsend, M. S. 1995. Ability of *Medicago Sativa* (alfalfa) To Remove Nickel Ions From Aqueous Solution. In: Proceedings of the 10th Annual Conference on Hazardous Waste Research, ss. 239-248.
- Gardea-Torresdey, J. L., Tiemann, K. J., Gamez, G. and Dokken, K. 1999. Effects of chemical competition for multi-metal binding by *Medicago sativa* (alfalfa). *Journal of Hazardous Materials*, 69, 1, 41-51.
- Gedik, O., Kıran, Y. ve Şahin, A. 2015. Kadmiyum'un *Vicia peregrina* L. tohumlarının çimlenmesi, kök gelişimi ve kök ucu hücreleri üzerindeki mitotik etkileri. *Karaelmas Science and Engineering Journal*, 5, 1, 9-15.
- Gimeno-Garcia, E., Andreu, V. and Boluda, R. 1996. Heavy metals incidence in the application of inorganic fertilizers and pesticides to rice farming soils. *Environ. Pollut.*, 92, 19-25.
- Goldbold, D. J. and Hutterman, A. 1986. The uptake and toxicity of mercury and lead to spruce (*Picea abies*) seedlings. *Wat. Air Soil Pollut.*, 31, 509-515.
- Goyer, R. A. 1991. Toxic effects of metals. In: Caserett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons In: Amdur, M. O., Doull, J., Klaassen, C. D. (Eds.), Pergamon Press, New York, pp. 1032.
- Gruenhage, L. and Jager, I. I. J. 1985. Effect of heavy metals on growth and heavy metals content of *Allium Porrum* and *Pisum sativum* *Angew. Bot.*, 59, 11-28.
- Guo, J., Dai, X., Xu, W. and Ma, M. 2008. Over expressing GSHI and AsPCSI simultaneously increases the tolerance and accumulation of cadmium and arsenic in *Arabidopsis thaliana*. *Chemosphere*, 72, 1020-1026.
- Gyawali, R. and Lekhak, H. D. 2006. Chromium tolerance of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars from Kathmandu Valley, *Nepal. Scientific World*, 4, 4, 102-108.
- Han, F. X., Maruthi-Sridhar, B. B., Monts, D. L. and Su, Y. 2004. Phytoavailability and toxicity of trivalent and hexavalent chromium to *Brassica juncea*. *New Phytologist*, 162, 2, 489-499.
- Han, F. X., Su, Y., Monts, D. L., Waggoner, A. C. and Plodinec, J. M. 2006. Binding distribution, and plant uptake of mercury in a soil from Oak Ridge, Tennessee, USA. *Sci. Total Env.*, 368, 753-768.
- Hana, W. J. and Grant, C. L. 1962. Spectrochemical analysis of the foliage of certain trees and ornamentals for 23 elements. *Bull Torrey Bot Club*. 89, 293-302.
- Harada, I. and Murata, H. 1990. The absorption characteristics of nickel chloride applied to alfalfa and smooth brome grass. *Journal of Rakuno Gakuen University*, 15, 1-2, 139-146.
- Hawkes, J. S. 1997. Heavy metals. *Journal of Chemical Education*, 74, 1369-1374.

