



**T.C.
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**UYARICI UYGULAMALARININ AĞIR METAL STRESİNE MARUZ
BIRAKILAN BAZI ÇOK YILLIK BUĞDAYGİL ÇİM TÜRLERİNİN
ÇİMLENME VE FİDE GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİSİ**

MELEK AKAR

TARLA BİTKİLERİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY

ŞUBAT-2017



**T.C.
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**UYARICI UYGULAMALARININ AĞIR METAL STRESİNE MARUZ
BIRAKILAN BAZI ÇOK YILLIK BUĞDAYGİL ÇİM TÜRLERİNİN
ÇİMLENME VE FİDE GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİSİ**

MELEK AKAR

TARLA BİTKİLERİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY

ŞUBAT-2017

T.C.
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

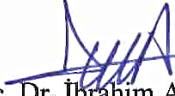
**UYARICI UYGULAMALARININ AĞIR METAL STRESİNE MARUZ
BIRAKILAN BAZI ÇOK YILLIK BUĞDAYGİL ÇİM TÜRLERİNİN
ÇİMLENME VE FİDE GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİSİ**

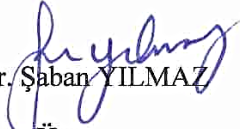
Melek AKAR

TARLA BİTKİLERİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Doç. Dr. İbrahim ATİŞ danışmanlığında hazırlanan bu tez 02/02/2017 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **OYBİRLİĞİ** ile kabul edilmiştir.


Doç. Dr. İbrahim ATİŞ
Başkan


Prof. Dr. Şaban YILMAZ
Üye


Doç. Dr. Alpaslan KUŞVURAN
Üye

Kod No:

Prof. Dr. Erdal SERTKAYA

Enstitü Müdürü

Bu çalışmatarafından desteklenmiştir.

Proje No:

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

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını ve tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu beyan ederim.

Melek AKAR

ÖZET

UYARICI UYGULAMALARININ AĞIR METAL STRESİNE MARUZ BIRAKILAN BAZI ÇOK YILLIK BUĞDAYGİL ÇİM TÜRLERİNİN ÇİMLENME VE FİDE GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİSİ

Bu çalışma, üç buğdaygil çim türünde kadmiyum (Cd) ve nikelin (Ni) farklı dozlarının (0, 75, 150 ve 300 mg/l) çimlenme ve fide gelişimi üzerine uyarıcı ön uygulamalarının (Giberillik asit (GA₃), Potasyumnitrat (KNO₃) ve Su (H₂O)) etkilerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Çalışma laboratuvar koşullarında yürütülmüştür. Bitki materyali olarak çok yıllık çim türünün Integra, kırmızı yumak türünün Corail, kamışsı yumak türünün Rebel çeşitleri kullanılmıştır. Araştırma sonuçları genel olarak her üç türde de ağır metallerin hem çimlenme hem de fide özelliklerini olumsuz yönde etkilediğini ortaya koymuştur. Bununla birlikte ağır metalin türüne ve dozuna bağlı olarak olumsuz etkinin şiddeti türler arasında önemli farklılıklar göstermiştir. Uyarıcı ön uygulamalarının etkisi de türlere, ağır metal türü ve dozuna göre önemli farklılıklar göstermiştir. Çok yıllık çimde uyarıcı ön uygulamaları ağır metal stresinin azaltılmasında etkili olurken, kırmızı yumak ve kamışsı yumakta beklenen fayda sağlanamamıştır. Özellikle yüksek ağır metal dozlarında GA₃ ve KNO₃ uygulamalarının etkisi olumsuz olmuştur.

2017, 83 sayfa

Anahtar Kelimeler: Ağır metal, uyarıcı, çimlenme, çim bitkisi

ABSTRACT

THE EFFECTS OF PRIMING TREATMENTS ON GERMINATION AND SEEDLING GROWTH IN THREE PERENNIAL TURFGRASS SPECIES EXPOSED WITH HEAVY METAL STRESS

This research was conducted to determine effects of priming treatments (GA_3 , KNO_3 and H_2O) on germination and seedling growth in three perennial turfgrass species contaminated with different doses (0, 75, 150 and 300 mg/l) of cadmium (Cd) and nickel (Ni). The study was conducted in laboratory conditions. Perennial ryegrass cv. Integra, red fescue cv. Corail and tall fescue cv. Rebel were used as plant materials. The results showed that both germination and seedling growth properties of all species were adversely affected from heavy metals. Severity of negative effect depending on dose and kind of heavy metal showed significantly differences among species. Also, effect of priming treatments showed significantly differences depending on species, dose and kind of heavy metal. while priming treatments were effective in decreasing heavy metal in perennial ryegrass, ineffective in red fescue and tall fescue. Effects of GA_3 and KNO_3 treatments were unfavorable in specially higher heavy metal doses.

2017, 83 pages

Key Words: Heavy metal, priming, germination, turf grass

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez konusunun belirlenmesinde, araştırılması ve yazımı sırasında sahip olduğu bilgi birikimi ve tecrübesi ile çalışmayı yönlendiren ve her türlü yardımı esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. İbrahim ATIŞ'a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarına yapmış oldukları destek ve katkılarından dolayı Prof. Dr. Şaban YILMAZ hocam ve Doç. Dr. Alpaslan KUŞVURAN hocam'a teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım esnasında, denemelerin kurulmasında ve yürütülmesinde tüm olanaklarını kullanarak bana yardımcı olan Osman Barış DERİCİ'ye, çalışma süresince bana yardım eden Muzaffer Arda MATUR'a, araştırma sonuçlarının analizi esnasında tüm bilgi birikimini kullanarak bana yardımcı olan Prof. Dr. Mustafa AKAR'a ve isimlerini burada zikredemediğim ama yardımlarını esirgememiş herkese içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca bana maddi ve manevi destek veren annem Zeynep Beyhan ÇAVUŞ, babam Lütfi ÇAVUŞ ve ağabeyim Ahmet ÇAVUŞ'a içten teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince benden manevi desteklerini esirgemeyen ablam Funda AKAR ATİK ve annem Mesude AKAR'a çok teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında benden desteklerini esirgemeyen eşim Mustafa Atakan AKAR ve oğlum Mustafa Çınar AKAR'a çok teşekkür ederim.

Melek AKAR

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ	VII
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	X
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	13
3.1.Materyal	13
3.2.Yöntem.....	13
3.3.İncelenen Özellikler	15
3.3.1. Kök Uzunluğu	15
3.3.2. Fide Uzunluğu.....	15
3.3.2. Fide Yaş Ağırlığı	15
3.4.3. Çimlenme Oranı	15
3.3.5. Çimlenme İndeksi	16
3.3.6.Ortalama Çimlenme Süresi	16
3.4. Araştırmada Elde Edilen Verilerin Değerlendirilmesi.....	17
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	18
4.1. Çok Yıllık Çim.....	18
4.1.1. Çok Yıllık Çim Kök Uzunluğu	18
4.1.2. Çok Yıllık Çim Fide Uzunluğu	22
4.1.3. Çok Yıllık Çim Fide Ağırlığı	24
4.1.4. Çok Yıllık Çim Çimlenme Oranı	28
4.1.5. Çok Yıllık Çim Çimlenme İndeksi	32
4.1.6. Çok Yıllık Çim Ortalama Çimlenme Süresi	35
4.2. Kırmızı Yumak.....	37
4.2.1. Kırmızı Yumak Kök Uzunluğu.....	37
4.2.2. Kırmızı Yumak Fide Uzunluğu.....	41
4.2.3. Kırmızı Yumak Fide Ağırlığı.....	43
4.2.4. Kırmızı Yumak Çimlenme Oranı	48
4.2.5. Kırmızı Yumak Çimlenme İndeksi	51
4.2.6. Kırmızı Yumak Ortalama Çimlenme Süresi	55
4.3. Kamışsı Yumak.....	57
4.3.1. Kamışsı Yumak Kök Uzunluğu	57
4.3.2. Kamışsı Yumak Fide Uzunluğu	61
4.3.3. Kamışsı Yumak Fide Ağırlığı	63
4.3.4. Kamışsı Yumak Çimlenme Oranı	67
4.3.5. Kamışsı Yumak Çimlenme İndeksi	71
4.3.6. Kamışsı Yumak Ortalama Çimlenme Süresi	74
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	77
KAYNAKLAR	79

ÖZGEÇMİŞ	83
----------------	----



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Araştırmada tohumların yerleştirildiği petri kabı	13
Şekil 3.2. Denemede kullanılan iklim dolabı	14
Şekil 3.3. Denemenin 14. gününde elde edilen deney sonuçlarından bir kesit.....	14
Şekil 3.4. Denemede kullanılan hassas terazi	16



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 4.1. Çok yıllık çimde farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen kök uzunluğu değerlerine ait varyans analizi sonuçları.....	18
Çizelge 4.2. Çok yıllık çimde farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen kök uzunluğu değerleri (mm).....	19
Çizelge 4.3. Çok yıllık çimde farklı metal türü x metal dozu interaksyonu sonucu belirlenen kök uzunluğu değerleri (mm).....	20
Çizelge 4.4. Çok yıllık çimde farklı ağır metal dozları ve ön muamele uygulamalarında belirlenen kök uzunluğu değerleri (mm).....	21
Çizelge 4.5. Çok yıllık çimde farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen fide uzunluğu değerlerine ait varyans analizi sonuçları.....	22
Çizelge 4.6. Çok yıllık çimde farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen fide uzunluğu değerlerine ait varyans analizi sonuçları.....	23
Çizelge 4.7. Çok yıllık çimde farklı metal türü x ön muamele interaksyonu sonucu belirlenen fide uzunluğu değerleri (mm).....	24
Çizelge 4.8. Çok yıllık çimde farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen fide ağırlığı değerlerine ait varyans analizi sonuçları.....	25
Çizelge 4.9. Çok yıllık çimde farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen fide ağırlığı değerleri (mg).....	26
Çizelge. 10. Çok yıllık çimde farklı metal türü x metal dozu interaksyonu sonucu belirlenen fide ağırlığı değerleri (mg).....	27
Çizelge 4.11. Çok yıllık çimde farklı metal dozu x ön muamele interaksyonu sonucu belirlenen fide ağırlığı değerleri (mg).....	28
Çizelge 4.12. Çok yıllık çimde farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen çimlenme oranı değerlerine ait varyans analizi sonuçları.....	29
Çizelge 4.13. Çok yıllık çimde farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen çimlenme oranı değerleri (%).....	30
Çizelge 4.14. Çok yıllık çimde farklı metal türü x metal dozu interaksyonu sonucu belirlenen çimlenme oranı değerleri (%).....	31
Çizelge 4.15. Çok yıllık çimde farklı metal dozu x ön muamele interaksyonu sonucu belirlenen çimlenme oranı değerleri (%).....	31
Çizelge 4.16. Çok yıllık çimde farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen çimlenme indeksi değerlerine ait varyans analizi sonuçları.....	32
Çizelge 4.17. Çok yıllık çimde farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen çimlenme indeksi değerleri.....	34
Çizelge 4.18. Çok yıllık çimde farklı metal dozu x ön muamele interaksyonu sonucu belirlenen çimlenme indeksi değerleri.....	34
Çizelge 4.19. Çok yıllık çimde farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen ortalama çimlenme süresi değerlerine ait	

varyans analizi sonuçları.....	35
Çizelge 4.20. Çok yıllık çimde Farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen ortalama çimlenme süresi değerleri (gün).....	36
Çizelge 4.21. Çok yıllık çimde farklı metal türü x metal dozu interaksyonu sonucu belirlenen ortalama çimlenme süresi değerleri (gün).....	37
Çizelge 4.22. Kırmızı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen kök uzunluğu değerlerine ait varyans analizi sonuçları.....	38
Çizelge 4.23. Kırmızı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen kök uzunluğu değerleri (mm).....	39
Çizelge 4.24. Kırmızı yumakta farklı metal türü x metal dozu interaksyonu sonucu belirlenen kök uzunluğu değerleri (mm).....	40
Çizelge 4.25. Kırmızı yumakta farklı ağır metal dozları ve ön muamele uygulamalarında belirlenen kök uzunluğu değerleri (mm).....	40
Çizelge 4.26. Kırmızı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen fide uzunluğu değerlerine ait varyans analizi sonuçları.....	42
Çizelge 4.27. Kırmızı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen fide uzunluğu değerleri (mm).....	43
Çizelge 4.28. Kırmızı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen fide ağırlığı değerlerine ait varyans analizi sonuçları.....	44
Çizelge 4.29. Kırmızı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen fide ağırlığı değerleri (mg).....	45
Çizelge 4.30. Kırmızı yumakta farklı metal türü x metal dozu interaksyonu sonucu belirlenen fide ağırlığı değerleri (mg).....	46
Çizelge 4.31. Kırmızı yumakta farklı ağır metal dozları ve ön muamele uygulamalarında belirlenen kök uzunluğu değerleri (mm).....	46
Çizelge 4.32. Kırmızı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen çimlenme oranı değerlerine ait varyans analizi sonuçları.....	48
Çizelge 4.33. Kırmızı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen çimlenme oranı değerleri (%).....	50
Çizelge 4.34. Kırmızı yumakta farklı metal türü x metal dozu interaksyonu sonucu belirlenen çimlenme oranı değerleri (%).....	51
Çizelge 4.35. Kırmızı yumakta farklı metal dozu x ön muamele interaksyonu sonucu belirlenen çimlenme oranı değerleri (%)	51
Çizelge 4.36. Kırmızı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen çimlenme indeksi değerlerine ait varyans analizi sonuçları.....	52
Çizelge 4.37. Kırmızı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen çimlenme indeksi değerleri.....	53
Çizelge 4.38. Kırmızı yumakta farklı metal türü x metal dozu interaksyonu sonucu belirlenen çimlenme indeksi değerleri (%).....	54
Çizelge 4.39. Kırmızı yumakta farklı metal dozu x ön muamele interaksyonu sonucu belirlenen çimlenme indeksi değerleri.....	54
Çizelge 4.40. Kırmızı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele	

	uygulamalarında belirlenen ortalama çimlenme süresi değerlerine ait varyans analizi sonuçları.....	55
Çizelge 4.41.	Kırmızı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen ortalama çimlenme süresi değerleri (gün).	57
Çizelge 4.42.	Kamışsı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen kök uzunluğu değerlerine ait varyans analizi sonuçları	58
Çizelge 4.43.	Kamışsı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen kök uzunluğu değerleri (mm).....	59
Çizelge 4.44.	Kamışsı yumakta farklı ağır metal dozları ve ön muamele uygulamalarında belirlenen kök uzunluğu değerleri (mm).....	60
Çizelge 4.45.	Kamışsı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen fide uzunluğu değerlerine ait varyans analizi sonuçları	61
Çizelge 4.46.	Kamışsı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen fide uzunluğu değerleri (mm).....	62
Çizelge 4.47.	Kamışsı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen fide ağırlığı değerlerine ait varyans analizi sonuçları	64
Çizelge 4.48.	Kamışsı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen fide ağırlığı değerleri (mg).....	65
Çizelge 4.49.	Kamışsı yumakta farklı metal türü x metal dozu interaksiyonu sonucu belirlenen fide ağırlığı değerleri (mg).....	65
Çizelge 4.50.	Kamışsı yumakta farklı ağır metal dozları ve ön muamele uygulamalarında belirlenen fide ağırlığı değerleri (mg).....	66
Çizelge 4.51.	Kamışsı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen çimlenme oranı değerlerine ait varyans analizi sonuçları	67
Çizelge 4.52.	Kamışsı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen çimlenme oranı değerleri (%).....	69
Çizelge 4.53.	Kamışsı yumakta farklı metal türü x metal dozu interaksiyonu sonucu belirlenen çimlenme oranı değerleri (%).....	69
Çizelge 4.54.	Kamışsı yumakta farklı metal dozu x ön muamele interaksiyonu sonucu belirlenen çimlenme oranı değerleri (%).....	70
Çizelge 4.55.	Kamışsı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen çimlenme indeksi değerlerine ait varyans analizi sonuçları	71
Çizelge 4.56.	Kamışsı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen çimlenme indeksi değerleri.....	72
Çizelge 4.57.	Kamışsı yumakta farklı metal türü x metal dozu interaksiyonu sonucu belirlenen çimlenme indeksi değerleri (%).....	73
Çizelge 4.58.	Kamışsı yumakta farklı metal dozu x ön muamele interaksiyonu sonucu belirlenen çimlenme indeksi değerleri.....	73
Çizelge 4.59.	Kamışsı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen ortalama çimlenme süresi değerlerine ait varyans analizi sonuçları	74
Çizelge 4.60.	Kamışsı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen ortalama çimlenme süresi değerleri (gün).	75

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

GA ₃	: Giberillik asit
KNO ₃	: Potasyum nitrat
H ₂ O	: Su
mm	: Milimetre
m	: Metre
mg	: Miligram
m ²	: Metre Kare
%	: Yüzde
°C	: Santigrat Derece

1. GİRİŞ

Çevre kirliliği, topraktaki su ve tuzluluk miktarları yanında toprağın mineral içeriği de bitki gelişiminde son derece önemlidirler. Topraktaki suyu içinde olması gereken bazı anyon ve katyonlar bitkinin gerek çimlenme gerekse de fide gelişme safhalarında ideal büyümeye katkıda bulunurlar (Kalaycıoğlu, 2005). Tohum çimlenmesinin sağlıklı şekilde gerçekleşmesi istenilen bitki sıklığının sağlanması ve başarılı bir üretim için kritik rol oynar (Almansouri ve ark., 2001; Atış, 2011). İstenilen oranda çimlenme ve fide çıkışının sağlanması, tohum yatağındaki çevre koşulları ve tohum kalitesindeki interaksiyona bağlıdır (Almansouri ve ark., 2001). Tohum yatağında var olan birçok biyotik ve abiyotik stres faktörü ekimi yapılan ürünün yeterli çıkış oranına sahip olamamasına ve buna bağlı olarak da yeterli sıklık ve sağlıkta fide oluşmamasına neden olabilmektedir.

Toprak, su ve havada değişik oranlarda bulunabilen ve belirli konsantrasyonun üzerinde kirliliğe yol açan ağır metaller bitki üzerinde strese neden olan önemli abiyotik stres etmenlerinin başında gelmektedir. Stres ise bitkilerin fizyolojisini etkiler, onları genetik potansiyellerini değiştirir, verimliliklerini kısıtlar ve ölümlerine yol açarak büyük oranlarda ürün kayıpları meydana getirir (Kırbağ-Zengin ve Munzuroğlu, 2003). Ağır metallerin bitkiler üzerinde etkilerini araştırmak üzere yürütülen araştırmaların çoğu, bitkilerin ağır metallere toleransını ve bitkiler tarafından alınabilen (topraktan uzaklaştırılan) miktarlarını belirlemek amacıyla yetişkin veya halihazırda çimlenmiş fideler üzerinde yapılmıştır (Peralta ve ark., 2001). Ancak, çimlenmeyi başaramayan bitkilerin fide ve olgun bitki haline gelemeyeceği bir gerçektir. Bu nedenle bitki türlerinin çimlenme ortamında var olan ağır metallerin çimlenme ve fide oluşturma yeteneği üzerine etkisinin bilinmesi bu noktada oldukça önemlidir.

Ağır metaller içerisinde 20 kadar element ekolojik açıdan dikkati çekmekte (Fe, Mn, Zn, Cu, V, Mo, Co, Ni, Cr, Pb, Be, Cd, Tl, Sb, Se, Sn, Ag, As, Hg, Al) ve bunların bir kısmı, bitki ve hayvanlar için mikrobese (Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, Ni) maddesi olabilmekte ve belirli sınırı aşmadığı sürece toksik olmamaktadırlar (Okcu ve ark., 2009). Bunlardan Kadmiyum (Cd), günümüzde çeşitli kullanım alanlarıyla ve çevre kirliliğindeki önemli rolü ile gündeme gelmiş oldukça toksik bir metaldir. Kadmiyumun son zamanlarda bir kirletici olarak bu denli gündemde olmasının temel nedeni çok

düşük dozlarda bile toksik olması ve biyolojik yarı ömrünün uzun olmasıdır (Goyer, 1991; Lyons-Alcantara ve ark., 1996; Okcu ve ark., 2009). Birçok araştırmacı kadmiyumun bitkiler üzerindeki toksisitesine dikkat çekmiştir (Breckle ve Kahile, 1992; Iqbal ve Mehmood, 1991; Kabata-Pendias ve Dudka, 1990). Kadmiyumun bitkilerin çimlenmesi ve fide gelişimi üzerine etkilerini belirlemek üzere farklı bitki türleri ile yapılan araştırma sonuçları bitkilerin artan kadmiyum dozlarından olumsuz etkilendiği ancak türlerin kadmiyuma tolerans eşiklerinin farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır (Peralta ve ark., 2001; Muhammad ve ark., 2008; Kabir ve ark., 2008; Houshmandfar ve Moragebi, 2011; Smiri, 2011).

Ağır metaller içerisinde nikelin (Ni) düşük dozlarda bitki için gerekli iken, artan endüstriyel faaliyetler, mineral ve organik gübreler, kimyasal ilaçlar ile yerleşim yeri ve endüstri atıkları nedeniyle ekolojik çevrede miktarının arttığı (Zornoza ve ark., 1999), bunun sonucunda aşırı konsantrasyonlarının bitkilerde olumsuz etkilerinin olduğu bilinmektedir (Erdoğan, 2005). Nikelin yüksek dozları, bitkilerde çimlenme aşamasından başlayarak bitkinin büyüme ve gelişmesinde toksik etki yapar (Marschner, 1995). Nitekim Peralta ve ark. (2001), Akıncı ve Akıncı (2011) ve Aydınalp ve Marinova (2009) farklı bitki türlerinde nikelin çimlenme ve erken fide dönemindeki etkilerini gözlemlemişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre dozlarda nikel çimlenme ve erken fide gelişimini olumlu yönde etkilerken, yüksek dozlarda olumsuz etkiler söz konusudur. Nitekim Akıncı ve Akıncı (2011), ıspanakta 25 mg/l dozunda çimlenme oranının kontrole göre daha yüksek olduğunu, dozun 800 mg/l' çıkmasıyla ise çimlenme oranının %50'ye düştüğünü bildirmişlerdir. Peralta ve ark. (2001), yoncada yürüttükleri çalışmada 40 mg/l dozunda nikel uygulamasının çimlenme oranını kontrole göre %25 azalttığını belirlemişlerdir.

Dolayısıyla bitki türlerin farklı stres koşullarına gösterdikleri tepkiler birbirinden farklıdır ve bu tepkilerin ayrı ayrı ortaya konulması gerekmektedir. Bu tepkilerin bilinmesi belirli bir alanda bitkinin başarılı bir şekilde yetişip yetişmeyeceğini ortaya koymaktadır ve bu stres koşullarının varlığında gerekli tedbirlerin alınması gerekir. Stres koşullarının varlığında çimlenmenin sağlanabilmesinde uyarıcı uygulamaları başarılı sonuçlar verebilmektedir. Uyarıcı, bir örnek çimlenme, çıkış ve çimlenmenin teşvikinde ticari olarak da kabul görmüş tohum uygulamalarının genel adıdır. Uyarıcı uygulamalarında KNO₃, PEG (Mavi ve ark. 2010), CuSO₄ (Patade ve ark. 2011) ve GA₃

(Mavi ve ark. 2006) gibi ajanlar kullanılmaktadır. Günümüzde uyarıcı tekniklerindeki gelişmeler sayesinde tohum ekimi ve fide çıkışı arasındaki dönemde karşılaşılan problemler ortadan kaldırılabilmekte, ekim ile çıkış arasındaki zaman kısaltılabilmekte, uniform fide çıkışı sağlanabilmekte, düşük ve yüksek sıcaklık, termodormansi (Sung ve ark. 1998), tuzluluk gibi çeşitli abiyotik stres koşullarının çimlenme üzerine olumsuz etkileri azaltılabilmekte ve depolama sırasındaki yaşlanmanın seyri yavaşlatılarak depolama süresi uzatılabilmektedir (Khan 1992).

Yeşil alan bitkileri çevre koruma ve kirliliğin azaltılması bakımından büyük öneme sahiptir. Bu grupta yer alan bitkiler güçlü yenilenme yeteneği, hızlı büyüme ve gelişme ve yıl içerisinde çok kez biçilme gibi özelliklere sahiptirler. Özellikle yıl içerisinde çok kez yapılan biçilmelerle ortamda bulunan ağır metallerin uzaklaşması sağlanabilmektedir (Duo ve ark., 2005). Yeşil alan tesisinde en fazla kullanılan bitkiler çok yıllık serin mevsim buğdaygilleri içerisinde yer almaktadır. Çok yıllık çim (*Lolium perenne* L.), kırmızı yumak (*Festuca rubra* L.) ve kamışsı yumak (*Festuca arundinaceae* Schreb.) bu amaçla en fazla tercih edilen bitki türleridir (Açıkgöz, 1994; Avcıoğlu, 1997). Bu türlerin özellikle insan faaliyetinin yoğun olduğu yerleşim yerleri ve sanayi bölgelerinde yeşil alan tesisinde kullanılması, bu bitkilerin ortamda bulunabilecek stres faktörlerine tepkisinin bilinmesini gerektirmektedir.

Bu çalışmada yeşil alan tesisinde sıklıkla tercih edilen üç buğdaygil çim bitkisi türünün üç abiyotik stres faktörünün (nikel ve kadmiyum) farklı dozlarındaki çimlenme özelliklerinin belirlenmesi ve bu stres koşulları altında çimlenmenin teşvik edilmesi amacıyla uyarıcı materyali olarak KNO₃ ve GA₃'ün etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Taylor ve Allinson, (1981), yonca (*Medicago sativa* L.)'nın gelişimi üzerine kadmiyum, nikel ve kurşunun etkilerini belirlemek amacıyla yürüttükleri çalışmada metalleri 0-250 ppm arasında değişen dozlarda uygulamışlardır. Araştırmacılar her bir metalin sülfat ve nitrat tuzlarını stres faktörü olarak kullanmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre kurşun tuzları yonca veriminde önemli bir azalmaya sebep olmazken, nikel ve kadmiyumun her iki tuzu da yonca verimini önemli derecede azaltmıştır. Bununla birlikte, 125 ppm ve daha düşük nikel ve kadmiyum uygulamalarında çok ciddi verim düşüşleri olmaksızın bitkideki konsantrasyonları önemli derecede artmıştır ve genellikle metal uygulamasını takip eden ilk biçimde metal konsantrasyonları en yüksek seviyededir. Ayrıca araştırmacılar kurşun ve kadmiyum alımının ve konsantrasyonunun nitrat tuzu olarak uygulandıklarında sülfat tuzu olarak uygulanmalarından daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Peralta-Videa ve ark. (2002), yoncayı pH 4.5, 5.8, ve 7.1 seviyelerinde Cd (II), Cu (II), Ni (II) ve Zn (II) (50 mg / kg başına) karışımlarını içeren solüsyonla bulaşık topraklarda yetiştirdikleri çalışmada, kontrol bitkilerinin gelişimin üç pH düzeyinde de aynı olduğunu ve ağır metal stresine maruz bırakılan bitkilerin de her bir pH düzeyinde benzer tepkiler gösterdiğini bildirmişlerdir. Ağır metal karışımlarına maruz bırakılan bitkilerin bitki boyu ile kontrol uygulamasında yetiştirilen bitkilerin sap uzunlukları arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar belirlenmiştir. Ağır metal karışımlarının etkisi altında yetiştirilen bitkilede en fazla biriken element nikel olmuş ve sırasıyla pH 7.1'de 437 ppm, pH 5.8'de 333 ppm, pH 4.5'te 308 ppm biriktiği belirlenmiştir. Kadmiyum sırasıyla pH 7.1'de 202 ppm, pH 5.8'de 124 ppm ve 4.5'te 132 ppm birikerek ikinci sırada yer almıştır. Çinko üçüncü sırada yer alırken, bakır onu takip etmiştir.

