

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

**FARKLI AĞIR METAL UYGULAMALARININ TANE SORGUM
ÇEŞİTLERİNDE AĞIR METAL BİRİKİMİ, MORFOLOJİK VE
YEM KALİTE ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

DOKTORA TEZİ

HAVA ŞEYMA YILMAZ

TARLA BİTKİLERİ ANABİLİM DALI

**TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Kağan KÖKTEN**

BİNGÖL-2019



T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**FARKLI AĞIR METAL UYGULAMALARININ TANE SORGUM
ÇEŞİTLERİNDE AĞIR METAL BİRİKİMİ, MORFOLOJİK VE
YEM KALİTE ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Prof. Dr. Kağan KÖKTEN danışmanlığında, Hava Şeyma YILMAZ tarafından hazırlanan bu çalışma/...../2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Tarla Bitkileri Anabilim Dalı – Bilim Dalı'nda Doktora Tezi olarak **oybirliği/oy çokluğu** (.../...) ile kabul edilmiştir.

Başkan	: Prof. Dr. Kağan KÖKTEN	İmza	:
Üye	: Prof. Dr. Mevlüt AKÇURA	İmza	:
Üye	: Doç. Dr. Mahmut KAPLAN	İmza	:
Üye	: Doç. Dr. Hakan İNCİ	İmza	:
Üye	: Doç. Dr. Erdal ÇAÇAN	İmza	:

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulunun// tarih ve/
nolu kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Zafer ŞİAR
Enstitü Müdürü

Bu çalışma Bingöl Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi BAP projeleri kapsamında desteklenmiştir.

Proje No: BAP-ZF.2017.00.008

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

ÖNSÖZ

Tez çalışmaları süresince yardımlarını ve bilgi birikimini esirgemeyen, çalışmaların tamamlanabilmesi için gerekli desteği veren değerli danışman hocam Prof. Dr. Kağan KÖKTEN'e teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmasına desteklerinden dolayı Bingöl Üniversitesi Rektörlüğüne (Proje No: BAP-ZF.2017.00.008), Merkezi Laboratuvar Uygulama ve Araştırma Merkezine teşekkür ederim.

Tez izleme raporlarım esnasında yaptıkları yönlendirmeler ve katkılarından dolayı değerli hocalarım Doç. Dr. Erdal ÇAÇAN'a ve Doç. Dr. Hakan İNCİ'ye, sera ve analiz çalışmaları sırasında yardımlarını benden esirgemeyen Abdullah HAVAN ve Ömer DÖNER'e ve katkılarından dolayı Dr. Öğr. Üyesi Aydın Şükrü Bengü hocama teşekkürlerimi sunuyorum. Ayrıca bilimsel katkıları ve değerli tecrübelerini ve desteklerini hiç esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Mevlüt AKÇURA ve Doç. Dr. Mahmut KAPLAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Başta annem ve babam olmak üzere değerli arkadaşlarım Arş. Gör. Bedriye BİLİR, Yüksek Ziraat Mühendisi Çiğdem YAVUZ ve bu yolda benimle birlikte yürüyen herkese teşekkürü bir borç bilirim.

H. Şeyma YILMAZ
Bingöl 2019

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xvi
ÖZET.....	xxiv
ABSTRACT.....	xxvi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Sorgum.....	1
1.2. Ağır metaller.....	3
1.2.1. Bitkiler Tarafından Ağır Metallerin (İz Element, Metaller) Alınımı.....	5
1.2.2. Metallerin Bitkilere Taşınımı.....	5
1.2.3. Ağır Metallerin Bitkilerde Meydana Getirdiği Hasarlar.....	6
1.2.4. Bitkilerin Metal Toksitesine Karşı Korunma Yolları.....	7
1.3. Kadmiyum.....	9
1.4. Krom.....	11
1.5. Nikel.....	13
1.6. Topraklarda İzin Verilen Ağır Metal Sınır Değerleri.....	16
1.7. Dünya Sağlık Örgütü Tarafından Bazı Ağır Metaller İçin Toprakta ve Bitkilerde İzin Verilen Değerler.....	17
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	18
2.1. Ağır Metallerle İlgili Kaynak Özetleri (Cd, Cr, Ni).....	18

3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	41
3.1. Materyal.....	41
3.1.1. Deneme Alanı İle İlgili Bilgiler.....	41
3.1.2. Denemede Kullanılan Toprak İle İlgili Bilgiler.....	41
3.1.3. Kullanılan Tane Sorgum Çeşitleri ve Özellikleri.....	43
3.1.4. Denemede Kullanılan Metaller.....	43
3.2. Metot.....	44
3.2.1. Deneme Deseni.....	44
3.2.2. Deneme Toprağının Hazırlanması.....	44
3.2.3. Tohum Ekiminin Yapılması.....	45
3.2.4. Ağır Metal Dozları ve Uygulamanın Yapılması.....	45
3.2.5. Hasat.....	46
3.2.6. Serada Bitkiler Hasat Olgunluğuna Geldikten Sonra Uygulanan Morfolojik Ölçümler.....	47
3.2.7. Yem Kalite Analizleri.....	48
3.2.8. Bitkilerde Ağır Metal Analizlerinin Yapılması.....	51
3.2.9. Toprak Örnekleri İçin Alınabilir Cd, Cr ve Ni Belirlenmesi.....	53
3.2.10. İstatistiksel Analiz.....	55
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	56
4.1. Kadmiyum (Cd) Elementine Ait İncelenen Özellikler.....	56
4.1.1. Bitki Boyu (cm).....	56
4.1.2. Bitki Gövde Çapı (mm).....	58
4.1.3. Salkım Uzunluğu (cm).....	60
4.1.4. Bin Tane Ağırlığı (g).....	62
4.1.5. Gövde Oranı (%).....	64
4.1.6. Yaprak Oranı (%).....	66

4.1.7. Salkım Oranı (%).....	68
4.1.8. Kadmiyumun (Cd) Bitki Organları Arasındaki Dağılımı.....	70
4.1.9. Kökte Birikim (ppm).....	71
4.1.10. Gövdede Birikim (ppm).....	73
4.1.11. Yaprakta Birikim (ppm).....	76
4.1.12. Tanede Birikim (ppm).....	78
4.1.13. Toprakta Birikim (ppm).....	81
4.1.14. Kondanse Tanen Oranı (%).....	83
4.1.15. Ham Protein Oranı (%).....	86
4.1.16. Ham Yağ Oranı (%).....	88
4.1.17. Asit Deterjanda Çözünmeyen Lif Oranı (ADF %).....	90
4.1.18. Nötr Deterjanda Çözünmeyen Lif Oranı (NDF %).....	93
4.1.19. Sindirilebilir Kuru Madde Oranı (SKM%).....	96
4.1.20. Kuru Madde Tüketimi Oranı (KMT %).....	98
4.1.21. Nispi Yem Değeri (NYD).....	101
4.2.Krom (Cr) Elementine Ait İncelenen Özellikler.....	103
4.2.1. Bitki Boyu (cm).....	103
4.2.2. Bitki Gövde Çapı (mm).....	106
4.2.3. Gövde Oranı (%).....	108
4.2.4. Yaprak Oranı (%).....	110
4.2.5. Kromun (Cr) Bitki Organları Arasındaki Dağılımı.....	113
4.2.6. Kökte Birikim (ppm).....	114
4.2.7. Gövdede Birikim (ppm).....	117
4.2.8. Yaprakta Birikim (ppm).....	119
4.2.9. Toprakta Birikim (ppm).....	121
4.3. Nikel (Ni) Elementine Ait İncelenen Özellikler.....	124

4.3.1. Bitki Boyu (cm).....	124
4.3.2. Bitki Gövde Çapı (mm).....	126
4.3.3. Salkım Uzunluğu (cm).....	129
4.3.4. Bin Tane Ağırlığı (g).....	131
4.3.5. Gövde Oranı (%).....	133
4.3.6. Yaprak Oranı (%).....	135
4.3.7. Salkım Oranı (%).....	137
4.3.8. Nikelin (Ni) Bitki Organları Arasındaki Dağılımı.....	140
4.3.9. Kökte Ni Birikimi (ppm).....	141
4.3.10. Gövdede Ni Birikimi (ppm).....	143
4.3.11. Yaprakta Ni Birikimi (ppm).....	146
4.3.12. Tanede Ni Birikimi (ppm).....	148
4.3.13. Toprakta Ni Birikimi (ppm).....	150
4.3.14. Kondanse Tanen Oranı (%).....	153
4.3.15. Ham Protein Oranı (%).....	156
4.3.16. Ham Yağ Oranı (%).....	158
4.3.17. Asit Deterjanda Çözünmeyen Lif Oranı (ADF%).....	161
4.3.18. Nötr Deterjanda Çözünmeyen Lif Oranı (NDF%).....	163
4.3.19. Sindirilebilir Kuru Madde Oranı (SKM%).....	165
4.3.20. Kuru Madde Tüketimi Oranı (KMT%).....	168
4.3.21. Nispi Yem Değeri.....	170
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	173
KAYNAKLAR.....	176
ÖZGEÇMİŞ.....	195

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ppm	: Milyonda Bir Kısım (parts per million)
Ni	: Nikel
NiSO₄	: Nikel Sülfat
Pb	: Kurşun
μM	: Mikromolar
Cd	: Kadmiyum
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
CO₂	: Karbon dioksit
Fe	: Demir
g/cm³	: gram/santimetreküp
HNO₃	: Nitrik asit
H₂SO₄	: Sülfirik asit
mM	: Milimolar
Zn	: Çinko
kg	: Kilogram
da	: Dekar
mm	: Milimetre
cm	: Santimetre
N	: Azot
P	: Fosfor
K	: Potasyum
ADF	: Asit Deterjanda Çözünmeyen Lif
NDF	: Nötral Deterjanda Çözünmeyen Lif
NYD	: Nispi Yem Değeri
SKM	: Sindirilebilir Kuru Madde

KMT	: Kuru Madde Tüketimi
HP	: Ham Protein
Da	: Dalton, atomik kütle birimi

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. 1. Türkiye Topraklarında İzin Verilen Ağır Metal Sınır Değerleri.....	16
Tablo 1. 2. Dünya Sağlık Örgütü Tarafından Toprakta ve Bitkiler İçin İzin Verilen Sınır Ağır Metal Değerleri (mg kg ⁻¹).....	17
Tablo 3.1. Denemede Kullanılan Toprağa Ait Bazı Özellikler.....	42
Tablo 3.2. Denemede Kullanılan Elementler ve Dozları.....	45
Tablo 4.1. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bitki Boylarına Ait Varyans Analiz Sonuçları.....	56
Tablo 4.2. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bitki Boylarına (cm) Etkisine Ait Ortalamalar.....	57
Tablo 4.3. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bitki Gövde Çaplarına Ait Varyans Analizi.....	58
Tablo 4.4. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bitki Gövde Çaplarına (mm) Etkisine Ait Ortalamalar.....	59
Tablo 4.5. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Salkım Uzunluklarına Ait Varyans Analizi.....	60
Tablo 4.6. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Salkım Uzunluklarına (cm) Etkisine Ait Ortalama Tablosu.....	61
Tablo 4.7. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bin Tane Ağırlıklarına Ait Varyans Analizi.....	62
Tablo 4.8. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bin Tane Ağırlıklarına (g) Etkisine Ait Ortalamalar.....	63
Tablo 4.9. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövde Oranlarına Ait Varyans Analizi.....	64
Tablo 4.10. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövde Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalamalar.....	65

Tablo 4.11. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yaprak Oranlarına Ait Varyans Analizi.....	66
Tablo 4.12. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yaprak Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalamalar.....	67
Tablo 4.13. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Salkım Oranlarına Ait Varyans Analizi.....	68
Tablo 4.14. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Salkım Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalamalar.....	69
Tablo 4.15. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Kök Bölgelerindeki Cd Miktarlarına Ait Varyans Analizi.....	71
Tablo 4.16. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Kök Bölgelerindeki Cd Miktarlarına (ppm) Etkisine Ait Ortalamalar.....	72
Tablo 4.17. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövdelerinde Biriken Cd Miktarlarına Ait Varyans Analizi.....	74
Tablo 4.18. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövdelerinde Biriken Cd Miktarlarına (ppm) Etkisine Ait Ortalamalar.....	75
Tablo 4.19. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yapraklarında Biriken Cd Miktarlarına Ait Varyans Analizi.....	76
Tablo 4.20. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yapraklarında Biriken Cd Miktarlarına (ppm) Etkisine Ait Ortalamalar.....	77
Tablo 4.21. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Tanelerinde Biriken Cd Miktarlarına Ait Varyans Analizi.....	78
Tablo 4.22. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Tanelerinde Biriken Cd Miktarlarına (ppm) Etkisine Ait Ortalamalar.....	79
Tablo 4.23. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yetiştği Toprakta Kalan Cd Miktarlarına Ait Varyans Analizi.....	81
Tablo 4.24. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yetiştği Toprakta Kalan Cd Miktarlarına (ppm) Ait Ortalamalar.....	82
Tablo 4.25. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Tanen Oranlarına Ait Varyans Analizi.....	83
Tablo 4.26. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Kondanse Tanen Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalamalar.....	84

Tablo 4.27. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Ham Protein Oranlarına Ait Varyans Analizi.....	86
Tablo 4.28. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Ham Protein Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalamalar.....	87
Tablo 4.29. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Ham Yağ Oranlarına Ait Varyans Analizi.....	88
Tablo 4.30. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Ham Yağ Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalamalar.....	89
Tablo 4.31. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin ADF Oranlarına Ait Varyans Analizi.....	91
Tablo 4.32. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin ADF Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalama Tablosu.....	92
Tablo 4. 33. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin NDF Oranlarına Ait Varyans Analizi.....	94
Tablo 4.34. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin NDF Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalamalar.....	95
Tablo 4.35. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Sindirilebilir Kuru Madde Oranlarına Ait Varyans Analizi.....	96
Tablo 4.36. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin SKM Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalamalar.....	97
Tablo 4.37. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Kuru Madde Tüketimi Oranlarına Ait Varyans Analizi.....	99
Tablo 4.38. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin KMT Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalamalar.....	100
Tablo 4.39. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Nispi Yem Değerine Etkisine Ait Varyans Analizi.....	101
Tablo 4.40. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Nispi Yem Değerine Etkisine Ait Ortalamalar.....	102
Tablo 4.41. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bitki Boylarına Ait Varyans Analizi.....	104
Tablo 4.42. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bitki Boylarına (cm) Etkisine Ait Ortalamalar.....	105

Tablo 4.43. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bitki Gövde Çaplarına Ait Varyans Analizi.....	106
Tablo 4.44. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bitki Gövde Çapına (mm) Etkisine Ait Ortalamalar.....	107
Tablo 4.45. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövde Oranlarına Ait Varyans Analizi.....	108
Tablo 4.46. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövde Oranına (%) Etkisine Ait Ortalamalar.....	109
Tablo 4.47. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yaprak Oranlarına Ait Varyans Analiz Sonuçları.....	111
Tablo 4.48. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yaprak Oranına (%) Etkisine Ait Ortalamalar.....	112
Tablo 4.49. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Kök Bölgelerindeki Cr Miktarlarına Ait Varyans Analizi.....	114
Tablo 4.50. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Kök Bölgelerindeki Cr Miktarlarına (ppm) Etkisine Ait Ortalamalar.....	115
Tablo 4.51. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövdelerinde Biriken Cr Miktarlarına Ait Varyans Analizi.....	117
Tablo 4.52. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövdelerinde Biriken Cr Miktarlarına (ppm) Etkisine Ait Ortalamalar.....	118
Tablo 4.53. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yapraklarında Biriken Cr Miktarlarına Ait Varyans Analizi.....	119
Tablo 4.54. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yapraklarında Biriken Cr Miktarlarına (ppm) Etkisine Ait Ortalamalar.....	120
Tablo 4.55. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yetiştği Topraktaki Cr Miktarlarına Ait Varyans Analizi.....	122
Tablo 4.56. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yetiştği Topraktaki Cr Miktarlarına (ppm) Etkisine Ait Ortalamalar.....	123
Tablo 4.57. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bitki Boylarına Ait Varyans Analizi.....	124
Tablo 4.58. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bitki Boylarına (cm) Etkisine Ait Ortalamalar.....	125

Tablo 4.59. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bitki Gövde Çaplarına Ait Varyans Analizi.....	127
Tablo 4.60. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövde Çapına (mm) Etkisine Ait Ortalamalar.....	128
Tablo 4.61. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Salkım Uzunluklarına Ait Varyans Analizi.....	129
Tablo 4.62. Farklı Ni Dozlarının Tane Sorgum Çeşitlerinin Salkım Uzunluklarına (cm) Etkisine Ait Ortalamalar.....	130
Tablo 4.63. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bin Tane Ağırlıklarına Ait Varyans Analizi.....	131
Tablo 4.64. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bin Tane Ağırlıklarına (g) Etkisine Ait Ortalamalar.....	132
Tablo 4.65. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövde Oranlarına Ait Varyans Analizi.....	133
Tablo 4.66. Farklı Ni dozlarının Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövde Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalamalar.....	134
Tablo 4.67. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yaprak Oranlarına Ait Varyans Analizi.....	135
Tablo 4.68. Farklı Ni dozlarının Tane Sorgum Çeşitlerinin Yaprak Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalamalar.....	136
Tablo 4.69. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Salkım Oranlarına Ait Varyans Analizi.....	138
Tablo 4.70. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Salkım Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalamalar.....	139
Tablo 4.71. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Kök Bölgelerindeki Ni Miktarlarına Ait Varyans Analizi.....	141
Tablo 4.72. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Kök Bölgelerindeki Ni Miktarlarına (ppm) Etkisine Ait Ortalamalar.....	142
Tablo 4.73. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövdelerinde Biriken Ni Miktarlarına Ait Varyans Analizi.....	144
Tablo 4.74. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövdelerinde Biriken Ni Miktarlarına (ppm) Etkisine Ait Ortalamalar.....	145

Tablo 4.75. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yapraklarında Biriken Ni Miktarlarına Ait Varyans Analizi.....	146
Tablo 4.76. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yapraklarında Biriken Ni Miktarlarına (ppm) Etkisine Ait Ortalamalar.....	147
Tablo 4.77. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Tanelerinde Biriken Ni Miktarlarına Ait Varyans Analizi.....	148
Tablo 4.78. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Tanelerinde Biriken Ni Miktarlarına (ppm) Etkisine Ait Ortalamalar.....	149
Tablo 4.79. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yetiştği Toprakta Kalan Ni Miktarlarına Ait Varyans Analizi.....	151
Tablo 4.80. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yetiştği Toprakta Kalan Ni Miktarlarına (ppm) Etkisine Ait Ortalamalar.....	152
Tablo 4.81. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Kondanse Tanen Oranlarına Ait Varyans Analizi.....	153
Tablo 4.82. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Kondanse Tanen Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalamalar.....	154
Tablo 4.83. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Ham Protein Oranlarına Ait Varyans Analizi.....	156
Tablo 4.84. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Ham Protein Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalamalar.....	157
Tablo 4.85. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Ham Yağ Oranlarına Ait Varyans Analizi.....	158
Tablo 4.86. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Ham Yağ Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalamalar.....	159
Tablo 4.87. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin ADF Oranlarına Ait Varyans Analizi.....	161
Tablo 4.88. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin ADF Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalamalar.....	162
Tablo 4.89. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin NDF Oranlarına Ait Varyans Analizi.....	163
Tablo 4.90. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin NDF Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalamalar.....	164

Tablo 4.91. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin SKM Oranlarına Ait Varyans Analiz Sonuçları.....	165
Tablo 4.92. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin SKM Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalamalar.....	166
Tablo 4.93. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin KMT Oranlarına Ai Varyans Analizi.....	168
Tablo 4.94. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin KMT Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalamalar.....	169
Tablo 4. 95. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin NYD Ait Varyans Analiz Sonuçları.....	170
Tablo 4.96. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin NYD Etkisine Ait Ortalamalar.....	171

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Denemede Kullanılan Sera Bölmesinden Görüntü.....	41
Şekil 3.2. Denemede Kullanılan Ticari Olarak Temin Edilen Ağır Metaller.....	44
Şekil 3.3. Deneme Toprağının Hazırlanması.....	44
Şekil 3.4. Sorgum Fidelerinin Seyreltilmesi.....	45
Şekil 3.5. Ağır Metal Tartımlarının Yapılması ve Çözündürülmesi.....	46
Şekil 3.6. Bitki Köklerinin Yıkamaya Hazır Hale Getirilmesi.....	47
Şekil 3.7. Köklerin Topraktan Ayrılıp Yıkınması.....	47
Şekil 3.8. Sorgum Tanelerinin Öğütme İçin Hazırlanması.....	48
Şekil 3.9. Bitki Örneklerinin Toplam Yakma İşlemine Hazırlanması.....	52
Şekil 3.10. Toplam Yakma İşleminin Yapılması.....	52
Şekil 3.11. ICP- MS Cihazında Element Değerlerinin Okunması.....	53
Şekil 3.12. Toprak Örneklerinin Elenmesi ve DTPA Yöntemiyle Analiz İçin Hazırlanması.....	54
Şekil 3.13. DTPA Yöntemi İle Çalkalama İşleminde Sonra Örneklerin Süzülmesi....	54
Şekil 4.1. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bitki Boylarına (cm) Etkisine Ait Değişim Grafiği.....	57
Şekil 4.2. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bitki Gövde Çaplarına (mm) Etkisine Ait Değişim Grafiği.....	59
Şekil 4.3. Tane Sorgum Çeşitlerinin Salkım Uzunluklarına (cm) Ait Değişim Grafiği....	61
Şekil 4.4. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bin Tane Ağırlıklarına (g) Etkisine Ait Değişim Grafiği.....	63
Şekil 4.5. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövde Oranlarına (%) Etkisine Ait Değişim Grafiği.....	65

Şekil 4. 6. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yaprak Oranlarına (%) Etkisine Ait Değişim Grafiği.....	67
Şekil 4.7. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Salkım (%) Oranlarına Etkisine Ait Değişim Grafiği.....	69
Şekil 4.8. Kadmiyumun (Cd) Tane Sorgum Çeşitlerinin Morfolojik Organları Arasındaki Dağılımı.....	71
Şekil 4.9. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Kök Bölgelerindeki Cd Miktarlarına (ppm) Etkisine Ait Değişim Grafiği.....	73
Şekil 4.10. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövdelerinde Biriken Cd Miktarlarına (ppm) Etkisine Ait Değişim Grafiği.....	75
Şekil 4.11. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yapraklarında Biriken Cd Miktarlarına (ppm) Etkisine Ait Değişim Grafiği.....	77
Şekil 4.12. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Tanelerinde Biriken Cd Miktarlarına (ppm) Etkisine Ait Değişim Grafiği.....	80
Şekil 4.13. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yetiştği Toprakta Kalan Cd Miktarlarına (ppm) Ait Değişim Grafiği.....	82
Şekil 4.14. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Kondanse Tanen Oranlarına (%) Etkisine Ait Değişim Grafiği.....	85
Şekil 4.15. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Ham Protein Oranlarına (%) Etkisine Ait Değişim Grafiği.....	87
Şekil 4.16. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Ham Yağ Oranına (%) Etkisine Etkisine Ait Değişim Grafiği.....	90
Şekil 4.17. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin ADF Oranlarına (%) Etkisine Ait Değişim Grafiği.....	92
Şekil 4.18. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin NDF Oranlarına (%) Etkisine Ait Değişim Grafiği.....	95
Şekil 4.19. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin SKM Oranlarına (%) Etkisine Ait Değişim Grafiği.....	97
Şekil 4.20. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin KMT Oranlarına (%) Etkisine Ait Değişim Grafiği.....	100
Şekil 4. 21. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Nispi Yem Değerine Etkisine Ait Değişim Grafiği.....	102

Şekil 4.22. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bitki Boylarına (cm) Etkisine Ait Değişim Grafiği.....	105
Şekil 4.23. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövde Çaplarına (mm) Etkisine Ait Değişim Grafiği.....	107
Şekil 4.24. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövde Oranlarına (%) Etkisine Ait Değişim Grafiği.....	109
Şekil 4.25. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yaprak Oranına (%) Etkisine Ait Değişim Grafiği.....	112
Şekil 4.26. Kromun (Cr) Tane Sorgum Çeşitlerinin Morfolojik Organları Arasındaki Dağılımı.....	114
Şekil 4.27. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Kök Bölgelerindeki Cr Miktarlarına (ppm) Ait Değişim Grafiği.....	116
Şekil 4.28. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövdelerinde Biriken Cr Miktarlarına (ppm) Ait Değişim Grafiği.....	118
Şekil 4.29. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yapraklarında Biriken Cr Miktarlarına (ppm) Ait Değişim Grafiği.....	121
Şekil 4.30. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yetiştği Topraktaki Cr Miktarlarına (ppm) Etkisine Ait Değişim Grafiği.....	123
Şekil 4.31. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bitki Boylarına (cm) Etkisine Ait Değişim Grafiği.....	126
Şekil 4.32. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövde Çapına (mm) Etkisine Ait Değişim Grafiği.....	128
Şekil 4.33. Farklı Ni Dozlarının Tane Sorgum Çeşitlerinin Salkım Uzunluklarına (cm) Etkisine Ait Değişim Grafiği.....	130
Şekil 4.34. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bin Tane Ağırlıklarına (g) Etkisine Ait Değişim Grafiği.....	132
Şekil 4.35. Farklı Ni dozlarının Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövde Oranlarına (%) Etkisine Ait Değişim Grafiği.....	134
Şekil 4.36. Farklı Ni dozlarının Tane Sorgum Çeşitlerinin Yaprak Oranlarına (%) Etkisine Ait Değişim Grafiği.....	137
Şekil 4.37. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Salkım Oranlarına (%) Ait Değişim Grafiği.....	139

Şekil 4.38. Nikelin (Ni) Bitki Organları Arasındaki Dağılımı.....	141
Şekil 4.39. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Kök Bölgelerindeki Ni Miktarlarına (ppm) Ait Değişim Grafiği.....	143
Şekil 4.40. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövdelerinde Biriken Ni Miktarlarına (ppm) Ait Değişim Grafiği.....	145
Şekil 4.41. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yapraklarında Biriken Ni Miktarlarına (ppm) Ait Değişim Grafiği.....	147
Şekil 4.42. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Tanelerinde Biriken Ni Miktarlarına (ppm) Ait Değişim Grafiği.....	150
Şekil 4.43. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yetiştği Toprakta Kalan Ni Miktarlarına (ppm) Ait Değişim Grafiği.....	152
Şekil 4.44. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Kondanse Tanen Oranlarına (%) Ait Değişim Grafiği.....	155
Şekil 4. 45. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Ham Protein Oranına (%) Etkisine Ait Değişim Grafiği.....	157
Şekil 4.46. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Ham Yağ Oranlarına (%) Etkisine Ait Değişim Grafiği.....	160
Şekil 4.47. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin ADF Oranlarına (%) Etkisine Ait Değişim Grafiği.....	162
Şekil 4.48. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin NDF Oranlarına (%) Etkisine Ait Değişim Grafiği.....	164
Şekil 4.49. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin SKM Oranlarına (%) Etkisine Değişim Grafiği.....	167
Şekil 4.50. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin KMT Oranlarına (%) Etkisine Değişim Grafiği.....	169
Şekil 4.51. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin NYD Etkisine Ait Değişim Grafiği.....	171

FARKLI AĞIR METAL UYGULAMALARININ TANE SORGUM ÇEŞİTLERİNDE AĞIR METAL BİRİKİMİ, MORFOLOJİK VE YEM KALİTE ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

ÖZET

Bu araştırma, bazı tane sorgum (*Sorghum bicolor* L.) çeşitlerinde kadmiyum (Cd), krom(Cr) ve nikel (Ni) uygulamalarının, bitkilerde meydana gelen ağır metal birikimi (bitki organlarındaki dağılımı), morfolojik özelliklere olan etkisi ve yem kalite özelliklerindeki değişimi incelemek amacıyla sera koşullarında yürütülmüştür.

Araştırmada; Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nden temin edilen üç farklı tane sorgum çeşidi (Akdarı, Beydarı ve Öğretmenoğlu) bitkisel materyal olarak kullanılmıştır. Çalışma, kadmiyum elementi için bölünmüş parseller deneme desenine (3 çeşit x 1 element x 6 doz x 3 tekerrür) göre, krom elementi için bölünmüş parseller deneme desenine (3 çeşit x 1 element x 6 doz x 3 tekerrür) göre, nikel elementi için bölünmüş parseller deneme desenine (3 çeşit x 1 element x 6 doz x 3 tekerrür) göre kurulmuş ve 3 ayrı deneme şeklinde yürütülmüştür. Uygulanan kadmiyum (Cd) dozları 0, 25, 50, 75, 100, 125 ppm, krom (Cr) dozları 0, 50, 100, 200, 300, 400 ppm ve nikel (Ni) dozları 0, 100, 200, 300, 400 ve 500 ppm şeklindedir.

Araştırmada uygulanan Cd ve Ni için; bitki boyu, bitki gövde çapı, salkım uzunluğu, bin tane ağırlığı, gövde oranı, yaprak oranı, salkım oranı, kökte birikim, gövdede birikim, yaprakta birikim, tanede birikim, toprakta birikim, tanen oranı, ham protein oranı, yağ oranı, ADF(asit deterjanda çözünmeyen lif), NDF (nötral deterjanda çözünmeyen lif), SKM (sindirilebilir kuru madde), KMT (kuru madde tüketimi) ve NYD (nispi yem değeri) oranları incelenmiştir. Cr elementinin uygulandığı bitkilerde salkım oluşumu gerçekleşmemiş ve incelenen özellikler bitki boyu, bitki gövde çapı, gövde oranı, yaprak oranı, kökte birikim, gövdede birikim, yaprakta birikim ve toprakta birikim şeklinde olmuştur.

Araştırmada kadmiyuma ait, çeşit x doz interaksyonu bakımından incelenen, salkım oranı, kökte birikim, gövdede birikim, yaprakta birikim, tanede birikim, toprakta birikim, tanen oranı, yağ oranı, NDF (nötral deterjanda çözünmeyen lif), KMT (kuru madde tüketimi) ve NYD (nispi yem değeri) ($P<0,01$); bitki boyu, bin tane ağırlığı, gövde oranı, ham protein oranı, ADF(asit deterjanda çözünmeyen lif), SKM (sindirilebilir kuru madde) ($P<0,05$) özelliklerinde istatistiki olarak farklılıklar belirlenmiştir. Ayrıca krom (Cr) ve nikel (Ni) için belirtilen tüm özelliklerde çeşit x doz interaksyonu ($P<0,01$) önemli bulunmuştur.

Çalışmada Cd' nin en fazla köklerde yoğunlaştığı ve bitkinin toprak üstü organlarına tüm çeşitlerde taşındığı ancak Akdarı çeşidinde taneye olan taşınımın Beydarı ve Öğretmenoğlu çeşitlerinden neredeyse 5 katı fazla olduğu belirlenmiştir. Çeşitlerin morfolojik özelliklerinin 25 ppm Cd ve üzerindeki seviyelerde olumsuz etkilendiği görülmüştür. Yem kalite özelliklerinde Cd stresinde doz artışına bağlı olarak değişimler gözlemlenmiştir. Krom stresinde bitkilerde salkım ve tane oluşumu gerçekleşmemiş ve tüm çeşitlerde tüm dozlarda morfolojik özellikler olumsuz etkilenmiştir. Ayrıca çalışmada kullanılan tane sorgum çeşitlerinin tamamında en yüksek Cr konsantrasyonuna bitkilerin yapraklarında rastlanılmıştır. Ni stresi altında bitkilerin morfolojik özellikleri genelde 200- 300 ppm seviyelerine kadar olumlu olsa da üzerindeki dozlarda olumsuz etkiler gözlemlenmiştir. Ni birikimi tüm çeşitlerde en fazla bitkilerin kök bölgesinde belirlenirken, en az birikim yine tüm çeşitlerde bitkilerin gövdesinde belirlenmiştir. Yem kalite özelliklerinde Ni stresi altında değişimler gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak çalışmada tane sorgum çeşitleri kullanılmış ve asıl amacın taneye ağır metal taşınımının belirlenmesi olduğu için Akdarı çeşidinin kadmiyum (Cd) ile bulaşık alanlar için uygun olmadığı kanaatine varılmıştır. Krom stresinde bitki tane oluşturmamıştır ve krom ile bulaşık alanlarda verim amaçlı yetiştiricilik önerilmemektedir. Ni stresi altında bitkiler bazı dozlara kadar nikeli besin elementi olarak algılamış olabildiği ihtimali ile etkiler olumlu ise de bazı dozlardan itibaren nikel ağır metal olarak olumsuz etki göstermiş ve nikelin bitki organlarına dağılımı köklerde yoğunlaşmış ve tüm bitkide varlığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tane sorgum, kadmiyum, krom, nikel, morfolojik özellikler, ağır metal birikimi, yem kalite özellikleri.

THE EFFECT OF DIFFERENT HEAVY METAL APPLICATIONS ON HEAVY METAL ACCUMULATION, MORPHOLOGICAL AND FORAGE QUALITY PROPERTIES IN GRAIN SORGHUM VARIETIES

ABSTRACT

In this study was carried out between 28 april - 10 september 2017 in Kahramanmaraş Sutcu Imam University Faculty of Agriculture research greenhouses. Cadmium, chromium and nickel were applied to some sorghum varieties and heavy metal accumulation, effect on morphological properties and changes in forage quality characteristics were investigated.

In this research; Three different sorghum varieties obtained from the Batı Akdeniz Agricultural Research Institute (Akdari, Beydari, Ogretmenoglu) were used as plant material. The doses of cadmium administered are 0, 25, 50, 75, 100, 125 ppm, chromium doses 0, 50, 100, 200, 300, 400 ppm and nickel doses 0, 100, 200, 300, 400 and 500 ppm. The study was established according to a split plot design and 162 flower pots were used.

For Cd and Ni applied in the research; plant height, plant stem diameter, cluster length, thousand grain weight, stem ratio, leaf ratio, cluster ratio, root accumulation, trunk deposition, deposition in leaf, grain accumulation, soil deposition, tannin ratio, crude protein content ratio, oil ratio, ADF (acid detergent fiber), NDF (neutral detergent fiber), DDM (digestible dry matter), DMI (dry matter intake) and RFV (relative feed value) ratios were examined. Clusters did not occur in the plants where Cr element was applied and the properties examined were plant height, plant stem diameter, stem ratio, leaf ratio, accumulation in the root, accumulation in the stem, accumulation in the leaf and accumulation in the soil.

According to the study, the properties of cadmium were examined in terms of variety x dose interaction; cluster rate, root accumulation, stem deposition, leaf deposition, grain deposition, soil deposition, tannin content, oil content, NDF (neutral detergent fiber), DMC (dry matter consumption) and RFV (relative feed value) ($P < 0.01$) ; plant height, grain weight, stem ratio, protein ratio, ADF (acid detergent fiber), DDM (digestible dry matter) ($P < 0.05$) were statistically significant differences. In addition, the interaction ($P < 0.01$) was significant in all the properties indicated for chromium (Cr) and nickel (Ni).

In the study, it was determined that Cd was mostly concentrated in the roots. Cd was transported to the above-ground organs of the plant in all varieties, but the transport to the

grain in the Akdarı variety was about 5 times higher than that of Beydari and Ogretmenoglu varieties.

Morphological characteristics of the varieties were negatively affected at levels of 25 ppm Cd and above. Changes in quality characteristics were observed due to dose increase in Cd stress. Cluster and grain formation did not occur in plants under chromium stress and morphological properties were negatively affected in all doses in all cultivars. In addition, the highest Cr concentration was found in the leaves of the plants in all the sorghum varieties used in the study. Although the morphological characteristics of plants under Ni stress were generally positive up to 200 - 300 ppm levels, negative effects were observed at high doses. Ni accumulation was determined mostly in the root area of the plants in all cultivars, while the least accumulation was determined in the body of plants in all cultivars. Changes in feed quality properties were observed under Ni stress.

As a result, grain sorghum varieties were used in the study and the main purpose was to determine the heavy metal transport to the grain. It is considered that Akdarı variety is not suitable for cadmium contaminated areas. The plant could not form grain in chromium stress and it is not recommended to produce yields in chrome-contaminated areas.

Under Ni stress, plants are likely to perceive low doses as nutrients and the effects are positive. However, nickel has shown a negative effect as heavy metal from some doses. The distribution of nickel to plant organs was concentrated in the roots and the presence of the whole plant was observed.

Keywords: Grain sorghum, cadmium, chromium, nickel, morphological properties, heavy metal accumulation, forage quality characteristics.

1. GİRİŞ

1.1. Sorgum

Sorghum bicolor (L.) Moench, *Poaceae* (*Gramineae*) familyasına ait bir bitkidir. Garber (1950) sorgumun yaklaşık 25 türden oluştuğunu bildirmiştir (Smith ve Frederiksen 2000). Anavatanı kuzeydoğu Afrika'dır (Harlan ve De Wet 1972).

Dünya sorgum üretim miktarı FAO (2017) istatistiklerine göre 40.674.113 ha alandan 57.601.588 ton ürün olarak bildirilmiştir.

Sorgum tipik tek yıllık bir C4 bitkisidir, 50 cm'den 240 cm'ye kadar değişen şekillerde boylanabilir, yaprakları 5 ile 100 cm uzunluğunda ve 5 ile 100 mm genişliğinde, salkımlar 5 ila 60 cm uzunluğunda, 3 ile 30 cm genişliğinde olabilir. Üst iç kavuzlar kılçıksız veya 5-30 mm arasında değişen kıvrımlı bir kılçığa sahip olabilir (CFIA 2019).

Çeşit özellikleri ve çevresel koşullar karyopsisin, endospermin ve embriyonun bileşimini etkilemektedir. Karyopsisin protein içeriği %7,3 ile %15,6 iken; %1,2 ile %6,6 arasında lif; %0,5 ile %5,2 arasında lipit ve %55,6 ila %75,2 arasında nişasta oranına sahiptir (CFIA 2019).

Tane sorgumlar kısa birleşik salkımlara sahipken yem sorgumları yaprak ağırlıklıdır ve geç olgunlaşır (Harlan ve De Wet 1972). Tane sorgumlar genellikle 60-120 cm boylanabilir (Carter vd. 1989) ve silaj için yetiştirilen 150 cm üzerinde boylanan sorgumlardan daha kısadır (Espinoza ve Kelley 2004).

S. bicolor, 19. yüzyılın sonlarında köle ticareti yoluyla Kuzey Afrika, Güney Afrika ve Hindistan'dan ticari ekim için Amerika Birleşik Devletleri'ne (ABD) tanıtılmıştır. Güney Amerika ve Avustralya'da *S. bicolor* ekimi 1950'li yıllarda başlamıştır (CFIA 2019). Şu

anda, *S. bicolor*, Afrika, Asya, Amerika, Avrupa ve Avustralya'nın kurak bölgelerinde yaygın olarak yetiştirilmektedir. Sorgum, Kuzey Amerika ve Rusya'daki 50° N enlemleri ve Arjantin'de 40° S arasında yetiştirilmektedir (Smith ve Frederiksen 2000). *S. bicolor*'a yem, tahıl üretimi ve biyoenerji kullanımı için son on yılda özellikle güneybatı Ontario ve Quebec'te ilgi artmıştır (Thivierge vd. 2015).

S. bicolor, *Oryza* spp. (pirinç), *Triticum* spp. (buğday), *Zea mays* L. (mısır) ve *Hordeum vulgare* L.'den (arpa) sonra dünyanın en önemli beşinci tahıl ürünüdür ve Afrika, Asya, Avustralya ve Avrupa genelinde 120'den fazla ülkede, tropikal, yarı tropikal, kurak ve yarı kurak iklimlerde yaygın olarak yetiştirilmektedir (FAO 2015).

Kültür sorgumu, tarımsal üretim alanlarının dışındaki doğal ortamlarda genellikle hayatta kalamazlar. 25-31 °C büyüme sıcaklıklarına sahip, sıcak, yarı kurak, tropikal ve ılıman bölgelerde kültür sorgumu yetiştirilir. Kültür sorgumları kuraklık stresini, kapsamlı kök sistemleri ve yapraklar üzerindeki mumsu tabakalarıyla su kayıplarını tolere edebilir, kuraklık durumunda büyümeyi durdurabilir ve uygun çevre koşulları sağlandığında yeniden büyümeye başlayabilir. Büyüme mevsimi boyunca 500 ila 800 mm yağışa ihtiyaç duyar, geçici su basmalarına dayanabilir ve pH 5-8,5 arasını tolere edebilir (Balole ve Legwaila 2006).

Sorgum ağırlıklı olarak kendine tozlanır, bazı durumlarda rüzgar yardımıyla yabancı tozlama oranı %60'ı geçebilir ve ortalama %6'nın üzerindedir (tarla koşullarında yabancı tozlanma oranı %5 ile %40) (Pedersen vd. 1998). Döllenmiş sorgum çiçeklerini arka arkaya ziyaret eden birkaç tozlayıcı türün hepsinin üzerinde sorgum polen taneleri bulunmuştur (Schmidt ve Bothma 2006). Bununla birlikte, böcek hareketinin tozlanma ile sonuçlanıp sonuçlanmadığı belirlenememiştir. Sorgumun çiçeklenmesi ve tozlanması House (1985) tarafından şöyle tarif edilmiştir; çiçeklenme başlangıcı çimlenmeden 30 ila 40 gün sonra başlayabilir, kültür sorgumu normalde ılıman iklimlerde çimlenmeden 55 ila 70 gün sonra çiçeklenir. Bu süre genotipe bağlı olarak 30 ile 100 gün arasında değişebilir ve nemli ve soğuk havalar çiçeklenmeyi geciktirebilir.

S. bicolor, tahıl, yem, şeker, biyoenerji ve süpürge mahsulü olarak yetiştirilir (Smith ve Frederiksen 2000). Küresel olarak üretilen sorgumun %50'si insan beslenmesi için

kullanılırken ABD’de %90’ı hayvan beslenmesinde kullanılmaktadır (Hamman vd. 2001). Yarı tropik iklimlerde sorgumda çift ürün yetiştiriciliği yapılabilir (Banks ve Duncan 1983). Uygun koşullar altında, kültür sorgumu, pirinç, buğday ve mısır ile karşılaştırılabilir bir verim potansiyeline sahiptir (House 1985).

S. bicolor melezleri üretim bölgesi, arazi koşulları, kullanım amacı, verim potansiyeli, yatma özelliği, olgunlaşma süresi, hastalık ve zararlılara dayanıklılık ve soğuk toleransı dahil olmak üzere istenen özelliklere göre seçilebilir. Sorgum yüksek su kullanım etkinliğine sahip olsa da verimi arttırmak için sulama yapılmalıdır (CFIA 2019).

Sorgumun farklı stres koşullarına dayanıklılığı hem tane olarak değerlendirilmesi hem de silaj yapımında hayvan beslemede kullanılması günümüz değişen ve artan olumsuz çevre şartlarında önem kazanmaktadır.

1.2. Ağır metaller

Ağır metal olarak adlandırdığımız terim esasında fiziksel özellik açısından yoğunluğu 5 g/cm³’ten daha yüksek olan metaller için kullanılmaktadır. Bunlar içerisinde kurşun, kadmiyum, krom, demir, kobalt, bakır, nikel, civa ve çinko olmak üzere 60’tan fazla metal yer alır. Bu elementler yer kürede çoğunlukla karbonat, silikat ve sülfür durumunda stabil bileşik olarak bulunmaktadır (Kahvecioğlu vd. 2007).

Dünyanın hızla gelişmesi, değişmesi ve sanayileşmesi ile birlikte ağır metal kirliliği bir çevre problemi olarak yerini almıştır. Toprak, hava ve su gibi ortamlara ağır metal kirliliğinin bulaşma nedenleri arasında; endüstriyel çalışmalar, tarım alanında gerek duyulan gübreler, maden ocakları, volkanik periyodlar, tarımsal üretimde ihtiyaç duyulan ilaçlar ve sanayi atıkları gibi etmenler sayılabilir (Stresty ve Madhava Rao 1999).

İz elementlerden bazıları bitki gelişimi için gerekli iken bazıları çok düşük miktarlarda bile toksiktir ve bitkide gerçekleşen birçok olayı olumsuz etkiler. Ağır metallerin toksite gösterdiği bitkilerde meydana gelen fizyolojik problemler arasında; su alımı, çimlenme, fotosentez, enzim aktivitesi, bitki besin düzenleyicilerin dengesi, stoma mobilitesi sayılabilir (Kennedy ve Gonsalves 1987).

Bitki bu ağır metalleri bitki besin elementleri yerine kullansın veya kullanmasın ağır metallerin bitki dokularında yoğun olarak birikmesi bitkilerin vejetatif ve generatif gelişimini olumsuz etkiler (Gür vd. 2004). Ayrıca bu birikme ürün ve verim değerlerine negatif yönde etki eder (Long vd. 2002).

Toprakta yoğun miktarda ağır metal bulunması toprak kalitesini olumsuz etkilediği (Long vd. 2002) için bu bulaşıklığı temizleme amaçlı olan geleneksel yöntemlerin (biyolojik ve/veya kimyasal arıtma) maliyeti çok yüksek olmaktadır (Salt ve Rauser 1995). Bu yüzden pahalı olmayan ve bitki kullanılarak gerçekleştirilen bir ağır metal temizleme yöntemi olan fitoremediasyon tekniği üzerine araştırmalara yoğunluk verilmektedir (Arshad vd. 2008).

Bazı bitkiler (hiperakümülatör) toprak üstü aksamalarında topraktaki metal konsantrasyonunun 50-500 kat daha fazlası ağır metal biriktirebilirler (Clemens 2006). Ortalama 450 bitki türü hiperakümülatör olarak tanımlanmıştır (Baker ve Brooks 1989).

Bir ağır metalin bir bitkiye ne denli zarar verebileceği; metalin türü, dozu, bitki için gerekli iz element olup olmaması, bitkide oluşturacağı zararın derecesi ve şekli, bitkinin gelişimi ve hayatta kalabilmesini belirleyen parametrelere bağlıdır (Paschke vd. 2005).

Bitkilerin, hem iz element eksikliklerinden hem de fazlalıklarından kaynaklanan kimyasal streslere reaksiyonu tam olarak tanımlanamamıştır. Çünkü bitkiler kendilerine, evrimleri ve yaşam seyirleri boyunca (ontojen ve filogeni) yeni veya kimyasal olarak dengelenmiş ortamlara adaptasyon ve toleransla sonuçlanan çeşitli biyokimyasal mekanizmalar geliştirmişlerdir. Bitkiler, ağır metal alımında çeşitli eğilimler ortaya koymaktadır, bu üç genel alım özelliğini şu şekilde gösterebilir: birikim, belirti ve hariç tutma. Bu yöntemlerden bitkinin hangisi/hangilerini kullanacağı, büyük ölçüde bitkilerin spesifik yeteneklerine ve bitki türleri arasında metal alımındaki büyük farklılıklara bağlıdır. Ayrıca, birçok çalışmada metal alımında bir türün genotipleri arasında bile büyük değişkenlik gözlemlenmiştir (Kabata-Pendias 2011).

Metallerin içinde bulunduğu çözeltilerden Emilimi, üzerine birçok araştırmacı (Loneragan 1975; Moore 1972; Mengel ve Kirkby 1978; Wild ve Jones 1988) şunları ifade etmiştir; hız, H^+ ve diğer iyonların oluşumuna bağlıdır, yoğunluk bitki türlerine ve gelişim

evresine göre değişir. Bu emilim belirli bir iyon için seçici olabilir, süreç toprak ortamının sıcaklık, havalandırma, pH ve EC gibi bazı özelliklerine duyarlıdır. Mycorrhizae, iz elementlerin dış ortam ve kökler arasında geçişinde önemli bir rol oynar.

Bir bitkinin artan metal seviyelerine karşı geliştirdiği tolerans ise, exclusion (bitki dışında tutulması) ve metabolik tolerans olarak açıklanmıştır (Singh vd. 2003).

1.2.1. Bitkiler Tarafından Ağır Metallerin (İz Element, Metaller) Alınımı

Bitkiler metalleri farklı şekilde alabilirler; eğer metaller havada gaz halinde bulunuyorsa bitkiler bunu stomaları aracılığıyla, iyon halindeki metalleri ise yaprağın kutikulası ile alabilirler (Marschner 1995).

Yine de karada yaşayan bitkiler başta olmak üzere, bitkiler metalleri çoğunlukla kökleriyle alırlar ve metaller toprakta üç şekilde bulunurlar; toprak kolloidlerine tutunarak, organik maddelere bağlanarak ve toprak çözeltisinde iyon durumunda kalarak ve bitkiler yalnızca toprak çözeltisinde iyon durumunda bulunan metalleri alabilirler (Ayhan vd. 2006).

Metallerin alınımı, toprak çözeltisindeki metal konsantrasyonundan etkilenir ve bu konsantrasyonu pH, sıcaklık, diğer iz elementlerin varlığı gibi durumlar değiştirebilir; örneğin, düşük pH'larda ortamdaki H^+ iyonu konsantrasyonu yüksektir ve bu H^+ kationları diğer metal kationlarla rekabete girer ve onların kolloidlere tutunmasını engeller ve böylece kolloidlere tutunamayan metal kationları toprak çözeltisine geçip toprak çözeltisinde metal konsantrasyonunun artmasına sebep olur (Marschner 1995). Aynı zamanda bitkiler kendileri de rizosfer pH'sını değiştirebilir (Muranyi vd. 1994) veya rizosfer bölgesine bazı maddeler (musilaj, malat, sitrat) salgılayabilir (Puthotá vd. 1991) ve böylece aldığı metal oranını değiştirebilir.

1.2.2. Metallerin Bitkilere Taşınımı

Ağır metaller bitkinin kök kısmından bitki üst organlarına taşınırken ksilem yolunu takip ederler, floem yoluyla taşınım, yapılan çalışmalarda kısmi olarak gözlemlense de oldukça azdır, ksilem yoluyla taşınım derecesini metalin türü, bitkinin çeşidi etkilemektedir (Ayhan vd. 2006).

Örneğin Ni bazı bitkilerde ksilem yoluyla taşınırken Ni- peptid durumunda bu taşınımında rol alır (Cataldo vd. 1978), öte yandan hiperakümülatör bitkilerde ise Ni- histidin şeklinde taşınımına dahil olur (Krämer vd. 1996). Cd meteline baktığımızda ise iyon durumunda ksilemde taşındığını görürüz (Mench vd. 1988). Ayrıca organik asitlerin de ağır metallerin taşınmasında yer aldığı bildirilmiştir (Greger 1999).

1.2.3. Ağır Metallerin Bitkilerde Meydana Getirdiği Hasarlar

1.2.3.1. Morfolojik Özelliklere Zararları

Ağır metallerle ilk karşılaşan bitki organı köklerdir ve hasarlar en etkili şekilde ilk olarak bitkinin kök bölgesinde görülür (Tester ve Leigh 2001; Verma ve Dubey 2003).

Kökte meydana gelen zararlar arasında; yan kök oranında artma ya da azalma, saçak kök miktarında azalma ve genel kök boyunda kısaltmalar sayılabilir. Ayrıca yine kök bölgesinde lignifikasyon meydana gelebilmek ile birlikte epidermis ve hipodermis tabakalarında bazı değişimler gözlemlenmiştir. Ağır metal stresinin devam etmesi ile birlikte bu zarar kök bölgesinden bitkinin gövdesine doğru ilerlemekte ve gövde uzamasını etkilemektedir. Bunlara ek olarak kök ve gövdenin yaş ve kuru ağırlıklarında azalma meydana getirmekte ve bitki büyümesini olumsuz etkilemektedir (Barceló ve Poschenrieder 1990).

Yapraklarda ise, elementin çeşit ve yoğunluğuna bağlı olarak şekilsel olarak değişimler, yaprak alanının küçülmesi, renk değişimleri, klorofil kaybı gözlemlenebilmektedir (Benavides vd. 2005; Lombardi ve Sebastiani 2005).

1.2.3.2. Biyokimyasal Düzeyde Zararları

Ağır metaller biyokimyasal olarak lipid peroksidasyonuna (Lipid peroksidasyonu; hücre zarının lipid yapısındaki değişiklikler nedeni ile hücre zarı işlevinin bozulması, oluşan serbest radikallerin enzimler ve diğer hücre bileşenleri üzerine olumsuz etki göstermesi ve diğer yollarla hücre hasarına neden olması) sebep olarak membran yapısını ve işleyişini bozabilmektedirler (Luna vd. 1994).

Lipid peroksidasyonu sonucu ortaya çıkan MDA (malondialdehit) iyon alımını olumsuz etkilemekte ve bileşiklerin polimerizasyonuna ve çapraz bağlanmasına sebep olmaktadır. Bu olumsuz durum sonucunda membran yapısı, iyon taşınımı, enzim aktivitesi, hücre bileşenlerinin stabilitesi bozulmaktadır (Li vd. 2006).

Ağır metaller (özellikle Cd) klorofil sentezinde yer alan enzimleri inhibe ederek enzim aktivitesine olumsuz yönde etkide bulunurlar (Ouzounidou 1995).

Ağır metallerin bir etkisi de tilakoit (kloroplastların iç kısmında düz ve birbirleriyle bağlantılı keseciklerden oluşmuş stoma içine yerleşik tilakoid adı verilen bir zar sistemi vardır ve burada klorofil, elektron taşıma zincirinin enzimleri ve ATP bulunur) zarlar üzerinde meydana getirdiği yapısal ve fonksiyonel bozukluklardır (ETS'de oluşturduğu zarar gibi) (Krupa ve Bazyński 1995).

Ağır metallerin yüksek konsantrasyonlarının PSII'de (fotosistem II) birçok bölgede hasar oluşturduğu belirlenmiştir (Nedunchezian ve Kulandaivelu 1995). Aynı şekilde belirli yoğunlukların üzerinde ağır metaller PSI'de (fotosistem I) hasar oluşturmuşlardır (Radmer ve Kok 1974).

Ni, Cd gibi ağır metaller PS II'de gerçekleşen plastosiyanin (yapısında bakır içeren bir proteindir ve mavi renkli olup devirsiz fotofosforilasyon ETS'sinde elektron aktarma görevi yapar) ve ferrodoksin (yapısında demir-kükürt içeren bir enzimdir ve demir atomunun elektron alıp vermesi ile indirgenme, yükseltgenme meydana gelir) aşamalarını inhibe ederek fotosistemi olumsuz etkilemektedir (Siedlecka ve Baszyński 1993).

1.2.4. Bitkilerin Metal Toksitesine Karşı Korunma Yolları

1.2.4.1. Metal Alımından Kaçınma

İz elementlerin genel olarak bitki bünyesine alınımının düşük pH'larda arttığı bilinmektedir, bazı bitkiler rizosfer bölgesinde pH'yı artırarak metal alınımını azaltabilirler; artan pH'yla birlikte metal mobilitesini azaltma yolu ile yapmaktadır (I) (Jackson vd. 1990).

Bir diğer sakınma mekanizması olarak; şelatlama (II): bitkiler kök bölgelerinden rizosfer bölgesine organik asit yollayabilirler (bazı organik asitler; malat, sitrat, müsilağ gibi) ve bu organik asitler ağır metallere bağ yaparlar, bitki bünyesine girişleri sekteye uğrar ve böylece bitkinin ağır metal alımı azalır (Delhaize vd. 1993).

Bitkinin metal alımını azaltma yollarından birisi de alınmış metal iyonlarının rizosfer bölgesine geri transferidir (III) (Jackson vd. 1990).

1.2.4.2. Antioksidant Savunma Mekanizması

Metaller oksidatif strese sebep olarak serbest radikal oluşumunu teşvik ederler, metal stresine giren bitkide reaktif oksijen türleri (ROS) dediğimiz $OH^\cdot$, $O_2^\cdot$, H_2O_2 artmaya başlar (Shah vd. 2001) ve bitkiler serbest radikallerin zararından kendilerini korumak için bir antioksidan savunma mekanizması geliştirirler. Antioksidan mekanizma ise bazı enzimleri ve indirgen molekülleri kapsamaktadır, bu enzimler metaller üzerinde dolaylı olarak etkisini; serbest radikaller üzerinde çeşitli değişimler yaparak onları zararsız hale getirmek suretiyle gösterirler (Alsher vd. 1997).

1.2.4.3. Metallerin Ligandlara Bağlanması ve Biriktirilmesi

Bitkiler iz elementlerin fazlasını hassas metabolik aktivite göstermeyen hücre organel (vakuel) ve yapılarında (hücre duvarı) biriktirebilirler (Alsher vd. 1997). Hücre duvarı metalleri değişik oranlarda biriktirebilir ve bazı metallerin dışarı taşınımına yardım edebilir (Rauser 1990).

Ligand (bağlanma) tanım olarak, metal atomu ve iyonuna elektron çifti verebilen bir molekül olarak karşımıza çıkar. En önemli ligandlar; metalotiyoninler ve fitoşelatinlerdir (sülfür verici grupta yer alır) ve esas görevleri metal zararını azaltmaktır, diğer ligandların (azot verici grup: aminoasit, toksijen verici grup: malat, sitrat) esas görevleri metal zararını azaltmak değildir, farklı görevler için sentezlenirler de zararı azaltmada yardımcı rol üstlenirler. Metalotiyoninlerin yapısındaki sisteinin sülfür gruplarına metaller gelip bağlanırlar ve şelatları meydana getirirler ve böylece metal konsantrasyonu ve zararı azalmış olmaktadır (Ayhan vd. 2006). Örneğin Cd – fitoşelatin yapısı vakuole gelir, fitoşelatin burada serbest kalır (vakuol pH'sı 3.5-5 ve bu pH'da fitoşelatin- Cd

kompleksi oluşmaz) ve tekrar şelatin sitoplazmaya döner metal ise vakuolde birikmek suretiyle orada kalmaktadır (Steffens 1990).

Çözünebilir fenollere ek olarak, lignin ayrıca metal iyonlarının bitki dokuları içerisindeki geçişini de etkiler, çünkü lignifikasyonla muhtemelen metallerin büyük bölümü hücre duvarı fraksiyonunda tutulur (Uraguchi vd. 2006).

1.3. Kadmiyum

Yer kabuğundaki ortalama Cd konsantrasyonu 0.1 mg kg^{-1} 'dir. Cd ve Zn, benzer iyonik yapılar, elektronegatifliklere ve kimyasal özelliklere sahip olmakla birlikte, Cd, S için Zn'den daha güçlü bir yakınlığa sahiptir ve bu nedenle asidik bir ortamda Cd hareketliliği, Zn'ninkinden daha yüksektir (Alloway 1995).

Kadmiyum, insanların, hayvanların ve bitkilerin tüm biyolojik süreçleri üzerinde olumsuz etkileri olan en ekotoksik metallerden biri olarak kabul edilir. Bu durum metalin, çevreyi ve yiyecek kalitesini olumsuz etkileme konusundaki etkilerini ortaya koymaktadır. Cd'a saf olarak çok rastlanılmaz o genellikle Zn rezervlerinin madencilik faaliyetlerinde ve rafine edilmesinde yan ürün olarak ortaya çıkmaktadır ve bu yüzden Cd talebinden çok Zn üretiminin artmasından kaynaklanan bir Cd üretimi artışı söz konusudur. Cd'nin ana kullanımı Ni-Cd ve Ag-Cd şeklinde akü üretimi sektöründedir. Zn- Cd bataryaları gibi geri dönüştürülmüş ürünlerden de Cd eldesi sağlanabilir (Kabata-Pendias 2011).

Dünya topraklarındaki ortalama Cd konsantrasyonunun $0,41 \text{ mg kg}^{-1}$ olduğu tahmin edilmektedir. Govindaraju (1994), farklı ülkelerdeki referans topraklardaki Cd içeriğinin $0,06$ ila $4,3 \text{ mg kg}^{-1}$ aralığında olduğunu bildirmiştir. Taylor ve Percival (2001)'e göre, toprak çözeltisindeki Cd'nin %55 ila %90'ı serbest metal iyonu Cd^{+2} olarak bulunur ve bitkiler için Cd^{+2} hazır alınabilecek durumdadır.

Toprak çözeltisindeki kadmiyum konsantrasyonunun nispeten düşük olduğu ve $0,2$ ila 6 mg/L arasında olduğu bildirilmiştir. Itoh ve Yumura (1979) tarafından bildirilen çok daha yüksek değer (300 mg/L) kirlenmiş toprağı gösterir ve Kabata-Pendias ve Gondek (1978), kirli topraklar için verdiği değere (400 mg/L) karşılık gelir.

Cd'nin çözünürlüğü, toprak çözeltisinin asitliği ile yakından ilgilidir. Mineral topraklardaki kritik asitlik derecesi pH 4,0-4,5 aralığındadır; pH'nın sadece 0,2 birimlik bir düşüş göstermesi Cd'nin alınabilirlik durumunda 3-5 kat artışa neden olur (Bens ve Pabianova 1986).

Cd içeriği kumlu topraklarda killi topraklardan daha azdır. Cd, pH 7,5'in üzerindeki topraklarda kolay hareket edememektedir ve alkali toprakta Cd ise hareketsizdir. Cd, asidik topraklarda pH 4,5-5,5 aralığında en hareketli durumdadır (Kabata-Pendias 2011).

Cd'nin emiliminin hızlı bir işlem olduğu bilinmektedir. Emilimin %95'inin 10 dakika içerisinde gerçekleştiği, 1 saatte dengeye ulaştığı ve pH 6'da çok yüksek afinite gerçekleştiği belirlenmiştir (Christensen 1984; Kabata-Pendias 2011).

Üst topraklardaki Cd konsantrasyonunun, Pb ve Zn madenlerinin ve özellikle de eritme işlemlerinin çevrelerinde çok yüksek olduğu bildirilmektedir. Arıtma çamuru ve fosfatlı gübreler, Cd'nin önemli kaynakları olarak da bilinir ve bu konuyla ilgili birçok kapsamlı inceleme bulunmaktadır (Smolders ve Degryse 2006).

Topraklardaki yüksek Cd üreaz ve fosfataz aktivitelerini azaltır (Wang vd. 2007). Kireçlemenin genellikle toprak pH'sını yükselterek Cd emilimini azaltması beklenirken, tüm topraklar ve bitkiler için etkili olmayabilir. Toprakta izin verilen maksimum Cd oranı, büyük ölçüde toprak pH'sına bağlıdır (Kabata-Pendias 2011).

Son yıllarda, fitoremediasyon tekniği Cd (ve diğer metaller) ile kirlenmiş topraklara uygulanmıştır (Dickinson ve Pulford 2005). Bitkiler etilen diamin tetra asetik asit (EDTA) ile sulandığında, kirlenmiş topraklardan iz metallerin alımı arttırılabilir (Jørgensen 1993). Birçok toprak parametresi bitkilerin Cd alımını kontrol etse de, bazı bitki türleri, adaptasyon ve bitki üst aksamlarına aktarım konusunda inanılmaz bir yetenek ortaya koymaktadır. Toprak fitoremediasyonu için önerilen bazı bitkiler *Alyssum murale*, *Thlaspi vaerulescens*, *Nicotiana tabacum*, *Zea mays*, *Salix viminalis*, *Helianthus annuus* ve *Viola baoshanensis*' tir (Kabata-Pendias 2011).

Cd iyonlarının en önemli biyokimyasal özelliği, birkaç bileşiğin (örneğin, metalotiyonin benzeri proteinlerle Cd kompleksleri) sülfhidril gruplarına güçlü bağlar yapmasıdır.

Bitkiler için toksik bir element olarak kabul edilir ve toksisitesinin temel nedeni enzim aktivitelerini bozmasından kaynaklanmaktadır (Kabata-Pendias 2011).

Wierzbicka vd. (2007) kadmiyumun bitki hücrelerinde, genellikle organik asitlerle detoksifiye edildiğini bildirmiştir. Genel olarak, bitkilerin yüksek Cd içeriklerinin sebep olduğu belli semptomlar vardır ve bunlar arasında, büyüme geriliği ve kök hasarı, yaprak klorozu ve yaprak kenarlarının veya damarlarının kırmızı-kahverengi renklenmesi sayılabilir. Kadmiyum fitotoksitesi, bazı mikro besinlerin işlevlerine etki etmesinin yanı sıra, fotosentez üzerinde engelleyici etkiler gösterir; terleme ve CO₂ fiksasyonunu olumsuz etkiler ve hücre zarlarının geçirgenliğini değiştirir (Prasad 2005). Artan hücre duvarı elektriği nedeniyle Cd, bitkilerde su taşınımını azaltır ve bu da bitkilerin su stres toleransını azaltır (Prasad 2008).

Bitkilerin kadmiyumla kirlenmiş toprakta yetiştirildiğinde Cd'nin özellikle köklerde yoğunlaşması çok muhtemeldir. Bitkilerin Cd konsantrasyonu, kadmiyumun insan ve hayvanlara ulaşımı konusunda büyük önem arz etmektedir. Bazı bitki türlerinin yüksek Cd konsantrasyonlarına toleransı ve/veya adaptasyonu, çevresel açıdan önemli olmasına rağmen, sağlık riski oluşturabilir. Bundan dolayı özellikle bitkilerde, gıdalarda ve yem bitkilerinde Cd içerikleri yaygın olarak incelenmiştir (Kabata-Pendias 2011).