- He, J., Ren, Y., Chen, X. and Chen, H. 2014. Protective roles of nitric oxide on seed germination and seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.) under cadmium stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 108, 114-119.
- Hernandez, L. E., Carpena-Ruiz, R. and Garate, A. 1996. Alterations in the mineral nutrition of pea seedlings exposed to cadmium. *J. Plant Nutr.*, 19, 1581-1598.
- Hewilt, E. J. 1953. Metal inter-relationships in plant nutrition. *J. Exp. Bot.*, 4, 59-64.
- Houshmandfar, A. and Moraghebi, F. 2011. Evaluation of heavy metal tolerance at different clover plant growth stages. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 1, 2, 95-99.
- Huang, C. V., Bazzaz, F. A. and Venderhoef, L. N. 1974. The inhibition of soybean metabolism by cadmium and lead. *Plant Physiol.*, 34, 122-124.
- Huffman, E. W. D. Jr. and Allaway, H. W. 1973. Chromium in plants: distribution in tissues, organelles, and extracts and availability of bean leaf Cr to animals. *J. Agric. Food Chem.*, 21, 982-986.
- Hunter, J. G. and Vergano, O. 1952. Nickel toxicity in plants. *Ann. Appl. Biol.*, 39, 279-284.
- Hunter, J. G. 1954. Nickel toxicity in a Southern Rhodesian soils. *S. Afr. J. Sci.*, 51, 133-135.
- Iqbal, M.Z. and Mehmood, T. 1991. Influence of cadmium toxicity on germination and growth of some common trees. *Pak. J. Sci. Ind. Res.* 34, 140-142.
- Israr, M., Sahi, S., Datta, R. and Sarkar, D. 2006. Bioaccumulation and physiological effects of mercury in *Sesbania drummonii*. *Chemosphere*, 65, 591-598.
- ISTA. 1993. International Rules for Seed Testing, International Seed Testing Association. *Seed Sci. Technol.*, 21, p. 289, Zürich, Switzerland.
- ISTA. 2007. International Rules for Seed Testing. Edition 2007. International Seed Testing Association, Bassersdorf, Switzerland.
- Izadiyar, M. H. and Yargholi, B. 2010. Study of Cadmium Absorption and Accumulation in Different Parts of Four Forages. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science*, 1, 93, 231-238.
- Izosimova, A. 2005. Modelling the interaction between calcium and nickel in the soil-plant system. *FAL Agric. Res.*, Special issue, 288, 99.
- Jain, R., Srivastava, S., Madan, V. K. and Jain, R. 2000. Influence of chromium on growth and cell division of sugarcane. *Ind. J. Plant Physiol.*, 5, 228-231.
- Jiang, W. Z. and Li, J. L. 1989. Effects of Cadmium on Photosynthetic Characteristics of Tobacco. *Plant Physiology Communications*, 6, 27-31.
- Joner, E. J. and Leyval, C. 1997. Uptake of ¹⁰⁹Cd by roots and hyphae of a *Glomus mosseae*/*Trifolium subterraneum* mycorrhiza from soil amended with high and low concentrations of cadmium. *New Phytologist*, 135, 2, 353-360.
- Jun, R., Ling, T. and Guanghua, Z. 2009. Effects of chromium on seed germination, root elongation and coleoptiles growth in six pulses. *Int. J. Environ. Sci. Tech.* 6, 4, 571-578.