Peralta-Videa ve ark. (2004), farklı büyüme safhalarındaki yonca fidelerine 100 mg/l Cr (IV), veya 500 mg/l dozunda Cd (II), Cu (II), Ni (II) veya Zn (II) uyguladıkları çalışmada, çimlenmeden sonraki dördüncü günde uygulanan Zn (II) dışındaki ağır metallerin ölümcül etkiye sahip olduğunu bildirmişlerdir. Çimlenmeden sonraki 16. günde ağır metal uygulandığında ise Cr (IV) ve Ni (II)'in öldürücü etkisinin aynı şekilde devam ettiği ve Cd (II) ve Cu (II)'in ise bitki popülasyonunun %50'den fazlasını

yok ettiği belirlenmiştir. imlenmeden 20 gün sonra Cd (II), Cu (II) ve Zn (II)'ya maruz kalan bitkilerin yaklaşık olarak %90'ında olumsuz bir etki meydana gelmezken, Cr (VI) ve Ni (II)'in öldürücü etkisinin devam ettiği bildirilmiştir. Kuru sap dokularında ağır metal konsantrasyonları Cd için 1209 mg/kg, Cu için 887 mg/kg ve Zn için 645mg/kg olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar yonca bitkilerinin Cd, Cu ve Zn'ya toleranslarıyla bitki yaşı arasında pozitif bir korelasyonun olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca araştırıcılar bu sonuçların yoncanın çimlenmesini engellemeyecek düzeyde Cd, Cu veya Zn içeren yerlerde, toprakları temizlemek için yoncanın kullanılabilmesinin nn açtığını vurgulamışlardır.

Erdoğan (2005), fasulye (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Strike) fidelerinde nikel toksitesinin (0.5, 5, 10, 20 ve 40 mg l⁻¹) ve bu toksisiteyi azaltılmak amacıyla humik asit (0.5, 10, 20 ve 40 mg l⁻¹) uygulamalarının etkisini araştırdığı çalışmada, düşük nikel dozlarının fasulye fidelerinin fide özellikleri ile Toksisite İndeksi zelliklerine olumlu etki yaptığını, nikel dozlarının artmasıyla tüm fide özelliklerini olumsuz etkilendiğini tespit etmiştir. Araştırıcı ayrıca, humik asit uygulamasının nikel toksitesinin azaltılmasında etkili olduğunu, humik asitin 10 ve 20 mg l⁻¹ dozlarının, yüksek dozda nikelden (20 mg l⁻¹) kaynaklanan toksisiteyi azaltmada etkili olduğunu, ancak nikelin çok yüksek dozlarındaki (40 mg l⁻¹) toksisiteyi gidermede yetersiz olduğunu belirtmiştir.

Kalaycıoğlu (2005) tarafından endüstriyel alanlar ile kirlilik etkisinde kalan kentsel alanlarda yetişen *Urtica dioica* L.'nin bazı ağır metaller ve toksik elementler karşısındaki tepkileri laboratuvar koşulları altında araştırılmıştır. Araştırmada, Cd²⁺ ve Al³⁺ yanında toprakta yüksek miktarlarda bulunduğunda toksik özelliği olan Fe²⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ ve Mn²⁺ elementlerinin etkileri incelenmiş, 100 ve 200 M konsantrasyonlarında Hoagland besin çözeltisi ile birlikte verilen CdCl₂ ve AlCl₃ n bitki büyüme ve gelişiminde olumsuz bir etki yapmadığı görülmüştür. Yaprak ekstrelerinin atomik absorpsiyon spektrofotometresiyle (AAS) yapılan ölçümlerine göre, kadmiyum ve alüminyum elementlerinin etkilerinin boy uzunluğu ve yaprak sayısı üzerine olumsuz bir etki yapmamasının nedeninin bu elementlerin az miktarda gerçekleşen alımı ile birlikte Ca elementinin bunlar üzerine antagonistik etkisi yüzünden olduğu vurgulanmıştır.

Bonfranceschi, ve ark (2008) araştırmalarında sorgum ve yoncanın hidrofonik ortamda ağır metal biriktirme kapasitelerini inceledikleri araştırmada kadmiyum, nikel ve kromu besin solüsyonuna 1 ila 80 mg/l arasında konsantrasyonlarda ayrı ayrı ilave etmişlerdir. Araştırma sonuçları yonca ve sorgumun yalnızca yüksek ağır metal konsantrasyonunda büyümekle kalmadığını aynı zamanda toprak üstü aksamlarına taşıdıklarını göstermiştir. Bu sonuçlara göre, araştırıcılar bu bitkilerin bu ağır metallere bulaşık geniş alanların ıslahında kullanım için uygun olduklarını fakat özellikle bulaşık alanlarda yetiştiğinde toprak üstü aksamlarında biriken metaller nedeniyle besin zinciri içerisine sokulmaması gerektiğinin altını çizmişlerdir.

Kabir ve ark., (2008), *Thespesia populnea* L.'nin tohum çimlenmesi ve fide özellikleri üzerine kurşun ve kadmiyumun etkilerini araştırdıkları çalışmada, tohum çimlenmesi, fide büyümesi ve bitki kuru ağırlığı üzerine farklı kurşun dozlarının (10, 30, 50 ve 70 µmol/L) kontrole göre önemli farklılık meydana getirdiğini, 10 µmol/L'luk kurşun uygulamasının kontrole göre tohum çimlenmesi, fide büyümesi ve kuru ağırlık gibi değerlerde önemli ölçüde azalmaya neden olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca 10 µmol/L kadmiyum uygulamasının da tohum çimlenmesi, fide ve kök gelişimi üzerinde kontrole göre önemli toksik etkilere neden olduğunu bildirmişlerdir. Kadmiyum dozunun 50 µmol/L'e çıkması fide kuru ağırlığında önemli bir düşüşe neden olmuştur. Artan kadmiyum ve kurşun dozlarına bağılı olarak fide vigor indeksinde de azalma olduğunu belirlemişlerdir. Araştırıcılar ayrıca, yüksek dozlarda kadmiyumun engelleyici etkisinin kurşundan daha belirgin olduğunu bildirmişlerdir.

Muhammad ve ark. (2008), *Leucaena leucocephala*'nın çimlenmesi ve fide gelişimi üzerine kurşun ve kadmiyumun farklı konsantrasyonlarının etkisini belirlemek amacıyla yürüttükleri çalışmada, bitkileri laboratuvar koşullarında kurşun ve kadmiyumun 0, 25, 50 ve 100 ppm dozlarına maruz bırakarak yetiştirmişlerdir. Araştırmada kurşun ve kadmiyum uygulamaları *L. leucocephala* 'nın çeşitli büyüme özellikleri üzerinde toksik etkiler göstermiştir. Kurşun konsantrasyonunun 75 ppm'e çıkarılması tohum çimlenmesini kontrol uygulamasına göre önemli ölçüde ($p<0.05$) azalmıştır. Kurşunun 50 ppm dozu fide ve kök büyümesini önemli ölçüde ($p<0.05$) azaltmıştır. Tohum çimlenmesi ve kök uzunluğu 50 ppm'de kadmiyum uygulamasında kontrole göre önemli ölçüde azalmıştır. Fide kuru ağırlığı 25 ppm'lik kadmiyum ve kurşun uygulamaları ile önemli ölçüde azalmıştır. 100 ppm'lik kadmiyum uygulaması

kurşun ile karşılaştırıldığında *L. leucocephala* fidelerinde daha belirgin etkiler göstermiştir. Araştırmacılar çalışma sonucunda kadmiyum ve kurşun ile bulaşık alanlarda daha iyi metal tolerans özellikleri nedeniyle, *L. leucocephala* yetiştirilmesinin mümkün olduğunu bildirmişlerdir.

Aydınalp ve Marinova (2009) yaptıkları çalışmada Cd^{+2} , Cr^{+6} , Cu^{+2} , Ni^{+2} , and Zn^{+2} nin yonca (*Medicago sativa*) bitkisi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada ağır metallerin 0, 5, 10, 20, and 40 ppm dozlarını kullanmışlardır. Tohum çimlenmesi ve bitki büyümesi üzerine kadmiyum ve krom 10 ppm dozundan itibaren önemli olumsuz etkiler meydana getirirken, bakır ve nikelin 20 ppm ve daha yüksek konsantrasyonlarda olumsuz etkisinin görülmeye başladığını bildirmişlerdir.

Hasan ve ark., (2009), kadmiyumun bitkiler üzerindeki etkilerini derledikleri çalışmada kadmiyumun bitki gelişimi için gerekli bir element olmadığını, yüksek dozlarda bitki gelişimini engellediğini, hatta düşük dozlarda bile bitki metabolizmasında değişikliklere neden olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar kadmiyumun stomaların açılmasını engellediği ve buna bağlı olarak da transpirasyonun engellendiğini, bunun sonucu olarak da fotosentezin de olumsuz etkilendiğini bildirmişlerdir.

Okcu ve ark., (2009), ağır metallerin bitkilerin vejetatif organlarını makroskobik, mikroskobik ve fizyolojik olarak etkilediği belirtmişlerdir. Bu olumsuz durumdan sadece bitkilerin vejetatif organları değil aynı zamanda generatif organları ve doğada aktif yaşamlarını sürdüren bütün canlılar etkilediğini, yüksek konsantrasyondaki ağır metallerin hem tolere edilebilir hem de biriktirilebilir üst sınırlarının bitki türlerine göre farklılık gösterdiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar ayrıca metallerle kirlenmiş topraklarda bitkilerin büyümek için üç farklı strateji geliştirdiklerini ve buna göre bitkilerin metal dışlayıcılar, metal indikatörleri ve toplayıcılar olarak sınıflandırıldığını bildirmişlerdir.

Singh ve ark. (2009), in-vitro koşullarda yoncanın kadmiyum (Cd) alım potansiyelini araştırdıkları çalışmada, bitkileri önce M&S ortamı içeren sıvı ortamda yetiştirmişler ve daha sonra fideleri 0, 5, 10, 20 ve 50 $\mu g\ ml^{-1}$ konsantrasyonunda kadmiyum içeren Steinberg çözeltisine aktarmışlar ve denemeyi 21 gün sürdürmüşlerdir. Araştırmacılar yonca bitkilerinin 20 ve 50 $\mu g\ ml^{-1}$ gibi yüksek kadmiyum dozlarında bitki gelişiminin etkilendiğini ancak düşük dozlarda bitki gelişimi etkilenmeden kadmiyumun bitki tarafından alındığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar

ayrıca 50 $\mu\text{g ml}^{-1}$ dozda kadmiyuma maruz bırakılan bitkiler tarafından alınan kadmiyum miktarına baktıklarında alınan 12360 $\mu\text{g gm}^{-1}$ kadmiyumun çoğunun köklerde yer aldığını, sadece 1920 $\mu\text{g gm}^{-1}$ kadmiyumun saplara taşındığını ve yonca bitkilerinin 21 günlük sürede ortamdaki kadmiyumun %80- 85'ini alma potansiyeline sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Cokkizgin ve Cokkizgin (2010) yaptıkları çalışmada, farklı mercimek hatlarının çimlenmesine kurşun stresinin etkilerini araştırmışlardır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, kullanılan tüm hatlarda artan kurşun konsantrasyonuna bağlı olarak, ortalama çimlenme zamanı hariç tüm parametrelerde belirgin bir düşüş olduğunu bulmuşlardır. Öte yandan, kurşun konsantrasyonlarının çimlenmeye etkisi, tüm parametrelerde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Buldukları sonuçlar ile ayrıca hatlar arasında önemli farklılıkların bulunduğunu ortaya koymuşlardır.

De Lespinay ve ark. (2010), ak üçgül (*Trifolium repens*) ve çayır salkımotu (*Poa pratensis*)'nin çimlenme döneminde protein sentezinin önemini ve tohum çimlenmesi üzerindeki osmopriming'in etkisini belirlemek amacıyla yürüttükleri çalışmada Cycloheximide (Cx, 20 ve 100 μM)'in her iki türde de çimlenmenin gecikmesine ve çimlenme oranının önemli derecede azalmasına neden olduğunu ve bunun çayır salkımotunda ak üçgülden daha belirgin olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar ayrıca osmopriming ön uygulamasının 100 μM kadmiyuma maruz bırakılan tohumların çimlenmesini iyileştirdiğini, ancak bu ön uygulamanın pozitif etkisinin priming ortamına ACT-D veya Cx ilave edildiğinde baskı altına alındığını (ak üçgül) veya önemli ölçüde azaltıldığını (çayır salkımotu) belirlemişlerdir. Araştırmada ayrıca kadmiyumun çimlenen tohumlarda α - ve β - amilaz aktivitesini azalttığı, ancak priming uygulanan tohumların aktivitesinin uygulanmayanlardan daha yüksek olduğu da belirlenmiştir.

Houshmandfar ve Moraghebi,(2010), *Trifolium resupinatum*'un (İran üçgülü) farklı gelişme dönemlerinde ağır metal toleransını araştırmak için yürüttükleri sakı çalışmasında, çimlenmeden sonraki 7., 14. ve 21. günlerde 500 mg/l kadmiyum, bakır, nikel ve çinko uygulamışlardır. Araştırma sonuçları, çimlenmeden sonraki 7. günde uygulanan çinko dışındaki tüm ağır metallerin üçgül fideleri üzerinde öldürücü etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Çimlenmeden sonraki 14. gün ağır metale maruz kalan fideler üzerinde nikelin öldürücü etkisi devam ederken, kadmiyum ve bakır uygulanan

fidelerin ise yarıdan fazlasının öldüğü belirlenmiştir. Çimlenmeden sonraki 21. günde kadmiyum, bakır ve çinkoya maruz bırakılan üçgül fidelerinin yaklaşık %90'ı negatif bir etki göstermeksizin gelişmeyi sürdürebilirken, nikel fideler üzerindeki ölümcül etkisini sürdürdüğü belirlenmiştir. Çalışmada bitki örneklerinde yapılan analizlerde, bitki kuru dokularında kadmiyum konsantrasyonu 940 mg/kg, bakır konsantrasyonu 781 mg/kg ve çinko konsantrasyonu ise 670 mg/kg olarak tespit edilmiştir.

Smiri (2010), bezelye tohumlarına 5 gün boyunca 5 mM CdCl₂ ile muamele ettiği tohumların kotilodonlarında ve embriyonik eksenlerindeki redoks ve oksidatif özellikleri değerlendirmiştir. Araştırmada beş gün sonunda kadmiyum muamelesinin embriyo uzunluğunda %50 engellemeye ve çimlenmenin de %60 azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir.

Akıncı ve Akıncı (2011) nikelin ıspanakta (*Spinacia oleracea*) çimlenme ve erken fide döneminde bazı büyüme parametreleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Araştırmacılar, nikelin çimlenme aşamasında 0 (kontrol), 25, 50, 100, 200, 400 ve 800 mg L⁻¹ ve erken fide aşamasında 0 (kontrol), 2.5, 5, 10, 20, 40 ve 80 mg L⁻¹ konsantrasyonlarını kullanılmışlardır. Araştırmacılar, çalışma sonucunda, nikelin çimlenme, radikula-hipokotil gelişimi, radikula-hipokotil büyüme tolerans indeksi ve su içeriği için çimlenme aşamasında 25 mg L⁻¹ ve erken fide aşamasında 2.5 mg L⁻¹ dozunda uyarıcı, daha yüksek dozlarda engelleyici etkisinin olduğunu belirlemişlerdir.

Akıncı ve Öngel (2011), fasulye (*Phaseolus vulgaris*) fidelerinde nikel toksisitesini (kontrol, 5, 10, 20 ve 40 mg L⁻¹) ve toksisiteyi azaltmak için humik asit (kontrol, 10, 20 ve 40 mg L⁻¹) uygulamasının etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, fasulye fidelerinde kök boyu, bitki boyu, kök yaş ağırlığı, kök kuru ağırlığı, gövde çapı, sürgün yaş ağırlığı, sürgün kuru ağırlığı, yaprak yaş ağırlığı, yaprak kuru ağırlığı, kök/sürgün yaş ağırlığı ve kök/sürgün kuru ağırlık indeksi ile toksisite indeksinin nikel dozlarının artmasıyla (10 mg L⁻¹ ve üstü) olumsuz etkilendiğini saptamışlardır. Bunun yanı sıra, humik asit uygulamasının, nikel toksisitesinin azaltılmasında etkili olduğunu ve humik asitin 10 ve 20 mg L⁻¹ dozlarının ise nikelden kaynaklanan toksisiteyi azaltmada etkili olduğunu bulmuşlardır.

Houshmandfar ve Moraghebi, (2011), kontrollü ışık ve sıcaklık koşullarında aspir bitkisinin çimlenmesi ve fide gelişimi üzerinde kadmiyum, bakır, nikel ve çinko karışımlarının etkilerini değerlendirmek için yaptıkları çalışmada, 0 (kontrol) , 60, 120

ve 180 mg kg⁻¹ konsantrasyonlarında eşit miktarlarda kadmiyum ($\frac{1}{4}$), bakır ($\frac{1}{4}$), nikel ($\frac{1}{4}$) ve çinko ($\frac{1}{4}$) karıştırarak uygulamışlardır. Ağır metal karışımı aspirin fide büyümesi ve tohum çimlenmesi üzerinde toksik etkiler göstermiştir. 180 mg kg⁻¹'a kadar artan ağır metal karışımları aspirin tohum çimlenmesinde kontrole göre önemli azalmaya neden olmuştur. 60 mg kg⁻¹ 'ağır metal uygulaması sap yaş ve kuru ağırlığında azalmaya neden olmuştur. Kök yaş ve kuru ağırlıkları ağır metal uygulamalarından farklı şekillerde etkilenmiştir. Bununla birlikte 180 mg kg⁻¹ ağır metal konsantrasyonu en düşük kök yaş ve kuru ağırlıklarının elde edilmesine neden olmuştur. Sap ve kök uzunluğunda kontrole göre önemli negatif tepki 120 mg kg⁻¹ dozunda gözlemlenmiştir.

Mami ve ark. (2011) iki domates çeşidinin (Barakat ve yerel domates çeşidi) demir, kurşun ve bakır (% 0, 0.001, 0.01, 0.1 ve 1) uygulamalarına tepkisini belirlemek amacıyla yürüttükleri çalışmada, çeşitlerin tepkisinin ağır metalin türüne ve dozuna göre farklılık gösterdiğini, Barakat çeşidinin ağır metallere daha toleranslı olduğunu, ağır metalin türü ve dozuna bağlı olarak domates çeşitlerinin çimlenme ve gelişme özelliklerinin etkilendiğini bildirmişlerdir.

Shao ve ark. (2011), arsenik (As), kadmiyum (Cd) ve kurşunun (Pb), buğdayın çimlenme dönemindeki toksik etkilerini belirlemek için yürüttükleri çalışmada, arseniğin düşük dozlarda (1 mg L⁻¹) buğday fidelerinin sürgün ve köklerin uzunlukları ve kuru biokütlesi üzerinde artışa neden olduğunu, ancak daha yüksek dozlarda (5-25 mg L⁻¹) düzenli bir azalmaya neden olduğunu bildirmişlerdir. Benzer etki kurşun içinde belirlenmiştir. Kadmiyum (Cd) ise düşük dozlardan itibaren kök ve sürgün kuru ağırlıklarında sürekli bir azalmaya neden olmuştur. Kök solunum oranı arseniğin 1mg L⁻¹'den daha düşük konsantrasyonlarda, ancak daha yüksek dozlarda azalma eğilimi göstermiştir. Kök ve sürgün solunum oranlarında kurşun (Pb) ve kadmiyumun (Cd) düşük konsantrasyonlarında artış gözlenmiştir, ancak yükselen dozlarda sürekli bir azalma belirlenmiştir.

Galhaut ve ark. (2014) kadmiyum ve çinko ile bulaşık topraklarda yetiştirilen ak üçgül tohumlarına GA₃ ve PEG'i uyarıcı olarak uyguladıkları çalışmada, her iki uyarıcının da çimlenme hızı ve toplam çimlenme oranını arttırdığını bildirmişlerdir.

Qaisar ve ark. (2014), krom stresi altında yetiştirilen mısırın çimlenme ve fide özellikleri üzerine hidrojen peroksit ön uygulamasının etkilerini inceledikleri çalışmada, araştırmacılar kromun fotosentetik pigmentleri, çimlenmeyi ve fidelerin tolerans indeksini

azalttığını belirlemişlerdir. Hidrojen peroksit uygulaması ile kroma tolerans değeri artmıştır.

Shinwari ve ark. (2015), krom stresi altında yetiştirilen çeltiğin çimlenme ve fide özellikleri üzerine salisilik asit (SA) ön uygulamasının etkilerini inceledikleri çalışmada, kromun çimlenme oranı, fide gücü, fide kuru ağırlığı gibi fizyolojik özelliklerde düşüşe neden olduğunu, ancak SA ile ön uygulamanın kroma karşı bir koruma sağladığını, SA uygulanan tohumlardan gelişen bitkilerin yapraklarındaki krom içeriğinin azaldığını bildirmişlerdir.

Sneideris ve ark. (2015), kadmiyum stresi altında yetiştirilen güvercin bezelyesinin çimlenme ve fide özellikleri üzerine hormon ön uygulamalarının (auksin, sitokinin, giberellin, absisik asit ve etilen) etkilerini inceledikleri çalışmada, hormonlarla ön muamelenin çimlenme özelliklerini geliştirdiğini, ancak bu uygulamalarda elde edilen değerlerin su uygulamasından istatistiksel olarak farklı olmadığını belirlemişlerdir. Araştırmacılar, etilenin bitkilerde kadmiyuma toleransı arttırdığı ve ağır metal stresi altında güvercin bezelyesinin toleransını arttırmak için etkin şekilde kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Espanany ve ark. (2016), çörekotu tohumlarının kadmiyum stresi altındaki çimlenme ve fide gelişimleri üzerine farklı uyarıcı uygulamalarının etkilerini inceledikleri çalışmada, çimlenme oranının kadmiyum tarafından baskılandığını, salisilik asit (SA) uygulamasının çimlenme oranı, kök uzunluğu ve kuru ağırlığını artırdığını bildirmişlerdir. En yüksek fide uzunluğu ve ağırlığı KNO_3 uygulanan tohumlarda elde edilmiştir. Araştırmacılar sonuç olarak SA uygulaması ile çörekotu tohumlarının kadmiyum stresi altında çimlenmesinin iyileştirilebileceğini ve sulama suyundaki toksik metallere karşı fide toleransının artırılabilceğini bildirmişlerdir.

Kumar ve ark. (2016), dört farklı civa konsantrasyonunda yetiştirilen buğdayın çimlenme ve fide özellikleri üzerine destile su, $Mg(NO_3)_2$ ve $Ca(NO_3)_2$ ön uygulamalarının etkisini araştırdıkları çalışmada, uygulanan uyarıcı ön uygulamaları ile civa stresi altındaki bitkilerin tüm çimlenme özelliklerinin olumlu etkilendiğini belirlemişlerdir.

Moullick ve ark. (2016) arsenik stresi altında yetiştirilen çeltiğin çimlenme ve fide özellikleri üzerine selenyumun uyarıcı olarak kullanılma imkanlarını inceledikleri çalışmada, arseniğin çimlenme ve fide özelliklerini olumsuz etkilediğini, 0.8 mg/l

selenyum ön uygulaması ile arseniğin olumsuz etkilerinin hafifletilebildiğini belirlemişlerdir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Araştırma, Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümünde laboratuvar denemesi olarak yürütülmüştür. Denemede, Çok yıllık çim (*Lolium perenne* L.) türünün Integra çeşidi, kırmızı yumak (*Festuca rubra* L. subsp. *rubra*) türünün Corail ve kamışsı yumak (*Festuca arundinacea* Schreb.) türünün Rebel çeşitlerine ait tohumlar bitki materyali olarak kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

Araştırmada iki ağır metalin (Kadmiyum (Cd) ve Nikel (Ni)) 3 farklı konsantrasyonu (75, 150, 300 mg/l) ile destile su kontrol uygulaması olarak dikkate alınmıştır. Ayrıca ağır metal uygulamaları altında uyarıcı uygulamalarının çimlenmeye etkisini belirlemek amacıyla %2'lik KNO₃ ve 500 ppm GA₃ uyarıcı ajanı olarak kullanılmıştır. Uyarıcı uygulaması, tohumlar ekilmeden önce yüzey sterilizasyonu (% 1'lik sodium hypochloride çözeltisi ile 10 dakika) uygulanan türlere ait tohumların belirtilen dozlarda hazırlanan KNO₃ ve GA₃ çözeltilerinde 2 gün (48 saat) süreyle 25 °C' de bekletilmesi şeklinde uygulanmıştır. Ayrıca uyarıcı uygulaması yapılmayan bir grup kontrol amacıyla sterilizasyon sonrası 48 saat uyarıcı uygulamaları ile aynı koşullarda saf suda (H₂O) bekletildikten sonra ekimi yapılmak üzere hazırlanmıştır.

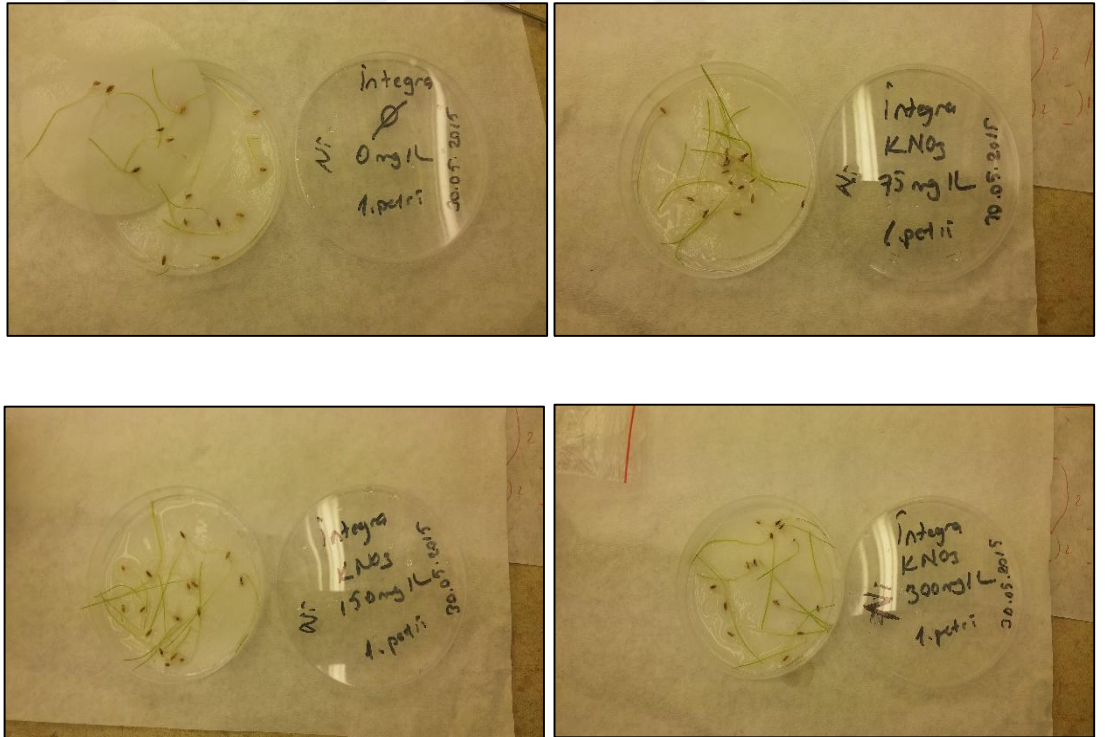
Gerekli ön muameleler uygulanan türlere ait tohumlar, 9 cm çapındaki petri kapları içine iki kat olarak yerleştirilen filtre kâğıdı üzerine, her petriye 25 tohum gelecek şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. Araştırmada tohumların yerleştirildiği petri kabı



Şekil 3.2. Denemede kullanılan iklim dolabı.