1.4. Krom

Yer kabuğundaki ortalama Cr oranı 100 mg kg⁻¹'dir. Cr'nin ana kullanımı metalurji, refrakter ve kimya endüstrilerinde olmasına rağmen sarı rengi nedeniyle pigment olarak ve boya, vernik, sır ve mürekkepler için yeşil renk tonlarının üretiminde yaygın olarak kullanılır. Kimya endüstrisinde Cr (+3 ve +6) esas olarak pigmentlerde, metal kaplamada ve ahşap koruyucularda paslanmaz çelik ve kromat kaplama amaçları için kullanılır. Ayrıca deri tabaklamada (Cr kirliliğinin ana kaynağı) ve kağıt üretiminin çeşitli aşamalarında önemli miktarlarda Cr bileşikleri kullanılır. Endüstriyel ve konut kaynaklı atık su arıtma tesisleri çevreye önemli miktarda Cr emisyonu yapmaktadır. Kromit cevheri işleme kalıntısı (COPR) bazı bölgelerde en büyük çevresel risktir (Kabata-Pendias 2011).

Dünya topraklarının ortalama Cr içeriği 60 mg kg^{-1} olarak belirlenmiştir (Hedrick 1995; Reimann ve De Caritat 1998). Özellikle serpantinlerden oluşan topraklar bazen $100.000 \text{ mg kg}^{-1}$ üzerinde Cr içerir. Cr'nin oldukça değişken oksidasyon durumları, anyonik ve katyonik türlerin yanı sıra organik komplekslerin oluşumuna da izin verir. Doğal olarak oluşan Cr bileşikleri, +3 (kromik) ve +6 (kromat) değerlerine sahiptir. Cr^{+3} yalnızca çok asitli ortamlarda hafifçe hareket eder ve pH 5,5'te neredeyse tamamen çökelir, öte yandan, Cr^{+6} topraklarda çok dengesizdir ve hem asit hem de alkali topraklarda kolay mobilize olur (Bartlett 1999).

Toprak pH'sının Cr çözünürlüğüne etkisi vardır. Bununla birlikte, çeşitli toprak faktörleri ve özellikle organik maddelerin Cr formları ve davranışları üzerine etkisinin de çok önemli olduğu bildirilmiştir. Cr'nin topraktaki emilimi, öncelikle kil içerikleriyle ve daha az oranda Fe hidroksitleri ve SOM (toprak organik maddesi) ile ilişkilidir. Bununla birlikte, SOM'un dönüşüm üzerindeki ve özellikle Cr'nin (özellikle Cr^{+6} ila Cr^{+3}) azaltılması üzerindeki etkisinin büyük bir çevresel öneme sahip olduğu bu konu üzerinde çalışan Bartlett (1999), Barnhart (1997) ve James vd. (1997) tarafından belirtilmiştir. Bazı yeni çalışmalar, organik bileşiklerin (karbon) Cr^{+6} 'nın Cr^{+3} 'e indirgenmesindeki etkisi üzerine odaklanmıştır.

Topraktaki mikrobiyal enzimlerin aktiviteleri, özellikle dehidrojenaz aktivitesi ve nitrifikasyon işlemleri topraklarda artan Cr seviyelerinde azalır (Rudel vd. 2001).

COPR (kromit cevheri işleme kalıntısı) ile kirlenmiş topraklar (geçmişte milyonlarca ton COPR, Cr endüstrilerinin çevresindeki arazilerde depolanmıştır) son zamanlarda büyük çevresel sorunlara yol açmıştır (Farmer vd. 1999). Çeşitli kaynaklardan gelen evsel ve endüstriyel atıklar, ortalama olarak 1993 mg kg^{-1} 'dan $10.200 \text{ mg kg}^{-1}$ 'a kadar yüksek miktarda Cr içerebilir (Majan vd. 2001).

Cr ile kirlenmiş alanların koşullara bağlı olarak farklı yöntemler ile temizlenmesi amaçlanmıştır: (1) yüksek emilim kapasitesine sahip malzemeler kullanılarak Cr'nin immobilizasyonu, örneğin smektit killeri, kömür, kemik kömürü (veya diğer emiciler), (2) Cr'nin elektrokinetik tekniklerle çıkarılması, (3) demir sülfat ve/veya sülfat indirgeyen bakteriyel biyofilmler tarafından Cr^{+6} indirgenmesi ve (4) fitoremediasyon.

Fito-ekstraksiyon yöntemlerinin uygunluğu oldukça sınırlıdır, çünkü Cr için SPTF (soil–plant transfer factor) değeri 0,1 ila 0,6 arasında otsu bitkiler için nispeten düşüktür ve değişkendir ve Cr'nin temel olarak köklerde yoğunlaştığı bilinmektedir (Bylin'ska 1993). Organik ligandların (örneğin, pikolinik asit) eklenmesi, Cr'nin fito-alınabilirliğini artırabilir (Simon vd. 2001).

Toprakta kolay bir şekilde çözünebilen Cr^{+6} bitkiler ve hayvanlar için toksiktir. Bu nedenle, topraklardaki Cr'nin oksidasyon durumlarındaki değişkenlik büyük çevresel sorundur. Krom bitkiler için az miktarda bulunur ve bitki içinde kolayca yer değiştirmez, temel olarak Cr^{+3} 'ün hücre duvarlarına bağlanma eğiliminden dolayı köklerde yoğunlaşır (Zayed vd. 1998).

Bitkiler için normal toprak koşulları altında en hazır alınabilir olanı en dengesiz form olan Cr^{+6} 'dır ve alınabilirliği toprak özelliklerine, özellikle toprak yapısına ve pH'sına bağlıdır. Cr fitotoksitesine dair bazı belirtiler vardır ve Chatterjee ve Chatterjee (2000), bitkilerde fazla miktarda Cr'nin, N metabolizmasının bozulmasına etki ettiğini ve düşük miktarda protein oluşumuna neden olduğunu bildirmişlerdir.

Bazı durumlarda, Cr ve bazı elementler (Ca, Mg, Fe, Mn, Cu) arasında sinerjik etkileşimler de gözlenmiştir (Dong vd. 2007; Vernay vd. 2007).

Kloke vd. (1984) çok düşük bir Cr içeriğinin 1-2 mg kg⁻¹, hassas bitki türlerinin büyümesini inhibe ettiğini bildirmişlerdir. Cr toksitesinin belirtileri bitkilerin üst kısımlarının solması ve kök yaralanması; ayrıca genç yapraklarda kloroz, tahıllarda klorotik bantlar ve kahverengimsi kırmızı yapraklar tipik özelliklerdir (Kabata-Pendias 2011).

1.5. Nikel

Yerkabuğundaki, ortalama Ni miktarı 20 mg kg⁻¹ civarındadır, Dünya topraklarının ortalama Ni içeriği ise 29 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir (Hedrick 1995; Reimann ve Caritat 1998). Ultramafik kayalarda ise Ni 1400 ila 2000 mg kg⁻¹ arasında bulunabilir.

Dünyadaki topraklar çok geniş bir alanda Ni içerir, ancak çeşitli ülkeler için rapor edilen ortalama değerler 13-37 mg kg⁻¹ aralığındadır. Toprak profillerindeki Ni dağılımı, toprak tiplerine bağlı olarak organik madde (OM) veya amorf oksitler ve kil fraksiyonları ile ilgilidir. Genellikle topraktaki Ni ve kil içeriği arasında yakın bir ilişki vardır. En düşük Ni seviyesi (7,6 mg kg⁻¹), %0,9 kil içeriğine sahip toprakta ve en yüksek (53,8 mg kg⁻¹) %4,6 kil içeriğine sahip toprakta bulunmuştur (Senwo ve Tazisong 2004).

Genel olarak, Ni'nin hareketliliği toprak pH'sı ile ters orantılıdır. Bu toprakta pH 6,5'in üzerinde iken Ni alınabilirliği şiddetli bir şekilde azaldığını bildiren Siebielec ve Chaney (2006) tarafından gösterilmiştir. Bununla birlikte, yüzey horizonları toprağında Ni, nispeten kolay çözünür şelatlar olan bağlı organik formlarda ortaya çıkar. Ni'nin organik ligandlara bağlanması çok güçlü olabilir ve bu onun mobilitesini büyük ölçüde etkileyebilir. Bazı toprak özellikleri, özellikle kil fraksiyonu, toprak organik maddesi ve pH, Ni hareketliliğini ve fitoyararlanımı kontrol eder (Kabata-Pendias 2011).

Küresel Ni üretiminin 2008 yılında 1,614 Mt olduğu tahmin edilmektedir (USDI 2009). Reck vd. (2008) bu metalin %68'inin paslanmaz çelik sanayinde kullanıldığını bildirmişlerdir. Aynı zamanda manyetik ve elektrikli cihazlar için yaygın olarak kullanılan Ni-alaşımları tıpta ve gıda teknolojisinde kullanılan farklı araçlar, mutfak ekipmanları için (örneğin, çatal-bıçak takımı) de kullanılır. Bileşikleri, boya olarak seramik ve cam üreticilerinde ve Ni-Cd bileşikleri içeren pillerde kullanılır. Nikel, metal işleme tesislerinden artan ve kömür ve petrol yanmasından kaynaklanan ciddi bir kirleticisi olarak kabul edilir. Ayrıca bazı lağım çamurları ve fosfatlı gübreler, tarımsal topraklarda Ni'nin önemli kaynakları olabilir (Kabata-Pendias 2011).

Rusya'nın Ni endüstrisinden kaynaklanan emisyonlar, Norveç topraklarındaki yüksek Ni seviyelerine sebep olmuştur. HNO₃ ile ekstre edilebilen Ni konsantrasyonları, bu bölgenin yüzeysel tarım topraklarında 6,25-136,88 mg kg⁻¹ (ortalama 30,43) arasında değişirken, ortalama içeriğinin 25 mg kg⁻¹ olduğu bildirilmiştir (Almås vd. 1995).

Topraktaki yüksek Ni içeriğinin, dehidrojenaz, üreaz ve asit ve alkalın fosfatazlar gibi bazı enzimlerin aktivitesini azalttığı belirtilmiştir (Wyszkowska vd. 2008).

Çok önceleri nikelin bitki metabolizmasında önemli bir rol oynadığına dair bir kanıt yoktu ancak bazı araştırmacılar (Mishra ve Kar 1974; Mengel ve Kirkby 1978) nikelin bitkiler için önemli olabileceğini öne sürmüşlerdir. Ni'nin, bir dizi bakteri biyosentezi için gerekli olduğu kanıtlanmıştır. Ayrıca baklagillerin nodülasyonundaki rolü ve bazı organik maddelerin nitrifikasyon ve mineralizasyonu üzerine etkileri tarif edilmiştir. Bu nedenle Ni, üreaz metabolizmasında yer alan baklagiller için temel kabul edilir (Eskew vd. 1983).

Ni toksisitesinin mekanizması ve biyolojik etkileri, Ni formları ile ilgilidir. Katyonik form Ni^{+2} , kompleks formlarından daha kolay emilir ve daha toksiktir. Bitkilerin Ni içeriği toprak özellikleri ve orijini tarafından kontrol edilen bir parametredir, ancak Ni'yi (örneğin, akümülatörler ve hiperakümülatörler) absorbe eden bitkilerde güçlü bir etkiye sahiptir. Bitkiler tarafından Ni alımı, çözeltilerdeki Ni konsantrasyonları ile pozitif ilişkilidir ve alım mekanizması çok fazlıdır. Hem bitki hem de diğer faktörler bu süreçleri etkiler ve en belirgin faktör toprak pH'sıdır. Bitkilere karşı Ni toksisitesinin mekanizması tam olarak anlaşılamamıştır, ancak bu metalin fazlalığı nedeniyle bitkilerin sınırlı büyümesi oldukça uzun bir süre boyunca gözlemlenmiştir (Kabata-Pendias 2011).

Molas (1997)'a göre Ni fitotoksitesinin en sık görülen belirtisi Fe kaynaklı kloroz gibi görünen klorozdur. Ni stresi altındaki bitkilerde, besin maddelerinin emilimi, kök gelişimi ve metabolizması olumsuz etkilenir. Genellikle Ni toksisite semptomları belirginleşmeden önce, bitki dokularında bu metalin yüksek konsantrasyonlarının fotosentezi ve terlemeyi engellediği bilinmektedir (Bazzaz vd. 1974). Fitotoksik Ni konsantrasyonları bitki türleri ve çeşitlerine göre geniş çapta değişmektedir ve çeşitli bitkiler için 40 ila 246 mg kg⁻¹ aralığında olduğu rapor edilmiştir (Gough vd.1979)

Ni'yi 1000 mg kg⁻¹ üzerinde biriktirme kabiliyetine sahip 37 aileden 317 taksondan oluşan çok sayıda bitki vardır (Greger 1999). En yaygın Ni akümülatörleri *Alyssum* sp.'dir. Chaney, Ni'nin kirli tarlalardan fito-ekstraksiyonunu; bir hektardan 400 kg üzerinde Ni biriktirebilen muhtemel bu türleri kullanarak önermiştir (Chaney vd. 1999). Ni'nin kolay fito kullanılabilirliği gerçek bir çevre sorunudur. Bitkisel gıdalarda artan Ni seviyeleri sağlık tehlikesi oluşturmaktadır.

Asemaneh vd. (2006), hiperakümülatörlerde Ni'nin ana ligandlarının, bitki dokularında metal transferinde rol oynayan sitrat ve malat olduğunu bildirmiştir. Ni'nin yaprak

epidermis hücrelerinde yoğunlaşması olasıdır bununla birlikte, çoğu bitkide Ni, çoğunlukla köklerde birikir. Pohlmeier (1999) bitkilerde Ni^{+2} kompleksinin mekanizmalarını geniş bir şekilde gözden geçirmiş ve bu işlemlere katılan çeşitli organik ligandları listelemiştir.

Ni ve diğer iz metaller arasındaki etkileşimin, özellikle Fe'nin, Ni toksisitesinde yer alan ortak bir mekanizma olduğuna inanılmaktadır. Bununla birlikte, Ni fazlalığının, Fe'nin köklerden tepelere taşınmasını önleyerek gerçek bir Fe eksikliğine neden olduğuna da inanılmaktadır. Ni ve birkaç iz metal arasında hem antagonistik hem de sinerjik etkileşimler gözlenir (Wyszkowska vd. 2007).

Kirlenmemiş topraklarda yetişen bitkilerin Ni içerikleri, hem çevresel hem de biyolojik faktörleri yansıttığı için önemli ölçüde değişebilir. Bununla birlikte, farklı ülkelerden gelen bazı bitkisel ürünlerdeki konsantrasyonları çok farklı değildir. Çevresel Ni kirliliği, bitkilerin Ni içeriğini büyük ölçüde etkiler. Ni'nin havadaki bir kirlenici olduğu ekosistemlerde, bitkilerin üst kısımlarının yaprak yüzeylerinden kolayca yıkanabilen en fazla Ni'yi biriktirmesi muhtemeldir. Atık su çamurunun bitkilerde kirlenici olarak ciddi bir Ni kaynağı olduğu gösterilmiştir (Kabata-Pendias 2011).

1.6. Topraklarda İzin Verilen Ağır Metal Sınır Değerleri

Türkiye'de tarım alanlarında var olabilecek bazı ağır metallere aityönetmelik ile izin verilen sınır değerler Tablo 1.1'de verilmiştir.

Tablo 1. 1. Türkiye Topraklarında İzin Verilen Ağır Metal Sınır Değerleri (Anonim 2010)

Ağır Metal (Toplam)	pH 5-6 mg/kg Fırın Kuru Toprak	pH>6 mg/kg Fırın Kuru Toprak
Kurşun	50**	300**
Kadmiyum	1**	3**
Krom	100**	100**
Bakır	50**	140**
Nikel*	30**	75**
Çinko	150**	300**
Civa	1**	1,5**

*pH değeri 7'den büyük ise çevre ve insan sağlığına özellikle yer altı suyuna zararlı olmadığı durumlarda Bakanlık sınır değerleri %50'ye kadar artırabilir.

**Yem bitkileri yetiştirilen alanlarda çevre ve insan sağlığına zararlı olmadığı bilimsel çalışmalarla kanıtlandığı durumlarda, bu sınır değerlerin aşılmasına izin verilebilir.

1.7. Dünya Sağlık Örgütü Tarafından Bazı Ağır Metaller İçin Toprakta ve Bitkilerde İzin Verilen Değerler

Türkiye'de gıdalarda var olabilecek bazı ağır metallere ait toplam izin verilen limit değerler ile ilgili yönetmelik Tablo 1.2'de görülmektedir (Denneman ve Robberse 1990).

Tablo 1. 2. Dünya Sağlık Örgütü Tarafından Toprakta ve Bitkiler İçin İzin Verilen Sınır Ağır Metal Değerleri (mg kg⁻¹), WHO (1996)

Ağır Metal (Toplam)	Toprakta (mg kg ⁻¹)	Bitkide (mg kg ⁻¹)
Cd	0,8	0,02
Zn	50	0,60
Cu	36	10
Cr	100	1,30
Pb	85	2
Ni	35	10

Bu çalışmanın amacı, günümüz artan çevre kirliliğinin bir parçası olan ağır metallerin varlığında bazı tane sorgum çeşitlerinin bu metalleri hangi morfolojik organında (kök, gövde, yaprak, tane) biriktirdiğini, bu ağır metalleri tanelerine taşıyıp taşımadığını belirlemek, aynı zamanda ağır metal stresinin tane sorgum çeşitleri üzerindeki morfolojik etkilerini ve yem kalite özelliklerinde meydana getirdiği değişimi belirlemektir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Ağır Metallerle İlgili Kaynak Özetleri (Cd, Cr, Ni)

Kaynak özetleri sırasıyla kadmiyum elementi, krom elementi ve nikel elementi şeklinde verilmiştir. Birden fazla elementin yer aldığı çalışmalar Cd, Cr ve Ni sıralamasının sonunda yer almaktadır.

Chaney ve Hornick (1977), çeşitli bitki türlerinin toprakta artan Cd seviyelerine verdikleri yanıtları belirlemek için bir çalışma yapmışlardır. Raporlarında bitki türlerinin Cd alımı özelliklerinde büyük farklar olduğunu belirtmişler, aynı toprakta yetiştirilen ürünlerin 10 mg kg^{-1} Cd seviyesinde aralarındaki farkın 100 katı aştığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar ürün gruplarına göre bir sınıflama yapmışlar, en düşük kadmiyum konsantrasyonunu çeltik, sudan otu ve yoncada olduğunu en yüksek kadmiyum konsantrasyonunu ise ıspanak ve şalgamda belirlemişlerdir.

Kitagishi ve Yamane (1981) Cd mevcudiyetinin azaltılmasında, en iyi ve en güvenilir yolun kirlenmiş toprak üzerine kirlenmemiş toprağın 30 cm kalınlığında serilmesi olduğunu bildirmişlerdir.

Kitagishi ve Yamane (1981) pirinç fideleriyle yaptıkları bir çalışmada Cd'nin nispi alımının pH 4,5-5,5 aralığında en yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Bununla birlikte, komplekslerin veya metal şelatların oluşumu nedeniyle kadmiyumun alkali toprakta daha hareketli hale geldiği, bitki tarafından alımının pH değerinden bağımsız olabildiğini gösteren çelişkili sonuçlarında olduğunu ve bir çalışmada buğday tanelerindeki Cd konsantrasyonlarının ortamdaki toplam Cd içeriği ile doğrusal olarak arttığı belirtilmiştir (Kabata-Pendias 2011).

Kloke vd. (1984) hassas bitki türlerinde Cd'nin fitotoksik konsantrasyonlarının $5-10 \text{ mg kg}^{-1}$ olduğunu belirtirken, Macnicol ve Beckett (1985) kritik Cd seviyeleri olarak $10-20$

mg kg⁻¹ aralığını vermişlerdir. Fasulye bitkilerinin büyüme ortamındaki Cd'ye tepkisinin, bitkilerin yaşına ve Cd hareketliliğinin zamanına bağlı olduğunu ifade etmişlerdir.

Yapılan bir çalışmada Cd uygulamasının stoma hücrelerinde su ve iyon taşınımını değiştirdiği ve böylece stoma açılıp kapanmasının engellendiği belirlenmiştir (Barceló vd. 1986a,b).

Sheoran vd. (1990) kadmiyumun (Cd) bitki bünyesinde azot (N) ve karbonhidrat metabolizmalarını değiştirdiği için pek çok fizyolojik değişikliğe sebep olduğunu ve proteinlerin sülfidril (SH) gruplarındaki enzimlerin etkinliğini değiştirerek stoma kapanmasına, transpirasyon dahilinde su kayıplarının azalmasına ve klorofil sentezinin bozulmasına sebep olduğunu belirtmişlerdir.

Lijbben ve Sauerbeck (1991) iki farklı toprak tipinde (Luvisol pH = 6,5 ve Cambisol pH = 5,5) yazlık buğdayın metal toleransını belirlemek için farklı dozlarda ağır metal stresine tabi tutmuşlardır. Cd birikimi bitkinin vejetatif organlarında daha çok gerçekleşmiş, generatif organlarında bu birikim vejetatif organlar kadar yüksek olmamıştır. Cd yoğunluğu tane < kabuk < sap < kök şeklinde gerçekleşmiştir. Topraktan taneye transfer faktörü 0,1-1,0 arasında değişerek kısmen düşük olmakla beraber tanelerin Cd konsantrasyonu genellikle gıdalar için izin verilen sınır değerin üzerinde seyretmiştir. Buğday yetiştiriciliği için pH 5,7 üzerinde olan ve Cd konsantrasyonun 0,5-1 ppm olduğu toprakların uygun olduğu sonucuna varmışlardır. Toprağın kontaminasyon seviyesinin haricinde toplam alınan Cd'nin sadece %10'u taneye taşınmış ve çoğunluğu sap bölgesinde kalmıştır. Topraktaki konsantrasyonun artmasıyla Cd tanede belirgin bir yükseliş göstermiş, pH'nın düşmesiyle tanenin ağır metal içeriği daha fazla yükselmiştir. pH'nın 5,7'den düşük olduğu ve 0,5 ppm'den daha fazla Cd içeren topraklarda tanenin Cd oranının yönetmelikte izin verilen değeri aştığı belirtilmiştir.

McLaughlin vd. (1994) ayçiçeği ve patates bitkilerini tuzlu topraklarda yetiştirmiş ve bitkilerin tuzlu toprakta önemli ölçüde daha fazla Cd aldığını, klorürün Cd ile güçlü kompleksler (CdCl⁺, CdCl₂, CdCl₃⁻, ve CdCl₄⁻²) oluşturduğunu ve bu nedenle kadmiyumun fito kullanılabilirliğini harekete geçirdiğini ve arttırdığını bildirmişlerdir. Cd ile kirlenmiş toprakların ıslahı için ayçiçeği önerilmektedir (Mani vd. 2007).

Li vd. (1994) yaptıkları bir çalışmada kadmiyum ile bulaşık alanları Cl ile zenginleştirmiş ve ayçiçeği tohumlarındaki Cd içeriğini araştırmışlardır; kontrol bitkilerinden elde edilen tohumlarda $0,41 \text{ mg kg}^{-1}$ Cd olduğunu ve Cl ile zenginleştirilen alanlarda elde edilen tohumlarda $1,12 \text{ mg kg}^{-1}$ Cd olduğunu bildirmişlerdir.

Brohi vd. (1994) besin ortamından kadmiyumun bitkiler tarafından öncelikle kökler tarafından alındığını bitkide Cd hareketliliğinin az olduğunu belirtirken bitkilerin kök bölgesinde tutunan kadmiyumun Ca^{+2} ve Zn^{+2} gibi katyonlarla yer değiştirebildiğini ifade etmişlerdir. Genellikle toprakta (çözeltide) hakim katyon Ca^{+2} olduğu için bitkinin topraktan Cd alımı kalsiyum tarafından değiştirilebilir; ortamda P bulunmasının Cd'nin bitkinin toprak üstü organlarına taşınımını azaltabileceği, Zn ve P arasındaki ilişkinin Cd ve P arasında da olabileceği bildirilmiştir.

Stigliani (1995)'nin sunduğu raporda; topraklardaki kadmiyumun sürekli artması ve toprak pH'sının düşmesi nedeniyle Cd'nin besin zincirine transferinin zamanla önemli ölçüde artacağı bildirilmiştir. 2010 yılında, asit karakterli topraklardan (pH 5,0) elde edilen ürünler, PTWI (provisional tolerable weekly intake) dozlarını 1200 mg Cd'ye kadar yükseltebilir; bu, insanlar tarafından Cd alımı için sağlıkla ilgili limit olarak kabul edilen dozdan birkaç kat daha yüksektir.

Ciéslinski vd. (1996) kadmiyumun köklerden diğer bitki organlarına taşınımının çilek bitkisinde nasıl gerçekleştiğini ifade etmek için bir çalışma yapmış ve şunları bildirmişlerdir: Nötr pH'da 60 mg kg^{-1} Cd içeren toprakta yetişen çilek bitkilerinde yapılan analizler sonucunda çilek bitkisinin köklerinde $191\text{-}509 \text{ mg kg}^{-1}$, yapraklarında $3,7\text{-}8,9 \text{ mg kg}^{-1}$ ve meyvelerinde $0,15\text{-}0,7 \text{ mg kg}^{-1}$ Cd bulunduğunu bildirmişlerdir.

Oliver vd. (1996) yaptıkları bir çalışmada deneme alanına 10 ve 50 kg P/ha şeklinde uygulama yapmışlar ve bitkilerin sırasıyla $0,06$ ve $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$ Cd içerdiği belirlenmiştir. Tahıllar tarafından Cd alımını minimize etmek için kireçlenmenin etkinliği de bildirilmiştir. Bazı durumlarda toprağın pH'sını 6,0'a yükseltmek, bitkideki Cd konsantrasyonunu $0,05 \text{ mg kg}^{-1}$ 'in (MAC değeri (maximum allowable concentration)) altına düşürmek için yeterli değildir ve ekonomik olduğu söylenemez.

Skórzynska-Pilot ve Baszynski (1997) yaptıkları bir çalışmada Cd yoğunluğunda genç bitkilerde büyüme parametrelerinde değişiklikler gözlemlendiğini ancak fotosentetik aktivitenin neredeyse değişmediğini belirtmişlerdir.

Hernández vd. (1998) Cd'nin bitkinin köklerinin büyüme ve gelişmesini inhibe ettiğini, bitkilerin su ve iyon alımını engellediğini bildirmiştir. Cd'nin farklı konsantrasyonlarının bezelye bitkisinin Mn ve Fe emilimi üzerine etkilerini belirlemek için yaptıkları araştırmada, kadmiyum uygulama seviyelerinin artmasıyla kök ve sürgünlerde biriken Mn ve Fe yoğunluğunun azaldığını belirtmişlerdir.

Hart vd. (1998) Cd'nin ekmeklik ve makarnalık buğdayda tutulması, alınması ve taşınmasını belirlemek amacıyla gerçekleştirdikleri çalışmada genel olarak bütün bitki göz önüne alındığında kadmiyumun ekmeklik buğdaylarda, makarnalık buğdaylara oranla daha fazla biriktiğini belirtmişlerdir. Sürgünlere Cd transferi ekmeklik buğdaylarda daha yüksek olmuştur. Makarnalık buğday tanelerinde Cd birikiminin çok fazla olmasını kök-yeşil aksam transfer oranlarıyla değil de taneye floemdeki Cd'nin taşınmasıyla ilgili olabileceğinin muhtemel olduğu belirtilmiştir.

Krämer vd. (1999), yüksek kadmiyum (Cd) konsantrasyonuna sahip ortamda yetiştirilen arpa bitkisinin, köklenme ortamındaki fazla kadmiyumun sürgünlerde mRNA artışını etkilediğini belirtmişlerdir.

Terry vd. (1999) Polonya'daki tahıl taneleri için ortalama Cd içeriğini $0,06 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak belirtirken, Fransa'da buğday taneleri içindeki ortalama Cd konsantrasyonu $0,045 \text{ mg kg}^{-1}$ ($0,015\text{-}0,65 \text{ mg kg}^{-1}$) olarak bildirilmiştir (Baize vd. 1999). Almanya'da yetiştirilen buğday tanelerinde ortalama Cd konsantrasyonu $0,057 \text{ mg kg}^{-1}$ 'dir. Amerika Birleşik Devletleri'nde buğday tanesinde ortalama Cd konsantrasyonu $0,03 \text{ mg kg}^{-1}$ 'dir (Bruggemann vd. 1996).

Orman ekosistemlerinde Cd'nin dağılması özel çevresel sorunlara neden olmaktadır. Cd'nin kozalaklı ağaçların (ladın ve çam) floem ve kabuğunun ($1,3 \text{ mg kg}^{-1}$ 'a kadar) dış kısımlarında yoğunlaşması muhtemeldir, bu da 30 mg kg^{-1} 'a kadar odun külünde birikmesine neden olur. Söğüt ağacı külünde Cd içerikleri 70 mg kg^{-1} 'a ulaşabilir (Lodenius vd. 1999).

Adams vd. (2001) İngiltere’de buğday ve arpa bitkilerinin kadmiyum (Cd) ve kurşun (Pb) içerikleri ve tanede Cd ve Pb birikimini belirleyen etmenleri açıklamak amacıyla sera ve tarla denemelerini kapsayan bir çalışma yapmışlardır. HGCA (The Home-Grown Cereals Authority) tarafından Cereals Quality Survey adı altında gerçekleştirilen çalışmada 250 buğday ve 233 arpa bitkisi, lokasyonları ve varyeteleri bildirilerek toplanmıştır. Analizler sonucunda arpa bitkisinde Cd ve Pb ortalama konsantrasyonları 0,022 ve 0,038 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Bölgesel olarak değerlendirildiğinde kadmiyum ve kurşun konsantrasyonunda istatistiksel anlamda önemli fark bulunmazken, varyeteler arasında Cd konsantrasyonları için bakıldığında istatistiksel açıdan önemli ($P<0,01$) fark çıkmıştır. Buğday bitkisinde Cd ve Pb konsantrasyonları ortalama 0,063 ve 0,025 mg kg⁻¹ olarak bulunmuştur. Kadmiyum yoğunluğu bakımından varyeteler arası fark önemli ($P<0,05$) bulunurken, sekiz buğday genotipinden Rialto yüksek seviyede (0,074 mg Cd kg⁻¹), Consort düşük seviyede (0,053 mg Cd kg⁻¹) Cd biriktiren çeşit olarak belirlenmiştir. Toprağın Cd içeriği ve pH’sının birlikte etkisi tanedeki Cd yoğunluğunu önemli ($P<0,01$) derecede etkilemiştir.

Farklı lokasyonlardan temin edilen buğday bitkisi, bazı sebze türleri ve patates bitkisinde kadmiyum kontaminasyonu araştırılmış patates ve sebzelerdeki kadmiyum konsantrasyonu oldukça yüksek bulunurken Zn noksanlığında kadmiyum tutunumu ve taneye taşınan kadmiyum miktarının arttığı bildirilmiştir (Derici vd. 2002).

Pavliková vd. (2002) ıspanak bitkisinde Cd yoğunluğunun çeşitli polipeptitler ve fitoşelatinlerle (glutatyon oligomerleri) ilişkili olduğunu ve aynı zamanda hücre duvarları ve hücre iskeleti yapısını etkilediğini bildirmişlerdir.

Zhang vd. (2002) Cd’nin etkisini incelemek amacıyla iki farklı buğday çeşidini (E18513 ve Genguo 534) fide döneminde yetiştirmiş 0-1 ppm arasında değişen dozlarda bitkilere Cd uygulamışlardır. Kadmiyumun düşük dozlarında (0,03 mg kg⁻¹) iki çeşitte de büyüme ve KM (kuru madde) birikimi olumlu olurken, yüksek dozlarda ($> 0,3$ mg kg⁻¹) Cd büyüme ve KM birikimi inhibe etmiştir. Çeşitler arasında bitki büyümesi ve KM birikimi açısından farklılıklar belirlenmiştir. Genguo 534 çeşidi Cd toksisitesine karşı E18513 çeşidinden daha dayanıklı bulunmuştur. Mineral besin alımı Cd tarafından önemli derecede etkilenmiş ve her ikisi de farklı reaksiyonlar göstermiştir. Kontrol bitkisine göre

0,1 mg Cd kg⁻¹ uygulamasında bazı makro besin elementlerinin oranı E81513 çeşidinde önemli ölçüde düşük iken Genguo 534 çeşidinde çok az değişim gözlemlenmiştir.

Dunbar vd. (2003) serada kurdukları bir patates denemesinde büyüme periyodu boyunca bitkilere (Wilwash ve Kennebec) Cd uygulaması yapmışlardır ve Cd absorpsiyonu ve transferini incelemişlerdir. Total Cd alımında iki çeşit arasında farklılık olmamakla beraber kadmiyumun bitki organları arasında transferinde farklılıklar gerçekleşmiştir. İki çeşit arasında yumrulardaki Cd konsantrasyonlarında da farklılık gözlemlenmiştir. Kennebec çeşidi bitkinin aldığı toplam kadmiyumun %75'ini yumrularında biriktirirken, Wilwash çeşidi yumrularında aldığı toplam kadmiyumun %43'ünü biriktirmiştir. Çeşitlerin yumrularındaki Cd oranının bu denli farklı olmasının Cd elementine ait bir durum olduğunu ve diğer besin elementlerinde böyle bir durumun gözlemlenmediğini bildirmişlerdir.

Veslov vd. (2003) yaptıkları çalışmada 0 ve 0,04 mM Cd bulunan ortamda buğday fidelerini yetiştirdiklerinde bitkilerin potasyum (K⁺) ve nitrat (NO₃⁻) alımının azaldığını ve sürgün gelişmesinin inhibe edildiğini belirtmişlerdir.

Simmons vd. (2003) kadmiyum alımı açısından pirinç bitkisinin tanelerinde soya fasulyesi tohumlarından çok daha yüksek Cd birikimi gözlemlediklerini bildirmişlerdir.

Toprak çözeltisindeki Cl konsantrasyonunun artırılması (P gübreleri veya biyosolid değişikliği nedeniyle) CdCl⁺ içeriğini ve dolayısıyla bu metalin fitoyararlanımını arttırmaktadır (Wegler vd. 2004).

Khan vd. (2006) 0, 25, 50 ve 100 mg Cd kg⁻¹ uyguladıkları 5 farklı buğday çeşidinin (PBW343, HT2329, PBW373, UP2338 ve WH542) ekimden 30, 60 ve 90 gün sonra; kardeşlenme, başaklanma ve süt olum dönemlerinde bazı parametreleri (bitki boyu, kuru ağırlık ve yaprak alanı, net fotosentez hızı, başak sayısı, bin tane ağırlığı, tane verimi) belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada 100 mg Cd kg⁻¹ uygulamasında tüm çeşitlerde ve örnekleme periyodlarında morfolojik özelliklerde önemli seviyede düşüşler görmüşlerdir. PBW373 çeşidi tüm parametrelerde daha az zarar görerek toleranslı

bulunmuştur. WH542 çeşidinin ise en fazla zarar gördüğü ve toleranssız olduğu vurgulanmıştır.

Rellan-Alvarez vd. (2006) mısır bitkisinin kadmiyum stresi altında bırakıldığında glutasyon miktarının düştüğünü ve buna bağlı olarak oksidatif stres meydana geldiğini bildirmişlerdir. Paradiso vd. (2008) ise askorbat glutasyon metabolizmasındaki artışın, Cd stresine karşı bitki toleransını arttırdığını belirtmişlerdir.

Öktüren Asri ve Sönmez (2006), yaptıkları çalışmada toprak ortamında Cd miktarının artması ile birlikte bitkinin klorofil metabolizmasının sekteye uğradığını ve azot kullanımında görevli olan NO_2^- redüktaz ile NO_3^- redüktaz enzimlerinin işlevlerini bozarak bitkinin azot kullanımını olumsuz etkilediğini belirtmişlerdir.

Kaçar ve Katkat (2007) kadmiyumun hayvan ve insan sağlığı üzerine olumsuz etkilerinin 3 ppm'den daha yüksek dozlarda Cd içeren yem ve gıdaların tüketimi ile başladığını; tansiyon, solunum yolu rahatsızlıkları, nefes alma problemleri ve karaciğer rahatsızlıkları (anfizem) gibi sorunlara yol açtığını belirtmişlerdir.

Sereno vd. (2007) şeker kamışının besin çözeltisinde bulunan yüksek Cd konsantrasyonunu tolere edebildiğini ve sürgünlerinde 451 mg kg^{-1} Cd'yi herhangi bir toksite belirtisi göstermeden bulundurduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca şeker kamışının fitoremediasyon için potansiyel aday bir bitki olabileceğini öne sürmüşlerdir.

Wangstrand vd. (2007) yaptıkları bir çalışmada N gübrelemesi sonucunda toprak çözeltisindeki Cd konsantrasyonunun arttığını ve buna paralel olarak buğday bitkisinin tanelerindeki kadmiyum içeriğinin de arttığını bildirmişlerdir.

Endüstriyel Cd emisyonu birçok ülkenin tarım arazilerinde önemli bir Cd kaynağı olarak bildirilmiştir. Örneğin en yüksek Cd konsantrasyonlarının (mg kg^{-1} olarak) metal işleme endüstrisi yakınındaki topraklarda, Belçika'da olduğu rapor edilmiştir. Topraklardaki en büyük Cd varlığı, metal eriticilerden (yaklaşık 1000 g/ha/yıl) ve fosfor (P) gübrelere (yaklaşık 150 g/ha/yıl) gelmektedir (Alloway ve Steinnes 1999). P gübrelere topraklarda sürekli bir Cd kaynağıdır. En yüksek Cd içeriğinin ($> 100 \text{ mg kg}^{-1}$), Amerika Birleşik Devletleri'nden (Idaho) gelen ham fosfatlarda ve en düşük ($< 3 \text{ mg kg}^{-1}$) Rusya'da (Kola

madeni) çıkarılmış magmatik kökenli fosfat kayalarında ve Finlandiya’da olduğu bildirilmektedir (Anonim 1997). Brezilya’da pazarlanan P gübreleri, <3 ila 43 mg kg^{-1} aralığında Cd içerir (Bizarro vd. 2008).

Majewska ve Kurek (2008) *Festuca ovina* ve *Secale cereale* bitkilerini Cd alımı ve taşınımı açısından karşılaştırmak için yaptıkları çalışmada yumak köklerinin çavdar köklerinden çok daha fazla kadmiyum biriktirdiğini ve yumak bitkisinin toprak üstü organlarına çavdardan daha fazla taşınım yaptığını bildirmişlerdir.

Kadmiyumun bitki organları içindeki dağılımı oldukça değişkendir ve köklerden tepelere ve özellikle yapraklara hızlı taşınması muhtemeldir; 15 mg kg^{-1} Cd içeren toprakta yetişen mısır bitkisinde kadmiyumun bitki organlarına dağılımı yaprak $>$ kök $>$ boğum $>$ sürgün $>$ gövde $>$ çiçek şeklinde olmuştur (Kabata-Pendias 2011).

Kabata-Pendias (2011) çeşitli ülkeler için bildirilen genel gıda ve yem bitkilerinin Cd seviyelerinin, kirlenmemiş topraklarda oldukça düşük olduğunu ve tahıllarda tanedeki konsantrasyonun $0,005$ - $2,052 \text{ mg kg}^{-1}$ seviyelerinde çoğu ülkede benzer şekilde olduğunu belirtmiştir.

Cd toksisitesi aynı zamanda stoma iletkenliği ve elektron taşıma sisteminin bozulması ile sonuçlanır. Cd fazlalığı Calvin döngüsü üzerinde karmaşık bir engelleyici etkiye sahiptir ve özellikle kilit enzim, ribüloz, difosfat ve karbokshidrazinin işlevini bozar. Cd’nin mikroorganizmalarda DNA aracılı transformasyonu inhibe ettiği, mikroorganizmalarla bitkiler arasındaki simbiyozu engellediği ve ayrıca fungal hastalıklara karşı bitki yatkınlığını arttırdığı da bilinmektedir (Kabata-Pendias 2011).

Baklagil bitkileri (yonca) ve çimlerde yapılan çalışmalarda kadmiyum seviyeleri çeşitli ülkelerde (Kanada, Fransa, Almanya, Polonya, Kazakistan, Çek Cumhuriyeti, İzlanda ve ABD) oldukça benzer bulunmuştur ve ortalama değerlerin aralığı (mg kg^{-1} cinsinden) çim bitkileri için $0,07$ - $0,27$ belirtilirken, yonca için $0,8$ - $0,46$ olarak bildirilmiştir (Kabata-Pendias 2011).

Kadmiyumla kontamine olmuş topraklarda yetişen bitkilerde en yüksek Cd konsantrasyonlarının yoğunlaşma bölgesi her zaman köklerde ve yapraklarda olduğu

rapor edilmiştir ve Cd tohumlara hiç taşınmıyor gibi görünmüştür. Oysa yapılan çalışmalarda buğday taneleri ($14,2 \text{ mg kg}^{-1}$) ve kahverengi pirinç ($5,2 \text{ mg kg}^{-1}$) için bildirilen değerler tanedeki en yüksek Cd değerleri olduğu ve bu bitkilerin kök ve yaprak dokularında biriken kadmiyum miktarlarının tanedeki birikimden daha az olduğu ifade edilmiştir (Kabata-Pendias 2011).

Saidi vd. (2013) Cd stresi altındaki fasulye bitkilerinde meydana gelen fizyolojik ve biyokimyasal değişiklikleri belirlemek ve Cd- kaynaklı oksidatif strese bitkilerin korunmasında salisilik asitin (SA) olası arabulucu rolünü araştırmak için yaptıkları çalışmada, Cd uygulaması SA uygulaması ile birleştirildiğinde Cd konsantrasyonu köklerde %58,6 ve yapraklarda %614 oranında azaldığını belirtmişlerdir. Fasulye fidelerindeki Cd dağılımının esas olarak köklerde ve az bir derece de yapraklarda yoğunlaştığını belirtmişlerdir. K, Ca, Mg ve Fe'nin konsantrasyonlarındaki çeşitliliği kadmiyumun önemli derecede iyon dengeleşimini bozması olarak açıklamışlardır.

Soudek vd. (2014) yaptıkları çalışmada sorgum bitkisine 0, 50, 100, 200, 500, 1000, 2000 μM kadmiyum (Cd) uygulamışlardır. Araştırmacılar kadmiyumun esas olarak sorgum bitkilerinin köklerinde biriktiğini belirtmişlerdir. Düşük konsantrasyonlarda uygulanan ağır metallerin toksik etkilerinin, sürgünlerde köklere olan etkileri ile karşılaştırıldığında daha az düzeyde olduğunu ve daha yüksek konsantrasyonlarda uygulandığında ise ağır metallerin, yapraklara transferiyle büyümenin azalmasına, klorofil kaybına ve ağır metal kaynaklı kloroza neden olduğunu belirlemişlerdir.

Zhang vd. (2014) tütün bitkisinde Cd stresinin neden olduğu olumsuzlukları gidermek için etilen uygulamasını araştırdıkları bir çalışmada, tütün bitkisini kadmiyum stresine tabi tutup bitkinin fizyolojik performans ve gelişimini takip etmişlerdir. Cd stresinin neden olduğunu olumsuzluklarla ilgili ise şunları kaydetmişlerdir; tütün bitkilerinde sarı yapraklara ve küçük köklere neden olduğunu, tütün bitkisinin gelişimini inhibe ettiğini, taze sürgün ağırlığını, taze kök ağırlığını ve kök uzunluğunu azalttığını belirtmişlerdir.

Zancheta vd. (2015) hidroponik bir kültürde *Sorghum bicolor* L. ve *Canavalia ensiformis* L. bitkilerinin Cd stresine verdiği yanıtı incelemişlerdir. Bitkiler, besin çözeltisinde yetiştirilmiş ve 0, 15, 30 ve 60 $\mu\text{mol Cd L}^{-1}$ 'e tabi tutulmuş ve gaz değişimi, bitki

büyümesi ve Cd birikimi, Cd uygulaması başladıktan 25 gün sonra ölçülmüştür. Kadmiyumun sürgünlerin ve köklerin büyümesini şiddetle azalttığını, sorgum bitkisinin Cd toksisitesine karşı kılıç fasulyesinden (*Canavalia ensiformis* L.) daha dayanıklı bulunduğunu ancak sürgünlerinde daha fazla miktarda ağır metal yoğunluğu ve birikimi gözlemlendiğini bildirmişlerdir.

Jia vd. (2016) kadmiyum (Cd) kontaminasyonunun, dünya çapında bir çevre sorunu olması ve Cd kirliliğinin giderilmesi, gıda üretimi ve insan sağlığı açısından büyük önem taşıması nedeniyle yaptıkları çalışmada tatlı sorgumun kadmiyum stresine verdiği cevapları ve kadmiyumla kontamine topraklarda bir enerji bitkisi olma potansiyelini incelemişlerdir. Hidroponik ortamda gerçekleştirilen deneylerde 0, 10, 50, ve 100 μM Cd uygulaması yapılmıştır. 10 μM kadmiyum uygulamasında bitki biyomas açısından önemli bir değişiklik göstermemiştir. Kadmiyum konsantrasyonu, fide ve olgun bitkide en yüksek oranda köklerde birikmiştir. Tarımsal açıdan, tatlı sorgumun değerli ve hasat edilen kısımları sürgünleridir. Bu nedenle kadmiyumun sürgüne geçişi bitki ıslah kapasitesini arttırmak için büyük önem taşımaktadır. Kadmiyumun esas olarak köklerde yoğunlaştığını ve korelasyon analizi, Cd'nin, yapraklarda demir (Fe), çinko (Zn) ve manganez (Mn) ile negatif bir ilişki içerdiğini ve köklerde Fe ile pozitif bir ilişki olduğunu göstermiştir. Mikroskobik gözlemler, 100 μM kadmiyum muamelesinde, kloroplast yapısının bozulduğunu ve yapraklarda demet hücrelerinin ve hücre duvarının ve köklerde floem ve ksilem hücrelerinin hücre duvarının kontrole kıyasla daha kalın olduğunu göstermiştir. Morfo-fizyolojik karakteristik analizlerde, tatlı sorgumun kadmiyumu absorbe edebileceğini ve büyümenin düşük dozlarda kadmiyum stresinden olumsuz olarak etkilenmediğini, bu nedenle ekonomik yararı göz önüne alındığında kadmiyuma kontamine olmuş toprakların arıtılması için umut verici bir bitki olduğunu öne sürmüşlerdir.

Roy vd. (2016) yaptıkları çalışmada on gün süre ile sorgum fidelerini farklı konsantrasyonlarda (0, 100 ve 150 μM) CdCl_2 'ye maruz bırakmışlar ve bitkinin gösterdiği farklı morfo-fizyolojik tepkileri incelemişlerdir. Gözlemlenen morfolojik değişiklikler, Cd ile uygulama yapılan bitkilerde yoğun olarak değişen sürgün uzunlukları olmakla birlikte bitki yaş ağırlıkları ve su içeriğinin azalması olmuştur. Cd

konsantrasyonu, Cd uygulaması ile belirgin şekilde artmış ve sürgünler tarafından alınan Cd miktarı, uygulanan Cd konsantrasyonu ile doğru orantılı olarak yükselmiştir.

Vatehova vd. (2016) iki hibrid mısırı (hassas ve toleranslı) Cd stresine maruz bıraktıktan sonra bazı fizyolojik parametreleri incelemişlerdir. 10 günlük Cd^{+2} (1×10^{-5} M and 5×10^{-5} M) stresinden sonra iki çeşitte de bitki büyümesi sınırlanırken hassas çeşitte kök yapısında ve pigment içeriğinde belirgin değişiklikler gözlemlenmiştir. Cd konsantrasyonunun köklerde, sürgünlerden 10 kat daha fazla olduğunu, protein içeriğinin iki çeşitte de azaldığını bildirmişlerdir. Hücre duvarı polisakarit fraksiyonlarındaki değişikliklerin ve bunların lignin ve selüloza oranlarının, incelenen mısır çeşitlerinin kadmiyuma karşı tolerans ve/veya savunmada yer aldığını açıkça gösterdiğini belirtmişlerdir. Her iki çeşitteki Ca^{+2} (Ca, hücre duvarı yapılarının stabilizasyonu ve bütünlüğünü kontrol eden bir katyondur) içeriği, hücre duvarlarındaki Ca^{+2} 'nin Cd^{+2} ile değiştirilmesi nedeniyle azalmıştır. Cd stresıyla selüloz oranının azaldığını ve lignin oranının arttığını, bunun da her iki çeşitte klason ligninin (asitlerde çözünmeyen lignin) artan içeriği özellikle toeranslı çeşitte suberin lamelleri olan apoplazmik bariyerlerin daha erken gelişimi ile ilişkili olabileceğini bildirmişlerdir.

Wang vd. (2017) araştırmalarında asit karakterli kumlu bir toprakta sorgum bitkisinin 100 günlük büyüme periyodunda Cd elementini alabilme kapasitesini değerlendirmişlerdir. Cd 0, 3, 15 ppm dozlarında uygulanmıştır. Yüksek Cd stresinde bitki büyümesi engellenmiş ve biyomas ağırlığı ve bitki boyu sırasıyla %38,7-51,5 ve %27,6-28,5 azalmıştır. Toprakdan bitkiye olan transfer Cd'un bitkide yüksek oranda birikebileceğini göstermiş ve yüksek Cd stresi altında köklerden sürgünlere Cd'nin daha yüksek oranda transfer kabiliyeti olduğu belirtilmiştir. *S. bicolor*'un kök, gövde ve yapraklarındaki Cd içeriği sırasıyla 43.79-46.07, 63,28-70,60 ve 63,10-66,06 mg kg^{-1} 'a ulaşmıştır. *S. bicolor*'un asitli kumlu çamur topraklarda düşük veya orta derecede Cd kontaminasyonu için fitoremediasyonda kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Turner ve Rust (1971), besin kültürüne çok az miktarda $0,5 \text{ mg } kg^{-1}$ Cr ve toprak kültürüne $60 \text{ mg } kg^{-1}$ ilave edilerek Cr toksisitesinin ilk semptomlarını gözlemlemişlerdir. Bu Cr ilaveleri, köklerdeki hemen hemen bütün makro besin elementlerinin ve K, P, Fe ve Mg konsantrasyonlarının azalmasına neden olmuştur.

Anderson vd. (1973) 634 mg kg⁻¹ Cr içeren toprakta yetişen yulaf bitkisinde 49 mg kg⁻¹ Cr bulunduğunu ve bu durumun yulaf için toksite olduğunu bildirmişlerdir.

Bitkilerdeki Cr içeriği, temelde toprakların çözünür Cr içeriklerine bağlıdır. Çoğu toprakta önemli miktarda Cr bulunur, ancak bitkilerdeki mevcudiyeti oldukça sınırlıdır. Bununla birlikte, toprağa Cr ilavesi bitkilerin Cr içeriğini etkiler ve bitkiler tarafından Cr alım hızı çeşitli toprak ve bitki faktörlerine bağlı olarak değişir. Başta serpantin veya kromit yataklarından alınan bazı bitkiler, kromu %0,3 veya %3,4'e (34.000 ppm) kadar biriktirebilir (Petrulina 1974).

10⁻⁵ N konsantrasyondaki bir Cr₂O₇ ilavesi, çalı fasulyesi bitkisinin büyümesini yaklaşık %25 oranında azaltırken aynı Cr₂ (SO₄)₃ ilavesi, büyüme üzerinde herhangi bir etkiye sahip olmamıştır, ancak Cr ilaveleri, çalı fasulyesi yapraklarında sırasıyla Cr içeriğinin 2,2 mg kg⁻¹ ve 1,3 mg kg⁻¹ yükselmesine neden olmuştur (Wallace vd. 1977).

Buğday bitkisi ile yapılan bir çalışmada besin ortamına ilave edilen 0.5 mM Cr her bir bitkide toplam yaprak sayısında %50 azalmaya neden olurken, bunun nedeninin birçok mekanizma tarafından olabileceği ve en çokta su kullanımının azalmasından kaynaklanabileceği araştırmacılar tarafından düşünülmüştür (Sharma ve Sharma 1993).

Rout vd. (1997) farklı süre zarflarında çeltik fidelerine 100 µ M Cr⁺⁶ uygulaması yaptıkları çalışmada tüm periyodlarda kontrol bitkilerine kıyasla krom uygulaması yapılan bitkilerin kök uzunluğunda azalma meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Simon vd. (1998) eski bir galvanizleme tesisinin çevresinde Cr ile kirlenmiş toprakta (247 mg kg⁻¹ Cr) yaptıkları bir çalışmada bu alanda yetişen bitkilerde özellikle yem turpunda köklerde (160 mg kg⁻¹'a kadar) yüksek oranda Cr birikimi gözlemlediklerini, buna rağmen bu bitkilerin sürgünlerindeki Cr konsantrasyonu 10 mg kg⁻¹'i aşmadığını bildirmişlerdir.

Golovatyj ve Bogatyreva (1999) yaptıkları bir çalışma için Cr alımının toprak özelliği ve krom konsantrasyonu ne olursa olsun köklerde diğer bitki organlarına göre daha fazla birikim gösterdiğini belirterek; fasulye de Cr konsantrasyonun %1 oranında tohumlarda ve %98 oranında bitki köklerinde biriktiğini söylemişlerdir.

Deri sanayisi atıkları kullanılarak yapılan bir çalışmada, kara mercimek, pamuk, börülce ve domates bitkilerine farklı dozlarda Cr içeren bu atıkların uygulaması yapılmıştır. Krom içeren atıklar %25-100 dozlarında kullanılmıştır. Tüm bitkilerde %25 Cr içeren atık uygulamasında yaprak alanında artış gözlemlenirken %75 ve %100 atık uygulamasında tüm bitkiler ölmüştür (Karunyal vd. 1994).

Chatterjee ve Chatterjee (2000) Cr fitotoksitesine dair ulaştıkları bazı sonuçlar için şunları ifade etmişlerdir; bitkilerde fazla miktarda Cr'nin, N metabolizmasının bozulmasından kaynaklanan zayıf protein oluşumuna neden olduğunu bildirmişlerdir.

Krom, klorofil üretiminde gerekli bir enzim olan δ -aminolevülinik asit dehidratazı indirgeyerek bitki hücrelerinde δ -aminolevülinik asit birikimine neden olup daha sonra klorofil miktarında azalmaya sebep olur. Aslında bu durum δ -aminolevülinik asit üretiminin krom toksitesine hassas durum sergilemediğini fakat porfobilinojen (canlı organizmalarda, klorofil gibi kritik maddeleri kapsayan porfirin biyosentezinde bir ara madde olarak oluşan organik bir bileşiktir) sentezininin Cr stresine hassas bir durum sergilediğini ifade etmektedir. Kromun +6 değerlikli durumu çoğu enzimde aktif bölgelerde Mg iyonu ile yer değiştirerek klorofil miktarının azalmasına sebep olmaktadır (Vajpayee vd. 2000).

Mengel ve Kirkby (2001) bitki tarafından alınan Cr miktarının pH tarafından etkilendiğini belirterek pH'nın yükselmesinin kromun alınabilirliğini düşürdüğünü ifade etmişlerdir. Krom elementinin genellikle toprakların üst katmanında (5-10 cm) tutulabildiğini ve diğer formlarına göre daha toksik olan Cr (VI)'nın alkali ortamlarda hareketsiz olabildiğini belirtmişlerdir. Toprakta organik madde bulunması durumunda en fazla 48 saatte Cr (VI)'nın Cr (III)'e indirgenebileceğini bildirmişlerdir. Ayrıca Cr (VI)'nın Cr (III)'e nazaran bitkilerin genç dokularında daha fazla birikebildiğini söylemişlerdir. Araştırmacılar farklı bitkiler için Cr (VI) alma yoğunluğunu şu şekilde sıralamışlardır: en yüksekten en aza göre sırasıyla; 1. Karnabahar, 2. Kırmızı pancar, 3. Turp, 4. Havuç, 5. Domates, 6. Mısır, 7. Marul, 8. Arpa

Portekiz'deki galvaniz endüstrisi etrafındaki toprakların üst katmanında ortalama olarak 1000 mg kg^{-1} dan $27.132 \text{ mg kg}^{-1}$ a kadar Cr bulunmaktadır (Morgado vd. 2001).

Vajpayee vd. (2001) yaptıkları bir çalışmada *Vallisneria spiralis* bitkisine Cr uygulaması yapmış ve toksite durumunu araştırmışlardır. Çalışmasının sonuçlarına göre Cr^{+6} 2.5 $\mu\text{g}/\text{mL}$ seviyesinin üzerindeki dozlarda biomass üretiminin negatif etkilendiği belirlenmiştir.

Samantaray (2002) maş fasulyesinin TARM-22 ve K-851 (krom elementine toleranslı iki çeşit) çeşitlerinde Cr uygulaması yaptıktan sonra klorofil konsantrasyonunun kontrol bitkilerine göre arttığını ve kroma hassas çeşitler olan PDM-54 ve Sujata bitkilerinde ise Cr uygulamasından sonra klorofil konsantrasyonunun azaldığını ifade etmiştir.

Howe vd. (2003) yaptıkları araştırmada Cr^{+6} 'nın Cr^{+3} 'e tamamının indirgenemediğini ve kromun vasküler dokulara geçiş yapabildiğini bildirmiştir. Ayrıca Cr^{+6} ve Cr^{+3} 'ün bitki yapraklarına rahat bir şekilde taşınabildiğini açıklamışlardır.

Nicholson vd. (2003) tarım alanlarına uygulanan lağım çamurundaki krom içeriğinin (çoğunlukla belediye atıkları) genellikle 100 ile 200 mg kg^{-1} arasında değiştiğini tahmin etmektedirler. Yaptıkları çalışmada Cr'nin tarımsal topraklara birikme oranları belirlemeye çalışmışlar ve Finlandiya'da en düşük ve İtalya'da en yüksek oranı 0.5-46 g /ha /yıl olarak hesaplamışlardır. Araştırmacılar aynı zamanda 2000 yılında İngiltere ve Galler'deki Cr'nin tarım alanlarına toplam yıllık giriş miktarının 327 ton olduğunu bunlardan 126 ton inorganik gübrelerden (çoğunlukla fosfat), 83 tonunun atmosferik birikimden ve 78 tonunun lağım çamurundan olduğunu belirtmişlerdir.

Shtiza vd. (2005) Arnavutluk'taki Cr eritici tesislerin etrafını çevreleyen topraklar bu metali ortalama 3117 mg kg^{-1} içerirken, 20.300 mg kg^{-1} 'a kadar en yüksek konsantrasyonun cürüflara yakın topraklarda bulunduğunu belirtmişlerdir.

Scoccianti vd. (2006) tarafından kromun hücre duvarı ve hücre zarında bağlandığı bölgelerin Ca^{+2} formundaki katyonlar ile yer değiştirerek hücre metabolizma ve fonksiyonlarında olumsuz etkilere ve bozukluklara neden olabileceği bildirilmiştir.

Bitkide yaprakların gelişimi; yaprak alanı ve yaprak adedi, bitkilerin verimini etkiler. Kromun Cr^{+6} formunda uygulanması yaprak alanı büyümesini olumsuz etkileyerek yaprakların daha küçük kalmasına neden olmaktadır (Castro vd. 2007).

Vernay vd. (2007) yaptıkları bir çalışmada besin çözeltisindeki Cr^{+6} seviyesinin artması ile CO_2 asimilasyonunun ve *Lolium perenne* bitkisinin yapraklarında fotosistem ile ilişkili diğer parametrelerin azaldığını bildirmişlerdir.

Çiftlik gübresinin uygulanması Cr hareketliliğini azaltır ve böylece Cr toksisitesinin bitkilerdeki etkilerini hafifletir (Singh vd. 2007).

Karuppanapandian ve Manoharan (2008) Cr^{+6} 'nın bitkiler için toksite belirtilerinin kök ve gövdede aynı düzeyde olduğunu belirtirken; Cr^{+3} 'ün ise yalnızca kök bölgesinde toksik seviyede olduğunu bildirmişlerdir.

Subrahmanyam (2008) kromun hücre organellerinden mitekondrinin ve aynı zamanda kloroplastın fonksiyonlarında oksidatif hasara neden olarak bitki kuru ağırlığı üzerinde bir etkide bulunabileceğini söyleyerek; ekmeklik buğdayda 0,1-0,15-0,25 mM düzeylerinde Cr uygulaması yaparak elde ettiği sonuçlarda gövde de kuru ağırlık kaybının köke kıyasla daha fazla olduğunu bildirmiştir.

Vernay vd. (2008) kromun depolanması açısından bitkinin farklı organlarına göre farklılık olduğunu yaptıkları çalışmada belirtmişlerdir; *Datura innoxia* bitkisinin köklerinde gövdeye oranla çok daha yüksek miktarda Cr (VI) birikmiştir.

Pandey vd. (2009) 200 μM Cr^{+6} uygulaması yaptıkları bezelye bitkisinde kontrol bitkilerine göre kök uzunluğunda %18 oranında azalma meydana geldiğini bildirmişlerdir. Kromun toksik etkilerinin sebep olduğu kök büyümesinin engellenmesi, kök hücre bölünmesi fonksiyonlarının engellenmesinden kaynaklanabilmektedir (Shanker vd. 2005).

Gupta vd. (2009) 0-500 μM Cr^{+6} uygulaması yaptıkları *Brassica juncea* cv. Varuna için bitki boyunun yaklaşık %50 seviyesinde azaldığını belirtirken, artan Cr dozları ile bitki yaş ağırlığının azaldığını, fakat bitki kuru ağırlığının ise kontrol bitkilerine kıyasla %57 daha fazla bulunduğunu bildirmişlerdir.

Krom için fitotoksik konsantrasyon çeşitli bitkiler için şu şekilde bildirilmiştir; mısır için 4- 8 mg kg⁻¹, arpa için 10 mg kg⁻¹ ve diğerleri için 10-100 mg kg⁻¹ (Kabata-Pendias 2011).

Choudhary vd. (2015) çalışmalarında bakır (II) ve krom (VI) iyonlarının sulu solüsyondan sorgum köküne olan biyosorpsiyonunu (Biyosorpsiyon, sulu ortamlardan metal iyonlarının biyokütle tarafından alınmasıdır) araştırmışlardır. Her iki metalin de biyosorpsiyonu için optimum pH ve sıcaklık sırasıyla 2 ve 20 °C olarak bulunmuştur. Doz olarak her iki metal içinde 5-15-25-35 ve 50 mg L⁻¹ kullanılmıştır. Cu (II) ve Cr (VI) için maksimum biyosorpsiyon kapasitesi sırasıyla 18,6 ve 18,39 mg g⁻¹ olarak bulunmuştur. Sonuçta sorgum köklerinin mükemmel adsorpsiyon özelliklerine sahip olduklarını ve dolayısıyla sulu solüsyondan Cu (II) ve Cr (VI) iyonlarının uzaklaştırılması için etkili ve düşük maliyetli bir biyosorbent olarak kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Kasmiyati vd. (2016) yaptıkları çalışmada toprakta sorgum tarafından emilebilecek kirletici ağır metallere birinin krom (Cr) olduğunu belirtmiş ve sorgum çeşitlerinin Cr⁺³ stresine karşı büyüme tepkisini belirlemek amacıyla bir araştırma yürütmüşlerdir. Sorgum çeşitlerine iki kimyasal bileşik olan Cr³⁺ ve 3 farklı konsantrasyonunu (0, 50, ve 500 mg L⁻¹) uygulamışlardır. Ölçülen parametreler, kök / kök uzunluğu, fide boyu, yaş ağırlık, kuru ağırlık ve stres tolerans indeksi (STI) olmuştur. CrCl₃ ya da KCr (SO₄)₂ formundaki Cr³⁺'nin, sorgum çeşitlerinde fide büyümesini önemli ölçüde azalttığı gözlemlenmiştir. Sorgum çeşitlerinin Cr⁺³ stresine karşı büyüme tepkileri hem çimlenme evresinde hem de erken fide döneminde farklılık göstermiştir. Ortalama STI değerine dayanarak, Cr⁺³'in stres koşulları altında dört sorgum çeşidi (Hegari, Mandau, Sangkur ve Gambela) çok kuvvetli toleranslı olarak sınıflandırılmış, iki çeşit (Kawali ve Batari) hassas olarak bulunmuştur.

Zuo vd. (2019) tatlı sorgumda atık çamur uygulaması üzerine bir çalışma yapmışlardır; bu çalışmada kullandıkları atık çamur miktarları 0, 25, 50, 125, 250 t ha⁻¹ ve bu çamurun içerdiği ağır metaller Cd 3,47 mg kg⁻¹, Cr 170 mg kg⁻¹, Cu 587 mg kg⁻¹, Mn 210 mg kg⁻¹, Pb 48,2 mg kg⁻¹ ve Zn 1062 mg kg⁻¹ şeklinde olmuştur. Tatlı sorgumun biyokütlesi ve brüt enerji içeriği, bu uygulama ile önemli ölçüde yükselmiştir, fakat kök ve yapraktaki kalorifik değerleri biraz düşürmüştür. Bununla birlikte atık çamur uygulaması sorgum

bitkisinde her ne kadar ağır metal (Cd, Cr, Cu, Mn, Pb, Zn) birikimine yol açmış olsa bile en yüksek atık çamur uygulamasında bile sorgumun büyümesini inhibe edemediğini bildirmişlerdir.

Tsui (1955) buğday tohumlarında nikelin (Ni) etkilerini araştırmak üzere yaptığı çalışmada 100 mg kg^{-1} Ni uygulaması yaptığı durumda bitkinin kök ve gövdesinin diğer konsantrasyonlara oranla en iyi büyüme gösterdiğini, fakat 250 mg kg^{-1} ve üzeri Ni uygulaması yaptığında büyümenin engellendiğini bildirmiştir.