- Juwarkar, A. S. and Shende, G. B. 1986. Interaction of Cd-Pb effect on growth yield and content of Cd, Pb in barley. *Ind. J. Environ. Heal.*, 28, 235-243.
- Kabata-Pendias, A. and Dudka, S. 1990. Evaluating baseline data for cadmium in soils and plants in Poland. In: Element concentration cadasters in ecosystems. Lieth, H., Markert, B. (Eds). VCH Verlagsgesellschaft, Federal Republic of Germany.
- Kabir, M., Iqbal, M.Z., Muhammad, M. and Farooqi, Z.R. 2008. Reduction in germination and seedling growth of *Thespesia populnea* L., caused by lead and cadmium treatments. *Pak. J. Bot.*, 40, 6, 2419-2426.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal G., Güven A. ve Timur, S. 2007. Metallerin çevresel etkileri –I. www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136_4753.pdf [Son erişim tarihi: 13.12.2017].
- Kaji, T., Suzuki, M., Yamamoto, C., Mishima, A., Sakamoto, M. and Kozuka, H. 1995. Severe damage of cultured vascular endothelial cell monolayer after simultaneous exposure to cadmium and lead. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 28, 168-172.
- Kalinowska, A. 1984. Lead concentration in the slug *arion rufus* from sites at the different distances from a tourist road. *Ecological Bulletins.*, 36-46.
- Kamal, M., Ghalya, A. E., Mahmouda, N. and Cote, R. 2004. Phytoaccumulation of heavy metals by aquatic plants. *Environ. Intern.*, 29, 1029-1039.
- Kar, D., Sur, P., Mandai, S. K., Saha, T. and Kole, R. K. 2008. Assessment of heavy metal pollution in surface water. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 5, 1, 119-121.
- Karademir, M. ve Toker, M. C. 1995. Ankara'nın bazı kavşaklarında yetişen çim ve bitkilerde egzoz gazlarından gelen kurşun birikimi. II.Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi., 699-711. Ankara.
- Kazantzis, G. 1980. Mercury. pp. 221-261 In H. A. Waldron (ed.), *Metals in the environment*. Academic Press, London.
- Kevrešan, S., Petrović, N., Popović, M. and Kandrač, J. 1998. Effect of heavy metals on nitrate and protein metabolism in sugar beet. *Biologia Plantarum*, 41, 2, 235-240.
- Khalid, B. Y. 1974. Effects of chemical treatments on plant growth in serpentine soils. Ph.D. Thesis, Aberdeen University, U.K.
- Khan, S. and Khan, N. N. 1983. Influence of lead and cadmium on growth and nutrient concentration of tomato (*Lycopersicum esculentum*) and egg plant (*Solanum melongena*). *Plant Soil*, 74, 387-394.
- Kırbağ-Zengin, F. ve Munzuroğlu, Ö. 2003. Fasulye fidelerinin (*Phaseolus vulgaris* L.) kök, gövde ve yaprak büyümesi üzerine kadmiyum(Cd^{++}) ve cıva (Hg^{++})'nın etkileri. *C.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi*, 24, 1, 64-75.
- Knight, A. H. and Crooke, W. M. 1956. Interaction between nickel and calcium in plants. *Nature*, 178-220.
- Kraal, H. and Ernst, W. 1976. Influence of copper high tension lines on plants and soil. *Environ. Pollut.*, 11, 131-135.

- Kumar, G., Singh, R. P. and Sushila 1992. Nitrate assimilation and biomass production in *Seasamum indicum* (L.) seedlings in lead enriched environment. *Wat. Soil Pollut.*, 66, 1-2, 163-171.
- Lacerda, L. D. 1997. Global mercury emissions from gold and silver mining. *Water Air Soil Pollut.*, 97, 209-221.
- Langille, L. M. and Maclean, K. S. 1976. Some essential nutrient elements in forest plants as related to species, plant part, season and location. *Plant and Soil*, 45, 1, 17-26.
- Li, C. P. 1948. The chemical arts of Old China. *J. Chem. Edu.*, 49-50.
- Liu, J., Zhang, Y., Shi, P. and Chai, T. 2012. Effect of cadmium on seed germination and antioxidative enzymes activities in cotyledon of *Solanum nigrum* L. *Journal of Agro-Environment Science*, 31, 5, 880-884.
- López, M. L., Peralta-Videa, J. R., Benitez, T. and Gardea-Torresdey, J. L. 2005. Enhancement of lead uptake by alfalfa (*Medicago sativa*) using EDTA and a plant growth promoter. *Chemosphere*, 61, 4, 595-598.
- Lyons-Alcantara, M., Tarazona J.V. and Mothersill C. 1996. The differential effect of cadmium exposure on the growth and survival of primary and established cells from fish and mammals. *Cell Biol. and Toxicol.*, 12, 29-38.
- Mark, K. F. and Hendershot, H. 1997. Trace metals in montreal urban soils and the leaves of taraxacum officinale. *Can. J. Soil. Sci.*, 79:385-387.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London, UK. s. 889.
- Messer, R. L., Lockwood, P. E., Tseng, W. Y., Edwards, K., Shaw, M., Caughman, G. B., Lewis, J. B. and Wataha, J. C. 2005. Mercury (II) alters mitochondrial activity of monocytes at sublethal doses via oxidative stress mechanisms. *J. Biomed. Mat. Res. B*, 75, 257-263.
- Miller, J. E., Hassete, J. J. and Koppe, D. E. 1975. Interaction of lead and cadmium of electron energy transfer reaction in corn mitochondria. *Physiol. Plant*, 28, 166-171.
- Miller, R. W., Al-Khazraji, M. L., Sisson, D. R. and Gardiner, D. T. 1995. Alfalfa growth and absorption of cadmium and zinc from soils amended with sewage sludge. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 53, 2, 179-184.
- Mishra, A. and Choudhuri, M. A. 1998. Amelioration of lead and mercury effects on germination and rice seedling growth by antioxidants. *Biologia Plantarum*, 41, 3, 469-473.
- Misra, S. G. and Mani, D. 1991. Soil pollution. Ashish Publishing House, Punjabi Bagh.
- Mizuno, N. 1968. Interaction between iron, nickel and copper in various plant species. *Nature*, 219, 1271-1272.
- Mohanpuria, P., Rana, N. K. and Yadav, S. K. 2007. Cadmium induced oxidative stress influence on glutathione metabolic genes of *Camella sinensis* (L.). O Kuntze. *Environ. Toxicol.*, 22, 368-374.