Şekil 3.3. Denemenin 14. gününde elde edilen deney sonuçlarından bir kesit.

Petri kaplarına, her iki ağır metalin 75, 150, 300 mg/l dozlarında hazırlanan stok çözeltisinden (önceden 1lt'lik stok çözelti olarak hazırlanmıştır) ve kontrol uygulamaları için saf sudan 10 ml ilave edilmiştir . Kapakları kapatılan petrilerin kenarları su kaybını önlemek için parafilm ile kapatılmıştır. Petri kapları, 25 ± 1 °C sıcaklığa ayarlı iklim dolabına yerleştirilmiştir (Şekil 3.2.). Denemede, gözlemlerin 21. güne kadar sürdürülmesi planlanmış olmakla birlikte, enfeksiyon riski nedeniyle 14. güne kadar gözlemler gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.3.). On dördüncü günde her petride çimlenen 10 bitkide fide ölçümleri yapılmıştır

Araştırma tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre 4 tekrarlamalı olarak kurulmuş ve yürütülmüştür. Değerlendirme tür bazında ayrı ayrı yapılmış ve yorumlanmıştır.

3.3. İncelenen Özellikler

3.3.1. Kök Uzunluğu (mm)

Fide boyu ölçülen bitkilerde kök uzunluğu milimetrik cetvelle ölçülmüştür.

3.3.2. Fide Uzunluğu (mm)

Deneme sonunda tesadüf olarak seçilen 10 bitkinin fide uzunluğu milimetrik cetvelle ölçülerek belirlenmiştir.

3.3.3. Fide Yaş Ağırlığı (mg)

Seçilen bitkilerin yaş ağırlıkları hassas terazide tartılarak saptanmıştır (Şekil 4).

3.3.4. Çimlenme Oranı (%)

21. gün sonunda çimlenen tohumlar sayılmış, (çimlenen tohum sayısı/toplam tohum sayısı) x 100 formülü ile çimlenme oranı % olarak hesaplanmıştır (Akıncı ve Çalışkan, 2010).



Şekil 3.4. Denemede kullanılan hassas terazi.

3.3.5. Çimlenme İndeksi

Her gün çimlenen tohum oranının sayım günlerine bölünmesiyle aşağıdaki formüle göre bulunmuştur (Wang ve ark., 2004).

$$GI = \sum (Gi/Tt)$$

GI: Çimlenme indeksi; Gi: i. günde çimlenen tohum oranı; Tt: Sayım günü

3.3.6. Ortalama Çimlenme Süresi

Aşağıdaki formüle göre çimlenen tohum sayısı ile çimlenme gün sayısı çarpımları toplamının toplam çimlenen tohum sayısına bölünmesi ile elde edilen değer ortalama çimlenme süresi olarak hesaplanmıştır (Ellis ve Roberts, 1980).

$$MGT = \sum (fx) / \sum f$$

MGT: Ortalama çimlenme süresi; f: Çimlenen tohum sayısı; x: Çimlenme günü

Not: Tez programında kök yaş ağırlığı ve tolerans indeksi değerlerinin belirlenmesi planlanmış olmakla birlikte sağlıklı veri alınamadığı için bu iki özellik değerlendirme dışı bırakılmıştır.

3.4. Araştırmada Elde Edilen Verilerin Değerlendirilmesi

Araştırmada elde edilen verilere MSTAT-C istatistik paket programı kullanılarak tesadüf parselleri deneme desenine uygun olarak varyans analizi uygulanmıştır. Varyans analizi sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli çıkan faktör ortalamaları Duncan testi ile gruplandırılmıştır.



4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Çok Yıllık Çim

4.1.1. Çok Yıllık Çim Kök Uzunluğu

Çok yıllık çimde farklı metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamaları altında belirlenen kök uzunluğu değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.1’ de verilmiştir. Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi, kök uzunluğu üzerine metal türü, metal dozu, ön muamele ile metal türü x metal dozu, metal dozu x ön muamele "interaksiyonlarının %1 düzeyinde önemli etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Metal türü x ön muamele ikili interaksiyonu ile deneme faktörlerinin üçlü interaksiyonun etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.1. Çok yıllık çimde farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen kök uzunluğu değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Metal Türü(Faktör A)	1	506.231	43.3588**
Metal Dozu(Faktör B)	3	1734.256	148.5394**
Metal Türü x Metal Dozu(AB)	3	68.599	5.8756**
Ön Muamele(Faktör C)	2	118.906	10.1844**
Metal Türü x Ön Muamele(AC)	2	1.719	0.1472
Metal Dozu x Ön Muamele(BC)	6	64.042	5.4852**
Metal Türü x Metal Dozu x Ön Muamele(ABC)	6	18.320	1.5691
Hata	72	11.675	

**P< 0.01 hata sınırları içerisinde önemli

Çok yıllık çimin kök uzunluğu üzerine metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen kök uzunluğu değerleri ve Duncan testine göre oluşan gruplar Çizelge 4.2’de verilmiştir. Çizelgede izlendiği gibi, kök uzunluğu üzerine metal türlerinin etkisi önemli derecede farklı olmuştur. Kök uzunluğu değeri nikel uygulamasında 12.43 mm ile kadmiyum uygulamasında belirlenen kök uzunluğu değerinden (17.02 mm) önemli derecede düşük olmuştur. Bu durum çok yıllık çimin kök uzunluğunun çimlenme döneminde nikelden daha fazla etkilendiğini

göstermektedir. Benzer şekilde farklı bitkilerde nikel ve kadmiyumun etkilerini araştıran Peralta-Videa ve ark. (2004) ve Houshmandfar ve Moraghebi (2010) nikelin bitki fideleri üzerindeki ölümcül etkilerinin kadmiyumdan daha fazla olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca Peralta-Videa ve ark. (2002) eşit miktarda Cd, Cu, Ni ve Zn karışımlarını içeren solüsyonla bulaşık topraklarda yetiştirdikleri yoncada en fazla biriken ağır metalin nikel olduğunu bildirmişleridir. Bu durum nikelin kadmiyumdan daha baskın bir etkiye sahip olmasını açıklamaktadır.

Çizelge 4.2. Çok yıllık çimde farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen kök uzunluğu değerleri (mm)

Ön Muamele	Metal Dozu	Metal Türü		ORTALAMA (Ön Muamele)	
		Kadmiyum	Nikel		
	H ₂ O	0 mg/l	26.17	26.17	14.15 B*
		75 mg/l	17.22	4.65	
		150 mg/l	11.47	8.93	
		300 mg/l	11.63	6.95	
	GA ₃	0 mg/l	22.20	22.20	13.16 B
		75 mg/l	14.38	7.58	
		150 mg/l	11.86	8.67	
		300 mg/l	12.32	6.03	
KNO ₃	0 mg/l	33.76	33.76	16.88 A	
	75 mg/l	16.63	11.61		
	150 mg/l	13.47	4.62		
	300 mg/l	13.18	8.00		
ORTALAMA (Metal Türü)		17.02 A ²	12.43 B		
ORTALAMA (Metal Dozu)	0 mg/l	75 mg/l	150 mg/l	300 mg/l	
	27.38 A ⁺⁺	12.01 B	9.84 C	9.68 C	

(*) Aynı satır ve sütun içerisinde farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

(*) Aynı satır içerisinde farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

(++) Aynı satır içerisinde farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Çizelge 4.2’de izlendiği gibi uygulanan ağır metal dozlarına bağlı olarak kök uzunlukları arasındaki değişim istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Ağır metal uygulamalarının tamamı kontrole göre kök uzunluklarını önemli derecede azaltmıştır. Metal dozlarına bağlı olarak kök uzunlukları 9.68 mm ile 27.38 mm arasında değişmiştir. En yüksek kök uzunluğu kontrol uygulamasında belirlenmiştir. Kontrol uygulamasında belirlenen değer istatistiksel olarak diğer tüm uygulamalardan daha yüksek değere sahip olurken, artan dozlara bağlı olarak kök uzunluğu azalmıştır. 75

mg/l metal dozu uygulamasında elde edilen kök uzunluğu değeri 150 mg/l ve 300 mg/l uygulamalarından istatistiksel olarak daha yüksek olurken, en yüksek dozlar olan 150 ve 300 mg/l dozları istatistiksel olarak birbirinden farksız olmuştur. Bulgularımıza paralel olarak nikel ve kadmiyumun kök gelişimi üzerindeki olumsuz etkileri diğer araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir (Erdoğan, 2005; Muhammad ve ark., 2008; Akıncı ve Akıncı, 2011; Shao ve ark., 2011).

Çizelge 4.2’de izlendiği gibi uyarıcı ön uygulamalarının kök uzunluğu üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Ön uygulamalara bağlı olarak kök uzunlukları 13.16 mm ile 16.88 mm arasında değişim göstermiştir. En yüksek kök uzunluğu değeri KNO₃ uygulamasında belirlenirken, bu uygulamada belirlenen değer diğer iki uygulamadan istatistiksel olarak yüksek bulunmuştur. GA₃ ve H₂O uygulamalarında tespit edilen kök uzunluğu değerleri ise istatistiksel olarak farksız olmuştur.

Kök uzunluğu değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları (Çizelge 4.1) çok yıllık çimin kök uzunluğu değerleri üzerine metal türü x metal dozu ikili interaksyonun etkisinin de istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermiştir. Metal türü x metal dozu interaksyonu sonucu belirlenen kök uzunluğu değerleri ve oluşan gruplar Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Çok yıllık çimde farklı metal türü x metal dozu interaksyonu sonucu belirlenen kök uzunluğu değerleri (mm)

Metal Türü	Metal Dozu							
	Kontrol		75 mg/l		150 mg/l		300mg/l	
Kadmiyum	27.37	a*	16.08	b	12.26	c	12.37	c
Nikel	27.37	a	7.95	d	7.41	d	6.99	d

(*) Aynı satır ve sütun içerisinde farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Genel olarak kadmiyum uygulanan bitkilerin kök uzunluğu nikel uygulananlara göre daha uzun olurken, her iki metal türü içinde artan dozlar kök uzunluğunu önemli, derecede azaltmıştır. Ancak bu azalma nikel uygulamasında daha belirgin ortaya çıkarken, kadmiyum uygulamasında kök uzunluğundaki düşüş kontrole göre oransal olarak daha az olmuştur. Nikel stresi altındaki tüm bitkilerin kök uzunlukları tüm dozlar için istatistiksel olarak benzer olurken, kadmiyum stresi altındaki bitkilerde 75 mg/l

kadmiyum dozunda belirlenen çok yıllık çim kök uzunluğu değeri 150 ve 300 mg/l dozunda belirlenen değerden önemli derecede yüksek olmuştur.

Varyans analizi sonucunda (Çizelge 4.1) metal dozu x ön muamele interaksyonun kök uzunluğunu önemli derecede etkilediği belirlenmiştir. Araştırmada belirlenen metal dozu x ön muamele interaksyonu sonucunda belirlenen kök uzunluğu değerleri Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Çok yıllık çimde farklı ağır metal dozları ve ön muamele uygulamalarında belirlenen kök uzunluğu değerleri (mm)

Ön Muamele	Metal Dozu							
	Kontrol		75 mg/lt		150 mg/lt		300mg/lt	
H ₂ O	26.17	b*	10.94	de	10.20	e	9.29	e
GA ₃	22.21	c	10.98	de	10.26	e	9.17	e
KNO ₃	33.76	a	14.12	d	9.05	e	10.59	de

(*) Aynı satır ve sütun içerisinde farklı küçük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Kök uzunluğu değerleri üzerine metal dozu x ön muamele interaksyonunun etkisi de önemli bulunmuştur. Tüm uygulamalar içerisinde kök uzunluğu değerleri 33.76 mm ile 9.05 mm arasında değişim göstermiştir. Ağır metal uygulaması yapılmayan kontrol uygulamalarında daha yüksek kök uzunluğu değerleri elde edilirken artan metal dozları ile birlikte kök uzunluğu değerleri düşmüştür. Uyarıcı ön uygulamalarından sadece KNO₃ uyarıcı ön muamelesi yapılan 75 mg/l ağır metal uygulanan tohumlarda kök uzunluğu değeri (14.12 mm) daha yüksek dozda ağır metal uygulanan diğer uygulamalardan (300 mg/l ağır metal uygulanan KNO₃ uygulaması hariç) istatistiksel olarak daha yüksek kök uzunluğu değerine sahip olmuştur. Bu uygulama dışındaki tüm uygulamalar istatistiksel olarak benzer olmuştur. Bu durum uyarıcılar içerisinde sadece KNO₃'ün sınırlı ölçüde fayda sağladığını, ağır metal dozunun 75 mg/l üzerine çıkmasıyla ağır metalin kök gelişimi üzerindeki etkisini azaltılamadığını göstermiştir. Espanany ve ark. (2016), kadmiyum stresi altındaki çörekotu tohumlarında KNO₃ ön uygulaması ile kök uzunluğunda kontrole göre önemli artışlar olduğunu, ancak bitkinin fide gelişimi üzerine kadmiyumun olumsuz etkilerinin ortadan kaldırılmasında salisilik asit ön muamelesinin daha etkili olduğunu bildirmişlerdir. Bu durum farklı bitkilerde farklı uyarıcıların farklı etkileri olduğunu ve ağır metallerin olumsuz etkilerini azaltmada farklı uyarıcılarla çalışmaların devam etmesi gerektiğini göstermiştir. Ağır

metal varlığında farklı bitkilerde uyarıcı ön uygulamaları ile kök uzunluklarının olumlu yönde etkilendiği diğer araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir (Qaisar ve ark., 2014 ; Shinwari ve ark., 2015; Moulick ve ark., 2016; Kumar ve ark. 2016).

4.1.2. Çok Yıllık Çim Fide Uzunluğu

Çok yıllık çimde farklı metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamaları altında belirlenen fide uzunluğu değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.5’de verilmiştir. Çizelgede izlendiği gibi metal dozu ve ön muamele uygulamalarının fide uzunluğu üzerinde % 1 düzeyinde, metal türü x ön muamele ikili interaksyonunun ise % 5 düzeyinde önemli etkiye sahip oluşu belirlenmiştir. Metal türü, metal türü x metal dozu, metal dozu x ön muamele ve metal türü x metal dozu ön muamele interaksyonlarının etkileri ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.5. Çok yıllık çimde farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen fide uzunluğu değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Metal Türü(Faktör A)	1	0.970	0.0386
Metal Dozu(Faktör B)	3	333.795	13.2814**
Metal Türü x Metal Dozu(AB)	3	12.435	0.4948
Ön Muamele(Faktör C)	2	3382.331	134.5800**
Metal Türü x Ön Muamele(AC)	2	80.452	3.2011*
Metal Dozu x Ön Muamele(BC)	6	27.926	1.1112
Metal Türü x Metal Dozu x Ön Muamele(ABC)	6	15.709	0.6251
Hata	72	25.132	

*P< 0.05 hata sınırları içerisinde önemli

**P< 0.01 hata sınırları içerisinde önemli

Çok yıllık çimin fide uzunluğu üzerine metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen fide uzunluğu değerleri ve Duncan testine göre oluşan gruplar Çizelge 4.6’da verilmiştir. Çizelge 4.6’da izlendiği gibi metal türlerine bağlı olarak fide uzunluklarında önemli farklılıklar meydana gelmemiştir. Kadmiyum uygulaması sonucu belirlenen fide uzunluğu değeri 49.53 mm olurken, nikel uygulamasında belirlenen ortalama fide uzunluğu değeri 49.33 mm olarak tespit edilmiştir.

Araştırmada artan metal dozlarına bağlı olarak fide uzunluklarında önemli azalmalar tespit edilmiştir. Belirlenen fide uzunlukları 0, 75, 150 ve 300 mg/l dozları için sırasıyla 53.89, 50.90, 47.46 ve 45.46 mm olarak saptanmıştır. 75 mg/l ağır metal uygulamasında fide uzunluğunda kontrole göre önemli bir azalma meydana gelmiştir. 150 ve 300 mg/l ağır metal uygulamalarında belirlenen fide uzunluğu değerleri ise kontrol ve 75 mg/l uygulamalarına göre önemli derecede azalma göstermiştir. Nikel ve kadmiyumun erken dönemde farklı bitki türlerinin fide gelişimi üzerindeki olumsuz etkileri diğer araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir. Bu bulguların aksine Kalaycıoğlu (2005) ısırgan bitkisinin boy uzunluğu üzerinde kadmiyumun olumsuz bir etki meydana getirmediğini bildirmiştir. Bu durum ağır metallerin etkisinin bitki türlerine göre farklılık gösterebileceğini ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.6. Çok yıllık çimde farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen fide uzunluğu değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Ön Muamele	Metal Dozu	Metal Türü		ORTALAMA (Ön Muamele)	
		Kadmiyum	Nikel		
	H ₂ O	0 mg/l	45.05	45.05	40.81 C*
		75 mg/l	40.66	38.99	
		150 mg/l	40.56	38.39	
		300 mg/l	39.42	38.40	
	GA ₃	0 mg/l	65.00	65.00	60.81 A
		75 mg/l	65.77	63.79	
		150 mg/l	59.62	55.89	
		300 mg/l	58.33	53.09	
KNO ₃	0 mg/l	51.64	51.64	46.66 B	
	75 mg/l	44.14	52.03		
	150 mg/l	39.42	47.94		
	300 mg/l	41.75	41.74		
ORTALAMA (Metal Türü)		49.53	49.33		
ORTALAMA (Metal Dozu)	0 mg/l	75 mg/l	150 mg/l	300 mg/l	
	53.89 A ⁺	50.90 B	47.46 C	45.46 C	

(*) Aynı sütun içerisinde farklı büyük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

(*) Aynı satır içerisinde farklı büyük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Varyans analizi sonuçları (Çizelge 4.5) uyarıcı ön muamelelerinin de fide uzunluğu üzerindeki etkisinin önemli olduğunu göstermiştir. Ön muamele uygulamalarına bağlı olarak fide uzunlukları 40.81 mm ile 60.81 mm arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.6).

Ön muamele işlemlerinde GA_3 uygulamasında belirlenen fide uzunluğu 60.81 mm ile ilk sırada yer alırken, bunu 46.66 mm ile KNO_3 uygulaması takip etmiş ve H_2O uygulamasında belirlen fide uzunluğu değeri (40.81 mm) ise son sırada yer almıştır. Elde edilen sonuçlar fide gelişimi açısından özellikle GA_3 'ün iyi bir uyarıcı olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde ağır metal varlığında farklı uyarıcı uygulamalarının etkisinin farklılık gösterdiği diğer araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir (Espanany ve ark., 2016; Kumar ve ark., 2016).

Varyans analizi sonuçları (Çizelge 4.5) fide uzunluğu değerleri üzerine metal türü x ön muamele ikili interaksyonunun da önemli etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Metal türü x ön muamele ikili interaksyonuna göre oluşan ortalama değerler ve Duncan çoklu karşılaştırma testi sonucu oluşan gruplar Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Çok yıllık çimde farklı metal türü x ön muamele interaksyonu sonucu belirlenen fide uzunluğu değerleri (mm)

Metal Türü	Ön Muamele					
	H_2O		GA_3		KNO_3	
Kadmiyum	41.42	c*	62.18	a	44.98	b
Nikel	40.21	c	59.44	a	48.34	b

(*) Aynı satır ve sütun içerisinde farklı küçük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Çizelge 4.7'de izlendiği gibi uyarıcı ön uygulamalarında belirlenen fide uzunluğu değerleri kadmiyum ve nikel için benzer olmuştur. Hem kadmiyum hem nikel için GA_3 uygulamasında belirlenen fide uzunluğu değeri diğer uyarıcılar için belirlenen değerlerden istatistiksel olarak daha yüksek olmuştur. Bunu KNO_3 ve H_2O uygulaması izlemiştir. Bu durum çok yıllık çimin fide gelişimi açısından ağır metal stresinin azaltılmasında GA_3 'ün tercih edilmesi gerektiğini göstermiştir.

4.1.3. Çok Yıllık Çim Fide Ağırlığı

Çok yıllık çimde farklı metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamaları altında belirlenen fide ağırlığı değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları, fide ağırlığı üzerine metal dozu ve ön muamele ön uygulamaları ile metal türü x metal dozu ve metal dozu x ön muamele interaksyonlarının %1 düzeyinde önemli bir etkiye sahip

olduğunu, metal türü x metal dozu x ön muamele üçlü interaksiyonunun ise %5 düzeyinde önemli etkiye sahip olduğunu, metal türü x ön muamele interaksiyonunun etkisinin ise istatistiksel olarak önemsiz olduğunu göstermiştir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. Çok yıllık çimde farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen fide ağırlığı değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Metal Türü(Faktör A)	1	55.510	1.9725
Metal Dozu(Faktör B)	3	577.705	20.5276**
Metal Türü x Metal Dozu(AB)	3	197.427	7.0153**
Ön Muamele(Faktör C)	2	638.510	22.6886**
Metal Türü x Ön Muamele(AC)	2	77.323	2.7476
Metal Dozu x Ön Muamele(BC)	6	129.663	4.6074**
Metal Türü x Metal Dozu x Ön Muamele(ABC)	6	69.865	2.4825*
Hata	72	28.142	

*P< 0.05 hata sınırları içerisinde önemli

**P< 0.01 hata sınırları içerisinde önemli

Araştırma sonucunda metal türüne bağlı olarak ortalama fide ağırlıkları kadmiyum stresi altındaki bitkilerde 45.73 mg, nikel stresi altındaki bitkilerde ise 47.25 mg olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.9). Ağır metal türlerine bağlı olarak belirlenen fide ağırlığı değerleri istatistiksel birbirinden farksız olmuştur. Bu durum kadmiyumun ve nikelin kuru madde birikimi üzerindeki etkisinin benzer olduğuna işaret etmektedir. Araştırmada çok yıllık çimin fide gelişimi üzerine etkisi birbirine yakın bulunmuş olmakla birlikte, bitkilerin yetiştirme ortamında bulunan farklı ağır metallerin bitkilerin gelişimi üzerindeki etkilerinin farklı olduğu ve bu etkinin ağır metal türü ile birlikte bitki türüne de bağlı olarak değiştiği yönünde araştırma sonuçları ortaya konmuştur (Peralta-Videa ve ark., 2004; Kabir ve ark., 2008; Mami ve ark., 2011). Nitekim Peralta-Videa ve ark. (2004) nikelin yonca bitkilerinde tamamen öldürücü etkiye sahipken, kadmiyumun etkisinin bitkinin ağır metale maruz kaldığı döneme göre farklılık gösterdiğini bildirirken, Kalaycıoğlu (2005) kadmiyumun ısırgan bitkisinde fide gelişimi üzerinde olumsuz bir etkisinin olmadığını bildirmiştir.

Varyans analizi sonuçları metal dozlarının fide ağırlığı üzerindeki etkisinin çok önemli olduğunu göstermiştir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.9. Çok yıllık çimde farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen fide ağırlığı değerleri (mg)

Ön Muamele	Metal Dozu	Metal Türü		ORTALAMA (Ön Muamele)	
		Kadmiyum	Nikel		
	H ₂ O	0 mg/l	41.50 e-g ⁺⁺	41.50 e-g	41.38 B*
		75 mg/l	45.00 c-g	43.50 d-g	
		150 mg/l	48.25 b-f	40.00 f-g	
		300 mg/l	27.00 h	44.25 d-g	
	GA ₃	0 mg/l	55.75 b	55.75 b	49.63 A
		75 mg/l	52.00 b-d	51.25 b-d	
		150 mg/l	50.50 b-e	44.25 d-g	
		300 mg/l	43.75 d-g	43.75d-g	
KNO ₃	0 mg/l	46.75 c-f	46.75 bc	48.47 A	
	75 mg/l	53.25 bc	65.25 a		
	150 mg/l	48.25 b-f	46.50 c-f		
	300 mg/l	36.75 g	44.25 d-g		
ORTALAMA (Metal Türü)		45.73	47.25		
ORTALAMA (Metal Dozu)	0 mg/l	75 mg/l	150 mg/l	300 mg/l	
	48.00 B ⁺	51.71 A	46.29 B	40.00 C	

(*) Aynı sütun içerisinde farklı büyük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

(⁺) Aynı satır içerisinde farklı büyük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

(⁺⁺) Aynı satır ve sütun içerisinde farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Çizelge 4.9’da izlendiği gibi, araştırmada fide ağırlıkları 0, 75, 150 ve 300 mg/l ağır metal dozları için sırasıyla 48.00, 51.71, 46.29 ve 40.00 mg olarak belirlenmiştir. Ağır metal dozunun 75 mg/l’ ye çıkması kontrole göre istatistiksel olarak önemli bir artışa sebep olmuştur. Ağır metal dozunun 150 mg/l’ye çıkması fide ağırlığının tekrar azalmasına neden olmuş, kontrol ve 150 mg/l’de belirlenen fide ağırlığı değeri istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. 300 mg/l ağır metal dozunda belirlenen fide ağırlığı değeri diğer tüm dozlarda belirlenen değerlerden önemli derecede düşük olmuştur. Artan ağır metal dozlarına bağlı olarak fide ağırlığında önemli azalmaların meydana geldiği diğer araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir (Kabir ve ark., 2008; Muhammad ve ark., 2008; Mami ve ark., 2011; Shao ve ark., 2011).

Uygulanan ön muamele işlemleri de fide ağırlıkları üzerinde önemli farklılıklar oluşmasına neden olmuştur. GA₃ uygulamasında fide ağırlığı 49.63 mg olarak belirlenirken, KNO₃ uygulamasında ortalama fide ağırlığı değeri 48.47 mg ve H₂O uygulamasında fide ağırlığı 41.38 mg olarak belirlenmiştir. GA₃ ve KNO₃ uyarıcı ön uygulamalarında belirlenen fide ağırlığı değerleri istatistiksel olarak benzer olurken, saf

suda bekletilen tohumlarda belirlenen değer diğer iki uygulamada belirlenen değerden önemli derecede düşük olmuştur. Bu durum GA₃ ve KNO₃ ile tohumlara ön muamelede bulunulmasının ağır metal stresi altındaki çok yıllık çimin fide gelişimini desteklediğini ortaya koymaktadır (Galhaut ve ark., 2014; Sneideris ve ark., 2015; Espanany ve ark., 2016).

Elde edilen değerlere uygulanan varyans analizi sonuçları (Çizelge 4.8) üç deneme faktörünün üçlü interaksiyonunun da istatistiksel olarak önemli olduğunu ortaya koymuştur. Ortaya çıkan tabloya genel olarak bakıldığında, kadmiyum stresi altındaki bitkilerde fide ağırlığının 27.00 mg ile 55.75 mg arasında, nikel stresi altındaki bitkilerde ise 40.00 mg ile 65.25 mg arasında değiştii görölmektedir. Çizelge 4.9’da izlendiği gibi KNO₃ ve H₂O ön muamelelerinde 75 mg/l ağır metal dozlarında kontrolden daha yüksek değerler elde edilmesine rağmen, GA₃ uygulamasında her iki metal türü içinde kontrolden itibaren düşüş eğilimi görölmektedir. Uygulamalara bağlı olarak fide ağırlıklarında farklı eğilimler görölmesi üçlü interaksiyonun önemli çıkmasına neden olmuştur.