Capsicum frutescens L. (paprika) ve *Lycopersicon esculentum* L. (domates) bitkilerine belirli konsantrasyonlarda Ni uygulandığında $1 \mu\text{g L}^{-1}$ dozuna kadar olan seviyelerde bitki büyümesinin ve gelişmesinin olumlu yönde ilerlediği, ancak $1 \mu\text{g L}^{-1}$ seviyesinden sonra uygulanan daha yüksek dozlarda bitkinin strese girdiği ve $1 \mu\text{g L}^{-1}$ 'den yüksek dozların toksik olduğu bildirilmiştir (Pais vd. 1970).

Tiffin (1972) Ni'nin ksilem içinde anyonik ve organik komplekslere bağlı olduğunu ve Ni taşınımının ve depolanmasının metabolik olarak kontrol ediliyor gibi görünse de Ni'in bitkilerde hareketli olduğunu, hem yapraklarda hem de tohumlarda birikebileceğinin muhtemel olduğunu bildirmiştir.

Nikel genellikle bitkiler tarafından topraklardan kolayca emilir ve bitki içerikleri, topraklardaki Ni formlarının basit işlevleridir. Hem bitki hem de bazı diğer faktörler bu süreçleri etkiler ve en belirgin faktör toprak pH'sıdır. Toprak pH'sının 4,5'ten 6,5'e çıkarılmasının yulaf bitkisinin Ni içeriğini yaklaşık 8 kat azalttığı bildirilmiştir (Berrow ve Burridge 1981).

İnsanların günlük nikel alımı hayvanların beslenmesi ile ya da bitkilerin bünyelerine aldıkları Ni miktarı ile dolaylı olarak belirlenir. İnsanlar ekmek, tahıl vs. tüketimleriyle bu alımı gerçekleştirmiş olurlar. Günlük alınan Ni miktarı $150 \mu\text{g}$ 'dan daha fazla olmamalıdır. İngiltere'de bu değer 140-150 μg , olarak bildirilirken Amerika Birleşik Devletleri'nde 69-162 μg , ve Danimarka'da 130 μg olarak bildirilmiştir (W.H.O. 1996).

Malan ve Farrant (1998) kadmiyum ve nikelin belirli dozlarda ($0-0,05-1,0 \text{ mg L}^{-1}$) soya fasulyesinin gelişimine olan etkilerini belirlemek amacıyla serada yaptıkları çalışmada Cd

ve Ni'nin de bitki gelişimini ve ürün miktarını olumsuz yönde etkilediğini gözlemlemişlerdir. Bitkide ağır metal birikimi köklerde yoğunlaşmıştır. Nikelin kadmiyuma göre daha hareketli olduğu ve bitkinin tüm aksamalarına taşındığı ve yüksek yoğunlukta olduğu belirtilmiştir. Kontrol bitkilerinin kök; 1,31 mg kg⁻¹, yaprak; 0,43 mg kg⁻¹, kabuk; 0,48 mg kg⁻¹ ve tanede; 0,12 mg kg⁻¹ Cd tespit edilirken uygulama bitkilerinde Cd konsantrasyonu aynı sıra ile kök; 130,09, yaprak; 3,80, kabuk; 0,78 ve tanede; 0,96 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Kontrol bitkilerinde kök, yaprak, kabuk ve tanede Ni konsantrasyonu kuru maddede 3,1, iz, iz ve 0,2 mg kg⁻¹ olarak bulunmuş ve uygulama bitkilerinde Ni konsantrasyonu kök; 1100 mg kg⁻¹, yaprak; 48,1 mg kg⁻¹, kabuk; 12,5 mg kg⁻¹ ve tanede 49,1 mg kg⁻¹ olarak tespit edilmiştir.

Nicks ve Chambers (1998) California'daki serpantin topraklarda endemik olarak yetişen *Brassicaceae* familyasının bir türünün tek bitkisinin Ni içeriğinde (3280-7820 mg kg⁻¹) büyük bir çeşitlilik olduğunu tanımlamışlardır.

Tripathi ve Tripathi (1999) ağır metal stresinin bitkilerde yaprakların büyüme potansiyellerini etkileyen bir etmen olduğunu ve bu etkiye karşı koyan toleranslı türlerin seleksiyonda değerlendirilebileceğini belirtmişlerdir.

Eriksson (2001) farklı ülkelerden gelen (Ni ile bulaşık olmayan alanlar için) tahıl tanelerinin ortalama Ni içeriğinin 0,34 ila 1,28 mg kg⁻¹ arasında değiştiğini ve yulaf bitkisinin tanelerinin bu tahıllar içinde en yüksek (1,28 mg kg⁻¹) Ni seviyesine sahip olduğunu bildirmiştir. İsveç'ten gelen arpa ve buğday tanelerinin ortalama Ni konsantrasyonlarının sırasıyla 0,15 ve 0,16 mg kg⁻¹ değerinde olduğunu bildirmiştir.

Niechayeva (2002) çeşitli ülkelerden elde edilen yoncada ortalama Ni içeriğinin 1,2 ile 2,7 mg kg⁻¹ arasında değişirken, çimler için bu değerleri 0,13 ile 1,7 mg kg⁻¹ arasında olduğunu ve Batı Sibirya'nın Tayga bölgesinden çayır otu (13-75 mg kg⁻¹) ve orman çayırları (10-100 mg kg⁻¹) için çok daha yüksek bir Ni içeriği bildirmiştir.

Mesjarz-Przybyłowicz vd. (2004) Nikel ile zenginleşmiş ultramafik topraklarda (1300 mg kg⁻¹ içeren) (Güney Afrika) yetişen endemik bir bitki olan *Berkheya coddii*'de 18.000 mg kg⁻¹ Ni konsantrasyonuna sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Zengin ve Munzuroğlu (2005) nikelin toksite seviyesinde bulunduğu durumlarda klorofil üretiminin ve yağ sentezi mekanizmasının negatif şekilde etkilendiğini ve böylelikle köklerin ihtiyaç duydukları makro ve mikro elementleri gerektiği kadar alamadığını ifade ederek sonuçta bitkinin besin elementi noksanlığı çektiğini belirtmişlerdir.

Revoredo ve Melo (2006) sorgum bitkisini atık çamur uygulamasıyla yetiştirdikleri çalışmada, Ni ihtiva eden atık çamurla kontamine olmuş topraklar içerisinde sera ortamında sorgum bitkilerini 128 gün süre ile yetiştirmişlerdir. Atık çamur içerisindeki Ni dozları 329,0, 502,0, 746,0 ve 1119,0 mg kg⁻¹ olacak şekilde uygulanmış ve topraktaki Ni oranının artmasıyla birlikte sorgum bitkisinin Ni alımı da dozlara bağlı olarak %39,93; 101,16; 152,58 ve 171,38 oranında artmıştır.

Cheng vd. (2006) 2 yıl tekrarlamalı gerçekleştirdikleri bir çeltik denemesinde dokuz farklı genotipi altı değişik bölgede yetiştirmişler ve tanedeki Ni, Cd, Cr, As ve Pb oranlarını, genetik ve çevresel etkileşimleri ve elementler ile Fe ve Zn arasındaki ilişkileri bulmaya çalışmışlardır. Genotipler arasında bu iz elementlerin yoğunlukları ve genotip-çevre ilişkisi önemli bulunmuştur. Çalışma yapılan bölgelerde çeltik yetiştiriciliğinde tanede düşük dozlarda ağır metal biriktiren çeşitlerin seçiminin önemli olduğuna karar verilmiştir. Korelasyon analizleri sonucunda; tanede Cd ve As; Cr ve Ni, As ve Pb oranlarının pozitif yönde değiştiğini ama Ni ve Zn oranları arasındaki bağlantının negatif yönde olduğunu bildirmişlerdir.

Thakali vd. (2006) TBLM (Terrestrial Biotic Ligand Model) Ni toksisitesinin değerlendirilmesi için uyarlamış ve metal iyonlarının biyotik ligand ve reseptör bölgesi ile reaksiyona girdiği ve arpa bitkisinin kök uzamasını engellediği sonucuna varmıştır. Araştırmacılar, TBLM (Terrestrial Biotic Ligand Model)'nin EC 50 Ni konsantrasyonunun topraklardaki riskini değerlendirmek için kullanılabileceği sonucuna varmıştır.

Ahmad vd. (2007) maş fasulyesi ile yaptıkları çalışmada besin çözeltisindeki artan Ni seviyesi (40 mg L⁻¹) ile maş fasulyesinin büyümesinin gerilediğini, fotosentezin olumsuz etkilendiğini ve katyon (Na, K, Ca) emiliminin azaldığını bildirmişlerdir.

Bani vd. (2007) verimli arazilerden 25 kg/ha Ni'nin *Alyssum murale* tarafından fito-ekstrakte edilebileceğini bildirmişlerdir. Ni hiperakümüülasyonunun mekanizmasının henüz tam olarak bilinmediğini, ancak açıkça organo-metalik komplekslerle ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Hiperakümülatörlerin birkaç genotipinin hücrelerinde Ni konsantrasyonu ile bazı sitrik asitlerin bazı organik asitlerin (polikarboksilat) konsantrasyonları, özellikle sitrik asidin konsantrasyonları arasında bir ilişkinin olduğunu ifade etmişlerdir.

Tao vd. (2007), Çin'de bulunan Shanghai bölgesinden ağır metal kirliliğini araştırmak için aldıkları toprak örneklerinde Ni, Pb, Zn, Cu, Cr ve Cd miktarlarını belirlemişler ve sonuçların son derece yüksek oranda olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca yapılan araştırma ile topraklardaki kirliliğin (ağır metal kaynaklı) nedeninin trafik ve sanayi nedenli olduğunu ifade etmişlerdir.

Wyszkowska vd. (2007) yaptıkları çalışmada tınlı kumlu ve hafif siltli tınlı farklı iki toprağa 200 mg kg⁻¹ konsantrasyonunda Ni uygulaması yapmış ve yulaf bitkisinin verimini incelemişlerdir; sırasıyla verimin %65 ve %40 oranında düştüğünü bildirilmişlerdir.

Knezevic vd. (2009) Polonya'nın değişik bölgelerinden toprak ve bitki örneklerinde muhtemel ağır metal kirliliğini belirlemeye çalışmışlardır. Araştırma neticesinde karayoluna daha yakın yerlerde Ni, Zn, Pb ve Mn gibi ağır metallerin oranı, kara yolundan uzaklaşıldıkça alınan örneklerden daha yüksek bulunmuştur.

Al-Karaki (2011) yaptığı çalışmada şebeke suyu, atık su ve atık su-şebeke suyu karışımı olan üç farklı ortamda arpa bitkisini hidroponik kültürde yetiştirmiş ve yem verimi, yem kalitesi ve su kullanım etkinliğini belirlemeye çalışmıştır. Şebeke suyunda Cr konsantrasyonu 0,0039 mg kg⁻¹ Cd 0,0005 mg kg⁻¹ ve Ni konsantrasyonu 0,0003 mg kg⁻¹ iken atık suda bu elementlerin konsantrasyonları Cr için 0,0090 mg kg⁻¹ Cd için 0,0032 mg kg⁻¹ ve Ni için 0,0063 mg kg⁻¹ olarak bildirilmiştir. Bu değerler doğrultusunda arpa bitkisinde şebeke suyu-şebeke suyu x atık su karışımı-atık su uygulamasında üç tür su ile sulanan yemde ham lif ve ham yağ içeriği arasında önemli bir farklılık saptanmamıştır, yemdeki protein içeriği, atık su ile sulamada %27,4'e ulaşırken, şebeke suyu x atık su karışımı ve şebeke suyu ile sulanan arpa yeminde değerleri sırasıyla %24,9 ve %25,2

olarak bulunmuştur. ADF ve NDF oranlarının ise atık su x şebeke suyu karışımında diğer su türlerine göre daha yüksek değerde olduğu bildirilmiştir.

Ni stresi altındaki bitkilerde, besin maddelerinin emilimi, kök gelişimi ve bitki metabolizması oldukça gecikir. Genellikle Ni toksite semptomları belirginleşmeden önce, bitki dokularında bu metalin yüksek konsantrasyonlarının fotosentezi ve terlemeyi engellediği bilinmektedir (Kabata-Pendias 2011).

Kabata-Pendias (2011) bitkilerin genellikle maksimum sahip olacağı Ni konsantrasyonu ile ilgili şunları bildirmiştir; fitotoksik Ni konsantrasyonları bitki türleri ve çeşitleri arasında geniş çapta değişmektedir ve çeşitli bitkilerin 40-246 mg kg⁻¹ nikelle sahip olduğu rapor edilmiştir. Arpa fidelerinin toksik Ni içeriği 26 mg kg⁻¹ kadar düşükken, çavdarda hafif kloroza neden olacak şekilde 50 mg kg⁻¹ Ni bulunur. Genel olarak, çoğu bitki türünde aşırı veya toksik miktarda Ni aralığı 10-100 mg kg⁻¹ arasında değişir. Hassas türlerin çoğu 10-30 mg kg⁻¹ arasında değişen çok daha düşük Ni konsantrasyonlarından etkilenir. Tipik bitki dokusunda genellikle Ni konsantrasyonunun yaklaşık 10 mg kg⁻¹ olduğu öne sürülür. Genel olarak, çoğu bitki türünde aşırı veya toksik Ni miktarı, 10-1000 mg kg⁻¹ arasında değişmektedir.

Chami vd. (2015) yaptıkları çalışmada, *Sorghum bicolor* bitkisinin nikel (Ni), kurşun (Pb) ve çinko (Zn) etkisinde (5, 10, 25, 50 ve 100 ppm) biyokütle üretim potansiyelini ve kullanımlarını değerlendirmek üzere hidroponik olarak hoagland solüsyonunda yetiştirmişleridir. Test edilen bitkilerin Ni, Pb ve Zn'yi alabildiklerini ve ayrıca, köklerin sürgünlerden daha fazla metal biriktirdiklerini belirtmişlerdir. Ni'in Zn ve Pb'den daha toksik olduğunu ve bitkinin 10 ppm üzerindeki Ni konsantrasyonunda büyümeyi başaramadığını yüksek toksisite semptomları ve biyokütle azalması gözlemlendiğini ifade etmişlerdir. Metal toksisitesini Ni> Zn> Pb şeklinde sıralamışlardır.

Kolodziej vd. (2015) çalışmalarında, farklı dozlarda belediye kanalizasyon çamurunun şeker sorgumunda verim ve kalite üzerine olan etkisini, ayrıca toprağın fiziko-kimyasal ve biyolojik özelliklerinde meydana gelen değişimleri belirlemeye çalışmışlardır. Çamur içerisindeki makro besin maddeleri ve ağır metallerin alınımının, artan dozla birlikte arttığını gözlemlemişlerdir. Sorgum dokularında azot ve kadmiyumun (Cd) az miktarda yoğunlaştığı, çinko, bakır ve nikelin orta seviyede bulunduğunu ve potasyum, fosfor,

magnezyum, krom (Cr) ve kurşunun düşük oranlarda biriktiğini belirtmişlerdir. Belediye kanalizasyon çamurunun yüksek dozlarının toprağın fiziko-kimyasal özelliklerini ve enzimatik aktivitesini önemli ölçüde etkilediğini, pH'yı yükselttiğini ancak hidrolitik asitliği, toplam azotu ve mevcut makro besin maddelerinin konsantrasyonunu arttırırken aynı zamanda ağır metal içerikleri de arttırdığını açıklamışlardır. Cd toprakta <0,27 ppm iken kanalizasyon çamurunda 2,35 ppm, Cr toprakta 9,66 ppm iken kanalizasyon çamurunda 25,4 ppm, Ni toprakta 6,31 ppm iken kanalizasyon çamurunda 14,8 ppm olarak tespit edilmiştir.

Latif vd. (2015) yaptıkları araştırmada mısır ve *Desmostachya bipinnata* çimini silaj olarak hazırlarken bu karışıma %2, 4, 6 melas eklemiş ve silajın fiziksel ve besin özelliklerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Genel olarak artan her melas dozu artan ağır metal oranını ifade etmektedir. Kontrol, %2, %4 ve %6 melas içeren yemdeki Ni konsantrasyonları aynı sırayla 3- 5- 4,2- 9,8 ppm şeklindedir. Kontrol, %2, %4 ve %6 melas içeren yemdeki Cr konsantrasyonları aynı sırayla 5,6- 5,8- 2,8- 5,2 ppm şeklindedir. Yine aynı sırayla kontrol ve %2, %4, %6 melas içeren yemdeki Cd konsantrasyonları aynı sırayla, 1,2- 1,2- 2,2- 3,3 ppm şeklinde olmuştur. Kuru madde ve kül içeriği artarken, ham selüloz, ADF ve NDF içeriği silajda melas oranının artmasıyla azalmıştır. Ham protein seviyesine baktıklarında artan melas düzeyleri ile değişen hiçbir etki gözlemlenmediğini ifade etmişlerdir.

Giuseppe vd. (2017) Kuzey İtalya'da (Po River Delta) ıslah amacıyla tarıma açılan bölgede (ağır metal tutma kabiliyeti olan topraklarda) bir arazide sorgum bitkisini yetiştirmiş ve ağır metal biyoakümüasyonu açısından sorgum bitkisinin toprak altı ve üstü organlarını değerlendirmişlerdir. Bu topraklarda klorit ve serpantin varlığına bağlı olarak toprak ve rizosfer örneklerinde doğal kullanılabilirlikleriyle ilgili yüksek Cr ve Ni konsantrasyonları tespit etmişlerdir. Tohumlarda Cr ve Ni mikro elementlerinin aksine Zn ve Cu tesbit edilmiştir. Yalnız Cd dışındaki tüm mikro elementlerin yasal olarak izin verilen sınırlar altında olduğunu ve metallerin bitkilerin erken dönemlerinde bitkiler tarafından emildiği, ancak daha olgun gelişim evrelerinde doku kütlelerinde seyreltilme eğiliminde olduklarını bildirmişlerdir. Yaklaşık 30 gün arayla iki örnekleme yaptıklarında köklerdeki ortalama metal konsantrasyonunun (özellikle Cd) ilkine göre azalmış

olduğunu belirtmişlerdir. Aynı zamanda bitkilerin tercihen Cd, Zn ve Cu elementlerini toprak üstü organlarına taşımayı tercih ettiğini ifade etmişlerdir.

Özkan (2017) Hatay (Cilvegözü karayolu çevresi tarım arazilerinde) karayolu uzaklığına bağlı olarak toprak ve bitkiler için örnekleme yapmış ve ağır metal konsantrasyonları belirlemeye çalışmıştır.

Toprakta Cd 0-0,265 mg kg⁻¹, Cr 0-0,120 mg kg⁻¹ ve Ni 0,370-3,97 mg kg⁻¹ olarak bulunduğunu ifade ederken bitki örneklerinde ise Cd 0-0,105 mg kg⁻¹, Cr 0,0 mg kg⁻¹ ve Ni 0,100-3,53 mg kg⁻¹ bulunduğunu belirtmiştir. Araştırmacı elde ettiği sonuçlardaki ağır metal değerlerinin Türkiye ve Dünya için sınır değer olarak kabul edilen seviyeleri aşmadığını ama karayoluna bağlı olarak ağır metal konsantrasyonunun arttığını belirtmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Deneme Alanı İle İlgili Bilgiler

Bu araştırma 28 Nisan - 10 Eylül 2017 tarihleri arasında Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Ziraat Fakültesi araştırma seralarında yürütülmüştür. Sera bölmesi, Şekil 3.1’de görüldüğü gibi (seranın kuzey cephesinde yer alan) içerisinde fan- pad sistemi, gölgeleme perdeleri, sirkülasyon fanları, sinek tülü ve çatı havalandırma sistemi bulunan özelliklere sahiptir.



Şekil 3.1. Denemede Kullanılan Sera Bölmesinden Görüntü

3.1.2. Denemede Kullanılan Toprak İle İlgili Bilgiler

Deneme için kullanılan toprak Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Avşar Kampüsü alanından temin edilmiş olup toprak analiz sonuçları Tablo 3.1’deki gibidir.

Tablo 3.1. Denemede Kullanılan Toprağa Ait Bazı Özellikler

Saturasyon (%)						
	pH	Tuz (%)	Kireç (CaCO₃, %)	Organik madde (%)	K (mg/kg)	P (mg/kg)
	7,33	0,1	0,71	0,6	275,2	8,12
58.3	Toplam Cd (mg/kg)	Toplam Cr (mg/kg)	Toplam Ni (mg/kg)	Alınabilir Cd (mg/kg)	Alınabilir Cr (mg/kg)	Alınabilir Ni (mg/kg)
	1,08	247,7	448,3	0,10	0,12	2,25

Kurucu vd. (1990) tarafından bildirilen sınıflandırmaya göre deneme toprağı “killi-tınlı” bir tekstüre sahiptir. Saatçı vd. (1983)’nin yaptığı sınıflandırmaya göre toprak pH’sı “hafif alkali” sınıfındadır. Richards (1954)’a göre deneme toprağı “tuzsuz” sınıfındadır. Evliya (1964)’ya göre yapılan sınıflandırmada deneme toprağının kireç durumu “çok az” olarak bulunmuştur. Ülgen ve Yurtsever (1974)’in belirttikleri sınıflandırmaya göre deneme toprağı organik maddesi “çok az” olarak değerlendirilmiştir. Toprak potasyum oranı “yeterli” sınıfında yer almaktadır. Pizer (1967) tarafından bildirilen sınıflandırmaya göre deneme toprağı fosfor (P) içeriğı “orta” sınıfındadır.

3.1.3. Kullanılan Tane Sorgum Çeşitleri ve Özellikleri

Çalışmada kullanılan tane sorgum çeşitleri Akdarı, Beydarı ve Öğretmenoğlu olup Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Çeşitlere ait genel özellikler aşağıda verilmiştir:

Akdarı: BATEM (Batı Akdeniz Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü) tarafından 1986'da tescil edilen çeşit Ege Bölgesi, Akdeniz Bölgesi ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi için uygundur. Vegetasyon periyodu genellikle 117 gün devam eder, tohum verimi 450-500 kg/da arasında değişir. Tane rengi beyazdır ve bitki boyu ortalama 110 cm'dir.

Beydarı: BATEM (Batı Akdeniz Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü) tarafından 1979'da tescil edilen çeşit; Ege Bölgesi, Akdeniz Bölgesi ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi için uygundur. Vegetasyon periyodu genellikle 117 gün devam eder, tohum verimi 450-500 kg/da arasında değişir. Tane rengi koyu kırmızı ve bitki boyu 40-150 cm arasındadır.

Öğretmenoğlu: BATEM (Batı Akdeniz Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü) tarafından 1979'da tescil edilen çeşit; Ege Bölgesi, Akdeniz Bölgesi ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi için uygundur. Vegetasyon periyodu genellikle 117 gün devam eder, tohum verimi 450-500 kg/da arasında değişir. Tane rengi kahverengi kırmızı ve bitki boyu ortalama 115 cm'dir.

3.1.4. Denemede Kullanılan Metaller

Krom (K_2CrO_4), Nikel ($NiSO_4 \cdot 6H_2O$) ve Kadmiyum ($CdSO_4 \cdot 8/3H_2O$) ticari olarak temin edilmiştir.



Şekil 3.2. Denemede Kullanılan Ticari Olarak Temin Edilen Ağır Metaller

3.2. Metot

3.2.1. Deneme Deseni

Çalışma, kadmiyum elementi için bölünmüş parseller deneme desenine (3 çeşit x 1 element x 6 doz x 3 tekerrür) göre, krom elementi için bölünmüş parseller deneme desenine (3 çeşit x 1 element x 6 doz x 3 tekerrür) göre, nikel elementi için bölünmüş parseller deneme desenine (3 çeşit x 1 element x 6 doz x 3 tekerrür) göre kurulmuş ve 3 ayrı deneme şeklinde yürütülmüştür.

3.2.2. Deneme Toprağının Hazırlanması

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi kampüs (Avşar Kampüsü) alanından temin edilen toprak Şekil 3.3'te görüldüğü gibi 4 mm'lik elekten elendikten sonra serada kuru (hava) ağırlığına gelmesi için beklenmiş daha sonra 10'ar kg'lık hacimlerde tartılarak saksılara konulmuştur.



Şekil 3.3. Deneme Toprağının Hazırlanması

3.2.3. Tohum Ekiminin Yapılması

28 Nisan 2017 tarihinde elenerek 10 kg hacminde saksılara konulan toprağa 5 adet tohum (her saksıya ayrı ayrı) ekimi kontrollü sera ortamında yapılmıştır. Çıkıştan sonra zayıf olan fideler seyreltilip güçlü olan tek bir sorgum fidesi bırakılmıştır (Şekil 3.4).

Gübreleme; (20 kg N ve 10 kg P_2O_5) kullanılan toprak miktarına göre hesaplanarak tartılıp uygulanmıştır.

Bitkiler 20-25 cm boylanana kadar herhangi bir ağır metal uygulaması yapılmayıp tarla kapasitesine göre sulama (içme/şebeke suyu) yapılmıştır. Hastalık ve zararlı kontrolü yapılmıştır.



Şekil 3.4. Sorgum Fidelerinin Seyreltilmesi

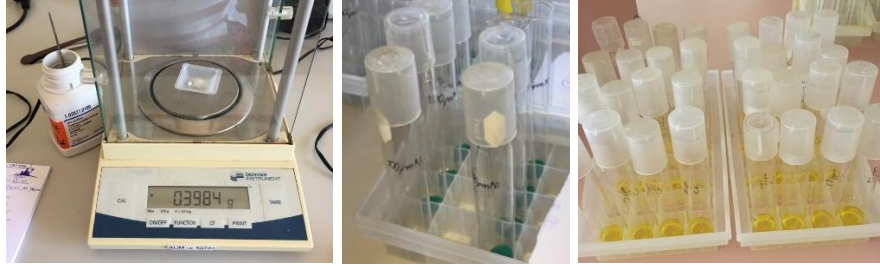
3.2.4. Ağır Metal Dozları ve Uygulamanın Yapılması

Deneme için belirlenen elementler (ağır metaller) ve dozlar Tablo 3.2'deki gibidir.

Tablo 3.2. Denemede Kullanılan Elementler ve Dozları

Cd (kadmiyum) ppm	Cr (krom) ppm	Ni (nikel) ppm
0	0	0
25	50	100
50	100	200
75	200	300
100	300	400
125	400	500

Her bir çeşit için bu dozlar 3 tekrarlamalı olarak ppm hesabına göre hesaplanmış tartımları yapılmış (Şekil 3.5) ve 100 ml suda çözündürülerek uygulanmıştır. Hesaplama ppm; kullanılan toprağın hacmine göre belirlenmiştir. Uygulamadan sonraki hasat zamanına kadar olan tüm sulamalar içme suyu kalitesindeki su ile tarla kapasitesine göre yapılmış ve ağır metal yıkanması önlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 3.5. Ağır Metal Tartımlarının Yapılması ve Çözündürülmesi

3.2.5. Hasat

10 Eylül 2017 tarihinde bitkilerin hasadı el ile yapılmıştır. Bitkinin yaprakları, gövdesi, salkımları ayrılarak ölçümlere ve analizlere hazır hale getirilmiştir.

Ayrıca bitki köklerindeki ağır metal konsantrasyonunun belirlenmesi için bitki kökleri de analiz için hazırlanmıştır.

Bitki köklerinin hasadı; bitkinin toprak üstü organları budama makası ile saksıdan ayrıldıktan sonra Şekil 3.6'da görüldüğü gibi içerisinde bitkinin köklerinin ve toprağın bulunduğu saksı büyük plastik bir leğene dökülerek içinden tüm kök ve parçaları alınmış ve köklerin yıkaması Şekil 3.7'de görüldüğü gibi yapılmıştır. Kökler alındıktan sonra geriye kalan toprak leğende homojen bir şekilde karıştırılmış ve daha sonra yaklaşık 1-2 kg ağırlığında analiz için toprak örneği alınmıştır.



Şekil 3.6. Bitki Köklerinin Yıkamaya Hazır Hale Getirilmesi



Şekil 3.7. Köklerin Toprakdan Ayrılıp Yıkınması

3.2.6. Serada Bitkiler Hasat Olgunluğuna Geldikten Sonra Uygulanan Morfolojik Ölçümler

3.2.6.1. Bitki Boyu (cm): Saksıdaki bitkinin toprakla olan temasının bittiği yerden en uç noktasına kadar olan kısım cm olarak ölçülerek belirlenmiştir.

3.2.6.2. Bitki Çapı (mm): Bitkinin gövdesinin birinci boğumu ile ikinci boğumu arasında kalan kısım kumpas ile mm olarak ölçülerek bitki çapı belirlenmiştir.

3.2.6.3. Salkım Uzunluğu (cm): Saksıda yer alan bitkinin ana salkımın en alt noktasından en uç noktasına kadar olan uzunluğu ölçülerek belirlenmiştir.

3.2.6.4. 1000 Tane Ağırlığı (g): Taneler dört defa 100'er adet ayrı ayrı sayılmış ve tartılmış daha sonra ortalaması alınmış ve 10 ile çarpılmıştır.

3.2.6.5. Yeşil Sap Oranı (%): Bitkinin sap ağırlığı, yaprak ağırlığı ve salkımlarının ağırlıkları toplanmış, bu toplam ağırlığa sap ağırlığı oranlanarak %sap oranı elde edilmiştir.

3.2.6.6. Yaprak Oranı (%): Bitkinin sap ağırlığı, yaprak ağırlığı ve salkımlarının ağırlıkları toplanmış, bu toplam ağırlığa yaprak ağırlığı oranlanarak %yaprak oranı elde edilmiştir.

3.2.6.7. Salkım oranı (%): Bitkinin sap ağırlığı, yaprak ağırlığı ve salkımlarının ağırlıkları toplanmış, bu toplam ağırlığa salkım ağırlığı oranlanarak %salkım oranı elde edilmiştir.

3.2.7. Yem Kalite Analizleri

Sorgum taneleri salkımlardan ayrılmış ve daha sonra Şekil 3.8’de görüldüğü gibi el değirmeninde öğütülmüş (her örnekten sonra değirmen alkol ile temizlenmiştir) ve analizlere hazır hale getirilmiştir. Yem kalite analizleri bitkilerin taneleri için yapılmıştır.



Şekil 3.8. Sorgum Tanelerinin Öğütme İçin Hazırlanması

3.2.7.1. Ham Protein Oranı (%): Örneklerin, azot (N) miktarlarının belirlenmesinde Kjeldahl metodundan yararlanılmıştır. Azot oranı 6,25 ile çarpılarak ham protein oranı hesaplanmıştır (AOAC, 1990).

Ham Protein analizi

Öğütülmüş tane örnekleri derişik H_2SO_4 (sülfürik asit) kullanılarak kapsadığı azot (N) önce $(NH_4)_2SO_4$ (amonyum sülfat) sonrada NH_3 (amonyak) dönüştürülerek titre edilmiş ve NH_3 ’deki N miktarına denk ham protein oranı hesaplanmıştır.

Kimyasallar

1. %98’lik H_2SO_4 (azot içermeyen)
2. %40’lık NaOH (azot içermeyen)
3. % 2-4 konsantrasyona sahip borik asit (H_3BO_3)
4. Katalizör tablet (3,5 g K_2SO_4 , 0,0035 g Se)
5. İndikatör (Methyl red, Bromocresol green)
6. 0,1 N HCL

Analiz üç aşamada gerçekleşmiştir;

1. Yaş yakma: 0,200 g öğütülmüş tane örneği kjedahl tüpüne konulduktan sonra tüpe 1 adet katalizör tablet ve 10 ml H_2SO_4 eklenmiştir. Tüpler önce 150-200 °C’de 45-60 dakika ön ısıtma yapıldıktan sonra 350-400 °C’de 60-70 dakika yakma yapılmıştır.
2. Destilasyon: Erlenmayerlere 25 ml %4’lük borik asit ve kjedahl tüplerine ise 50 ml saf su konulmuştur. Kjedahl tüpüne 5-6 saniye NaOH gelecek şekilde ve destilasyon ünitesi 360 saniye olarak ayarladıktan sonra destilasyon çalıştırılmıştır. Tüp içerisindeki sıvı lavaboya dökülmüş ve erlenmayer ise titrasyon için kullanılmıştır.
3. Titrasyon: Destilasyon kısmından alınan erlenmayerler otomatik büret sistemiyle HCL ile destile edilmiş ve açık pembe renk alıncaya kadar titrasyona devam edilmiştir. Harcanan HCL miktarı okunarak kaydedilmiştir.

Rakamlar analiz formülünde uygun yerlere yazılarak örnekteki % protein belirlenmiştir.

$$\% \text{ Protein} = (K) * (V) * (N) * (fHCL) * (100) / (M) * (1000) * (fp)$$

K: Azotun atom ağırlığı (14,007)

V: Kullanılan HCl (ml)

N: 0,1 (HCl’nin normalitesi)

fHCL: 0,1 N HCl’in faktörü

fp: Proteine çevirme faktörü (6,25)

M: Tartılan örnek miktarı

3.2.7.2. ADF (Asit Deterjanda Çözünmeyen Lif) (%): Örneklerdeki selüloz ve ligninin toplam miktarları Ankom Technology (Ankom 220 fiber sistem)'nin ADF analiz ünitesi ile belirlenmiştir. Öğütülmüş örnekler, F57'lere (keselerine) 0,5 gr tartılıp hot seilor ile kapatılmıştır, ankomda 60 dakika ADF solüsyonuyla işlem görmüş ve sonra 5'er dakika, 3 kez (2 defa sıcak su- 1 kez soğuk su) saf suyla yıkama işlemi yapılmıştır. Keseler 3-5 dakika asetonda bekletilmiş ve daha sonra 105 °C'de 4-5 saat etüvde bekletilmiştir. Daha sonra tartılarak asit deterjan lif oranı belirlenmiştir (Van Soest vd. 1991).

3.2.7.3. NDF (Nötr Deterjanda Çözünmeyen Lif) (%): Örneklerdeki hemiselüloz, selüloz ve ligninin toplam miktarları Ankom Technology (Ankom 220 fiber sistem)'nin NDF analiz ünitesi ile belirlenmiştir. Öğütülmüş örnekler, F57'lere (keselerine) 0,5 gr tartılıp hot seilor ile kapatılmıştır, ankomda 75 dakika NDF solüsyonuyla işlem görmüş ve sonra 5'er dakika, 3 kez (2 defa sıcak su; suda 4 ml alfa amilaz enzimi kullanılmış ve 1 defa soğuk su) saf suyla yıkama işlemi yapılmıştır. Keseler 3-5 dakika asetonda bekletilmiş ve daha sonra 105 °C'de 4-5 saat etüvde bekletilmiştir. Daha sonra tartılarak nötral deterjan lif oranı belirlenmiştir (Van Soest vd. 1991).

3.2.7.4. Sindirilebilir Kuru Madde (SKM) (%): Belirlenen ADF yardımı ile sindirilebilir kuru madde (SKM) hesaplamasında aşağıdaki formül kullanılmıştır;

$$SKM = 88,9 - (0,779 \times \% ADF)$$
 (Morrison 2003).

3.2.7.5. Kuru Madde Tüketimi (KMT) (%): Belirlenen NDF yardımı ile kuru madde tüketimi (KMT) hesaplamasında aşağıdaki formül kullanılmıştır; $KMT = 120 / \% NDF$ (Morrison 2003).

3.2.7.6. Nispi Yem Değeri (NYD): Bu değer yemin değerlendirmesinde kaba yemin sahip olduğu ADF ve NDF durumuna ve kaba yemin hayvanlar tarafından tüketimi ile elde edeceği enerji değerinin tahmininde kullanılan bir indekstir (Rohweder vd. 1978). Üreticiler ve satın alanlar fiyatlandırmada NYD indeksini kullanmaktadırlar. Bu indeks (NYD indeksi) tam çiçeklenmedeki yoncanın (kuru otun) sahip olduğu %41 ADF ve %53 NDF değerinden belirlenen 100 indeksini baz alır. NYD'nin hesaplanmasında ADF ve NDF değerlerine ihtiyaç duyulur ve protein değeri kullanılmaz, ama yine de yüksek NYD'nin genellikle yüksek protein değeri ile ilgili olduğu kabul edilir.

Nispi yem değerinin hesaplanması; $NYD = (SKM \times KMT) / 1,29$ şeklindedir (Morrison 2003).

3.2.7.7. Ham Yağ Oranı (%)

2-5 g örnek (A) hassas terazide tartılmış, kartuş içerisine konulmuş ve kartuşun ağzı ekstraksiyon süresince örnek dışarı taşmayacak şekilde pamukla kapatılmıştır. Kartuşlar ve cam kaplar 95 °C'de 2 saat etüve atılmıştır. Etüvden alınan materyaller desikatöre alınmış ve sonra cam kapların hassas terazi de daraları alınmıştır (D). Çözücü olarak eter kullanılmıştır. Cihazın çalışması bittiğinde ekstraksiyon kısmındaki eter alınarak içerisinde yağ bulunan cam kaplar etüve atılmıştır. 95 °C'de 1 saat bekletildikten sonra desikatöre alınarak soğutulmuştur. Desikatörden sonra hassas terazi ile tartımı yapılmıştır (A₁). Gerekli hesaplamalardan sonra örneklerin yüzde ham yağ içeriği bulunmuştur (AOAC 1990).

$$\% \text{ Ham Yağ} = (A_1 - D) / A \times 100$$

3.2.7.8. Kondense Tanen Oranı (%): 0,01 g örnek tartılmış, hacimsel olarak uygun bir tüp içine konulmuştur. 6 ml tanen çözeltisi (100 ml tanen çözeltisi için: 5 ml HCl, 95 ml N Bütanol ve 0,05 g demir Sülfat (FeSO₄7H₂O)) ilave edilmiştir. Kör numune için boş tüplere de tanen çözeltisi eklenmiştir. Bütün tüpler 1 saat boyunca içerisinde su olan beher içerisinde kaynatılmıştır. Kaynama sona erdiğinde örneklerden 3 ml alınmış ve 550 nm dalga boyunda spektrofotometrede örneklerin okuması yapılmıştır. Örnek konulmadan yapılan okumalar kör değer okuması olarak belirlenmiştir. Okunan değerler formülde yerine konulmuş ve hesaplama yapılmıştır.

$$\text{Tanen (\%)} = \frac{0,584 \times (\text{Okuma Değeri} - \text{Kör Okuma})}{\text{Örnek Miktarı}} \times 0,1$$

3.2.8. Bitkilerde Ağır Metal Analizlerinin Yapılması

3.2.8.1. Mikrodalgada Toplam Yakma İşlemi

Bitki örnekleri Şekil 3.9’da görüldüğü gibi kurutulup öğütüldükten sonra 0,5 g ağırlığında tartılmıştır. CEM-MARS 6 mikrodalga cihazına ait vessellara aktarılmış ve üzerine 10 ml kral suyu (kral suyu: 1 HNO₃: 3 HCl) eklenmiştir. Cihazda toplam yakma işlemi için gerekli ayarlamalar (power: 1030- 1800 W; güç (%): 100; çözünme süresi: 20- 25 dakika; basınç: 180 psi; sıcaklık 200 °C; bekleme süresi (hold time): 30 dakika) yapılmıştır (Şekil 3.10). Daha sonra gerekli seyreltme ve süzme işlemi yapılmış örnekler ICP-MS cihazında okumaya hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.9. Bitki Örneklerinin Toplam Yakma İşlemine Hazırlanması



Şekil 3.10. Toplam Yakma İşleminin Yapılması

3.2.8.2. ICP- MS ile Cd, Cr ve Ni Belirlemesi

Çalışmadan elde edilen solüsyonların element içerikleri ICP-MS cihazında belirlenmiştir (Şekil 3.11). Elde edilen okuma değerleri ppb olarak verildiği için ppm düzeyine çevirisi yapılmış gerekli formüller kullanılarak bitki dokularının içerdiği Cd, Cr ve Ni değerleri ppm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.11. ICP- MS Cihazında Element Değerlerinin Okunması

Bitkide toplam Cd, Cr, Ni, $\text{mg kg}^{-1} = I_t \times F$

I_t =tanık çözeltisine göre düzenlenmiş bitki çözeltisine ait ICP-MS okuma değeri (standart kurveden bulunan)

F= seyreltme kat sayısı/ örnek miktarı

3.2.9. Toprak Örnekleri İçin Alınabilir Cd, Cr ve Ni Belirlenmesi

Toprakta bulunan elementler; toplam olarak ve bitki tarafından alınabilir olarak bulunabilir. Çalışmada belirlenmesi gereken ağır metal uygulamaları yapıldıktan sonra toprağın alınabilir durumda ne kadar element içerdiğidir. Bu yüzden hasat sonrası alınan toprak örneklerinde toplam değil bitkiler tarafından alınabilir element tayini yapılmıştır. Bu tayin için DTPA yöntemi kullanılmıştır.

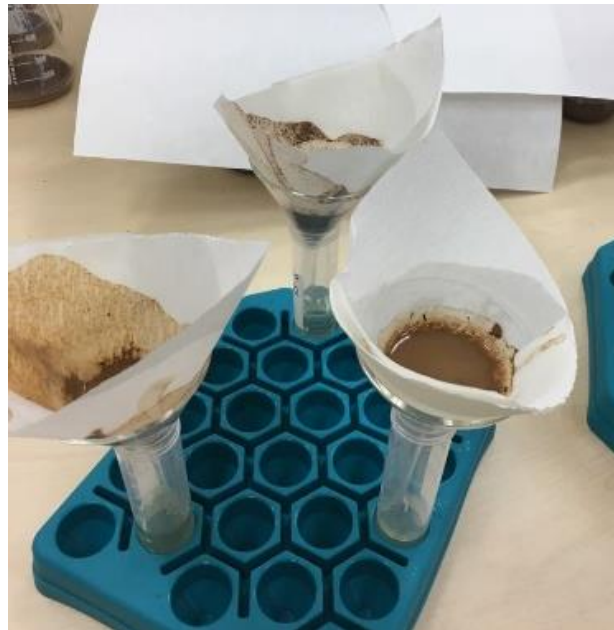
DTPA (dietilen triamin pentaasetik asit) yönteminde 20 g toprak örneği 2 mm'lik çapa sahip elekten geçirilmiş ve 250 ml'lik hacme sahip erlenmayere aktarılmıştır (Şekil 3.12). Örneklerin üzerine 40 ml DTPA çözeltisi eklenmiş ve 176 cycles/min'de oda sıcaklığında 2 saat çalkalama işlemine tabi tutulmuştur. Çalkalama bittikten sonra örnekler Şekil

3.13’de görüldüğü gibi filtre kağıdı (Watman-42) ile süzölmüş ve okumaya hazır hale getirilmiştir (Lindsay ve Norvell 1978).

Okuma işlemi, yine ICP-MS cihazı kullanılarak yapılmış ve okuma değeri formölde yerine konularak ppm hesabı ile sonuçlar belirlenmiştir.



Şekil 3.12. Toprak Örneklerinin Elenmesi ve DTPA Yöntemiyle Analiz İçin Hazırlanması



Şekil 3.13. DTPA Yöntemi İle Çalkalama İşleminin Sonra Örneklerin Süzölmesi

3.2.10. İstatistiksel Analiz

Her ağır metalde incelenen özelliklere ait veriler, ayrı ayrı bölünmüş parseller deneme desenine uygun olarak varyans analizine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar LSD testi ile karşılaştırılmıştır (SAS 1999).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Kadmiyum (Cd) Elementine Ait İncelenen Özellikler

4.1.1. Bitki Boyu (cm)

Farklı Cd dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin bitki boylarına ait varyans analizi sonuçları Tablo 4.1’de verilmiştir. Cd dozları, çeşitlere ve doz x çeşit interaksyonuna ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.2’de ve değişim grafiği Şekil 4.1’de verilmiştir. Cd dozlarının, bitki boyları varyans analiz sonuçlarına göre çeşit ve doz çok önemli ($p<0,01$) iken çeşit x doz interaksyonu önemli ($p<0,05$) bulunmuştur.

Tablo 4.1. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bitki Boylarına Ait Varyans Analiz Sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	50,001	25,001
Çeşit	2	2094,675	1047,338**
Hata-1	4	28,100	7,025
Doz	5	1284,880	256,976**
Çeşit*Doz	10	425,177	42,518*
Hata-2	30	518,660	17,289
Genel	53	4401,494	
R ²	0,882	DK	%4,799

**: $P<0,01$, *: $P<0,05$ SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R²: Belirtme katsayısı.

Tane sorgum çeşitlerinde Cd stresi altında bitki boyları 77,83-91,35 cm arasında değişmiştir. Uygulanan bu stres sonucunda, en yüksek bitki boyunun Beydarı çeşidinde, en küçük bitki boyunun ise Öğretmenoğlu çeşidinde ortaya çıktığı görülmüştür. Akdarı çeşidi en yüksek ikinci bitki boyuna sahip olup Beydarı çeşidi ile aynı ortalama grubunda yer almıştır. Öğretmenoğlu çeşidi ise en küçük bitki boyuna sahip olarak ikinci ortalama grubunu oluşturmuştur.

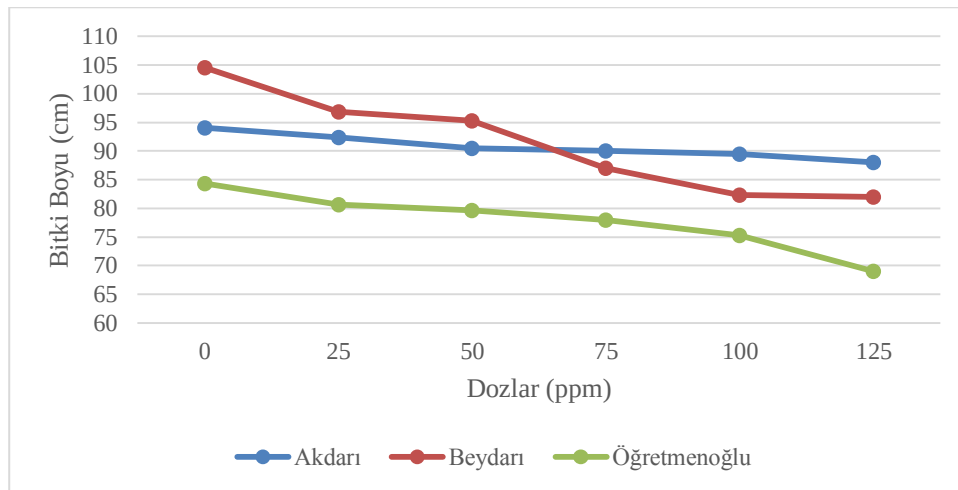
Cd doz artışının bitki boylarında azalmalara neden olduğu görülmektedir. En düşük bitki boyu (79,67 cm) 75, 100, 125 ppm Cd uygulamasından elde edilirken, en yüksek bitki boyu (94,32 cm) kontrol grubu bitkilerinden elde edilmiştir.

Cd uygulamasında en yüksek bitki boyu Akdarı, Beydarı ve Öğretmenoğlu çeşitlerinin kontrol grubundan elde edilirken, en küçük bitki boyunun tüm çeşitlerde en yüksek Cd dozu olan 125 ppm uygulamasından elde edildiği görülmüştür.

Tablo 4.2. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bitki Boylarına (cm) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	94,00±6,08 B-D*	104,61±3,07 A	84,33±5,69 F-I	94,32 a**
25	92,37±2,03 B-E	96,80±2,03 B	80,67±1,15 H-J	89,94 ab
50	90,50±0,50 B-F	95,33±3,21 BC	79,67±4,16 IJ	88,50 b
75	90,00±2,65 C-F	87±30 E-H	78±3,46 IJ	85,00 bc
100	89,47±3,23 C-F	82,33±4,04 G-I	75,33±6,66 JK	82,38 c
125	88±1,73 D-G	82,00±4G-I	69,00±80 JK	79,67 c
Ortalama	90,72 a**	91,35 a	77,83 b	

** : %1, * : %5 önemli. Büyük harfler interaksiyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.1. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bitki Boylarına (cm) Etkisine Ait Değişim Grafiği

Cd uygulamasının bitki boyu gelişimini negatif yönde etkilediği anlaşılmaktadır. Wang vd. (2017) sorgum bitkisine farklı dozlarda (0-3-15 ppm) Cd uyguladıkları çalışmada bitki boyunun %27,6-28,5 oranında azaldığını bildirmişlerdir. Zhang vd. (2002) Cd'yi 0-1 ppm dozlarında buğday fidelerine uygulamış ve $0,3 \text{ mg kg}^{-1}$ üzerindeki Cd miktarının bitki büyümesini inhibe ettiğini bildirmişlerdir. Cd'nin büyümeyi engellediği ve dolayısıyla bitki boyu gelişimi üzerinde yaptığı olumsuz etki açısından bu çalışma, yapılan çalışmalarla paralellik göstermektedir.

4.1.2. Bitki Gövde Çapı (mm)

Farklı Cd dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin gövde çaplarına ait varyans analizi sonuçları Tablo 4.3'te verilmiştir. Cd dozları, çeşitlere ve doz x çeşit interaksiyonuna ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.4'te ve değişim grafiği Şekil 4.2'de verilmiştir. Cd dozlarının bitki gövde çapları varyans analiz sonuçlarına göre çeşit ve doz çok önemli ($p<0,01$) iken çeşit x doz interaksiyonu önemsiz bulunmuştur.

Tablo 4.3. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bitki Gövde Çaplarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	1,148	0,574
Çeşit	2	35,863	17,932**
Hata-1	4	4,778	1,195
Doz	5	42,509	8,502**
Çeşit*Doz	10	4,676	0,468
Hata-2	30	38,167	1,272
Genel	53	127,142	
R^2	0,700	DK	%10,796

** $P<0,01$, SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R^2 : Belirtme katsayısı.

Tane sorgum çeşitlerinin Cd stresine karşı ortalama bitki gövde çaplarının 9,34 mm ile 11,28 mm arasında değiştiği ve en kalın gövde çapının Öğretmenoğlu çeşidinde ve en ince gövde çapının ise Akdarı çeşidinde tespit edilmiştir.

Cd dozlarının artması ile ters orantılı olarak gövde çaplarının azaldığı belirlenmiştir. Ortalamada en ince gövde çapı (9,21 mm) 125 ppm Cd uygulamasından elde edilirken, en

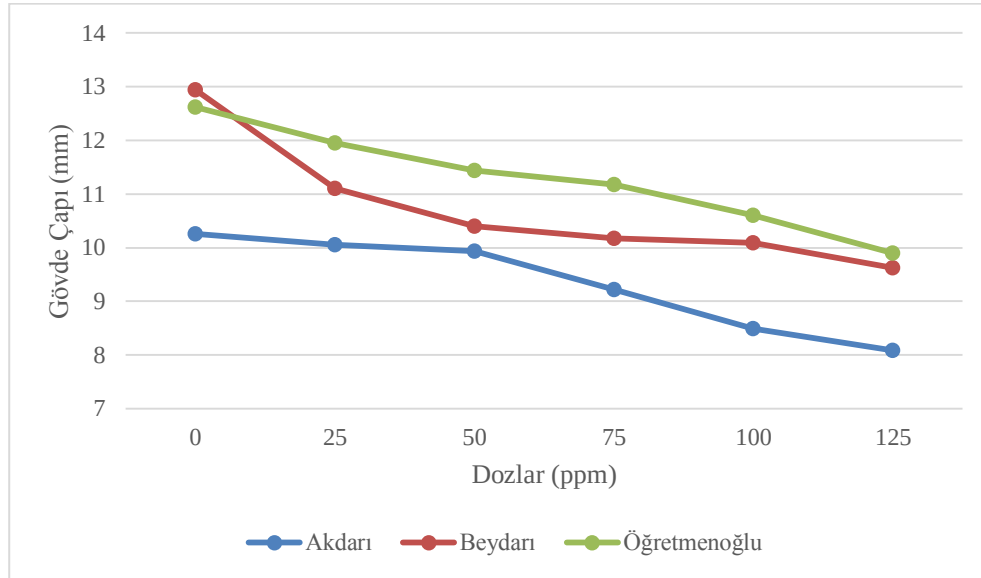
kalın gövde çapı (11,94 mm) kontrol grubu bitkilerinden elde edilmiştir. Cd dozlarının artması bitkilerin gövde kalınlıklarını olumsuz etkilemiştir.

Çeşit x doz interaksyonuna bakıldığında ise bitki gövde çapı değerleri 8,09-12,94 mm arasında değiştiği görülmüştür.

Tablo 4.4. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bitki Gövde Çaplarına (mm) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	10,26±0,97	12,94±0,58	12,62±2,32	11,94 a**
25	10,06±0,65	11,1±0,95	11,95±2,11	11,04 ab
50	9,93±0,57	10,4±1,42	11,44±0,76	10,59 abc
75	9,22±0,45	10,17±1,41	11,18±0,94	10,19 bc
100	8,49±0,02	10,09±1,06	10,6±0,25	9,73 bc
125	8,09±1,10	9,63±0,18	9,9±1,09	9,21 c
Ortalama	9,34 b**	10,82 ab	11,28 a	

** : %1; * : %5 önemli. Küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.2. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bitki Gövde Çaplarına (mm) Etkisine Ait Değişim Grafiği

Öktüren Asri ve Sönmez (2006), toprakta Cd miktarının artması ile birlikte bitkinin klorofil metabolizmasının bozulduğunu ve azot kullanımında görevli olan NO_2^- redüktaz ile NO_3^- redüktaz enzimlerinin etkilerini azaltarak bitkinin azot kullanımını olumsuz etkilediğini belirtmişlerdir. Benzer durum gövde çapının gelişmesine olumsuz etkide bulunmuş olabilir. Ağır metal stresinin devam etmesi ile hasar kök bölgesinden bitkinin gövdesine doğru ilerlemekte ve gövde gelişimini olumsuz etkilemektedir (Barceló ve Poschenrieder 1990). Bu çalışmada da Cd dozlarının artmasıyla bitki gövde çapı gelişme gösterememiş ve muhtemelen bu durumun bitkilerin Cd varlığından dolayı azot kullanımının sınırlanmasından ve köklerde başlayan ve gövdeye doğru ilerleyen fizyolojik aksaklıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.1.3. Salkım Uzunluğu (cm)

Farklı Cd dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin salkım uzunluklarına ait varyans analizi sonuçları Tablo 4.5'te verilmiştir. Cd dozları, çeşitlere ve doz x çeşit interaksyonuna ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.6'da ve değişim grafiği Şekil 4.3'te verilmiştir. Cd dozlarının salkım uzunluğu varyans analiz sonuçlarına göre çeşit ve doz çok önemli ($p<0,01$) iken çeşit x doz interaksyonu önemsiz bulunmuştur.

Tablo 4.5. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Salkım Uzunluklarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	1,048	0,524
Çeşit	2	66,082	33,041**
Hata-1	4	2,789	0,697
Doz	5	56,428	11,286**
Çeşit*Doz	10	20,421	2,042
Hata-2	30	36,666	1,222
Genel	53	183,434	
R^2	0,800	DK	%6,571

** $P<0,01$, * $P<0,05$ SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R^2 : Belirtme katsayısı.

Çeşitlerin salkım uzunlukları 15,27 cm ile 17,75 cm arasında değişiklik göstermiş ve en yüksek salkım uzunluğu Beydarı ve Öğretmenoğlu çeşitlerinde bulunurken, en kısa uzunluğunu Akdarı çeşidinin salkımları oluşturmuştur.

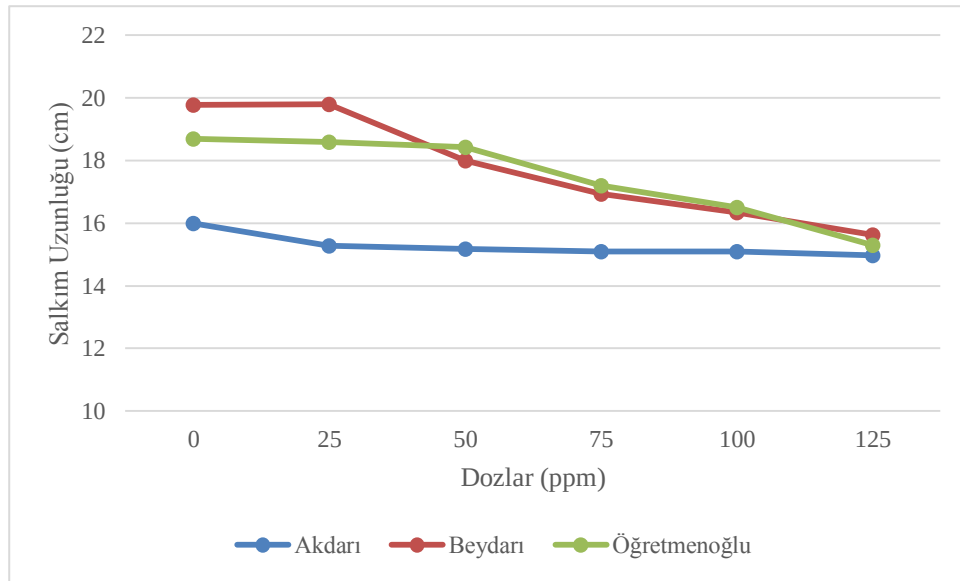
Cd dozlarının artmasının salkım uzunluklarına ters yönde bir etkide bulunduğu ve salkım uzunluklarını azalttığı açıkça görülmektedir. En yüksek uzunluk (18,16 cm) kontrol bitkilerinden elde edilirken, en düşük salkım uzunluğu (15,30 cm) 125 ppm Cd uygulamasından elde edilmiştir.

Çeşit x doz interaksiyonuna baktığımızda, salkım uzunluğu değerleri 14,97-19,8 cm arasında değişim göstermiştir.

Tablo 4.6. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Salkım Uzunluklarına (cm) Etkisine Ait Ortalama Tablosu

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	16,00±1,00	19,78±0,69	18,7±0,89	18,16 a**
25	15,28±1,42	19,8±1,06	18,6±0,4	17,89 a
50	15,17±0,97	18,00±0,00	18,43±1,4	17,20 ab
75	15,1±0,46	16,93±0,83	17,2±1,31	16,41 bc
100	15,1±1,01	16,35±1,25	16,5±1,32	15,98 bc
125	14,97±1,42	15,63±1,42	15,3±0,89	15,30 c
Ortalama	15,27 b**	17,75 a	17,46 a	

** %1, * %5 önemli. Küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.3. Tane Sorgum Çeşitlerinin Salkım Uzunluklarına (cm) Ait Değişim Grafiği

Dozların artmasına ters orantılı olarak salkım uzunlukları azalmıştır. Kullanılan çeşitler tane sorgum oldukları ve asıl unsurun salkım ve verim olduğu düşünüldüğünde salkım uzunluğu parametresinin önemi artmaktadır. Gür vd. (2004) ağır metallerin bitki dokularında yoğun olarak birikmesinin bitkilerin vejetatif ve generatif gelişimini olumsuz etkilediğini bildirirken, Long vd. (2002) bu birikimin ürün ve verim değerlerine negatif yönde etki ettiğini belirtmişlerdir.

4.1.4. Bin Tane Ağırlığı (g)

Farklı Cd dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin bin tane ağırlıklarına ait varyans analizi sonuçları Tablo 4.7’de verilmiştir. Cd dozları, çeşitlere ve doz x çeşit interaksyonuna ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.8’de ve değişim grafiği Şekil 4.4’te verilmiştir. Cd dozlarının bin tane ağırlığı varyans analiz sonuçlarına göre çeşit ve doz çok önemli ($p<0,01$) iken, çeşit x doz interaksyonu önemli ($p<0,05$) bulunmuştur.

Tablo 4.7. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bin Tane Ağırlıklarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	3,723	1,862
Çeşit	2	340,139	170,070**
Hata-1	4	36,831	9,208
Doz	5	707,489	141,498**
Çeşit*Doz	10	48,120	4,812*
Hata-2	30	62,792	2,093
Genel	53	1199,094	
R ²	0,948	DK	%7,048

** $p<0,01$, * $p<0,05$ SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R²: Belirtme katsayısı.

Çeşitlerin, bin tane ağırlıkları 17,15 g ile 23,17 g arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek bin tane ağırlığı Beydarı çeşidinde iken, en düşük bin tane ağırlığı Akdarı çeşidinde belirlenmiştir.

Cd dozlarının artmasıyla birlikte bitkilerin bin tane ağırlıkları negatif etkilenecek azalma göstermiştir. En yüksek bin tane ağırlığı (24,59 g) 0 ppm Cd/kontrol uygulamasından

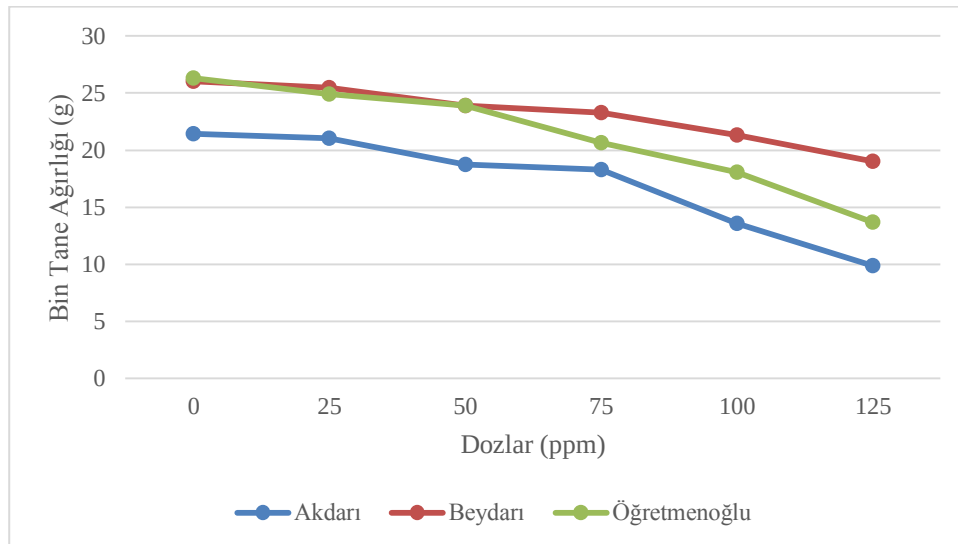
elde edilirken, en düşük bin tane ağırlığı (14,18 g) 125 ppm Cd uygulamasından elde edilmiştir. Cd doz artışı bin tane ağırlığını olumsuz etkilemiştir.

Çeşit x doz interaksyonuna baktığımızda, en yüksek bin tane ağırlığı Beydarı ve Öğretmenoğlu çeşitlerinin, kontrol ve 25 ppm Cd uygulamasından elde edilirken, en düşük bin tane ağırlığı Akdarı çeşidinin 125 ppm Cd uygulamasından elde edilmiştir.

Tablo 4.8. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bin Tane Ağırlıklarına (g) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	21,41±1,95 D-G*	26,03±1,08 A-C	26,32±2,07 AB	24,59 a**
25	21,03±2,31 D-J	25,47±1,35 A-C	24,93±3,43 A-C	23,81 ab
50	18,76±1,44 H-K	23,92±2,41 A-D	23,88±1,61 C-E	22,19 bc
75	18,28±1,32 IK	23,3±1,14 B-F	20,63±0,47 F-I	20,74 c
100	13,57±1,72 E-I	21,3±0,61 L	18,1±0,95 JK	17,66 d
125	9,87±1,69 M	19±1,37 G-K	13,67±0,91 L	14,18 e
Ortalama	17,15 b**	23,17 a	21,26 ab	

** %1, * %5 önemli. Büyük harfler interaksyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.4. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bin Tane Ağırlıklarına (g) Etkisine Ait Değişim Grafiği

Khan vd. (2006) 0, 25, 50 ve 100 mg kg⁻¹ Cd uyguladıkları 5 farklı buğday çeşidinde bin tane ağırlığının en yüksek doz olan 100 mg kg⁻¹ Cd seviyesinde en az olduğunu, Cd uygulamasının bin tane ağırlığını olumsuz etkilediğini bildirmişlerdir. Bu sonuç bu çalışma ile paralellik göstermektedir. Ayrıca fotosentezin de tüm fizyolojik gelişme ve unsurların temeli olduğu düşünüldüğünde; Prasad (2005) ağır metallerin fotosentez üzerinde inhibe edici etki gösterdiğini, terleme ve CO₂ fiksasyonunu bozduğunu bildirmiştir. Aynı şekilde bu çalışmada da fotosentez olumsuz etkilenmiş ve Cd stresi bin tane ağırlığını (tane gelişimi ve verimini) negatif yönde etkilemiş olabilir.

4.1.5. Gövde Oranı (%)

Farklı Cd dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin gövde oranlarına ait varyans analizi sonuçları Tablo 4.9’da verilmiştir. Cd dozları, çeşitlere ve doz x çeşit interaksiyonuna ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.10’da ve değişim grafiği Şekil 4.5’te verilmiştir. Cd dozlarının gövde oranları varyans analiz sonuçlarına göre çeşit ve doz çok önemli (p<0,01) iken, çeşit x doz interaksiyonu önemli (p<0,05) bulunmuştur.

Tablo 4.9. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövde Oranlarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	38,133	19,066
Çeşit	2	318,345	159,173**
Hata-1	4	33,785	8,446
Doz	5	519,256	103,851**
Çeşit*Doz	10	181,781	18,178*
Hata-2	30	210,974	7,032
Genel	53	1302,275	
R ²	0,838	DK	%4,854

** : P<0,01, * : P<0,05 SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R²: Belirtme katsayısı.

Çeşitlerin, gövde oranları %51,38 ile %57,21 arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek gövde oranı (%57,21) Beydarı çeşidinde iken, en düşük gövde oranı (%51,38) Akdarı çeşidinde belirlenmiştir.