- Monni, S., Salemma, M. and Millar, N. 2000. The tolerance of *Empetrum nigrum* to copper and nickel. *Environ. Pollut.*, 109, 221–229.
- Morzck, E. Jr. and Funicelli, N. A. 1982. Effect of lead and on germination of *Spartina alterniflora* Lasiel. seeds at various salinities. *Environ Exp Bot* 22, 23-32.
- Motesharezadeh, B. and Savaghebi-Firoozabadi, G. R. 2010. Bioaccumulation and phyto-translocation of Nickel by *Medicago sativa* in a calcareous soil of Iran. *Desert (Biaban)*, 15, 1, 53-60.
- Muhammad, S., Iqbal, M. Z. and Mohammad, A. 2008. Effect of lead and cadmium on germination and seedling growth of *Leucaena leucocephala*. *Journal of Applied Science and Environmental Management*, 12, 2, 61–66.
- Muhammad, Z. I., Maria, K. S., Mohammad, A., Muhammad, S., Zia-Ur-Rehman, F. and Muhammad, K. 2015. Effect of mercury on seed germination and seedling growth of Mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 19, 2, 191-199.
- Mukherji, S. and Maitra, P. 1976. Toxic effects of lead growth and metabolism of germinating rice (*Oryza sativa* L.) seeds mitosis of onion (*Allium cepa*) root tip cells. *Ind. J. Exp. Biol.*, 14, 519-521.
- Nagajyoti, P. C., Lee, K. D. and Sreekanth, T. V. M. 2010. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. *Environ. Chem. Lett.*, 8, 199-216.
- Nath, S., Berner, Z., Mallik-Basu, S., Chatterjee, D., Charlet, L. and Stueben, D. 2005. Characterization of aquifers conducting groundwaters with low and high arsenic concentrations: a comparative case study from West Bengal, India. *Mineralogical Magazine*, 69, 5, 841-854.
- Nagos, G. 1979. Fate of lead in the soil and its effects on *Pinus halepensis*. *Plant and Soil*, 53, 427-443.
- Nicholas, D. J. D. and Thomas, W. D. E. 1954. Some effects of heavy metals on plants grown in soil culture, part III. The effect of nickel on fertilizer and soil phosphate uptake and Fe and Ni status of tomato. *Plant and Soil*, 5, 182-193.
- Nizam, I. 2011. Effects of salinity stress on water uptake, germination and early seedling growth of perennial ryegrass. *Afr. J. Biotechnol.*, 10, 10418-10424.
- Nriagu, J. O. 1988. A silent epidemic of environmental metal poisoning? *Environ, Pollut.*, 50, 139-161.
- Ogundiran, O. O. and Afolabi, T.A. 2008. Assessment of the physicochemical parameters and heavy metals toxicity of leachates from municipal solid waste open dumpsite. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 5, 2, 243-250.
- Okcu, M., Tozlu, E., Kumlay, A. M. ve Pehlivan, M. 2009. Ağır metallerin bitkiler üzerine etkileri. *Alinteri*, 17, (B), 14-26.
- Paivoke, H. 1983. The short term effect of zinc on growth anatomy and acid phosphate activity of pea seedlings. *Ann. Bot.*, 20, 307-309.
- Pandey, N. and Sharma, C. P. 2002. Effect of heavy metals Co^{+2} , Ni^{+2} , and Cd^{+2} on growth and metabolism of cabbage. *Plant Sci.*, 163, 753-758.