Fide ağırlığı değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları (Çizelge 4.8) fide ağırlığı üzerine metal türü x metal dozu ikili interaksiyonunun etkisinin önemli olduğunu göstermiştir. Metal türü x metal dozu ikili interaksiyonuna göre saptanan ortalama fide ağırlığı değerleri Çizelge 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Çok yıllık çimde farklı metal türü x metal dozu interaksiyonu sonucu belirlenen fide ağırlığı değerleri (mg)

Metal Türü	Metal Dozu			
	Kontrol	75 mg/l	150 mg/l	300mg/l
Kadmiyum	48.00 bc*	50.08 ab	49.00 ab	35.83 d
Nikel	48.00 bc	53.33 a	43.58 c	44.08 c

(*) Aynı satır ve sütun içerisinde farklı küçük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Çizelge 4.10’da izlendiği gibi nikel stresi altında belirlenen fide ağırlığı değerleri kontrol ve 75 mg/l dozlarında kadmiyumun aynı dozlarında benzer fide ağırlığı değerlerine sahipken, metal dozunun 150 mg/l’ye çıkması ile nikel stresi bitkilerde daha büyük bir etki göstermiştir. 150 mg/l dozunda nikel stresi altındaki bitkilerde belirlenen fide ağırlığı aynı dozdaki kadmiyum uygulamasında belirlenen fide ağırlığından daha

düşük olmuştur. Kadmiyum stresi altındaki bitkilerde dozun 300 mg/l'ye çıkmasıyla fide ağırlığında önemli azalma meydana gelmiş, nikel dozunun 300 mg/l'ye çıkması 150 mg/l dozuna göre fide ağırlığında önemli bir değişiklik meydana getirmemiştir. Bitkilerin farklı ağır metal türlerinin farklı dozlarında fide ağırlığı üzerindeki etkilerinin farklı olması “metal türü x metal dozu” interaksiyonunun önemli çıkmasına neden olmuştur.

Çok yıllık çimde belirlenen fide ağırlığı değerlerine uygulanan varyans analiz sonuçları metal dozu x ön muamele interaksiyonunun etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğunu ortaya koymuştur (Çizelge 4.8). Metal dozu x ön muamele interaksiyonu sonucu belirlenen fide ağırlığı değerleri ve oluşan gruplar Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Çok yıllık çimde farklı metal dozu x ön muamele interaksiyonu sonucu belirlenen fide ağırlığı değerleri (mg)

Ön Muamele	Metal Dozu							
	Kontrol		75 mg/lt		150 mg/lt		300mg/lt	
H ₂ O	41.50	de*	44.25	de	44.13	de	35.63	f
GA ₃	55.75	ab	51.63	bc	47.38	cd	43.75	de
KNO ₃	46.75	cd	59.25	a	47.38	cd	40.50	ef

(*) Aynı satır ve sütun içerisinde farklı küçük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Çizelge 4.11’ de izlendiği gibi saf suda bekletilen (H₂O) tohumlarda tüm dozlarda daha düşük değerler görülmekle birlikte, düşük dozlarda belirlenen değerler istatistiksel olarak diğer iki ön muamele uygulamasında belirlenen değerden daha düşük olmuştur. 150 mg/l dozunda her üç uyarıcı ön uygulaması için de belirlenen değer birbirinden farksız olmuştur. 300 mg/l dozunda GA₃ uygulamasında belirlenen fide ağırlığı değeri KNO₃ için belirlenen değerle benzer olurken, H₂O uygulamasından önemli derecede yüksek olmuştur.

4.1.4. Çok Yıllık Çim Çimlenme Oranı

Çok yıllık çimde farklı metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamaları altında belirlenen fide ağırlığı değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları, çimme oranı üzerine metal türü ve metal dozu ile metal dozu x ön muamele ikili

interaksiyonunun %1 düzeyinde, metal türü x metal dozu ikili interaksiyonunun ise % 5 düzeyinde önemli etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Uyarıcı ön muameleleri ile diğer ikili ve üçlü faktör interaksiyonlarının etkisinin ise istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12. Çok yıllık çimde farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen çimlenme oranı değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Metal Türü(Faktör A)	1	504.167	10.3714**
Metal Dozu(Faktör B)	3	697.056	14.3394**
Metal Türü x Metal Dozu(AB)	3	183.278	3.7703*
Ön Muamele(Faktör C)	2	9.500	0.1954
Metal Türü x Ön Muamele(AC)	2	16.167	0.3326
Metal Dozu x Ön Muamele(BC)	6	222.389	4.5749**
Metal Türü x Metal Dozu x Ön Muamele(ABC)	6	9.944	0.2046
Hata	72	48.611	

*P< 0.05 hata sınırları içerisinde önemli

**P< 0.01 hata sınırları içerisinde önemli

Araştırma sonuçlarına göre ağır metal türüne bağlı olarak çimlenme oranlarının önemli farklılık gösterdiği, kadmiyum stresi altında çok yıllık çimin çimlenme oranının (% 88.92) nikel uygulaması altındaki bitkilerde belirlenen çimlenme oranından (% 84.33) önemli derecede yüksek olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.13). Nitekim Peralta-Videa ve ark. (2004) ve Houshmandfar ve Moraghebi (2010) nikelin bitki fideleri üzerindeki ölümcül etkilerinin kadmiyumdan daha fazla olduğunu bildirmişlerdir. Bununla birlikte çimlenme döneminde sebze türlerinin gelişimi üzerine ağır metallerin etkilerini araştırdıkları çalışmada Çalışkan (2009) kadmiyumun nikelden daha toksik etkiye sahip olduğunu bildirmiştir.

Ağır metal dozlarındaki artışa bağlı olarak çimlenme oranları önemli farklılık göstermiştir. Artan dozlara bağlı olarak (0, 75, 150 ve 300 mg/l için sırasıyla) çimlenme oranları % 92.67, % 89.33, % 83.83 ve % 80.67 olarak belirlenmiştir. Artan doza bağlı olarak sürekli bir düşüş izlenmekle birlikte, kontrol ve 75 mg/l dozlarında tespit edilen çimlenme oranları istatistiksel olarak aynı grupta yer alırken, 150 ve 300 mg/l dozlarında belirlenen çimlenme oranı değerleri de birbirinden farksız olmuştur. Ortamda ağır metallerin bulunmasının ve artan dozlarda bitkilerin çimlenmeleri üzerindeki

olumsuz etkinin arttığı diğer araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir (Çalışkan, 2009; Kabir ve ark., 2008; Housmandfar ve Moraghebi, 2011).

Çizelge 4.13. Çok yıllık çimde farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen çimlenme oranı değerleri (%)

Ön Muamele	Metal Dozu	Metal Türü		ORTALAMA (Ön Muamele)	
		Kadmiyum	Nikel		
	H ₂ O	0 mg/l	94.00	94.00	87.00
		75 mg/l	91.00	87.00	
		150 mg/l	90.00	77.00	
		300 mg/l	83.00	80.00	
	GA ₃	0 mg/l	86.00	86.00	86.88
		75 mg/l	94.00	85.00	
		150 mg/l	92.00	78.00	
		300 mg/l	87.00	87.00	
KNO ₃	0 mg/l	98.00	98.00	86.00	
	75 mg/l	90.00	89.00		
	150 mg/l	88.00	78.00		
	300 mg/l	74.00	73.00		
ORTALAMA (Metal Türü)		88.92 A*	84.33 B		
ORTALAMA (Metal Dozu)		0 mg/l	75 mg/l	150 mg/l	300 mg/l
		92.67 A ⁺	89.33 A	83.83 B	80.67 B

(*) Aynı satır içerisinde farklı büyük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

(*) Aynı satır içerisinde farklı büyük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Çizelge 4.13’de izlendiği gibi uyarıcı ön uygulamalarının etkisi birbirinden farksız olmuştur. Uyarıcı ön muamelelerine bağlı olarak çimlenme oranı % 86.00 ile % 87.00 arasında değişmiştir.

Çimlenme oranı değerlerine uygulanan varyans analiz sonuçları metal türü x metal dozu ikili interaksyonun etkisinin % 1 düzeyinde önemli etkiye sahip olduğunu göstermiştir (Çizelge 4.12). Metal türü x metal dozu interaksyonuna göre oluşan ortalama çimlenme oranı değerleri Çizelge 4.14 te verilmiştir. Çizelgede izlendiği gibi kadmiyum stresine maruz kalan tohumların çimlenme oranı kontrol, 75 mg/l ve 150 mg/l ağır metal dozları için istatistiksel olarak farksız olurken, 300 mg/l dozunda önemli derecede azalma göstermiştir. Bu durum kadmiyum stresine maruz kalan çok yıllık çimde çimlenme açısından kırılma noktasının 300 mg/l dozu olduğunu göstermiştir. Nikel uygulamasında ise 150 ve 300 mg/l dozlarında belirlenen çimlenme oranı değerleri kontrol ve 75 mg/l dozlarından önemli derecede düşük olmuştur. Bu durum

çok yıllık çimin çimlenmesi açısından nikelin daha düşük dozlardan itibaren toksisitesinin başladığını göstermektedir.

Çizelge 4.14. Çok yıllık çimde farklı metal türü x metal dozu interaksyonu sonucu belirlenen çimlenme oranı değerleri (%)

Metal Türü	Metal Dozu							
	Kontrol		75 mg/lt		150 mg/lt		300mg/lt	
Kadmiyum	92.67	a*	91.67	a	90.00	a	81.33	bc
Nikel	92.67	a	87.00	ab	77.67	c	80.00	c

(*) Aynı satır ve sütun içerisinde farklı küçük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Çimlenme oranı değerlerine uygulanan varyans analiz sonuçları metal dozu x ön muamele ikili interaksyonun etkisinin % 1 düzeyinde önemli etkiye sahip olduğunu göstermiştir (Çizelge 4.12). Metal dozu x ön muamele interaksyonuna göre oluşan ortalama çimlenme oranı değerleri Çizelge 4.15 te verilmiştir.

Çizelge 4.15. Çok yıllık çimde farklı metal dozu x ön muamele interaksyonu sonucu belirlenen çimlenme oranı değerleri (%)

Metal Türü	Metal Dozu							
	Kontrol		75 mg/lt		150 mg/lt		300mg/lt	
H₂O	94.00	ab	89.00	bc	83.50	c	81.50	c
GA₃	86.00	c	89.50	bc	85.00	c	87.00	bc
KNO₃	98.00	a	89.50	bc	83.00	c	73.50	d

(*) Aynı satır ve sütun içerisinde farklı küçük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Çizelge 4.15’de izlendiği gibi en yüksek çimlenme oranı değeri KNO₃ ön muamelesi yapılan kontrol uygulamasında belirlenmiştir. Bu uygulamada belirlenen değer, GA₃ ile ön muamelede bulunan kontrol grubu tohumlarda belirlenen çimlenme oranı değerinden istatistiksel olarak yüksek olurken, saf suda bekletilen tohumlarla benzer grupta yer almıştır. GA₃ ile ön muameleye tabi tutulan tohumların çimlenme oranı kontrol ve tüm ağır metal dozlarında istatistiksel olarak benzer grupta yer almıştır. H₂O uygulamasında ise 150 ve 300 mg/l ağır metal dozlarında çimlenme oranı kontrole göre önemli derecede azalmıştır. KNO₃ ön muamelesi yapılan tohumlarda kontrol uygulamasında en yüksek çimlenme oranı elde edilirken, ağır metal dozundaki artışa

bağlı olarak çimlenme oranında ciddi azalmalar görülmüştür. Bu durum Ağır metallerle KNO_3 ün olumsuz bir etkileşim içerisine girmiş olabileceğini göstermektedir.

4.1.5. Çok Yıllık Çim Çimlenme İndeksi

Çok yıllık çimde farklı metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamaları altında belirlenen çimlenme indeksi değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.16’ de verilmiştir. Çizelge 4.16’da izlendiği gibi metal dozu, ön muamele uygulamaları ile metal dozu x ön muamele ikili interaksiyonun çok yıllık çimin çimlenme indeksi üzerinde % 1 düzeyinde önemli etkiye sahip oluşu belirlenmiştir. Metal türü ile diğer faktör interaksiyonlarının etkileri ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.16. Çok yıllık çimde farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen çimlenme indeksi değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Metal Türü(Faktör A)	1	0.254	0.9099
Metal Dozu(Faktör B)	3	5.324	19.0557**
Metal Türü x Metal Dozu(AB)	3	0.467	1.6719
Ön Muamele(Faktör C)	2	1.681	6.0175**
Metal Türü x Ön Muamele(AC)	2	0.172	0.6161
Metal Dozu x Ön Muamele(BC)	6	1.283	4.5912**
Metal Türü x Metal Dozu x Ön Muamele(ABC)	6	0.523	0.0974
Hata	72	0.279	

* $P < 0.05$ hata sınırları içerisinde önemli

** $P < 0.01$ hata sınırları içerisinde önemli

Çok yıllık çimin farklı metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen çimlenme indeksi değerleri ve Duncan testine göre oluşan gruplar Çizelge 4.17’de verilmiştir. Çizelge 4.17’de izlendiği gibi metal türlerine bağlı çimlenme indeksinde önemli farklılıklar meydana gelmemiştir. Kadmiyum stresi altındaki bitkilerde belirlenen çimlenme indeksi değeri 5.21 olurken, nikel stresi altındaki bitkilerde belirlenen ortalama çimlenme indeksi değeri 5.31 olarak tespit edilmiştir. Kadmiyum ve nikelin çok yıllık çimin çimlenme indeksi üzerine etkisinin birbirinden farksız olmasına rağmen, her iki metalinde artan dozlara bağlı olarak çimlenme üzerine

olumsuz etkisi olduğu söylenebilir. Nitekim Çalışkan (2009), ağır metallerin çimlenme üzerindeki olumsuz etkilerinin metalin türüne ve dozuna bağı olarak farklılık gösterebildiğini bildirmiştir.

Varyans analizi sonuçları metal dozlarının çimlenme indeksi üzerindeki etkisinin çok önemli olduğunu göstermiştir (Çizelge 4.16). Artan metal dozlarına bağı olarak çimlenme indeksi değerleri azalma eğilimi göstermiştir. Araştırmada çimlenme indeksi değerleri 0, 75, 150 ve 300 mg/l ağır metal dozları için sırasıyla 5.62, 5.58, 5.25 ve 4.60 olarak belirlenmiştir. Ağır metal dozunun 75 mg/l' ye çıkması çimlenme indeksi değerinde kontrole göre bir düşüşe sebep olmakla birlikte bu düşüş istatistiksel olarak önemsiz olmuştur. Ağır metal dozunun 150 mg/l'ye çıkması ile çimlenme indeksi değeri kontrol ve 75 mg/l ağır metal dozuna göre önemli derecede azalmıştır. Ağır metal dozunun 300 mg/l'ye çıkması da çimlenme indeksini diğer dozlara göre önemli derecede azaltmıştır. Artan ağır metal dozlarına bağı olarak çimlenme indeksinde önemli azalmaların meydana geldiği Çalışkan (2009) ve Akıncı ve Akıncı (2011) tarafından da bildirilmiştir.

Varyans analizi sonuçları (Çizelge 4.16) uyarıcı ön muamelelerinin çimlenme indeksi üzerindeki etkisinin önemli olduğunu göstermiştir. Ön muamele uygulamalarına bağı olarak çimlenme indeksi değerleri 5.00 ile 5.44 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.17). Ön muamele işlemlerinde GA₃ uygulamasında belirlenen çimlenme indeksi değeri 5.44 ile ilk sırada yer alırken, bunu 5.34 ile H₂O uygulaması takip etmiş ve KNO₃ uygulamasında belirlen fide uzunluğu değeri (5.00) ise son sırada yer almıştır. Elde edilen sonuçlar çimlenmenin teşvik edilmesi açısından özellikle GA₃'ün en iyi etkiyi gösterdiği tespit edilmiştir. Espanany ve ark. (2016) benzer şekilde ağır metal varlığında farklı uyarıcı uygulamalarının etkisinin farklılık gösterdiğini ve özellikle uyarıcıların ağır metal stresini engellemedeki etkinliğinin yüksek ağır metal dozlarının varlığında daha büyük farklılıklar gösterdiğini bildirmişlerdir. Ayrıca uyarıcı ön uygulamalarında kullanılan uyarıcının dozu da çimlenme üzerindeki etkide belirleyici rol oynayabilmektedir (Sneideris ve ark., 2015).

Metal dozu x ön muamele uygulamaları sonucu hesaplanan ortalama çimlenme indeksi değerleri ve oluşan Duncan grupları Çizelge 4.18'de verilmiştir.

Çizelge 4.17. Çok yıllık çimde farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen çimlenme indeksi değerleri

Ön Muamele	Metal Dozu	Metal Türü		ORTALAMA (Ön Muamele)	
		Kadmiyum	Nikel		
	H ₂ O	0 mg/l	5.55	5.55	5.34 A *
		75 mg/l	5.75	5.64	
		150 mg/l	5.33	5.46	
		300 mg/l	4.70	4.72	
	GA ₃	0 mg/l	5.61	5.61	5.44 A
		75 mg/l	5.22	5.69	
		150 mg/l	5.50	5.97	
		300 mg/l	4.90	5.30	
KNO ₃	0 mg/l	5.83	5.83	5.00 B	
	75 mg/l	5.74	5.41		
	150 mg/l	4.97	4.28		
	300 mg/l	3.42	4.55		
ORTALAMA (Metal Türü)		5.21	5.31		
ORTALAMA (Metal Dozu)	0 mg/l	75 mg/l	150 mg/l	300 mg/l	
	5.62 A ⁺	5.58 A	5.25 B	4.60 C	

(*) Aynı sütun içerisinde farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

(*) Aynı satır içerisinde farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Çizelge 4.18. Çok yıllık çimde farklı metal dozu x ön muamele interaksyonu sonucu belirlenen çimlenme indeksi değerleri

Metal Türü	Metal Dozu							
	Kontrol		75 mg/lt		150 mg/lt		300mg/lt	
H ₂ O	5.55	ab*	5.69	ab	5.39	ab	4.71	c
GA ₃	5.48	ab	5.45	ab	5.74	a	5.10	bc
KNO ₃	5.83	a	5.58	ab	4.63	c	3.98	d

(*) Aynı satır ve sütun içerisinde farklı küçük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Çizelge 4.18’de izlendiği gibi, kontrol ve 75 mg/l ağır metal uygulamalarında her üç uyarıcı ön muamelesi de birbirine yakın (0 ve 75 mg/l GA₃ uygulaması hariç) değerlere sahip olurken, ağır metal dozunun 150 mg/l’ye çıkmasıyla KNO₃ ön muamelesinde belirlenen çimlenme indeksi değeri diğer uyarıcı uygulamalarından daha düşük olmuştur. Benzer durum 300 mg/l ağır metal dozunda da gözlenmiştir. Ağır metal dozunun 300 mg/l’ye çıkması çimlenme indeksinin tüm uyarıcı uygulamaları için 150 mg/l ağır metal dozuna göre önemli derece de düşmesine neden olmuştur. Çimlenme indeksi açısından KNO₃ uygulamasının yüksek ağır metal dozlarında çimlenme üzerindeki etkisinin beklenen durumun aksine olumsuz yönde olduğu görülmüştür.

4.1.6. Çok Yıllık Çim Ortalama Çimlenme Süresi

Çok yıllık çimde farklı metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamaları altında belirlenen ortalama çimlenme süresi değerlerine ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.19’ da verilmiştir. Çizelge 4.19’da izlendiği gibi, ortalama çimlenme süresi üzerine ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamaları ile metal türü x metal dozu ikili interaksiyonunun etkisi % 1 seviyesinde önemli etkiye sahip olurken, deneme faktörlerinin diğer ikili ve üçlü interaksiyonlarının etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.19. Çok yıllık çimde farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen ortalama çimlenme süresi değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Metal Türü(Faktör A)	1	22.042	96.4580**
Metal Dozu(Faktör B)	3	12.103	17.6547**
Metal Türü x Metal Dozu(AB)	3	8.511	12.4145**
Ön Muamele(Faktör C)	2	5.066	11.0854**
Metal Türü x Ön Muamele(AC)	2	0.250	0.5464
Metal Dozu x Ön Muamele(BC)	6	0.930	0.6780
Metal Türü x Metal Dozu x Ön Muamele(ABC)	6	1.311	0.9565
Hata	72	16.453	

**P< 0.01 hata sınırları içerisinde önemli

Çok yıllık çimin ortalama çimlenme süresi üzerine metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen ortalama çimlenme süresi değerleri ve Duncan testine göre oluşan gruplar Çizelge 4.20’de verilmiştir. Çizelge 4.20’de izlendiği gibi metal türlerine bağlı olarak ortalama çimlenme süreleri önemli farklılıklar göstermiştir. Kadmiyum uygulaması sonucu belirlenen ortalama çimlenme süresi değeri 4.31 gün olurken, nikel uygulamasında belirlenen ortalama çimlenme süresi 5.27 gün olarak tespit edilmiştir. Bu durum nikelin çok yıllık çimin çimlenmesini kadmiyumdan daha fazla geciktirdiğini göstermektedir. Çalışkan (2009) farklı sebze türleri üzerinde yaptığı araştırmada ağır metallerin bitkilerin çimlenmesini geciktirdiğini ancak bu etkinin bitki türüne, ağır metal türüne ve uygulanan doza bağlı olarak farklılıklar gösterebildiğini bildirmiştir.

Çizelge 4.20. Çok yıllık çimde Farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen ortalama çimlenme süresi değerleri (gün)

Ön Muamele	Metal Dozu	Metal Türü		ORTALAMA (Ön Muamele)	
		Kadmiyum	Nikel		
	H ₂ O	0 mg/l	4.12	4.12	4.67 B*
		75 mg/l	4.14	5.77	
		150 mg/l	4.47	5.28	
		300 mg/l	4.29	5.20	
	GA ₃	0 mg/l	4.17	4.17	4.59 B
		75 mg/l	4.11	5.45	
		150 mg/l	3.94	5.70	
		300 mg/l	4.24	4.93	
KNO ₃	0 mg/l	4.34	4.34	5.11 A	
	75 mg/l	4.81	6.20		
	150 mg/l	4.62	6.44		
	300 mg/l	4.51	5.65		
ORTALAMA (Metal Türü)		4.31 B ⁺	5.27 A		
ORTALAMA (Metal Dozu)	0 mg/l	75 mg/l	150 mg/l	300 mg/l	
	4.21 B ⁺⁺	5.08 A	5.08 A	4.80 A	

(*) Aynı sütun içerisinde farklı büyük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

(+) Aynı satır içerisinde farklı büyük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

(++) Aynı satır içerisinde farklı büyük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Araştırma sonuçları farklı ağır metal dozlarına bağlı olarak çok yıllık çimin ortalama çimlenme süreleri önemli farklılık göstermiştir. Ağır metal dozlarına bağlı olarak ortalama çimlenme süreleri 4.21 gün ile 5.08 gün arasında değişiklik göstermiştir. Ağır metale maruz kalan tohumlar kontrole göre önemli derecede yavaş çimlenmişlerdir. Ağır metal uygulanan bitkilerin ortalama çimlenme süreleri ise benzer grupta yer almıştır. Bu durum ağır metallerin ortalama çimlenme süresini artırdığını bildiren Çalışkan (2009) ile Akıncı ve Akıncı (2011)'in bulguları ile uyum içerisinde.

Uygulanan uyarıcı ön muamele işlemleri de ortalama çimlenme süresi üzerinde önemli farklılıklar oluşmasına neden olmuştur. GA₃ uygulamasında ortalama çimlenme süresi 4.59 günle en hızlı çimlenmeyi sağlarken, H₂O uygulamasında belirlenen 4.67 gün ile GA₃ uygulamasına oldukça yakın bir ortalama çimlenme süresi sağlamıştır. KNO₃ uygulamasında ise ortalama çimlenme süresi (5.11 gün) önemli derecede uzayarak, diğer iki uygulamadan istatistiksel olarak farklı bir grupta yer almıştır. Bu durum KNO₃ uygulamasının kadmiyum ve nikel stresi altında çok yıllık çimin çimlenme süresi açısından beklenen faydayı sağlayamadığını göstermektedir. Uyarıcı

ön uygulamalarına tabi tutulan tohumların çimlenme sürelerine ve özelliklerine bu uygulamaların etkileri türlere ve koşullara bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Nitekim Galhaut ve ark. (2014) uyarıcı uygulamalarının ağır metalle bulaşık topraklarda kontrole göre önemli avantajlar sağlarken, bulaşık olmayan topraklarda bir farklılık oluşturmadığını ve kullanılan uyarıcıların etkisinin de farklı olduğunu bildirmişlerdir.

Varyans analizi sonuçları (Çizelge 4.19) ortalama çimlenme süresi üzerine metal türü x metal dozu interaksyonunun etkisinin önemli olduğunu göstermiştir. Metal türü x metal dozu interaksyonuna göre oluşan ortalama çimlenme süresi değerleri Çizelge 4.21’de verilmiştir.

Çizelge 4.21. Çok yıllık çimde farklı metal türü x metal dozu interaksyonu sonucu belirlenen ortalama çimlenme süresi değerleri (gün)

Metal Türü	Metal Dozu							
	Kontrol		75 mg/lt		150 mg/lt		300mg/lt	
Kadmiyum	4.21	c*	4.35	c	4.34	c	4.34	c
Nikel	4.21	c	5.81	a	5.81	a	5.26	b

(*) Aynı satır ve sütun içerisinde farklı küçük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Çizelge 4.21’de izlendiği gibi, kadmiyum stresi altındaki bitkilerin ortalama çimlenme süresi kontrolden itibaren en yüksek kadmiyum dozuna kadar önemli bir farklılık göstermemiştir. Nikel uygulamasında ise metal uygulanan bitkilerin çimlenme süresi kontrole göre önemli derecede uzun olmuştur. Özellikle 75 mg/l ve 150 mg/l nikel dozları çimlenme süresinin önemli derecede artmasına neden olmuştur. Farklı ağır metal türlerinde artan dozlarda çimlenme süresi açısından çok yıllık çimin farklı tepkiler göstermesi interaksyonun önemli çıkmasına neden olmuştur.