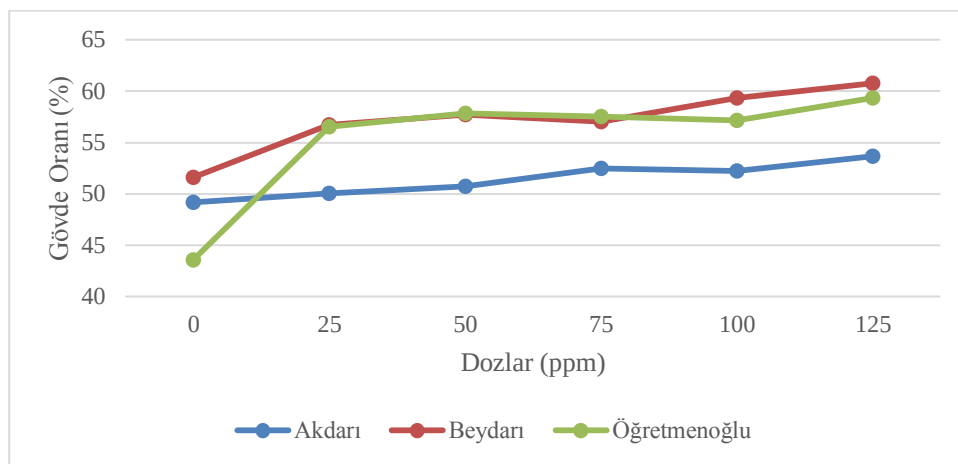
Cd dozlarının artmasına paralel olarak gövde oranları da artış göstermiştir. En yüksek gövde oranı (%57,94) 125 ppm Cd uygulamasından elde edilirken, en düşük gövde oranı (%48,12) kontrol bitkilerinden elde edilmiştir.

Çeşit x doz interaksyonuna baktığımızda, en yüksek gövde oranı Beydarı çeşidinin 100 ve 125 ppm Cd uygulamaları ile Öğretmenoğlu çeşidinin 125 ppm Cd uygulamasından elde edilmiştir. En düşük gövde oranı 0 ppm Cd/kontrol uygulamasında Öğretmenoğlu çeşidinden elde edilmiştir.

Tablo 4.10. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövde Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	49,17±0,73 F*	51,61±0,72 EF	43,57±2,13 G	48,12 c**
25	50,05±4,05 EF	56,75±3,47 A-C	56,51±3,39 A-D	54,44 b
50	50,7±1,42 EF	57,72±5,97 AB	57,82±2,46 AB	55,41 ab
75	52,45±2,96 C-F	57,03±3,46 AB	57,51±1,29 AB	55,66 ab
100	52,23±2,26 D-F	59,33±1,42 A	57,14±1,33 AB	56,23 ab
125	53,66±1,3 B-E	60,8±1,6 A	59,37±4,09 A	57,94 a
Ortalama	51,38 b**	57,21 a	55,32 ab	

** %1, * %5 önemli. Büyük harfler interaksyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.5. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövde Oranlarına (%) Etkisine Ait Değişim Grafiği

Cd stresinin bitkinin gövde oranını arttırmasına neden olduğu görülmüştür. Cherney vd. (1990) bitkilerin morfolojik yapısı ve bitkinin tamamı içindeki morfolojik organların oranının; bitkinin besin içeriğini ve yem olarak tüketilebilirliğini etkilediğini bildirmişlerdir. Bu çalışmadaki tane sorgum çeşitlerinin Cd stresi kaynaklı taneye dair parametreleri (tane verimi, bin tane ağırlığı, salkım oranı ve salkım uzunluğunu) azalttığı sonucuna göre, bitki kısımlarının tüm bitkiye olan oranında salkım oranının azalması doğal olarak gövde oranını arttırmış olabildiği ihtimali düşünülmüştür.

4.1.6. Yaprak Oranı (%)

Farklı Cd dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin yaprak oranlarına ait varyans analizi sonuçları Tablo 4.11’de verilmiştir. Cd dozları, çeşitlere ve doz x çeşit interaksyonuna ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.12’de ve değişim grafiği Şekil 4.6’da verilmiştir. Cd dozlarının, yaprak oranları varyans analiz sonuçlarına göre çeşit önemli ($p<0,05$) iken, doz ve doz x çeşit interaksyonu önemsiz bulunmuştur.

Tablo 4.11. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yaprak Oranlarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	23,706	11,853
Çeşit	2	15,998	7,999*
Hata-1	4	12,498	3,125
Doz	5	20,398	4,080
Çeşit*Doz	10	48,123	4,812
Hata-2	30	67,493	2,250
Genel	53	188,217	
R ²	0,641	DK	%7,566

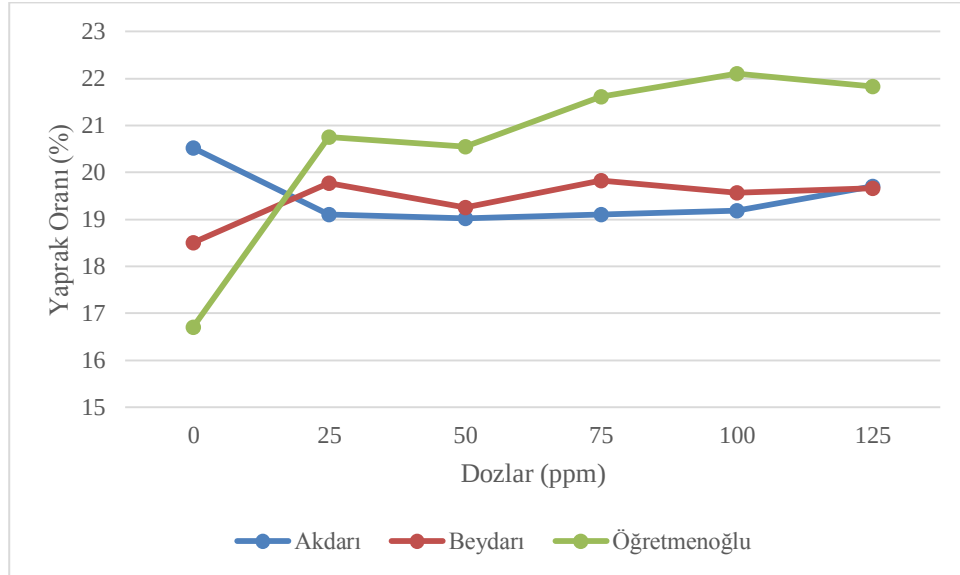
**: $P<0,01$, *: $P<0,05$ SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R²: Belirtme katsayısı.

Çeşitlere ait yaprak oranları ortalamaları %19,43 ile %20,59 arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek yaprak oranı Öğretmenoğlu çeşidinde belirlenirken, en düşük yaprak oranı Beydarı ve Akdarı çeşitlerinde belirlenmiştir. Cd dozlarına ait bitkinin yaprak oranı %18,58 ile %20,4 arasında değişiklik göstermiştir. Çeşit x doz interaksyonuna bakıldığında ise yaprak oranları %16,71-%22,11 arasında değişim göstermiştir.

Tablo 4.12. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yaprak Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	20,52±0,69	18,51±0,95	16,71±1,01	18,58
25	19,11±2,42	19,78±1,64	20,75±1,78	19,88
50	19,03±3,09	19,25±2,11	20,55±0,95	19,61
75	19,1±1,03	19,83±0,3	21,61±0,37	20,18
100	19,19±0,57	19,57±0,73	22,11±0,71	20,29
125	19,71±2,58	19,66±1,56	21,83±3,34	20,40
Ortalama	19,45 b*	19,43 b	20,59 a	

** %1, * %5 önemli. Küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.6. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yaprak Oranlarına (%) Etkisine Ait Değişim Grafiği

Doz artışına bağlı olarak yaprak oranlarında önemli bir değişim gözlenmemesi; Skórzynska-Pilot ve Baszynski (1997) yaptıkları bir çalışmada Cd yoğunluğunda genç bitkilerde fotosentetik aktivitenin neredeyse değişmediğini belirtmeleriyle ifade edilebilir. Ancak çeşitlerin kendi içerisinde dozların artmasına karşılık; yaprak oranında düzenli bir artış, azalış ya da değişim göstermemesi doz ve bitki arasındaki fizyolojik değişim sebebi ve seviyesi ile ilgili olabilir. Çünkü yapılan çalışmalarda Cd'nin olumlu ve olumsuz etkilerinin olabileceği sunulmuştur. Elementin çeşit ve yoğunluğuna bağlı olarak yaprak

alanının küçülmesi, klorofil kaybı gözlemlenebilmektedir (Benavides vd. 2005; Lombardi ve Sebastiani 2005). Zhang vd. (2002) ise düşük dozlarda Cd'nin büyüme üzerine olumlu bir etkisinin olduğunu söylemişlerdir.

4.1.7. Salkım Oranı (%)

Farklı Cd dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin salkım oranlarına ait varyans analizi sonuçları Tablo 4.13'te verilmiştir. Cd dozları, çeşitlere ve doz x çeşit interaksyonuna ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.14'te ve değişim grafiği Şekil 4.7'de verilmiştir. Cd dozlarının, çeşitlerin salkım oranına etkisinin varyans analiz sonuçlarına göre doz, çeşit ve doz x çeşit interaksyonu çok önemli ($p < 0,01$) bulunmuştur.

Tablo 4.13. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Salkım Oranlarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	1,920	0,960
Çeşit	2	361,544	180,772**
Hata-1	4	24,560	6,140
Doz	5	736,591	147,318**
Çeşit*Doz	10	392,855	39,285**
Hata-2	30	131,853	4,395
Genel	53	1649,322	
R ²	0,920	DK	%8,209

** : $P < 0,01$, SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R²: Belirtme katsayısı.

Çeşitlerin salkım oranları %23,36 ile %29,18 arasında değişiklik göstermiş ve en yüksek salkım oranı birinci ortalama grubunu oluşturan Akdarı çeşidinden elde edilmiştir. En düşük salkım oranı ise Öğretmenoğlu çeşidi ile aynı ortalama grubunda yer alan Beydarı çeşidinden elde edilmiştir.

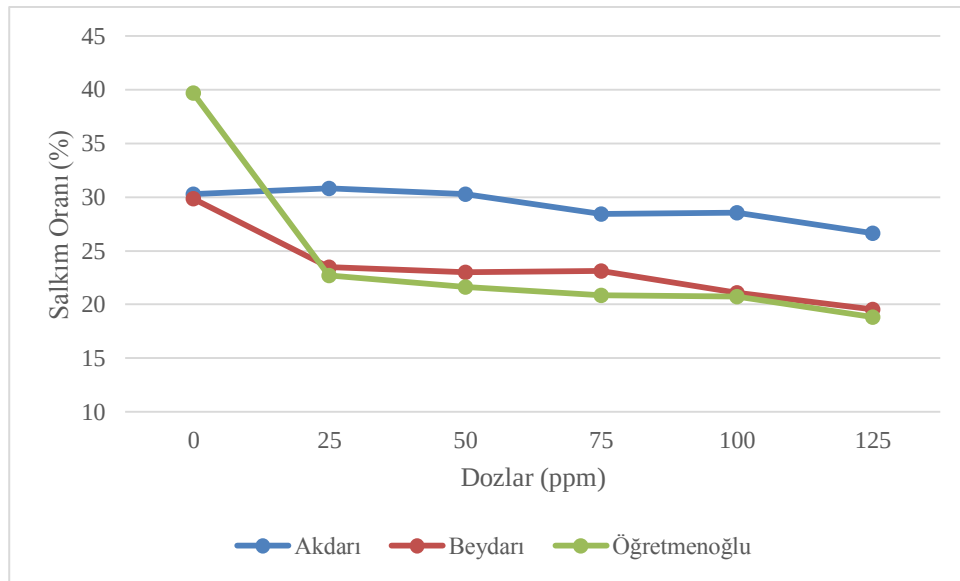
Cd dozlarının bitkilerin salkım oranlarına etkisi incelendiğinde, doz artışına ters orantılı olarak bitkilerin salkım oranı azalış göstermiş ve en düşük salkım oranı (%21,66) 125 ppm Cd uygulamasından elde edilirken, en yüksek salkım oranı (%33,30) 0 ppm Cd uygulamasından elde edilmiştir.

Çeşit x doz interaksiyonuna baktığımızda, en yüksek salkım oranı Öğretmenoğlu çeşidinin kontrol grubundan elde edilirken, en düşük salkım oranı ise aynı çeşidin 125 ppm uygulamasından elde edilmiştir.

Tablo 4.14. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Salkım Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	30,31±1,40 B**	29,87±1,24 BC	39,72±1,44 A	33,30 a**
25	30,84±2,43 B	23,48±1,99 DE	22,74±1,72 EF	25,68 b
50	30,26±1,93 B	23,02±4,01 D-F	21,63±1,52 E-G	24,97 b
75	28,44±3,99 BC	23,14±3,16 DE	20,89±1,06 E-G	24,16 bc
100	28,58±1,7 BC	21,11±0,86 E-G	20,75±2 E-G	23,48 bc
125	26,63±1,53 CD	19,54±1,01 FG	18,81±0,81 G	21,66 c
Ortalama	29,18 a**	23,36 b	24,09 b	

** %1 önemli. Büyük harfler interaksiyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.7. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Salkım (%) Oranlarına Etkisine Ait Değişim Grafiği

Cd stresi tane sorgum çeşitlerinin salkım oranlarını olumsuz yönde etkilemiş ve stresin artmasıyla birlikte bitkilerin salkım oranları azalma göstermiştir. Kara (2016) tane verimi ile fizyolojik özellikler (fotosentez hızı, stoma iletkenliği vb.) arasında pozitif ilişkilerin

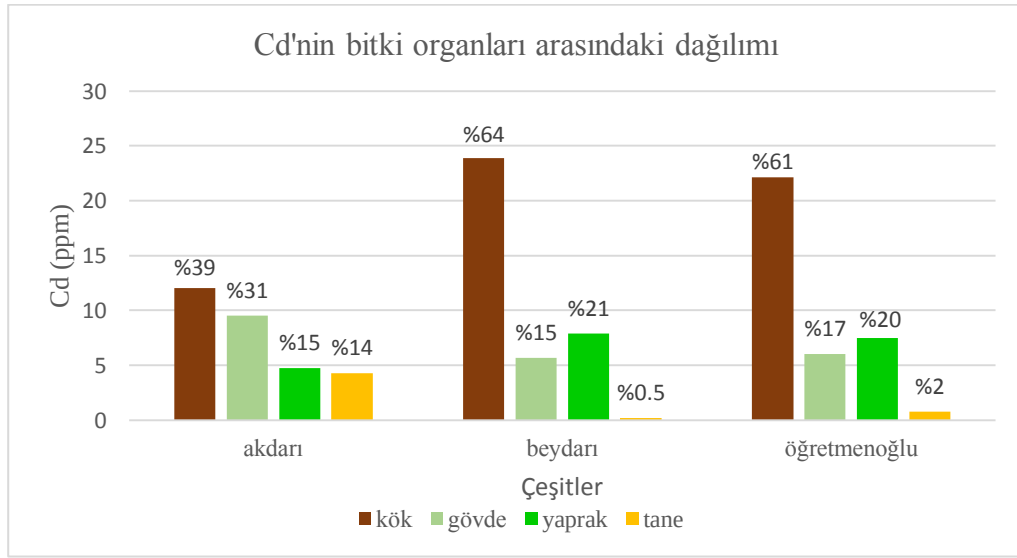
var olduğunu bildirmiştir. Kennedy ve Gonsalves (1987) ise ağır metallerin toksite gösterdiği bitkilerde meydana gelen fizyolojik problemler arasında; fotosentez, enzim aktivitesi, değişen stoma mobilitésinin sayılabileceğini belirtmişlerdir. Çalışmamızda Cd ağır metalinin yarattığı stresten kaynaklı bu fizyolojik özelliklerde aksamalar meydana gelmiş ve salkım oranını olumsuz etkilemiş olabildiği ihtimali vardır.

4.1.8. Kadmiyumun (Cd) Bitki Organları Arasındaki Dağılımı

Kadmiyum elementinin tane sorgum çeşitlerinin, bitkinin organlarındaki birikimine ait değişim grafiği Şekil 4.8’de verilmiştir. Grafik çeşitlerin tüm uygulanan dozlardaki ortalamasından elde edilen verilerle oluşturulmuştur. Yüzdelik (%) oranlar ise toprakta kalan Cd miktarından bağımsız olarak tane sorgum çeşidinin aldığı, tüm dozlardaki toplam ortalama değerler üzerinden hesaplanmıştır.

Şekil 4.8’e baktığımızda Akdarı çeşidinde en yüksek Cd birikimi bitkinin kök bölgesinde olmuş ve bunu sıra ile gövde yaprak ve tane izlemiştir. Beydarı ve Öğretmenoğlu çeşitlerinde birbirlerine benzer eğilim gözlemlenmiştir ve en yüksek birikim bitkinin kök bölgesinde olmuş, bunu ikinci sırada yapraklar izlemiş ve en az taşınım bitkini tanelerine olmuştur.

Buradaki en önemli husus Cd’yi bitkinin tanelerine taşıyıp taşıyamamasıdır; çalışmamızda kullanılan çeşitlerimizde Akdarı çeşidinde taneye Cd taşınımı neredeyse diğer iki çeşidin beş katı fazla miktarda gerçekleştirdiği görülmüştür.



Şekil 4.8. Kadmiyumun (Cd) Tane Sorgum Çeşitlerinin Morfolojik Organları Arasındaki Dağılımı

4.1.9. Kökte Birikim (ppm)

Farklı Cd dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin kök bölgesindeki Cd miktarlarına ait varyans analizi sonucu Tablo 4.15'te verilmiştir. Cd dozlarının kök bölgesinde bulunan Cd miktarları varyans analiz sonuçlarına göre doz, çeşit ve çeşit x doz interaksyonu çok önemli ($p < 0,01$) bulunmuştur. Cd dozları, çeşitlere ve çeşit x doz interaksyonuna ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.16'da ve değişim grafiği Şekil 4.9'da verilmiştir.

Tablo 4.15. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Kök Bölgelerindeki Cd Miktarlarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	1,549	0,775
Çeşit	2	1469,859	734,930**
Hata-1	4	11,567	2,892
Doz	5	9094,502	1818,900**
Çeşit*Doz	10	2074,975	207,497**
Hata-2	30	77,178	2,573
Genel	53	12729,630	
R ²	0,994	DK	%8,287

** : $P < 0,01$, SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R²: Belirtme katsayısı.

Tane sorgum çeşitlerinin köklerinde biriktirdikleri Cd miktarlarına bakıldığında en yüksek Cd birikimini Beydarı (23,90 ppm) ve Öğretmenoğlu (22,12 ppm) gösterirken, en düşük Cd birikimini Akdarı çeşidi (12,05 ppm) göstermiştir. Bu iki çeşit 2 farklı ortalama grubu oluşturmuştur. Öğretmenoğlu çeşidi ise köklerinde Cd birikim miktarı olarak Beydarı çeşidini ikinci sırada izlemiştir (22,12 ppm).

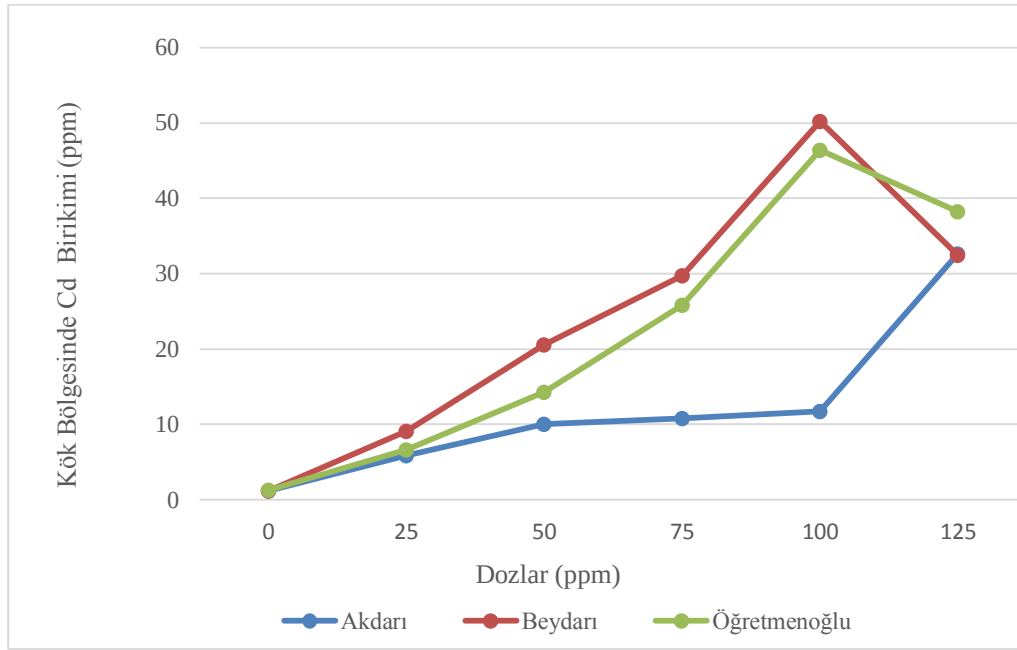
Cd dozlarının artışı ile birlikte kök bölgesinde de Cd miktarı artışı gözlemlenmiştir. En yüksek Cd miktarı 100 ppm Cd uygulamasında görülürken, bu uygulama ile aynı ortalama grubunda yer alan 125 ppm Cd uygulaması en yüksek ikinci birikim miktarını oluşturmuştur. Kök bölgesinde en düşük Cd birikimi 0 ppm Cd/kontrol uygulamasından elde edilmiştir.

Çeşit x doz interaksiyonuna baktığımızda ise kök bölgesinde en yüksek Cd birikimi Beydarı çeşidinin 100 ppm Cd uygulamasından elde edilirken, en düşük Cd birikimi Akdarı ve Beydarı çeşitlerinin 0 ppm Cd/kontrol uygulamalarından elde edilmiştir.

Tablo 4.16. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Kök Bölgelerindeki Cd Miktarlarına (ppm) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	1,25±0,35 L**	1,25±0,15 L	1,26±0,20 L	1,25 e**
25	5,89±0,57 K	9,13±0,98 IJ	6,66±0,20 JK	7,23 d
50	10±1,05 I	20,57±1,26 G	14,31±0,33 H	14,96 c
75	10,78±0,40 I	29,78±0,57 E	25,84±0,21 F	22,13 b
100	11,78±2,1 HI	50,2±5,08 A	46,43±2,72 B	36,14 a
125	32,59±0,87 D	32,48±1,29 D	38,2±0,49 C	34,42 a
Ortalama	12,05 b**	23,90 a	22,12 a	

** %1 önemli. Büyük harfler interaksiyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.9. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Kök Bölgelerindeki Cd Miktarlarına (ppm) Etkisine Ait Değişim Grafiği

Roy vd. (2016) sorgum bitkisinde Cd stresi uyguladıkları çalışmada doz artışıyla birlikte bitki köklerindeki Cd konsantrasyonunun arttığını belirtmişlerdir ve bu durum çalışmamızda da artan dozların köklerde de artan Cd konsantrasyonuna sebep olması ile paralellik göstermiştir. Ayrıca çalışmamızda en yüksek Cd birikimi bitkinin tüm organlarında ölçülmüş ve tüm çeşitlerde bitki kök bölgesinde en yüksek birikime rastlanılmıştır. Bu sonuçlar yapılan birçok çalışma ile paralellik göstermektedir; Jia vd. (2016) kadmiyumun sorgum bitkisinde meydana getirdiği değişiklikleri incelediği çalışmada, Cd'nin fide ve olgun bitkide en yüksek oranda köklerde biriktiğini, Lijbben ve Sauerbeck (1991) buğday bitkisinde yaptıkları çalışmada Cd yoğunluğunun en çok bitki köklerinde meydana geldiğini ve bunu sap, kabuk ve tanenin izlediğini, Malan ve Farrant (1998) soya fasulyesinde yaptıkları çalışmada Cd birikiminin en çok köklerde yoğunlaştığını bildirmişlerdir.

4.1.10. Gövdede Birikim (ppm)

Farklı Cd dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin gövdelerinde biriken Cd miktarlarına ait varyans analizi sonucu Tablo 4.17'de verilmiştir. Cd dozlarının gövdede biriken Cd miktarları varyans analiz sonuçlarına göre doz, çeşit ve doz x çeşit etkisi çok

önemli ($p<0,01$) bulunmuştur. Cd dozları, çeşitlere ve doz x çeşit interaksyonuna ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.18’de ve değişim grafiği Şekil 4.10’da verilmiştir.

Tablo 4.17. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövdelerinde Biriken Cd Miktarlarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	3,1649	1,582
Çeşit	2	162,819	81,409**
Hata-1	4	9,081	2,270
Doz	5	350,747	70,149**
Çeşit*Doz	10	83,479	8,348**
Hata-2	30	13,089	0,436
Genel	53	622,381	
R ²	0,980	DK	%9,310

** $P<0,01$, SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R²: Belirtme katsayısı.

Tane sorgum çeşitlerinin gövdelerinde biriktirdikleri Cd miktarlarına bakıldığında en yüksek birikimi Akdarı çeşidi (9,55 ppm) gösterirken, en düşük birikimi Beydarı (5,7 ppm) ve Öğretmenoğlu çeşitleri göstermiş ve bu iki çeşit iki farklı ortalama grubunu oluşturmuştur.

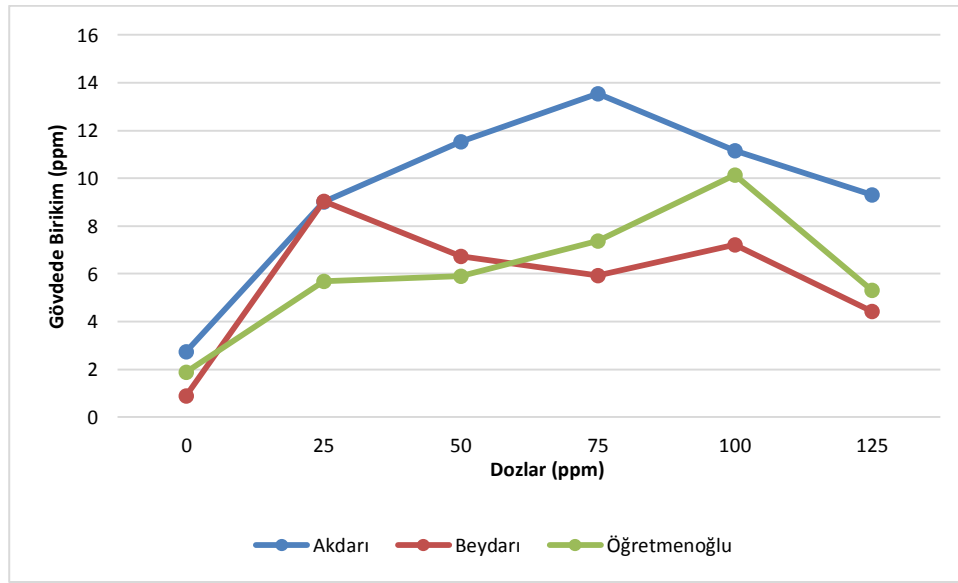
Cd dozlarının artması ile birlikte gövdede biriken Cd miktarı da 100 ppm Cd uygulamasına kadar artış göstermekle beraber 125 ppm Cd uygulamasında tekrar azalış göstermiştir. En yüksek Cd birikimi 100 ppm uygulamasında (9,5 ppm) elde edilirken en düşük Cd birikimi 0 ppm Cd/kontrol uygulamasından elde edilmiştir. 75 ve 100 ppm uygulamaları aynı ortalama grubunu oluştururken diğer tüm dozlar farklı ortalama gruplarını oluşturmuştur.

Çeşit x doz interaksyonuna bakıldığında ise gövdede en yüksek Cd birikimini (13,53 ppm) 75 ppm uygulamasında Akdarı çeşidi verirken, en düşük birikimi (0,89 ppm) kontrol grubunda Beydarı çeşidi vermiştir.

Tablo 4.18. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövdelerinde Biriken Cd Miktarlarına (ppm) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	2,75±1,06 I**	0,89±0,09 J	1,88±1,27 IJ	1,84 d**
25	9±1,05 C	9,03±0,59 C	5,68±1,11 GH	7,9 b
50	11,53±1,85 B	6,74±0,15 D-G	5,89±0,08 F-H	8,06 b
75	13,53±0,8 A	5,93±0,55 EG	7,38±0,66 DE	8,94 a
100	11,16±0,24 B	7,22±0,24 DF	10,13±1,48 BC	9,5 a
125	9,31±0,11 C	4,42±0,11 H	5,31±0,3 GH	6,35 c
Ortalama	9,55 a**	5,70 b	6,05 b	

** %1 * %5 önemli. Büyük harfler interaksiyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.10. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövdelerinde Biriken Cd Miktarlarına (ppm) Etkisine Ait Değişim Grafiği

Çalışmamızda kullandığımız tüm tane sorgum çeşitlerinde bitki gövdesinde, tanede biriken Cd miktarından daha fazla Cd birikimi olmuştur, elde ettiğimiz sonuçlar; Kabata-Pendias (2011)'ın belirttiği mısır bitkisinde Cd uygulamasında bitki gövdesinin taneden daha fazla Cd içermesi sonucu ve Lijbben ve Sauerbeck (1991) buğday bitkisinde yaptıkları çalışmada bitki gövdesinin bitkinin tanelerinden daha yüksek konsantrasyonda Cd içermesi sonuçları ile uyum içerisindedir.

4.1.11. Yaprakta Birikim (ppm)

Farklı Cd dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin yaprağında biriken Cd miktarlarına ait varyans analizi sonucu Tablo 4.19'da verilmiştir. Cd dozlarının yapraklarda biriken Cd miktarları varyans analiz sonuçlarına göre doz, çeşit ve doz x çeşit etkisi çok önemli ($p<0,01$) bulunmuştur. Cd dozları, çeşitlere ve doz x çeşit etkisine ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.20'de ve değişim grafiği Şekil 4.11'de verilmiştir.

Tablo 4.19. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yapraklarında Biriken Cd Miktarlarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	3,401	1,700
Çeşit	2	102,830	51,415**
Hata-1	4	7,698	1,925
Doz	5	128,955	25,791**
Çeşit*Doz	10	50,672	5,067**
Hata-2	30	38,359	1,279
Genel	53	331,915	
R ²	0,884	DK	%16,855

** : $P<0,01$, SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R²: Belirtme katsayısı.

Tane sorgum çeşitlerinin yapraklarında biriktirdikleri Cd miktarlarına bakıldığında en yüksek birikimi Beydarı çeşidi (7,87 ppm) gösterirken, en düşük birikimi Akdarı çeşidi (4,77 ppm) göstermiş ve bu iki çeşit iki farklı ortalama grubunu oluşturmuştur. Öğretmenoğlu çeşidi ise yapraklarında Cd biriktiren en yüksek ikinci çeşit (7,48 ppm) olarak Beydarı çeşidi ile aynı ortalama grubunda yer almıştır.

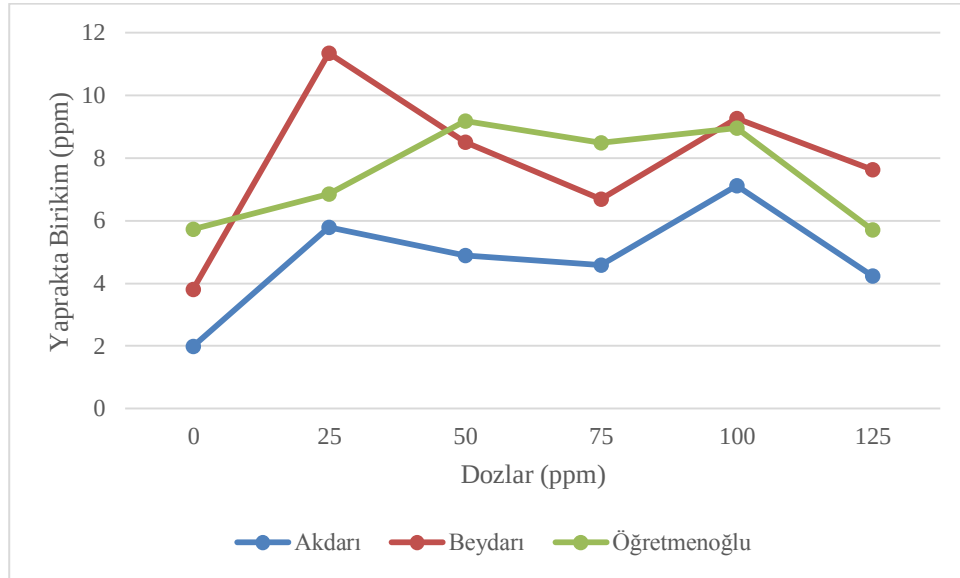
Cd dozlarının artması ile birlikte yapraklarda biriken Cd miktarında artış-azalış şeklinde değişim gözlemlenmiştir. En yüksek Cd birikimi 100 ppm uygulamasında (8,44 ppm) elde edilirken, en düşük Cd birikimi 0 ppm/kontrol uygulamasından elde edilmiştir. 25 ve 50 ppm uygulamaları aynı ortalama grubunu oluştururken, diğer tüm dozlar farklı ortalama gruplarını oluşturmuştur.

Çeşit x doz interaksiyonuna bakıldığında ise, yapraklarda en yüksek Cd birikimini (11,36 ppm) 25 ppm uygulamasında Beydarı çeşidi verirken, en düşük birikimi (1,99 ppm) Akdarı çeşidi 0 ppm Cd/kontrol uygulamasında vermiştir.

Tablo 4.20. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yapraklarında Biriken Cd Miktarlarına (ppm) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	1,99±0,44 I**	3,80±1,46 HI	5,73±0,93 E-H	3,84 d**
25	5,79±0,42 E-G	11,36±0,29 A	6,85±0,15 D-F	8,00 ab
50	4,9±0,22 F-H	8,5±0,5 B-D	9,18±0,71 B	7,53 ab
75	4,58±0,17 GH	6,68±0,33 D-F	8,48±0,42 B-D	6,58 bc
100	7,11±0,83 C-E	9,26±0,65 B	8,95±4,3 BC	8,44 a
125	4,24±0,21 GH	7,63±0,7 B-E	5,71±0,21 E-H	5,86 c
Ortalama	4,77 b**	7,87 a	7,48 a	

** : %1 önemli. Büyük harfler interaksiyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.11. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yapraklarında Biriken Cd Miktarlarına (ppm) Etkisine Ait Değişim Grafiği

Çalışmamızda kullandığımız tüm tane sorgum çeşitlerinde yapraklara Cd transferinin gerçekleştiği görülmüştür. Bu transfer Akdarı çeşidinde Cd içeriği bitki organlarında kök

> gövde > tane > yaprak şeklinde olsa da, Beydarı ve Öğretmenoğlu çeşitlerinde kök > yaprak > gövde > tane şeklinde gerçekleşmiştir. Soudek vd. (2014) sorgum bitkisine 6 farklı dozda Cd uyguladıkları çalışmada köklerden yapraklara kadmiyum taşınımının gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Wang vd. (2017) sorgum bitkisinin 100 günlük büyüme periyodunda uygulanan Cd elementini yapraklara taşıdığını bildirmişlerdir. Saidi vd. (2013) fasulye fidelerinin Cd stresi altında kökte yoğunlaşan Cd elementinin yapraklara transferinin gerçekleştiğini ifade etmişlerdir. Çalışmanın sonuçları yapılan bu çalışmalar ile uyum içerisindedir.

4.1.12. Tanede Birikim (ppm)

Farklı Cd dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin tanelerinde biriken Cd miktarlarına ait varyans analizi sonucu Tablo 4.21’de verilmiştir. Cd dozlarının tanede biriken Cd miktarları varyans analiz sonuçlarına göre doz, çeşit ve doz x çeşit interaksyonu çok önemli ($p<0,01$) bulunmuştur. Cd dozları, çeşitlere ve doz x çeşit interaksyonuna ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.22’de ve değişim grafiği Şekil 4.12’de verilmiştir.

Tablo 4.21. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Tanelerinde Biriken Cd Miktarlarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	0,121	0,061
Çeşit	2	178,881	89,440**
Hata-1	4	0,279	0,070
Doz	5	35,823	7,165**
Çeşit*Doz	10	76,546	7,655**
Hata-2	30	2,522	0,084
Genel	53	294,171	
R ²	0,991	DK	%16,569

** $p<0,01$, SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R²: Belirtme katsayısı.

Tane sorgum çeşitlerinin tanelerinde biriktirdikleri Cd miktarlarına bakıldığında en yüksek birikimi Akdarı çeşidi (4,97 ppm) gösterirken, en düşük birikimi Beydarı çeşidi (0,17 ppm) göstermiş ve bu iki çeşit iki farklı ortalama grubunu oluşturmuştur.

Öğretmenoğlu çeşidi ise tanelerinde Cd biriktiren en düşük ikinci çeşit (0,78 ppm) olarak üçüncü ortalama grubunu oluşturmuştur.

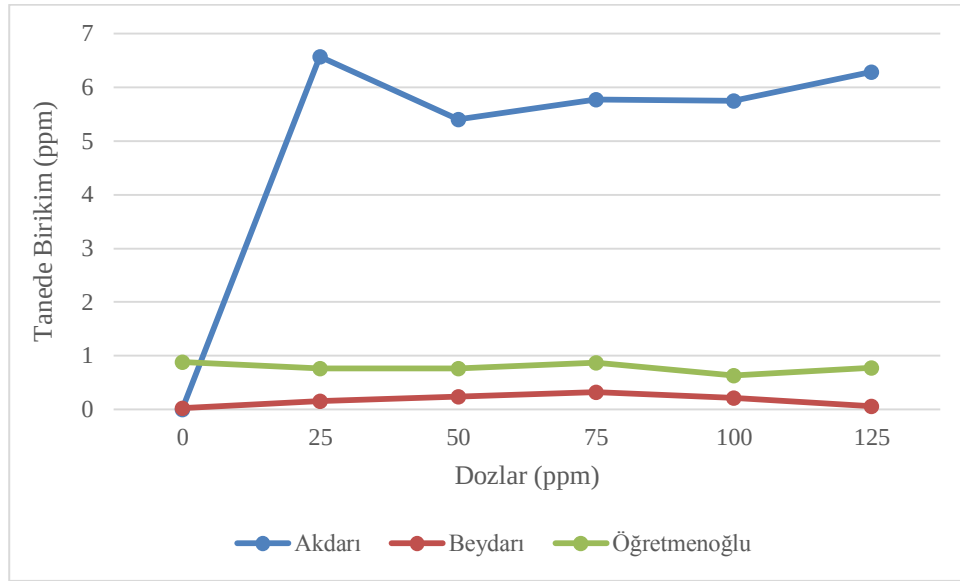
Cd dozlarının artması ile birlikte tanede biriken Cd miktarı da artış göstermekle beraber kontrol uygulaması dışında diğer tüm dozlarda aynı ortalama grubu oluşmuştur. En yüksek Cd birikimi tüm Cd uygulamalarından elde edilirken, en düşük Cd birikimi 0 ppm Cd/kontrol uygulamasından elde edilmiştir.

Çeşit x doz interaksiyonuna bakıldığında ise tanede en yüksek Cd birikimini (6,57 ppm) 25 ppm Cd uygulamasında Akdarı çeşidi verirken, en düşük birikimi (0,03 ppm) Beydarı çeşidi 0, 25. 125 ppm Cd uygulamasında vermiştir.

Tablo 4.22. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Tanelerinde Biriken Cd Miktarlarına (ppm) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	0,0±0,00 G**	0,03±0,01 G	0,88±0,23 D	0,30 b**
25	6,57±0,43 A	0,16±0,02 G	0,76±0,01 DE	2,50 a
50	5,41±0,39 B	0,24±0,02 FG	0,76±0,04 DE	2,14 a
75	5,77±0,17 B	0,32±0,06 EFG	0,87±0,16 D	2,32 a
100	5,75±0,81 B	0,22±0,02 FG	0,63±0,56 DEF	2,20 a
125	6,29±0,06 A	0,06±0,05 G	0,78±0,16 DE	2,38 a
Ortalama	4,97 a**	0,17 c	0,78 b	

** %1, * %5 önemli. Büyük harfler interaksiyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.12. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Tanelerinde Biriken Cd Miktarlarına (ppm) Etkisine Ait Değişim Grafiği

Tanede Cd birikimi açısından çalışmada kullanılan sorgum çeşitleri arasında büyük farklar belirlenmiştir. Akdarı çeşidi kök ve gövdesinden sonra en yüksek taşınımı tanelerine gerçekleştirmiştir. Beydarı ve Öğretmenoğlu çeşitleri ise çok az bir taşınım yapmışlardır. Akdarı çeşidi Beydarı ve Öğretmenoğlu çeşitlerine göre yaklaşık 5 kat daha fazla tanelerine Cd transferi gerçekleştirmiştir.

Taneye transfer açısından Beydarı ve Öğretmenoğlu çeşitlerinden elde edilen sonuçlar Lijbben ve Sauerbeck (1991) buğday bitkisinde taşınımın vejetatif organlarda daha fazla generatif organlarda daha az olduğunu bildirdikleri sonucuyla paralellik göstermektedir. Kabata-Pendias (2011) kadmiyumla kontamine olmuş topraklarda yetişen bitkilerde en yüksek Cd konsantrasyonlarının yoğunlaşma bölgesinin her zaman köklerde ve yapraklarda olmadığını yapılan çalışmalarda buğday taneleri ($14,2 \text{ mg kg}^{-1}$) ve kahverengi pirinç ($5,2 \text{ mg kg}^{-1}$) için bildirilen bu değerlerin tanedeki en yüksek Cd değerleri olduğunu ve bu bitkilerin kök ve yaprak dokularında biriken kadmiyum miktarlarının tanedeki birikimden daha az olduğunu belirtmiştir; bu sonuç ise çalışmada Akdarı çeşidinde gerçekleşen (yapraktan bile fazla olan Cd taşınımının) taneye yoğun bir transferin gerçekleşmesi sonucuyla paralellik göstermektedir.

4.1.13. Toprakta Birikim (ppm)

Farklı Cd dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin yetiştirildiği toprakta alınabilir durumdaki Cd miktarlarına ait varyans analizi sonucu Tablo 4.23'te verilmiştir. Cd dozlarının, çeşitlerin yetiştirildiği toprakta alınabilir durumda bulunan Cd miktarları varyans analiz sonuçlarına göre doz, çeşit ve doz x çeşit etkisi çok önemli ($p < 0,01$) bulunmuştur. Cd dozları, çeşitlere ve doz x çeşit etkisine ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.24'te ve değişim grafiği Şekil 4.13'te verilmiştir.

Tablo 4.23. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yetiştirildiği Toprakta Kalan Cd Miktarlarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	1,815	0,908
Çeşit	2	599,743	299,872**
Hata-1	4	2,481	0,620
Doz	5	11814,543	2362,909**
Çeşit*Doz	10	1186,070	118,607**
Hata-2	30	26,775	0,893
Genel	53	13631,427	
R ²	0,996	DK	%5,240

** : $P < 0,01$, SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R²: Belirtme katsayısı.

Çeşitlerin yetiştirildiği toprakta alınabilir durumda Cd olmasına rağmen bitkilerin almadığı ve toprakta kalan Cd miktarları 20,87 ppm ile 13,36 ppm arasında değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. En yüksek Cd miktarının (20,87 ppm) Beydarı çeşidinin yetiştirildiği toprakta bulunduğu, en düşük Cd miktarının (13,36 ppm) Öğretmenoğlu çeşidinin yetiştirildiği toprakta bulunduğu belirlenmiştir. Bu çeşidi 19,89 ppm ile Akdarı çeşidinin yetiştirildiği toprak izlemiştir. Bu iki çeşidin yetiştirildiği toprak birinci ortalama grubunu oluşturmuştur. Öğretmenoğlu çeşidinin yetiştirildiği toprakta ise en az Cd miktarı (13,36 ppm) belirlenmiştir. Toprakta kalan Cd miktarları göz önünde bulundurulduğu zaman topraktan en fazla Cd kaldıran çeşidin Öğretmenoğlu olduğu söylenebilir.

Cd dozlarının, toprakta kalan Cd miktarına etkisi incelendiğinde doz artışına paralel olarak toprakta kalan Cd miktarında düzenli artış göstermiş ve en düşük Cd miktarı (0,09

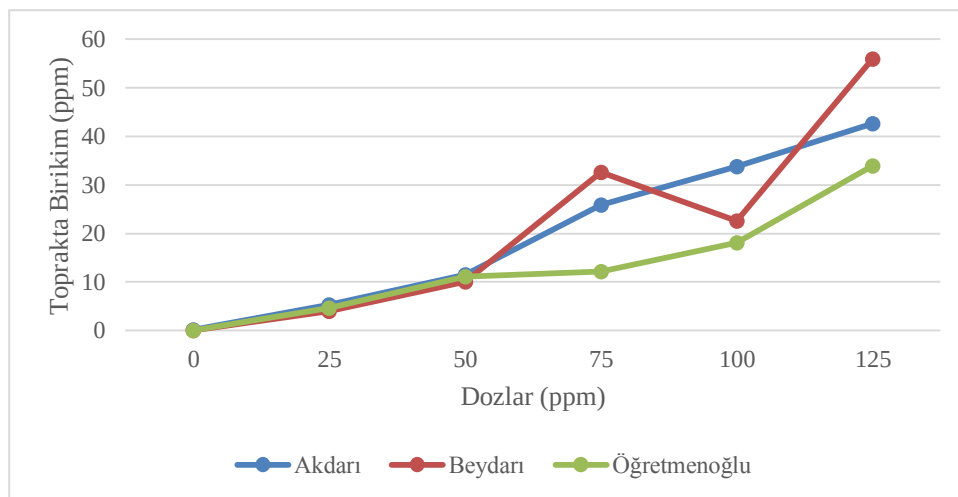
ppm) kontrol uygulamasından elde edilirken, en yüksek Cd miktarı (44,18 ppm) 125 ppm Cd uygulamasından elde edilmiştir. Cd dozlarının her birisi LSD testine göre ayrı ortalama grubunu oluşturmuştur.

Çeşit x doz interaksyonuna baktığımızda en yüksek Cd miktarını 125 ppm Cd uygulamasında Beydarı çeşidi (55,96 ppm) verirken, en düşük Cd birikimini (0,07 ppm) Öğretmenoğlu çeşidi 0 ppm Cd/kontrol uygulamasında vermiştir.

Tablo 4.24. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yetiştigi Toprakta Kalan Cd Miktarlarına (ppm) Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	0,12±0,01 J**	0,09±0,02 J	0,07±0,02 J	0,09 f**
25	5,28±0,79 I	3,94±0,25 I	4,67±0,42 I	4,63 e
50	11,56±1,09 GH	10,08±0,03 H	11,12±1,01 GH	10,92 d
75	25,89±1,42 D	32,58±0,67 C	12,23±0,11 G	23,57 c
100	33,86±1,47 C	22,53±0,24 E	18,08±0,93 F	24,83 b
125	42,62±2,25 B	55,96±1,18 A	33,96±0,69 C	44,18 a
Ortalama	19,89 a**	20,87 a	13,36 b	

** %1 önemli. Büyük harfler interaksiyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.13. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yetiştigi Toprakta Kalan Cd Miktarlarına (ppm) Ait Değişim Grafiği

Üç farklı tane sorgum çeşitlerinin yetiştikleri topraktan kaldırdıkları Cd miktarı/toprakta kalan Cd miktarı belirlenmiştir. Akdarı ve Beydarı çeşitleri yaklaşık aynı oranda Cd kaldırmışken, Öğretmenoğlu çeşidi bu çeşitlerden daha fazla Cd kaldırmıştır. Bu durum şu şekilde de ifade edilebilir; bitkiler 130 günlük büyüme periyodu sonunda hasat edildiklerinde toprakta kalan Cd miktarları belirlenmiş ve en az Cd Öğretmenoğlu çeşidinin yetiştği toprakta kalırken, Akdarı ve Beydarı çeşitlerinin yetiştikleri toprakta yaklaşık aynı miktarlarda ve Öğretmenoğlu çeşidinden daha fazla seviyede Cd kalmıştır. Çalışmamızda tane sorgum çeşitleri arasında topraktan kaldırdıkları Cd açısından farklılıklar belirlenmiştir. Adams vd. (2001) farklı buğday varyetelerinin Cd toleranslarını ölçmek için yaptıkları çalışmada Cd yoğunluğu bakımından varyeteler arasında fark olduğunu bildirmişlerdir. Aynı şekilde Zhang vd. (2002) Cd'nin etkisini incelemek amacıyla iki farklı buğday çeşidini farklı dozlarda Cd stresine maruz bırakmışlar ve çeşitlerden birinin diğerinden daha fazla Cd yoğunluğuna sahip olduğunu belirtmişlerdir; bahsedilen sonuçlar ile çalışmamızın sonuçları uyum içerisindedir.

4.1.14. Kondanse Tanen Oranı (%)

Farklı Cd dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin kondanse tanen oranlarına etkisine ait varyans analizi sonucu Tablo 4.25'te verilmiştir. Cd dozlarının, çeşitlerin tanen oranlarına etkisi varyans analiz sonuçlarına göre doz, çeşit ve doz x çeşit etkileşimi çok önemli ($p<0,01$) bulunmuştur. Cd dozları, çeşitlere ve doz x çeşit etkileşimine ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.26'da ve değişim grafiği Şekil 4.14'te verilmiştir.

Tablo 4.25. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Tanen Oranlarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	0,037	0,018
Çeşit	2	37,244	18,622**
Hata- 1	4	0,072	0,018
Doz	5	2,862	0,572**
Çeşit* Doz	10	9,995	0,999**
Hata-2	30	1,567	0,052
Genel	53	51,777	
R ²	0,970	DK	%18,067

** : $P<0,01$, SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R²: Belirtme katsayısı.

Tane sorgum çeşitlerinin kondanse tanen oranlarına (%) bakıldığında en yüksek oranı Öğretmenoğlu çeşidi (%2,0) gösterirken, en düşük oranı Akdarı çeşidi (%0,11) göstermiş ve Beydarı çeşidi ise en yüksek ikinci kondanse tanen oranıyla (%1,68) Öğretmenoğlu çeşidini takip etmiştir. Üç çeşit de üç farklı ortalama grubunu oluşturmuştur.

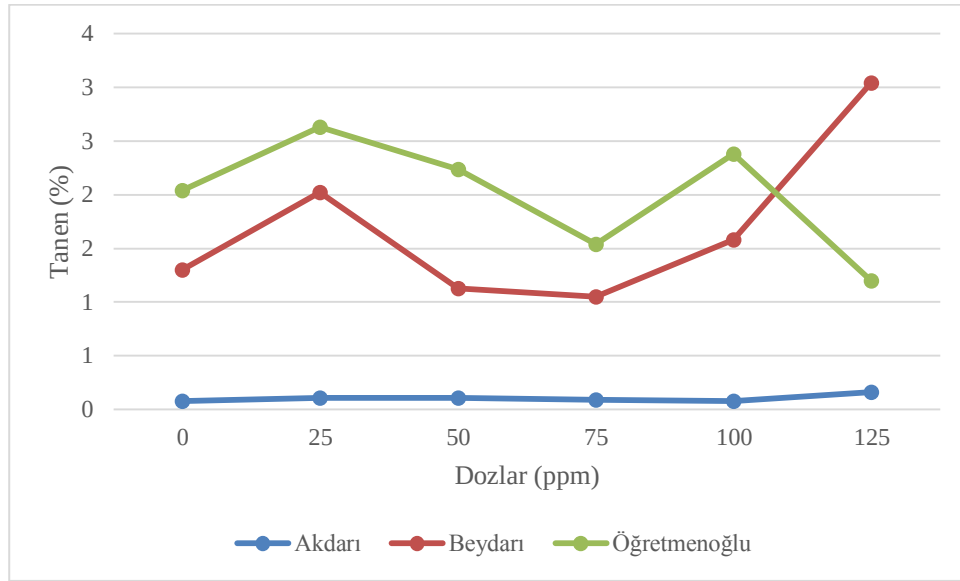
Cd dozlarının artması ile birlikte tanen oranları artış-azalış şeklinde bir değişim göstermiştir. En yüksek kondanse tanen oranını öncelikle 25 ppm Cd uygulaması oluştururken, 125 ppm Cd uygulamasından elde edilen kondanse tanen oranı en yüksek ikinci değere sahip olarak 25 ppm uygulaması ile aynı ortalama grubunda yer almıştır. En düşük kondanse tanen oranına (%0,89) 75 ppm Cd uygulamasında ulaşılmıştır ve bu uygulama tek başına farklı bir ortalama grubu oluşturmuştur.

Çeşit x doz interaksyonuna bakıldığında ise en yüksek kondanse tanen oranını (%3,04) 125 ppm uygulamasında Beydarı çeşidi verirken, en düşük oranı (%0,08) Akdarı çeşidinin tüm uygulamaları vermiştir.

Tablo 4.26. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Kondanse Tanen Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	0,08±0,00 H**	1,3±0,07 E-G	2,04±0,49 CD	1,14 bc**
25	0,11±0,02 H	2,02±0,08 D	2,63±0,37 B	1,59 a
50	0,11±0,01 H	1,13±0,13 G	2,24±0,25 CD	1,16 bc
75	0,09±0,01 H	1,05±0,07 G	1,54±0,22 EF	0,89 c
100	0,08±0,01 H	1,58±0,43 E	2,38±0,29 BC	1,35 ab
125	0,16±0,02 H	3,04±0,08 A	1,2±0,22 FG	1,47 a
Ortalama	0,11 c**	1,68 b	2,00 a	

** : %1, * : %5 önemli. Büyük harfler interaksyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.14. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Kondanse Tanen Oranlarına (%) Etkisine Ait Değişim Grafiği

Cd stresi altında tane sorgum çeşitlerindeki tanen oranları değişiklik göstermiştir. Bu artış ve azalışların çeşitli nedenleri olabilir. Tanen de bir fenolik bileşiktir ve fenollerin stres durumunda davranışlarıyla ilgili araştırmacılar şunları belirtmiştir: Bitki fenolik bileşikler, genellikle 500 ila 3000 Da (dalton) arasında değişen karmaşık yapılara ve büyük moleküler ağırlıklara sahip olan önemli metabolitlerdir (Wang vd. 2014); basit fenoller, kumarin, lignin, lignan, kondanse ve hidrolize edilebilir tanenler ve flavonoidler fenolik bileşikler ifade eder (Khoddami vd. 2013). Bunların patojen ve böcek saldırıları, UV radyasyonu ve yaralama gibi ekolojik ve fizyolojik streslere aktif olarak yanıt verdiği varsayılmaktadır (Khoddami vd. 2013). Spesifik olarak, çalışmalar bitki köklerinde kadmiyum ve nikel alımının fenolik asitlerden önemli ölçüde etkilenebileceğini göstermiştir (Kováčik vd. 2011). Fenilalanin Amonyum Liyaz (PAL), bitkilerde fenollerin sentezindeki kritik enzimdir (Kováčik ve Klejdus 2008). Enzimin sentezlenemediği durumlarda tanen oranı azalma göstermiş olabilir. Ayrıca, Jiang vd. (2017) de yaptıkları çalışmada Cd stresinin bitkide fenolik madde üretimi yükselttiğini, ancak yüksek dozlarda Cd elementinin fenolik madde üretimini inhibe ettiğini belirtmişlerdir. Jiang vd. (2017) Cd uygulaması yapıldıktan sonra, bitkide hem yaprak hem de köklerdeki toplam fenollerin ve tanen içeriğinin önemli ölçüde arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca yazarlar bitki dokularında polifenollerin aktif üretimini, ağır metal,

yüksek tuzluluk, aşırı sıcaklıklar gibi streslerin sıkça gözlemlendiği durumlarda bitkilerin ortamlarına uyum sağlama stratejisi olarak geliştirdiğini ifade etmişlerdir.

4.1.15. Ham Protein Oranı (%)

Farklı Cd dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin ham protein oranlarına etkisine ait varyans analizi sonucu Tablo 4.27’de verilmiştir. Cd dozlarının, çeşitlerin ham protein oranlarına etkisi varyans analiz sonuçlarına göre çeşit çok önemli ($p<0,01$) bulunurken doz x çeşit interaksyonu önemli ($p<0,05$) bulunmuştur. Cd dozları, çeşitlere ve doz x çeşit interaksyonuna ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.28’de ve değişim grafiği Şekil 4.15’te verilmiştir.

Tablo 4.27. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Ham Protein Oranlarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	0,780	0,390
Çeşit	2	47,540	23,770**
Hata-1	4	8,251	2,063
Doz	5	10,064	2,013
Çeşit*Doz	10	30,561	3,056*
Hata-2	30	34,933	1,164
Genel	53	132,129	
R ²	0,736	DK	%7,740

** : $P<0,01$, * : $P<0,05$ SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R²: Belirtme katsayısı.

Tane sorgum çeşitlerinin ham protein oranları %12,85 ile %15,14 arasında değişmiştir. En yüksek oranı Akdarı çeşidi (%15,14) gösterirken, en düşük oranı Öğretmenoğlu çeşidi (%12,85) göstermiş ve Beydarı çeşidi ise en düşük ikinci ham protein oranıyla (%13,84) Öğretmenoğlu çeşidini takip etmiştir. Üç çeşit de üç farklı ortalama grubunu oluşturmuştur.

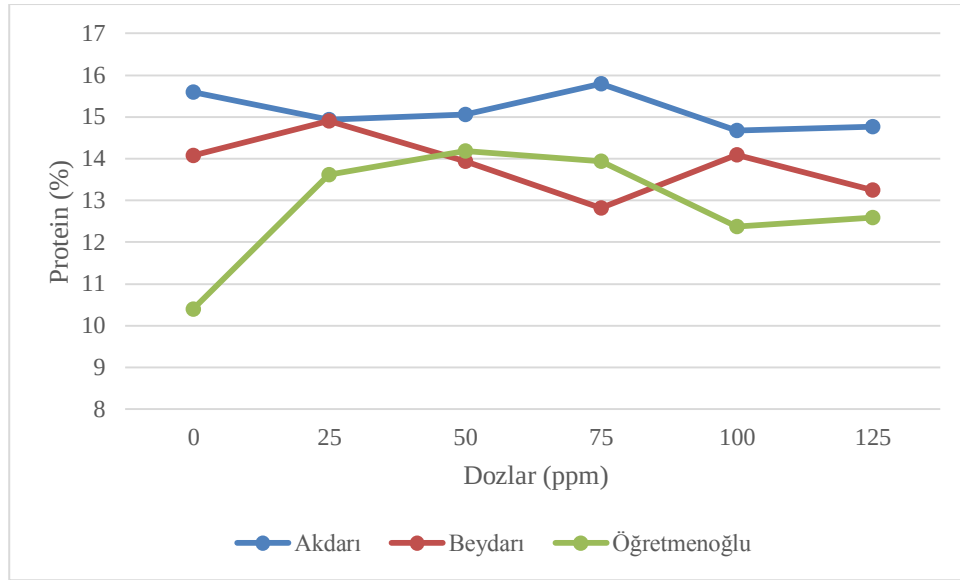
Cd dozlarının artması ile birlikte ham protein oranlarında anlamlı bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Değerler %14,48- %13,36 arasında değişim göstermiştir.

Çeşit x doz interaksiyonuna bakıldığında ise, en yüksek ham protein oranını (%15,79) 75 ppm Cd uygulamasında Akdarı çeşidi verirken, en düşük oranı (%10,4) Öğretmenoğlu çeşidi 0 ppm/kontrol uygulamasında vermiştir.

Tablo 4.28. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Ham Protein Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	15,60±0,55 A*	14,07±3,45 A-E	10,4±2,49 F	13,36
25	14,94±0,34 AB	14,9±0,24 AB	13,61±0,41 B-E	14,48
50	15,06±0,53 AB	13,93±0,09 A-E	14,19±0,21 A-D	14,39
75	15,79±0,45 A	12,82±0,21 C-E	13,93±0,19 A-E	14,18
100	14,68±0,46 A-C	14,09±0,21 A-E	12,38±0,42 E	13,71
125	14,76±0,5 AB	13,24±1,25 B-E	12,58±0,63 DE	13,53
Ortalama	15,14 a**	13,84 ab	12,85 b	

** %1, * %5 önemli. Büyük harfler interaksyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.15. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Ham Protein Oranlarına (%) Etkisine Ait Değişim Grafiği

Dozların artışı tanede protein oranının değişimine sebep olmasa da çeşit x doz interaksiyonunda etkili olmuştur. Çeşitlerde bazı dozlarda artış gözlemlenirken bazı

dozlarda azalmalar meydana gelmiştir. Sheoran vd. (1990) Cd'nin bitki bünyesinde azot ve karbonhidrat metabolizmalarını değiştirdiğini ifade etmiştir. Raineri vd. (1989) değişik bitki gruplarının, ağır metaller ve ultraviole ışın streslerine karşı bazı özel proteinler ürettiğini ve bitkide protein oranının arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca Öktüren Asri ve Sönmez (2006), yaptıkları çalışmada toprak ortamında Cd miktarının artması ile birlikte bitkinin klorofil metabolizmasının sekteye uğradığını ve azot kullanımında görevli olan NO_2^- redüktaz ile NO_3^- redüktaz enzimlerinin işlevlerini bozarak bitkinin azot kullanımını olumsuz etkilediğini belirtmişlerdir. Yapılan bu çalışmalarda da protein oranının bazı durumlarda artış bazı durumlarda azalış gösterdiği görülmektedir. Çalışmamızda gözlemlenen artış ve azalışların nedeni yapılan bu çalışmalarda da belirtildiği gibi Cd stresi kaynaklı azot metabolizmasının bozulma durumunda azalış, stres kaynaklı durumlarda bitkinin protein oranını arttırmasından kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

4.1.16. Ham Yağ Oranı (%)

Farklı Cd dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin ham yağ oranlarına etkisine ait varyans analizi sonucu Tablo 4.29'da verilmiştir. Cd dozlarının, çeşitlerin ham yağ oranlarına etkisi varyans analiz sonuçlarına göre doz, çeşit ve doz x çeşit etkisi çok önemli ($p < 0,01$) bulunmuştur. Cd dozları, çeşitlere ve doz x çeşit etkisi için ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.30'da ve değişim grafiği Şekil 4.16'da verilmiştir.

Tablo 4.29. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Ham Yağ Oranlarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	0,031	0,015
Çeşit	2	20,681	10,340**
Hata-1	4	0,691	0,173
Doz	5	35,612	7,122**
Çeşit*Doz	10	34,577	3,458**
Hata-2	30	3,057	0,102
Genel	53	94,649	
R^2	0,968	DK	%11,002

** : $P < 0,01$, SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R^2 : Belirtme katsayısı.

Tane sorgum çeşitlerinin ham yağ oranlarına bakıldığında en yüksek oranı Beydarı çeşidi (%3,69) gösterirken, en düşük oranı Akdarı çeşidi (%2,17) göstermiş ve Öğretmenoğlu çeşidi ise en yüksek ikinci ham yağ oranıyla (%2,85) Beydarı çeşidini takip etmiştir. Üç çeşit de üç farklı ortalama grubunu oluşturmuştur.

Cd dozlarının artması ile birlikte ham yağ oranlarında artış-azalış şeklinde bir değişim gözlemlenmiştir. En yüksek ham yağ oranını (%4,58) 125 ppm Cd uygulaması oluştururken, en düşük ham yağ oranını (%1,99) 75 ppm Cd uygulaması oluşturmuştur. 50 ppm ve 100 ppm uygulamaları aynı ortalama grubunu oluştururken, diğer tüm dozlar farklı ortalama gruplarını oluşturmuştur.

Çeşit x doz interaksyonuna bakıldığında ise en yüksek ham yağ oranını (%5,96) 125 ppm Cd uygulamasında Beydarı çeşidi verirken, en düşük oranı (%1,53) Akdarı çeşidi 25 ppm Cd uygulamasında vermiştir.

Tablo 4.30. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Ham Yağ Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	2,78±0,19 D**	2,38±0,20 D-F	2,16±0,31 E-H	2,44 c**
25	1,53±0,14 I	5,13±0,08 B	2,37±0,13 D-G	3,01 b
50	1,61±0,13 HI	4,23±0,07 C	2,43±0,39 D-F	2,76 bc
75	2,03±0,07 F-I	1,83±0,18 G-I	2,1±0,2 F-H	1,99 d
100	2,7±0,2 DE	2,57±0,23 D-F	2,63±0,17 DE	2,63 bc
125	2,37±0,55 D-G	5,96±0,07 A	5,4±1 B	4,58 a
Ortalama	2,17 c**	3,69 a	2,85 b	

** %1 önemli. Büyük harfler interaksyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.

Tablo 4.31. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin ADF Oranlarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	0,788	0,394
Çeşit	2	35,898	17,949**
Hata-1	4	1,921	0,480
Doz	5	14,771	2,954**
Çeşit*Doz	10	16,951	1,695*
Hata-2	30	17,413	0,580
Genel	53	87,743	
R ²	0,802	DK	%7,365

** : P<0,01, * : P<0,05 SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R²: Belirtme katsayısı.

Tane sorgum çeşitlerinin ADF oranları %9,19 ile %10,99 arasında değişim göstermiştir. En yüksek oranı ilk olarak Beydarı çeşidi (%10,99) ve ikinci olarak Öğretmenoğlu çeşidi (%10,85) aynı ortalama grubunu oluşturarak vermiştir. En düşük oranı ise Akdarı çeşidi (%9,19) göstererek ikinci ortalama grubunu oluşturmuştur.