- Patel, P. M. and Wallace, A. 1980. Effect of trace metal applications on emergence of. *Bromus rubens* in desert soil. *Journal of Plant Nutrition*, 2, 1-2, 65-66.
- Parl, P. D. and Taylor, F. G. Jr. 1982. Germination and growth effects of hexavalent chromium in Orocol TL (a corrosion inhibitor) on *Phaseolus vulgaris*. *Environmental International*, 7, 3, 197-202.
- Peralta, J.R., Gardea-Torresdey, J.L., Tiemann, K.J., 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.). *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 66, 727-734.
- Peralta-Videa, J. R., Gardea-Torresdey, J. L., Gomez, E., Tiemann, K. J., Parsons, J. G. and Carrillo, G. 2002. Effect of mixed cadmium, copper, nickel and zinc at different pHs upon alfalfa growth and heavy metal uptake. *Environmental Pollution*, 119, 3, 291-301.
- Peralta-Videa, J. R., De la Rosa, G., Gonzalez, J. H. and Gardea-Torresdey, J. L. 2004. Effects of the growth stage on the heavy metal tolerance of alfalfa plants. *Advances in Environmental Research*, 8, 3-4, 679-685
- Porter, J. R. and Sheridan, R. P. 1981. Inhibition of nitrogen fixation in alfalfa by arsenate, heavy metals, fluoride, and simulated acid rain. *Plant Physiology*, 68, 1, 143-148.
- Proctor, J. 1971. The plant ecology of serpentine Soils III. The influence of a high Mg: Ca ratio and high Ni and Cr levels in some British and Swedish serpentine Soils. *J. Ecol.*, 59, 827-842.
- Proctor, J. and Woodel, S. R. J. 1975. The ecology of serpentine Soils. *Adv. Ecol. Res.*, 9, 255-366.
- Prodanovic, O., Prodanovic, R., Pristov, J. B., Mitrovic, A. and Radotic, K. 2016. Effect of cadmium stress on antioxidative enzymes during the germination of Serbian spruce [*Picea omorika* (Pan.) Purkyne]. *African Journal of Biotechnology*, 11, 52, 11377-11385.
- Qing, W., YaJie, G., DongMei, L. and CaiYun, Z. 2011. Research on phytoremediation of heavy metal pollution in river sediment by *Medicago sativa* L. *Agricultural Science Technology-Hunan*, 12, 12, 1885-1888.
- Rahman, H., Sabreen, S., Alam, S. and Kawai, S. 2005. Effects of nickel on growth and composition of metal micronutrients in barley plants grown in nutrient solution. *J. Plant Nutri.*, 28, 393-404.
- Raskin, I. and Ensley, B. D. 2000. Phytoimediaitan of toxic metals: using plants to clean up to enviroment, John Wiley and Sons, N. York, 303 pp.
- Reddy, A. M., Kumar, S. G., Jyotsnakumari, G., Thimmanayak, S. and Sudhakar, C. 2005. Lead induced changes in antioxidant metabolism of horsegram (*Macrotyloma uniflorum* (Lam.) Verdc.) and bengalgram (*Cicer arietinum* L.). *Chemosphere*, 60, 97-104.
- Reeves, R. D. and Baker, A. J. M. 2000. Metal-accumulating plants. In: Raskin, I., Ensley, B. D. (Eds) *Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean up the environment*. Wiley, New York, pp 193-229.
- Ros, R., Cook, D. T., Martinez-Cortina, C. and Isabel, P. 1992. Nickel and cadmium-related changes in growth, plasma membrane lipid composition,