4.2. Kırmızı Yumak

4.2.1. Kırmızı Yumak Kök Uzunluğu

Kırmızı yumakta farklı metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamaları altında belirlenen kök uzunluğu değerlerine uygulanan varyans analiz sonuçları Çizelge 4.22’ de verilmiştir. Çizelge 4.22’de görüldüğü gibi, kök uzunluğu üzerine metal türü, metal dozu ile metal türü x metal dozu, metal dozu x ön muamele interaksyonlarının

%1 düzeyinde önemli etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Ön muamele uygulaması ile diğer faktör interaksiyonlarının kırmızı yumak kök uzunluğu üzerindeki etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.22. Kırmızı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen kök uzunluğu değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Metal Türü(Faktör A)	1	32.202	17.8478**
Metal Dozu(Faktör B)	3	266.318	147.6074**
Metal Türü x Metal Dozu(AB)	3	17.720	9.8213**
Ön Muamele(Faktör C)	2	0.985	0.5459
Metal Türü x Ön Muamele(AC)	2	1.103	0.6111
Metal Dozu x Ön Muamele(BC)	6	8.780	4.8664**
Metal Türü x Metal Dozu x Ön Muamele(ABC)	6	2.670	1.4800
Hata	72	1.804	

**P< 0.01 hata sınırları içerisinde önemli

Kırmızı yumağın kök uzunluğu üzerine metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen kök uzunluğu değerleri ve Duncan testine göre oluşan gruplar Çizelge 4.23’de verilmiştir. Çizelgede izlendiği gibi, kök uzunluğu üzerine metal türlerinin etkisi istatistiksel olarak önemli olmuştur. Kök uzunluğu değeri kadmiyum uygulamasında 5.79 mm ile nikel uygulamasında belirlenen kök uzunluğu değerinden (4.63 mm) önemli derecede yüksek olmuştur. Bu durum kırmızı yumağın kök uzunluğunun çimlenme döneminde nikelden daha fazla etkilendiğini göstermektedir. Benzer şekilde farklı bitkilerde nikel ve kadmiyumun etkilerini araştıran Peralta-Videa ve ark. (2004) ve Houshmandfar ve Moraghebi (2010) nikelin bitki fideleri üzerindeki ölümcül etkilerinin kadmiyumdan daha fazla olduğunu bildirmişlerdir.

Çizelge 4.23’de izlendiği gibi uygulanan ağır metal dozlarına bağlı olarak kırmızı yumağın kök uzunlukları arasındaki değişim istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Ağır metal uygulamalarının tamamı kontrole göre kök uzunluklarını önemli derecede azaltmıştır. Metal dozlarına bağlı olarak kök uzunlukları 2.74 mm ile 10.05 mm arasında değişmiştir. En yüksek kök uzunluğu kontrol uygulamasında belirlenirken, bu uygulamada belirlenen değer istatistiksel olarak diğer tüm uygulamalardan daha yüksek değere sahip olurken, artan dozlara bağlı olarak kök uzunluğu azalmıştır. 75 mg/lt metal

dozu uygulamasında elde edilen kök uzunluğu değeri 150 mg/lt ve 300 mg/lt uygulamalarından istatistiksel olarak daha yüksek olurken, en yüksek dozalar olan 150 ve 300 mg/lt dozları istatistiksel olarak birbirinden farksız olmuştur. Bulgularımıza paralel olarak nikel ve kadmiyumun kök gelişimi üzerindeki olumsuz etkileri diğer araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir (Erdoğan, 2005; Muhammad ve ark., 2008; Akıncı ve Akıncı, 2011; Shao ve ark., 2011).

Çizelge 4.23. Kırmızı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen kök uzunluğu değerleri (mm)

Ön Muamele	Metal Dozu	Metal Türü		ORTALAMA (Ön Muamele)	
		Kadmiyum	Nikel		
	H ₂ O	0 mg/l	11.00	11.00	5.15
		75 mg/l	6.50	2.92	
		150 mg/l	1.70	2.55	
		300 mg/l	3.06	2.49	
	GA ₃	0 mg/l	8.71	8.71	5.07
		75 mg/l	5.25	2.72	
		150 mg/l	5.65	3.51	
		300 mg/l	2.86	3.00	
KNO ₃	0 mg/l	10.37	10.37	5.40	
	75 mg/l	7.78	3.12		
	150 mg/l	4.39	2.19		
	300 mg/l	2.19	2.83		
ORTALAMA (Metal Türü)		5.79 A*	4.63 B		
ORTALAMA (Metal Dozu)	0 mg/l	75 mg/l	150 mg/l	300 mg/l	
	10.05 A ⁺	4.71 B	3.33 C	2.74 C	

(*) Aynı satır içerisinde farklı büyük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

(*) Aynı satır içerisinde farklı büyük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Varyans analizi sonuçları (Çizelge 4.22) uyarıcı ön uygulamalarının kök uzunluğu üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak önemsiz olduğunu göstermiştir. Uyarıcı ön uygulamalarına bağlı olarak kök uzunlukları 5.07 mm ile 5.40 mm arasında değişim göstermiştir. KNO₃ uygulamasında belirlenen değer (5.40 mm) ilk sırada yer alırken, bunu sırasıyla H₂O ve GA₃ uygulamaları izlemiş, ancak bu farklılık istatistiksel olarak önemsiz olmuştur (Çizelge 4.23).

Kök uzunluğu değerlerine uygulanan varyans analiz sonuçları (Çizelge 4.22) kırmızı yumağın kök uzunluğu değerleri üzerine metal türü x metal dozu ikili interaksyonun etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermiştir. Metal türü x

metal dozu interaksyonu sonucu belirlenen kök uzunluğu değerleri ve oluşan gruplar Çizelge 4.24’de verilmiştir.

Çizelge 4.24. Kırmızı yumakta farklı metal türü x metal dozu interaksyonu sonucu belirlenen kök uzunluğu değerleri (mm)

Metal Türü	Metal Dozu							
	Kontrol		75 mg/lt		150 mg/lt		300mg/lt	
Kadmiyum	10.03	a*	6.51	b	3.91	c	2.70	d
Nikel	10.03	a	2.92	cd	2.75	cd	2.77	cd

(*) Aynı satır ve sütun içerisinde farklı küçük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Çizelge 4.24’de izlendiği gibi, kontrol uygulamasında belirlenen kök uzunluğu değeri her iki metal türünün tüm dozlarında belirlenen kök uzunluğu değerlerinden istatistiksel olarak yüksek bulunmuştur. Genel olarak kadmiyum uygulanan bitkilerin kök uzunluğu nikel uygulananlara göre daha uzun olmuştur. Kadmiyum uygulamalarında kontrolden itibaren her artan doz için kademeli ve istatistiksel olarak önemli düşüşler meydana gelmiş ve her kadmiyum dozu ayrı bir grupta yer almıştır. Nikel stresine maruz kalan bitkilerin kök uzunluğu ise kontrole göre önemli bir düşüş göstermiş, ancak nikel dozları kendi içerisinde istatistiksel olarak benzer grupta yer almıştır. Bu durum nikelin düşük dozlardan itibaren kırmızı yumağın kök uzaması üzerinde oldukça toksik etkiler gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Varyans analizi sonucunda (Çizelge 4.22) metal dozu x ön muamele interaksyonun kök uzunluğunu önemli derecede etkilediği belirlenmiştir. Araştırmada belirlenen metal dozu ön muamele x interaksyonu sonucunda belirlenen kök uzunluğu değerleri Çizelge 4.25’te verilmiştir.

Çizelge 4.25. Kırmızı yumakta farklı ağır metal dozları ve ön muamele uygulamalarında belirlenen kök uzunluğu değerleri (mm)

Ön Muamele	Metal Dozu							
	Kontrol		75 mg/lt		150 mg/lt		300mg/lt	
H₂O	11.00	a	4.71	cd	2.12	f	2.77	ef
GA₃	8.77	b	3.98	d-e	4.58	c-d	2.93	ef
KNO₃	10.37	a	5.45	c	3.29	d-f	2.51	ef

(*) Aynı satır ve sütun içerisinde farklı küçük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Çizelge 4.25'te izlendiği gibi metal dozu x ön muamele ikili interaksiyonuna göre ortalama kök uzunluğu değerleri 2.51 mm ile 11.00 mm arasında değişim göstermiştir. Ağır metal uygulaması yapılmayan kontrol uygulamalarında daha yüksek kök uzunluğu değerleri elde edilirken artan metal dozları ile birlikte kök uzunluğu değerleri düşmüştür. Kontrol uygulamasında H₂O ve KNO₃ uygulamalarında belirlenen kök uzunluğu değeri GA₃ uygulamasında belirlenen değerden istatistiksel olarak daha yüksek olmuştur. 75 mg/l ağır metal dozunda ise GA₃ uygulamasında belirlenen değer KNO₃ uygulamasında belirlenen değerden istatistiksel olarak daha düşük olurken H₂O uygulaması ile aynı grupta yer almıştır. Ağır metal dozunun 150 mg/l'ye çıkması ile GA₃ ve KNO₃ uygulamalarının kök uzunluğu üzerinde ağır metallerin oluşturduğu stresi H₂O uygulamasına göre daha iyi baskıladığı görülmektedir. 300 mg/l ağır metal dozunda ise her üç ön uygulamanın da benzer etkiler gösterdiği görülmektedir. Bu durum, ağır metal stresi altındaki bitkilere uyarıcıların etkisinin dozlara bağlı olarak kırmızı yumağın kök uzunluğu üzerindeki etkisinin farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Nitekim metal dozu x ön muamele interaksiyonun önemli çıkması bu durumdan kaynaklanmış olabilir. Espanany ve ark. (2016), kadmiyum stresi altındaki çörekotu tohumlarında KNO₃ ön uygulaması ile kök uzunluğunda kontrole göre önemli artışlar olduğunu, ancak bitkinin fide gelişimi üzerine kadmiyumun olumsuz etkilerinin ortadan kaldırılmasında salisilik asit ön muamelesinin daha etkili olduğunu bildirmişlerdir. Ağır metal varlığında farklı bitkilerde uyarıcı ön uygulamaları ile kök uzunluklarının olumlu yönde etkilendiği diğer araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir (Qaisar ve ark., 2014 ; Shinwari ve ark., 2015; Moulick ve ark., 2016; Kumar ve ark. 2016).

4.2.2. Kırmızı Yumak Fide Uzunluğu

Kırmızı yumakta farklı metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamaları altında belirlenen fide uzunluğu değerlerine ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.26' de verilmiştir. Çizelgede izlendiği gibi metal dozu ve ön muamele uygulamalarının fide uzunluğu üzerinde % 1 düzeyinde önemli etkiye sahip olduğu, metal türü ile faktörlerin ikili ve üçlü interaksiyonlarının etkisinin ise istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.26. Kırmızı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen fide uzunluğu değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Metal Türü(Faktör A)	1	24.311	1.0397
Metal Dozu(Faktör B)	3	1054.019	45.0755**
Metal Türü x Metal Dozu(AB)	3	4.699	0.2009
Ön Muamele(Faktör C)	2	1517.515	64.8971**
Metal Türü x Ön Muamele(AC)	2	13.716	0.5866
Metal Dozu x Ön Muamele(BC)	6	37.274	1.5940
Metal Türü x Metal Dozu x Ön Muamele(ABC)	6	46.946	2.077
Hata	72	23.383	

**P< 0.01 hata sınırları içerisinde önemli

Kırmızı yumağın fide uzunluğu üzerine metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen fide uzunluğu değerleri ve Duncan testine göre oluşan gruplar Çizelge 4.27’da verilmiştir. Çizelge 4.27’da izlendiği gibi metal türlerine bağlı olarak fide uzunluklarında önemli farklılıklar meydana gelmemiştir. Kadmiyum uygulaması sonucu belirlenen fide uzunluğu değeri 25.46 mm olurken, nikel uygulamasında belirlenen ortalama fide uzunluğu değeri 24.25 mm olarak tespit edilmiştir.

Araştırmada artan metal dozlarına bağlı olarak fide uzunluklarında önemli azalmalar tespit edilmiş ve her bir doz istatistiksel olarak farklı bir grupta yer almıştır. Belirlenen fide uzunlukları 0, 75, 150 ve 300 mg/l dozları için sırasıyla 32.57, 27.43, 22.79 ve 17.03 mm olarak saptanmıştır. En yüksek doz olan 300 mg/l ağır metal uygulaması fide uzunluğunun kontrole göre % 47.7 azalmasına neden olmuştur.

Nikel ve kadmiyumun erken dönemde farklı bitki türlerinin fide gelişimi üzerindeki olumsuz etkileri diğer araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir. Bu bulguların aksine Kalaycıoğlu (2005) ısırgan bitkisinin boy uzunluğu üzerinde kadmiyumun olumsuz bir etki meydana getirmediğini bildirmiştir. Bu durum ağır metallerin etkisinin bitki türlerine göre farklılık gösterebileceğini ortaya koymaktadır.

Varyans analizi sonuçları (Çizelge 4.26) uyarıcı ön muamelelerinin de fide uzunluğu üzerindeki etkisinin önemli olduğunu göstermiştir. Ön muamele uygulamalarına bağlı olarak fide uzunlukları 19.07 mm ile 32.53 mm arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.27).

Çizelge 4.27. Kırmızı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen fide uzunluğu değerleri (mm)

Ön Muamele	Metal Dozu	Metal Türü		ORTALAMA (Ön Muamele)	
		Kadmiyum	Nikel		
	H ₂ O	0 mg/l	25.00	25.00	19.07 C*
		75 mg/l	22.51	17.79	
		150 mg/l	15.66	20.06	
		300 mg/l	12.50	14.03	
	GA ₃	0 mg/l	38.90	38.90	32.53 A
		75 mg/l	34.73	39.19	
		150 mg/l	34.10	26.32	
		300 mg/l	27.02	21.06	
KNO ₃	0 mg/l	33.82	33.82	23.27 B	
	75 mg/l	26.18	24.19		
	150 mg/l	21.79	18.80		
	300 mg/l	13.28	14.27		
ORTALAMA (Metal Türü)		25.46	24.25		
ORTALAMA (Metal Dozu)	0 mg/l	75 mg/l	150 mg/l	300 mg/l	
	32.57 A ⁺	27.43 B	22.79 C	17.03 D	

(*) Aynı sütun içerisinde farklı büyük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

(*) Aynı satır içerisinde farklı büyük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Ön muamele işlemlerinde GA₃ uygulamasında belirlenen fide uzunluğu 32.53 mm ile ilk sırada yer alırken, bunu 23.27 mm ile KNO₃ uygulaması takip etmiş ve H₂O uygulamasında belirlen fide uzunluğu değeri 19.07 mm ile son sırada yer almıştır. Elde edilen sonuçlar fide gelişimi açısından özellikle GA₃'ün iyi bir uyarıcı olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde ağır metal varlığında farklı uyarıcı uygulamalarının etkisinin farklılık gösterdiği diğer araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir (Espanany ve ark., 2016; Kumar ve ark., 2016).

Tablo genel olarak değerlendirildiğinde, hem kadmiyumun hem de nikelin kırmızı yumağın fide uzunluğu üzerinde artan dozlara bağlı olarak olumsuz etkisinin arttığı, kadmiyum ve nikel bulaşık alanlarda kırmızı yumak tohumlarının GA₃ ile ön muameleye tabi tutulmasının ağır metallerin olumsuz etkisini azalttığı söylenebilir.

4.2.3. Kırmızı Yumak Fide Ağırlığı

Kırmızı yumakta farklı metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamaları altında belirlenen fide ağırlığı değerlerine uygulanan varyans analiz sonuçları, fide

ağırlığı üzerine metal türü, metal dozu ile metal dozu x ön muamele ve metal türü x metal dozu x ön muamele interaksiyonlarının %1 düzeyinde, Ön muamele, metal türü x metal dozu interaksiyonunun ise %5 düzeyinde önemli etkiye sahip olduğunu, metal türü x ön muamele interaksiyonunun etkisinin ise istatistiksel olarak önemsiz olduğunu göstermiştir (Çizelge 4.28).

Çizelge 4.28. Kırmızı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen fide ağırlığı değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Metal Türü(Faktör A)	1	189.844	9.8425**
Metal Dozu(Faktör B)	3	630.844	32.7062**
Metal Türü x Metal Dozu(AB)	3	53.538	2.7757*
Ön Muamele(Faktör C)	2	68.094	3.5303*
Metal Türü x Ön Muamele(AC)	2	15.594	0.8085
Metal Dozu x Ön Muamele(BC)	6	137.802	7.1444**
Metal Türü x Metal Dozu x Ön Muamele(ABC)	6	69.497	3.6031**
Hata	72	19.288	

*P< 0.05 hata sınırları içerisinde önemli

**P< 0.01 hata sınırları içerisinde önemli

Araştırma sonucunda metal türüne bağlı olarak ortalama fide ağırlıkları kadmiyum stresi altındaki bitkilerde 18.44 mg, nikel stresi altındaki bitkilerde ise 15.63 mg olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.29). Ağır metal türlerine bağlı olarak belirlenen fide ağırlığı değerleri istatistiksel olarak farklı gruplarda yer almışlardır. Bu durum kırmızı yumağın kuru madde birikimi üzerindeki olumsuz etkinin nikelde daha yüksek olduğuna işaret etmektedir. Bitkilerin yetiştirme ortamında bulunan farklı ağır metallerin bitkilerin gelişimi üzerindeki etkilerinin farklı olduğu ve bu etkinin ağır metal türü ile birlikte bitki türüne de bağlı olarak değiştiği diğer araştırmacılar tarafından da ortaya konmuştur (Peralta-Videa ve ark., 2004; Kabir ve ark., 2008; Mami ve ark., 2011).

Varyans analizi sonuçları metal dozlarının fide ağırlığı üzerindeki etkisinin çok önemli olduğunu göstermiştir (Çizelge 4.28). Artan metal dozlarına bağlı olarak fide ağırlıkları azalma eğilimi göstermiştir. Araştırmada fide ağırlıkları 0, 75, 150 ve 300 mg/l ağır metal dozları için sırasıyla 22.92, 19.13, 15.04 ve 11.04 mg olarak belirlenmiştir.

Kontrolten itibaren metal dozundaki her artış fide ağırlığının bir önceki doza göre önemli derecede azalmasına neden olmuştur. Ağır metal dozunun 75 mg/l'ye çıkması fide ağırlığını kontrole göre % 16.5, 150 mg/l'ye çıkması % 34.4 ve 300 mg/l'ye çıkması ise % 51.8 azaltmıştır. Artan ağır metal dozlarına bağlı olarak fide ağırlığında önemli azalmaların meydana geldiği diğer araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir (Kabir ve ark., 2008; Muhammad ve ark., 2008; Mami ve ark., 2011; Shao ve ark., 2011).

Uygulanan ön muamele işlemleri kırmızı yumağın fide ağırlıkları üzerinde önemli farklılıklar oluşmasına neden olmuştur. GA₃ uygulamasında fide ağırlığı 18.69 mg ile en yüksek değere sahip olmuştur. H₂O uygulamasında ortalama fide ağırlığı değeri 16.47 mg olarak belirlenmiş ve KNO₃ uygulamasında belirlenen fide ağırlığı değeri (15.94 mg) ile istatistiksel olarak birbirinden farksız olmuştur. Bu durum GA₃ uygulamasının fide gelişimini desteklediğini ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.29. Kırmızı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen fide ağırlığı değerleri (mg)

Ön Muamele	Metal Dozu	Metal Türü		ORTALAMA (Ön Muamele)	
		Kadmiyum	Nikel		
	H ₂ O	0 mg/l	19.25 a-f [□]	19.25 a-f	16.47 B*
		75 mg/l	16.75 d-g	12.50 f-ı	
		150 mg/l	18.50 b-f	16.25 d-g	
		300 mg/l	14.75 d-h	14.75 d-h	
	GA ₃	0 mg/l	24.25 a-c	24.25 a-c	18.69 A
		75 mg/l	20.25 a-e	26.00 a	
		150 mg/l	18.25 b-f	10.00 g-ı	
		300 mg/l	20.75 a-e	5.75 ıj	
KNO ₃	0 mg/l	25.25 ab	25.25 ab	15.94 B	
	75 mg/l	22.00 a-d	17.50 c-f		
	150 mg/l	13.50 e-h	13.75 e-h		
	300 mg/l	7.75 h-j	2.50 ı		
ORTALAMA (Metal Türü)		18.44 A ⁺	15.63 B		
ORTALAMA (Metal Dozu)	0 mg/l	75 mg/l	150 mg/l	300 mg/l	
	22.92 A ⁺⁺	19.13 B	15.04 C	11.04 D	

(*) Aynı sütun içerisinde farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

(†) Aynı satır içerisinde farklı harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

(□) Aynı satır ve sütun içerisinde farklı küçük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

(++) Aynı satır içerisinde farklı büyük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Fide ağırlığı değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları (Çizelge 4.28) fide ağırlığı üzerine metal türü x metal dozu ikili interaksyonunun etkisinin önemli olduğunu göstermiştir. Metal türü x metal dozu ikili interaksyonuna göre saptanan ortalama fide ağırlığı değerleri Çizelge 4.30’da verilmiştir.

Çizelge 4.30’da izlendiği gibi nikel stresi altında belirlenen fide ağırlığı değerleri 300 mg/l dozu dışındaki dozlarda kadmiyum stresi altındaki aynı dozdaki bitkilerde belirlenen değerlerden daha düşük olmakla beraber istatistiksel olarak aynı grupta yer almışlardır. Dozun 300 mg/l’ye çıkması fide ağırlığının nikel uygulamasında kadmiyumdan önemli derecede düşük olmasına neden olmuştur. Bu durum 0, 75 ve 150 mg/l dozlarında kadmiyum ve nikelin kırmızı yumak üzerindeki etkisinin birbirine yakın olduğunu, ancak 300 mg/l dozunda nikelin kadmiyumdan daha yüksek bir toksiteye sahip olduğunu göstermiştir.

Kırmızı yumakta belirlenen fide ağırlığı değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları metal dozu x ön muamele interaksyonunun etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğunu ortaya koymuştur (Çizelge 4.28). Metal türü x ön muamele interaksyonuna göre belirlenen ortalama fide ağırlığı değerleri Çizelge 4.31’da verilmiştir.

Çizelge 4.30. Kırmızı yumakta farklı metal türü x metal dozu interaksyonu sonucu belirlenen fide ağırlığı değerleri (mg)

Metal Türü	Metal Dozu			
	Kontrol	75 mg/lt	150 mg/lt	300mg/lt
Kadmiyum	22.92 a*	19.67 ab	16.75 bc	14.42 C
Nikel	18.92 a	18.58 b	13.33 c	7.67 d

(*) Aynı satır ve sütun içerisinde farklı küçük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Çizelge 4.31. Kırmızı yumakta farklı ağır metal dozları ve ön muamele uygulamalarında belirlenen kök uzunluğu değerleri (mm)

Ön Muamele	Metal Dozu			
	Kontrol	75 mg/lt	150 mg/lt	300mg/lt
H₂O	19.25 c-e	14.50 e-f	17.38 d-f	14.75 ef
GA₃	24.25 ab	23.13 a-c	14.13 f	13.25 f
KNO₃	25.25 a	19.75 b-d	13.63 f	5.13 g

(*) Aynı satır ve sütun içerisinde farklı küçük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Kontrol ve 75 mg/l ağır metal dozlarında GA_3 ve KNO_3 uygulamalarının fide gelişimi üzerinde olumlu etkiye neden olduğu görülmektedir. Bu iki ağır metal dozu etkisindeki tohumlara GA_3 ve KNO_3 ile ön muamelede bulunulması saf suda bekletmeye göre daha yüksek fide ağırlıklarının elde edilmesine neden olmuştur. Ağır metal dozunun 150 ve 300 mg/l'ye çıkması GA_3 ve KNO_3 uyarıcı ön muamelelerinin etkisini ortadan kaldırmıştır. 150 ve 300 mg/l ağır metal dozlarında saf suda bekletme uygulamasında belirlenen fide ağırlığı değerleri diğer iki uyarıcı uygulamasından daha yüksek fide ağırlığı değerleri elde edilmesine neden olmuş, ancak, 300 mg/l ağır metal dozunda KNO_3 uygulaması hariç, aralarındaki fark istatistiksel olarak önemsiz olmuştur. 300 mg/l ağır metal dozunda KNO_3 uyarıcı ön muamelesinde belirlenen kırmızı yumak fide ağırlığı değeri diğer tüm uygulamalardan istatistiksel olarak daha düşük olmuştur. Bu durum 150 mg/l üzerinde ağır metal bulaşmış olan alanlarda kırmızı yumak fide gelişimi açısından GA_3 veya KNO_3 uygulanmasının herhangi bir avantaja sebep olamadığını göstermiştir.

Varyans analizi sonuçları (Çizelge 4. 28) metal türü x metal dozu x ön muamele üçlü interaksiyonunun fide ağırlığı üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermiştir. Çizelge 4.29'da izlendiğinde, tüm uygulamalar arasında fide ağırlığı değerleri 2.5 mg ile 26.00 mg arasında değişmiştir. KNO_3 uygulanan tohumlarda yüksek ağır metal dozlarındaki fide ağırlığı azalışı diğer ön uygulamalardaki azalmadan daha yüksek olmuştur. GA_3 ön muamelesinin fide ağırlığı üzerindeki etkisi ise metal türüne göre farklılık göstermiştir. Kadmiyum stresi altındaki bitkilerin fide ağırlığındaki azalma en düşük ve en yüksek değer arasında 6.00 mg olurken, nikel stresi altındaki bitkilerde bu fark 18.5 mg olmuştur. Bu durum GA_3 'ün kadmiyumla bulaşık alanlarda fide gelişimini yüksek dozlarda da geliştirdiğini, ancak nikel ile bulaşık alanlarda özellikle 150 mg/l üzerinde nikel bulunan alanlarda etkinliğini yitirdiğini göstermektedir. Saf suda bekletilen tohumlardan elde edilen fidelerin ağırlıkları arasındaki değişim ise daha düşük olmuştur. Kadmiyum stresi altındaki saf suda bekletilen tohumlarda belirlenen en yüksek ve en düşük değerler arasındaki fark 4.5 mg olurken, nikel stresi altındaki bitkilerde 6.75 mg olmuştur. Bu durum yüksek dozlarda ağır metallerle uyarıcıların reaksiyonundan kaynaklanmış olabilir.

4.2.4. Kırmızı Yumak Çimlenme Oranı

Kırmızı yumakta farklı metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamaları altında belirlenen fide ağırlığı değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları, çimlenme oranı üzerine metal türü, metal dozu, ön muamele, metal türü x metal dozu ve metal dozu x ön muamele ikili interaksiyonlarının %1 düzeyinde önemli etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Metal türü x ön muamele ikili interaksiyonu ile deneme faktörlerinin üçlü interaksiyonunun çimlenme oranı üzerindeki etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz olmuştur (Çizelge 4.32).

Kırmızı yumağın farklı metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen çimlenme oranı değerleri ve Duncan testine göre oluşan gruplar Çizelge 4.33'de verilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre ağır metal türüne bağlı olarak çimlenme oranlarının önemli farklılık gösterdiği, kadmiyum stresi altında kırmızı yumağın çimlenme oranının (% 64.31) nikel uygulaması altındaki bitkilerde belirlenen çimlenme oranından (% 52.36) önemli derecede yüksek olduğu belirlenmiştir. Nitekim Peralta-Videa ve ark. (2004) ve Houshmandfar ve Moraghebi (2010) nikelin bitki fideleri üzerindeki ölümcül etkilerinin kadmiyumdan daha fazla olduğunu bildirmişlerdir. Bununla birlikte çimlenme döneminde sebze türlerinin gelişimi üzerine ağır metallerin etkilerini araştırdıkları çalışmada Çalışkan (2009) kadmiyumun nikelden daha toksik etkiye sahip olduğunu bildirmiştir.