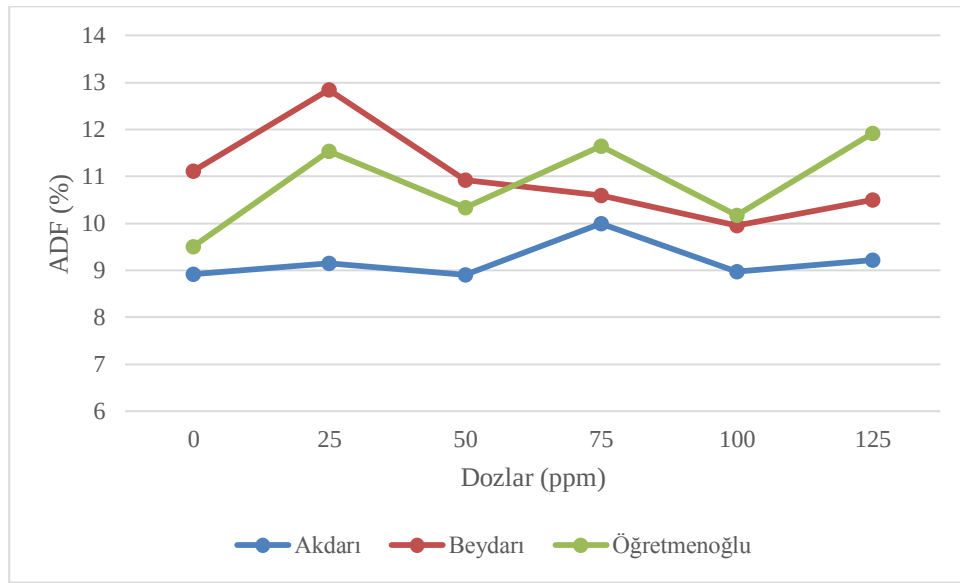
Cd dozlarının artması ile birlikte ADF oranlarında artış-azalış-artış şeklinde bir değişim gözlemlenmiştir. En yüksek ADF oranını (%11,18) 25 ppm Cd uygulaması oluştururken, en düşük ADF oranını (%9,7) 100 ppm Cd uygulaması oluşturmuştur.

Çeşit x doz interaksiyonuna bakıldığında ise en yüksek ADF oranını (%12,85) 25 ppm Cd uygulamasında Beydarı çeşidi verirken, en düşük oranı (%8,91) Akdarı çeşidi 50 ppm uygulamasında vermiştir.

Tablo 4.32. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin ADF Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalama Tablosu

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	8,92±0,74 HI*	11,12±2,31 B-E	9,5±0,99 F-I	9,85 bc**
25	9,15±0,37 G-I	12,85±1,09 A	11,53±0,13 B-D	11,18 a
50	8,91±0,66 I	10,92±0,2 B-E	10,34±0,37 D-G	10,06 bc
75	9,99±0,09 E-I	10,6±0,7 C-F	11,64±0,4 A-C	10,74 ab
100	8,97±0,07 HI	9,95±0,17 E-I	10,17±0,5 E-H	9,70 c
125	9,22±0,22 G-I	10,5±0,5 C-F	11,92±0,15 AB	10,55 abc
Ortalama	9,19 b**	10,99 a	10,85 a	

** : %1, * : %5 önemli. Büyük harfler interaksiyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.17. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin ADF Oranlarına (%) Etkisine Ait Değişim Grafiği

Bitkisel karbonhidratlar yapısal ve yapısal olmayan karbonhidratlar olarak ikiye ayrılır ve yapısal karbonhidratlar (hücre duvarı) içerisine giren selüloz ve lignin ADF'yi oluşturur (Anonim 2011). Cd dozları ADF oranları üzerinde artış-azalış-artış şeklinde bir etkiye sahip olmuştur; bu dalgalanma durumuna hücre duvarı bileşenleri üzerinde Cd elementinin nasıl sebep olduğunu ifade etmek gerekirse: Vatehova vd. (2016) iki hibrid mısırı (hassas ve toleranslı) Cd stresine maruz bıraktıktan sonra şunları belirtmiştir; hücre

duvarı polisakarit fraksiyonlarındaki değişikliklerin ve bunların lignin ve selüloza oranlarının, incelenen mısır çeşitlerinin kadmiyuma karşı tolerans ve / veya savunmada yer aldığını her iki çeşitteki Ca^{+2} (Ca , hücre duvarı yapılarının stabilizasyonu ve bütünlüğünü kontrol eden bir katyondur) içeriğinin, hücre duvarlarındaki Ca^{+2} 'nin Cd^{+2} ile yer değiştirmesi nedeniyle azaldığını ve Cd stresine selüloz oranının azaldığını ve lignin oranının arttığını bunun da her iki çeşitte klason ligninin (asitlerde çözünmeyen lignin) artan içeriğinin özellikle toeranslı çeşitte suberin lamelleri olan apoplazmik bariyerlerin daha erken gelişimi ile ilişkili olabileceğini bildirmişlerdir. Hücre duvarında Cd bağlanması sadece hücre duvarı bileşenlerinin içeriği ile ilgili değildir. Aynı zamanda pektinin kimyasal formu ile de yakından ilgilidir; pektinin yüksek derecede demetil esterifikasyonu, daha fazla Al^{+3} ve Cd^{+2} bağlamasına izin verir (Lozano- Rodriguez vd. 1997).

Ağır metal stresinde bitkilerde lignifikasyonun artabileceği öne sürülmüştür (Tester ve Leigh 2001; Verma ve Dubey 2003). Çalışmamızda çeşit ortalamalarında elde edilen sonuçlar Kaplan ve Kızıllımşek (2012)'nin değerlerinden Akdari çeşidi daha düşük, Beydari çeşidinin daha yüksek ve Öğretmenoğlu çeşidinin benzerlik gösterdiği belirlenmiştir.

4.1.18. Nötr Deterjanda Çözünmeyen Lif Oranı (NDF %)

Farklı Cd dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin NDF oranlarına etkisine ait varyans analizi sonucu Tablo 4.33'te verilmiştir. Cd dozlarının, çeşitlerin NDF oranlarına etkisi varyans analiz sonuçlarına göre çeşit, doz ve doz x çeşit interaksyonu çok önemli ($p<0,01$) bulunmuştur. Cd dozları, çeşitlere ve doz x çeşit interaksyonuna ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.34'te ve değişim grafiği Şekil 4.18'de verilmiştir.

Tablo 4. 33. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin NDF Oranlarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	0,106	0,053
Çeşit	2	312,585	156,293**
Hata-1	4	3,021	0,755
Doz	5	184,591	36,918**
Çeşit*Doz	10	175,119	17,512**
Hata-2	30	26,196	0,873
Genel	53	701,618	
R ²	0,963	DK	%3,897

** : P<0,01, SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R²: Belirtme katsayısı.

Tane sorgum çeşitlerinin NDF oranları %21,46 ile %27,22 arasında değişim göstermiştir. En yüksek oranı (%27,22) Akdarı çeşidi birinci ortalama grubunu oluşturarak verirken, Beydarı ikinci ortalama grubunu oluşturmuş ve en düşük oranı (%21,46) ise Öğretmenoğlu çeşidi üçüncü ortalama grubunu oluşturarak göstermiştir. Üç çeşit de farklı ortalama gruplarında yer almıştır.

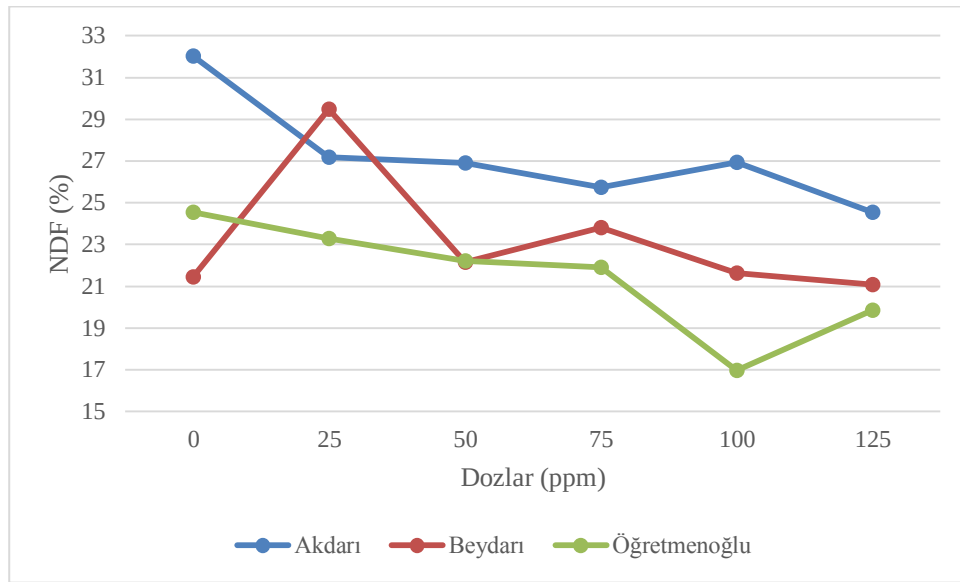
Cd dozlarının artması ile birlikte ters orantılı olarak NDF oranlarında düzenli bir azalış gözlemlenmiştir. En yüksek NDF oranını aynı ortalama grubunu oluşturan 0 ve 25 ppm Cd uygulaması gösterirken, en düşük NDF oranını aynı ortalama grubunda yer alan 100 ve 125 ppm Cd uygulamaları vermiştir.

Çeşit x doz interaksiyonuna bakıldığında ise en yüksek NDF oranını (%32,02) 0 ppm Cd uygulamasında Akdarı çeşidi gösterirken, en düşük oranı (%16,97) Öğretmenoğlu çeşidi 100 ppm uygulamasında göstermiştir.

Tablo 4.34. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin NDF Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	32,02±0,92 A**	21,45±0,83 G	24,54±2,91 DE	26,00 a**
25	27,17±0,86 C	29,49±0,52 B	23,28±0,28 EF	26,65 a
50	26,9±0,72 C	22,15±0,17 FG	22,2±0,31 FG	23,75 b
75	25,75±0,86 CD	23,8±0,22 E	21,91±0,12 FG	23,82 b
100	26,93±0,12 C	21,62±0,6 G	16,97±0,14 I	21,84 c
125	24,54±0,45 DE	21,07±1,22 GH	19,85±0,15 H	21,82 c
Ortalama	27,22 a**	23,26 b	21,46 c	

** : %1 önemli. Büyük harfler interaksiyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.18. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin NDF Oranlarına (%) Etkisine Ait Değişim Grafiği

NDF toplam hücre duvarlarını temsil eder: hemiselüloz, selüloz ve ligninden oluşur (Anonim 2011). Cd dozları NDF oranları üzerinde ortalamada azalışa sebep olmakla birlikte bazı durumlarda değişimler gözlemlenmiştir. Bu değişimler hücre duvarı bileşenleri üzerinde Cd elementinin sebep olduğu etkiden kaynaklanmış olabilir. Pavliková vd. (2002) ıspanak bitkisinde Cd yoğunluğunun çeşitli polipeptitler ve fitoşelatinlerle (glutasyon oligomerleri) ilişkili olduğunu ve aynı zamanda hücre duvarları

ve hücre iskeleti yapısını etkilediğini bildirmişlerdir. Vatehova vd. (2016) hücre duvarında bulunan Ca^{+2} konsantrasyonunun değişimini, bir katyon olan kalsiyum ile yine bir katyon olan kadmiyumun yer değişimi sebebiyle azaldığını aynı zamanda selüloz oranının azalıp lignin oranının artması ile bu durumun devam ettiğini bildirmiştir. Çalışmamızda çeşit ortalamalarında elde edilen sonuçlarda; Kaplan ve Kızılsimşek (2012)'in değerlerinden Akdarı çeşidi daha yüksek, Beydarı çeşidi daha düşük ve Öğretmenoğlu çeşidinin benzerlik gösterdiği belirlenmiştir.

4.1.19. Sindirilebilir Kuru Madde Oranı (SKM%)

Farklı Cd dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin SKM oranlarına etkisine ait varyans analizi sonucu Tablo 4.35'te verilmiştir. Cd dozlarının, çeşitlerin SKM oranlarına etkisi varyans analiz sonuçlarına göre çeşit ve doz çok önemli ($p<0,01$) bulunurken, doz x çeşit interaksyonu önemli ($p<0,05$) bulunmuştur. Cd dozları, çeşitlere ve doz x çeşit interaksyonuna ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.36'da ve değişim grafiği Şekil 4.19'da verilmiştir.

Tablo 4.35. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Sindirilebilir Kuru Madde Oranlarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	0,479	0,239
Çeşit	2	21,787	10,893**
Hata-1	4	1,165	0,291
Doz	5	8,961	1,792**
Çeşit*Doz	10	10,285	1,028*
Hata-2	30	10,565	0,352
Genel	53	53,241	
R^2	0,802	DK	%0,734

** : $P<0,01$, * : $P<0,05$ SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R^2 : Belirtme katsayısı.

Tane sorgum çeşitlerinin SKM oranlarına bakıldığında, en düşük oranı ilk olarak Beydarı çeşidi (%80,34) ve ikinci olarak Öğretmenoğlu çeşidi (%80,45) aynı ortalama grubunu oluşturarak göstermiştir. En yüksek oranı ise Akdarı çeşidi (%81,74) göstererek ikinci ortalama grubunu oluşturmuştur.

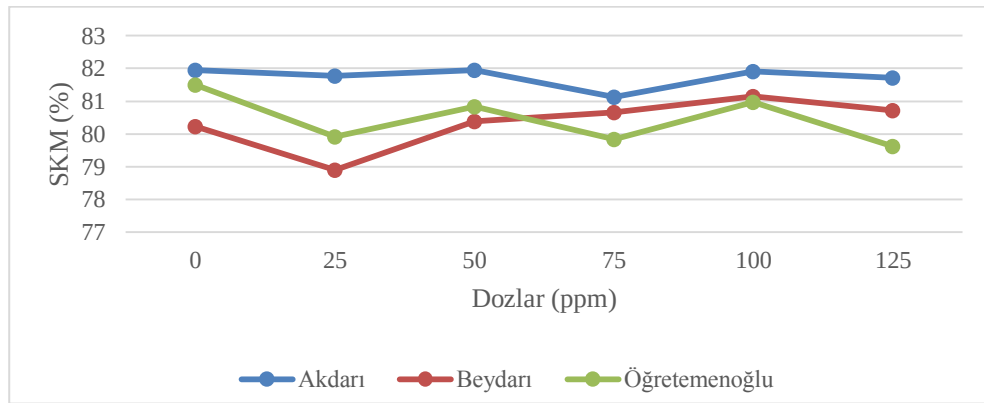
Cd dozlarının artması ile birlikte SKM oranlarında azalış-artış şeklinde bir değişim gözlemlenmiştir. En yüksek SKM oranını (%81,35) 100 ppm Cd uygulaması oluştururken, en düşük SKM oranını (%80,19) 25 ppm Cd uygulaması oluşturmuştur.

Çeşit x doz interaksyonuna bakıldığında ise en yüksek SKM oranını (%81,96) 50 ppm Cd uygulamasında Akdarı çeşidi verirken, en düşük oranı (%78,89) 25 ppm Cd uygulamasında Beydarı çeşidi vermiştir.

Tablo 4.36. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin SKM Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	81,95±0,58 AB*	80,23±1,8 E-H	81,5±0,77 A-D	81,22 ab**
25	81,77±0,29 A-C	78,89±0,85 I	79,92±0,1 F-H	80,19 c
50	81,96±0,51 A	80,39±0,15 E-H	80,84±0,29 C-F	81,06 ab
75	81,12±0,07 A-E	80,65±0,55 D-G	79,84±0,31 G-I	80,53 bc
100	81,91±0,06 AB	81,15±0,14 A-E	80,98±0,39 B-E	81,35 a
125	81,72±0,17 A-C	80,72±0,39 D-G	79,62±0,12 HI	80,68 abc
Ortalama	81,74 a**	80,34 b	80,45 b	

** : %1, * : %5 önemli. Büyük harfler interaksiyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.19. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin SKM Oranlarına (%) Etkisine Ait Değişim Grafiği

SKM, ADF değerinin belirlenmesiyle ulaşılabilen bir değerdir. Bu yüzden ADF için belirtilen değışiklerin nedeni SKM oranı içinde geçerlidir. ADF oranının düşük olması SKM oranının yüksek olmasına sebep olacaktır. SKM oranının yüksek olması da NYD değerin ve yem kalitesinin yüksek olmasına neden olacaktır. Çalışmamızda SKM değeri ADF değeri doğrultusunda dalgalı bir değışim göstermiştir. Bunun nedeni, hücre duvarı bileşenlerinin strese verdiği farklı yanıtlardan kaynaklı olma ihtimalidir. Kadmiyum yoğunluğu glutasyon oligomerleri ile ilişkilidir ve hücre duvarı ve hücre bileşenlerini etkiler (Pavliková vd. 2002). Ayrıca hücre duvarı stabilizasyonunu sağlayan element kalsiyumdur ve kalsiyum + yüklü bir iyondur aynı şekilde kadmiyum elementi de + yüklü bir iyondur kadmiyum varlığında kalsiyum elementi ile yer değışimi gerçekleşebilir. Bu durumdan dolayı da hücre duvarı stabilitesi olumsuz etkilenip içerik değışebilir (Vatehova vd. 2016). Bazı araştırmacılar ise ağır metal yoğunluğunda bitki hücrelerinde lignifikasyonun artabileceği belirtmişlerdir (Tester ve Leigh 2001; Verma ve Dubey 2003). Çalışmamızda çeşit ortalamalarında elde edilen sonuçlarda; Kaplan ve Kızıışimşek (2012)'in değeriinden Akdarı çeşidi daha yüksek, Beydarı çeşidi daha düşük ve Öğretmenoğu çeşidinin benzerlik gösterdiği belirlenmiştir.

4.1.20. Kuru Madde Tüketimi Oranı (KMT %)

Farklı Cd dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin KMT oranlarına etkisine ait varyans analizi sonucu Tablo 4.37'de verilmiştir. Cd dozlarının, çeşitlerin KMT oranlarına etkisi varyans analiz sonuçlarına göre çeşit, doz ve doz x çeşit interaksyonu çok önemli ($p < 0,01$) bulunmuştur. Cd dozları, çeşitlere ve doz x çeşit interaksyonuna ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.38'de ve değışim grafiği Şekil 4.20'de verilmiştir.

Tablo 4.37. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Kuru Madde Tüketimi Oranlarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	0,004	0,002
Çeşit	2	14,225	7,112**
Hata-1	4	0,150	0,037
Doz	5	8,733	1,747**
Çeşit*Doz	10	8,141	0,814**
Hata-2	30	1,137	0,038
Genel	53	32,390	
R ²	0,965	DK	%3,804

** : P<0,01, SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R²: Belirtme katsayısı.

Tane sorgum çeşitlerinin KMT oranlarına bakıldığında; en yüksek oranı (%5,68) Öğretmenoğlu çeşidi birinci ortalama grubunu oluşturarak gösterirken, Beydarı çeşidi ikinci en yüksek orana sahip çeşit olarak ikinci ortalama grubunu oluşturmuştur ve en düşük oranı (%4,44) ise Akdarı çeşidi üçüncü ortalama grubunu oluşturarak göstermiştir.

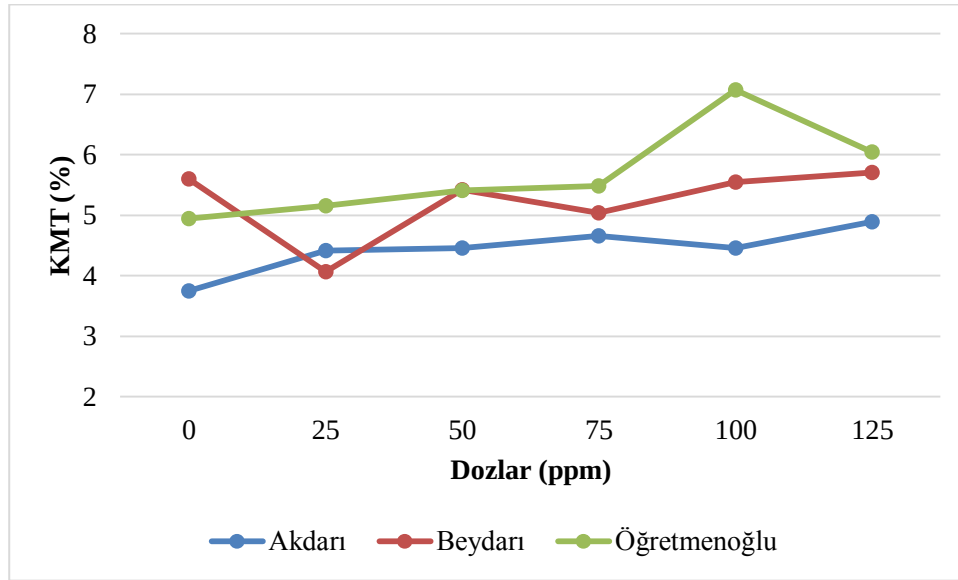
Cd dozlarının artması ile birlikte doğru orantılı olarak KMT oranlarında bir artış gözlemlenmiştir. En yüksek KMT oranını aynı ortalama grubunu oluşturan 100 ve 125 ppm Cd uygulaması gösterirken, en düşük KMT oranını aynı ortalama grubunda yer alan 0 ve 25 ppm Cd uygulamaları göstermiştir.

Çeşit x doz interaksyonuna bakıldığında ise en yüksek KMT oranını (%7,07) 100 ppm Cd uygulamasında Öğretmenoğlu çeşidinden elde edilirken, en düşük oran (%3,75) Akdarı çeşidinden 0 ppm Cd/kontrol uygulamasında elde edilmiştir.

Tablo 4.38. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin KMT Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	3,75±0,11 H**	5,6±0,21 C	4,94±0,6 EF	4,76 c**
25	4,42±0,14 G	4,07±0,07 H	5,16±0,06 DE	4,55 c
50	4,46±0,12 G	5,42±0,04 CD	5,41±0,08 CD	5,10 b
75	4,66±0,16 FG	5,04±0,05 E	5,48±0,03 CD	5,06 b
100	4,46±0,02 G	5,55±0,15 C	7,07±0,06 A	5,69 a
125	4,89±0,09 EF	5,71±0,33 C	6,05±0,05 B	5,55 a
Ortalama	4,44 c**	5,23 b	5,68 a	

** : %1, * : %5 önemli. Büyük harfler interaksiyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.20. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin KMT Oranlarına (%) Etkisine Ait Değişim Grafiği

KMT, NDF değerinin belirlenmesiyle ulaşılabilen bir değerdir. Bu yüzden NDF için belirtilen değişikliklerin nedeni KMT oranı içinde geçerlidir. NDF oranının düşük olması KMT oranının yüksek olmasına sebep olacaktır. KMT oranının yüksek olması da NYD değerinin ve yem kalitesinin yüksek olmasına neden olacaktır. Çalışmamızda KMT değerleri NDF değerlerinin doğrultusunda dalgalı bir değişim göstermiştir. Bunun nedeni hücre duvarı bileşenlerinin strese verdiği yanıtların farklılığından kaynaklanabilir.

Hücrede kadmiyum yoğunluğu daha önce de belirtildiği gibi hücre duvarı yapısını etkilemektedir (Pavliková vd. 2002). Hücre duvarı bileşenleri ve bunlar arasındaki değişimin (lignin/selüloz oranlarının) kadmiyum stresine karşı savunmada yer aldığı belirtilmiştir (Vatehova vd. 2016). Hücre duvarında Cd bağlanması pektinin kimyasal formu ile de yakından ilgilidir; pektinin fazla esterleşme göstermesi hücre duvarına, daha fazla Cd⁺² bağlamasına yol açar (Lozano- Rodriguez vd. 1997).

4.1.21. Nispi Yem Değeri (NYD)

Farklı Cd dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin NYD'ye etkisine ait varyans analizi sonucu Tablo 4.39'da verilmiştir. Cd dozlarının, çeşitlerin NYD oranlarına etkisi varyans analiz sonuçlarına göre çeşit, doz ve doz x çeşit interaksyonu çok önemli ($p<0,01$) bulunmuştur. Cd dozları, çeşitlere ve doz x çeşit interaksyonuna ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.40'da ve değişim grafiği Şekil 4.21'de verilmiştir.

Tablo 4.39. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Nispi Yem Değerine Etkisine Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	2,959	1,480
Çeşit	2	48847,872	24423,936**
Hata-1	4	631,519	157,880
Doz	5	36280,448	7256,090**
Çeşit*Doz	10	32406,315	3240,632**
Hata-2	30	4935,443	164,515
Genel	53	123104,556	
R ²	0,960	DK	%4,001

** : $P<0,01$, SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R²: Belirtme katsayısı.

Tane sorgum çeşitlerine ait NYD'ye bakıldığında en yüksek değeri (354,36) Öğretmenoğlu çeşidi oluşturmuş ve birinci ortalama grubunda yer almıştır. Beydarı çeşidi ikinci en yüksek değere sahip çeşit olarak ikinci ortalama grubunu oluşturmuş ve en düşük değeri (281,31) ise Akdarı çeşidi üçüncü ortalama grubunu oluşturarak göstermiştir. Üç çeşit de üç farklı ortalama grubunu oluşturmuştur.

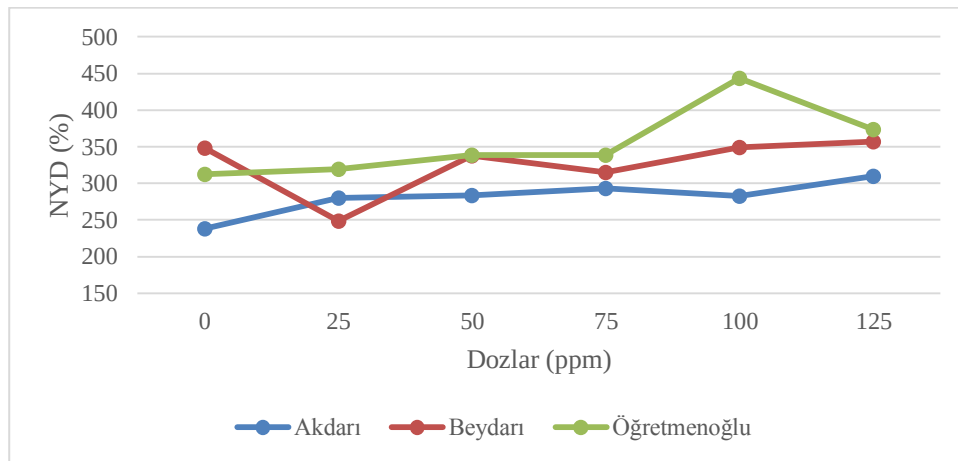
Cd dozlarının artması ile birlikte nispi yem değerinde bir azalış- artış gözlemlenmiştir. En yüksek NYD'yi aynı ortalama grubunu oluşturan 100 ve 125 ppm Cd uygulaması gösterirken, en düşük NYD'yi 25 ppm Cd uygulamaları göstermiştir.

Çeşit x doz interaksyonuna bakıldığında ise en yüksek NYD (443,81) 100 ppm Cd uygulamasında Öğretmenoğlu çeşidi verirken, en düşük değeri (238,18) Akdarı çeşidi 0 ppm Cd/kontrol uygulamasında vermiştir.

Tablo 4.40. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Nispi Yem Değerine Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	238,18±5,23 H**	348,36±17,32 C	311,98±38,84 EF	299,51 c**
25	280,14±7,84 G	248,87±1,72 H	319,4±3,42 DE	282,80 d
50	283,63±9,4 G	337,71±1,88 CD	338,86±5,91 CD	320,06 b
75	293,21±9,55 FG	315,15±0,72 E	338,93±0,49 CD	315,77 bc
100	282,93±1,47 G	349,39±10,32 C	443,81±1,6 A	358,71 a
125	309,78±5,04 EF	357,17±22,5 BC	373,18±3,36 B	346,71 a
Ortalama	281,31 c**	326,11 b	354,36 a	

** : %1, * : %5 önemli. Büyük harfler interaksiyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4. 21. Farklı Cd Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Nispi Yem Değerine Etkisine Ait Değişim Grafiği

Hayvanların yem tüketimine olan tavırları, yemlerin sindirim derecesi ve hayvanlar tarafından ürüne dönüştürülmesi yemin kalitesine bağlıdır (Van Soest 1994). Bu kalite çoğunlukla yemlerin kimyasal- fiziksel-biyolojik parametrelerinin ölçülmesi ile saptanır. Nispi yem değeri (NYD) kavramı ilk olarak ABD’de yonca için bulunan ve zamanla farklı yemler için de başvurulmuş bir değerdir (Relative Feed Value, RFV) yemlerin besleme değerini ölçmede kullanılmaktadır (Ball vd. 1996). NYD’nin belirlenmesinde ADF (asit deterjan lif) ve NDF (nötr deterjan lif) değerleri kullanılmaktadır (Moore ve Undersander 2002). NYD hesaplanırken tam çiçeklenmedeki yoncanın (kuru otun içerdiği) %41 ADF ve %53 NDF hesaba katılarak 100 değeri baz alınır. NYD 100’ün altına düşerse yem kalitesi azalır, artarsa kalite yükselir, $NYD = \% SKM \times \% KMT \times 0,775$ şeklinde belirlenir (Redfearn vd. 2006). Çalışmamızda çeşit ortalamalarında elde edilen sonuçlarda; Kaplan ve Kızılsimşek (2012)’in değerlerinden Akdarı çeşidi daha düşük, Beydarı çeşidi daha yüksek ve Öğretmenoğlu çeşidinin benzerlik gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca bitkiler aldıkları fazla metalleri hücre duvarında (metabolik aktivitelerinin daha az olduğu bölgelerde) biriktirebilirler. Bu birikimin hücre duvarında olması, hücre duvarı birleşenlerini meydana getiren ADF ve NDF oranlarını da olumsuz etkileyebilmektedir (Verklaij ve Schat 1990). Yine yapılan araştırmalarda farklı ağır metallerin bitki hücre duvarında birikebildiği belirtilmektedir (Wang vd. 2003).

4.2. Krom (Cr) Elementine Ait İncelenen Özellikler

4.2.1. Bitki Boyu (cm)

Farklı Cr dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin bitki boylarına ait varyans analizi sonuçları Tablo 4.41’de verilmiştir. Cr dozları, çeşitlere ve doz çeşit interaksiyonuna ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.42’de ve değişim grafiği Şekil 4.22’de verilmiştir. Cr dozlarının, bitki boyları varyans analiz sonuçlarına göre çeşit, doz ve çeşit x doz interaksiyonu çok önemli ($p < 0,01$) bulunmuştur.

Tablo 4.41. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bitki Boylarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	48,936	24,468
Çeşit	2	146,392	73,196**
Hata-1	4	90,762	22,691
Doz	5	35774,478	7154,896**
Çeşit*Doz	10	1282,325	128,232**
Hata-2	30	365,070	12,169
Genel	53	37707,963	
R ²	0,990	DK	%7,586

** : P<0,01, SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R²: Belirtme katsayısı.

Tane sorgum çeşitlerinin Cr stresinde bitki boylarında meydana gelen etki incelendiğinde, çeşitlerin ortalamasında en yüksek bitki boyunun (48,23 cm) Akdarı çeşidinde ve en küçük bitki boyunun (44,32 cm) ise Öğretmenoğlu çeşidinde ortaya çıktığı görülmüştür. Akdarı çeşidinin bitki boyu birinci ortalama grubunu oluştururken, Beydarı ve Öğretmenoğlu çeşitlerinin bitki boyları ikinci ortalama grubunu oluşturmuştur.

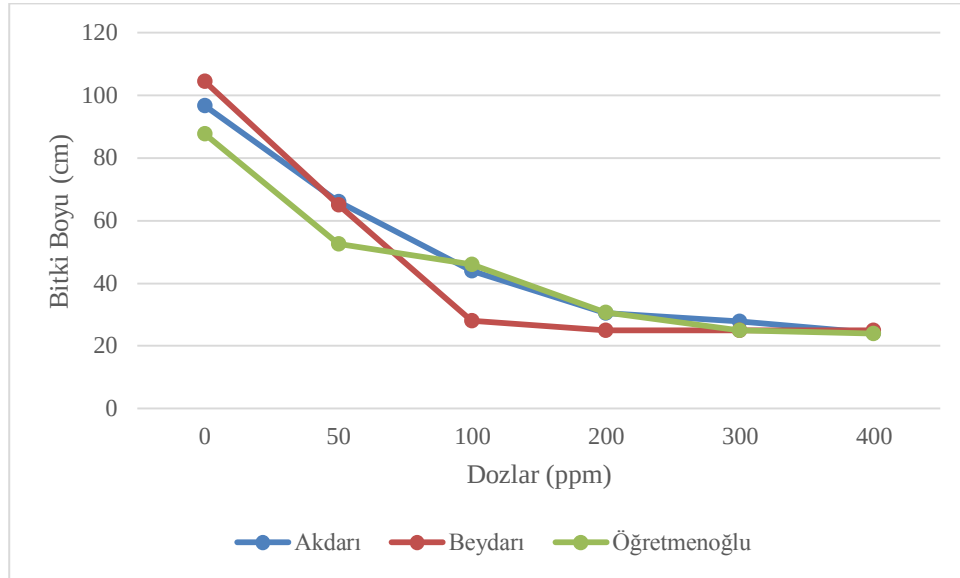
Dozların ortalamasına baktığımızda ise, Cr dozlarının artmasına ters orantılı olarak artan dozların bitki boylarında azalmalara neden olduğu gözlenmektedir. En küçük bitki boyu (24,40 cm) 400 ppm Cr uygulamasından elde edilirken, en yüksek bitki boyu (96,34 cm) kontrol grubu bitkilerinden elde edilmiştir. 200, 300 ve 400 ppm uygulamaları en düşük üç bitki boyuna sahip olarak aynı ortalama grubunu oluşturmuştur.

Çeşit x doz interaksiyonuna baktığımızda Cr uygulamasında en yüksek bitki boyu Akdarı, Beydarı ve Öğretmenoğlu çeşitlerinin 0 ppm Cr (kontrol) uygulamasından elde edilirken, en küçük bitki boyunun tüm çeşitlerde en yüksek Cr dozu olan 400 ppm uygulamasından elde edildiği görülmüştür.

Tablo 4.42. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bitki Boylarına (cm) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	96,75±5,16 B**	104,51±2,05 A	87,77±2,35 C	96,34 a**
50	66,00±30 D	65,00±5,00 D	52,50±5,50 E	61,167 b
100	44,03±9,89 F	27,97±5,14 GH	46,00±00 F	39,33 c
200	30,47±2,70 G	25,00±00 GH	30,67±3,51 G	28,71 d
300	27,93±2,06 GH	25,00±00 GH	25,00±00 GH	25,98 d
400	24,2±1,93 H	25,00±000 GH	24,00±00 H	24,40 d
Ortalama	48,23 a**	45,41 b	44,32 b	

** : %1 önemli. Büyük harfler interaksiyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.22. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bitki Boylarına (cm) Etkisine Ait Değişim Grafiği

Çalışmada kullanılan tüm çeşitlerde krom stresi bitki boylarını olumsuz yönde etkilemiş ve artan dozla birlikte bitki boyları düzenli olarak azalmıştır. Kasmıyati vd. (2016) yaptıkları çalışmada toprakta sorgum bitkisinde kromun CrCl_3 ve $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2$ formunu denemişler ve bitki boylarının her iki krom formunda da olumsuz etkilendiğini bildirmişlerdir. Wallace vd. (1977) çalı fasulyesinde 10^{-5} N konsantrasyondaki bir Cr_2O_7 ilavesinin bitki büyümesini %25 azalttığını belirtmiştir. Gupta vd. (2009) 0-500 μM Cr^{+6} uygulaması yaptıkları *Brassica juncea* cv. Varuna için bitki boyunun yaklaşık %50

seviyesinde azaldığını belirtmişlerdir. Yapılan bu çalışmalarda elde edilen sonuçlar bu çalışmanın sonuçları ile uyum göstermektedir.

4.2.2. Bitki Gövde Çapı (mm)

Farklı Cr dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin gövde çaplarına ait varyans analizi sonuçları Tablo 4.43’de verilmiştir. Cr dozları, çeşitlere ve doz çeşit interaksyonuna ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.44’te ve değişim grafiği Şekil 4.23’te verilmiştir. Cr dozlarının bitki gövde çapları varyans analiz sonuçlarına göre çeşit, doz ve çeşit x doz interaksyonu çok önemli ($p<0,01$) bulunmuştur.

Tablo 4.43. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bitki Gövde Çaplarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	0,760	0,380
Çeşit	2	14,940	7,470**
Hata-1	4	0,664	0,166
Doz	5	472,644	94,529**
Çeşit*Doz	10	33,939	3,394**
Hata-2	30	19,541	0,651
Genel	53	542,488	
R ²	0,964	DK	%11,436

** $P<0,01$, SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R²: Belirtme katsayısı.

Tane sorgum çeşitlerinin Cr stresinde bitki gövde çaplarının 7,80 mm ile 6,67 mm arasında değiştiği belirlenmiştir. En kalın gövde çapının Öğretmenoğlu çeşidinde ve en ince gövde çapının ise Akdarı çeşidinde ortaya çıktığı görülmüştür. Akdarı ve Beydarı çeşitleri aynı ortalama grubunu oluştururken Öğretmenoğlu çeşidi farklı ortalama grubunu oluşturmuştur.

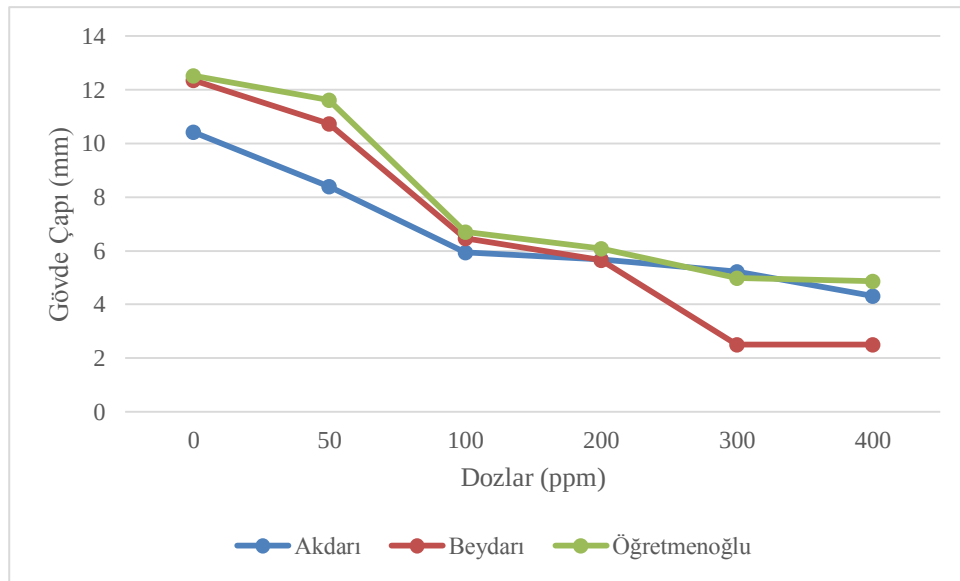
Cr dozlarının artması ile ters orantılı olarak gövde çaplarının azaldığı belirlenmiştir. Ortalamada en ince gövde çapı 300 ppm (4,24 mm) ve 400 ppm (3,89 mm) Cr uygulamasından elde edilirken, en kalın gövde çapı (11,78 mm) 0 ppm/kontrol grubu bitkilerinden elde edilmiştir. Cr dozlarının artması bitkilerin gövde kalınlıklarını olumsuz etkilemiştir.

Cr uygulamasında en kalın bitki gövde çapı Beydarı ve Öğretmenoğlu çeşitlerinin 0 ppm dozlarından (kontrol) elde edilirken, en ince gövde çapı Beydarı çeşidinin 300 ve 400 ppm Cr uygulamalarından elde edilmiştir.

Tablo 4.44. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bitki Gövde Çapına (mm) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	10,44±1,17 B**	12,35±0,37 A	12,53±1,37 A	11,78 a**
50	8,40±0,66 C	10,75±0,05 B	11,63±1,33 AB	10,26 b
100	5,94±0,34 D-F	6,48±0 DE	6,7±1,27 D-F	6,37 c
200	5,67±0,44 D-F	5,65±1,16 D-F	6,09±0 D-F	5,80 c
300	5,23±0,98 E-G	2,5±0 H	5±0 FG	4,24 d
400	4,31±0,82 G	2,5±0 H	4,86±0 FG	3,89 d
Ortalama	6,67 b**	6,71 b	7,80 a	

** : %1 önemli. Büyük harfler interaksiyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.23. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövde Çaplarına (mm) Etkisine Ait Değişim Grafiği

Krom uygulaması çalışmada kullanılan tüm çeşitlerde bitki gövde çapında azalmaya sebep olmuştur. Vajpayee vd. (2001) *Vallisneria spiralis* bitkisine Cr uygulaması yaptığı ve toksite durumunu araştırdığı çalışmada, 2.5 µg/ mL seviyesinin üzerindeki Cr'nin

biomass üretiminin negatif etkilendiğini sunmuştur. Turner ve Rust (1971), besin ortamına $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ Cr ve toprak ortamına 60 mg kg^{-1} Cr ilave ettikleri çalışmada, neredeyse bütün makro besin elementlerinin kök bölgesinde azaldığını ifade etmişlerdir; krom toksitesinin yanı sıra bu makro besin elementlerinin azalması da bitki gelişimini/gövde çapı gelişimini olumsuz etkilemiş olabileceği düşünülmüştür.

4.2.3. Gövde Oranı (%)

Farklı Cr dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin gövde oranlarına ait varyans analizi sonuçları Tablo 4.45'te verilmiştir. Cr dozları, çeşitlere ve doz x çeşit interaksyonuna ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.46'da ve değişim grafiği Şekil 4.24'te verilmiştir. Cr dozlarının gövde oranları varyans analiz sonuçlarına göre çeşit, doz ve çeşit x doz interaksyonu çok önemli ($p < 0,01$) bulunmuştur.

Tablo 4.45. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövde Oranlarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	31,249	15,625
Çeşit	2	585,974	292,987**
Hata-1	4	232,731	58,183
Doz	5	1150,571	230,114**
Çeşit*Doz	10	1773,973	177,397**
Hata-2	30	1444,170	48,139
Genel	53	5218,669	
R ²	0,723	DK	%14,076

** : $P < 0,01$, * : $P < 0,05$ SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R²: Belirtme katsayısı.

Çeşitlerin, gövde oranları %52,55 ile %44,78 arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek gövde oranı Akdarı çeşidinde iken, en düşük gövde oranı Öğretmenoğlu çeşidinde belirlenmiştir. Akdarı ve Beydarı çeşitleri birinci ortalama grubunu oluştururken, Öğretmenoğlu çeşidi ikinci ortalama grubunu oluşturmuştur.

Cr dozlarının artması gövde oranları üzerinde farklı değişikliklere sebep olmuştur. Kontrol bitkileri salkım oluştururken diğer Cr uygulanan bitkilerin salkım oluşturamaması, gövde-yaprak-salkım oranlarında düzensiz değişimlere neden olmuştur.

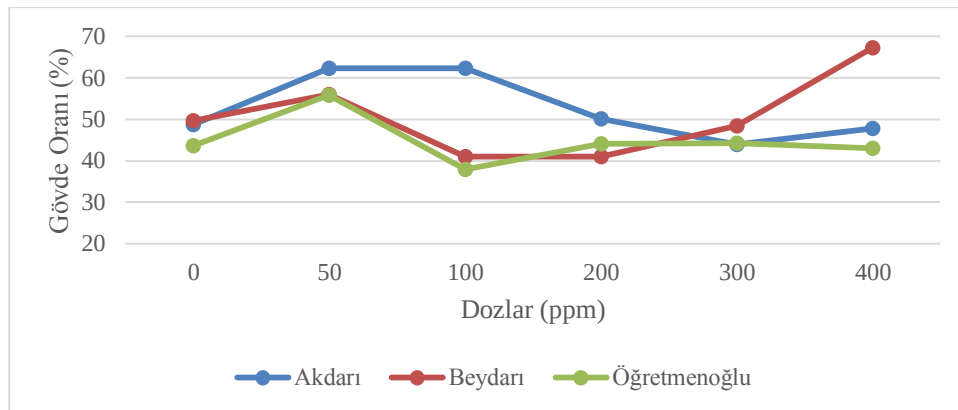
Bununla birlikte en yüksek gövde oranı (%58,02) 50 ppm Cr uygulamasından elde edilirken, en düşük gövde oranı 100, 200 ve 300 ppm Cr uygulamalarından elde edilmiştir.

Çeşit x doz interaksiyonuna baktığımızda, en yüksek gövde oranı Akdarı çeşidinin 50 ve 100 ppm Cr uygulaması ile Beydarı çeşidinin 400 ppm Cr uygulamasından elde edilmiştir. En düşük gövde oranı ise 100 ppm Cr uygulamasında Öğretmenoğlu çeşidinden elde edilmiştir.

Tablo 4.46. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövde Oranına (%) Etkisine Ait Ortalamalar

	Çeşitler			
Dozlar (ppm)	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	48,79±1,02 B-E**	49,62±1,64 B-D	43,65±0,8 DE	47,35 b**
50	62,27±0,58 A	55,94±6,19 A-C	55,85±1,04 AB	58,02 a
100	62,34±3,32 A	41,03±3,39 DE	37,88±3,87 E	47,08 b
200	50,15±10,06 B-D	41,05±7,1 DE	44,02±7,61 DE	45,08 b
300	44,01±11,83 DE	48,4±4,69 B-E	44,27±15,57 C-E	45,56 b
400	47,75±9,04 B-E	67,22±5,54 A	42,99±6,8 DE	52,65 ab
Ortalama	52,55 a**	50,55 a	44,78 b	

** %1, * %5 önemli. Büyük harfler interaksyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.24. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövde Oranlarına (%) Etkisine Ait Değişim Grafiği

Çalışmada kullanılan Cr dozları 0-50-100-200-300 ve 400 ppm şeklindedir. Uygulamadan kısa bir süre sonra tüm çeşitlerde 300 ppm ve 400 ppm Cr uygulaması yapılan bitkilerin ölümü gerçekleşmiştir. İlaveten Cr uygulamaları sağlıklı bitkiler 20-25 cm boylandıklarında yapıldığı için bitkiler bu yüksek dozdaki Cr uygulamasından 24-72 saat sonra ölmüşlerdir. Henüz çok küçük bir büyüme evresindeyken ölümlerin gerçekleştiği ve kuruma olduğu için yaprak ve gövde ayrımı çok net değildir. Ayrıca kontrol grubu dışında uygulanan hiçbir dozda bitkiler salkım oluşturmamıştır. Kullanılan üç çeşit içinde doz artışına paralel olarak gövde oranının azaldığını ya da arttığını söylemek doğru olmamaktadır; çünkü bu oranlarda kontrol grubunda salkım hesaba katılırken diğer dozlarda hem salkım olmaması hem gövde/yaprak ayrımının net yapılamaması ve bitkilerin ölmesi, gövde oranı parametresini etkilemiştir. Karunyal vd. (1994) deri sanayisi atıkları kullanılarak yapılan çalışmada kara mercimek, pamuk, börülce ve domates bitkilerine farklı dozlarda Cr içeren atıkları %25-50-75 ve 100 oranında uygulamışlar ve %75 ile %100 uygulamalarında bitkilerin öldüğünü belirtmişlerdir.

4.2.4. Yaprak Oranı (%)

Farklı Cr dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin yaprak oranlarına ait varyans analizi sonuçları Tablo 4.47’de verilmiştir. Cr dozları, çeşitlere ve doz çeşit interaksiyonuna ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.48’de ve değişim grafiği Şekil 4.25’te verilmiştir. Cr dozlarının, yaprak oranları varyans analiz sonuçlarına göre çeşit önemli ($p<0,05$) iken, doz ve doz x çeşit interaksiyonu çok önemli ($p<0,01$) bulunmuştur.

Tablo 4.47. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yaprak Oranlarına Ait Varyans Analiz Sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	35,222	17,611
Çeşit	2	387,680	193,840*
Hata-1	4	253,664	63,416
Doz	5	8493,983	1698,797**
Çeşit*Doz	10	1924,069	192,407**
Hata-2	30	1413,615	47,120
Genel	53	12508,233	
R ²	0,887	DK	%15,224

** : P<0,01, * : P<0,05 SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R²: Belirtme katsayısı.

Çeşitlerin, yaprak oranları %42,31 ile %48,71 arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek yaprak oranı Öğretmenoğlu çeşidinde iken, en düşük yaprak oranı Akdarı çeşidinde belirlenmiştir. Akdarı ve Beydarı çeşitleri ikinci ortalama grubunu oluştururken, Öğretmenoğlu çeşidi birinci ortalama grubunu oluşturmuştur.

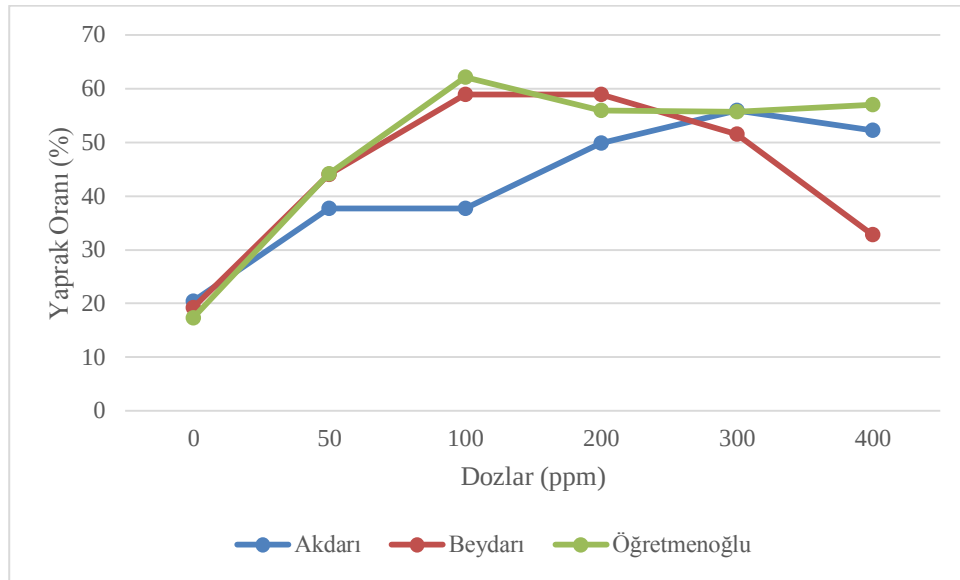
Cr dozlarının artması yaprak oranları üzerinde farklı değişikliklere sebep olmuştur. Kontrol bitkileri salkım oluştururken diğer Cr uygulanan bitkilerin salkım oluşturmaması, gövde-yaprak-salkım oranlarında düzensiz değişimlere neden olmuştur. Bununla birlikte en yüksek yaprak oranı 100, 200 ve 300 ppm Cr uygulamasından elde edilirken, en düşük yaprak oranı (%18,94) 0 ppm Cr/kontrol uygulamasından elde edilmiştir.

Çeşit x doz interaksiyonuna baktığımızda, en yüksek yaprak oranı Öğretmenoğlu çeşidinin 100 ppm Cr uygulamasından elde edilirken en düşük yaprak oranı tüm çeşitlerde 0 ppm Cr/kontrol uygulamasından elde edilmiştir.

Tablo 4.48. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yaprak Oranına (%) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	20,37±0,58 F**	19,17±0,64 F	17,29±0,9 F	18,94 c**
50	37,73±0,58 E	44,06±6,19 C-E	44,15±1,04 DE	41,98 b
100	37,66±3,32 E	58,97±3,39 AB	62,12±3,87 A	52,92 a
200	49,85±10,06 B-D	58,95±7,10 AB	55,98±7,61 AB	54,92 a
300	55,99±11,83 AB	51,6±4,69 A-D	55,73±15,57 A-C	54,44 a
400	52,25±9,04 A-D	32,78±5,54 E	57,01±6,8 AB	47,34 ab
Ortalama	42,31 b*	44,25 b	48,71 a	

** : %1, * : %5 önemli. Büyük harfler interaksiyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.25. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yaprak Oranına (%) Etkisine Ait Değişim Grafiği

Gövde oranı için bahsedilen durumlar yaprak oranı içinde geçerli olmuştur; kontrol grubunda salkım hesaplanabilirken, diğer dozlarda hem salkım olmaması hem gövde/yaprak ayrımının bitkinin öldüğü dozlarda küçük ve kurumuş olmasından dolayı net yapılamaması ve bitkilerin ölmesi yaprak oranı parametresini etkilemiştir. Bu durumla birlikte Cr toksisitesinin yapraklara olan etkileri ile ilgili yapılan çalışmalar; buğday bitkisi ile yapılan bir çalışmada besin ortamına ilave edilen 0,5 mM Cr her bir

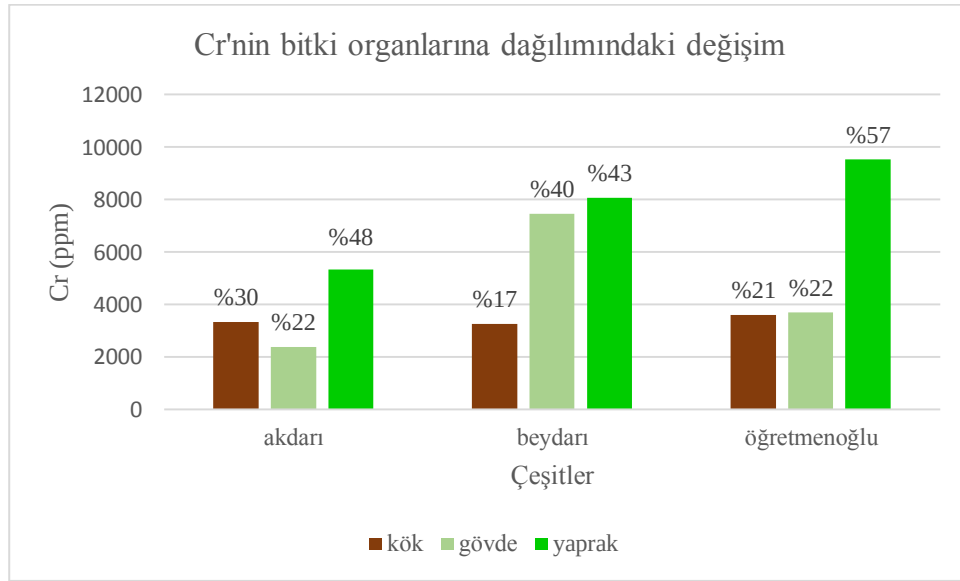
bitkide toplam yaprak sayısında %50 azalmaya neden olurken, bunun nedeninin birçok mekanizma tarafından olabileceği ve en çokta su kullanımının azalmasından kaynaklanabileceği araştırmacılar tarafından bildirilmiştir (Sharma ve Sharma 1993). Vernay vd. (2007) yaptıkları bir çalışmada, besin çözeltisindeki Cr^{+6} seviyesinin artması ile CO_2 asimilasyonunun ve *Lolium perenne* bitkisinin yapraklarında fotosistem ile ilişkili diğer parametrelerin azaldığını bildirmişlerdir. Karunyal vd. (1999) deri sanayisi atıkları kullanarak yapılan kara mercimek, pamuk, börülce ve domates bitkilerine farklı dozlarda Cr içeren deri sanayi atıkları %25-50-75 ve 100 oranında uygulamışlar ve %25 uygulamasında yaprak alanında artış gözlemlemişlerdir. Gupta vd. (2009) 0- 500 μ M Cr^{+6} uygulaması yaptıkları *Brassica juncea* cv. Varuna bitkisinde artan Cr dozları ile bitki yaş ağırlığının azaldığını, fakat bitki kuru ağırlığının ise kontrol bitkilerine kıyasla %57 daha fazla bulunduğunu bildirmişlerdir.

4.2.5. Kromun (Cr) Bitki Organları Arasındaki Dağılımı

Krom elementinin tane sorgum çeşitlerinin, bitkinin organlarındaki birikimine ait değişim grafiği Şekil 4.26'da verilmiştir. Grafik çeşitlerin tüm uygulanan dozlardaki ortalamasından elde edilen verilerle oluşturulmuştur. Yüzdelik (%) oranlar ise toprakta kalan Cr miktarından bağımsız olarak tane sorgum çeşidinin aldığı, tüm dozlardaki toplam ortalama değerler üzerinden hesaplanmıştır.

Şekil 4.26'ya bakıldığında tüm çeşitlerde en yüksek Cr birikiminin bitkinin yaprağında meydana geldiği görülmektedir. Akdarı çeşidinde birikim yaprak>kök>gövde şeklinde bir doğrultuda iken bu durum Beydarı ve Öğretmenoğlu çeşitlerinde farklılık göstermiştir. Beydarı ve Öğretmenoğlu çeşitlerinde bu durum yaprak>gövde>kök şeklinde gerçekleşmiştir.

Buradaki en önemli husus Cr'nin bitkinin kök dışındaki organlarına taşınıp taşınmamasıdır. Bu çalışmada bitkinin kromu gövde ve yapraklarına taşıdığını göstermektedir.



Şekil 4.26. Kromun (Cr) Tane Sorgum Çeşitlerinin Morfolojik Organları Arasındaki Dağılımı

4.2.6. Kökte Birikim (ppm)

Farklı Cr dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin kök bölgesindeki Cr miktarlarına ait varyans analizi sonucu Tablo 4.49'da verilmiştir. Cr dozlarının, kök bölgesinde bulunan Cr miktarları varyans analiz sonuçlarına göre doz, çeşit ve doz x çeşit etkisi çok önemli ($p < 0,01$) bulunmuştur. Cr dozları, çeşitlere ve doz x çeşit etkisi için ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.50'de ve değişim grafiği Şekil 4.27'de verilmiştir.

Tablo 4.49. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Kök Bölgelerindeki Cr Miktarlarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	1058,100	529,100
Çeşit	2	1232179,400	616089,700**
Hata-1	4	11043,600	2760,900
Doz	5	254834580,100	50966916,000**
Çeşit*Doz	10	14607012,200	1460701,200**
Hata-2	30	89716,000	2990,500
Genel	53	270775589,500	
R ²	1,000	DK	%1,609

** : $P < 0,01$, SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R²: Belirtme katsayısı.

Tane sorgum çeşitlerinin köklerinde biriktirdikleri Cr miktarlarına bakıldığında en yüksek Cr birikimini Öğretmenoğlu çeşidi (3608,35 ppm) gösterirken en düşük Cr birikimini Beydarı çeşidi (3258,80 ppm) göstermiş ve bu iki çeşit 2 farklı ortalama grubu oluşturmuştur. Akdarı çeşidi ise köklerinde Cr birikim miktarı (3328,49 ppm) olarak Beydarı çeşidini ikinci sırada izlemiş ve aynı ortalama grubunda yer almıştır.

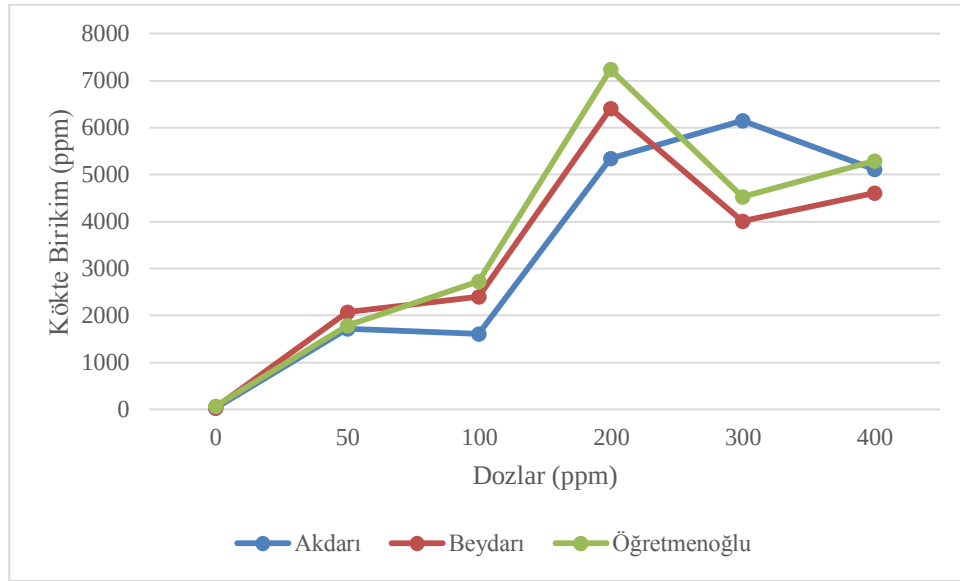
Cr dozlarının artışı ile birlikte doğru orantılı olarak kök bölgesinde de Cr miktarı artışı gözlemlenmiştir. En yüksek Cr miktarı 400 ppm Cr uygulamasında görülürken en düşük Cr birikimi 0 ppm Cr/kontrol uygulamasından elde edilmiştir.

Çeşit x doz interaksyonuna baktığımızda ise kök bölgesinde en yüksek Cr birikimi Öğretmenoğlu çeşidinin 200 ppm Cr uygulamasından elde edilirken, en düşük Cr birikimi tüm çeşitlerinin 0 ppm Cr/kontrol uygulamalarından elde edilmiştir.

Tablo 4.50. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Kök Bölgelerindeki Cr Miktarlarına (ppm) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	32,46±0,34 M**	44,91±7,22 M	66,20±5,97 M	47,86 f**
50	1721±36,17 K	2078,43±61,13 J	1790,49±8,05 K	1863,30 e
100	1614,24±1,14 L	2399,17±49,68 I	2734,33±52,21 H	2249,25 d
200	5342,15±70,57 D	6405,62±29,39 B	7235,34±51,74 A	4895,67 c
300	6150,89±118,92 C	4008,66±19,88 G	4527,48±24,56 F	5007,47 b
400	5110,18±53,54 E	4615,99±108,64 F	5296,24±46,74 D	6327,70 a
Ortalama	3328,49 b**	3258,80 b	3608,35 a	

** : %1 önemli. Büyük harfler interaksiyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.27. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Kök Bölgelerindeki Cr Miktarlarına (ppm) Ait Değişim Grafiği

Cr dozlarının artması ile birlikte bitki kök bölgesinde de Cr konsantrasyonu artış göstermiştir. Ayrıca çeşitlere bakıldığında Cr birikimi bitkinin farklı organlarında değişiklik gösterdiği görülmektedir. Akdarı çeşidi için Cr yoğunluğu sıralaması yaprak > kök > gövde şeklinde iken, Beydarı ve Öğretmenoğlu çeşitlerinde yaprak > gövde > kök şeklinde olmuştur. Vernay vd. (2008); *Datura innoxia* bitkisinin köklerinde gövdeye oranla çok daha yüksek miktarda Cr(VI) biriktirdiğini belirtmişlerdir. Simon vd. (1998) eski bir galvanizleme tesisinin çevresinde Cr ile kirlenmiş toprakta ($247 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Cr}$) yaptıkları bir çalışmada, bu alanda yetişen bitkilerde özellikle yem turpunda köklerde (160 mg kg^{-1} 'a kadar) yüksek oranda Cr birikimi gözlemlediklerini bildirmişlerdir. Golovatyj ve Bogatyreva (1999) yaptıkları bir çalışma için Cr alımının toprak özelliği ve krom konsantrasyonu ne olursa olsun köklerde diğer bitki organlarına göre daha fazla birikim olduğunu belirtmişlerdir. Genel olarak yapılan çalışmalarda birikimin bitkinin kök bölgesinde olduğu belirtilmektedir, bu bakımdan çalışmamızın sonuçları bu çalışmalarla benzerlik göstermemektedir. Bunun nedeni ise krom dozlarının çok yüksek olması ve uygulama yapıldıktan kısa bir süre sonra (24-48 saat) bitkinin büyüme gerçekleştiremeden ölmesi/tamamen kuruması durumunun olduğu düşünülmektedir. Yani bitki yoğun bir Cr alımı yapıp yapraklara ve gövdeye transfer edip daha sonra ölmüştür; bitki yaşamaya devam edebilseydi belki de bu toprak üstü organlarındaki Cr konsantrasyonunu seyreltme eğilimine gidebilirdi ya da bitki kökleri daha fazla kromu

biriktirebilirdi, bu ihtimallerde de yapılan çalışmalarda olduğu gibi en yüksek birikim belki de bitkinin köklerinde tespit edilebilirdi. Petrunina (1974) ise toprağa Cr ilavesinin bitkilerin Cr içeriğini etkilediğini ve bitkiler tarafından Cr alım hızının çeşitli toprak ve bitki faktörlerine bağlı olarak değiştiğini ifade etmiştir.

4.2.7. Gövdede Birikim (ppm)

Farklı Cr dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin gövdelerinde biriken Cr miktarlarına ait varyans analizi sonucu Tablo 4.51’de verilmiştir. Cr dozlarının gövdede biriken Cr miktarları varyans analiz sonuçlarına göre doz, çeşit ve doz x çeşit etkisi çok önemli ($p<0,01$) bulunmuştur. Cr dozları, çeşitlere ve doz x çeşit etkisine ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.52’de ve değişim grafiği Şekil 4.28’de verilmiştir.