- atpase hydrolytic activity and protonpumping of rice (*Oryza sativa* L. cv. Bahia) shoots. *J. Exp. Bot.*, 43, 1475-1481.
- Rother, J. A., Millbank, J. W. and Thornton, I. 1983. Nitrogen fixation by white clover (*Trifolium repens*) in grasslands on soils contaminated with cadmium, lead and zinc. *European Journal of Soil Science*, 34, 1, 127-136.
- Rout, G. R., Sanghamitra, S. and Das, P. 2000. Effects of chromium and nickel on germination and growth in tolerant and non-tolerant populations of *Echinochloa colona* (L). *Chemosphere*, 40, 855-859.
- Saberi, M., Shahriari, A., Teixeira, J. A., Tarnian, F. and Tavili, A. 2012. Influence of salicylic acid on *Bromus tomentellus* germination and initial growth properties under cadmium stress. *Plant Stress*, 6, 1, 44-48.
- Salt, D. E., Blaylock, M., Kumar, N. P. B. A., Dushenkov, V., Ensley, B. D., Chet, I. and Raskin, I. 1995. Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. *Biotechn.*, 13, 468-474.
- Sanita di Toppi, L. and Gabbrielli, R. 1999. Response to cadmium in higher plants. *Environ. Exp. Bot.*, 41, 105-130.
- Saygıdeğer, S. 1995. *Lycopersicum esculentum* L. Bitkisinin çimlenmesi ve gelişimi üzerine kurşunun etkileri. 2. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi. Ankara. 588-597.
- Servant, J. 1982. Atmospheric trace elements from natural and industrial sources, 37 pp. London: Monitoring and Assessment Research Centre, Chelsea College, University of London.
- Severne, B. C. 1974. Nickel accumulation by *Hybanthus floribundus*. *Nature*, 248, 807-808.
- Shafiq, M., Iqbal, M. Z. and Mohammad, A. 2008. Effect of lead and cadmium on germination and seedling growth of *Leucaena leucocephala*. *J. Appl. Sci. Environ.*, 12, 2, 61-68.
- Shahid, M., Sabir, M., Ali, M. A. and Ghafoor, A. 2014. Effect of organic amendments on phytoavailability of nickel and growth of berseem (*Trifolium alexandrinum*) under nickel contaminated soil conditions Preparation of encapsulated urea-kaolinite controlled release fertiliser and their effect on rice produc. *Chemical Speciation Bioavailability*, 26, 1, 2014-2017.
- Sharma, P. and Dubey, R. S. 2005. Lead toxicity in plants. *Braz. J. Plant Physiol.*, 17, 35-52.
- 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.
- Shrestha, S. and Kazama, F. 2007. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. *Environmental Modelling & Software*, 22, 4, 464-475.
- ShuAng, Y., JiGuang, L. and ShouLi, W. 2009. Effect of Zn on seed germination of *Bromus inermis* Leyss. *Guizhou Agricultural Sciences*, 12, 75-77.
- Siddiqui, M. M., Abbasi, B. H., Ahmad, N., Ali, M. and Mahmood, T. 2014. Toxic effects of heavy metals (Cd, Cr and Pb) on seed germination and