Çizelge 4.32. Kırmızı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen çimlenme oranı değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Metal Türü(Faktör A)	1	3424.751	24.3880**
Metal Dozu(Faktör B)	3	3830.616	27.2782**
Metal Türü x Metal Dozu(AB)	3	988.403	7.0385**
Ön Muamele(Faktör C)	2	1043.321	7.4296**
Metal Türü x Ön Muamele(AC)	2	75.452	0.5373
Metal Dozu x Ön Muamele(BC)	6	549.869	3.9157**
Metal Türü x Metal Dozu x Ön Muamele(ABC)	6	174.869	1.2451
Hata	72	140.428	

**P< 0.01 hata sınırları içerisinde önemli

Ağır metal dozlarındaki artışa bağlı olarak çimlenme oranları önemli farklılık göstermiştir. Artan dozlara bağlı olarak (0, 75, 150 ve 300 mg/l için sırasıyla) çimlenme oranları % 73.33, % 63.06, % 52.78 ve % 44.17 olarak belirlenmiştir. Artan doza bağlı olarak sürekli bir düşüş meydana gelmiş ve her bir ağır metal dozu için belirlenen ortalama çimlenme oranı değeri istatistiksel olarak farklı bir grupta yer almıştır. Çimlenme oranı, artan ağır metal dozlarına göre sırasıyla kontrole göre %14, %21 ve % 40 oranında azalmıştır. Ortamda ağır metallerin bulunmasının ve artan dozlarda bitkilerin çimlenmeleri üzerindeki olumsuz etkinin arttığı diğer araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir (Çalışkan, 2009; Kabir ve ark., 2008; Housmandfar ve Moraghebi, 2011). Uygulanan ön muamele işlemleri kırmızı yumağın çimlenme oranı üzerinde önemli farklılıklar oluşmasına neden olmuştur (Çizelge 4.33).

Saf suda (H₂O) bekletilen tohumların çimlenme oranı GA₃ ve KNO₃ ile ön muameleye tabi tutulan tohumlardan daha yüksek olmuştur. Saf suda bekletilen tohumlarda ortalama çimlenme oranı % 64.79 olurken, GA₃ ve KNO₃ uygulamasında ise çimlenme oranları sırasıyla % 56.25 ve 53.96 olarak belirlenmiştir. Bu durum ağır metallerle birlikte ortamda bulunan çimlenme uyarıcıların olumsuz etkide de bulunabileceğini göstermektedir. Faktörlerin üçlü interaksyonu önemsiz olmakla birlikte tabloya genel olarak bakıldığında, özellikle nikelin 150 ve 300 mg/l dozlarında uyarıcılarla birlikte bulunduğu uygulamaların kırmızı yumak tohumlarının çimlenmesi için daha toksik bir ortamın bulunduğuna işaret etmektedir.

Fide ağırlığı değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları (Çizelge 4.32) çimlenme oranı üzerine metal türü x metal dozu ikili interaksyonunun etkisinin önemli olduğunu göstermiştir. Metal türü x metal dozu ikili interaksyonuna göre saptanan ortalama çimlenme oranı değerleri Çizelge 4.34’de verilmiştir.

Çizelge 4.34’da izlendiği gibi, her iki metal türünde de artan dozlara bağlı olarak kırmızı yumağın çimlenme oranı önemli derecede azalma eğilimi göstermiştir. Ancak nikkelle bulaşık ortamda bulunan bitkilerin çimleneme oranı, kadmiyum bulunan ortama göre daha şiddetli olmuştur. Kadmiyum bulunan ortamdaki çimlenme oranları istatistiksel olarak kontrolden düşük olurken, kadmiyumun 75, 150 ve 300 mg/l dozlarındaki çimlenme oranları istatistiksel olarak farksız olmuştur. Nikele maruz kalan bitkilerde ise kontrolden itibaren her doz arasında önemli azalmalar görülmüş ve her

uygulama ayrı bir grupta yer almıştır. Bu durum kırmızı yumağın çimlenmesi üzerinde nikelin olumsuz etkilerinin kadmiyumdan daha yüksek olduğunu göstermiştir

Çizelge 4.33. Kırmızı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen çimlenme oranı değerleri (%)

Ön Muamele	Metal Dozu	Metal Türü		ORTALAMA (Ön Muamele)	
		Kadmiyum	Nikel		
	H ₂ O	0 mg/l	76.67	76.67	64.79 A*
		75 mg/l	65.00	60.00	
		150 mg/l	70.00	46.67	
		300 mg/l	66.67	56.67	
	GA ₃	0 mg/l	66.67	66.67	56.25 B
		75 mg/l	65.00	68.33	
		150 mg/l	55.00	45.00	
		300 mg/l	60.00	23.22	
KNO ₃	0 mg/l	76.67	76.67	53.96 B	
	75 mg/l	63.34	56.67		
	150 mg/l	60.00	40.00		
	300 mg/l	46.66	11.67		
ORTALAMA (Metal Türü)		64.31 A ⁺	52.36 B		
ORTALAMA (Metal Dozu)	0 mg/l	75 mg/l	150 mg/l	300 mg/l	
	73.33 A ⁺⁺	63.06 B	52.78 C	44.17 D	

(*) Aynı sütun içerisinde farklı büyük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

(*) Aynı satır içerisinde farklı büyük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

(++) Aynı satır içerisinde farklı büyük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Çimlenme oranı değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları metal dozu x ön muamele ikili interaksiyonun etkisinin % 1 düzeyinde önemli etkiye sahip olduğunu göstermiştir (Çizelge 4.32). Metal dozu x ön muamele interaksiyonuna göre oluşan ortalama çimlenme oranı değerleri Çizelge 4.35’ te verilmiştir.

Çizelge 4.35’de izlendiği gibi ağır metal uygulaması yapılmayan uygulamalar yüksek çimlenme oranlarına sahip olurken, ağır metal dozlarına bağlı olarak uyarıcı ön uygulamalarına bağlı olarak çimlenme oranları farklı eğilimler göstermiştir. Saf suda bekletilen tohumlarda ağır metale maruz kalan tohumların çimlenme oranı kontrolden düşük olurken, ağır metal dozları arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemsiz olmuştur.

Çizelge 4.34. Kırmızı yumakta farklı metal türü x metal dozu interaksyonu sonucu belirlenen çimlenme oranı değerleri (%)

Metal Türü	Metal Dozu							
	Kontrol		75 mg/lt		150 mg/lt		300mg/lt	
Kadmiyum	73.33	a*	64.45	ab	61.67	b	57.78	b
Nikel	73.33	a	61.67	b	43.89	c	30.56	d

(*) Aynı satır ve sütun içerisinde farklı küçük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Çizelge 4.35. Kırmızı yumakta farklı metal dozu x ön muamele interaksyonu sonucu belirlenen çimlenme oranı değerleri (%)

Metal Türü	Metal Dozu							
	Kontrol		75 mg/lt		150 mg/lt		300mg/lt	
H₂O	76.67	a*	62.50	bc	58.33	bc	61.67	bc
GA₃	66.67	ab	66.67	ab	50.00	cd	41.67	d
KNO₃	76.67	a	60.00	bc	50.00	cd	29.17	e

(*) Aynı satır ve sütun içerisinde farklı küçük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

GA₃ ile ön muameleye tabi tutulan tohumlarda kontrol ve 75/mg/l uygulamalarında belirlenen çimlenme oranları benzer olurken, 150 ve 300 mg/l ağır metal uygulamaları benzer grupta yer almıştır. KNO₃ uyarıcı ön uygulamasında 300 mg/l ağır metal dozunda diğer uyarıcıların uygulandığı 300 mg/l ağır metal uygulamalarına göre çimlenme oranı önemli derecede düşük olmuştur.

4.2.5. Kırmızı Yumak Çimlenme İndeksi

Kırmızı yumakta farklı metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamaları altında belirlenen çimlenme indeksi değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.36' da verilmiştir.

Çizelge 4.36'da izlendiği gibi Metal türü, metal dozu, ön muamele uygulamaları ile metal türü x metal dozu, ikili interaksyonun çimlenme indeksi üzerinde % 1 düzeyinde, metal dozu x ön muamele ikili interaksyonunun ise % 5 düzeyinde önemli etkiye sahip oluşu belirlenmiştir. Metal türü x ön muamele ve deneme faktörlerinin üçlü interaksyonunun etkileri ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.36. Kırmızı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen çimlenme indeksi değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Metal Türü(Faktör A)	1	31.293	43.8338**
Metal Dozu(Faktör B)	3	22.439	31.4319**
Metal Türü x Metal Dozu(AB)	3	6.660	9.3286**
Ön Muamele(Faktör C)	2	9.532	13.3518**
Metal Türü x Ön Muamele(AC)	2	1.380	1.9325
Metal Dozu x Ön Muamele(BC)	6	1.865	2.6129*
Metal Türü x Metal Dozu x Ön Muamele(ABC)	6	0.946	1.3249
Hata	72	0.714	

*P< 0.05 hata sınırları içerisinde önemli

**P< 0.01 hata sınırları içerisinde önemli

Kırmızı yumağın farklı metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen çimlenme indeksi değerleri ve Duncan testine göre oluşan gruplar Çizelge 4.37’de verilmiştir. Çizelge 4.37’de izlendiği gibi metal türlerine bağlı olarak çimlenme indeksinde önemli farklılıklar meydana gelmemiştir. Kadmiyum stresi altındaki bitkilerde belirlenen çimlenme indeksi değeri 3.34 olurken, nikel stresi altındaki bitkilerde belirlenen ortalama çimlenme indeksi değeri 2.19 olarak tespit edilmiştir. Nitekim Çalışkan (2009), ağır metallerin çimlenme üzerindeki olumsuz etkilerinin metalin türüne ve dozuna bağlı olarak farklılık gösterebildiğini bildirmiştir.

Varyans analizi sonuçları metal dozlarının çimlenme indeksi üzerindeki etkisinin çok önemli olduğunu göstermiştir (Çizelge 4.36). Bitkilerin ağır metale maruz kalması çimlenme indeksinde kontrole göre önemli bir azalmaya neden olmuştur. Kontrol uygulamasında 4.21 olan çimlenme indeksi değeri, 75, 150 ve 300 mg/l ağır metal dozları için sırasıyla 2.36, 2.34 ve 2.14 olarak belirlenmiştir.

Ağır metal uygulanan bitkilerin çimlenme indeksi kontrolden yüksek olmakla beraber kendi içinde birbirinden farksız olmuştur. Ağır metale maruz kalan bitkilerin çimlenme indeksinde önemli azalmaların meydana geldiği Çalışkan (2009) ve Akıncı ve Akıncı (2011 tarafından da bildirilmiştir.

Çizelge 4.37. Kırmızı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen çimlenme indeksi değerleri

Ön Muamele	Metal Dozu	Metal Türü		ORTALAMA (Ön Muamele)	
		Kadmiyum	Nikel		
	H ₂ O	0 mg/l	3.69	3.69	2.75 B*
		75 mg/l	2.30	1.95	
		150 mg/l	3.93	1.79	
		300 mg/l	2.96	1.70	
	GA ₃	0 mg/l	4.93	4.93	3.32 A
		75 mg/l	3.72	2.68	
		150 mg/l	3.10	1.46	
		300 mg/l	4.76	0.96	
KNO ₃	0 mg/l	4.00	4.00	2.23 C	
	75 mg/l	1.91	1.63		
	150 mg/l	2.56	1.21		
	300 mg/l	2.18	0.32		
ORTALAMA (Metal Türü)		3.34 A ⁺	2.19 B		
ORTALAMA (Metal Dozu)	0 mg/l	75 mg/l	150 mg/l	300 mg/l	
	4.21 A ⁺⁺	2.36 B	2.34 B	2.14 B	

(*) Aynı sütun içerisinde farklı büyük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

(+) Aynı satır içerisinde farklı büyük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

(++) Aynı satır içerisinde farklı büyük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Varyans analizi sonuçları (Çizelge 4.36) uyarıcı ön muamelelerinin çimlenme indeksi üzerindeki etkisinin önemli olduğunu göstermiştir. Ön muamele uygulamalarına bağlı olarak çimlenme indeksi değerleri 2.23 ile 3.32 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.37). Ön muamele işlemlerinde GA₃ uygulamasında belirlenen çimlenme indeksi değeri 3.32 ile ilk sırada yer alırken, bunu 2.75 ile H₂O uygulaması takip etmiş ve KNO₃ uygulamasında belirlen fide uzunluğu değeri 2.23 ise son sırada yer almıştır. Elde edilen sonuçlar çimlenmenin teşvik edilmesi açısından özellikle GA₃'ün en iyi etkiyi gösterdiği tespit edilmiştir. Espanany ve ark. (2016) benzer şekilde ağır metal varlığında farklı uyarıcı uygulamalarının etkisinin farklılık gösterdiğini bildirmişlerdir. Ayrıca uyarıcı ön uygulamalarında kullanılan uyarıcının dozu da çimlenme üzerindeki etkide belirleyici rol oynayabilmektedir (Sneideris ve ark., 2015).

Metal türü x metal dozu uygulamaları sonucu hesaplanan ortalama çimlenme indeksi değerleri ve oluşan Duncan grupları Çizelge 4.38'de verilmiştir.

Çizelge 4.38. Kırmızı yumakta farklı metal türü x metal dozu interaksyonu sonucu belirlenen çimlenme indeksi değerleri (%)

Metal Türü	Metal Dozu							
	Kontrol		75 mg/lt		150 mg/lt		300mg/lt	
Kadmiyum	4.21	a*	2.64	b	3.20	b	3.30	b
Nikel	4.21	a	2.09	cd	1.49	de	0.99	e

(*) Aynı satır ve sütun içerisinde farklı küçük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Çizelge 4.38’de izlendiği gibi, her iki metal türünde de ortamın ağır metalle bulaşık olması çimlenme indeksi önemli derecede azaltmış ve tüm ağır metal uygulaması içeren muamelelerde belirlenen çimlenme indeksi değerleri kontrole göre önemli derecede düşük olmuştur. Kadmiyum uygulamalarının çimlenme indeksi değerleri kendi içerisinde istatistiksel olarak farksız olurken, nikele maruz kalan bitkilerin çimlenme indeksleri 300 mg/l dozunda kontrol ve 75 mg/l dozlarında belirlenen değerden istatistiksel olarak önemli derecede düşük olurken, 150 mg/l dozu ile istatistiksel olarak farksız olmuştur.

Kırmızı yumakta hesaplanan çimlenme indeksi değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları (Çizelge 4.36) metal dozu x ön muamele interaksyonunun etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermiştir. Metal dozu x ön muamele interaksyonuna göre hesaplanan ortalama çimlenme indeksi değerleri Çizelge 4.39’de verilmiştir.

Çizelge 4.39. Kırmızı yumakta farklı metal dozu x ön muamele interaksyonu sonucu belirlenen çimlenme indeksi değerleri

Metal Türü	Metal Dozu							
	Kontrol		75 mg/lt		150 mg/lt		300mg/lt	
H₂O	3.69	bc*	2.12	e-g	2.86	c-e	2.33	d-f
GA₃	4.93	a	3.20	b-d	2.28	d-f	2.86	c-e
KNO₃	4.00	b	1.77	fg	1.89	fg	1.24	g

(*) Aynı satır ve sütun içerisinde farklı küçük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Çizelge 4.39’de izlendiği gibi, kontrol ve 75 mg/l ağır metal dozunda GA₃ ön muamelesinde belirlenen çimlenme indeksi değeri diğer iki ön muamele uygulamasında belirlenen değerden istatistiksel olarak yüksek olmuştur. Ağır metal dozunun 150 ve 300 mg/l’ye çıkmasıyla ön muamele uygulamaların etkileri farklılık göstermiştir. 150

mg/l ağır metal dozunda H₂O uygulamasında belirlenen değer GA₃ uygulamasında belirlenen değerden daha yüksek olmuş ancak bu farklılık istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. 300 mg/l ağır metal dozunda ise GA₃ uygulamasında belirlenen değer H₂O uygulamasında belirlenen değerden daha yüksek bulunmuştur. KNO₃ ön muamelesi ise çimlenme indeksi değeri açısından ağır metal stresi bulunan tüm uygulamalarda en düşük değere sahip olmuştur. Bu durum yeterli çimlenme açısından KNO₃ ile ön muamelenin uygun olmadığını göstermiştir.

4.2.6. Kırmızı Yumak Ortalama Çimlenme Süresi

Kırmızı yumakta farklı metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamaları altında belirlenen ortalama çimlenme süresi değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.40’ da verilmiştir. Çizelge 4.40’da izlendiği gibi, ortalama çimlenme süresi üzerine ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele dozlarının etkisi % 1 seviyesinde önemli etkiye sahip olurken, deneme faktörlerinin interaksiyonlarının etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.40. Kırmızı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen ortalama çimlenme süresi değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Metal Türü(Faktör A)	1	13.380	14.9264**
Metal Dozu(Faktör B)	3	7.772	8.6698**
Metal Türü x Metal Dozu(AB)	3	1.554	1.7341
Ön Muamele(Faktör C)	2	5.379	6.0004**
Metal Türü x Ön Muamele(AC)	2	0.875	0.9760
Metal Dozu x Ön Muamele(BC)	6	0.966	1.0771
Metal Türü x Metal Dozu x Ön Muamele(ABC)	6	0.447	0.4984
Hata	72	0.896	

**P< 0.01 hata sınırları içerisinde önemli

Kırmızı yumağın ortalama çimlenme süresi üzerine metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen ortalama çimlenme süresi değerleri ve Duncan testine göre oluşan gruplar Çizelge 4.41’de verilmiştir.

Çizelge 4.41’te izlendiği gibi metal türlerine bağlı olarak ortalama çimlenme süreleri önemli farklılıklar göstermiştir. Kadmiyum uygulaması sonucu belirlenen ortalama çimlenme süresi değeri 3.41 gün olurken, nikel uygulamasında belirlenen ortalama çimlenme süresi 4.15 gün olarak tespit edilmiştir. Bu durum nikelin kırmızı yumağın kadmiyumdan daha fazla geciktirdiğini göstermektedir. Çalışkan (2009) farklı sebze türleri üzerinde yaptığı araştırmada ağır metallerin bitkilerin çimlenmesini geciktirdiğini ancak bu etkinin bitki türüne, ağır metal türüne ve uygulanan doza bağlı olarak farklılıklar gösterebildiğini bildirmiştir.

Uygulanan uyarıcı ön muamele işlemleri de ortalama çimlenme süresi üzerinde önemli farklılıklar oluşmasına neden olmuştur. GA₃ uygulamasında ortalama çimlenme süresi 3.33 günle en hızlı çimlenmeyi sağlarken diğer iki uygulamadan istatistiksel olarak daha hızlı çimlenmeyi sağlamıştır. H₂O uygulamasında belirlenen ortalama çimlenme süresi 3.88 gün ile KNO₃ uygulamasında belirlenen ortalama çimlenme süresi 4.13 gün istatistiksel olarak benzer grupta yer almıştır. Bu durum GA₃ uygulamasının kadmiyum ve nikel stresi altında kırmızı yumağın çimlenme süresi açısından diğer uyarıcılardan daha etkili olduğunu göstermektedir. Uyarıcı ön uygulamalarına tabi tutulan tohumların çimlenme sürelerine ve özelliklerine bu uygulamaların etkileri türlere ve koşullara bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Nitekim Galhaut ve ark. (2014) uyarıcı uygulamalarının ağır metalle bulaşık topraklarda kontrole göre önemli avantajlar sağlarken, bulaşık olmayan topraklarda bir farklılık oluşturmadığını ve kullanılan uyarıcıların etkisinin de farklı olduğunu bildirmişlerdir.

Araştırma sonuçları farklı ağır metal dozlarına bağlı olarak kırmızı yumağın ortalama çimlenme süreleri üzerinde önemli bir farklılık meydana getirmiştir. Ağır metal dozlarına bağlı olarak kırmızı yumağın ortalama çimlenme süreleri 3.07 gün ile 4.45 gün arasında değişiklik göstermiştir. En hızlı çimlenme ağır metalin bulunmadığı kontrol uygulamasında gerçekleşirken, bu uygulama istatistiksel olarak ağır metal stresinin bulunduğu tüm uygulamalardan farklı bir grupta yer almıştır. 75 mg/l ağır metal uygulamasında belirlenen ortalama çimlenme süresi 150 mg/l dozunda belirlenen değerden önemli derecede kısa olurken, 300 mg/l dozunda belirlenen değerle istatistiksel olarak benzer grupta yer almıştır. 150 ve 300 mg/l ağır metal dozlarında belirlenen değerler ise istatistiksel olarak farksız olmuştur. Bu durum ağır metallerin

ortalama çimlenme süresini artırdığını bildiren Çalışkan (2009) ile Akıncı ve Akıncı (2011)'in bulguları ile uyushmaktadır.

Çizelge 4.41. Kırmızı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen ortalama çimlenme süresi değerleri (gün)

Ön Muamele	Metal Dozu	Metal Türü		ORTALAMA (Ön Muamele)	
		Kadmiyum	Nikel		
	H ₂ O	0 mg/l	3.36	3.36	3.88 A*
		75 mg/l	3.23	3.58	
		150 mg/l	4.13	4.33	
		300 mg/l	3.83	5.12	
	GA ₃	0 mg/l	2.54	2.54	3.33 B
		75 mg/l	2.64	4.34	
		150 mg/l	3.25	4.90	
		300 mg/l	2.73	3.74	
KNO ₃	0 mg/l	3.32	3.19	4.13 A	
	75 mg/l	3.58	4.74		
	150 mg/l	4.68	5.39		
	300 mg/l	3.60	4.53		
ORTALAMA (Metal Türü)		3.41 B ⁺	4.15 A		
ORTALAMA (Metal Dozu)		0 mg/l	75 mg/l	150 mg/l	300 mg/l
		3.07 C ⁺⁺	3.70 B	4.45 A	3.92 AB

(*) Aynı sütun içerisinde farklı büyük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

(*) Aynı satır içerisinde farklı büyük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

(++) Aynı satır içerisinde farklı büyük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

4.3. Kamışsı Yumak

4.3.1. Kamışsı Yumak Kök Uzunluğu

Kamışsı yumakta farklı metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamaları altında belirlenen kök uzunluğu değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.42' de verilmiştir. Çizelge 4.42'de görüldüğü gibi, kök uzunluğu üzerine metal dozunun % 1 düzeyinde, ön muamele ve metal dozu x ön muamele interaksiyonunun %5 düzeyinde önemli etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Ağır metal türü, Metal türü x metal dozu, metal türü ön muamele ikili interaksiyonları ile deneme faktörlerinin üçlü interaksiyonunun kamışsı yumak kök uzunluğu üzerindeki etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.42. Kamışsı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen kök uzunluğu değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Metal Türü(Faktör A)	1	9.450	1.4744
Metal Dozu(Faktör B)	3	113.237	17.6666**
Metal Türü x Metal Dozu(AB)	3	5.264	0.8213
Ön Muamele(Faktör C)	2	30.396	4.7379*
Metal Türü x Ön Muamele(AC)	2	11.943	1.8633
Metal Dozu x Ön Muamele(BC)	6	14.685	2.2911*
Metal Türü x Metal Dozu x Ön Muamele(ABC)	6	11.680	1.8222
Hata	72	6.410	

*P< 0.05 hata sınırları içerisinde önemli

**P< 0.01 hata sınırları içerisinde önemli

Kamışsı yumağın kök uzunluğu üzerine metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen kök uzunluğu değerleri ve Duncan testine göre oluşan gruplar Çizelge 4.43’de verilmiştir. Çizelgede izlendiği gibi, kök uzunluğu üzerine metal türlerinin etkisi istatistiksel olarak önemli olmamıştır. Kök uzunluğu değeri kadmiyum uygulamasında 6.25 mm ile nikel uygulamasında belirlenen kök uzunluğu değerinden 5.62 mm daha yüksek olmuş ancak bu fark istatistiksel olarak önemli olmamıştır

Çizelge 4.43’de izlendiği gibi uygulanan ağır metal dozlarına bağlı olarak kamışsı yumağın kök uzunlukları arasındaki değişim istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Ağır metal uygulamalarının tamamı kontrole göre kök uzunluklarını önemli derecede azaltmıştır. Metal dozlarına bağlı olarak kök uzunlukları 3.55 mm ile 8.80 mm arasında değişmiştir. En yüksek kök uzunluğu kontrol uygulamasında belirlenirken, bu uygulamada belirlenen değer istatistiksel olarak diğer tüm uygulamalardan daha yüksek değere sahip olmuş ve artan dozlara bağlı olarak kök uzunluğu azalmıştır. 75 ve 150 mg/lt ağır metal dozu uygulamalarında elde edilen kök uzunluğu değerleri istatistiksel olarak birbirinden farksız olmuştur. 300 mg/lt dozunda ise kök uzunluğu önemli derecede azalarak, diğer tüm uygulamalardan istatistiksel olarak daha düşük olmuştur. Bulgularımıza paralel olarak nikel ve kadmiyumun kök gelişimi üzerindeki olumsuz etkileri diğer araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir (Erdoğan, 2005; Muhammad ve ark., 2008; Akıncı ve Akıncı, 2011; Shao ve ark., 2011).

Çizelge 4.43. Kamışsı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen kök uzunluğu değerleri (mm)

Ön Muamele	Metal Dozu	Metal Türü		ORTALAMA (Ön Muamele)	
		Kadmiyum	Nikel		
	H ₂ O	0 mg/l	7.11	7.11	4.94 B*
		75 mg/l	3.40	5.89	
		150 mg/l	3.94	4.20	
		300 mg/l	3.77	4.14	
	GA ₃	0 mg/l	10.25	10.25	5.96 AB
		75 mg/l	6.11	4.24	
		150 mg/l	5.26	4.22	
		300 mg/l	4.73	2.61	
KNO ₃	0 mg/l	9.04	9.04	6.89 A	
	75 mg/l	10.47	5.60		
	150 mg/l	9.25	5.69		
	300 mg/l	1.63	4.42		
ORTALAMA (Metal Türü)		6.25	5.62		
ORTALAMA (Metal Dozu)	0 mg/l	75 mg/l	150 mg/l	300 mg/l	
	8.80 A ⁺	5.95 B	5.43 B	3.55 C	

(*) Aynı sütun içerisinde farklı büyük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

(*) Aynı satır içerisinde farklı büyük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Varyans analizi sonuçları (Çizelge 4.42) uyarıcı ön uygulamalarının kök uzunluğu üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermiştir. Uyarıcı ön uygulamalarına bağlı olarak kök uzunlukları 4.94 mm ile 6.89 mm arasında değişim göstermiştir. KNO₃ uygulamasında belirlenen değer 6.89 mm ilk sırada yer alırken, en düşük değer tespit edildiği H₂O uygulamasından istatistiksel olarak önemli derecede yüksek olmuştur. GA₃ uygulaması ise bu iki uygulamanın ara grubunu oluşturmuş ve istatistiksel olarak bu iki uygulamada belirlenen değerlerle benzer olmuştur (Çizelge 4.43).

Varyans analizi sonucunda (Çizelge 4.42) metal dozu x ön muamele interaksyonunun kök uzunluğunu önemli derecede etkilediği belirlenmiştir. Araştırmada belirlenen metal dozu x ön muamele interaksyonu sonucunda belirlenen kök uzunluğu değerleri Çizelge 4.44'te verilmiştir.

