KİMİ DIŞ MEKAN SÜS BİTKİLERİNİN AĞIR METAL ALIM YETENEKLERİNİN VE FİTOREMEDİASYONDA KULLANIM POTANSİYELLERİNİN BELİRLENMESİ

Makbule BAYRAK

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİMİ DIŞ MEKAN SÜS BİTKİLERİNİN AĞIR METAL ALIM YETENEKLERİNİN VE FİTOREMEDİASYONDA KULLANIM POTANSİYELLERİNİN BELİRLENMESİ

Makbule BAYRAK
0000-0002-5623-4493

Prof. Dr. Hakan ÇELİK

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TOPRAK BİLİMİ ve BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

BURSA– 2021
Her Hakkı Saklıdır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KİMİ DIŞ MEKAN SÜS BİTKİLERİNİN AĞIR METAL ALIM YETENEKLERİNİN VE FİTOREMEDİASYONDA KULLANIM POTANSİYELLERİNİN BELİRLENMESİ

Makbule BAYRAK

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Hakan ÇELİK

Bu çalışma, perlitte yetiştirilen Aslanağzı (*Antirrhinum majus*), Ateş çiçeği (*Salvia splendes*) ve Kadife Çiçeği (*Tagates patula*) gibi kimi dış mekan süs bitkilerinin gelişimi, ağır metal ve diğer bitki besin elementi alım yetenekleri üzerine kimi ağır metallerin etkisini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Deneme, sera koşullarında 3 tekerrürlü olarak tasarlanmıştır. Bitkiler artan dozlarda (25, 50, 100, 150 µM) Cd, Cr ve Pb ağır metallerini içeren sulama suyu ile 30 gün boyunca sulanmıştır. Deneme 31. günde sonlandırılmış ve uygulamaların etkileri yaprak ve kök analizleri ile değerlendirilmiştir. Uygulanan ağır metal dozları ile birlikte bitkilerdeki kuru madde miktarlarının kontrol uygulamalarına oranla azaldığı görülmüştür. Cd, Cr ve Pb konsantrasyonları uygulama dozları ile artmış, Aslanağzı bitkisinde sırasıyla 326,48 mg kg^{-1}, 845,72 mg kg^{-1}, 34,20 mg kg^{-1} konsantrasyonlarına ulaşmıştır. Ateş çiçeği bitkisinde 402,43 mg kg^{-1}, 934,78 mg kg^{-1}, 26,39 mg kg^{-1}, Kadife çiçeği bitkisinde ise değerler 506,58 mg kg^{-1}, 936,95 mg kg^{-1}, 104,22 mg kg^{-1} şeklinde bulunmuştur. Ağır metal uygulamaları ile Ateş çiçeği bitkisinin besin elementi içeriklerinde artış, Aslanağzı ve Kadife çiçeği bitkilerinin besin elementi içeriklerinde azalmalar görülmüş, elementlerin kaldırılan miktarlarında da benzer durumlar belirlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda Aslanağzı, Ateş çiçeği ve Kadife çiçeği bitkilerinin Cd, Cr ve Pb hiperakümülatörü olduğu görülmüş, topraktaki ağır metal kirliliğinin azaltılabilmesi amacıyla bu bitkilerden yararlanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hiperakümülatör, yeşil ıslah, Aslanağzı (*Antirrhinum majus*), Ateş çiçeği (Salvia *splendes*), Kadife Çiçeği (*Tagates patula*)

2021, xii + 190 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

DETERMINATION OF HEAVY METAL INTAKE CAPABILITIES OF SOME OUTDOOR ORNAMENTAL PLANTS AND THEIR USAGE POTENTIAL FOR PHYTOREMEDIATION