Tablo 4.51. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövdelerinde Biriken Cr Miktarlarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	43290	21645
Çeşit	2	249299377	124649688**
Hata-1	4	83425	20856
Doz	5	2328274401	465654880**
Çeşit*Doz	10	1154036627	115403663**
Hata-2	30	229156	7639
Genel	53	3731966276	
R ²	0,1000	DK	1,935

** $P<0,01$, SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R²: Belirtme katsayısı.

Tane sorgum çeşitlerinin gövdelerinde biriktirdikleri Cr miktarlarına bakıldığında en yüksek birikimi Beydarı çeşidi (7458,39 ppm) gösterirken, en düşük birikimi Akdarı çeşidi (2386,92 ppm) göstermiş ve bu iki çeşit iki farklı ortalama grubunu oluşturmuştur. Öğretmenoğlu çeşidi ise gövdesinde Cr biriktiren en düşük ikinci çeşit (3704,01 ppm) olarak üçüncü ortalama grubunda yer almıştır.

Cr dozlarının artması ile birlikte gövdede biriken Cr miktarı da doğru orantılı olarak artış göstermiştir. En yüksek Cr birikimi (18061,14 ppm) 400 ppm Cr uygulamasında elde

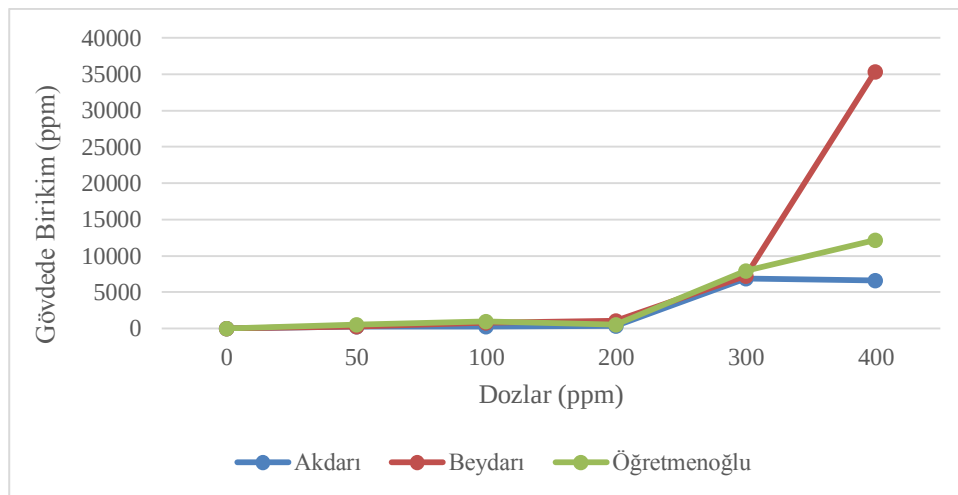
edilirken, en düşük Cr birikimi (7,32 ppm) 0 ppm Cr/kontrol uygulamasından elde edilmiştir. 100 ve 200 ppm uygulamaları aynı ortalama grubunu oluştururken diğer tüm dozlar farklı ortalama gruplarını oluşturmuştur.

Çeşit x doz interaksiyonuna bakıldığında ise gövdede en yüksek Cr birikimini 400 ppm Cr uygulamasında Beydarı çeşidi verirken, en düşük birikimi tüm çeşitlerin 0 ppm uygulaması vermiştir.

Tablo 4.52. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövdelerinde Biriken Cr Miktarlarına (ppm) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	10,96±0,78 K**	7,38±1,19 K	3,62±0,34 K	7,32 e**
50	264,23±5,27 J	274,65±3,69 J	528,88±5,97 I	355,92 d
100	285,97±5,06 J	769,48±18,56 H	982,22±30,35 G	655,86 c
200	317,63±23,75 J	1086,15±23,51 G	563,79±23,94 I	679,22 c
300	6862,65±41,16 E	7216,85±211,7 D	7938±28,59 C	7339,16 b
400	6580,06±78,37 F	35395,81±347,75 A	12207,56±21,66 B	18061,14 a
Ortalama	2386,92 c**	7458,39 a	3704,01 b	

** : %1, * : %5 önemli. Büyük harfler interaksiyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.28. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövdelerinde Biriken Cr Miktarlarına (ppm) Ait Değişim Grafiği

Çalışmada kullanılan tüm sorgum çeşitlerinde artan Cr dozları gövdede depolanan Cr miktarının artmasına neden olmuştur. Bitkiler kök bölgesinden gövdeye Cr transferini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmamızda Beydarı ve Öğretmenoğlu çeşitlerinde Cr birikimi kök bölgesinden daha fazla gövdede olmuştur. Akdarı çeşidinde ise en düşük birikim gövde de gerçekleşmiştir. Vernay vd. (2008) kromun depolanması açısından bitkinin farklı organlarına göre farklılık olduğunu yaptıkları çalışmada belirtmişlerdir. Karuppanapandian ve Manoharan (2008) Cr^{+6} 'nın bitkiler için toksisitesinin kök ve gövdede aynı düzeyde olduğunu belirtmişlerdir.

4.2.8. Yaprakta Birikim (ppm)

Farklı Cr dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin yaprağında biriken Cr miktarlarına ait varyans analizi sonucu Tablo 4.53'te verilmiştir. Cr dozlarının yapraklarda biriken Cr miktarları varyans analiz sonuçlarına göre doz, çeşit ve doz x çeşit etkisi çok önemli ($p < 0,01$) bulunmuştur. Cr dozları, çeşitlere ve doz x çeşit etkisine ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.54'te ve değişim grafiği Şekil 4.29'da verilmiştir.

Tablo 4.53. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yapraklarında Biriken Cr Miktarlarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	85639	42820
Çeşit	2	163691620	81845810**
Hata-1	4	261015	65254
Doz	5	6486429619	1297285924**
Çeşit*Doz	10	687382793	68738279**
Hata-2	30	1635010	54500
Genel	53	7339485695	
R^2	0,100	DK	%3,057

** : $P < 0,01$, SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R^2 : Belirtme katsayısı.

Tane sorgum çeşitlerinin yapraklarında biriktirdikleri Cr miktarları 5323,31- 9524,36-ppm arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek birikimi Öğretmenoğlu çeşidi gösterirken, en düşük birikimi Akdarı çeşidi göstermiş ve bu iki çeşit iki farklı ortalama

grubunu oluşturmıştır. Beydarı çeşidi ise yapraklarında Cr biriktiren en yüksek ikinci çeşit olarak üçüncü ortalama grubunu oluşturmıştır.

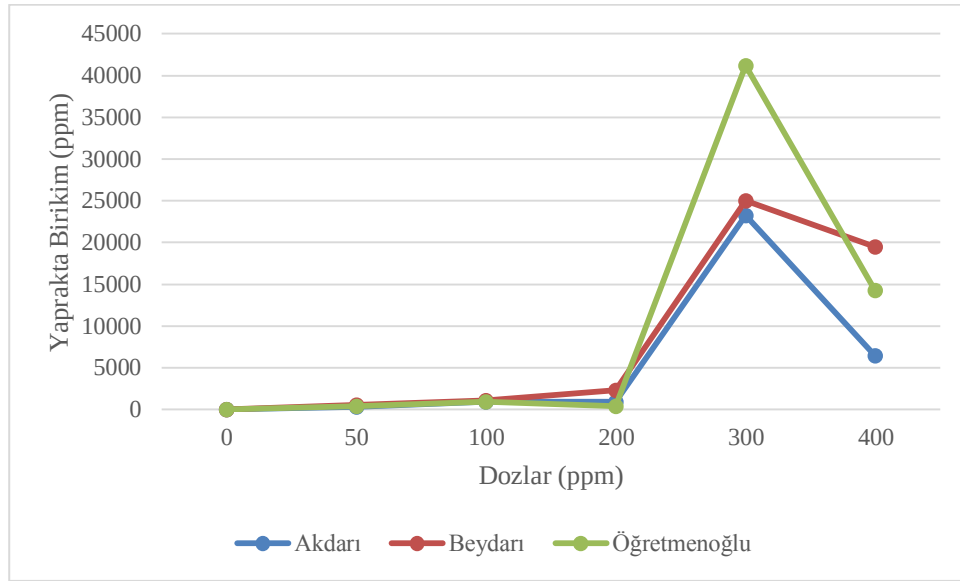
Cr dozlarının artması ile birlikte yapraklarda biriken Cr miktarında 400 ppm uygulamasına kadar artış gözlemlenmiştir. En yüksek Cr birikimi 300 ppm uygulamasında (29814,5 ppm) elde edilirken, en düşük (29,0 ppm) Cr birikimi 0 ppm/kontrol uygulamasından elde edilmiştir. 100 ve 200 ppm uygulamaları aynı ortalama grubunu oluştururken, diğer tüm dozlar farklı ortalama gruplarını oluşturmıştır.

Çeşit x doz interaksiyonuna bakıldığında ise yapraklarda en yüksek Cr birikimi 300 ppm uygulamasında Öğretmenoğlu çeşidinde gözlemlenirken, en düşük birikim tüm çeşitlerin 0 ppm/kontrol uygulamasında gözlemlenmiştir.

Tablo 4.54. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yapraklarında Biriken Cr Miktarlarına (ppm) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	32,96±8,89 J**	40,15±4,86 J	13,97±1,38 J	29,00 e**
50	340,14±15,70 IJ	516,55±13,21 I	355,47±5,73 IJ	404,10 d
100	934,31±33,15 H	1062,36±10,15 H	965,49±15,97 H	987,40 c
200	944,31±14,79 H	2295,77±70,83 G	354,57±18,79 IJ	1198,20 c
300	23272,55±33,4 C	24984,87±151,78 B	41186,12±819,53 A	29814,50 a
400	6415,59±519,84 F	19458,65±84,93 D	14270,53±100 E	13381,60 b
Ortalama	5323,31 c**	8059,72 b	9524,36 a	

*: %1 önemli. Büyük harfler interaksiyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.29. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yapraklarında Biriken Cr Miktarlarına (ppm) Ait Değişim Grafiği

Çalışmada kullandığımız tane sorgum çeşitlerinin tamamında bitkilerin yapraklarına kromun transferi gerçekleşmiştir. Artan dozlarla birlikte bitki yapraklarındaki krom konsantrasyonu da artış göstermiştir. Howe vd. (2003) yaptıkları araştırmada Cr^{+6} 'nın Cr^{+3} 'e tamamının indirgenemediğini ve kromun vasküler dokulara geçiş yapabildiğini bildirmişlerdir. Ayrıca, Cr^{+6} ve Cr^{+3} 'ün bitki yapraklarına rahat bir şekilde taşınabildiğini ifade etmişlerdir.

4.2.9. Toprakta Birikim (ppm)

Farklı Cr dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin yetiştiği toprakta alınabilir durumdaki Cr miktarlarına ait varyans analizi sonucu Tablo 4.55'te verilmiştir. Cr dozlarının, çeşitlerin yetiştiği toprakta alınabilir durumda bulunan Cr miktarları varyans analiz sonuçlarına göre doz, çeşit ve doz x çeşit etkileşimi çok önemli ($p < 0,01$) bulunmuştur. Cr dozları, çeşitlere ve doz x çeşit etkileşimine ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.56'da ve değişim grafiği Şekil 4.30'da verilmiştir.

Tablo 4.55. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yetiştigi Topraktaki Cr Miktarlarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	2,580	1,290
Ceşit	2	2163,976	1081,988**
Hata-1	4	1,665	0,416
Doz	5	27055,672	5411,134**
Ceşit*Doz	10	1774,345	177,435**
Hata-2	30	11,651	0,388
Genel	53	31009,889	
R ²	0,100	DK	%2,677

** : P<0.01, SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R²: Belirtme katsayısı.

Çeşitlerin yetiştikleri toprakta kalan Cr miktarları 18,38 ppm ile 32,22 ppm arasında değişiklik gösterdiği ve en yüksek Cr miktarının Akdarı çeşidinin yetiştigi toprakta bulunduğu, en düşük Cr miktarının Öğretmenoğlu çeşidinin yetiştigi toprakta bulunduğu belirlenmiştir. Bu çeşidi Beydarı çeşidinin yetiştigi toprak izlemiştir. Bu iki çeşidin yetiştigi toprak ikinci ortalama grubunu oluşturmuştur. Toprakta kalan Cr miktarları göz önünde bulundurulduğu zaman topraktan en fazla Cr kaldıran çeşitlerin Öğretmenoğlu ve Beydarı olduğu söylenebilir.

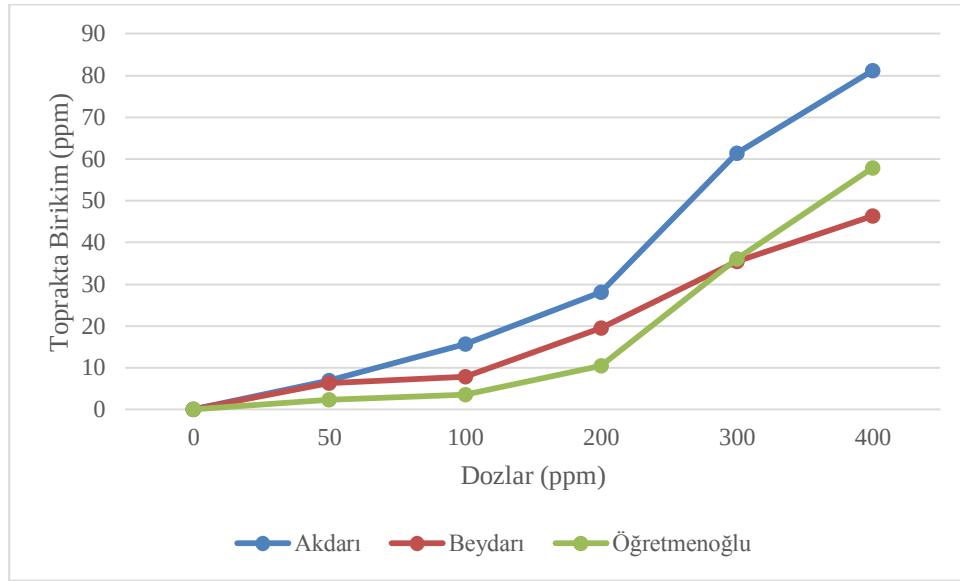
Cr dozlarının, toprakta kalan Cr miktarına etkisi incelendiğinde doz artışına paralel olarak toprakta kalan Cr miktarı da düzenli artış göstermiş ve en düşük Cr miktarı (0,033 ppm) kontrol uygulamasından elde edilirken, en yüksek Cr miktarı (61,75 ppm) 400 ppm Cr uygulamasından elde edilmiştir. Cd dozlarının her birisi LSD testine göre ayrı ortalama grubunu oluşturmuştur.

Çeşit x doz interaksyonuna baktığımızda toprakta en yüksek Cr miktarını 400 ppm Cr uygulamasında Akdarı çeşidi verirken, en düşük Cr miktarını tüm çeşitlerin 0 ppm Cr/kontrol uygulaması vermiştir.

Tablo 4.56. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yetiştigi Topraktaki Cr Miktarlarına (ppm) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	0,04±0,02 N**	0,02±00 N	0,04±0,01 N	0,03 f**
50	6,98±0,14 JK	6,32±0,11 K	2,36±0,26 M	5,22 e
100	15,69±0,16	7,9±0,13 J	3,55±0,08 L	9,05 d
200	28,04±0,52 F	19,5±0,30 G	10,42±0,32 I	19,32 c
300	61,36±0,37 B	35,39±1,99 E	36,11±0,12 E	44,29 b
400	81,18±0,78 A	46,3±1,21 D	57,78±1,06 C	61,75 a
Ortalama	32,22 a**	19,24 b	18,38 b	

** : %1, * : %5 önemli. Büyük harfler interaksiyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.30. Farklı Cr Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yetiştigi Topraktaki Cr Miktarlarına (ppm) Etkisine Ait Değişim Grafiği

Bitkilerin yetiştirildikleri toprağa uygulanan Cr miktarları arttıkça toprakta alınabilir Cr miktarı da artmıştır. Tüm çeşitlerde topraktaki kromun tamamının kullanılmadığı ancak Beydarı ve Öğretmenoğlu çeşitlerinin Akdarı çeşidine göre topraktan daha fazla Cr kaldırdığı belirlenmiştir. Kasimiyati vd. (2016) farklı sorgum çeşitlerine Cr uyguladığı çalışmada, sorgum çeşitlerinin Cr^{+3} stresine karşı büyüme tepkilerinin ve Cr alım oranlarının hem çimlenme evresinde hem de erken fide döneminde farklılık gösterdiğini

belirtmişler ve Cr^{+3} stres koşulları altında dört sorgum çeşidinin çok kuvvetli toleranslı olarak sınıflandırırken, iki çeşidi ise hassas olarak değerlendirmişlerdir. Petrunina (1974) bitkilerdeki Cr içeriğinin, temelde toprakların çözünür Cr içeriklerine bağlı olduğunu çoğu toprakta önemli miktarda Cr bulunduğunu, ancak bitkilerdeki mevcudiyetinin oldukça sınırlı olduğunu; bununla birlikte, toprağa Cr ilavesinin bitkilerin Cr içeriğini etkilediğini ve bitkiler tarafından Cr alım hızının çeşitli toprak ve bitki faktörlerine bağlı olarak değiştiğini belirtmiştir.

4.3. Nikel (Ni) Elementine Ait İncelenen Özellikler

4.3.1. Bitki Boyu (cm)

Farklı Ni dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin bitki boylarına ait varyans analizi sonuçları Tablo 4.57’de verilmiştir. Ni dozları, çeşitlere ve doz çeşit interaksyonuna ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.58’de ve değişim grafiği Şekil 4.31’de verilmiştir. Ni dozlarının, bitki boyları varyans analiz sonuçlarına göre çeşit, doz ve çeşit x doz interaksyonu çok önemli ($p<0,01$) bulunmuştur.

Tablo 4.57. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bitki Boylarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	61,460	30,730
Çeşit	2	4270,781	2135,391**
Hata-1	4	95,741	23,935
Doz	5	3112,892	622,578**
Çeşit*Doz	10	935,145	93,515**
Hata-2	30	669,762	22,325
Genel	53	9145,782	
R^2	0,927	DK	%5,502

** $P<0,01$, SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R^2 : Belirtme katsayısı.

Tane sorgum çeşitlerinin Ni stresinde bitki boylarında meydana gelen etki incelendiğinde, çeşitlerin ortalamasında bitki boylarının 73,35-92,99 cm arasında değiştiği, en yüksek bitki boyunun Akdarı çeşidinde ve en küçük bitki boyunun ise Öğretmenoğlu çeşidinde ortaya çıktığı görülmüştür. Akdarı ve Beydarı çeşitlerinin bitki boyları birinci ortalama

grubunu oluşturmuştur. Öğretmenoğlu çeşidi ise en düşük bitki boyuna sahip olarak ikinci ortalama grubunu oluşturmuştur.

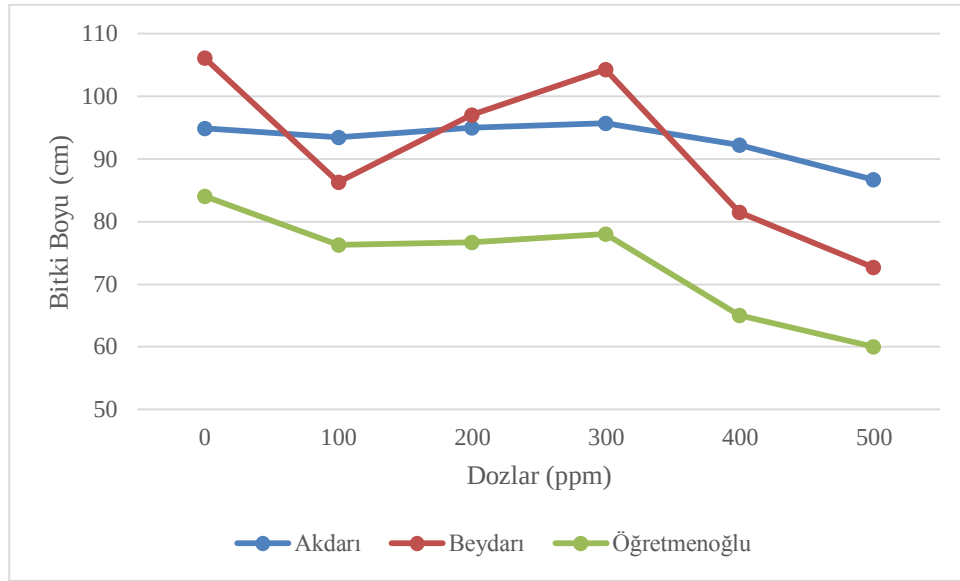
Dozların ortalamasına baktığımızda ise, artan Ni dozlarının 400 ppm uygulamasına kadar bitki boylarında artışa neden olduğu, 400 ppm ve üzeri uygulamalarda bitki boyunu azaltmaya başladığı görülmüştür. En küçük bitki boyu (73,12 cm) 500 ppm Ni uygulamasından elde edilirken, en yüksek bitki boyu (95,02 cm) kontrol grubu bitkilerinden elde edilmiştir.

Çeşit x doz interaksyonuna baktığımızda Ni uygulamasında en yüksek bitki boyu Beydarı çeşidinin 0 ppm Ni (kontrol) dozundan elde edilirken, en küçük bitki boyunun Öğretmenoğlu çeşidinin en yüksek Ni dozu olan 500 ppm uygulamasından elde edildiği görülmüştür.

Tablo 4.58. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bitki Boylarına (cm) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	94,86±4,02 C**	106,11±2,52 A	84,07±3,74 EF	95,02 a**
100	93,50±3,91 CD	86,33±4,04 DE	76,33±8,33 FG	85,39 bc
200	95,00±5,96 C	97,00±2,65 BC	76,67±5,51 FG	89,56 ab
300	95,67±0,58 C	104,33±4,04 AB	78±8,72 FG	92,67 a
400	92,20±3,70 CD	81,5±2,50 EF	65,00±70 HI	79,57 c
500	86,70±3,20 DE	72,67±2,52 GH	60,00±50 I	73,12 d
Ortalama	92,99 a**	91,33 a	73,35 b	

** : %1, * : %5 önemli. Büyük harfler interaksyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.31. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bitki Boylarına (cm) Etkisine Ait Değişim Grafiği

Çeşitlere uygulanan nikel elementi tüm çeşitlerde bazı dozlarda bitki boyunda artışa sebep olurken, bazı dozlarda azalışa neden olmuştur. Bu eğilim genellikle 300 ppm Ni uygulamasına kadar olumlu yönde olurken, üzeri dozlarda negatif yönde etkilemiştir. Chami vd. (2015) hidroponik kültürde sorgum bitkisini Ni stresi altında 6 farklı dozda yetiştirmişler ve 3. seviyedeki dozdan sonra bitkinin büyümeyi başaramadığını ifade etmişlerdir. Ahmad vd. (2007) maş fasulyesi ile yaptıkları çalışmada besin çözeltisindeki artan Ni seviyesinin belirli dozundan itibaren (40 mg L^{-1}) maş fasulyesinin büyümesinin gerilediğini bildirmişlerdir. Bitkinin Ni elementini stres olarak aldığı durumlarda bitki boyunun uzamaması yapılan çalışmalarla benzerlik içerisindedir.

4.3.2. Bitki Gövde Çapı (mm)

Farklı Ni dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin gövde çaplarına ait varyans analizi sonuçları Tablo 4.59'da verilmiştir. Ni dozları, çeşitlere ve doz çeşit interaksyonuna ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.60'da ve değişim grafiği Şekil 4.32'de verilmiştir. Ni dozlarının bitki gövde çapları varyans analiz sonuçlarına göre çeşit ve doz çok önemli ($p < 0,01$) iken, çeşit x doz interaksyonu önemsiz bulunmuştur.

Tablo 4.59. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bitki Gövde Çaplarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	9,7540	4,877
Çeşit	2	33,890	16,945**
Hata-1	4	3,905	0,976
Doz	5	32,857	6,571**
Çeşit*Doz	10	20,474	2,047
Hata-2	30	45,339	1,511
Genel	53	146,218	
R ²	0,690	DK	%11,645

** : P<0,01, * : P<0,05 SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R²: Belirtme katsayısı.

Tane sorgum çeşitlerinin Ni stresine karşı ortalamada bitki gövde çaplarının 9,46 mm ile 11,30 mm arasında değiştiği ve en kalın gövde çapının Beydarı çeşidinde ve en ince gövde çapının ise Akdarı çeşidinde ortaya çıktığı görülmüştür.

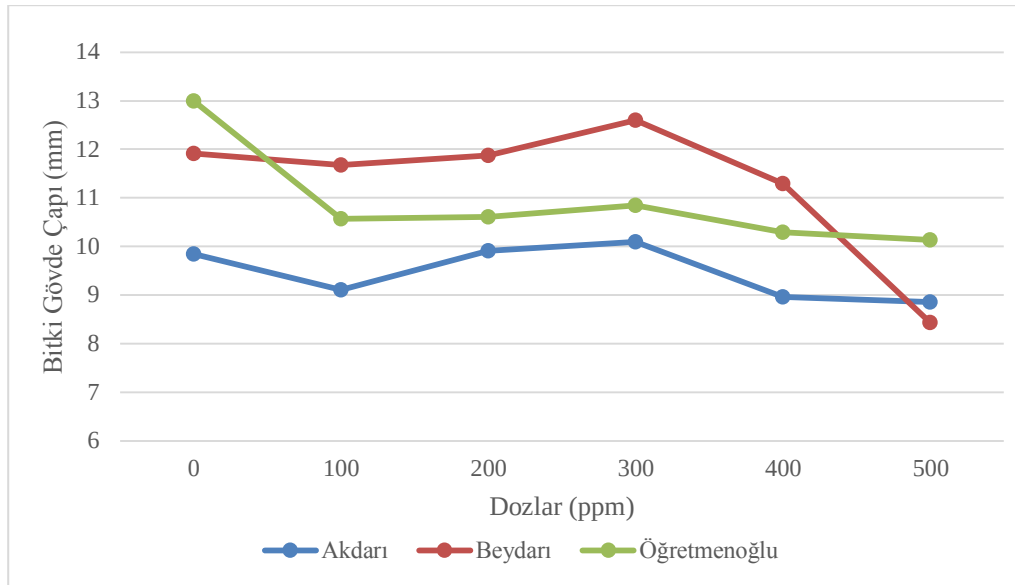
Ni dozlarının artması ile kontrol bitkileri dışındaki dozlarda 400 ppm uygulamasına kadar gövde çapında artışa sebep olmuşsa da 400 ppm ve sonraki uygulamalar bitki gövde çapını azaltmıştır. Dozların ortalamasında en ince gövde çapı (9,14 mm) 500 ppm Ni uygulamasından elde edilirken, en kalın gövde çapı (11,58 mm) kontrol grubu bitkilerinden elde edilmiştir.

Çeşit x doz ineraksiyonuna bakıldığında ise Ni bitki gövde çapı 8,85-13 mm arasında değişim göstermiştir.

Tablo 4.60. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövde Çapına (mm) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	9,84±0,58	11,91±0,8	13,00±4,33	11,58 a**
100	9,10±0,96	11,67±0,49	10,57±0,73	10,45 ab
200	9,91±0,03	11,88±0,92	10,61±1,32	10,80 a
300	10,09±1,01	12,6±0,26	10,85±0,56	11,18 a
400	8,96±0,62	11,3±0,67	10,29±0,79	10,19 ab
500	8,85±0,18	8,44±1,06	10,14±1,22	9,14 b
Ortalama	9,46 b**	11,30 a	10,91 ab	

** : %1, * : %5 önemli. Küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.32. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövde Çapına (mm) Etkisine Ait Değişim Grafiği

Bitki gövde çapı diğer bitki gelişim faktörleri gibi bitkilerin Ni elementini stres olarak algılaması ya da besin elementi olarak algılaması durumuna göre değişiklik göstermiştir. Belirli dozlarda bitki morfolojik özelliklerinde iyileşme gösterirken, belirli dozlarda olumsuz etkilendiği gözlemlenmiştir. Tsui (1955) buğday tohumlarında nikelin (Ni) etkilerini araştırmak üzere yaptığı çalışmada 100 mg kg⁻¹ Ni uygulaması yaptığı durumda bitkinin kök ve gövdesinin diğer konsantrasyonlara oranla en iyi büyüme gösterdiğini,

fakat 250 mg kg⁻¹ ve üzeri Ni uygulaması yaptığında büyümenin engellendiğini bildirmiştir. Yapılan bu çalışma çalışmamızla benzer durumlar taşımaktadır.

4.3.3. Salkım Uzunluğu (cm)

Farklı Ni dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin salkım uzunluklarına ait varyans analizi sonuçları Tablo 4.61’de verilmiştir. Ni dozları, çeşitlere ve doz çeşit interaksyonuna ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.62’de ve değişim grafiği Şekil 4.33’te verilmiştir. Ni dozlarının salkım uzunluğu varyans analiz sonuçlarına göre çeşit, doz ve çeşit x doz interaksyonu çok önemli ($p<0,01$) bulunmuştur.

Tablo 4.61. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Salkım Uzunluklarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	0,720	0,360
Çeşit	2	48,520	24,260**
Hata-1	4	10,069	2,517
Doz	5	116,201	23,240**
Çeşit*Doz	10	32,217	3,222**
Hata-2	30	21,975	0,732
Genel	53	229,702	
R ²	0,904	DK	%5,342

** $P<0,01$, * $P<0,05$ SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R²: Belirtme katsayısı.

Çeşitlerin salkım uzunlukları 15,25 cm ile 17,36 cm arasında değişiklik göstermiş ve en yüksek salkım uzunluğu Beydarı çeşidinde bulunurken, en kısa uzunluğunu Akdarı çeşidinin salkımları oluşturmuştur.

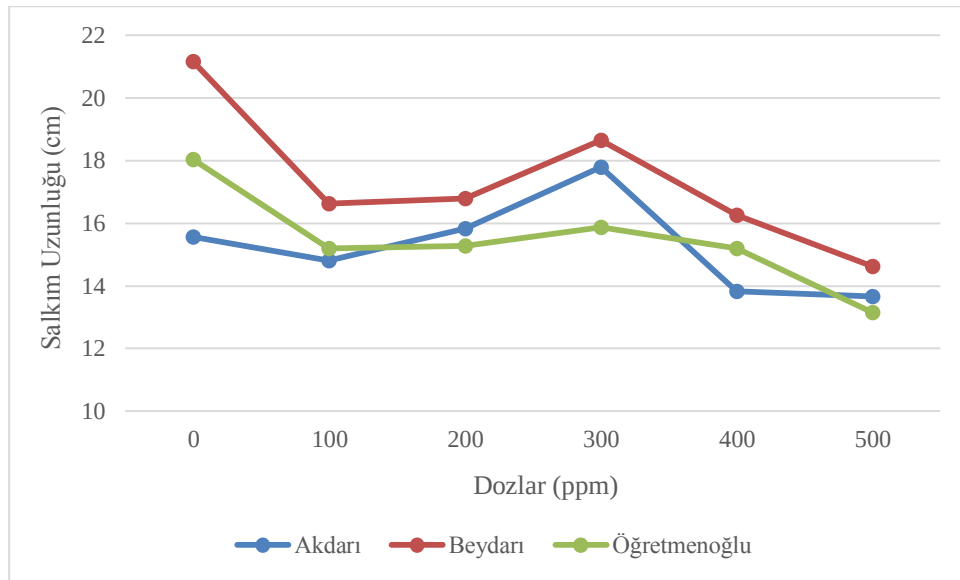
Ni dozlarının artması kontrol bitkileri dışındaki dozlarda 400 ppm uygulamasına kadar artışa sebep olmuşsa da 400 ppm ve sonraki uygulamalarda salkım uzunluğunu azaltmıştır. Ortalamada en düşük salkım uzunluğu (13,82 cm) 500 ppm Ni uygulamasından elde edilirken, en uzun salkım (18,25 cm) kontrol grubu bitkilerinden elde edilmiştir.

Çeşit x doz interaksiyonuna baktığımızda, en uzun salkım Beydarı çeşidinin 0 ppm Ni/kontrol uygulamasından elde edilirken, en kısa salkım Öğretmenoğlu çeşidinin 500 ppm Ni uygulamasından elde edilmiştir.

Tablo 4.62. Farklı Ni Dozlarının Tane Sorgum Çeşitlerinin Salkım Uzunluklarına (cm) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	15,57±1,09 E-G**	21,16±0,49 A	18,03±0,73 BC	18,25 a**
100	14,8±0,80 F-I	16,63±1,18 C-E	15,23±0,4 E-H	15,56 b
200	15,83±1,61 E-G	16,8±1,32 C-E	15,27±1,25	15,97 b
300	17,8±1,06 B-D	18,65±0,95 B	15,87±1,03 E-G	17,44 a
400	13,83±0,47 HI	16,27±0,59 D-F	15,2±1,31 E-H	15,10 b
500	13,67±0,35 HI	14,63±0,35 G-I	13,15±0,85 I	13,82 c
Ortalama	15,25 b**	17,36 a	15,45 b	

** : %1, * : %5 önemli. Büyük harfler interaksiyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.33. Farklı Ni Dozlarının Tane Sorgum Çeşitlerinin Salkım Uzunluklarına (cm) Etkisine Ait Değişim Grafiği

Kullanılan tane sorgum çeşitlerinin salkım uzunluklarının Ni elementinin stresinden etkilenme durumları dozlara bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Nikel elementinin

uygulanmasında bazı dozlar salkım uzunluğuna olumlu yanıt verirken bazı dozlarda salkım uzunluğu olumsuz etkilenmiştir. Wyszowska vd. (2007) yaptıkları çalışmada tınlı kumlu ve hafif siltli tınlı farklı iki toprağa 200 mg kg^{-1} konsantrasyonunda Ni uygulaması yapmış ve yulaf bitkisinin verimini incelemişlerdir; sırasıyla verimin %65 ve %40 oranında düştüğünü bildirmişlerdir. Bu çalışmada yulaf bitkisinin veriminin etkilenmesi durumuna benzer şekilde sorgumda da generatif organların/salkım uzunluğunun gelişme durumunun belirli dozlardan sonra olumsuz etkilenmesi benzerlik göstermektedir.

4.3.4. Bin Tane Ağırlığı (g)

Farklı Ni dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin bin tane ağırlıklarına ait varyans analizi sonuçları Tablo 4.63'te verilmiştir. Ni dozları, çeşitlere ve doz çeşit interaksiyonuna ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.64'te ve değişim grafiği Şekil 4.34'te verilmiştir. Ni dozlarının bin tane ağırlığı varyans analiz sonuçlarına göre çeşit, doz ve çeşit x doz interaksiyonu çok önemli ($p<0,01$) bulunmuştur.

Tablo 4.63. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bin Tane Ağırlıklarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	11,196	5,598
Çeşit	2	35,513	17,757**
Hata-1	4	1,911	0,478
Doz	5	579,963	115,993**
Çeşit*Doz	10	142,603	14,260**
Hata-2	30	58,986	1,966
Genel	53	830,172	
R^2	0,929	DK	%6,585

** $P<0,01$, * $P<0,05$ SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R^2 : Belirtme katsayısı.

Çeşitlerin, bin tane ağırlıkları 20,28 g ile 22,26 g arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek bin tane ağırlığı Beydarı çeşidinde iken, en düşük bin tane ağırlığı Akdarı çeşidinde olmuştur. Beydarı ve Öğretmenoğlu çeşitleri aynı ortalama grubunu oluştururken, Akdarı çeşidi farklı ortalama grubunu oluşturmuştur.

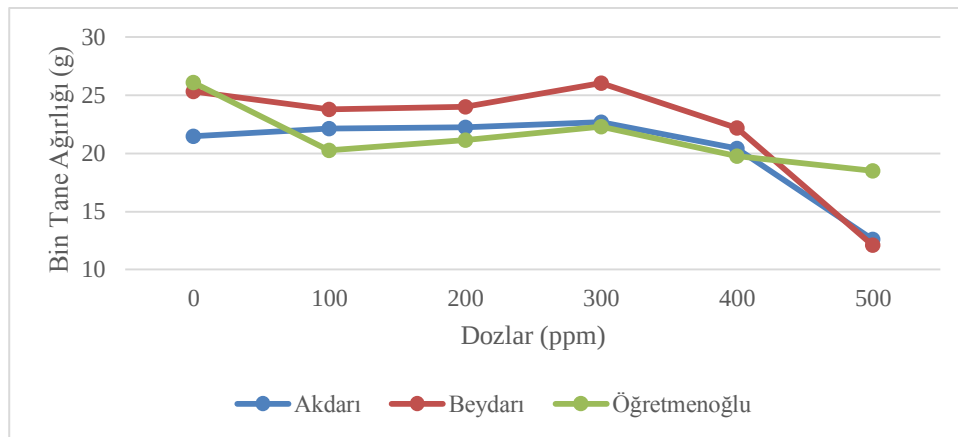
Ni dozlarının artması kontrol bitkileri dışındaki dozlarda 400 ppm uygulamasına kadar artışa sebep olmuşsa da 400 ppm ve sonraki uygulamalarda bin tane ağırlığı azaltmıştır. Ortalamada en düşük bin tane ağırlığı (14,42 g) 500 ppm Ni uygulamasından elde edilirken, en yüksek bin tane ağırlığı (24,32 g) kontrol grubu bitkilerinden elde edilmiştir.

Çeşit x doz interaksiyonuna baktığımızda, en yüksek bin tane ağırlığı Öğretmenoğlu çeşidinin 0 ppm Ni/kontrol uygulamasından elde edilirken, en düşük bin tane ağırlığı Akdarı ve Beydarı çeşitlerinin 500 ppm Ni uygulamasından elde edilmiştir.

Tablo 4.64. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bin Tane Ağırlıklarına (g) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	21,49±1,8 D-F**	25,36±0,95 AB	26,11±0,11 A	24,32 a**
100	22,15±1,35 C-E	23,78±2,28 BC	20,27±1,68 E-G	22,07 bc
200	22,25±2,22 C-E	24,03±1,34 A-C	21,14±0,9 D-F	22,47 bc
300	22,71±0,69 CD	26,06±1,20 AB	22,3±0,75 C-E	23,69 ab
400	20,44±0,71 D-G	22,2±1,40 C-E	19,76±0,49 FG	20,80 c
500	12,63±0,97 H	12,13±1,91 H	18,48±2,18 G	14,42 d
Ortalama	20,28 b**	22,26 a	21,34 a	

** %1; * %5 önemli. Büyük harfler interaksiyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir



Şekil 4.34. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Bin Tane Ağırlıklarına (g) Etkisine Ait Değişim Grafiği

Çalışmada kullanılan tüm tane sorgum çeşitlerinde bin tane ağırlığı 400 ppm dozuna kadar artış azalış şeklinde bazı değişimler sergilese de 400 ppm üzeri dozda üç çeşitte de düşüşler gözlemlenmiştir. Zengin ve Munzuroğlu (2005) nikelin toksite seviyesinde bulunduğu durumlarda klorofil üretiminin negatif şekilde etkilendiğini ve böylelikle köklerin ihtiyaç duydukları makro ve mikro elementleri gerektiği kadar alamadığını ifade ederek sonuçta bitkinin besin elementi noksanlığı çektiğini belirtmişlerdir. Besin elementi noksanlığı çeken bitki beslenemediği için taneleri zayıf kalmış ve bu durum bin tane ağırlığını olumsuz etkilemiş olabilir.

4.3.5. Gövde Oranı (%)

Farklı Ni dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin gövde oranlarına ait varyans analizi sonuçları Tablo 4.65'te verilmiştir. Ni dozları, çeşitlere ve doz çeşit interaksyonuna ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.66'da ve değişim grafiği Şekil 4.35'te verilmiştir. Ni dozlarının gövde oranları varyans analiz sonuçlarına göre çeşit, doz ve çeşit x doz interaksyonu çok önemli ($p<0,01$) bulunmuştur.

Tablo 4.65. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövde Oranlarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	8,959	4,479
Çeşit	2	82,239	41,119**
Hata-1	4	23,326	5,831
Doz	5	296,222	59,244**
Çeşit*Doz	10	238,256	23,826**
Hata-2	30	185,958	6,199
Genel	53	834,959	
R^2	0,777	DK	4,783

** $P<0,01$, * $P<0,05$ SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R^2 : Belirtme katsayısı.

Çeşitlerin, gövde oranları %50,36 ile %53,26 arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek gövde oranı Beydarı çeşidinde iken, en düşük gövde oranı Akdarı çeşidinde belirlenmiştir. Akdarı ve Öğretmenoğlu çeşitleri aynı ortalama grubunda yer alırken, Beydarı çeşidi farklı ortalama grubunda yer almıştır.

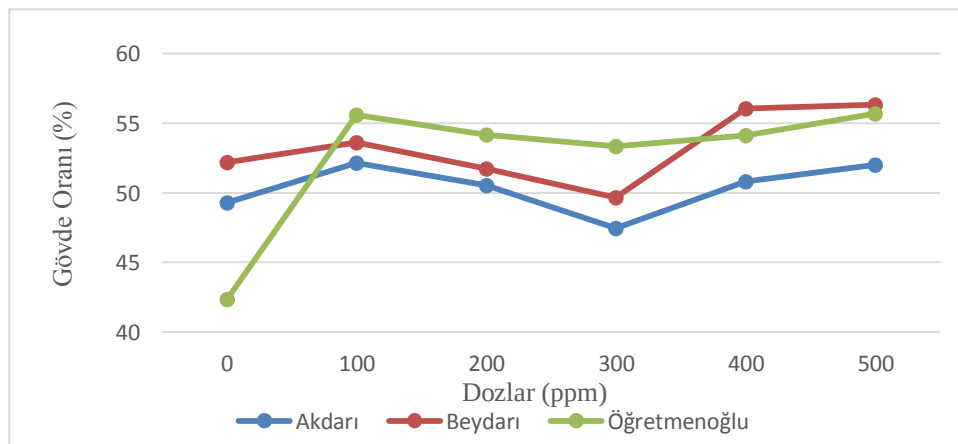
Ni dozlarının artması sonucunda 100, 400 ve 500 ppm Ni uygulamaları aynı ortalama grubuna dahil olurken, kontrol grubu bitkileri ve 200, 300 ppm Ni uygulamaları farklı ortalama grubu oluşturmuşlardır. En yüksek gövde oranı (%54,66) 500 ppm Ni uygulamasından elde edilirken, en düşük gövde oranı (%47,94) 0 ppm Ni uygulamasından elde edilmiştir.

Çeşit x doz interaksyonuna baktığımızda, en yüksek gövde oranı (%56,33) Beydarı çeşidinin 500 ppm Ni uygulamasından elde edilirken, en düşük gövde oranı (%42,36) 0 ppm Ni/kontrol uygulamasında Öğretmenoğlu çeşidinden elde edilmiştir.

Tablo 4.66. Farklı Ni dozlarının Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövde Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	49,29±0,45 FG**	52,19±0,83 A-F	42,36±0,92 H	47,94 c**
100	52,12±1,49 B-F	53,61±3,49 A-E	55,59±4,12 A-C	53,77 a
200	50,51±3,84 D-G	51,71±1,10 C-F	54,17±1,86 A-D	52,12 ab
300	47,44±0,51 G	49,68±3,18 E-G	53,34±0,97 A-F	50,15 bc
400	50,81±0,92 D-G	56,07±3,98 AB	54,14±0,92 A-D	53,67 a
500	52,00±4,07 B-F	56,33±2,11 A	55,67±2,58 A-C	54,66 a
Ortalama	50,36 b**	53,26 a	50,54 b	

** : %1, * : %5 önemli. Büyük harfler interaksyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.35. Farklı Ni dozlarının Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövde Oranlarına (%) Etkisine Ait Değişim Grafiği

Çalışmamızda gövde oranı; bitkinin sahip olduğu yaprak ve salkımın da hesaba katıldığı oranlama ile belirlenmiştir. Bu durumda çeşitler incelendiğinde yaprak oranının fazla değişmediği, değişimin salkım oranının artması ya da azalmasıyla gövde oranının da artması ve azalması paralelinde olmuştur. Diğer morfolojik parametrelerde nikel elementi bize aynı şekilde bazı dozlarda artışı gözlemlememize sebep olurken, bazı dozlarda azalışı gözlemlememize neden olmuştur. Bitkilerin nikelden olumsuz etkilendiği durumlarda generatif kısımlarda olumsuz etkilenmiş, bu salkım oranının düşmesine neden olurken, gövde oranının artmasına sebep olmuştur. Fitotoksik Ni konsantrasyonları bitki türleri ve çeşitlerine göre geniş çapta değişmektedir ve çeşitli bitkiler için 40 ila 246 mg kg⁻¹ aralığında olduğu rapor edilmiştir (Gough vd. 1979). Bitkilere karşı Ni toksisitesinin mekanizması tam olarak anlaşılmamıştır, ancak bu metalin fazlalığı nedeniyle bitkilerin sınırlı büyümesi oldukça uzun bir süre boyunca gözlemlenmiştir (Kabata-Pendias 2011). Araştırmacıların belirttiği durumlar benzer şekilde bu duruma neden olmuş olabilir.

4.3.6. Yaprak Oranı (%)

Farklı Ni dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin yaprak oranlarına ait varyans analizi sonuçları Tablo 4.67’de verilmiştir. Ni dozları, çeşitlere ve doz çeşit interaksiyonuna ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.68’de ve değişim grafiği Şekil 4.36’da verilmiştir. Ni dozlarının, yaprak oranları varyans analiz sonuçlarına göre çeşit, doz ve doz x çeşit interaksiyonu önemli ($p < 0,01$) çok önem bulunmuştur.

Tablo 4.67. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yaprak Oranlarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	0,657	0,329
Çeşit	2	256,167	128,084**
Hata-1	4	9,094	2,273
Doz	5	175,545	35,109**
Çeşit*Doz	10	200,343	20,034**
Hata-2	30	140,200	4,673
Genel	53	782,006	
R ²	0,821	DK	%9,639

** $p < 0,01$, * $p < 0,05$ SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R²: Belirtme katsayısı.

Çeşitlere ait yaprak oranları ortalamaları %20,12 ile %25,35 arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek yaprak oranı Öğretmenoğlu çeşidinde gözlemlenirken, en düşük yaprak oranı Akdarı çeşidinde gözlemlenmiştir. Öğretmenoğlu çeşidi birinci ortalama grubunu oluştururken, Akdarı ve Beydarı çeşitleri ikinci ve aynı ortalama grubunu oluşturmuştur.

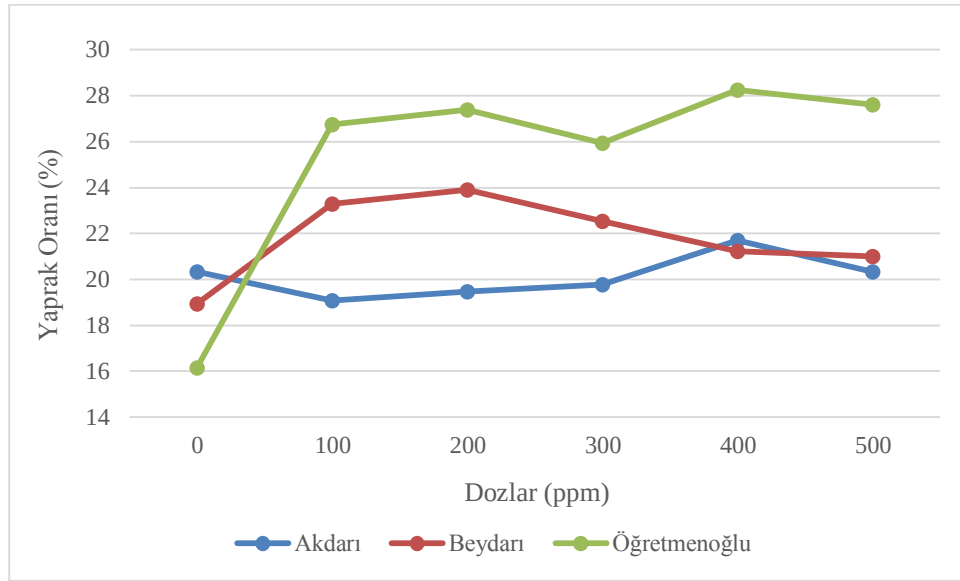
Ni dozlarının artması sonucunda 0 ppm Ni/kontrol uygulaması hariç diğer tüm dozlarda yaprak oranları aynı ortalama grubuna dahil olmuştur. En yüksek yaprak oranı (%23,72) 400 ppm Ni uygulamasında görülürken, en düşük yaprak oranı (%18,47) 0 ppm Ni uygulamasında görülmüştür.

Çeşit x doz interaksiyonuna baktığımızda ise, en yüksek yaprak oranı (%28,25) Öğretmenoğlu çeşidinin 400 ppm dozundan elde edilirken, bu grupta aynı çeşidin 200 ve 500 ppm uygulamaları da yer almıştır ve en düşük yaprak oranı (%16,14) yine Öğretmenoğlu çeşidinin 0 ppm Ni/kontrol uygulamasından elde edilmiştir.

Tablo 4.68. Farklı Ni dozlarının Tane Sorgum Çeşitlerinin Yaprak Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	20,33±0,15 E-G**	18,93±0,33 GH	16,14±0,07 H**	18,47 b
100	19,09±2,19 GH	23,3±4,40 C-E	26,76±2,55 AB	23,05 a
200	19,48±2,29 F-H	23,9±0,97 B-D	27,39±2,61 A	23,59 a
300	19,78±0,84 FG	22,55±3,37 C-F	25,94±0,34 A-C	22,76 a
400	21,69±1,65 D-G	21,22±2,84 D-G	28,25±1,13 A	23,72 a
500	20,34±0,51 E-G	21,01±1,91 D-G	27,6±1,74 A	22,98 a
Ortalama	20,12 b**	21,82 b	25,35 a	

** : %1, * : %5 önemli. Büyük harfler interaksiyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.36. Farklı Ni dozlarının Tane Sorgum Çeşitlerinin Yaprak Oranlarına (%) Etkisine Ait Değişim Grafiği

Dozların artması ile birlikte kontrol dışında tüm dozlar aynı ortalama grubunda yer almıştır; yani bitkiler Ni elementi doz artışında yaprak oranında önemli bir değişiklik yaşamamıştır. Oranların değişimini genellikle salkım ve gövde kısımları belirlemiştir. Tiffin (1972) Ni'nin ksilem içinde anyonik ve organik komplekslere bağlı olduğunu ve Ni taşınımının ve depolanmasının metabolik olarak kontrol ediliyor gibi görünse de Ni'in bitkilerde hareketli olduğunu bildirmiştir. Çalışmamızda yaprak oranının büyük değişimler yaşamaması belki de Ni elementinin bitkideki bu hareketliliğinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, daha önceleri nikelin bitki metabolizmasında önemli bir rol oynadığına dair bir kanıt yoktu ancak bazı araştırmacılar (Mishra ve Kar 1974; Mengel ve Kirkby 1978) nikelin bitkiler için önemli olabileceğini öne sürmüşlerdir. Ni stresi altındaki bitkilerde, besin maddelerinin emilimi, kök gelişimi ve metabolizması olumsuz etkilenir. Genellikle Ni toksisite semptomları belirginleşmeden önce, bitki dokularında bu metalin yüksek konsantrasyonlarının fotosentezi ve terlemeyi engellediği bilinmektedir (Bazzaz vd. 1974). Bu çalışmalar nikelin bitki metabolizmasında hem olumlu hemde olumsuz fizyolojik değişimlere sebep olabileceğini göstermektedir.

4.3.7. Salkım Oranı (%)

Farklı Ni dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin salkım oranlarına ait varyans analizi sonuçları Tablo 4.69'da verilmiştir. Ni dozları, çeşitlere ve doz çeşit interaksiyonuna ait

ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.70’de ve değişim grafiği Şekil 4.37’de verilmiştir. Ni dozlarının, çeşitlerin salkım oranına etkisinin varyans analiz sonuçlarına göre doz, çeşit ve doz x çeşit interaksyonu çok önemli ($p<0,01$) bulunmuştur.

Tablo 4.69. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Salkım Oranlarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	2,956	1,478
Çeşit	2	523,334	261,667**
Hata-1	4	9,195	2,299
Doz	5	771,165	154,233**
Çeşit*Doz	10	645,633	64,563**
Hata-2	30	107,873	3,596
Genel	53	2060,157	
R^2	0,948	DK	%7,455

** $P<0,01$, * $P<0,05$ SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R^2 : Belirtme katsayısı.

Çeşitlerin salkım oranları %21,92 ile %29,48 arasında değişiklik göstermiş ve en yüksek salkım oranı Akdarı çeşidinden, en düşük salkım oranı Öğretmenoğlu çeşidinden elde edilmiştir. Tüm çeşitler farklı ortalama grubuna dahil olmuşlardır.

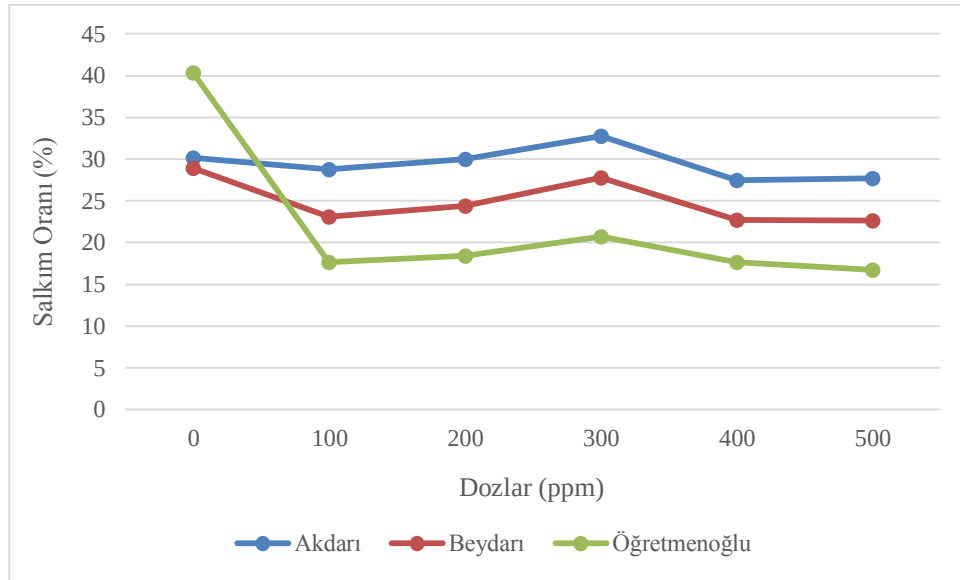
Ni dozlarının bitkilerin salkım oranlarına etkisi incelendiğinde, kontrol grubu en yüksek salkım oranına (%32,12) sahip olarak birinci ortalama grubunu oluşturmuştur. 300 ppm Ni uygulaması ikinci en yüksek salkım oranını meydana getirerek ikinci ortalama grubunu oluşturmuştur. 500 ppm Ni uygulaması en düşük salkım oranını (%22,35) oluşturarak 100, 200 ve 400 ppm uygulamaları ile aynı ortalama grubunda yer almıştır.

Çeşit x doz interaksyonuna baktığımızda, en yüksek salkım oranı (%40,31) Öğretmenoğlu çeşidinin 0 ppm Ni/kontrol uygulamasında ve en düşük salkım oranı (%16,74) ise aynı çeşidin 500 ppm Ni uygulamasında elde edilmiştir.

Tablo 4.70. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Salkım Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	30,15±0,25 BC**	28,89±0,34 C	40,31±0,53 A	33,12 a**
100	28,79±2,11 C	23,09±1,95 DE	17,65±2,04 FG	23,18 c
200	30,01±1,56 BC	24,4±2 D	18,44±2,44 FG	24,28 c
300	32,78±1,01 B	27,77±1,16 C	20,72±1,3 EF	27,09 b
400	27,5±2,47 C	22,71±1,16 DE	17,61±0,63 FG	22,61 c
500	27,66±3,57 C	22,66±3,06 DE	16,74±0,85 G	22,35 c
Ortalama	29,48 a**	24,92 b	21,92 c	

** : %1, * : %5 önemli. Büyük harfler interaksiyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.37. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Salkım Oranlarına (%) Ait Değişim Grafiği

Çalışmada kullandığımız tane sorgum çeşitlerinden Beydarı ve Öğretmenoğlu çeşitlerinin salkım oranları en yüksek kontrol bitkisinde belirlenmiştir, yani Ni uygulaması kullandığımız en düşük dozda bile bu iki çeşitte salkım oranının azalmasına sebep olmuştur. Akdarı çeşidinde ise 300 ppm dozunda en yüksek salkım oranına rastlanılmıştır. *Capsicum frutescens* L. (paprika) ve *Lycopersicon esculentum* L. (domates) bitkilerine belirli konsantrasyonlarda Ni uygulandığında $1 \mu\text{g L}^{-1}$ dozuna kadar

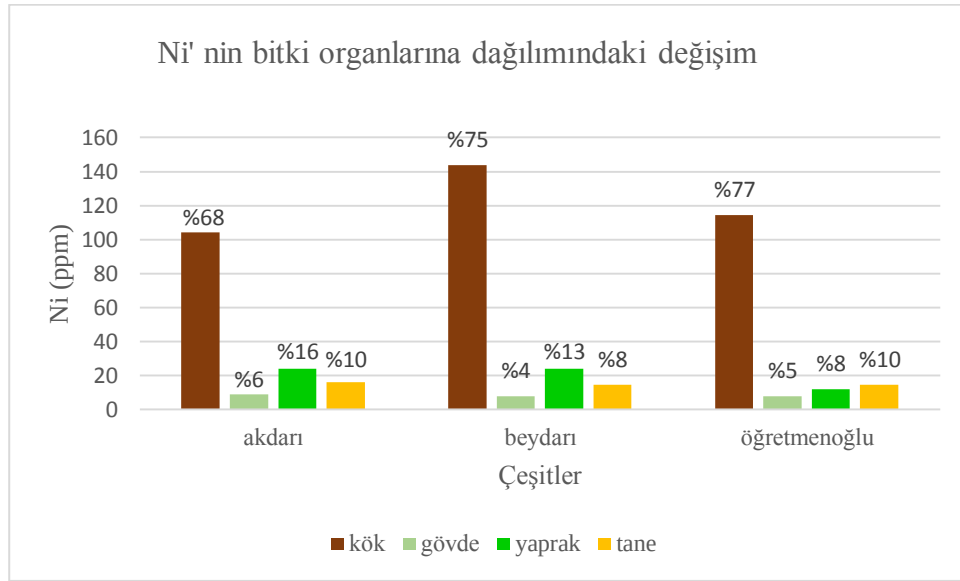
olan seviyelerde bitki büyümesinin ve gelişmesinin olumlu yönde ilerlediği, ancak $1 \mu\text{g L}^{-1}$ seviyesinden sonra uygulanan daha yüksek dozlarda bitkinin strese girdiği ve $1 \mu\text{g L}^{-1}$ den yüksek dozların toksik olduğu bildirilmiştir (Pais vd. 1970). Ni fazlalığının, Fe'nin köklerden tepelere taşınmasını önleyerek gerçek bir Fe eksikliğine neden olduğuna da inanılmaktadır (Wyszkowska vd. 2007). Rombola ve Tagliavini (2006) ise demir elementinin meyve/tane verim ve kalitesini önemli ölçüde etkilediğini belirtmişlerdir. Nikel elementinin stres olarak algılandığı dozlarda Fe elementinin noksanlığı ihtimali ve bu olumsuzluğun ise tohum/salkım oranının azalmasına sebep olabildiği düşünülmektedir.

4.3.8. Nikelin (Ni) Bitki Organları Arasındaki Dağılımı

Nikel elementinin tane sorgum çeşitlerinin, bitkinin organlarındaki birikimine ait değişim grafiği Şekil 4.38'de verilmiştir. Grafik çeşitlerin tüm uygulanan dozlardaki ortalamasından elde edilen verilerle oluşturulmuştur. Yüzdelik oranlar ise toprakta kalan Ni miktarından bağımsız olarak tane sorgum çeşidinin aldığı, tüm dozlardaki toplam ortalama değerler üzerinden hesaplanmıştır.

Şekil 4.38'e bakıldığında tüm çeşitlerde en yüksek Ni birikimi bitkinin kök bölgesinde olmuştur. Akdarı ve Beydarı çeşitlerinde Ni birikimi bitki organları arasında konsantrasyona göre kök>yaprak>tane>gövde şeklinde bir eğilim izlerken, Öğretmenoğlu çeşidinde ise kök>tane>yaprak>gövde şeklinde sıralama gözlenmiştir. Tüm çeşitlerde en az birikim bitkinin gövdesinde gerçekleşmiştir.

Buradaki en önemli husus Ni'yi bitkinin tanelerine taşıyıp taşımayışdır; çalışmamızda kullanılan tüm çeşitlerimizde bitki tanelerine Ni taşınımını birbirine benzer oranda gerçekleştirmiştir.



Şekil 4.38. Nikelin (Ni) Bitki Organları Arasındaki Dağılımı

4.3.9. Kökte Ni Birikimi (ppm)

Farklı Ni dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin kök bölgesindeki Ni miktarlarına ait varyans analizi sonucu Tablo 4.71’de verilmiştir. Ni dozlarının kök bölgesinde bulunan Ni miktarları varyans analiz sonuçlarına göre doz, çeşit ve doz x çeşit etkisi çok önemli ($p < 0,01$) bulunmuştur. Ni dozları, çeşitlere ve doz x çeşit etkisi için ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.72’de ve değişim grafiği Şekil 4.39’da verilmiştir.

Tablo 4.71. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Kök Bölgelerindeki Ni Miktarlarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	29,537	14,768
Çeşit	2	15339,455	7669,727**
Hata-1	4	122,011	30,503
Doz	5	74441,626	14888,325**
Çeşit*Doz	10	33415,813	3341,581**
Hata-2	30	1262,668	42,089
Genel	53	124611,109	
R ²	0,990	DK	5,370

** : $P < 0,01$, * : $P < 0,05$ SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R²: Belirtme katsayısı.

Tane sorgum çeşitlerinin köklerinde biriktirdikleri Ni miktarları 104,14-143,91-ppm arasında değişmiştir. En yüksek Ni birikimini Beydarı çeşidi gösterirken en düşük Ni birikimini Akdarı çeşidi göstermiş ve bu iki çeşit 2 farklı ortalama grubu oluşturmuştur. Öğretmenoğlu çeşidi ise köklerinde Ni birikim miktarı olarak Akdarı çeşidini ikinci sırada izlemiştir ve farklı bir ortalama grubunda yer almıştır.

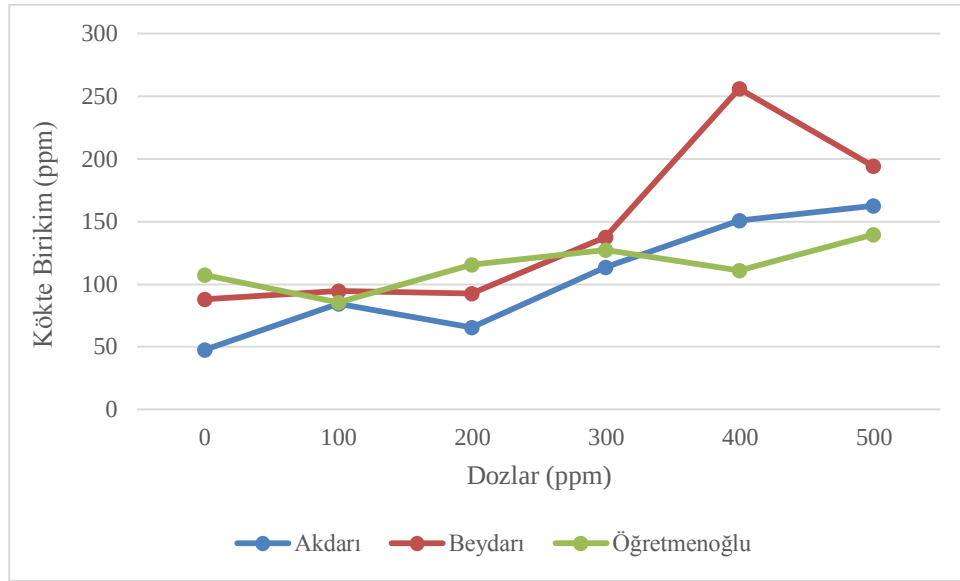
Ni dozlarının artışı ile birlikte kök bölgesinde de Ni miktarı artışı göstermiştir. En yüksek Ni miktarı (172,85 ppm) 400 ppm Ni uygulamasında görülürken, bu uygulama ile aynı ortalama grubunda yer alan 500 ppm Ni uygulaması en yüksek ikinci birikim miktarını oluşturmuştur. Kök bölgesinde en düşük Ni birikimi (80,93 ppm) 0 ppm Ni/kontrol uygulamasından elde edilmiştir.

Çeşit x doz interaksiyonuna bakıldığında ise kök bölgesinde en yüksek Ni birikimi Beydarı çeşidinin (256,44 ppm) 400 ppm Ni uygulamasından elde edilirken, en düşük Ni birikimi Akdarı çeşidinin (47,39 ppm) 0 ppm Ni/kontrol uygulamasından elde edilmiştir.