Çizelge 4.44. Kamışsı yumakta farklı ağır metal dozları ve ön muamele uygulamalarında belirlenen kök uzunluğu değerleri (mm)

Ön Muamele	Metal Dozu			
	Kontrol	75 mg/lt	150 mg/lt	300mg/lt
H ₂ O	7.11 b-d*	4.64 de	4.07 e	3.96 e
GA ₃	10.25 a	5.17 c-e	4.74 c-e	3.67 e
KNO ₃	9.04 ab	8.03 ab	7.47 bc	3.03 e

(*) Aynı satır ve sütun içerisinde farklı küçük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Çizelge 4.44'te izlendiği gibi metal dozu x ön muamele ikili interaksiyonuna göre ortalama kök uzunluğu değerleri 3.03 mm ile 10.25 mm arasında değişim göstermiştir. . Ağır metal uygulaması yapılmayan kontrol uygulamalarında daha yüksek kök uzunluğu değerleri elde edilirken artan metal dozları ile birlikte kök uzunluğu değerleri düşmüştür. Kontrol uygulamasında H₂O uygulamalarında belirlenen kök uzunluğu değeri GA₃ uygulamasında belirlenen değerden istatistiksel olarak daha düşük olmuştur. 75 mg/l ağır metal dozunda ise KNO₃ uygulamasında belirlenen kök uzunluğu değeri diğer iki uyarıcı ön uygulamasından daha yüksek olmuştur. Ağır metal dozunun 150 mg/l'ye çıkması ile KNO₃ uygulamalarının kök uzunluğu üzerinde ağır metallerin oluşturduğu stresi GA₃ ve H₂O uygulamasına göre daha iyi baskıladığı görülmektedir. 300 mg/l ağır metal dozunda ise her üç ön uygulamanın da benzer etkiler gösterdiği görülmektedir. Bu durum, ağır metal stresi altındaki bitkilere uyarıcıların etkisinin dozlara bağlı olarak kamışsı yumağın kök uzunluğu üzerindeki etkisinin farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Nitekim metal dozu x ön muamele interaksiyonunun önemli çıkması bu durumdan kaynaklanmış olabilir. Espanany ve ark. (2016), kadmiyum stresi altındaki çörekotu tohumlarında KNO₃ ön uygulaması ile kök uzunluğunda kontrole göre önemli artışlar olduğunu, ancak bitkinin fide gelişimi üzerine kadmiyumun olumsuz etkilerinin ortadan kaldırılmasında salisilik asit ön muamelesinin daha etkili olduğunu bildirmişlerdir. Ağır metal varlığında farklı bitkilerde uyarıcı ön uygulamaları ile kök uzunluklarının olumlu yönde etkilendiği diğer araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir (Qaisar ve ark., 2014 ; Shinwari ve ark., 2015; Moulick ve ark., 2016; Kumar ve ark. 2016).

4.3.2. Kamışsı Yumak Fide Uzunluğu

Kamışsı yumakta farklı metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamaları altında belirlenen fide uzunluğu değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.45’ te verilmiştir. Çizelgede izlendiği gibi metal dozu ve ön muamele uygulamaları ile deneme faktörlerinin üçlü interaksyonu (metal türü x metal dozu x ön muamele) fide uzunluğu üzerinde %1 düzeyinde önemli etkiye sahip olurken, metal türünün etkisi %5 düzeyinde önemli bulunmuştur. Deneme faktörlerinin ikili interaksyonlarının ise istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir.

Kamışsı yumağın fide uzunluğu üzerine metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen fide uzunluğu değerleri ve Duncan testine göre oluşan gruplar Çizelge 4.46’da verilmiştir. Çizelge 4.46’da izlendiği gibi metal türlerine bağlı olarak fide uzunlukları önemli derecede değişmiştir. Kadmiyum uygulaması sonucu belirlenen fide uzunluğu değeri 33.15 mm olurken, nikel uygulamasında belirlenen ortalama fide uzunluğu değeri 28.63 mm olarak tespit edilmiştir. Bu durum kamışsı yumağın fide uzunluğu üzerinde nikelin etkisinin daha yüksek olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde farklı bitkilerde nikel ve kadmiyumun etkilerini araştıran Peralta-Videa ve ark. (2004) ve Houshmandfar ve Moraghebi (2010) nikelin bitki fideleri üzerindeki ölümcül etkilerinin kadmiyumdaki daha fazla olduğunu bildirmişlerdir.

Çizelge 4.45. Kamışsı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen fide uzunluğu değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Metal Türü(Faktör A)	1	489.471	6.6055*
Metal Dozu(Faktör B)	3	1858.096	25.0753**
Metal Türü x Metal Dozu(AB)	3	98.583	1.3304
Ön Muamele(Faktör C)	2	2249.528	30.3577**
Metal Türü x Ön Muamele(AC)	2	59.640	0.8049
Metal Dozu x Ön Muamele(BC)	6	129.905	1.7531
Metal Türü x Metal Dozu x Ön Muamele(ABC)	6	325.955	4.3988**
Hata	72	74.101	

*P< 0.05 hata sınırları içerisinde önemli

**P< 0.01 hata sınırları içerisinde önemli

Çizelge 4.46. Kamışsı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen fide uzunluğu değerleri (mm)

Ön Muamele	Metal Dozu	Metal Türü		ORTALAMA (Ön Muamele)	
		Kadmiyum	Nikel		
	H ₂ O	0 mg/l	30.64 b-d [□]	30.64 b-d	22.50 C*
		75 mg/l	23.37 c-e	17.80 de	
		150 mg/l	24.09 c-e	18.65 de	
		300 mg/l	15.46 e	19.39 c-e	
	GA ₃	0 mg/l	55.07 a	55.07 a	39.27 A
		75 mg/l	38.44 b	41.31 b	
		150 mg/l	33.53 bc	33.64 bc	
		300 mg/l	39.13 b	17.99 de	
KNO ₃	0 mg/l	41.32 b	41.32 b	30.89 B	
	75 mg/l	44.74 ab	24.00 c-e		
	150 mg/l	39.80 b	20.94 c-e		
	300 mg/l	12.19 e	22.84 c-e		
ORTALAMA (Metal Türü)		33.15 A ⁺	28.63 B		
ORTALAMA (Metal Dozu)	0 mg/l	75 mg/l	150 mg/l	300 mg/l	
	42.34 A ⁺⁺	31.61 B	28.44 B	21.17 C	

(*) Aynı sütun içerisinde farklı büyük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

(†) Aynı satır içerisinde farklı büyük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

(++) Aynı satır içerisinde farklı büyük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

(□) Aynı satır ve sütun içerisinde farklı küçük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Araştırmada artan metal dozlarına bağlı olarak fide uzunluklarında önemli azalmalar tespit edilmiştir. Belirlenen fide uzunlukları 0, 75, 150 ve 300 mg/l dozları için sırasıyla 42.34, 31.61, 28.44 ve 21.17 mm olarak saptanmıştır. Tüm ağır metal uygulamalarında fide uzunlukları kontrole göre önemli derecede düşük olmuştur. 75 ve 150 mg/l ağır metal dozlarında belirlenen fide uzunlukları istatistiksel olarak benzer olmuştur. En yüksek doz olan 300 mg/l ağır metal uygulaması fide uzunluğu ise diğer tüm uygulamalardan istatistiksel olarak daha düşük fide uzunluğu değerine sahip olmuştur. Nikel ve kadmiyumun erken dönemde farklı bitki türlerinin fide gelişimi üzerindeki olumsuz etkileri diğer araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir. Bu bulguların aksine Kalaycıoğlu (2005) ısırgan bitkisinin boy uzunluğu üzerinde kadmiyumun olumsuz bir etki meydana getirmediğini bildirmiştir. Bu durum ağır metallerin etkisinin bitki türlerine göre farklılık gösterebileceğini ortaya koymaktadır.

Varyans analizi sonuçları (Çizelge 4.45) uyarıcı ön muamelelerinin de fide uzunluğu üzerindeki etkisinin önemli olduğunu göstermiştir. Ön muamele

uygulamalarına bağılı olarak fide uzunlukları 22.50 mm ile 39.27 mm arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.46). Ön muamele işlemlerinde GA₃ uygulamasında belirlenen fide uzunluğu 39.27 mm ile ilk sırada yer alırken, bunu 30.89 mm ile KNO₃ uygulaması takip etmiş ve H₂O uygulamasında belirlen fide uzunluğu değeri 22.50 mm ile son sırada yer almıştır. Elde edilen sonuçlar fide gelişimi açısından özellikle GA₃'ün iyi bir uyarıcı olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde ağır metal varlığında farklı uyarıcı uygulamalarının etkisinin farklılık gösterdiği diğer araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir (Espanany ve ark., 2016; Kumar ve ark., 2016).

Varyans analizi sonuçları (Çizelge 4.45) metal türü x metal dozu x ön muamele üçlü interaksiyonun önemli olduğunu göstermiştir. Çizelge 4.46'da izlendiği gibi, tüm uygulamalar arasında fide uzunluğu 12.19 mm ile 55.07 mm arasında değişmiştir. H₂O ve GA₃ uygulamalarında en yüksek değerler kontrol uygulamalarında belirlenirken KNO₃ uygulamasında 75 mg/l kadmiyum uygulamasında belirlenmiştir. Genel olarak artan metal dozuna bağılı olarak fide uzunluğu azalmakla birlikte, bazı uygulamalarda artan dozla birlikte artış veya önemsiz değişiklikler görülmektedir. Yine metal türü ve dozuna bağılı olarak uyarıcı ön uygulamalarının etkisi değişkenlik göstermiştir. Bu durum üçlü interaksiyonun önemli çıkmasına neden olmuştur.

4.3.3. Kamışsı Yumak Fide Ağırlığı

Kamışsı yumakta farklı metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamaları altında belirlenen fide ağırlığı değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları, fide ağırlığı üzerine, metal dozu, ön muamele uygulamaları ile metal türü x metal dozu, metal dozu x ön muamele ve metal türü x metal dozu x ön muamele üçlü interaksiyonlarının etkisinin interaksiyonlarının %1 düzeyinde önemli olduğunu ortaya koymuştur. Metal türü ve metal türü X ön muamele ikili interaksiyonunun etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.47).

Araştırma sonucunda metal türüne bağılı olarak ortalama fide ağırlıkları kadmiyum stresi altındaki bitkilerde 31.48 mg, nikel stresi altındaki bitkilerde ise 32.35 mg olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.48). Ağır metal türlerine bağılı olarak belirlenen fide ağırlığı değerleri istatistiksel birbirinden farksız olmuştur.

Çizelge 4.47. Kamışsı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen fide ağırlığı değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Metal Türü(Faktör A)	1	18.376	0.2483
Metal Dozu(Faktör B)	3	10303.472	139.2361**
Metal Türü x Metal Dozu(AB)	3	2382.236	32.1924**
Ön Muamele(Faktör C)	2	803.167	10.8536**
Metal Türü x Ön Muamele(AC)	2	67.625	0.9139
Metal Dozu x Ön Muamele(BC)	6	575.097	7.7716**
Metal Türü x Metal Dozu x Ön Muamele(ABC)	6	782.611	10.5758**
Hata	72	74.000	

**P< 0.01 hata sınırları içerisinde önemli

Varyans analizi sonuçları metal dozlarının fide ağırlığı üzerindeki etkisinin çok önemli olduğunu göstermiştir (Çizelge 4.47). Artan metal dozlarına bağlı olarak fide ağırlıkları azalma eğilimi göstermiştir. Araştırmada fide ağırlıkları 0, 75, 150 ve 300 mg/l ağır metal dozları için sırasıyla 58.58, 37.75, 18.38 ve 12.96 mg olarak belirlenmiştir. Kontrolden itibaren metal dozundaki her artış fide ağırlığının bir önceki doza göre önemli derecede azalmasına neden olmuştur (Çizelge 48).

Ağır metal dozunun 75 mg/l'ye çıkması fide ağırlığını kontrole göre % 35.6, 150 mg/l'ye çıkması % 68.6 ve 300 mg/l'ye çıkması ise % 77.9 azaltmıştır. Artan ağır metal dozlarına bağlı olarak fide ağırlığında önemli azalmaların meydana geldiği diğer araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir (Kabir ve ark., 2008; Muhammad ve ark., 2008; Mami ve ark., 2011; Shao ve ark., 2011)

Uygulanan ön muamele işlemleri kamışsı yumağın fide ağırlıkları üzerinde önemli farklılıklar oluşmasına neden olmuştur. KNO₃ uygulamasında fide ağırlığı 37.63 mg ile en yüksek değere sahip olmuştur. H₂O uygulamasında ortalama fide ağırlığı değeri 29.88 mg olarak belirlenmiş ve GA₃ uygulamasında belirlenen fide ağırlığı değeri 28.25 mg ile istatistiksel olarak birbirinden farksız olmuştur. Bu durum KNO₃ uygulamasının kamışsı yumağın ağır metal stresi altındaki fide gelişimini desteklediğini ortaya koymaktadır.

Fide ağırlığı değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları (Çizelge 4.47) fide ağırlığı üzerine metal türü x metal dozu ikili interaksiyonunun etkisinin önemli

olduğunu göstermiştir. Metal türü x metal dozu ikili interaksiyonuna göre saptanan ortalama fide ağırlığı değerleri Çizelge 4.49’da verilmiştir.

Çizelge 4.48. Kamışsı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen fide ağırlığı değerleri (mg)

Ön Muamele	Metal Dozu	Metal Türü		ORTALAMA (Ön Muamele)	
		Kadmiyum	Nikel		
	H ₂ O	0 mg/l	44.00 c ⁺⁺	44.00 c	29.88 B*
		75 mg/l	33.25 c-e	33.25 c-e	
		150 mg/l	23.50 d-g	23.50 d-g	
		300 mg/l	10.75 g-ı	26.76 d-f	
	GA ₃	0 mg/l	61.50 b	61.50 b	28.25 B
		75 mg/l	44.00 c	22.75 e-g	
		150 mg/l	4.00 hı	17.25 f-h	
		300 mg/l	2.75 ı	12.25 g-ı	
KNO ₃	0 mg/l	70.25 ab	70.25 ab	37.63 A	
	75 mg/l	76.50 a	16.75 f-h		
	150 mg/l	5.00 hı	37.00 cd		
	300 mg/l	2.25 ı	23.00 e-g		
ORTALAMA (Metal Türü)		31.48	32.35		
ORTALAMA (Metal Dozu)	0 mg/l	75 mg/l	150 mg/l	300 mg/l	
	58.58 A ⁺	37.75 B	18.38 C	12.96 D	

(*) Aynı sütun içerisinde farklı büyük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.
 (†) Aynı satır içerisinde farklı büyük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.
 (++) Aynı satır ve sütun içerisinde farklı küçük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Çizelge 4.49. Kamışsı yumakta farklı metal türü x metal dozu interaksiyonu sonucu belirlenen fide ağırlığı değerleri (mg)

Metal Türü	Metal Dozu			
	Kontrol	75 mg/lt	150 mg/lt	300mg/lt
Kadmiyum	58.58 a*	51.25 a	10.83 c	5.25 c
Nikel	58.58 a	24.25 b	25.92 b	20.67 b

(*) Aynı satır ve sütun içerisinde farklı küçük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Çizelge 4.49’da izlendiği gibi nikel stresi altında belirlenen fide ağırlığı değerleri kontrole göre önemli derecede düşük olurken, nikel uygulamaları kendi içerisinde birbirinden farksız olmuştur. Kadmiyum stresi altındaki bitkilerin fide ağırlıkları ise 75 mg/l dozunda kontrolden farksız olurken, kadmiyum dozunun 150 ve 300 mg/l’ ye çıkması fide ağırlığını sırasıyla 5.4 kat ve 11.2 kat azaltmıştır. Bu durum kadmiyumun 150 mg/l dozundan itibaren kamışsı yumakta çok ciddi bir toksiteye sebep olduğunu

göstermektedir. Bitkilerin nikel ve kadmiyuma farklı dozlarda birbirinden farklı tepkiler göstermesi interaksyonun önemli çıkmasına neden olmuştur.

Kamışsı yumakta belirlenen fide ağırlığı değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları metal dozu x ön muamele interaksyonunun etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğunu ortaya koymuştur (Çizelge 4.47). Metal türü x ön muamele interaksyonuna göre belirlenen ortalama fide ağırlığı değerleri Çizelge 4.50’de verilmiştir.

Çizelge 4.50. Kamışsı yumakta farklı ağır metal dozları ve ön muamele uygulamalarında belirlenen fide ağırlığı değerleri (mg)

Ön Muamele	Metal Dozu							
	Kontrol		75 mg/lt		150 mg/lt		300mg/lt	
H ₂ O	44.00	c*	33.25	d	23.50	e	18.75	e-g
GA ₃	61.50	b	33.38	d	10.63	gh	7.50	h
KNO ₃	70.25	a	46.63	c	21.00	ef	12.63	f-h

(*) Aynı satır ve sütun içerisinde farklı küçük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Çizelge 4.50’de izlendiği gibi ağır metalin bulunmadığı Kontrol uygulamalarında KNO₃ ve GA₃’ün fide ağırlığını önemli derecede arttırdığı gözlenmektedir. Ağır uygulamalarında 75 mg/l dozundan itibaren fide ağırlığı önemli derecede azalmıştır. 75 mg/l dozunda KNO₃ uyarıcı ön uygulamasında tespit edilen fide ağırlığı diğer uyarıcı öne uygulamalarında belirlenen değerlerden önemli derecede yüksek olmuştur. 150 ve 300 mg/l ağır metal dozlarında ise GA₃ uyarıcı ön uygulamalarında en düşük fide ağırlığı değerleri elde edilmiştir. H₂O uygulamasında 150 ve 300 mg/l dozlarında daha yüksek değerler elde edilmiştir. Bu durum yüksek dozda ağır metalle bulaşık alanlarda kamışsı yumağın gelişimine KNO₃ ve GA₃’ün fayda sağlamadığını, aksine olumsuz etkide bulunduğunu göstermektedir.

Varyans analizi sonuçları (Çizelge 4. 47) metal türü x metal dozu x ön muamele üçlü interaksyonunun fide ağırlığı üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermiştir. Çizelge 4.48’de izlendiği gibi, tüm uygulamalar arasında fide ağırlığı değerleri 2.25 mg ile 76.50 mg arasında değişmiştir. Saf suda bekletilen tohumlarda artan ağır metal dozlarına bağlı olarak meydana gelen fide ağırlığındaki azalma, diğer uyarıcı ön uygulamalarındakinden oransal olarak daha az olmuştur. Özellikle kadmiyum uygulamalarında en yüksek ağır metal dozunda kontrole göre çok

ciddi düşüşler gözlenmiştir. 300 mg/lt kadmiyum dozunda kontrole göre GA_3 uygulamasında %95.5, KNO_3 uygulamasında ise %96.8' lik bir azalma meydana geldiği görülmektedir. Nikelde de kontrole göre ciddi azalmalar görülmekle birlikte, bu azalma kadmiyum kadar şiddetli olmamıştır. Bu durum yüksek dozlarda ağır metalle bulaşık alanlarda yetiştirilen kamışsı yumakta uyarıcı olarak KNO_3 ve GA_3 'ün kullanılmasının olumsuz sonuçlar doğuracağını göstermektedir.

4.3.4. Kamışsı Yumak Çimlenme Oranı

Kamışsı yumakta farklı metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamaları altında belirlenen fide ağırlığı değerlerine uygulanan varyans analiz sonuçları, çimlenme oranı üzerine metal türü, metal dozu, ön muamele, metal türü x metal dozu ve metal dozu x ön muamele ikili interaksiyonlarının %1 düzeyinde, deneme faktörlerinin üçlü interaksiyonunun ise %5 düzeyinde önemli etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Metal türü x ön muamele ikili interaksiyonunun çimlenme oranı üzerindeki etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz olmuştur (Çizelge 4.51).

Çizelge 4.51. Kamışsı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen çimlenme oranı değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Metal Türü(Faktör A)	1	1504.293	8.8692**
Metal Dozu(Faktör B)	3	14639.589	28.7713**
Metal Türü x Metal Dozu(AB)	3	4813.420	9.4598**
Ön Muamele(Faktör C)	2	5426.189	15.9962**
Metal Türü x Ön Muamele(AC)	2	536.120	1.5805
Metal Dozu x Ön Muamele(BC)	6	3382.328	3.3237**
Metal Türü x Metal Dozu x Ön Muamele(ABC)	6	2286.320	2.2467*
Hata	72	169.609	

* $P < 0.05$ hata sınırları içerisinde önemli

** $P < 0.01$ hata sınırları içerisinde önemli

Kamışsı yumağın farklı metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen çimlenme oranı değerleri ve Duncan testine göre oluşan gruplar Çizelge 4.52'de verilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre ağır metal türüne bağlı olarak çimlenme oranlarının önemli farklılık gösterdiği, kadmiyum stresi altında kamışsı yumağın

çimlenme oranının %53.75 nikel stresi altındaki bitkilerde belirlenen çimlenme oranından %45.83 önemli derecede yüksek olduğu belirlenmiştir. Nitekim Peralta-Video ve ark. (2004) ve Housmandfar ve Moraghebi (2010) nikelin bitki fideleri üzerindeki ölümcül etkilerinin kadmiyumdan daha fazla olduğunu bildirmişlerdir. Bununla birlikte çimlenme döneminde sebze türlerinin gelişimi üzerine ağır metallerin etkilerini araştırdıkları çalışmada Çalışkan (2009) kadmiyumun nikelden daha toksik etkiye sahip olduğunu bildirmiştir.

Ağır metal dozlarındaki artışa bağlı olarak çimlenme oranları önemli farklılık göstermiştir. Artan dozlara bağlı olarak (0, 75, 150 ve 300 mg/l için sırasıyla) çimlenme oranları %66.67, %53.61, %46.39 ve %32.50 olarak belirlenmiştir. Artan doza bağlı olarak kamışsı yumağın çimlenme oranlarında sürekli bir düşüş meydana gelmiştir. Tüm ağır metal uygulamaları kontrole göre önemli derecede düşük çimlenme oranı değerine sahip olmuştur. 75 ve 150 mg/l ağır metal dozunda belirlenen çimlenme oranı değeri istatistiksel olarak farksız olurken, 300 mg/l dozunda belirlenen değer diğerlerinden önemli derecede düşük olmuştur. Çimlenme oranı, artan ağır metal dozlarına göre sırasıyla kontrolden %19, %30 ve %51 daha düşük olmuştur. Ortamda ağır metallerin bulunmasının ve artan dozlarda bitkilerin çimlenmeleri üzerindeki olumsuz etkinin arttığı diğer araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir (Çalışkan, 2009; Kabir ve ark., 2008; Housmandfar ve Moraghebi, 2011).

Uygulanan ön muamele işlemleri kamışsı yumağın çimlenme oranı üzerinde önemli farklılıklar oluşmasına neden olmuştur (Çizelge 4.51). Çizelge 4.52’de izlendiği gibi, saf suda (H_2O) bekletilen tohumların çimlenme oranı GA_3 ve KNO_3 ile ön muameleye tabi tutulan tohumlardan daha yüksek olmuştur. Saf suda bekletilen tohumlarda ortalama çimlenme oranı %60.52 olurken, GA_3 ve KNO_3 uygulamasında ise çimlenme oranları sırasıyla %44.17 ve %44.79 olarak belirlenmiştir. Bu durum ağır metallerle birlikte ortamda bulunan çimlenme uyarıcıların olumsuz etkide bulunabileceğini göstermektedir.

Fide ağırlığı değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları (Çizelge 4.51) çimlenme oranı üzerine metal türü x metal dozu ikili interaksiyonunun etkisinin önemli olduğunu göstermiştir. Metal türü x metal dozu ikili interaksiyonuna göre saptanan ortalama çimlenme oranı değerleri Çizelge 4.53’de verilmiştir.

Çizelge 4.52. Kamışsı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen çimlenme oranı değerleri (%)

Ön Muamele	Metal Dozu	Metal Türü		ORTALAMA (Ön Muamele)	
		Kadmiyum	Nikel		
	H ₂ O	0 mg/l	66.67 a [□]	66.67 a	60.52 A*
		75 mg/l	66.67 a	63.34 a	
		150 mg/l	68.34 a	50.00 a-c	
		300 mg/l	48.33 a-d	53.34 ab	
	GA ₃	0 mg/l	70.00 a	70.00 a	44.17 B
		75 mg/l	66.67 a	28.33 de	
		150 mg/l	31.67 c-e	33.33 b-e	
		300 mg/l	18.33 e	35.00 b-e	
KNO ₃	0 mg/l	63.34 a	63.34 a	44.79 B	
	75 mg/l	66.67 a	30.00 c-e		
	150 mg/l	63.34 a	31.67 c-e		
	300 mg/l	14.98 e	25.00 e		
ORTALAMA (Metal Türü)		53.75 A ⁺	45.83 B		
ORTALAMA (Metal Dozu)	0 mg/l	75 mg/l	150 mg/l	300 mg/l	
	66.67 A ⁺⁺	53.61 B	46.39 B	32.50 C	

([□]) Aynı sütun içerisinde farklı büyük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

(⁺) Aynı satır içerisinde farklı büyük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

(⁺⁺) Aynı satır içerisinde farklı küçük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

([□]) Aynı satır ve sütun içerisinde farklı küçük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Çizelge 4.53. Kamışsı yumakta farklı metal türü x metal dozu interaksiyonu sonucu belirlenen çimlenme oranı değerleri (%)

Metal Türü	Metal Dozu			
	Kontrol	75 mg/lt	150 mg/lt	300mg/lt
Kadmiyum	66.67 a*	66.67 a	54.45 b	27.22 d
Nikel	66.67 a	40.56 c	38.33 cd	37.78 cd

(*) Aynı satır ve sütun içerisinde farklı küçük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Çizelge 4.53’da izlendiği gibi, her iki metal türünde de artan dozlara bağlı olarak kamışsı yumağın çimlenme oranı önemli derecede azalma eğilimi göstermiştir. Kadmiyum stresi altındaki bitkilerde 75 mg/l dozundaki çimlenme oranı kontrolde tespit edilen değerle aynı olurken, kadmiyum dozunun 150 ve 300 mg/l’ye çıkması çimlenme oranının önemli derecede azalmasına neden olmuştur.

Nikel stresi altındaki bitkilerde çimlenme oranı kontrolden önemli derecede düşük olurken, farklı nikel dozlarında belirlenen kamışsı yumak çimlenme oranları istatistiksel olarak benzer olmuştur.

Çimlenme oranı değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları metal dozu x ön muamele ikili interaksyonun etkisinin % 1 düzeyinde önemli etkiye sahip olduğunu göstermiştir (Çizelge 4.51). Metal dozu x ön muamele interaksyonuna göre oluşan ortalama çimlenme oranı değerleri Çizelge 4.54' te verilmiştir.

Çizelge 4.54. Kamışsı yumakta farklı metal dozu x ön muamele interaksyonu sonucu belirlenen çimlenme oranı değerleri (%)

Metal Türü	Metal Dozu							
	Kontrol		75 mg/l		150 mg/l		300mg/l	
H₂O	66.67	a*	65.00	a	59.17	a-c	50.83	bc
GA₃	70.00	a	47.50	c	32.50	d	26.67	d
KNO₃	63.34	a	48.33	c	47.50	c	20.00	d

(*) Aynı satır ve sütun içerisinde farklı küçük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Çizelge 4.54'de izlendiği gibi ağır metal uygulaması yapılmayan uygulamalar yüksek çimlenme oranlarına sahip olurken, ağır metal dozlarına bağlı olarak uyarıcı ön uygulamalarına bağlı olarak çimlenme oranları farklı eğilimler göstermiştir. Saf suda bekletilen tohumlarda çimlenme oranı 75 ve 150 mg/l ağır metal dozlarında kontrolle istatistiksel olarak benzer olmuştur.

GA₃ ve KNO₃ ön uygulaması yapılan tohumların çimlenme oranı da artan metal dozu ile azalma eğilimi göstermiştir. Hem GA₃ hem de KNO₃ ön uygulamasına tabi tutulan tohumlarda kontrol uygulamasında belirlenen çimlenme oranı ağır metal uygulamalarının tümünde belirlenen çimlenme oranlarından önemli derecede yüksek olmuştur.