- growth and DPPH-scavenging activity in *Brassica rapa* var. Turnip. *Toxicol. Ind. Health*, 30, 238-249.
- Singh, A., Eapen, S. and Fulekar, M. H. 2009. Potential of *Medicago sativa* for uptake of cadmium from contaminated environment. *Romanian Biotechnological Letters*, 14, 1, 4164-4169.
- Smiri, M. 2011. Effect of cadmium on germination, growth, redox and oxidative properties in *Pisum sativum* seeds. *Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 3, 3, 52-59.
- Soane, B. D. and Saunder, D. H. 1959. Nickel and chromium toxicity of serpentine soils in Southern Rhodesia. *Soil Sci.*, 88, 322-330.
- Sobrinho-Plata, J., Ortega-Villasante, C., Laura Flores-Cáceres, M., Escobar, C., Del Campo, F. F. and Hernández, L. E. 2009. Differential alterations of antioxidant defenses as bioindicators of mercury and cadmium toxicity in alfalfa. *Chemosphere*, 77, 7, 946-954.
- Stiborova, M., Pitrichova, M. and Brezinova, A. 1987. Effect of heavy metal ions in growth and biochemical characteristic of photosynthesis of barley and maize seedlings. *Biol. Plant*, 29, 453-467.
- Subrahmanyam, D. 2008. Effects of chromium toxicity on leaf photosynthetic characteristics and oxidative changes in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Photosynthetica*, 46, 339-345.
- Şahin, A. and Kiran, Y. 2005. The effects of the lead on the seed germination, root growth, and root tip cell mitotic divisions of *Lens culinaris* Medik.. *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 18, 1, 17-25.
- Tang, S. R., Wilke, B. M., Brooks, R. R. and Tang, S. R. 2001. Heavy-metal uptake by metal tolerant *Elsholtzia haichowensis* and *Commelina communis* from China. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 32, 895-905.
- Tiemann, K. J., Gardea-Torresdey, J. L., Gamez, G. and Dokken, K. 1998. Interference studies for multimetal binding by *Medicago sativa* (alfalfa). Proceedings of the 1998 Conference on Hazardous Waste Research, ss. 63-75.
- Van Assche, F. and Clijsters, H. 1990. Effects of metals on enzyme activity in plants. *Plant Cell Environ.*, 13, 195-206.
- Verkleji, J. A. S. 1993. The effects of heavy metals stress on higher plants and their use as bio monitors. In: Markert, B. (Ed) Plant as bioindicators: indicators of heavy metals in the terrestrial environment. VCH, New York, pp 415-424.
- Verma, S. and Dubey, R. S. 2003. Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants. *Plant Science*, 164, 645-655.
- Wallace, A. and Romney, E. M. 1977 Synergistic trace metal effects in plants. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 8, 709-712.
- Wang, C. Q. and Song, H. 2009. Calcium protects *Trifolium repens* L. seedlings against cadmium stress. *Plant Cell Reports*, 28, 9, 1341-1349.
- Wang, Y. and Greger, M. 2004. Clonal differences in mercury tolerance, accumulation, and distribution in willow. *J. Environ. Qual.*, 33, 1779-1785.