Makbule BAYRAK

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

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hakan ÇELİK

This study was carried out to determine the effects of some heavy metals on the development, heavy metal and other nutrient element uptake abilities of some outdoor ornamental plants such as Snapdragon (*Antirrhinum majus*), Scarlet sage (*Salvia splendes*) and Marigold (*Tagates patula*) which were grown in perlite. The experiment was designed in three replications under greenhouse conditions. The plants were irrigated for 30 days with irrigation water containing increasing doses (25, 50, 100, 150 µM) of Cd, Cr and Pb heavy metals. The trial was terminated on the 31st day and the effects of the applications were evaluated by leaf and root analysis. It was observed that the amount of dry matter in the plants decreased with the applied heavy metal doses compared to the control applications. Cd, Cr and Pb concentrations increased with the application doses and were reached to the concentrations of 326.48 mg kg^{-1}, 845.72 mg kg^{-1}, and 34.20 mg kg^{-1} respectively in Snapdragon plant. Values were 402.43 mg kg^{-1}, 934.78 mg kg^{-1}, 26.39 mg kg^{-1} in the Scarlet sage plant, and it was found as 506.58 mg kg^{-1}, 936.95 mg kg^{-1}, and 104.22 mg kg^{-1} in the Marigold. With heavy metal applications, an increase in the nutrient content of the Scarlet sage plant, a decrease in the nutrient content of the Snapdragon and Marigold plants were observed, and similar situations were also determined in the uptaken amounts of the elements. As a result of the study, it was seen that Snapdragon, Scarlet sage and Marigold plants were Cd, Cr and Pb hyperaccumulators, and it was concluded that these plants could be used to reduce heavy metal pollution in the soil.

Key Words: Hyperacumulator, phytoremediation, Snapdragon (*Antirrhinum majus*), Scarlet sage (Salvia *splendes*), Marigold (*Tagates patula*)

2021, xii+ 190 pages.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Günümüzde ağr metal kirliği önemli çevresel problemlerden birisi haline gelmiştir. Bu kirletici maddeler çeşitli yollarla toprağa ulaşmaktadır. Topraktan ağır metallerin temizlenmesi zor ve pahalı bir işlemdir. Bu nedenle kirlenmiş alanların temizlenmesinde fitoremediasyon teknolojisinin kullanılması diğer yöntemlere göre ekolojik, düşük maliyetli ve daha basittir. Fitoremediasyonda kullanılan hiperakümülatör bitkiler yüksek konsantrasyonlarda yaşamını sağlıklı bir şekilde sürdürebilmekte ve dokularında ağır metalleri biriktirebilmektedir. Hiperakümülatör bitkiler sınıfında kültür bitkisi olarak insan ve hayvan beslenmesinde kullanılan kimi bitkiler de yer almaktadır. Besin zinciri yoluyla hayvan ve insan vücuduna ulaşan ağır metaller ciddi sağlık sorunlarına yol açmaktadır. Bu nedenle hayvan ve insan beslenmesinde kullanılmayan, iç mekanlarda veya bahçelerde peyzaj uygulamaları için yetiştirilen süs bitkilerinin kullanımı daha uygun bir yoldur. Günümüze kadar çeşitli bitki türleri fitoremediasyonda kullanılmıştır fakat ağır metallerle kirletilmiş toprakların arıtılmasında süs bitkilerinin kullanılması konusunda yeterli rapor mevcut değildir. Bu nedenle toprağın temizlenmesinde hangi süs bitkilerinin kullanılabilir olduğu ve bu bitkilerin ağır metal biriktirebime potansiyellerinin belirlenmesi ile ilgili yapılacak çalışmalar önem arz etmektedir.

Araştırma konusunun seçiminden tezin tamamlanmasına kadarki süreçte bilgi ve deneyimleri ile bana yardımcı olan değerli tez danışmanı hocam Prof. Dr. Hakan ÇELİK'e, laboratuvar çalışmalarında emeği geçen yüksek lisans arkadaşlarıma ve hayatımın her anında varlığı ile bana güç veren; maddi, manevi desteğiyle her zaman yanımda olan anneme, babama ve kardeşime teşekkürlerimi sunarım.