Kontrol uygulamalarında belirlenen çimlenme oranları her üç uyarıcı ön uygulaması için benzer olurken, ağır metal uygulamalarında tüm dozlarda saf suda bekletilen tohumlarda diğer ön uygulamalardan daha yüksek çimlenme oranları elde edilmiştir. Bu durum kamışsı yumağın ağır metalle bulaşık alanlarda GA₃ ve KNO₃'ün uyarıcı olarak kullanılmasının uygun olmadığını göstermiştir.

4.3.5. Kamyışı Yumak Çimlenme İndeksi

Kamyışı yumakta farklı metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamaları altında belirlenen çimlenme indeksi değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.55’ de verilmiştir. Çizelge 4.55’de izlendiği gibi metal türü, metal dozu, ön muamele uygulamaları ile metal türü x metal dozu ve metal dozu x ön muamele ikili interaksiyonlarının çimlenme indeksi üzerinde % 1 düzeyinde önemli etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Metal türü x ön muamele ve deneme faktörlerinin üçlü interaksiyonunun etkileri ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Kamyışı yumağın farklı metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen çimlenme indeksi değerleri ve Duncan testine göre oluşan gruplar Çizelge 4.56’de verilmiştir. Çizelge 4.56’da izlendiği gibi metal türlerine bağlı olarak çimlenme indeksinde önemli farklılıklar meydana gelmiştir. Kadmiyum stresi altındaki bitkilerde belirlenen çimlenme indeksi değeri 1.75 olurken, nikel stresi altındaki bitkilerde belirlenen ortalama çimlenme indeksi değeri 1.42 olarak tespit edilmiştir. Nitekim Çalışkan (2009), ağır metallerin çimlenme üzerindeki olumsuz etkilerinin metalin türüne ve dozuna bağlı olarak farklılık gösterebildiğini bildirmiştir.

Çizelge 4.55. Kamyışı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen çimlenme indeksi değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Metal Türü(Faktör A)	1	2.529	12.8356**
Metal Dozu(Faktör B)	3	6.482	32.9042**
Metal Türü x Metal Dozu(AB)	3	1.460	7.4124**
Ön Muamele(Faktör C)	2	3.130	15.8889**
Metal Türü x Ön Muamele(AC)	2	0.068	0.3443
Metal Dozu x Ön Muamele(BC)	6	0.800	4.0636**
Metal Türü x Metal Dozu x Ön Muamele(ABC)	6	0.341	1.7308
Hata	72	0.197	

**P< 0.01 hata sınırları içerisinde önemli

Varyans analizi sonuçları metal dozlarının çimlenme indeksi üzerindeki etkisinin çok önemli olduğunu göstermiştir (Çizelge 4.56). Bitkilerin ağır metale maruz kalması çimlenme indeksinde kontrole göre önemli bir azalmaya neden olmuştur. Kontrol

uygulamasında 2.21 olan çimlenme indeksi değeri, 75, 150 ve 300 mg/l ağır metal dozları için sırasıyla 1.73, 1.40 ve 0.98 olarak belirlenmiştir. Ağır metal dozundaki her bir artış kamışsı yumak çimlenme oranını bir önceki doza göre önemli derecede azaltmıştır. Ağır metale maruz kalan bitkilerin çimlenme indeksinde önemli azalmaların meydana geldiği Çalışkan (2009) ve Akıncı ve Akıncı (2011) tarafından da bildirilmiştir.

Varyans analizi sonuçları (Çizelge 4.55) uyarıcı ön muamelelerinin çimlenme indeksi üzerindeki etkisinin önemli olduğunu göstermiştir. Ön muamele uygulamalarına bağlı olarak çimlenme indeksi değerleri 1.35 ile 1.94 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.56). Ön muamele işlemlerinde H₂O uygulamasında belirlenen çimlenme indeksi değeri 1.94 ile ilk sırada yer alırken, bunu 1.46 ile GA₃ uygulaması takip etmiş ve KNO₃ uygulamasında belirlen fide uzunluğu değeri 1.35 ise son sırada yer almıştır. Espanany ve ark. (2016) benzer şekilde ağır metal varlığında farklı uyarıcı uygulamalarının etkisinin farklılık gösterdiğini bildirmişlerdir.

Çizelge 4.56. Kamışsı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen çimlenme indeksi değerleri

		Metal Türü		ORTALAMA (Ön Muamele)
	Metal Dozu	Kadmiyum	Nikel	
Ön Muamele	H ₂ O	0 mg/l	2.37	1.94 A *
		75 mg/l	2.17	
		150 mg/l	1.99	
		300 mg/l	1.70	
	GA ₃	0 mg/l	2.47	1.46 B
		75 mg/l	2.23	
		150 mg/l	1.33	
		300 mg/l	0.64	
	KNO ₃	0 mg/l	1.81	1.35 B
		75 mg/l	2.16	
		150 mg/l	1.72	
		300 mg/l	0.37	
ORTALAMA (Metal Türü)		1.75 A ⁺	1.42 B	
ORTALAMA (Metal Dozu)	0 mg/l	75 mg/l	150 mg/l	300 mg/l
	2.21 A ⁺⁺	1.73 B	1.40 C	0.98 D

(*) Aynı sütun içerisinde farklı büyük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

(†) Aynı satır içerisinde farklı büyük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

(++) Aynı satır içerisinde farklı büyük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Metal türü x metal dozu uygulamaları sonucu hesaplanan ortalama çimlenme indeksi değerleri ve oluşan Duncan grupları Çizelge 4.57’de verilmiştir. Çizelge 4.57’de izlendiği gibi, her iki metal türünde de ortamın ağır metalle bulaşık olması çimlenme indeksi önemli derecede azaltmış ve 75 mg/l kadmiyum uygulaması hariç tüm ağır metal uygulamalarında belirlenen çimlenme indeksi değerleri kontrole göre önemli derecede düşük olmuştur. 75, 150 ve 300 mg/l nikel uygulamalarının çimlenme indeksi değerleri istatistiksel olarak farksız olurken, kadmiyum uygulamalarında kadmiyum dozunun 150 mg/l’ye çıkması çimlenme indeksini önemli derecede azaltmıştır. 300 mg/l kadmiyum dozu tüm kadmiyum uygulamalarından önemli derecede düşük çimlenme indeksi değerine sahip olmuştur.

Kamışsı yumakta hesaplanan çimlenme indeksi değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları (Çizelge 4.55) metal dozu x ön muamele interaksyonunun etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermiştir. Metal dozu x ön muamele interaksyonuna göre hesaplanan ortalama çimlenme indeksi değerleri Çizelge 4.58’de verilmiştir.

Çizelge 4.57. Kamışsı yumakta farklı metal türü x metal dozu interaksyonu sonucu belirlenen çimlenme indeksi değerleri (%)

Metal Türü	Metal Dozu							
	Kontrol		75 mg/lt		150 mg/lt		300mg/lt	
Kadmiyum	2.21	a*	2.18	a	1.68	b	0.90	c
Nikel	2.12	a	1.28	c	1.12	c	1.07	c

(*) Aynı satır ve sütun içerisinde farklı küçük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Çizelge 4.58. Kamışsı yumakta farklı metal dozu x ön muamele interaksyonu sonucu belirlenen çimlenme indeksi değerleri

Metal Türü	Metal Dozu							
	Kontrol		75 mg/lt		150 mg/lt		300mg/lt	
H₂O	2.37	a*	1.88	b	1.92	b	1.59	bc
GA₃	2.47	a	1.48	b-d	1.04	de	0.85	ef
KNO₃	1.81	b	1.84	b	1.25	c-e	0.51	f

(*) Aynı satır ve sütun içerisinde farklı küçük harfle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır.

Çizelge 4.58’de izlendiği gibi, kontrol uygulamasında KNO₃ ön muamelesinde belirlenen kamışsı yumak çimlenme indeksi değeri diğer iki uyarıcı ön muamelesinde belirlenen değerden önemli derecede düşük olmuştur. Ağır metal dozunun 75 mg/l ye çıkması ile KNO₃ uyarıcı ön uygulamasında kontrole göre önemli bir azalma meydana gelmezken, H₂O ve KNO₃ uygulamalarında kontrole göre önemli düşüş meydana gelmiştir. Bununla birlikte H₂O uygulamasında belirlenen çimlenme indeksi değeri 75, 150 ve 300 mg/l dozları için istatistiksel olarak benzer olmuştur. Buna karşılık, GA₃ ve KNO₃ uyarıcı ön uygulamalarında artan dozlara bağlı olarak kamışsı yumak çimlenme indeksi değerinde önemli azalmalar meydana gelmiştir. Bu durum kamışsı yumağın ağır metalle bulaşık alanlarda GA₃ ve KNO₃’ün uyarıcı olarak kullanılmasının uygun olmadığını göstermiştir.

4.3.6. Kamışsı Yumak Ortalama Çimlenme Süresi

Kamışsı yumakta farklı metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamaları altında belirlenen ortalama çimlenme süresi değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.59’ da verilmiştir. Çizelge 4.59’da izlendiği gibi, ortalama çimlenme süresi üzerine deneme faktörlerinin ayrı ayrı ve etkileşimlerinin istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

Çizelge 4.59. Kamışsı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen ortalama çimlenme süresi değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Değeri
Metal Türü(Faktör A)	1	0.007	0.0057
Metal Dozu(Faktör B)	3	1.511	1.3003
Metal Türü x Metal Dozu(AB)	3	0.303	0.2610
Ön Muamele(Faktör C)	2	2.436	2.0967
Metal Türü x Ön Muamele(AC)	2	0.964	0.8300
Metal Dozu x Ön Muamele(BC)	6	2.554	2.1984
Metal Türü x Metal Dozu x Ön Muamele(ABC)	6	0.506	0.4358
Hata	72	1.162	

Kamışsı yumağın ortalama çimlenme süresi üzerine metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen ortalama çimlenme süresi değerleri Çizelge 4.60'ta verilmiştir.

Çizelge 4.60. Kamışsı yumakta farklı ağır metal türü, metal dozu ve ön muamele uygulamalarında belirlenen ortalama çimlenme süresi değerleri (gün)

Ön Muamele	Metal Dozu	Metal Türü		ORTALAMA (Ön Muamele)	
		Kadmiyum	Nikel		
	H ₂ O	0 mg/l	4.63	4.63	4.77
		75 mg/l	4.24	5.25	
		150 mg/l	4.59	4.91	
		300 mg/l	5.11	4.82	
	GA ₃	0 mg/l	5.06	5.06	4.76
		75 mg/l	5.47	5.68	
		150 mg/l	4.68	4.83	
		300 mg/l	3.65	3.68	
KNO ₃	0 mg/l	5.00	5.00	5.24	
	75 mg/l	5.20	4.83		
	150 mg/l	6.46	5.22		
	300 mg/l	5.13	5.11		
ORTALAMA (Metal Türü)		4.93	4.92		
ORTALAMA (Metal Dozu)	0 mg/l	75 mg/l	150 mg/l	300 mg/l	
	4.90	5.11	5.11	4.58	

Çizelge 4.60'ta izlendiği gibi metal türlerine bağlı olarak ortalama çimlenme süreleri önemli farklılıklar göstermemiştir. Kadmiyum uygulaması sonucu belirlenen ortalama çimlenme süresi değeri 4.93 gün olurken, nikel uygulamasında belirlenen ortalama çimlenme süresi 4.92 gün olarak tespit edilmiştir.

Uygulanan uyarıcı ön muamele işlemleri de ortalama çimlenme süresi üzerinde önemli bir farklılık meydana getirmemiştir. Ortalama çimlenme süreleri GA₃ uygulamasında 4.76 gün, H₂O uygulamasında 4.77 gün ve KNO₃ uygulamasında 5.24 gün olarak belirlenmiştir. Kamışsı yumak ortalama çimlenme süreleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz olmuştur. Bu durum uyarıcıların kamışsı yumağın çimlenme süresi üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını ortaya koymuştur.

Araştırma sonuçları farklı ağır metal dozlarına bağlı olarak kamışsı yumağın ortalama çimlenme süreleri üzerinde önemli bir farklılık meydana getirmemiştir. Ağır metal dozlarına bağlı olarak ortalama kamışsı yumağın ortalama çimlenme süreleri 4.58

gün ile 5.11 gün arasında değişiklik göstermiştir. 75 ve 150 mg/l dozlarında çimlenme süresi bir miktar uzamış olmakla birlikte, 300 mg/l dozunda tekrar kısalmıştır.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Araştırma sonuçları genel olarak her üç türde de ağır metallerin hem çimlenme hem de fide özelliklerini olumsuz yönde etkilediğini ortaya koymuştur. Bununla birlikte ağır metalin türüne ve dozuna bağlı olarak olumsuz etkinin şiddeti türlere bağlı olarak önemli farklılıklar göstermiştir. Uyarıcı ön uygulamalarının etkisi de türlere, ağır metal türü ve dozuna göre önemli farklılıklar göstermiştir.

Artan ağır metal dozları çok yıllık çim kök uzunluğunu olumsuz yönde etkilenmiştir. Çok yıllık çimde kök uzunluğu nikelden kadmiyuma göre daha fazla etkilenmiştir. KNO_3 uygulamasında diğer uygulamalardan daha iyi kök gelişimi elde edilmiştir. Çok yıllık çim fide uzunluğu da artan ağır metal dozlarından olumsuz etkilenmiştir. Fide uzunluğu üzerine metal türlerinin etkisi ise önemsiz olmuştur. GA_3 uygulaması ise fide uzunluğunun artmasını sağlamıştır. Benzer tepkiler çok yıllık çimin fide ağırlıkları üzerinde de izlenmiştir. Çok yıllık çim çimlenme oranları artan metal dozları ile birlikte önemli derecede azalmıştır. Kontrolde %92.67 olan çimlenme oranı ağır metal dozunun 300 mg/l'ye çıkmasıyla %80.67'ye gerilemiştir. Çok yıllık çimin çimlenme oranı üzerine nikelin etkisi kadmiyumdaki daha fazla olmuştur. Çok yıllık çim çimlenme oranı üzerine uyarıcı uygulamalarının etkisi ise önemsiz bulunmuştur. Bununla birlikte çimlenme indeksi üzerinde GA_3 uygulamasının olumlu etkileri olduğu gözlemlenmiştir. Tüm bunların sonucu olarak, nikel ve kadmiyumla bulaşık alanlarda çok yıllık çim yetiştirilecekse, GA_3 ile ön muamelede bulunulmasının faydalı olabileceği söylenebilir.

Kırmızı yumak kök uzunluğu artan ağır metal dozlarından olumsuz yönde etkilenmiştir. Kırmızı yumak kök uzunluğu üzerine nikelin etkisi kadmiyumdaki daha fazla olmuştur. Kök uzunluğu uyarıcı ön uygulamalarından ise etkilenmemiştir. Artan metal dozları ile birlikte fide uzunluğu değerleri de önemli derecede azalmıştır. Fide uzunluğundaki bu azalma GA_3 uygulaması ile bir miktar engellenebilmiştir. GA_3 uygulanan tohumlardan elde edilen fideler diğer ön uygulamalarda belirlenen değerlerden daha yüksek olmuştur. Fide ağırlıklarında da benzer etkileşimler gözlenmiştir. Her ne kadar kırmızı yumağın fide gelişimi GA_3 uygulaması ile bir dereceye kadar olumlu etkilenmiş ise de çimlenme oranları üzerinde GA_3 ve KNO_3 uygulamalarının etkisi özellikle yüksek ağır metal dozlarında olumsuz olmuştur. Bu

nedenle 150 ve 300 mg/l dozundan daha yüksek dozda kadmiyum ve nikel ile bulaşık alanlarda kırmızı yumak yetiştiriciliği düşünüldüğünde GA_3 ve KNO_3 'ün çimlenme oranının olumsuz etkileyebileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Kamışsı yumakta da fide özellikleri ve çimlenme özellikleri artan metal dozlarından olumsuz yönde etkilenmiştir. Kamışsı yumak kök uzunluğu KNO_3 uygulamalarında daha yüksek değerler elde edilmişini sağlamıştır. Fide uzunluğu ve fide ağırlığı ise GA_3 uygulaması ile artmıştır. Özellikle ağır metal dozunun 150 ve 300 mg/l'ye çıkması fide gelişimini oldukça azaltmıştır. Kamışsı yumağın çimlenme özellikleri üzerine nikelin olumsuz etkilerinin kadmiyumdan daha yüksek olduğu belirlemiştir. Her iki metal türünün de artan dozları ile birlikte kamışsı yumağın çimlenmesi olumsuz etkilenmiştir. Bununla birlikte, uyarıcı olarak kullanılan GA_3 ve KNO_3 'ün özellikle yüksek ağır metal dozlarında kamışsı yumağın çimlenme özelliklerini olumsuz yönde etkilediği belirlenmiştir. Bu durum ağır metal varlığında GA_3 ve KNO_3 açısından kamışsı yumağın çimlenme özellikleri üzerinde beklenen etkiyi göstermemiştir.

Sonuç olarak bir değerlendirme yapıldığında; ağır metallerin etkisinin türler üzerinde spesifik olduğu görülmüştür. Artan ağır metal dozlarına bağlı olarak hem çimlenme hem de fide gelişim özellikleri olumsuz etkilenmiştir. Ayrıca ağır metallerin çimlenme ve fide gelişimi üzerindeki etkisini azaltmak amacıyla kullanılan GA_3 ve KNO_3 'ün ağır metallerle bulaşık ortamlarda çok yıllık çimde daha etkin şekilde kullanılabileceği söylenebilir. Yumak türlerinde ise kök ve fide gelişimi açısından GA_3 ve KNO_3 'ün belli ağır metal düzeyinde fayda sağlayabilmesine rağmen, tohumların çimlenme yetenekleri üzerinde özellikle 150 ve 300 mg/l ağır metal dozlarında etkinliğini koruyamadığı ve hatta etkilerinin olumsuz olduğu görülmüştür. Bu nedenle ağır metalle bulaşık alanlarda kullanımlarının fide gelişimini desteklenmesi amacıyla, tohumluk sıkıntısı olmayan koşullarda yeterli çimlenmeyi sağlayacak düzeyde tohumluk miktarının artırılması koşuluyla mümkün olabileceği söylenebilir.

KAYNAKLAR

- Açıkgöz, E. 1994. **Çim alanlar yapım ve bakım tekniği**. Çevre Ltd. Şti. Yayınları No:4., 203 s., Bursa.
- Akıncı, İ.E. ve Çalışkan, Ü., 2010. Kurşunun bazı yazlık sebzelerde tohum çimlenmesi ve tolerans düzeyleri üzerine etkisi. **Ekoloji**, 19, 74, 164-172.
- Akıncı, S. ve Akıncı, İ.E. 2011. Nikelin ıspanakta (*Spinacia oleracea*) çimlenme ve bazı fide büyüme parametreleri üzerine etkisi. **Ekoloji**, 20(79): 69-76
- 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.
- Atış, İ., 2011. Bazı silajlık sorgum (*Sorghum bicolor* L. Moench) çeşitlerinin çimlenmesi ve fide gelişimi üzerine tuz stresinin etkileri. **Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**, 6 (2):58-67.
- Avcıoğlu, R. 1997. **Çim Tekniği (Yeşil Alanların Ekimi Dikimi Bakımı)**, Ege Üniversitesi Matbaası, 271s. İzmir.
- 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.
- 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.
- Bonfranceschi, B.A., Flocco, C.G. and Donati, E.R. 2008. Study of the heavy metal phytoextraction capacity of two forage species growing in an hydroponic environment. **Journal of Hazardous Materials**, 165:366–371.
- Çalışkan, Ü. 2009. Bazı önemli yazlık sebzelerin çimlenme aşamasında Cd, Cr, Ni ve Pb'a tepkisi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe Bitkileri Anabilim DalıYüksek Lisans Tezi, 69 s.
- Cokkizgin, A. and Cokkizgin, H. 2010. Effects of lead (PbCl₂) stress on germination of lentil (*Lens culinaris* Medic.) lines. **African Journal of Biotechnology**, 9(50): 8608-8612.
- de Lespinay, A., Lequeux, H., Lambillotte, B., Lutts, S., 2010. Protein synthesis is differentially required for germination in *Poa pratensis* and *Trifolium repens* in the absence or in the presence of cadmium. **Plant Growth Regulation**, 61(2): 205–214.
- Duo, L.A., Gao, Y.B., Zhao, S.L., 2005. Heavy metal accumulation and ecological responses of turfgrass to rubbish compost with EDTA addition. **Journal of Integrative Plant Biology**, 47(9):1047-1054.
- Ellis, R.H. and Roberts, E.H., 1980. Towards a rational basis for seed testing seed quality. (P. Hebblethwaite Editör). In: **Seed Production**. Butterworths, London, pp.605-635.
- 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 DalıYüksek Lisans Tezi, 36 s.
- Espanany, A., Fallah, S., Tadayyon, A., 2016. Seed priming improves seed germination and reduces oxidative stress in black cumin (*Nigella sativa*) in presence of cadmium. **Industrial Crops and Products**, 79: 195–204.
- Galhaut, L., Lespinay, A. De, Walker, D. J., Bernal, M. P., Correal, E., Lutts, S., 2014. Seed Priming of *Trifolium repens* L . Improved Germination and Early Seedling Growth on Heavy Metal-Contaminated Soil. **Water Air Soil Pollut**,225:1905.

- Goyer, R. A., 1991. **Toxic effects of metals**. In: Caserett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons (M. O. Amdur, J., Doull, C. D. Klaassen, Editör.) Pergamon Press, New York, 1032.
- Hasan, S. A., Fariduddin, Q., Ali, B., Hayat, S., Ahmad, A., 20:09. Cadmium: toxicity and tolerance in plants. **Journal of Environmental Biology**, 30(2):165–74.
- Houshmandfar, A. and Moraghebi, F., 2010. Evaluation of heavy metal tolerance at different clover plant growth stages. **Iranian Journal of Plant Physiology**, 1(2): 95–99.
- Houshmandfar, A. and Moragebi, F., 2011. Effect of mixed cadmium, copper, nickel and zinc on seed germination and seedling growth of safflower. **African Journal of Agricultural Research**, 6(6):1463-1468.
- 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.
- Kabata-Pendias, A. and Dudka, S (1990). Evaluating baseline data for cadmium in soils and plants in Poland. In: **Element concentration cadasters in ecosystems**. (., H. Lieth, B. Markert, Editör). VCH Verlagsgesellschaft, Federal Republic of Germany.
- Kabir, M., Iqbal, M.Z., Muhammad, M., 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.
- Kalaycıoğlu, S., 2005. **Isırgan (Urtica dioica L.) bitkisinde bazı ağır metallerin büyüme parametreleri üzerine etkilerinin araştırılması**. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 57 s.
- Khan A.A. 1992. Preplant physiological seed conditioning, **Horticultural Reviews**, 14, 131-181.
- Kırbağ-Zengin, F. and Munzuroğlu, Ö., 2003. Fasulye fidelerinin (*Phaseolus vulgaris* L.) kök, gövde ve yaprak büyümesi üzerine kadmiyum(cd++) ve civa (hg++)'nın etkileri. **C.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi**, 24(1): 64-75.
- Kumar, M., Pant, B., Mondal, S., Bose, B., 2016. Hydro and halo priming: influenced germination responses in wheat Var-HUW-468 under heavy metal stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, 38: 217.
- Lyons-Alcantara, M., Tarazona J.V., 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.
- Mahmood, T., Iqbal, N., Raza, H., Qasim, M. and Ashraf, M.Y. 2010. growth modulation and ion partitioning in salt stressed sorghum (*Sorghum bicolor* L.) by exogenous supply of salicylic acid. **Pakistan Journal of Botany**, 42(5): 3047-3054.
- Mami, Y., Ahmadi, G., Shahmoradi, M., Ghorbani, H. R., 2011. Influence of different concentration of heavy metals on the seed germination and growth of tomato. **African Journal of Environmental Science and Technology**, 5(6):420–426.
- Marschner, H. 1995. **Mineral nutrition of higher plants**. Academic Press, London, UK. 889s.
- Mavi, K., Ermiş, S., Demir, İ., 2006. The effect of priming on tomato rootstock seeds in relation to seedling growth. **Asian Journal of Plant Sciences**, 5(6): 940-947.
- Mavi, K., Karaca, F., Yetişir, H. 2010 Doğal olarak yaşlanmış kavun tohumlarında farklı uygulamaların çimlenme ve çıkış üzerine etkileri. **VIII. Sebze Tarımı Sempozyumu**, 23-26 Haziran 2010, Van.

- Moullick, D., Ghosh, D., Chandra Santra, S., 2016. Evaluation of effectiveness of seed priming with selenium in rice during germination under arsenic stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, 109: 571–578.
- Muhammad, S., Iqbal, M. Z., 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.
- Okcu, M., Tozlu, E., Kumlay, A.M., Pehlivan, M., 2009. Ağır metallerin bitkiler üzerine etkileri. **Alinteri**, 17(B): 14-26.
- Patade, Y.V., Maya, K., Zakwan, A., 2011. Chemical seed priming as a simple technique to impart cold and salt stress tolerance in capsicum. **Journal of Crop Improvement**, 25: 497-503.
- Peralta, J.R., Gardea-Torresdey, J.L., Tiemann, K.J., Gomez, E., Arteaga, S., Rascon, E., 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., 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., 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), p.679–685.
- Qaisar, A., Iqbal, S., Jabeen, K., Latif, S., 2014. Response of maize to hydrogen peroxide priming under chromium stress. **Mycopath**, 12(2): 123–127.
- Shinwari, K. I., Jan, M., Shah, G., Khattak, S. R., Urehman, S., Daud, M. K., Jamil, M., 2015. Seed Priming With Salicylic Acid Induces Tolerance Against Chromium (Vi) Toxicity in Rice (*Oryza Sativa* L.). **Pak. J. Bot**, 47(SI):161–170
- Shao, Y., Jiang, L., Zhang, D., Ma, L., Li, C., 2011. Effects of arsenic , cadmium and lead on growth and respiratory enzymes activity in wheat seedlings. **Journal of Agricultural Research**, 6(19): 4505–4512.
- Singh, A., Eapen, S., 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.
- Sneideris, L. C., Gavassi, M. A., Campos, M. L., D'amico-Damiao, V., Carvalho, R. F., 2015. Effects of hormonal priming on seed germination of pigeon pea under cadmium stress. **Anais Da Academia Brasileira de Ciencias**, 87(3): 1847–1852.
- Sung, Y., Cantliffe, D.J., Nagata, R. 1998. Using a puncture test to identify the role of seed coverings on thermotolerant lettuce seed germination. **Journal of the American Society for Horticulture Science**, 123, 1102-1106.
- Taylor, R. W., Allinson, D. W., 1981. Influence of lead, cadmium, and nickel on the growth of *Medicago sativa* (L.). **Plant and Soil**, 60:223–236.
- Wang, Y.R., Yu, L., Nan, Z.B. and Liu, Y.L., 2004. Vigor tests used to rank seed lot quality and predict field emergence in four forage species. **Crop Science**, 44(2), 535-541.

Zornoza, P., Robles, S., Martin, N., 1999. Alleviation of nickel toxicity by ammonium supply to sunflower **Plants. Plant and Soil**, 208: 221–22.



ÖZGEÇMİŞ

Yazar, 1989 yılında İskenderun’da doğdu. İlkokul, ortaokul ve İskenderun Demir Çelik Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi’ni Hatay’da tamamladı. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü’nden 2012 yılında mezun oldu. 2013 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi Tarla Bitkileri Bölümü’nde Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2013 yılında özel bir şirkette tarımsal danışman olarak 3 yıl görev yaptı.