Tablo 4.72. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Kök Bölgelerindeki Ni Miktarlarına (ppm) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	47,39±6,29 J**	87,98±8,80 H	107,43±3,28 G	80,93 d**
100	84,56±2,77 H	94,50±5,58 H	85,35±3,59 H	88,14 cd
200	65,59±5,86 I	92,72±4,61 H	115,36±3,19 G	91,22 c
300	113,73±0,85 G	137,43±3,62 EF	127,6±6,51 F	126,25 b
400	151,1±7,08 D	256,44±16,7 A	111,01±7,41 G	172,85 a
500	162,46±2,11 C	194,36±2,02 B	139,79±3,65 E	165,54 a
Ortalama	104,14 c**	143,91 a	114,42 b	

** : %1, * : %5 önemli. Büyük harfler interaksiyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.39. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Kök Bölgelerindeki Ni Miktarlarına (ppm) Ait Değişim Grafiği

Çalışmada kullandığımız üç tane sorgum çeşidi de en yüksek Ni birikimini kök bölgesinde göstermiştir. Tane sorgum çeşitlerine Ni uygulaması ile birlikte dozların artmasına paralel olarak bitki köklerinin de Ni içerikleri artış göstermiştir. Revoredo ve Melo (2006) sorgum bitkisini Ni ihtiva eden atık çamurda yetiştirdikleri çalışmada sorgum bitkisinin Ni alımının da dozlara bağlı olarak yaklaşık %39-101-152 ve 171 oranında arttığını ifade etmişlerdir. Asemaneh vd. (2006), Ni'nin yaprak epidermis hücrelerinde yoğunlaşmasının olası olduğunu bununla birlikte, çoğu bitkide nikelin çoğunlukla köklerde biriktiğini bildirmişlerdir. Çalışmamızın sonuçları bu çalışmalar ile uyum içerisinde.

4.3.10. Gövdede Ni Birikimi (ppm)

Farklı Ni dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin gövdelerinde biriken Ni miktarlarına ait varyans analizi sonucu Tablo 4.73'te verilmiştir. Ni dozlarının gövdede biriken Ni miktarları varyans analiz sonuçlarına göre doz, çeşit ve doz x çeşit etkisi çok önemli ($p < 0,01$) bulunmuştur. Ni dozları, çeşitlere ve doz x çeşit etkisine ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.74'te ve değişim grafiği Şekil 4.40'ta verilmiştir.

Tablo 4.73. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövdelerinde Biriken Ni Miktarlarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	0,100	0,050
Çeşit	2	13,410	6,705**
Hata-1	4	1,973	0,493
Doz	5	254,455	50,891**
Çeşit*Doz	10	238,605	23,860**
Hata-2	30	7,351	0,245
Genel	53	515,894	
R ²	0,986	DK	%6,006

** : P<0,01, SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R²: Belirtme katsayısı.

Tane sorgum çeşitlerinin gövdelerinde biriktirdikleri Ni miktarları 7,86-8,95 ppm arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek birikimi Akdarı çeşidi gösterirken, en düşük birikimi Öğretmenoğlu çeşidi göstermiş ve bu iki çeşit iki farklı ortalama grubunu oluşturmuştur. Beydarı çeşidi ise gövdesinde Ni biriktiren en düşük ikinci çeşit olarak Öğretmenoğlu çeşidini izlemiştir.

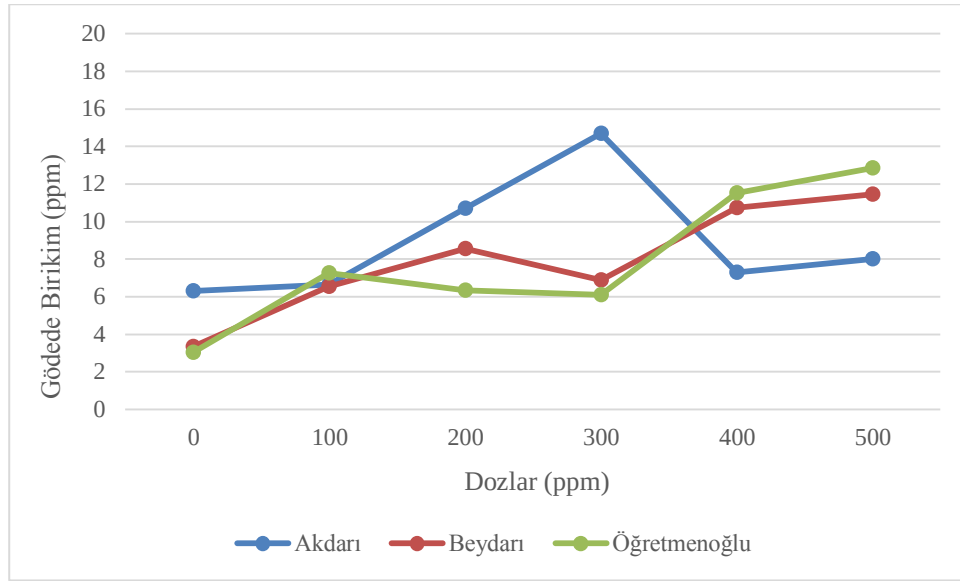
Ni dozlarının artması ile birlikte gövdede biriken Ni miktarı artış göstermiştir. En yüksek Ni birikimi 500 ppm uygulamasında (10,78 ppm) elde edilirken, en düşük Ni birikimi 0 ppm Ni/kontrol uygulamasından elde edilmiştir. 300 ve 400 ppm uygulamaları aynı ortalama grubunu oluştururken, diğer tüm dozlar farklı ortalama gruplarını oluşturmuştur.

Çeşit x doz interaksyonuna bakıldığında ise gövdede en yüksek Ni birikimini (14,7 ppm) 300 ppm uygulamasında Akdarı çeşidi verirken, en düşük birikimini (3,04 ppm) Öğretmenoğlu çeşidi 0 ppm Ni/kontrol uygulamasında vermiştir.

Tablo 4.74. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövdelerinde Biriken Ni Miktarlarına (ppm) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	6,30±1,22 G**	3,34±0,81 H	3,04±0,59 H	4,22 e**
100	6,64±0,14 FG	6,55±0,53 FG	7,25±0,28 EF	6,81 d
200	10,72±0,61 C	8,55±0,66 D	6,35±0,31 G	8,54 c
300	14,7±0,39 A	6,88±0,48 FG	6,12±0,20 G	9,23 b
400	7,30±0,28 EF	10,75±0,48 C	11,51±0,28 C	9,86 b
500	8,01±0,18 DE	11,47±0,19 C	12,86±0,22 B	10,78 a
Ortalama	8,95 a**	7,92 ab	7,86 b	

** : %1, * : %5 önemli. Büyük harfler interaksiyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.40. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Gövdelerinde Biriken Ni Miktarlarına (ppm) Ait Değişim Grafiği

Kullanılan tane sorgum çeşitlerinin gövdelerinde ihtiva ettikleri Ni birikimine bakıldığında, artan Ni dozları ile doz artışına paralel olarak gövdede de birikimin arttığı belirlenmiştir. Çeşitlerin bu Ni birikimini hangi organlarında yaptığını incelediğimizde ise, üç çeşidinde gövdelerine Ni taşınımının söz konusu olduğu, ancak diğer organlarına göre en az gövdelerinde bu birikimin gerçekleştiği belirlenmiştir. Berrow ve Burrige (1981) nikelin genellikle bitkilerden tarafından topraklardan kolayca emildiğini ve bitki

içeriklerinin, topraklardaki Ni formlarının yansıması olduğunu bildirmişlerdir. Chami vd. (2015) yaptıkları çalışmada, *Sorghum bicolor* bitkisinin nikel (Ni) uygulanan hoagland solüsyonunda yetiştirmişlerdir ve sürgünlerdeki Ni içeriğinin köklerden az olduğunu bildirmişlerdir. Yapılan bu çalışmalar çalışmamızdaki sonuçlar ile benzerlik göstermektedir.

4.3.11. Yaprakta Ni Birikimi (ppm)

Farklı Ni dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin yaprağında biriken Ni miktarlarına ait varyans analizi sonucu Tablo 4.75'te verilmiştir. Ni dozlarının yapraklarda biriken Ni miktarları varyans analiz sonuçlarına göre doz, çeşit ve doz x çeşit etkisi çok önemli ($p < 0,01$) bulunmuştur. Ni dozları, çeşitlere ve doz x çeşit etkisine ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.76'da ve değişim grafiği Şekil 4.41'de verilmiştir.

Tablo 4.75. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yapraklarında Biriken Ni Miktarlarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	1,410	0,705
Çeşit	2	1717,024	858,512**
Hata-1	4	0,719	0,180
Doz	5	3596,658	719,332**
Çeşit*Doz	10	1543,428	154,343**
Hata-2	30	22,219	0,741
Genel	53	6881,459	
R ²	0,997	DK	%4,322

** $P < 0,01$, SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R²: Belirtme katsayısı.

Tane sorgum çeşitlerinin yapraklarında biriktirdikleri Ni miktarları 11,94-24,01 ppm arasında değişim göstermiştir. En yüksek birikimi Akdarı çeşidi gösterirken, en düşük birikimi Öğretmenoğlu çeşidi göstermiş ve bu iki çeşit iki farklı ortalama grubunu oluşturmuştur. Beydarı çeşidi ise yapraklarında Ni biriktiren en yüksek ikinci çeşit olarak Akdarı ile aynı ortalama grubunda yer almıştır.

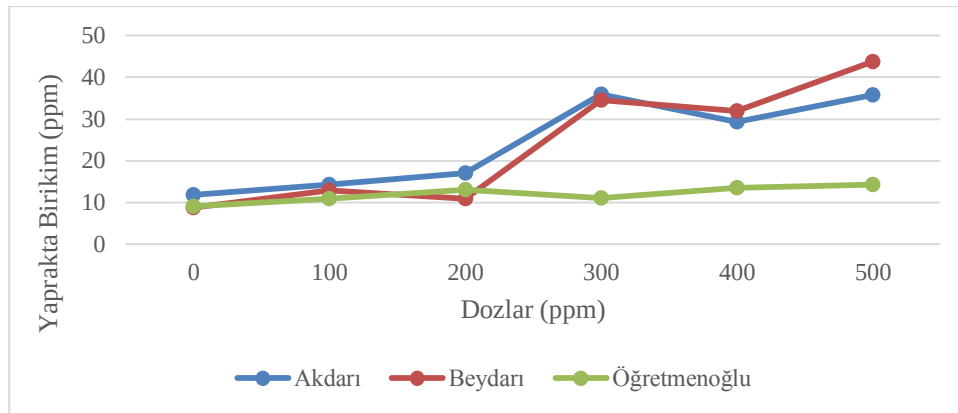
Ni dozlarının artması ile birlikte yapraklarda biriken Ni miktarında 400 ppm uygulamasına kadar düzenli artış gözlemlenmiştir. En yüksek Ni birikimi 500 ppm Ni uygulamasında (31,26 ppm) elde edilirken, en düşük Ni birikimi 0 ppm Ni/kontrol uygulamasından elde edilmiştir. 100 ve 200 ppm uygulamaları aynı ortalama grubunu oluştururken diğer tüm dozlar farklı ortalama gruplarını oluşturmuştur.

Çeşit x doz interaksiyonuna bakıldığında ise yapraklarda en yüksek Ni birikimini (43,77 ppm) 500 ppm uygulamasında Beydarı çeşidi verirken, en düşük birikimi (8,71 ppm) Beydarı çeşidi 0 ppm/kontrol uygulamasında vermiştir.

Tablo 4.76. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yapraklarında Biriken Ni Miktarlarına (ppm) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	11,77±1,59 IJ**	8,71±0,90 K	9,02±0,47 K	9,83 e**
100	14,27±0,24 G	12,89±0,81 HI	10,82±0,1 J	12,66 d
200	17,00±0,88 F	10,95±0,76 J	13,02±0,99 GHI	13,66 d
300	35,98±0,92 B	34,52±1,17 C	11,02±0,86 J	27,18 b
400	29,33±0,1 E	31,9±1,56 D	13,48±0,08 GH	24,90 c
500	35,72±0,3 BC	43,77±0,07 A	14,28±0,24 G	31,26 a
Ortalama	24,01 a**	23,79 a	11,94 b	

** : %1, * : %5 önemli. Büyük harfler interaksyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.41. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yapraklarında Biriken Ni Miktarlarına (ppm) Ait Değişim Grafiği

Artan doz içeriği tüm çeşitlerin yapraklarındaki Ni konsantrasyonunu da arttırmıştır. Akdarı ve Beydarı çeşitlerinde kökten sonra en fazla yoğunluk yapraklarda belirlenirken Öğretmenoğlu çeşidinde kök > tane > yaprak şeklinde yoğunluk belirlenmiştir. Çeşitler arasında fark olabileceği, Nicks ve Chambers (1998) California'daki serpantin topraklarda endemik olarak yetişen *Brassicaceae* familyasının bir türünün tek bitkisinin bile Ni içeriğinde (3280-7820 mg kg⁻¹) büyük bir çeşitlilik olduğunu bildirmesiyle desteklenmektedir. Ayrıca yapraklara olan bu taşınımı; Tiffin (1972) Ni'nin ksilem içinde anyonik ve organik komplekslere bağlı olduğunu ve Ni taşınımının ve depolanmasının metabolik olarak kontrol ediliyor gibi görünse de, Ni'in bitkilerde hareketli olduğunu hem yapraklarda hem de tohumlarda birikebileceğinin muhtemel olduğunu bildirmesiyle benzerlik göstermektedir.

4.3.12. Tanede Ni Birikimi (ppm)

Farklı Ni dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin tanelerinde biriken Ni miktarlarına ait varyans analizi sonucu Tablo 4.77'de verilmiştir. Ni dozlarının tanede biriken Ni miktarları varyans analiz sonuçlarına göre doz ve doz x çeşit etkisi çok önemli ($p<0,01$) iken, çeşit ($p<0,05$) önemli bulunmuştur. Ni dozları, çeşitlere ve doz x çeşit etkisiyle ilgili olarak Tablo 4.78'de ve değişim grafiği Şekil 4.42'de verilmiştir.

Tablo 4.77. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Tanelerinde Biriken Ni Miktarlarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	6,495	3,247
Çeşit	2	22,763	11,382*
Hata-1	4	15,958	3,989
Doz	5	1089,877	217,975**
Çeşit*Doz	10	884,629	88,463**
Hata-2	30	74,891	2,496
Genel	53	2094,614	
R ²	0,964	DK	10,553

** : $P<0,01$, * : $P<0,05$ SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R²: Belirtme katsayısı.

Tane sorgum çeşitlerinin tanelerinde biriktirdikleri Ni miktarları 14,38-15,88 ppm arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek birikimini Akdarı çeşidi gösterirken, en düşük birikimi Beydarı çeşidi göstermiş ve bu iki çeşit iki farklı ortalama grubunu oluşturmuştur. Öğretmenoğlu çeşidi ise tanelerinde Ni biriktiren en düşük ikinci çeşit (14,66 ppm) olarak Beydarı ile aynı ortalama grubunda yer almıştır.

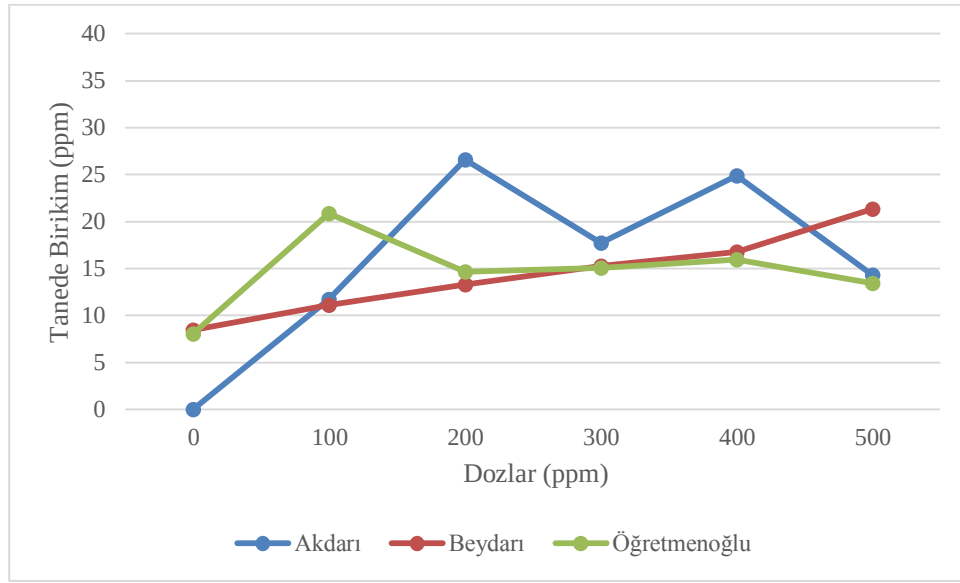
Ni dozlarının artması ile birlikte tanede biriken Ni miktarı dalgalanmalar şeklinde değişiklik göstermiş ve en yüksek Ni birikimi 400 ppm uygulamasında (19,20 ppm) elde edilirken, en düşük Ni birikimi 0 ppm Ni/kontrol uygulamasından elde edilmiştir.

Çeşit x doz interaksyonuna bakıldığında ise tanede en yüksek Ni birikimini (26,56 ppm) 200 ppm uygulamasında Akdarı çeşidi verirken, en düşük birikimi (0,00 ppm) yine Akdarı çeşidi 0 ppm Ni/kontrol uygulamasında vermiştir.

Tablo 4.78. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Tanelerinde Biriken Ni Miktarlarına (ppm) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	0,00±00 I**	8,43±1,29 H	8,05±0,23 H	5,49 d**
100	11,73±1,16 FG	11,14±0,07 G	20,9±0,21 B	14,59 c
200	26,56±0,61 A	13,29±0,42 EFG	14,65±0,2 DE	18,17 ab
300	17,73±1,31 C	15,31±0,72 CDE	15,04±0,11 CDE	16,03 c
400	24,89±0,03 A	16,77±0,67 CD	15,93±1,13 CDE	19,20 a
500	14,35±0,12 DEF	21,33±0,1 B	13,41±6,4 EFG	16,36 bc
Ortalama	15,88 a*	14,38 b	14,66 b	

** : %1, * : %5 önemli. Büyük harfler interaksiyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.42. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Tanelerinde Biriken Ni Miktarlarına (ppm) Ait Değişim Grafiği

Çalışmada kullanılan tane sorgum çeşitlerinde Ni birikiminin yoğunluk sıralaması bitkinin organları içerisinde farklılık gösterse de ppm olarak değerlendirildiğinde üç çeşitten ikisinde tanelerin birbirine yakın değerlerde Ni taşınımı yaptıkları gözlemlenmiştir. Cheng vd. (2006) 9 farklı çeltik genotipinde yaptıkları Ni çalışmasında, taneye nikelin taşındığını ve genotipler arasında taşınım açısından farklılık olduğunu ifade etmişlerdir. Tiffin (1972) Ni taşınımının ve depolanmasının metabolik olarak kontrol ediliyor gibi görünse de Ni'in bitkilerde hareketli olduğunu hem yapraklarda hem de tohumlarda birikebileceğinin muhtemel olduğunu bildirmiştir. Bu bakımdan çalışmamızda taneye taşınımın gerçekleşmesi yapılan çalışmalarla benzerlik göstermektedir.

4.3.13. Toprakta Ni Birikimi (ppm)

Farklı Ni dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin yetiştiği toprakta alınabilir durumdaki Ni miktarlarına ait varyans analizi sonucu Tablo 4.79'da verilmiştir. Ni dozlarının, çeşitlerin yetiştiği toprakta alınabilir durumda bulunan Ni miktarları varyans analiz sonuçlarına göre doz, çeşit ve doz x çeşit etkisi çok önemli ($p < 0,01$) bulunmuştur. Ni dozları, çeşitlere ve doz x çeşit etkisine ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.80'de ve değişim grafiği Şekil 4.43'de verilmiştir.

Tablo 4.79. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yetiştigi Toprakta Kalan Ni Miktarlarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	0,933	0,466
Ceşit	2	163,359	81,680**
Hata-1	4	1,770	0,443
Doz	5	1647,279	329,456**
Ceşit*Doz	10	423,784	42,378**
Hata-2	30	11,488	0,383
Genel	53	2248,613	
R ²	0,995	DK	%4,883

** : P<0,01, * : P<0,05 SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R²: Belirtme katsayısı.

Çeşitlerin yetiştikleri toprakta alınabilir durumda Ni olmasına rağmen bitkilerin almadığı ve toprakta kalan Ni miktarlarının 10,58 ppm ile 14,84 ppm arasında değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. En yüksek Ni miktarının Beydarı çeşidinin (14,84 ppm) yetiştigi toprakta bulunduğu, en düşük Ni miktarının Öğretmenoğlu çeşidinin (10,58 ppm) yetiştigi toprakta bulunduğu gözlenmiştir. Bu çeşidi Akdarı çeşidinin yetiştigi toprak izlemiştir. Üç çeşidin de yetiştigi toprak üç farklı ortalama grubunu oluşturmuştur. Toprakta kalan Ni miktarları göz önünde bulundurulduğu zaman topraktan en fazla Ni kaldıran çeşidin Öğretmenoğlu olduğu söylenebilir.

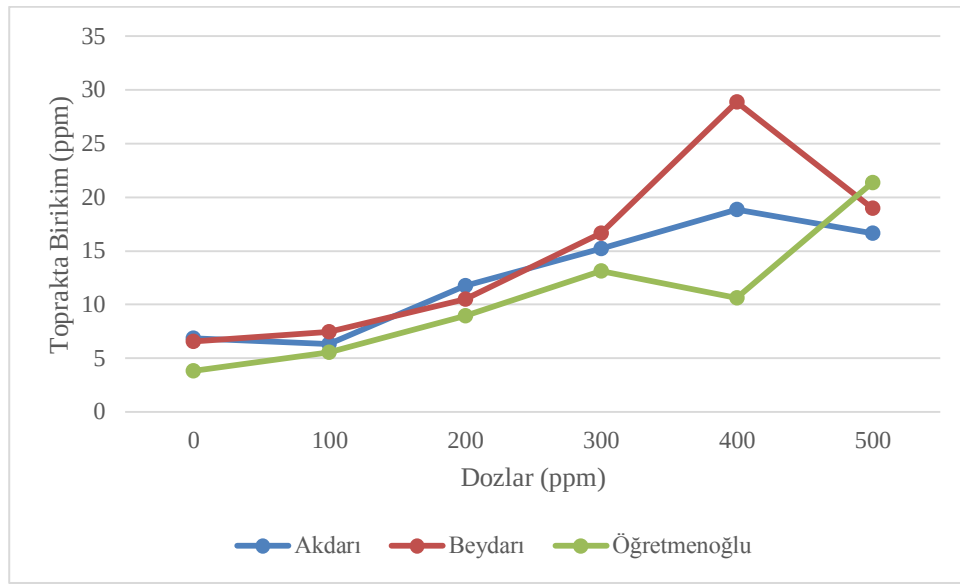
Ni dozlarının, toprakta kalan Ni miktarına etkisi incelendiğinde doz artışına paralel olarak toprakta kalan Ni miktarıda düzenli artış göstermiş ve en düşük Ni miktarı (5,75 ppm) kontrol uygulamasından elde edilirken, en yüksek Ni miktarı (19,46 ppm) 400 ppm Ni uygulamasından elde edilmiştir. Ayrıca 400 ve 500 ppm Ni uygulamaları aynı ortalama grubunda yer almıştır.

Çeşit x doz interaksiyonuna baktığımızda en yüksek Ni miktarını 400 ppm Ni uygulamasında Beydarı çeşidi (28,89 ppm) verirken, en düşük Ni birikimini (3,83 ppm) Öğretmenoğlu çeşidi 0 ppm Ni/kontrol uygulamasında vermiştir.

Tablo 4.80. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yetiştirildiği Toprakta Kalan Ni Miktarlarına (ppm) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	6,84±0,58 JK**	6,58±0,25 J-L	3,83±0,18 M	5,75 d**
100	6,32±0,16 KL	7,48±0,20 J	5,56±0,02 L	6,46 d
200	11,78±0,14 G	10,48±0,72 H	8,93±0,35 I	10,40 c
300	15,20±0,91 E	16,65±0,49 D	13,13±0,44 F	15,00 b
400	18,83±0,36 C	28,89±0,99 A	10,65±0,29 H	19,46 a
500	16,66±1,1 D	18,95±0,86 C	21,36±1,23 B	18,98 a
Ortalama	12,61 b**	14,84 a	10,58 c	

** %1 önemli. Büyük harfler interaksiyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.43. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Yetiştirildiği Toprakta Kalan Ni Miktarlarına (ppm) Ait Değişim Grafiği

Toprağa uygulanan nikel dozlarının artışıyla birlikte, bitkiler hasat edildikten sonra toprakta kalan nikel miktarı da doz artışına paralel olarak artmıştır. Toprakta kalan Ni miktarlarına bakıldığında alınabilir durumda Ni olmasına rağmen bitkilerin belirli dozdan fazlasını kullanmadığı gözlemlenmiştir. Kabata-Pendias (2011) bitkiler tarafından Ni alımının, çözeltilerdeki Ni konsantrasyonları ile pozitif ilişkili olduğu ve alım mekanizmasının çok fazlı olduğunu, hem bitkinin hem de diğer faktörlerin bu süreçleri etkilediğini ifade etmiştir. Clemens (2006) toprak üstü aksamalarında topraktaki metal

konsantrasyonunun 50-500 kat daha fazlası ağır metal biriktirebilen bitkilere hiperökümülatör bitki denildiğini ifade etmiştir; bu tanıma göre çeşitlerin hiç biri toprak üstü organlarında böyle bir birikim yapmamıştır; yani bitkiler belirli dozlardan itibaren topraktaki alınabilir durumda bulunan nikeli alıp depolama eğilimi yerine kullanmama eğilimine yönelmiştir.

4.3.14. Kondanse Tanen Oranı (%)

Farklı Ni dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin kondanse tanen oranlarına etkisine ait varyans analizi sonucu Tablo 4.81’de verilmiştir. Ni dozlarının, çeşitlerin tanen oranlarına etkisi varyans analiz sonuçlarına göre doz, çeşit ve doz x çeşit etkisi çok önemli ($p<0,01$) bulunmuştur. Ni dozları, çeşitlere ve doz x çeşit etkisine ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.82’de ve değişim grafiği Şekil 4.44’de verilmiştir.

Tablo 4.81. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Kondanse Tanen Oranlarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	0,042	0,021
Çeşit	2	70,554	35,277**
Hata- 1	4	0,143	0,036
Doz	5	13,386	2,677**
Çeşit* Doz	10	55,875	5,588**
Hata-2	30	1,294	0,043
Genel	53	141,295	
R ²	0,991	DK	%12,602

** : $P<0,01$, SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R²: Belirtme katsayısı.

Tane sorgum çeşitlerinin kondase tanen oranları %0,11-2,84 arasında değişim göstermiştir. En yüksek oranı Öğretmenoğlu çeşidi gösterirken, en düşük oranı Akdarı çeşidi göstermiş ve Beydarı çeşidi ise en yüksek ikinci kondanse tanen oranıyla Öğretmenoğlu çeşidini takip etmiştir. Üç çeşit de üç farklı ortalama grubunu oluşturmuştur.

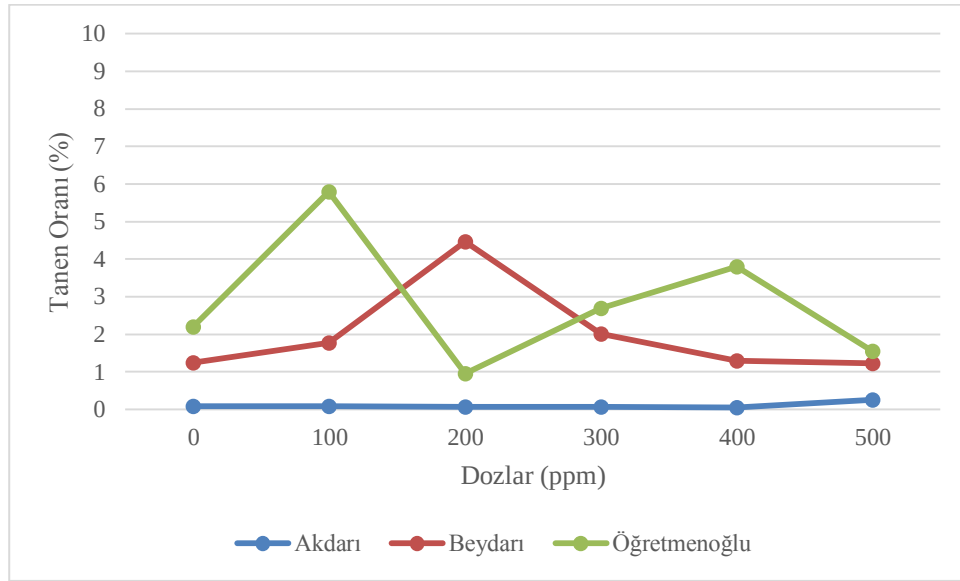
Ni dozlarının artması ile birlikte kondanse tanen oranları artış-azalış şeklinde bir değişim göstermiştir. En yüksek tanen oranını (%2,55) 100 ppm Ni uygulaması oluştururken, en düşük oranı 0 ve 500 ppm Ni uygulamasından elde edilen kondanse tanen oranları aynı ortalama grubunda yer alarak oluşturmuştur. 200-300 ve 400 ppm Ni uygulamaları aynı ortalama grubuna dahil olmuşlardır.

Çeşit x doz interaksyonuna bakıldığında ise en yüksek kondase tanen oranını (%5,8) 100 ppm uygulamasında Öğretmenoğlu çeşidi verirken, en düşük oranı (%0,06) Akdarı çeşidi 400 ppm uygulamasında vermiştir.

Tablo 4.82. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Kondanse Tanen Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	0,08±00 J**	1,25±0,46 HI	2,2±0,28 E	1,18 c**
100	0,09±0,01 J	1,77±0,24 FG	5,8±0,23 A	2,55 a
200	0,07±0,01 J	4,46±0,43 B	0,96±0,06 I	1,83 b
300	0,07±0,01 J	2,02±0,08 EF	2,70±0,1 D	1,60 b
400	0,06±00 J	1,29±0,1 HI	3,8±0,22 C	1,72 b
500	0,25±0,05 J	1,23±0,12 HI	1,55±0,27 GH	1,01 c
Ortalama	0,11 c**	2,00 b	2,84 a	

** : %1, * : %5 önemli. Büyük harfler interaksyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.44. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Kondanse Tanen Oranlarına (%) Ait Değişim Grafiği

Ni stresi altında tane sorgum çeşitlerindeki tanen oranları değişiklik göstermiştir. Bu artış ve azalışların çeşitli nedenleri olabilir. Tanen de bir fenolik bileşiktir ve fenollerin stres durumunda davranışlarıyla ilgili yazarlar şunları belirtmiştir. Bitki fenolik bileşikleri, genellikle 500 ila 3000 Da arasında değişen karmaşık yapılara ve büyük moleküler ağırlıklara sahip olan önemli metabolitlerdir (Wang vd. 2014). Basit fenoller, kumarin, lignin, lignan, kondanse ve hidrolize edilebilir tanenler ve flavonoidler fenolik bileşikler ifade eder (Khoddami vd. 2013). Bunların patojen ve böcek saldırıları, UV radyasyonu ve yaralama gibi ekolojik ve fizyolojik streslere aktif olarak yanıt verdiği varsayılmaktadır (Khoddami vd. 2013). Spesifik olarak, çalışmalar bitki köklerinde kadmiyum ve nikel alımının fenolik asitlerden önemli ölçüde etkilenebileceğini göstermiştir (Kováčik vd. 2011). Fenilalanin Amonyum Liyaz (PAL), bitkilerde fenollerin sentezindeki kritik enzimdir (Kováčik ve Klejdus 2008). Enzimin sentezlenemediği durumlarda tanen oranı azalma göstermiş olabilir. Jianga vd. (2017) iz element stresinde sıcaklık tuzluluk gibi streslerin de beraberinde olduğu durumlarda fenolik bileşiklerin artabileceğini; çözünebilen şeker ve bununla ilişkili ürünlerin PAL aktivitesine neden olabileceğini (Brown ve Neish 1955), sonrasında trikarboksilik asit döngüsünde, shikimik asit yoluyla polifenol bileşiklerinin bir sonraki sentezi için substratlar olarak işlev yapmasını sağlayan yapı olmasından kaynaklanabileceğini ifade etmişlerdir. Ayrıca yazarlar bitki dokularında polifenollerin aktif üretimini, ağır metal, yüksek tuzluluk, aşırı sıcaklıklar gibi streslerin

sıkça gözlemlendiği durumlarda bitkilerin ortamlarına uyum sağlama stratejisi olarak geliştirdiğini ifade etmişlerdir.

4.3.15. Ham Protein Oranı (%)

Farklı Ni dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin ham protein oranlarına etkisine ait varyans analizi sonucu Tablo 4.83'te verilmiştir. Ni dozlarının, çeşitlerin protein oranlarına etkisi varyans analiz sonuçlarına göre çeşit, doz ve doz x çeşit interaksyonu çok önemli ($p<0,01$) bulunmuştur. Ni dozları, çeşitlere ve doz x çeşit interaksyonuna ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.84'te ve değişim grafiği Şekil 4.45'te verilmiştir.

Tablo 4.83. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Ham Protein Oranlarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	0,437	0,218
Çeşit	2	29,186	14,593**
Hata-1	4	1,051	0,263
Doz	5	36,427	7,285**
Çeşit*Doz	10	55,055	5,506**
Hata-2	30	8,460	0,282
Genel	53	130,617	
R ²	0,935	DK	%3,832

** $P<0,01$, SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R²: Belirtme katsayısı.

Tane sorgum çeşitlerinin ham protein oranları %12,99-14,79 arasında değişim göstermiştir. En yüksek oranı Akdarı çeşidi gösterirken, en düşük oranı Öğretmenoğlu çeşidi göstermiş ve Beydarı çeşidi ise en düşük ikinci ham protein oranıyla Öğretmenoğlu çeşidini takip etmiştir. Üç çeşit de üç farklı ortalama grubunu oluşturmuştur.

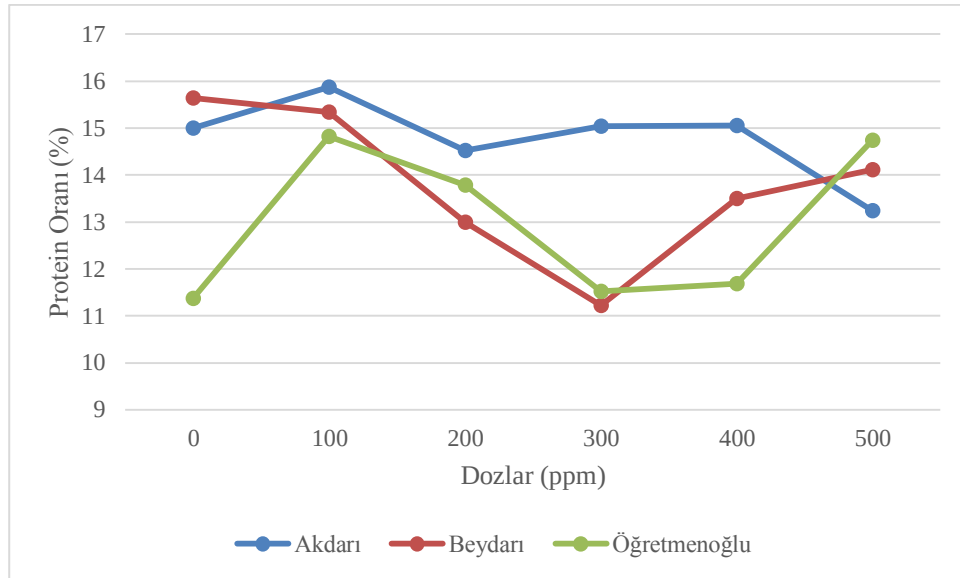
Ni dozlarının artması ile birlikte ham protein oranlarında kontrol bitkileri dışında 400 ppm dozuna kadar bir düşüş gözlemlenmiştir. En yüksek protein oranını (%15,34) 100 ppm Ni uygulaması oluştururken, en düşük protein oranını (%12,60) 300 ppm Ni uygulaması oluşturmuştur.

Çeşit x doz interaksiyonuna bakıldığında ise en yüksek ham protein oranını (%15,87) 100 ppm Ni uygulamasında Akdarı çeşidi gösterirken, en düşük ham protein oranını (%11,22) Beydarı çeşidi 300 ppm Ni uygulamasında göstermiştir.

Tablo 4.84. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Ham Protein Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	15,00±0,1 A-C**	15,64±1,72 AB	11,38±1,03 H	14,00 b**
100	15,87±0,17 A	15,34±0,34 A-C	14,82±0,19 B-D	15,34 a
200	14,52±0,14 C-E	13±0,11 G	13,79±0,23 E-G	13,77 b
300	15,04±0,27 A-C	11,22±0,15 H	11,53±0,42 H	12,60 c
400	15,06±0,25 A-C	13,5±0,10 FG	11,69±0,41 H	13,42 b
500	13,24±0,28 FG	14,11±0,12 D-F	14,74±0,26 CD	14,03 b
Ortalama	14,79 a**	13,80 b	12,99 c	

** : %1 önemli. Büyük harfler interaksyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4. 45. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Ham Protein Oranına (%) Etkisine Ait Değişim Grafiği

Çalışmada kullanılan tane sorgum çeşitlerinin tanelerinde yapılan ham protein tayini sonucunda, çeşitlerin Ni stresi karşısında bazı dozlarda ham protein oranının artış

gösterdiği bazı dozlarda azalış gösterdiği gözlemlenmiştir. Chatterjee ve Chatterjee (2000), bitkilerde fazla miktarda ağır metallerin N metabolizmasının bozulmasına etki ettiği ve düşük miktarda protein oluşumuna neden olduğunu bildirmiştir. Ayrıca farklı bir çalışmada: Al-Karaki (2011) sorgum bitkisini farklı oranlarda Ni içeren su karışımlarıyla yetiştirdiği çalışmada artan Ni miktarının yemdeki protein içeriğini arttırdığını ifade etmiştir. Wyszowska vd. (2008) topraktaki yüksek Ni içeriğinin, dehidrojenaz, üreaz ve asit ve alkalın fosfatazlar gibi bazı enzimlerin aktivitesini azalttığını bildirmişlerdir. Çalışmamızdaki bu değişimin nikelin azot metabolizmasını etkilediğinden kaynaklı ya da enzim aktivitelerini değiştirdiğinden dolayı olduğu düşünülmektedir.

4.3.16. Ham Yağ Oranı (%)

Farklı Ni dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin ham yağ oranlarına etkisine ait varyans analizi sonucu Tablo 4.85'te verilmiştir. Ni dozlarının, çeşitlerin yağ oranlarına etkisi varyans analiz sonuçlarına göre doz, çeşit ve doz x çeşit interaksyonu çok önemli ($p<0,01$) bulunmuştur. Ni dozları, çeşitlere ve doz x çeşit interaksyonuna ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.86'da ve değişim grafiği Şekil 4.46'da verilmiştir.

Tablo 4.85. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Ham Yağ Oranlarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	0,065	0,033
Çeşit	2	8,146	4,073**
Hata-1	4	0,081	0,020
Doz	5	14,694	2,939**
Çeşit*Doz	10	59,881	5,988**
Hata-2	30	1,034	0,034
Genel	53	83,901	
R ²	0,988	DK	%7,211

** $p<0,01$, * $p<0,05$ SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R²: Belirtme katsayısı.

Tane sorgum çeşitlerinin ham yağ oranları %2,19-3,11 arasında değişim göstermiştir. En yüksek oranı Beydarı çeşidi gösterirken, en düşük oranı Öğretmenoğlu çeşidi göstermiştir. Akdarı çeşidi ise en düşük ikinci ham yağ oranıyla Öğretmenoğlu çeşidini takip etmiştir. Üç çeşit de üç farklı ortalama grubunu oluşturmuştur.

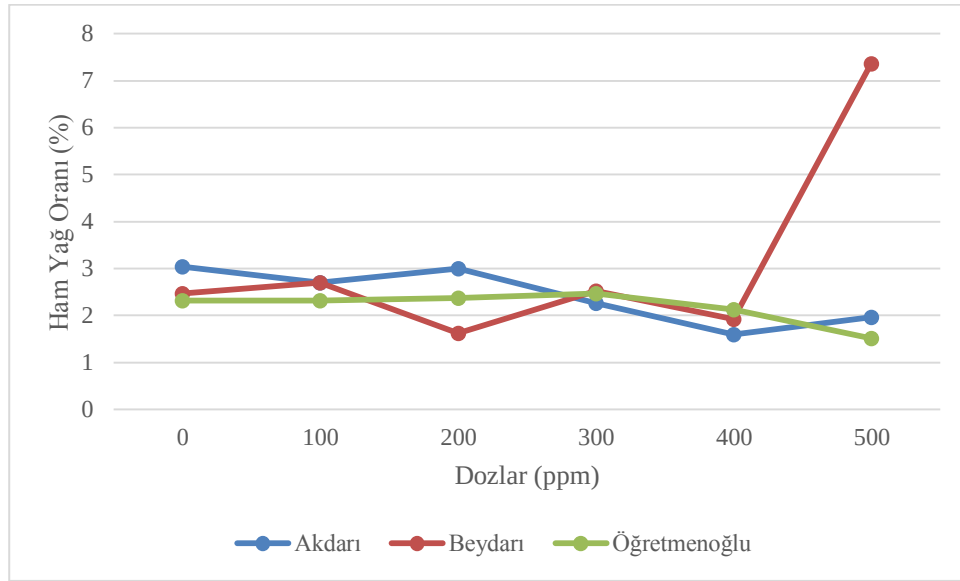
Ni dozlarının artması ile birlikte ham yağ oranlarında 300 ppm Ni uygulamasına kadar bir düşüş gözlemlenmiştir. En yüksek ham yağ oranını (%3,61) 500 ppm Ni uygulaması oluştururken, en düşük ham yağ oranını (%1,89) 400 ppm Ni uygulaması oluşturmuştur. 100 ppm ve 300 ppm uygulamaları aynı ortalama grubunu oluştururken, diğer tüm dozlar farklı ortalama gruplarını oluşturmuştur.

Çeşit x doz interaksyonuna bakıldığında ise en yüksek ham yağ oranını (%7,36) 500 ppm Ni uygulamasında Beydarı çeşidi verirken, en düşük oranını (%1,51) Öğretmenoğlu çeşidi 500 ppm Ni uygulamasında vermiştir.

Tablo 4.86. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Ham Yağ Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	3,04±0,04 B**	2,47±0,11 DE	2,32±0,1 EF	2,61 b**
100	2,70±0,26 CD	2,70±0,34 D	2,32±0,2 EF	2,57 bc
200	3,00±0,02 BC	1,63±0,15 IJ	2,37±0,07 EF	2,33 c
300	2,27±0,23 E-G	2,53±0,26 DE	2,47±0,13 DE	2,42 bc
400	1,60±0,1 J	1,93±0,07 HI	2,13±0,11 F-H	1,89 d
500	1,97±0,08 GH	7,36±0,33 A	1,51±0,18 J	3,61 a
Ortalama	2,43 b**	3,11 a	2,19 c	

** : %1 önemli. Büyük harfler interaksiyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.46. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin Ham Yağ Oranlarına (%) Etkisine Ait Değişim Grafiği

Ni stresi sonucunda çalışmada kullanılan tane sorgum çeşitlerinin yağ oranlarında bazı dozlarda artışlar bazı dozlarda azalışlar şeklinde dalgalı bir durum gözlemlenmiştir. Yoshida vd. (1979) stres durumunda hücre zarı lipid yapısının bozulması ve akabinde membran stabilitesinin bozulması ile iyon ve sıvıların sızmasının gerçekleştiğini ve doymamış yağ asidi oranında bir artışa neden olabildiğini belirtmişlerdir. Zengin ve Munzuroğlu (2005) nikelin toksite seviyesinde bulunduğu durumlarda klorofil üretiminin ve yağ sentezi mekanizmasının bozulduğunu ifade etmişlerdir. Luna vd. (1994), ağır metallerin biyokimyasal olarak lipid peroksidasyonuna sebep olarak membran yapısını ve işleyişini bozabildiğini ifade etmişlerdir. Li vd. (2006) lipid peroksidasyonu sonucu ortaya çıkan malondialdehitin (MDA) iyon alımını olumsuz etkilediğini ve bileşiklerin polimerizasyonuna ve çapraz bağlanmasına sebep olduğunu ve bu olumsuz durum sonucunda membran yapısının, iyon taşınımının, enzim aktivitesinin ve hücre bileşenlerinin stabilitesi bozulduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmamızda da yağ oranında artış azalışların sebebi, araştırmacılar tarafından da belirtildiği üzere stres durumunda hücre zarı lipid yapısının bozulması, iyon ve hücre içi sıvıların sızması ve akabinde yağ oranının artması ya da yağ sentezi mekanizmasının bozulması ve yağ miktarının azalması durumlarının gerçekleştiği düşünülmektedir.

4.3.17. Asit Deterjanda Çözünmeyen Lif Oranı (ADF%)

Farklı Ni dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin ADF oranlarına etkisine ait varyans analizi sonucu Tablo 4.87’de verilmiştir. Ni dozlarının, çeşitlerin ADF oranlarına etkisi varyans analiz sonuçlarına göre çeşit ve doz x çeşit interaksyonu çok önemli ($p<0,01$) bulunurken doz önemli ($p<0,05$) bulunmuştur. Ni dozları, çeşitlere ve doz x çeşit interaksyonuna ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.88’de ve değişim grafiği Şekil 4.47’de verilmiştir.

Tablo 4.87. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin ADF Oranlarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	0,382	0,191
Çeşit	2	38,711	19,355**
Hata-1	4	1,603	0,401
Doz	5	5,455	1,091*
Çeşit*Doz	10	22,905	2,290**
Hata-2	30	11,627	0,388
Genel	53	80,682	
R ²	0,856	DK	%6,331

** : $P<0,01$, * : $P<0,05$ SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R²: Belirtme katsayısı.

Tane sorgum çeşitlerinin ADF oranları %9,12-11,02 arasında değişmiştir. En yüksek oranı Öğretmenoğlu çeşidi göstermiş ve ilk ortalama grubunu oluşturmuştur. En düşük oranı Akdarı çeşidi göstermiştir. Beydarı çeşidi ise en düşük ikinci orana sahip olarak Akdarı çeşidini izlemiş ve Akdarı ile aynı ortalama grubunda yer almıştır.

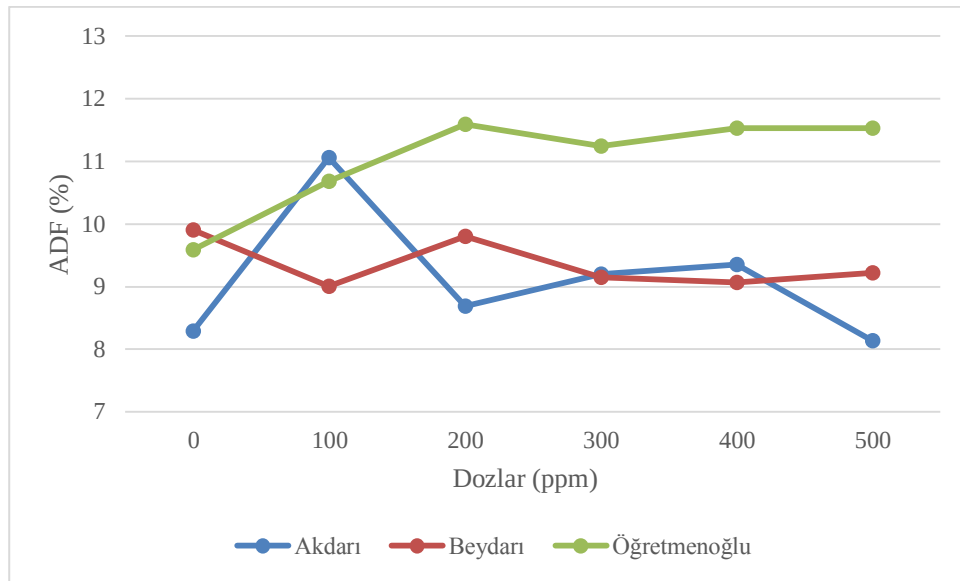
Ni dozlarının artması ile birlikte kontrol grubu hariç ADF oranlarında azalış gözlemlenmiştir. En yüksek ADF oranını (%10,25) 100 ppm Ni uygulaması oluştururken, en düşük ADF oranını (%9,26) kontrol grubu oluşturmuştur. En yüksek ve en düşük değerler farklı ortalama gruplarını oluştururken, 200 ppm Ni ve üzeri uygulamalar aynı ortalama grubuna dahil olmuştur.

Çeşit x doz interaksijonuna bakıldığında ise en yüksek ADF oranını (%11,59) 200 ppm Ni uygulamasında Öğretmenoğlu çeşidi gösterirken, en düşük oranı (%8,14) Akdarı çeşidi 500 ppm Ni uygulamasında göstermiştir.

Tablo 4.88. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin ADF Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	8,29±0,72 EF**	9,90±2,17 BC	9,59±0,43 CD	9,26 b*
100	11,06±0,07 A	9,01±0,02 C-F	10,68±0,22 AB	10,25 a
200	8,69±0,31 D-F	9,8±0,23 BC	11,59±0,34 A	10,03 ab
300	9,2±0,43 C-E	9,15±0,09 C-F	11,24±0,27 A	9,86 ab
400	9,35±0,66 CD	9,07±0,27 C-F	11,53±0,17 A	9,98 ab
500	8,14±0,23 F	9,22±0,08 C-E	11,53±0,48 A	9,63 ab
Ortalama	9,12 b**	9,36 b	11,02 a	

** %1, * %5 önemli. Büyük harfler interaksijon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.47. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin ADF Oranlarına (%) Etkisine Ait Değişim Grafiği

Bitkisel karbonhidratlar yapısal ve yapısal olmayan karbonhidratlar olarak ikiye ayrılır ve yapısal karbonhidratlar (hücre duvarı) içerisine giren selüloz ve lignin ADF'yi oluşturur (Anonim 2011). Ağır metal stresinde ise bitkilerde lignifikasyonun artabileceği öne

sürülmüştür (Tester ve Leigh 2001; Verma ve Dubey 2003). Scoccianti vd. (2006) bazı ağır metallerin hücre duvarı ve hücre zarında bağlandığı bölgelerin Ca^{+2} formundaki katyonlar ile yer değiştirerek hücre ve hücre duvarı metabolizma ve fonksiyonlarında olumsuz etkilere ve bozukluklara neden olabileceğini bildirilmiştir. Bu etki hücre duvarı bileşenleri üzerinde değişikliğe sebep olmak yoluyla ADF oranlarını değiştirmiş olabilir. Çalışmamızda çeşit ortalamalarında elde edilen sonuçlarda Kaplan ve Kızılsimşek (2012)'in değerlerinden Akdarı çeşidi daha düşük, Beydarı çeşidi ve Öğretmenoğlu çeşidinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

4.3.18. Nötr Deterjanda Çözünmeyen Lif Oranı (NDF%)

Farklı Ni dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin NDF oranlarına etkisine ait varyans analizi sonucu Tablo 4.89'da verilmiştir. Ni dozlarının, çeşitlerin NDF oranlarına etkisi varyans analiz sonuçlarına göre çeşit, doz ve doz x çeşit interaksyonu çok önemli ($p<0,01$) bulunmuştur. Ni dozları, çeşitlere ve doz x çeşit interaksyonuna ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.90'da ve değişim grafiği Şekil 4.48'de verilmiştir.

Tablo 4.89. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin NDF Oranlarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	1,441	0,721
Çeşit	2	127,667	63,833**
Hata-1	4	1,538	0,385
Doz	5	61,971	12,394**
Çeşit*Doz	10	555,773	55,577**
Hata-2	30	16,449	0,548
Genel	53	764,839	
R^2	0,979	Coeff Var	%3,103

** : $P<0,01$, * : $P<0,05$ SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R^2 : Belirtme katsayısı.

Tane sorgum çeşitlerinin NDF oranları %22,41-25,99 arasında değişim göstermiştir. En yüksek oranı Akdarı çeşidi birinci ortalama grubunu oluşturarak gösterirken, Beydarı çeşidi en düşük orana sahip çeşit olarak ikinci ortalama grubunu oluşturmuş ve Öğretmenoğlu çeşidi en düşük ikinci oran ile Beydarı çeşidini izlemiştir.

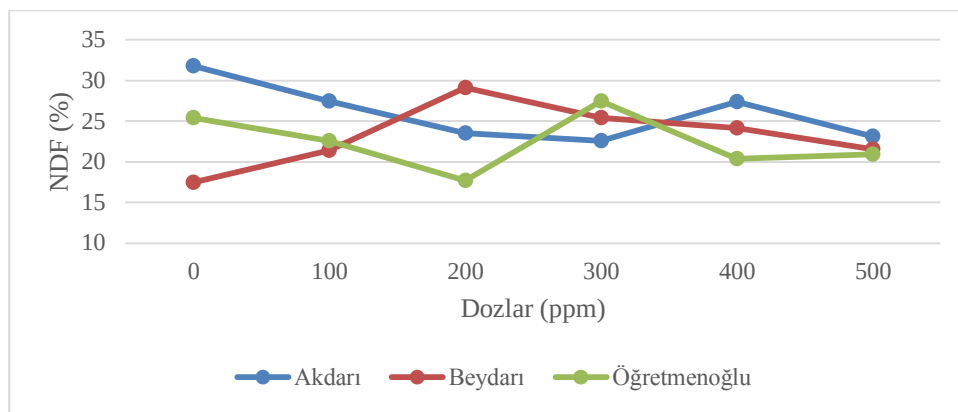
Ni dozlarının artması ile birlikte NDF oranlarında azalış-artış şeklinde bir değişim gözlemlenmiştir. En yüksek NDF oranını (%25,16) 300 ppm Ni uygulaması gösterirken, en düşük NDF oranını (%21,88) 500 ppm Ni uygulaması göstermiştir. 100 ve 200 ppm Ni uygulamaları aynı ortalama grubuna dahil olmuşlardır.

Çeşit x doz interaksiyonuna baktığımızda ise en yüksek NDF oranı (%31,76) kontrol uygulamasında Akdarı çeşidinde belirlenirken, en düşük NDF oranı (%17,48) Beydarı çeşidinin kontrol uygulamasında belirlenmiştir.

Tablo 4.90. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin NDF Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	31,76±0,92 A**	17,48±1,29 I	25,45±0,97 D	24,90 ab**
100	27,45±1,45 C	21,39±0,29 H	22,61±0,55 FG	23,82 c
200	23,55±0,51 EF	29,14±0,22 B	17,67±1,16 I	23,45 c
300	22,62±0,8 FG	25,45±0,57 D	27,43±0,49 C	25,16 a
400	27,42±0,33 C	24,14±0,19 E	20,38±0,43 H	23,98 bc
500	23,16±0,55 EF	21,54±0,53 GH	20,93±0,08 H	21,88 d
Ortalama	25,99 a**	23,19 b	22,41 b	

** : %1, * : %5 önemli. Büyük harfler interaksiyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.48. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin NDF Oranlarına (%) Etkisine Ait Değişim Grafiği

Nötr deterjanda çözünmeyen lif (NDF) toplam hücre duvarlarını temsil eder: hemiselüloz, selüloz ve lignin den oluşur (Anonim 2011). Ni dozları NDF oranları üzerinde değişimlere neden olmuştur. Bu değişimler hücre duvarı bileşenleri üzerinde Ni elementinin sebep olduğu etkiden kaynaklanmış olabilir. Ağır metal stresinde bitkilerde lignifikasyonun artabileceği öne sürülmüştür (Tester ve Leigh 2001; Verma ve Dubey 2003). Scoccianti vd. (2006) bazı ağır metallerin hücre duvarı ve hücre zarında bağlandığı bölgelerin Ca^{+2} formundaki katyonlar ile yer değiştirerek hücre ve hücre duvarı metabolizma ve fonksiyonlarında olumsuz etkilere ve bozukluklara neden olabileceği bildirilmiştir. Bilindiği gibi kalsiyum hücre duvarında stabilizasyonu sağlayan bir elementtir ve yukarıda bildirildiği gibi nikelin bu elementin yerine geçiş yapması hücre duvarı bileşenleri üzerinde etkiye sebep olmuş olabilir. Çalışmamızda çeşit ortalamalarında elde edilen sonuçlarda; Kaplan ve Kızılsimşek (2012)'in değerlerinden Akdarı çeşidi daha yüksek, Beydarı çeşidi daha düşük ve Öğretmenoğlu çeşidinin benzerlik gösterdiği belirlenmiştir.

4.3.19. Sindirilebilir Kuru Madde Oranı (SKM%)

Farklı Ni dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin SKM oranlarına etkisine ait varyans analizi sonucu Tablo 4.91'de verilmiştir. Ni dozlarının, çeşitlerin SKM oranlarına etkisi varyans analiz sonuçlarına göre çeşit, doz ve doz x çeşit interaksyonu çok önemli ($p<0,01$) bulunmuştur. Ni dozları, çeşitlere ve doz x çeşit interaksyonuna ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.92'de ve değişim grafiği Şekil 4.49'da verilmiştir.

Tablo 4.91. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin SKM Oranlarına Ait Varyans Analiz Sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	0,230	0,115
Çeşit	2	27,738	13,869**
Hata-1	4	0,770	0,193
Doz	5	6,282	1,256**
Çeşit*Doz	10	9,759	0,976**
Hata-2	30	5,549	0,185
Genel	53	50,328	
R^2	0,890	DK	%0,529

** $P<0,01$, * $P<0,05$ SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R^2 : Belirtme katsayısı.

Tane sorgum çeşitlerinin SKM oranları %80,27-81,82 arasında değişmiştir. En yüksek SKM oranını Beydarı çeşidi gösterirken, en düşük SKM oranını ise Öğretmenoğlu çeşidi göstermiş ve bu iki çeşit iki farklı ortalama grubunda yer almıştır.

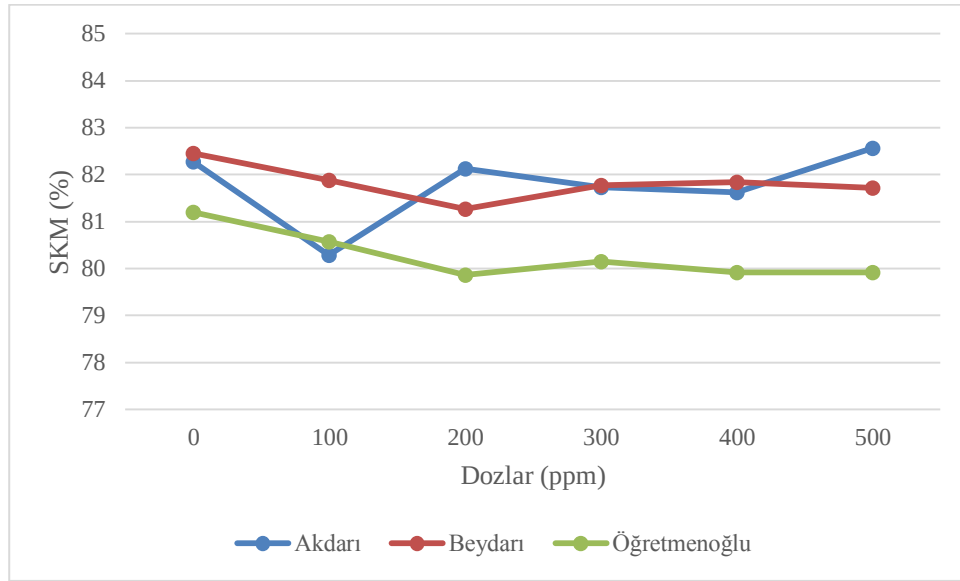
Ni dozlarının artması ile birlikte SKM oranlarında artma şeklinde bir değişim gözlemlenmiş olsa da, kontrol dışındaki tüm dozlar aynı ortalama grubuna dahil olmuştur. En yüksek SKM oranını (%81,98) kontrol uygulaması oluştururken, en düşük SKM oranını (%80,90) 100 ppm Ni uygulaması oluşturmuştur.

Çeşit x doz interaksyonuna bakıldığında ise en yüksek SKM oranı (%82,56) 500 ppm Ni uygulamasında Akdarı çeşidinde belirlenirken, en düşük oran (%79,87) Öğretmenoğlu çeşidinde 200 ppm Ni uygulamasında belirlenmiştir.

Tablo 4.92. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin SKM Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	82,28±0,74 A-C	82,45±1,34 AB	81,2±0,28 DE	81,98 a
100	80,29±0,05 F	81,88±0,01 A-D	80,58±0,17 EF	80,92 b
200	82,13±0,24 A-C	81,27±0,18 DE	79,87±0,26 F	81,09 b
300	81,73±0,33 B-D	81,77±0,07 B-D	80,15±0,21 F	81,22 b
400	81,62±0,52 CD	81,84±0,21 B-D	79,92±0,13 F	81,13 b
500	82,56±0,18 A	81,72±0,06 CD	79,92±0,37 F	81,40 b
Ortalama	81,77 a	81,82 a	80,27 b	

** %1, * %5 önemli. Büyük harfler interaksyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.49. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin SKM Oranlarına (%) Etkisine Değişim Grafiği

% SKM = $88,9 - (0,779 \times \% \text{ ADF})$, ADF değerinin belirlenmesiyle ulaşılabilen bir değerdir, bu yüzden ADF için belirtilen değişiklerin nedeni SKM oranı içinde geçerlidir. ADF oranının düşük olması SKM oranının yüksek olmasına sebep olacaktır. SKM oranının yüksek olması da NYD değerinin ve yem kalitesinin yüksek olmasına neden olacaktır. Çalışmamızda SKM değerleri ADF değerlerinin doğrultusunda dalgalı bir değişim göstermiştir. Bunun nedeni hücre duvarı bileşenlerinin strese verdiği yanıtların farklılığından olabilir. Ağır metal stresinde bitkilerde lignifikasyonun artabileceğini öne sürülmüştür (Tester ve Leigh 2001; Verma ve Dubey 2003). Scoccianti vd. (2006) bazı ağır metallerin hücre duvarı ve hücre zarında bağlandığı bölgelerin Ca^{+2} formundaki katyonlar ile yer değiştirerek hücre ve hücre duvarı metabolizma ve fonksiyonlarında olumsuz etkilere ve bozukluklara neden olabileceğini bildirilmiştir. ADF ve ona bağlı olarak hesaplanan SKM oranı için düşünüldüğünde; hücre duvarı bileşenlerinin ağır metal stresinden kaynaklanan bozuklara maruz kalması ve ADF oranında belirlenen değişimler neticesinde SKM oranı değişmiştir. Çalışmamızda çeşit ortalamalarında elde edilen sonuçlarda; Kaplan ve Kızıllımşek (2012)'in değerleriyle Akdarı, Beydarı ve Öğretmenoğlu çeşitlerinin benzerlik gösterdiği belirlenmiştir.

4.3.20. Kuru Madde Tüketimi Oranı (KMT%)

Farklı Ni dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin KMT oranlarına etkisine ait varyans analizi sonucu Tablo 4.93'te verilmiştir. Ni dozlarının, çeşitlerin KMT oranlarına etkisi varyans analiz sonuçlarına göre çeşit, doz ve doz x çeşit interaksyonu çok önemli ($p<0,01$) bulunmuştur. Ni dozları, çeşitlere ve doz x çeşit interaksyonuna ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.94'te ve değişim grafiği Şekil 4.50'de verilmiştir.

Tablo 4.93. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin KMT Oranlarına Ait Varyans Analizi

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	0,117	0,059
Çeşit	2	6,388	3,194**
Hata-1	4	0,361	0,090
Doz	5	2,565	0,513**
Çeşit*Doz	10	28,326	2,833**
Hata-2	30	2,247	0,075
Genel	53	40,005	
R ²	0,944	DK	5,302

**: $P<0,01$, *: $P<0,05$ SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R²: Belirtme katsayısı.

Tane sorgum çeşitlerinin KMT oranları %4,68-5,48 arasında değişmiştir. En yüksek oranı Öğretmenoğlu çeşidi birinci ortalama grubunu oluşturarak verirken, Beydarı çeşidi onunla aynı ortalama grubunda yer alarak onu izlemiştir. En düşük oranı ise Akdarı çeşidi ikinci ortalama grubunu oluşturarak göstermiştir.

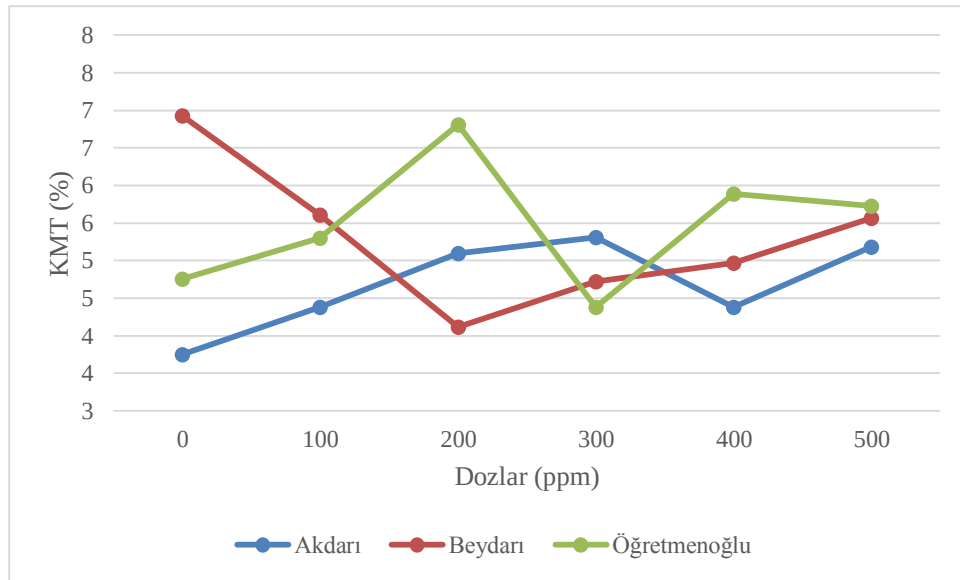
Ni dozlarının artması ile birlikte KMT oranlarında azalış- artış şeklinde bir değişim gözlemlenmiştir. En yüksek KMT oranını 500 ppm Ni uygulaması gösterirken, en düşük KMT oranını 300 ppm Ni uygulaması göstermiştir.