Makbule BAYRAK

17/08/2021

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET i
ABSTRACT ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ vii
ÇİZELGELER DİZİNİ viii
1. GİRİŞ 1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI 3
2.1. Ağır Metaller ve Oluşturduğu Kirlilik 3
2.2. Kadmiyum Kirliliği ve Yapılan Önceki Çalışmalar 5
2.3. Krom Kirliliği ve Yapılan Önceki Çalışmalar 9
2.4. Kurşun Kirliliği ve Yapılan Önceki Çalışmalar 11
2.5. Ağır Metallerin İnsan Sağlığı Üzerine Olumsuz Etkileri 16
2.6. Ağır Metallerin Bitki Gelişimi Üzerine Olumsuz Etkileri 23
2.7. Fitoremediasyon ve Yapılmış Çalışmalar 37
2.8. Süs Bitkilerinin Fitoremediasyon Amaçlı Kullanımı ve Ağır Metallerin Zararlı Etkilerinin Giderilmesine Yönelik Yapılmış Çalışmalar 48
3. MATERYAL ve YÖNTEM 55
3.1. Denemenin Kurulması ve Yürütülmesi 55
3.2. Bitki Örneklerinde Yapılan Analizler 55
3.2.1. Yaprak ve kök örneklerinin yaş yakılması 56
3.2.2. Toplam azot içeriği 57
3.2.3. Toplam fosfor içeriği 57
3.2.4. Toplam potasyum, kalsiyum ve magnezyum içeriği 57
3.2.5. Toplam demir, bakır, çinko, mangan, kadmiyum, kurşun ve krom içeriği 57
4. BULGULAR ve TARTIŞMA 58
4.1. Kadmiyum Uygulamalarının Aslanağzı (*Antirrhinum majus*) Bitkisinin Besin Elementi İçeriğine ve Kaldırılan Besin Elementi Miktarına Etkisi 58
4.1.1. Aslanağzı (*Antirrhinum majus*) bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi 58
4.1.2. Aslanağzı bitkisinin Cd, Cr, Pb içeriği ve kaldırılan miktarları 60
4.1.3. Aslanağzı bitkisinin Fe, Cu, Zn içeriği ve kaldırılan miktarları 62
4.1.4. Aslanağzı bitkisinin Mn ve B içeriği ve kaldırılan miktarları 65
4.1.5. Aslanağzı bitkisinin Na, Mg ve Ca içeriği ve kaldırılan miktarları 66
4.1.6. Aslanağzı bitkisinin N, P ve K içeriği ve kaldırılan miktarları 68
4.2. Krom Uygulamalarının Aslanağzı (*Antirrhinum majus*) Bitkisinin Besin Elementi İçeriğine ve Kaldırılan Besin Elementi Miktarına Etkisi 70
4.2.1. Aslanağzı (*Antirrhinum majus*) bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi 70
4.2.2. Aslanağzı bitkisinin Cd, Cr ve Pb içeriği ve kaldırılan miktarları 71
4.2.3. Aslanağzı bitkisinin Fe, Cu ve Zn içeriği ve kaldırılan miktarları 74
4.2.4. Aslanağzı bitkisinin Mn ve B içeriği ve kaldırılan miktarları 76
4.2.5. Aslanağzı bitkisinin Na, Mg ve Ca içeriği ve kaldırılan miktarları 78
4.2.6. Aslanağzı bitkisinin N, P ve K içeriği ve kaldırılan miktarları 80
4.3. Kurşun Uygulamalarının Aslanağzı (*Antirrhinum majus*) Bitkisinin Besin Elementi İçeriğine ve Kaldırılan Besin Elementi Miktarına Etkisi 83
4.3.1. Aslanağzı (*Antirrhinum majus*) bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi 83
4.3.2. Aslanağzı bitkisinin Cd, Cr ve Pb içeriği ve kaldırılan miktarları 84