- Webb, J. 1966. Enzyme and metabolic inhibitors. Vol. 2. Academic Press, New York.
- Wintz, H., Fox, T. and Vulpe, C. 2002. Responses of plants to iron, zinc and copper deficiencies. *Biochem. Soc. Trans.*, 30, 766–768.
- Wojcik, M. and Tukiendorf, A. 2004. Phytochelatin synthesis and cadmium localization in wild type of *Arabidopsis thaliana*. *Plant Growth Regul.*, 44, 71-80.
- Wong, B. S., Chen, S. G., Colucci, M., Xie, Z., Pan, T., Liu, T., Li, R., Gambetti, P., Sy, M. S. and Brown, D. R. 2001. Aberrant metal binding by prion protein in human prion disease. *Journal of Neurochemistry*, 78, 6, 1400-1408.
- Yang, X., Baligar, V. C., Martens, D. C. and Clark, R. B. 1996. Plant tolerance to nickel toxicity: II nickel effects on influx and transport of mineral nutrients in four plant species. *Journal of Plant Nutrition*, 19, 2, 265-279.
- Yang, Y. Y., Jung, J. Y., Song, W. Y., Suh, H. S. and Lee, Y. 2000. Identification of rice varieties with high tolerance or sensitivity to lead and characterization of the mechanism of tolerance. *Plant Physiol.*, 124, 1019-1026.
- Yanqun, Z., Yuan, L., Jianjun, C., Haiyan, C., Li Q. and Schratz, C. 2005. Hyper accumulation of Pb, Zn and Cd in herbaceous grown on lead-zinc mining area in Yunnan, China. *Environ. Int.*, 31, 755-762.
- Yıldız, N., 2004. Toprak ve bitki ekosistemindeki ağır metaller. ZT-531. Yüksek Lisans Ders Notları. Erzurum.
- Zacarías, M., Beltrán, M., Gilberto-Torres, L. and González, A. 2012. A feasibility study of perennial/annual plant species to restore soils contaminated with heavy metals. *Physics and Chemistry of the Earth*, 37-39, 37-42.
- Zayed, A. M. and Terry, M. 2003. Chromium in the environment: factors affecting biological remediation. *Plant and Soil*, 249, 1, 139-156.
- Zeid, I. M. 2001. Responses of *Phaseolus vulgaris* to chromium and cobalt treatments. *Biol. Plant*, 44, 111-115.
- Zenovia, O. and Alexandina, M. 2008. The influence of some heavy metals on medicago sativa seed germination and seedling growth. *Analele Științifice ale Universității, "Alexandru Ioan Cuza", Secțiunea Genetică și Biologie Moleculară*, 52, 55-61.
- Zhang, C., Li, H., Xia, L., Ren, L. and Rao, Z. 2005. Effect of zinc cadmium germination of medicago sativa seeds and growth of seedling. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 1, 25.
- Zhang, W. H. and Tyerman, S. D. 1999. Inhibition of water channels by HgCl₂ in intact wheat root cells. *Plant Physiol.*, 120, 849-857.
- Zhou, Z. S., Huang, S. Q., Guo, K., Mehta, S. K., Zhang, P. C. and Yang, Z. M. 2007. Metabolic adaptations to mercury-induced oxidative stress in roots of *Medicago sativa* L. *J. Inorg. Biochem.*, 101, 1-9.
- Zhou, Z. S., Wang, S. J. and Yang, Z. M. 2008. Biological detection and analysis of mercury toxicity to alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Chemosphere*, 70, 8, 1500-1509.

- Zornoza, P., Robles, S. and Martin, N. 1999. Alleviation of nickel toxicity by ammonium supply to sunflower plants. *Plant and Soil*, 208, 221–22.
- Zribi, K., Djébali, N., Mrabet, M., Khayat, N., Smaoui, A., Mlayah, A. and Aouani, M. E. 2012. Physiological responses to cadmium, copper, lead, and zinc of *Sinorhizobium* sp. strains nodulating *Medicago sativa* grown in Tunisian mining soils. *Annals of Microbiology*, 62, 3, 1181-1188.



ÖZGEÇMİŞ

ESRA NERMİN ERTEKİN

nermin.kucukors@hotmail.com



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2014-	Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Antalya
Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2010-2014	Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Antalya

ESERLER

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

- 1- Ertekin, E. N., Ertekin, İ, Bilgen, M. (2017). Comparison of Poultry House and Free-Range System in the Poultry Farming. VIII. International Symposium on Ecology and Environmental Problems, p. 381, 4-7 Ekim, Çanakkale, (Özet Bildiri).