Çeşit x doz interaksyonuna baktığımızda ise en yüksek KMT oranını (%6,93) 0 ppm Ni/kontrol uygulamasında Beydarı çeşidinde belirlenirken, en düşük oran (%3,75) 0 ppm Ni/kontrol uygulamasında Akdarı çeşidinde belirlenmiştir.

Tablo 4.94. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin KMT Oranlarına (%) Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	3,75±0,09 J**	6,93±0,95 A	4,76±0,27 FGH	5,15 abc**
100	4,38±0,23 HI	5,61±0,08 BCD	5,31±0,13 CDE	5,10 bc
200	5,1±0,11 EFG	4,12±0,03 IJ	6,81±0,43 A	5,34 ab
300	5,31±0,19 CDE	4,72±0,11 GH	4,38±0,08 HI	4,80 c
400	4,38±0,05 HI	4,97±0,04 EFG	5,89±0,12 B	5,08 bc
500	5,18±0,12 DEF	5,57±0,14 BCD	5,73±0,02 BC	5,50 a
Ortalama	4,68 b**	5,32 a	5,48 a	

** : %1, * : %5 önemli. Büyük harfler interaksiyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.50. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin KMT Oranlarına (%) Etkisine Değişim Grafiği

% KMT = 120/ % NDF, NDF değerinin belirlenmesiyle ulaşılabilen bir değerdir, bu yüzden NDF için belirtilen değişikliklerin nedeni KMT oranı içinde geçerlidir. NDF oranının düşük olması KMT oranının yüksek olmasına sebep olacaktır. KMT oranının yüksek olması da NYD değerinin ve yem kalitesinin yüksek olmasına neden olacaktır. Çalışmamızda KMT değerleri NDF değerlerinin doğrultusunda dalgalı bir değişim göstermiştir. Bunun nedeni hücre duvarı bileşenlerinin strese verdiği yanıtların farklılığından olabilmektedir. Ağır metal stresinde bitkilerde lignifikasyonun

artabileceğini öne sürülmüştür (Tester ve Leigh 2001; Verma ve Dubey 2003). Scoccianti vd. (2006) bazı ağır metallerin hücre duvarı ve hücre zarında bağlandığı bölgelerin Ca^{+2} formundaki katyonlar ile yer değiştirerek hücre ve hücre duvarı metabolizma ve fonksiyonlarında olumsuz etkilere ve bozukluklara neden olabileceği bildirilmiştir. Araştırmacıların bu bilgileri doğrultusunda Ni stresinde hücre duvarı bileşenleri olumsuz etkilenmiş ya da lignifikasyon artmış olabilir.

4.3.21. Nispi Yem Değeri

Farklı Ni dozlarının, tane sorgum çeşitlerinin nispi yem değerine etkisine ait varyans analizi sonucu Tablo 4.95'te verilmiştir. Ni dozlarının, çeşitlerin NYD oranlarına etkisi varyans analiz sonuçlarına göre çeşit, doz ve doz x çeşit interaksyonu çok önemli ($p<0,01$) bulunmuştur. Ni dozları, çeşitlere ve doz x çeşit interaksyonuna ait ortalamalar ile LSD testi grupları Tablo 4.96'da ve değişim grafiği Şekil 4.51'de verilmiştir.

Tablo 4. 95. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin NYD Ait Varyans Analiz Sonuçları

Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması
Tek	2	537,886	268,943
Çeşit	2	27401,203	13700,601**
Hata-1	4	1758,387	439,597
Doz	5	10240,627	2048,125**
Çeşit*Doz	10	83555,199	8355,520**
Hata-2	30	14213,562	473,785
Genel	53	137706,863	
R^2	0,897	DK	%6,706

** $P<0,01$, * $P<0,05$ SD: Serbestlik derecesi, DK: Değişim katsayısı (%), R^2 : Belirtme katsayısı.

Tane sorgum çeşitlerinin NYD 295,41-350,24 arasında değişmiştir. En yüksek oranı Öğretmenoğlu çeşidi birinci ortalama grubunu oluşturarak verirken, Beydarı çeşidi aynı ortalama grubunda onu ikinci sırada izlemiştir. En düşük değer ise Akdarı çeşidi ikinci ortalama grubunu oluşturarak göstermiştir.

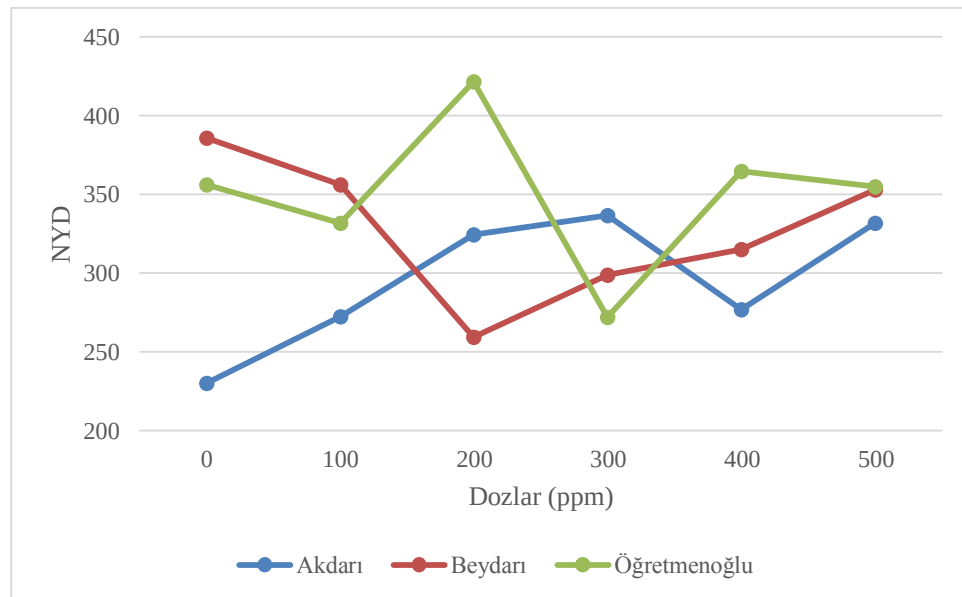
Ni dozlarının artması ile birlikte NYD'lerinde bir azalış-artış gözlemlenmiştir. En yüksek NYD'yi (346,64) aynı ortalama grubunu oluşturan 200 ve 500 ppm Ni uygulaması gösterirken, en düşük NYD'yi (302,47) 300 ppm Ni uygulaması göstermiştir.

Çeşit x doz interaksyonuna bakıldığında ise en yüksek NYD (421,52) 200 ppm Ni uygulamasında Öğretmenoğlu çeşidinde belirlenirken, en düşük NYD (230,23) Akdarı çeşidinin 0 ppm Ni/kontrol uygulamasında belirlenmiştir.

Tablo 4.96. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin NYD Etkisine Ait Ortalamalar

Dozlar (ppm)	Çeşitler			
	Akdarı	Beydarı	Öğretmenoğlu	Ortalama
0	230,23±6,18 I**	385,84±71,12 AB	356,22±41,27 BCD	324,10 ab**
100	272,6±14,6 GH	356,14±4,85 BCD	331,71±8,19 C-F	320,15 ab
200	324,52±6,19 DEF	259,46±1,35 HI	421,52±25,48 A	335,16 a
300	336,5±13,3 CDE	299,02±6,42 FG	271,89±5,61 GH	302,47 b
400	276,89±1,62 GH	315,34±3,26 EF	364,93±8,25 BC	319,06 ab
500	331,7±7,11 C-F	353,03±8,5 BCD	355,18±3,09 BCD	346,64 a
Ortalama	295,41 b**	328,14 a	350,24 a	

** : %1 önemli. Büyük harfler interaksiyon gruplarını, küçük harfler ortalama gruplarını ifade etmektedir.



Şekil 4.51. Farklı Ni Dozlarının, Tane Sorgum Çeşitlerinin NYD Etkisine Ait Değişim Grafiği

Hayvanların yem tüketimine olan tavırları, yemlerin sindirim derecesi ve hayvanlar tarafından ürüne dönüştürülmesi yemin kalitesine bağlıdır (Van Soest 1994). Bu kalite çoğunlukla yemlerin kimyasal-fiziksel-biyolojik parametrelerinin ölçülmesi ile saptanır. Nispi yem değeri (NYD) kavramı ilk olarak ABD’de yonca için bulunan ve zamanla farklı yemler için de başvurulmuş bir değerdir (Relative Feed Value, RFV) ve yemlerin besleme değerini ölçmede kullanılmaktadır (Ball vd. 1996). NYD’nin belirlenmesinde ADF (asit deterjan lif) ve NDF (nötr deterjan lif) değerleri kullanılmaktadır (Moore ve Undersander 2002). NYD hesaplanırken tam çiçeklenmedeki yoncanın (kuru otun içerdiği) %41 ADF ve %53 NDF hesaba katılarak 100 değeri baz alınır. NYD 100’ün altına düşerse yem kalitesi azalır, artarsa kalite yükselir, $NYD = \% SKM \times \% KMT \times 0,775$ şeklinde belirlenir (Redfearn vd. 2006). Çalışmamızda çeşit ortalamalarında elde edilen sonuçlarda; Kaplan ve Kızılsimşek (2012)’in değerlerinden Akdarı çeşidi daha düşük, Beydarı çeşidi daha yüksek ve Öğretmenoğlu çeşidinin benzerlik gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca ağır metal stresinde bitkilerde lignifikasyonun artabileceği öne sürülmüştür (Tester ve Leigh 2001; Verma ve Dubey 2003). Scoccianti vd. (2006) bazı ağır metallerin hücre duvarı ve hücre zarında bağlandığı bölgelerin Ca^{+2} formundaki katyonlar ile yer değiştirerek hücre ve hücre duvarı metabolizma ve fonksiyonlarında olumsuz etkilere ve bozukluklara neden olabileceği bildirilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bazı tane sorgum çeşitlerinde (Akdarı, Beydarı ve Öğretmenoğlu), farklı ağır metal (Cd, Cr ve Ni) doz ve uygulamaları sonucunda meydana gelen etkiler; morfolojik özellik, bitki bünyesinde birikebilirlik ve yem kalite özellikleri parametreleri doğrultusunda incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Kadmiyum stresi altında bitkilerin artan doz ile birlikte, bitki boyunda, bitki gövde çapında, salkım uzunluğunda, bin tane ağırlığında ve salkım oranında azalma; gövde çapında ise artış gözlemlenmiştir. Özellikle 25 ppm ve üzeri dozlarda morfolojik özellikler olumsuz etkilenmiştir. Toprak pH'sının da göz önünde bulundurularak düşünüldüğünde verim amaçlı yetiştiricilik için kadmiyumla bu derece bulaşık alanlar uygun değildir.
2. Tane sorgum çeşitlerinde, bitki organları arasında kadmiyum birikimi incelendiğinde, Akdarı çeşidinde en yüksek Cd birikimi sıra ile bitkinin kök, gövde, yaprak ve tane kısımlarında meydana gelmiştir. Beydarı ve Öğretmenoğlu çeşitlerinde birbirlerine benzer eğilim gözlemlenmiştir ve en yüksek birikim yine bitkinin kök bölgesinde iken bunu ikinci sırada yapraklar izlemiş ve en az taşınım bitkini tanelerine gerçekleştirmiştir. Buradaki en önemli husus kadmiyumun bitkinin tanelerine taşınıp taşınmamasıdır; çalışmamızda kullanılan çeşitlerimizde Akdarı çeşidinde taneye Cd taşınımı neredeyse diğer iki çeşidin beş katı fazla miktarda gerçekleştiği görülmüştür ki, bu çalışmanın amaçlarından birisi olan tane sorgum çeşitlerinde ağır metallerin taneye taşınıp taşınmaması sorusunun en önemli yanıtıdır. Akdarı çeşidi, Beydarı ve Öğretmenoğlu çeşitlerine göre neredeyse tanelerine beş kat daha fazla Cd taşımıştır ve bu değer ($4,97 \text{ mg kg}^{-1}$) Dünya Sağlık Örgütü Tarafından bitkiler için izin verilen sınır ağır metal değerinin ($0,02 \text{ mg kg}^{-1}$) çok daha fazlasıdır. Taneye taşınım çeşitler arasında farklılık göstermiştir, kadmiyumu tanelerine taşıyan Akdarı çeşidi Cd ile bulaşık alanlar için yem tüketimi amaçlı uygun değildir. Ancak bu durum bize başka

bir sorunun yanıtı hakkında ipucu vermiştir. Bulaşık alanlarda yem tüketimi amaçlı yetiştiricilik yapamıyorsak, fitoremediasyon amaçlı; bölgeye, iklim şartlarına ve ekonomik duruma göre gerekirse Akdarı çeşidini kullanabilir.

3. Yem kalite özellikleri bakımından tüm çeşitlerde Cd stresi altında dalgalı bir değişim gözlemlenmiştir. Bu durum çalışmanın verim amaçlı arazi şartlarında değil de sera şartlarında gerçekleşmesinden dolayı farklı streslerin de etkilerinden kaynaklanmış olabilir. Ayrıca biyokimyasal parametreler stres faktörleri karşısında çok yönlü değişimler göstermektedir ve incelenen parametreyi etkileyen daha birçok neden var olabilmektedir.
4. Cr elementinin uygulandığı bitkilerde salkım oluşumu gerçekleşmemiş ve incelenen özellikler bitki boyu, bitki gövde çapı, gövde oranı, yaprak oranı, kökte birikim, gövdede birikim, yaprakta birikim ve toprakta birikim şeklinde olmuştur.
5. Çalışmada kullanılan Cr dozları 0-50-100-200-300 ve 400 ppm şeklinde gerçekleşmiş ve bazı çeşitlerde 200 ppm ve üzerindeki dozlarda, bazı çeşitlerde ise 300 ppm ve üzerindeki dozlarda bitkiler ölmüştür. Krom uygulanan tüm bitkilerde ise salkım ve tane oluşumu gerçekleşmemiş ve tüm çeşitlerde tüm dozlarda morfolojik özellikler olumsuz etkilenmiştir.
6. Ayrıca çalışmada kullanılan tane sorgum çeşitlerinin tamamında en yüksek Cr konsantrasyonuna bitkilerin yapraklarında rastlanılmıştır. Akdarı çeşidinde birikim yaprak>kök>gövde şeklinde bir doğrultuda iken, bu durum Beydarı ve Öğretmenoğlu çeşitlerinde farklılık göstermiştir. Beydarı ve Öğretmenoğlu çeşitlerinde bu durum yaprak>gövde>kök şeklinde gerçekleşmiştir.
7. Krom stresinde bitki tane oluşturamadığı için yem kalitesi bakımından değerlendirilememiş, çoğu dozda bitkiler ölmüş ve ölmeyen bitkiler de krom stresinden olumsuz etkilenmiştir. Krom ile bulaşık alanlarda (çalışmada kullanılan dozlarda) yetiştiricilik önerilmemektedir.

8. Çalışmada nikel için 0-100-200-300-400 ve 500 ppm dozları kullanılmıştır. Ni stresi altında bitkilerin morfolojik özellikleri genelde 200-300 ppm seviyelerine kadar olumlu etkilenmiş olsa da üzerindeki dozlarda olumsuz etkilenmiştir.
9. Akdarı ve Beydarı çeşitlerinde Ni birikimi bitki organları arasında konsantrasyona göre kök>yaprak>tane>gövde şeklinde bir eğilim izlerken, Öğretmenoğlu çeşidinde ise kök>tane>yaprak>gövde şeklinde sıralama gözlenmiştir. Buradaki en önemli nokta nikeli bitkinin tanelerine taşıyıp taşıyamamasıdır; çalışmamızda kullanılan tüm çeşitlerimizde bitkiler tanelerine Ni taşınımını birbirine benzer oranda gerçekleştirmiştir. Bu taşınım kontrol bitkileri dışında ve çok az sınır olmakla birlikte 100 ppm uygulamasında Dünya Sağlık Örgütü tarafından bitkiler için izin verilen sınır ağır metal değeri olan 10 ppm seviyesinin altındadır. Ancak uygulanan diğer tüm dozlarda bu sınır değeri, bitki taneleri aşan seviyede biriktirmiştir.
10. Ni birikimi tüm çeşitlerde en fazla bitkilerin kök bölgesinde belirlenirken, en az birikim yine tüm çeşitlerde bitkilerin gövdesinde belirlenmiştir. Birikimin kök bölgesinde yoğunlaşması bize bu bitkinin/bitkilerin fitoremediasyon amaçlı kullanılabilme potansiyelinin zayıflığını göstermektedir.

KAYNAKLAR

Adams MN, Zhao FJ, Mcgrath SP, Nicholson FA, Chalmers A, Chambers BJ, Sinclair AH (2001) Cadmium and Lead British Wheat and Barley: Survey Results and Factoring Affecting Their Concentration in Grain. Project Report HGCA. November, No: 265

Ahmad MSA, Hussain M, Saddiq R, Alvi AK (2007) Mungbean: A nickel indicator, accumulator or excluder. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 78: 319–329

Alloway BJ (1995) Heavy Metals in Soils. (2nd edn), Blackie Academic & Professional, London s.386

Alloway BJ, Steinnes E (1999) Anthropogenic addition of cadmium in soils. Cadmium in Soils and Plants s. 97–123

Almas A, Singh BR, Sveittrup TE (1995) The impact of the nickel industry in Russia on concentrations of heavy metals in agricultural soils and grass in Sor-Varanger, Norwegian. Journal of Agricultural Sciences (Norway) 9: 61–74

Al-Karaki GN (2011) Utilization of treated sewage wastewater for green forage production in a hydroponic system. Emirates Journal of Food and Agriculture 23(1): 80-94

Alsher RG, Donahue JL, Cramer CL (1997) Reactive oxygen species and antioxidants: relationships in green cells. Physiologia Plantarum 100: 224-233

Anderson AJ, Meyer DR, Mayer FK (1973) Heavy metal toxicities: levels of nickel, cobalt and chromium in the soil and plants associated with visual symptoms and variation in growth of an oat crop. Australian Journal of Agricultural Research 24: 557

Anonim (1997) Ministry of Agriculture and Forestry. Cadmium in Fertilizers, Risk to Human Health and the Environment, Publ. Finnish Environ. Institute April 30: 93

Anonim (2010) Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği. (erişim tarihi: 25.07.2019)

Anonim (2011) Quality assurance for animal feed analysis laboratories. <http://www.fao.org/3/i2441e/i2441e00.pdf> (erişim tarihi: 07.07.2019)

AOAC (1990) Official Method of analysis. 15th. edn. Association of Official Analytical Chemist, Washington, DC. USA

Arshad M, Silvestre J, Pinelli E, Kallerhoff J, Kaemmerer M, Tarigo A (2008) A Field Study of Lead Phytoextraction by Various Scented *Pelargonium* Cultivars. *Chemosphere* 71: 2187-2192

Asemaneh T, Ghaderian SM, Crawford SA, Marshall AT & Baker, A JM (2006) Cellular and subcellular compartmentation of Ni in the Eurasian serpentine plants *Alyssu bracteatum*, *Alyssum murale* (Brassicaceae) and *Cleome heratensis* (Capparaceae). *Planta* 225: 193–202

Ayhan B, Ekmekçi Y, Tanyolaç D (2006) Bitkilerde Ağır Metal Zararları ve Korunma Mekanizmaları. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* 7(1): 1-16

Baize D, Mench M, Sagot S, Sappin-Didier V, Sterckmen T, Gomez A (1999) Trace elements uptake by wheat grains depending on soil types (QUASAR Programme). *Proc. 5th Int. Conf. Biogeochem. Trace Elements*, Vienna, July 11–15, s. 544

Baker AJM, Brooks RR (1989) Terrestrial Higher Plants Which Hyperaccumulate Metallic Elements—A Review of Their Distribution, Ecology and Phytochemistry. *Biorecovery* 1: 81-126

Ball DM, Hoveland CS, Lacefield GD (1996) Forage Quality. In: *Southern Forages* (2nd edition). 124-132. Potash & Phosphate Institute and Foundation for Agronomic Research, Norcross, GA

Balole TV, Legwaila GM (2006) *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Record from PROTA4U

Brink M, Belay G ed. PROTA (Plant Resources of Tropical Africa), Wageningen, Netherlands. [Online] Available: <http://edepot.wur.nl/417516> (erişim tarihi:14.03.2019) <https://www.feedipedia.org/node/3047> (erişim tarihi: 20.08.2019)

Bani A, Echevarria G, Suleyman S, Morel JL, Mullai A (2007) *In-situ* phytoextractin of Ni by a native population of *Alyssum murale* on an ultramafic site (Albania). *Plant Soil* 293: 79–89

Banks PA, Duncan RR (1983) Weed-control evaluations in ratoon-cropped grain sorghum (*Sorghum bicolor*). *Weed Science* 31: 254-258

Barceló J, Cobot C, Poschenrieder C (1986a) Cadmium-induced decrease of water stress resistance in bush bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. Cv. Contender). II. Effects of Cd on endogenous abscisic acid level. *Journal of Plant Physiology* 125: 27-34

Barceló J, Poschenrieder C (1990) Plant water relations as affected by heavy metal stress: A review. *Journal of plant nutrition* 13: 1-37

Barceló J, Poschenrieder C, Andreu I, Gunse B (1986b) Cadmium-induced decrease of water stress resistance in bush bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Contender). I. Effects of Cd on water potential, relative water content and cell wall elasticity. *Journal of Plant Physiology* 125: 17-25

Barnhart J (1997) Chromium chemistry and implications for environmental fate and toxicity. *Soil and Sediment Contamination* 6: 561–568

Bartlett RJ (1999) Characterizing soil redox behavior. *Soil Physical Chemistry* 2nd edn ed. DL Sparks 371–397

Bazzaz FA, Carlson RW, Rolfe GL (1974) The effect of heavy metals on plants, *Environmental Pollution* 7: 241-246

Benavides MP, Gallego SM, Tomaro ML (2005) Cadmium Toxicity in Plants. *Brazilian journal of plant physiology* 17(1): 21-34

Bens S, Pabianova J (1986) Background Contents and Classification of Trace Elements in Soils, V SZ, Praha, s. 203

Berrow ML, Burridge JC (1981) Persistence of metals in available form in sewage sludge treated soils under field conditions, in *Proc. Int. Conf. Heavy Metals in the Environment*, Amsterdam, CEP Consultants Ltd., Edinburgh, U.K., 201

Bizarro VG, Meurer EJ, Tatsch FRP (2008) Cadmium contents of phosphate fertilizers marketed in Brazil. *Cienc. Rural* 38: 247–250

Brohi AR, Aydeniz A, Karaman MR, Erşahin S (1994) Bitki Besleme Gop Üni. Ziraat Fak Yayınları Tokat

Brown SA, Neish AC (1955) Shikimic acid as a precursor in lignin biosynthesis. *Nature* 175: 688–689

Bruggemann J, Dorfner HH, Hecht H, Kumpulainen JT, Westermair Th (1996) Status of trace elements in staple foods from Germany 1990–1994 in Trace Elements, Natural Antioxidants and Contaminants in European Foods and Diets, Kumpulainen, J. T., ed. FAO/REU Techn. Ser. 49: 5

Bylińska E (1993) Bioaccumulation of chromium and nickel in plants from areas of polymetallic deposits in Sudety Mts. In: *Chromium, Nickel and Aluminum in the Environment: Ecological and Analytical Problems*, Kom. Nauk PAN MAB, Warsaw (in Polish) ed. Kabata-Pendias A, s. 65–72

Carter PR, Hicks DR, Oplinger ES, Doll JD, Bundy LG (1989) Grain sorghum (milo). *Alternative Field Crops Manual*. University of Wisconsin - Extension, Cooperative Extension, University of Minnesota; Center for Alternative Plant & Animal Products and the Minnesota Extension Service

Castro RO, Trujillo MM, Bucio LJ, Cervantes C, Dubrovsky J (2007) Effects of Dichromate on Growth and Root System Architecture of *Arabidopsis thaliana* Seedlings. *Plant Science* 172: 684-691

Cataldo DA, Garlve TR, Wildung RE (1978) Nikel in plants; II: Distribution and chemical form in soybean plants. *Plant Physiology* 62: 566-570

CFIA. 2019. Canadian Food Inspection Agency. <http://www.inspection.gc.ca> (erişim tarihi 13.03.2019)

Chami ZA, Amer N, Bitar AL, Cavoski I (2015) Potential use of *Sorghum bicolor* and *Carthamus tinctorius* in phytoremediation of nickel, lead and zinc 12(12): 3957–3970

Chaney RL, Angle JS, Li YM, Baker AJM, Reeves RD, Roseberg RJ, & Nelkin JP (1999) Phytoextraction of soil nickel using *Alyssum* species. 5th Int. Conf. Biogeochem. Trace Elements, Vienna, s.14–15

Chaney RL, Hornick SB (1977) Accumulation and effects of cadmium on crops, paper presented at Int. Cadmium Conf. San Francisco, January 31, s.125

Chatterjee J, Chatterjee C (2000) Phytotoxicity of cobalt, chromium and copper in caulifl ower. *Environmental pollution* 109: 69–74

Cheng W, Zhang G, Yao H, Wu W, Xu M (2006) Genotypic and Environmental Variation in Cadmium, Chromium, Arsenic, Nickel, and Lead Concentrations in Rice Grains. *Journal of Zhejiang University Science B* 7(7): 565-571

Cherney DJR, Mertens DR, Moore JE (1990) Intake and digestibility by wethers as influenced by forage morphology at three levels of forage offering. *Journal of Animal Science* 68(1): 4387-4399

Christensen TH (1984) Cadmium soil sorption at low concentrations, *Water Air Soil Pollut.* 21: 105- 115

Choudhary S, Goyal V, Singh S (2015) Removal of copper(II) and chromium(VI) from aqueous solution using sorghum roots (*S. bicolor*): a kinetic and thermodynamic study. *Clean Techn Environ Policy* 17: 1039–1051

Ciéslinski G, Neilsen GH, Hogue EJ (1996) Effects of soil cadmium applications and pH on growth and cadmium accumulation in roots, leaves and fruits of strawberry plants (*Fragaria ananassa* Duch.). *Plant Soil* 180: 267

Clemens S (2006) Toxic Metal Accumulation, Responses to Exposure and Mechanisms of Tolerance in Plants. *Biochimie* 88: 1707-1719

Delhaize E, Ryan PR, Randall PJ (1993) Aluminum tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.): II. Aluminum-stimulated excretion of malic acid from root apices. *Plant Physiology* 101: 695-702

Denneman PRJ, Robberse JG (1990) Ministry of Housing, Netherland 1990. Source: WHO (1996)

Derici RM, Evliya H, Ağca N, Özkutlu F, Eker S, Öztürk L (2002) Çukurova Bölgesinde Toprak ve Bitkilerde Kadmiyum Konsantrasyonunun Araştırılması ve Bitkilerde Kadmiyum Birikimini Etkileyen Faktörlerin Toprak Analizleri ve Sera Denemeleri ile İncelenmesi. TUBİTAK Proje No: Togtag/Tarp-2382 ADANA

Dickinson NM, Pulford ID (2005) Cadmium phytoextraction using short-rotation coppice *Salix*: the evidence trail. *Environment International* 31: 609–613

Dong J, Wu FB, Huang RG, Zang GP (2007) A chromium-tolerant plant growing in Cr-contaminated land. *International journal of phytoremediation* 9: 167–179

Dunbar KR, McLaughlin MJ, Reid RJ (2003) The Uptake and Partitioning of Cadmium in Two Cultivars of Potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Exp. Botany* 54(381): 349-354

Eriksson JE (2001) Concentrations of 61 trace elements in sewage sludge, farmyard manure, mineral fertilizers, precipitation and in oil and crops. *Swedish EPA Stockholm* s. 5159

Eskew DL, Welch RM, Cary EE (1983) Nickel: an essential micronutrient for legumes and possible all higher plants. *Science* 222: 621–623

Espinoza L, Kelley J (2004) Grain Sorghum Production Handbook. Cooperative Extension Service, University of Arkansas, Little Rock, AR

Evliya H (1964) Kültür bitkilerinin beslenmesi. A.Ü. Zir. Fak. Yayınları. Sayı 36

Farmer JG, Graham MC, Thomas RP, Licon-Manzur C, Paterson E, Roe MJ (1999) Assessment and modeling of the environmental chemistry and potential for remediation treatment of chromium-contaminated land. *Environmental Geochemistry and Health* 21: 331–337

FAO. (2017) Food and Agriculture Organization of the United Nations. www.fao.com (erişim tarihi 13.03.2019)

FAO. (2015) Food and Agriculture Organization of the United Nations. www.fao.com

Garber ED (1950) Cytotaxonomic studies in the genus *Sorghum*. University of California Publications in Botany 23: 283-362

Giuseppe D, Melchiorre M, Bianchini G, Giurdanella A, Coltorti M, Faccini B, Ferretti G (2017) Assessment of heavy metal bioaccumulation in sorghum from neutral saline soils in the Po River Delta Plain (Northern Italy). *Environ Earth Sci* 76: 519

Golovatyj SE, Bogatyreva EN (1999) Effect of Levels of Chromium Content in a Soil on Its Distribution in Organs of Corn Plants. *Soil Res. Fertil.* 99: 197-204

Gough LP, Shacklette HT, Case AA (1979) Element concentrations toxic to plants, animals, and man, U.S. Geol. Surv. Bull. 1466: 80

Govindaraju K (1994) Compilation of working values and sample description for 383 geostandards. *Geostand. Newslett.* 18: 1

Graham D, Patterson BD (1982) Response of plants to low nonfreezing temperatures: Proteins, metabolism, and acclimation, *Annual Review of Plant Physiology* (33): 347-372

Greger M (1999) Metal availability and bioconcentration in plants in Heavy Metal Stress in Plants, Prasad MNV and Hagemeyer J, ed. Springer, Heidelberg, s.1-27

Gupta S, Srivastava S, Pardha Saradhi P (2009) Chromium Increases Photosystem 2 Activity in *Brassica juncea*. *Biologia Plantarum* 53: 100-104

Gür N, Topdemir A, Munzuroğlu Ö, Çobanoğlu D (2004) Ağır Metal İyonlarının (Cu^{+2} , Pb^{+2} , Hg^{+2} , Cd^{+2}) *Clivia* sp. Bitkisi Polenlerinin Çimlenmesi ve Tüp Büyümesi Üzerine Etkileri. *F.Ü. Fen ve Matematik Bilimleri Dergisi* 16(2): 177-182

Hamman L, Dhuyvetter KC, Boland M (2001) Economic issues with grain sorghum (MF-2513) Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service

Harlan J, De Wet J (1972) A simplified classification of cultivated sorghum. *Crop Science* 12(2):172-176

Hart JJ, Welch RM, Norvell WA, Sullivan LA, Kochian LV (1998) Characterization Of Cadmium Binding, Uptake And Translocation İn Intact Seedlings Of Bread And Durum Wheat Cultivars. *Plant Physiology* 116(4): 1413-1420

Hedrick JB (1995) The global rare-earth cycle. *Journal of Alloys and Compounds* 225: 609–618

Hernández LE, Rodriguez EL, Gárate A, Ruiz RC (1998) Influence of cadmium on the uptake, tissue accumulation and subcellular distribution of manganese in pea seedlings. *Plant Science* 132: 139-151

House LR (1985) A guide to sorghum breeding. Second Edition. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT), Patancheru, Andhra Pradesh, India, s. 212

Howe JA, Loeppert RH, DeRose VJ, Hunter DB, Bertsch PM (2003) Localization and Speciation of Chromium in Subterranean Clover Using XRF, XANES, and EPR Spectroscopy. *Environmental Science Technology* 37: 4091-4097

Itoh S, Yumura Y (1979) Studies on the contamination of vegetable crops by excessive absorption of heavy metals. *Yasai Shikenjo hokoku.= Bulletin of the Vegetable and Ornamental Crops Research Station. Series A* 6a: 123

Jackson PJ, Unkefer PJ, Delhaize E, Robinson NJ (1990) Mechanisms of trace metal tolerance in plants. *Environmental Injury to Plants*, Ed. Katterman F, Academic Press, San Diego, s. 231-258

James BR, Petura JC, Vitale RJ, Mussoline GR (1997) Oxidation-reduction chemistry of chromium: relevance to the regulation and remediation of chromate-contaminated. *Soils Soil and Sediment Contamination* 6: 569

Jia W, Lv S, Feng J, Li J, Li Y, Li S (2016) Morphophysiological characteristic analysis demonstrated the potential of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in the phytoremediation of cadmium-contaminated soils. *Environmental Science and Pollution Research* 23: 18823–18831

Jiang S, Wenga B, Liua T, Sua Y, Liua J, Lua H, Yana C (2017) Response of phenolic metabolism to cadmium and phenanthrene and its influence on pollutant translocations in the mangrove plant *Aegiceras corniculatum* (L.) Blanco (Ac) *Ecotoxicology and Environmental Safety* (141): 290–297

Jorgensen SE (1993) Removal of heavy metals from compost and soil by ecotechnological methods. *Ecological Engineering* 2: 89–100

Kabata-Pendias A (2011) *Trace elements in soils and plants*, 4th edn. CRC Press, Boca Raton

Kabata-Pendias A, Gondek B (1978) Bioavailability of heavy metals in the vicinity of a copper smelter. *Trace substances in Environmental Health -XII*, Hemphill, D. D., ed. University of Missouri, Columbia MO, 523

Kaçar B, Katkat AV (2007) Gübreler ve gübreleme tekniği Nobel yayınları no:1119

Kahvecioğlu Ö, Kartal G, Güven A, Timur S (2007) *Metallerin Çevresel Etkileri –I.* (erişim adresi: https://metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136_4753.pdf (erişim tarihi: 29.01.2019))

Kaplan M, Kızıllışımşek M (2012) Farklı tane sorgum (*Sorghum bicolor* L.) hat ve çeşitlerinin besleme değerlerinin belirlenmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi 28(1): 11-14

Karunyal S, Renuga G, Paliwal K (1994) Effects of Tannery Effluent on Seed Germination, Leaf Area, Biomass and Mineral Content of Some Plants. Bioresource Technology 47: 215-218

Kara R (2016) Evaluation of flag leaf physiological traits of triticale genotypes under eastern Mediterranean conditions. Turk J. Field Crops 21(1): 67-78

Karuppanapandian T, Manoharan K (2008) Uptake and Translocation of Tri- and Hexa-Valent Chromium and Their Effects on Black Gram (*Vigna mungo* L. Hepper cv. Co4) Roots. J. Plant Biol. 51: 192-201

Kasmiyati S, Santosa S, Priyambada ID, Dewi K, Sucahyo, Sandradewi R (2016) Growth Response of *Sorghum bicolor* Cultivars to Trivalent Chromium Stress. Journal of Biology & Biology Education 8(1): 73-86

Kennedy CD, Gonsalves FAN (1987) The action of divalent zinc, cadmium, mercury, copper and lead on the trans-root potential and efflux of excised roots. Journal of Experimental Botany 38: 800-817

Khan NA, Ahmad I, Singh S, Nazar R (2006) Variation in Growth, Photosynthesis and Yield of Five Wheat Cultivars Exposed to Cd Stres. Word J. of Agricultural Science 2(2): 223-226 ISSN 1817-3047

Khoddami A, Wilkes MA, Roberts TH, (2013) Techniques for analysis of plant phenolic compounds. Molecules 18(2): 2328–2375

Kitagishi K, Yamane I (1981) Heavy Metal Pollution in Soils of Japan, Japan Science Society Press, Tokyo, s. 302

Kloke A, Sauerbeck DR, Vetter H (1984) The contamination of plants and soils with heavy metals and the transport of metals in terrestrial food chains, in Changing Metal Cycles and Human Health, Nriagu, J. O., ed. Dahlem, Konferenzen, Springer-Verlag, Berlin, 113

Knezevic M, Stankovic D, Krstic B, Nikolic MS, Dragica V (2009) Concentrations of Heavy Metals in Soil and Leaves of Plant Species Paulownia Elongata S.Y.Hu and Paulownia Fortunei Hemsl. African Journal of Biotechnology 8(20): 5422-5429

Kolodziej B, Antonkiewicz J, Stachyra M, Bielinska EJ, Wisniewski J, Luchowska K, Kwiatkowski C (2015) Use of sewage sludge in bioenergy production -A case study on the effects on sorghum biomass production. *European Journal of Agronomy* 69: 63-74

Kováčik J, Klejdus B (2008) Dynamics of phenolic acids and lignin accumulation in metal-treated *Matricaria chamomilla* roots. *Plant Cell Rep.* 27(3): 605–615

Kováčik J, Klejdus B, Hedbavny J, Zoň J (2011) Significance of phenols in cadmium and nickel uptake. *Journal of Plant Physiology* 168(6): 576–584

Krämer U, Cotter-Howells JD, Baker AJM, Smith JAC (1996) Free histidine as a metal chelator in plants that accumulate nickel. *Nature* 379: 635-639

Krämer U, Golldack D, Kiriazidou G, Dietz KJ (1999) Induction of plant pathogenesis-related proteins by heavy metals. *Proc. 5th Int. Conf. Biogeochem. Trace Elements, Vienna, July 11–15 s.* 1158

Krupa Z, Bazyński T (1995) Some aspects of heavy metal toxicity towards photosynthetic apparatus-direct and indirect effects on light and dark reactions. *Acta Physiologiae Plantarum* 17: 177-190

Kurucu N, Gedikoğlu İ, Eyüpoğlu F (1990) Toprakların verimlilik yönünden kimyasal analiz yöntemleri. In: *Toprak ve Su Analiz Laboratuvarları El Kitabı*. Ed.: A. Tüzüner. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları. Ankara

Latif S, Qamar IA, Khan MF, Cheema A, Bukhari D, Yunus AW (2015) Effects Of Ensiling *Dab* Grass (*Desmostachya bipinnata*) With Maize And Different Molasses Combinations On Proximate Composition And Digestibility In Goats. *The Journal of Animal & Plant Sciences* 25(1): 60-64

Lijbben S, Sauerbeck D (1991) The Uptake and Distribution of Heavy Metals by Spring Wheat. *Water, Air, and Soil Pollution* 57(58): 239-247

Li M, Hu C, Zhu Q, Chen L, Kong Z, Liu Z (2006) Copper and Zinc Induction of Lipid Peroxidation and Effects on Antioxidant Enzyme Activities in the Microalga *Pavlova viridis* (Prymnesiophyceae). *Chemosphere* 62(4): 565-572

Li YM, Chaney RL, Schneiter RL (1994) Effect of soil chloride level on cadmium concentration in sunflower kernels, *Plant Soil* 167: 275

Lindsay WL, Norvell WA (1978) Development of a DTPA Soil test for Zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc.* 42: 421-428

Lodenius M, Maarala L, Mukherjee B (1999) Occurrence and turnover of cadmium in Finnish forest ecosystem. *Proc. Symp. Cadmium in the Environment—Ecological and Analytical Problems*, Warsaw, October 26–27, s. 4

Lombardi L, Sebastiani L (2005) Copper Toxicity in *Prunus cerasifera*: Growth and Antioxidant Enzymes Responses of In vitro Grown Plants. *Plant Science* 168: 797-802

Loneragan JF (1975) The availability and absorption of trace elements in soil-plant systems and their relation to movement and concentration of trace elements in plants. In *Trace Elements in Soil-Plant-Animal Systems*, Nicholas DJD, Egan AR ed. Academic Press, New York, 109

Long XX, Yang XE, Ni WZ (2002) Current Status and Perspective on Phytoremediation of Heavy Metal Polluted Soils. *Journal of Applied Ecology* 13: 757-762

Lozano-Rodriguez E, Hernandez LE, Bonay P, Carpena-Ruiz RO (1997) Distribution of cadmium in shoot and root tissues. *J Exp Bot* 48: 123–128

Luna CM, Gonzalez CA, Trippi VS (1994) Oxidative Damage Caused by Excess of Copper in Oat Leaves. *Plant Cell Physiology* 35: 11-15

Macnicol RD, Beckett PHT (1985) Critical tissue concentrations of potentially toxic elements. *Plant Soil* 85: 107

Majan GY, Kozak M, Püspöki Z, McIntosh R, Mikó L (2001) Environmental geological examination of chromium contamination in Eastern Hungary. *Environmental Geochemistry and Health* 23: 229–233

Majewska M, Kurek E (2008) Immobilization of cadmium by grass: *Secale cereale* and *Festuca ovina*. *Proc. X Symp. Trace Elements in Environ.* Koszalin-Mielno, Poland, 244–245

Malan LH, Farrant JM (1998) Effect of the Metal Pollutants Cadmium and Nickel on Soybean Seed Development. *Soil Science Res.* 8: 445-453

Mani D, Sharma B, Kumar C (2007) Phytoaccumulation, interaction, toxicity and remediation of cadmium from *Helianthus annuus* L. (sunflower). Bull. Environ. Contam. Toxicol. 79: 71–79

Marschner H (1995) Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd edition. Academic Press, London

McGrath SP (1982) The uptake and translocation of tri- and hexa-valent chromium and effects on the growth of oat, in flooding nutrient solution and in soil. New Phytol. 92: 381

McLaughlin ML, Palmer LT, Tiller KG, Beech TA, Smart MK (1994) Increased soil salinity causes elevated cadmium concentrations in field-grown potato tubers, J. Environ. Qual. 23: 1013

Mengel K, Kirkby EA (1978) Principles of Plant Nutrition, International Potash Institute, Worblaufen- Bern, s. 593

Mengel K, Kirkby EA (2001) Principles of Plant Nutrition 5th ed. IPI, PO box. Ch 3048 Worblaufen- Bern/ switzerland

Mench M, Morel JL, Cuckert A, Guillet B (1988) Metal binding with root exudates of low molecular weight. J. Soil. Sci. 33: 521-527

Mesjarz-Przybyłowicz J, Nakonieczny M, Migula P, Augustyniak M, Tarnawska M, Reimold WU, Koeberl C, Przybyłowicz W, Głowacka E (2004) Uptake of cadmium, lead, nickel and zinc from soil and water solutions by the nickel hyperaccumulator. Berkheya coddii. Acta Biol. Cracoviensia Ser. Bot. 46: 75–85

Mishra D, Kar M (1974) Nickel in plant growth and metabolism, The botanical review 40: 395

Molas J (1997) Range of tolerance limits and toxicity symptoms of ionic and chelated nickel forms in cabbage plants (*Brassica oleracea* L.). Z. Probl. Post. Nauk Roln 448b, 203

Moore DP (1972) Mechanisms of micronutrient uptake by plants, in Micronutrients in Agriculture. Mortvedt JJ, Giordano PM, Lindsay WL ed. Soil Science Society of America, Madison, WI, 17

Moore JE, Undersander DJ (2002) Relative forage quality: Alternative to relative feed value and quality Index. Proceedings 13th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium, s.16-32

Morgado P, Pereira V, Pinto MS (2001) Chromium in Portuguese soils surrounding electroplating facilities. Environ. Geochem. Health 23: 225–228

Morrison JA (2003) Hay and Pasture Management. Chapter 8. Extension Educator, Crop Systems Rockford Extension Center

Muranyi A, Seeling B, Ladewig E, Jungk A (1994) Acidification in the rhizosphere of rape seedlings and in bulk soil by nitrification and ammonium uptake. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 157: 61-65

Nedunchezian N, Kulandaivelu G (1995) Effect of Cd and UV-B radiation on polypeptide composition and photosystem activities of *Vigna unguiculata* chloroplasts. Biologia plantarum 37: 437-441

Nicholson FA, Smith SR, Alloway BJ, Carlton-Smith C, Chambers BJ (2003) An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. Science of the total environment 311(1-3): 205-219

Nicks LJ, Chambers MF (1998) A pioneering study of the potential of phytomining for Ni, in Plants that Hyperaccumulate Heavy Metals, ed. Brooks, R R CAB Intern. s. 313

Niechayeva EG (2002) Heavy metals in taiga zone of Western Siberia. 2 Int. Conf. Heavy Metals, Radionuclides and Elements Biofills in the Environment, Semipalatynsk, Kazakhstan (in Russian) s. 115–121

Oliver DP, Tiller KG, Conyers MK, Slattery WJ, Alston AM, Merry RH (1996) Effectiveness of liming to minimize uptake of cadmium by wheat and barley grain grown in the field. Australian Journal of Agricultural Research 47: 1181-1193

Ouzounidou G (1995) Cu-ions mediated changes in growth, chlorophyll and other ion contents in a Cu-tolerant *Koeleria splendens*. Biologia Plantarum 37: 71-79

Öktüren Asri F, Sönmez S (2006) Ağır Metal Toksisitesinin Bitki Metabolizması Üzerine Etkileri. Akdeniz Üniversitesi Toprak Bölümü, s.10, Antalya

Özkan A (2017) Antakya-Cilvegözü Karayolu Etrafindaki Tarım Arazilerinde ve Bitkilerdeki Ağır Metal Kirliliği. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 32(3): 9-18

Pais I, Somos A, Duda L, Tarjanyi F, Nagymihaly F (1970) Trace Elements Experiments with Tomato and Paprika, I. Kiserletugyi Kozlem 62: 25- 40

Pandey V, Dixit V, Shyam R (2009) Chromium (VI) Induced Changes in Growth and Root Plasma Membrane Redox Activities in Pea Plants. Protoplasma 235: 49-55

Paradiso A, Berardino R, de Pinto MC, Parkı LU, Storelli M, Tommasi F, De Gara L (2008) Increased in ascorbate-glutathione metabolism as local and precocious systemic responses induced by cadmium in durum wheat plants. Plant Cell Physiol. 49:362–374

Paschke MW, Valdecantos A, Redente EF (2005) Manganese toxicity thresholds for restoration grass species. Environmental Pollution 135: 313-322

Pavliková D, Pavlik M, Vašic`kova S, Szakova J, Tlustos P, Vokac K, Balik J (2002) The effect of soil properties on cadmium bonds to organic substances of spinach biomass. Appl. Organometal. Chem. 16: 187–191

Pedersen J, Toy J, Johnson B (1998) Natural outcrossing of sorghum and sudangrass in the central great plains. Crop Science 38(4): 937-939

Petrulina NS (1974) Geochemical ecology of plants from the provinces of high trace element contents. Problems of Geochemical Ecology of Organisms, Izd. Nauka, Moscow, s. 57

Pizer NH (1967) Some advisory aspects, soil potassium and magnesium. Tech. Bull. No:14: 184

Pohlmeier A (1999) Metal chelation and complexing ligands in plants. Heavy Metal Stress in Plants, ed. Prasad MNV, Hagemeyer J, Springer-Verlag, Berlin, s. 29–50

Prasad MNV (2005) Cadmium toxicity and tolerance in vascular plants. Environmental and Experimental Botany 35: 525–545

Prasad MNV (2008) Trace Elements as Contaminants and Nutrients. consequences in ecosystems and human health. John Wiley & Sons

Puthotá V, Cruz-Ortega R, Johnson J, Ownby J (1991) An ultrastructural study of the inhibition of mucilage reaction in the wheat root cap by aluminium. *Plant-Soil Interactions at Low pH*, ed. RJ, Wright VC, Baligar RP, Murrmann, Kluwer, Dordrecht, s. 779-787

Quinby J, Karper R (1947) The effect of short photoperiod on sorghum varieties and first generation hybrids. *JAgric Res* 75: 295-300

Radmer R, Kok B (1974) Kinetic observation of the photosystem II electron acceptor pool isolated by mercuric ion. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics* 357: 177-180

Raineri A, Bernardi P, Lanese Ri, Soldatini GF (1989) Change in free amino acid content and protein pattern of maize seedling under water stress. *Environmental and Experimental Botany* 29(3): 351-357

Rausser WE (1990) Phytochelatins. *Annual review of biochemistry* 59: 61-86

Reck BK, Muller DB, Rostkowski K, Graedel TE (2008) Anthropogenic nickel cycle: insights into use, trade, and recycling. *Environmental science & technology* 42: 3394–3400

Redfearn D, Zhang H, Caddel J (2006) Forage quality interpretations. Oklahoma Cooperative Extension Service F-2117.<http://pods.dasnr.okstate.edu> (erişim Tarihi: 02.08.2019)

Reimann C, De Caritat P (1998) *Chemical Elements in the Environment*. Springer Science & Business, Media Springer-Verlag, Berlin

Rellan-Alvarez R, Ortega-Villasante C, Alvarez-Fernandez A, Campo FF, Hernandez LE (2006) Stress responses of *Zea mays* to cadmium and mercury. *Plant Soil* 279: 41–50

Revoredo MD, Melo WJ (2006) Disponibilidade De Níquel Em Solo Tratado Com Lodo De Esgoto E Cultivado Com Sorgo. *Bragantia [online]* 65(4): 679-685

Richards LA (1954) *Diagnosis and improvements saline and alkali soils*. U.S. Dept. Agr. Handbook 60

Rohweder DA, Barnes RF, Jorgensen N (1978) Proposed hay grading standards based on laboratory analyses for evaluating quality. *Journal of Animal Science* 47: 747- 759

Rombola AD, Tagliavini M (2006) Iron nutrition of fruit tree crops. In: Iron Nutrition in Plants and Rhizospheric Microorganisms. Barton L, Abadia J (Eds.). Springer, s. 61-83

Rout GR, Samantaray S, Das P (1997) Differential Chromium Tolerance Among Eight Mung Bean Cultivars Grown in Nutrient Culture, Journal of Plant Nutrutient 20: 473-483

Roy SK, Cho SW, Kwon SJ, Kamal MHA, Kim SW, Oh MW, Lee MS, Chung KY, Xin Z, Woo SH (2016) Morpho-Physiological and Proteome Level Responses to Cadmium Stress in Sorghum. Plos One 11(2): 0150431

Rudel H, Wenzel A, Terytze K (2001) Quantifi cation of soluble chromium (VI) in soils and evaluation of ecotoxicological effects. Environmental Geochemistry and Health 23: 219–224

Saatçı F, Tuncay H, Altınbaş Ü, Akıncı MÇ (1983) Toprak ve su analiz yöntemleri. E.Ü. Zir. Fak. Bornova. Teksir No: 18

Saidi I, Ayouni M, Dhieb A, Chtourou Y, Chaïbi W, Djebali, W (2013) Oxidative damages induced by short-term exposure to cadmium in bean plants: Protective role of salicylic acid. South African Journal of Botany 85: 32–38

Salt DE, Rauser WE (1995) MgATP-Dependent Transport of Phytochelatins Across the Tonoplast of Oat Roots. Plant Physiology 107: 1293-1301

Samantaray S (2002) Biochemical Responses of Cr-Tolerant and Cr-Sensitive Mung Bean Cultivars Grown on Varying Levels of Chromium. Chemosphere 47: 1065- 1072

SAS (1999) SAS User's Guide: Statistic. Statistical Analysis Systems Institute Inc., Cary, NC

Schmidt M, Bothma G (2006) Risk assessment for transgenic *sorghum* in africa: Crop-to-crop gene flow in (L.) moench. Crop science 46(2): 790-798

Scoccianti V, Crinelli L, Tirillini B, Mancinelli V, Speranza A (2006) Uptake and Toxicity of Cr(III) in Celery Seedlings. Chemosphere 64: 1695-1703

Senwo ZN, Tazisong IA (2004) Metal contents in soils of Alabama. Communications in soil science and plant analysis 35: 2837–2848

Sereno ML, Almeida RS, Nishimura DS, Figueira A (2007) Response of sugarcane to increasing concentrations of copper and cadmium and expression of metallothionein genes. *J. Plant Physiol.* 164:1499–1515

Shah K, Kumar RG, Verma S, Dubey RS (2001) Effect of cadmium on lipid peroxidation, superoxide anion generation and activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. *Plant Science* 161: 1135-1144

Shanker AK, Cervantes C, Loza Tavera H, Avudainayagam S (2005) Chromium Toxicity in Plants. *Environment International* 31: 739-753

Sharma DC, Sharma CP (1993) Chromium Uptake and Its Effects on Growth and Biological Yield of Wheat. *Cereal Res. Commun.* 21: 317-321

Sheoran IS, Singal HR, Singh R (1990) Effect of cadmium and nickel on photosynthesis and enzymes of the photosynthetic carbon reduction cycle in pigeon pea (*Cajanus cajan* L.). *Photosynthesis Research* 23: 345-351

Shtiza A, Swennen R, Tashko A (2005) Chromium and nickel distribution in soils, active river, overbank sediments and dust around the Burrell chromium smelter (Albania). *J. Geochem. Explor.* 87: 92-108

Siebielec G, Chaney RL (2006) Manganese fertilizer requirement to prevent manganese deficiency when liming to remediate Ni-phytotoxic soils. *Communications in soil science and plant analysis* 37: 163-179

Siedlecka A, Baszyński T (1993) Inhibition of electron flow around photosystem I in chloroplasts of Cd-treated maize plants is due to Cd-induced iron deficiency. *Physiologia Plantarum* 87: 199-202

Simmons RW, Pongsakul P, Chaney RL, Saiyasitpanich D, Klinphoklap S, & Nobuntou W (2003) The relative exclusion of zinc and iron from rice grain in relation to rice grain cadmium as compared to soybean: Implications for human health. *Plant Soil* 257: 163–170

Simon L, Prokisch J, Kovacs B, Györi Z (1998) Phytoextraction of heavy metals from a galvanic mud contaminated soil, in *Soil Pollution*, Filep, G., ed., Agr. Univ. Debrecen, 289, 1998

Simon L, Szegvari I, Prokisch J (2001) Enhancement of chromium phytoextraction capacity of fodder radish with picolinic acid. *Environmental Geochemistry and Health* 23: 313–316

Singh G, Brar MS, Malhi SS (2007) Decontamination of chromium by farm yard manure application in spinach grown in two texturally different Cr-contaminated soils. *Journal of plant nutrition* 30: 289–308

Singh OV, Labana S, Pandey G, Budhiraja R, Jain RK (2003) Phytoremediation: An Overview of Metallic Ion Decontamination from Soil. *Applied Microbiology and Biotechnology* 61: 405-412

Skorzyska-Pilot E, Baszynski T (1997) Differences in sensitivity of the photosynthetic apparatus in Cd-stressed runner bean plants in relation to their age. *Plant Science* 128: 11

Smith CW, Frederiksen RA (2000) Sorghum: Origin, history, technology, and production. John Wiley & Sons (cilt:2)

Smolders E, Degryse F (2006) Fixation of cadmium and zinc in soils: implication for risk assessment. *Natural Attenuation of Trace Element Availability in Soils* eds. R. Hamon M, McLaughlin E, Lombi, Taylor & Francis, Boca Raton, FL. s. 157–171

Soudek P, Petrová S, Vančková R, Song J, Vaneček T (2014) Accumulation of heavy metals using *Sorghum* sp. *Chemosphere* 104: 15–24

Steffens JC (1990) The heavy metal-binding peptides of plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 41: 553-575

Stigliani WM (1995) Global perspectives and risk assessment. *Biogeodynamics of Pollutants in Soils and Sediments*, Salomons W, Stigliani WM, eds., Springer, Berlin, s. 331

Stresty TVS, Madhava Rao KV (1999) Ultrastructural alterations in response to zinc and nickel stress in the root cell of pigeonpea. *Environmental and Experimental Botany* 41: 3-13

Subrahmanyam D (2008) Effects of Chromium Toxicity on Leaf Photosynthetic Characteristics and Oxidative Changes in Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Photosynthetica* 46: 339-345

Tao SG, Lou CZ, Yuan XS, Li W, Ju Z, Wen HL (2007) Characteristics of Heavy Metal Pollution in Soil and Dust of Urban Parks in Shanghai. *Environmental Science* 53: 250-330

Taylor MD, Percival HJ (2001) Cadmium in soil solutions from a transect of soils away from a fertilizer bin. *Environ. Pollut.* 113:35–40

Terry N, Zayed A, Pilon-Smits E, De Souza M (1999) Phytovolatilization and the phytoremediation of selenium. *Proc. 5th Int. Conf. Biogeochem. Trace Elements*, Vienna, July 11–15 s. 24

Tester M, Leigh RA (2001) Partitioning of Nutrient Transport Processes in Roots. *Journal of Experimental Botany* 52: 445-457

Thakali S, Allen HE, Di Toro DM, Ponizovsky AA, Rooney CP, Zhao FJ, & McGrath SP (2006) A terrestrial biotic ligand model. 1. Wyszowska *Environ. Sci. Technol.* 40: 7085–7093

Thivierge MN, Chantigny MH, Bélanger G, Seguin P, Bertrand A, Vanasse A (2015) Response to nitrogen of sweet pearl millet and sweet sorghum grown for ethanol in eastern Canada. *BioEnergy Research* 8(2): 807-820

Tiffin LO (1972) Translocation of micronutrients in plants, in *Micronutrients in Agriculture*, Mortvedt JJ, Giordano PM, Lindsay WL, ed. Soil Science Society of America, Madison, WI, 199

Tripathi AK, Tripathi S (1999) Changes in Some Physiological and Biochemical Characters in *Albizia lebbek* as Bio- Indicators of Heavy Metal Toxicity. *Journal Environmental Biology* 20: 93-98

Tsui C (1955) Effect of Seed Treatment with Micro-elements on the Germination and Early Growth of Wheat, *Scientia Sinica* 4: 129-135

Turner MA, Rust RH (1971) Effect of chromium on growth and mineral nutrition of soybeans. *Soil Science Society of America Journal* 35: 755

Uraguchi S, Watanabe I, Yoshitomi A, Kiyono M, Kuno K (2006) Characteristics of cadmium accumulation and tolerance in novel Cd-accumulating crops, *Avena strigosa* and *Crotalaria juncea*. *J. Exp. Bot.* 57(12): 2955–2965

USDI (2009) Mineral Commodity Summaries. USGS. <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs> (erişim tarihi: 06.08.2019)

Ülgen N, Yurtsever N (1974) Türkiye Gübre ve Gübreleme Rehberi. Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Teknik Yayınlar Serisi, 28, Kemal Matbaası, Ankara

Vajpayee P, Rai UN, Ali MB, Tripathi RD, Yadav V, Sinha S, Singh SN (2001) Chromium Induced Physiological Changes in *Vallisneria spiralis* L. and Its Role in Phytoremediation of Tannery Effluent, Bulletin of Environmental Contamination Toxicology 67: 246-256

Vajpayee P, Tripathi RD, Rai UN, Ali MB (2000) Singh SN Chromium (VI) Accumulation Reduces Chlorophyll Biosynthesis, Nitrate Reductase Activity and Protein Content in *Nymphaea alba* L.. Chemosphere 41: 1075-1082

Van Soest PJ (1994) Nutritional Ecology of the Ruminant (2nd Ed.). s. 528. Cornell University Press. Ithaca, N.Y

Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA (1991) Method for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nostarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. J. Dairy Sci.74: 3583-3597 metodundan modifiye edilmiştir

Vatehova Z, Malovíkova A, Kollarova K, Kucerova D, Liskov D (2016) Impact of cadmium stress on two maize hybrids. Plant Physiology and Biochemistry 108: 90-98

Verklaij JAC, Schat H (1990) In: Heavy Metal Tolerance in Plants: Evolutuonary Aspects, Ed:A.J. Shaw, p:179-193, CRC Press, Boca Raton

Verma S, Dubey RS (2003) Lead Toxicity Induces Lipid Peroxidation and Alters the Activities of Antioxidant Enzymes in Growing Rice Plants. Plant Science 164: 645-655

Vernay P, Gauthier Moussard C, Jean L, Bordas F, Faure O, Ledoigt G, Hitmi A (2008) Effect of Chromium Species on Phytochemical and Physiological Parameters in *Datura innoxia*. Chemosphere 72: 763-771

Vernay P, Gauthier-Moussard C, Hitmi A (2007) Interaction of bioaccumulation of heavy metal chromium with water relation, mineral nutrition and photosynthesis in developed leaves of *Lolium perenne* L. Chemosphere 68: 1563–1575

Veselov D, Kudoyarova G, Symonyan M, Veselov St (2003) Effect Of Cadmium On Ion Uptake, Transpiration And Cytokinin Content In Wheat Seedlings. Bulg. J. Plant Physiol. Special Issue: 353-359

WHO. (1996) Trace Elements In Human Nutrition and Health, World Health Organization (Congress Book: 12: 6-12) Geneva

Wallace A, Alexander GV, Chaudhry FM (1977) Phytotoxicity of cobalt, vanadium, titanium, silver and chromium. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 8: 751

Wang D, Alfthan G, Aro A, Lahermo P, Vaananen P (1994) The impact of selenium fertilization on the distribution of selenium in rivers in Finland. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 50: 133

Wang JH, Lu YT, Ding H, Shen GQ (2007) Effect of cadmium alone and in combination with butachlor on soil enzymes. *Environ. Geochem. Health* 29:395–403

Wang X, Chen C, Wang J (2017) Cadmium phytoextraction from loam soil in tropical southern China by *Sorghum bicolor*. *International Journal Of Phytoremediation* 19(6): 572–578

Wang Y, Zhu H, Tam NFY (2014) Polyphenols, tannins and antioxidant activities of eight true mangrove plant species in South China. *Plant Soil* 374(1): 549–563

Wangstrand H, Eriksson J, Oborn I (2007) Cadmium concentration in winter wheat as affected by nitrogen fertilization. *European Journal of Agronomy* 25: 209–214

Wang WS, Shan XQ, Wen B, Zhang SZ (2003) Relationship between the extractable metals from soils and metals taken up by maize roots and shoots. *Chemosphere* 53: 523–530

Wegler K, McLaughlin J, Graham RD (2004) Effects of chloride in soil solution on the plant availability of biosolid-borne cadmium. *Journal of environmental quality* 33: 496–504

Wierzbicka MH, Przedpelska E, Ruzik R, Ouerdane L, Połec-Pawlak K, Jarosz M, & Szakiel A (2007) Comparison of the toxicity and distribution of cadmium and lead in plant cells. *Protoplasma* 231(1-2): 99–111

Wild A, Jones LHP (1988) Mineral nutrition of crop plants, in Russell's Soil Conditions and Plant Growth. Wild A ed. Longman Sci. Techn. Publ. Harlow, Essex, 69

Wyszkowska J, Boros E, Kucharski J (2007) Effect of interaction between nickel and other heavy metals on the soil microbiological properties. *Plant Soil Environment* 53: 544–552

Wyszkowska J, Boros E, Kucharski J (2008) Enzymatic activity of nickel-contaminated soil. *Journal of Elementology* 13: 139–151

Yoshida S, Niki T, Sakai A (1979) Possible involvement of the tonoplast lesion in chilling injury of cultured plant cells. Low Temperature in Crop Plants. J. M. Lyons, Graham, D. ve Raison, J. K. (eds.), Academic press, New York, s. 275-290

Zancheta ACF, Abreu CA De, Zambrosi FCB, Erismann NM, Lagoa AMMA (2015) Cadmium Accumulation by Jack-Bean and Sorghum in Hydroponic Culture. International Journal of Phytoremediation 17: 298–303

Zayed A, Lytle CM, Qian JH, Terry N (1998) Chromium accumulation, translocation and chemical speciation in vegetable crops. Planta 206: 239

Zengin KF, Munzuroğlu Ö (2005) Fasulye Fidelerinin (*Phaseolus vulgaris* L.Strike) Klorofil ve Karotenoid Miktarı Üzerine Bazı Ağır Metallerin (Ni^{+2} , Co^{+2} , Cr^{+3} , Zn^{+2}) Etkileri. F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 17(1): 164-172

Zhang B, Shang S, Jabeen Z, Zhang G (2014) Involvement of ethylene in alleviation of Cd toxicity by NaCl in tobacco plants Ecotoxicology and Environmental Safety. 101: 64–69

Zhang G, Fukami M, Sekimoto H (2002) Difference between Two Wheat Cultivars in Cd and Mineral Nutrient Uptake under Different Cd Levels. Pub Med, PMID:12222053 [PubMed-indexed for MEDLINE] 13(4): 454-8

Zuo W, Gu C, Zhang W, Xu K, Wang Y, Bai Y, Shan Y, Dai Q (2019) Sewage sludge amendment improved soil properties and sweet sorghum yield and quality in a newly reclaimed mudflat land. Science of the Total Environment. 654:541-549

ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Kayseri’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kayseri’de tamamladı. Erciyes Üniversitesi SÇMYO’da önlisansını tamamlayıp Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi’nde Ziraat Mühendsiliği bölümünü 2011 yılında tamamladı. 2012-2015 yıllarında Erciyes Üniversitesi Tarla Bitkileri Anabilim dalında yüksek lisans eğitimini tamamladı. 2016 yılında Bingöl Üniversitesi Tarla Bitkileri Anabilim dalında doktora eğitimine başladı.