4.3.3. Aslanağzı bitkisinin Fe, Cu ve Zn içeriği ve kaldırılan miktarları.....86
4.3.4. Aslanağzı bitkisinin Mn ve B içeriği ve kaldırılan miktarları.....88
4.3.5. Aslanağzı bitkisinin Na, Mg ve Ca içeriği ve kaldırılan miktarları 90
4.3.6. Aslanağzı bitkisinin N, P ve K içeriği ve kaldırılan miktarları.....92
4.4. Kadmiyum Uygulamalarının Ateş Çiçeği (*Salvia splendens*) Bitkisinin Besin Elementi İçeriğine ve Kaldırılan Besin Elementi Miktarına Etkisi 94
4.4.1. Ateş Çiçeği (*Salvia splendens*) bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi 94
4.4.2. Ateş çiçeği bitkisinin Cd, Cr ve Pb içeriği ve kaldırılan miktarları.....95
4.4.3. Ateş çiçeği bitkisinin Fe, Cu ve Zn içeriği ve kaldırılan miktarları.....98
4.4.4. Ateş çiçeği bitkisinin Mn ve B içeriği ve kaldırılan miktarları.....101
4.4.5. Ateş çiçeği bitkisinin Na, Mg ve Ca içeriği ve kaldırılan miktarları 102
4.4.6. Ateş çiçeği bitkisinin N, P ve K içeriği ve kaldırılan miktarları.....104
4.5. Krom Uygulamalarının Ateş Çiçeği (*Salvia splendens*) Bitkisinin Besin Elementi İçeriğine ve Kaldırılan Besin Elementi Miktarına Etkisi.....107
4.5.1. Ateş Çiçeği (*Salvia splendens*) bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi 107
4.5.2. Ateş çiçeği bitkisinin Cd, Cr ve Pb içeriği ve kaldırılan miktarları.....108
4.5.3. Ateş çiçeği bitkisinin Fe, Cu ve Zn içeriği ve kaldırılan miktarları.....110
4.5.4. Ateş çiçeği bitkisinin Mn ve B içeriği ve kaldırılan miktarları.....112
4.5.5. Ateş çiçeği bitkisinin Na, Mg ve Ca içeriği ve kaldırılan miktarları 114
4.5.6. Ateş çiçeği bitkisinin N, P ve K içeriği ve kaldırılan miktarları.....117
4.6. Kurşun Uygulamalarının Ateş Çiçeği (*Salvia splendens*) Bitkisinin Besin Elementi İçeriğine ve Kaldırılan Besin Elementi Miktarına Etkisi.....120
4.6.1. Ateş Çiçeği (*Salvia splendens*) bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi 120
4.6.2. Ateş çiçeği bitkisinin Cd, Cr ve Pb içeriği ve kaldırılan miktarları.....121
4.6.3. Ateş çiçeği bitkisinin Fe, Cu ve Zn içeriği ve kaldırılan miktarları.....124
4.6.4. Ateş çiçeği bitkisinin Mn ve B içeriği ve kaldırılan miktarları.....126
4.6.5. Ateş çiçeği bitkisinin Na, Mg ve Ca içeriği ve kaldırılan miktarları 127
4.6.6. Ateş çiçeği bitkisinin N, P ve K içeriği ve kaldırılan miktarları.....129
4.7. Kadmiyum Uygulamalarının Kadife Çiçeği (*Tagetes patula*) Bitkisinin Besin Elementi İçeriğine ve Kaldırılan Besin Elementi Miktarına Etkisi 131
4.7.1. Kadife çiçeği (*Tagetes patula*) bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi.....131
4.7.2. Kadife çiçeği bitkisinin Cd, Cr ve Pb içeriği ve kaldırılan miktarları 132
4.7.3. Kadife çiçeği bitkisinin Fe, Cu ve Zn içeriği ve kaldırılan miktarları 135
4.7.4. Kadife çiçeği bitkisinin Mn ve B içeriği ve kaldırılan miktarları 137
4.7.5. Kadife çiçeği bitkisinin Na, Mg ve Ca içeriği ve kaldırılan miktarları.....139
4.7.6. Kadife çiçeği bitkisinin N, P ve K içeriği ve kaldırılan miktarları 141
4.8. Krom Uygulamalarının Kadife Çiçeği (*Tagetes patula*) Bitkisinin Besin Elementi İçeriğine ve Kaldırılan Besin Elementi Miktarına Etkisi.....143
4.8.1. Kadife çiçeği (*Tagetes patula*) bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi.....143
4.8.2. Kadife çiçeği bitkisinin Cd, Cr ve Pb içeriği ve kaldırılan miktarları 144
4.8.3. Kadife çiçeği bitkisinin Fe, Cu ve Zn içeriği ve kaldırılan miktarları 147
4.8.4. Kadife çiçeği bitkisinin Mn ve B içeriği ve kaldırılan miktarları 150
4.8.5. Kadife çiçeği bitkisinin Na, Mg ve Ca içeriği ve kaldırılan miktarları.....152
4.8.6. Kadife çiçeği bitkisinin N, P ve K içeriği ve kaldırılan miktarları 154
4.9. Kurşun Uygulamalarının Kadife Çiçeği (*Tagetes patula*) Bitkisinin Besin Elementi İçeriğine ve Kaldırılan Besin Elementi Miktarına Etkisi.....157
4.9.1. Kadife çiçeği (*Tagetes patula*) bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi.....157
4.9.2. Kadife çiçeği bitkisinin Cd, Cr ve Pb içeriği ve kaldırılan miktarları 158

4.9.3. Kadife çiçeği bitkisinin Fe, Cu ve Zn içeriği ve kaldırılan miktarları 161
4.9.4. Kadife çiçeği bitkisinin Mn ve B içeriği ve kaldırılan miktarları 163
4.9.5. Kadife çiçeği bitkisinin Na, Mg ve Ca içeriği ve kaldırılan miktarları..... 165
4.9.6. Kadife çiçeği bitkisinin N, P ve K içeriği ve kaldırılan miktarları 167
5. SONUÇ 170
KAYNAKLAR 172
ÖZGEÇMİŞ 190

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	**Açıklama**
%	Yüzde
°C	Santigrad Derece
µS	Mikro Siemens

Kısaltmalar	**Açıklama**
B	Bor
Ca	Kalsiyum
$CaCO_3$	Kalsiyum Karbonat
Cd	Kadmiyum
CH_3COONH_4	Amonyum Asetat
Cr	Krom
Cu	Bakır
da	Dekar
EC	Elektriksel İletkenlik
Fe	Demir
g	Gram
ha	Hektar
H_2O_2	Hidrojen Peroksit
H_2SO_4	Sülfirik Asit
HNO_3	Nitrik Asit
ICP-OES	İndüktif Eşleşmiş Plazma
K	Potasyum
K_2SO_4	Potasyum Sülfat
kg	Kilogram
mg	Miligram
Mg	Magnezyum
mL	Mililitre
Mn	Mangan
N	Azot
Na	Sodyum
NaCl	Sodyum Klorür
$NaHCO_3$	Sodyum Bikarbonat
$(NH_4)_6Mo_7O_{24}$	Amonyum Heptamolibdat
NH_4NO_3	Amonyum Nitrat
P	Fosfor
Pb	Kurşun
pH	Power of Hidrojen
S	Kükürt
t	Ton
Zn	Çinko

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Denemede kullanılan besin elementleri konsatrasyonları ve kullanılan kaynakları 56
Çizelge 4.1. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi üzerine etkisi 58
Çizelge 4.2. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök Cd, Cr ve Pb içeriği üzerine etkisi 60
Çizelge 4.3. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Cd, Cr ve Pb miktarlarına etkisi 61
Çizelge 4.4. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök Fe, Cu ve Zn içeriği üzerine etkisi 63
Çizelge 4.5. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Fe, Cu ve Zn miktarlarına etkisi 63
Çizelge 4.6. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök Mn ve B içeriği üzerine etkisi 65
Çizelge 4.7. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Mn ve B miktarlarına etkisi 65
Çizelge 4.8. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök Na, Mg ve Ca içeriği üzerine etkisi 67
Çizelge 4.9. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Na, Mg ve Ca miktarlarına etkisi 67
Çizelge 4.10. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök N, P ve K içeriği üzerine etkisi 69
Çizelge 4.11. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan N, P ve K miktarlarına etkisi 70
Çizelge 4.12. Artan dozlarda uygulanan kromun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi üzerine etkisi 71
Çizelge 4.13. Artan dozlarda uygulanan kromun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök Cd, Cr ve Pb içeriği üzerine etkisi 72
Çizelge 4.14. Artan dozlarda uygulanan kromun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Cd, Cr ve Pb miktarlarına etkisi 72
Çizelge 4.15. Artan dozlarda uygulanan kromun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök Fe, Cu ve Zn içeriği üzerine etkisi 74
Çizelge 4.16. Artan dozlarda uygulanan kromun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Fe, Cu ve Zn miktarlarına etkisi 75
Çizelge 4.17. Artan dozlarda uygulanan kromun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök Mn ve B içeriği üzerine etkisi 77
Çizelge 4.18. Artan dozlarda uygulanan kromun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Mn ve B miktarlarına etkisi 77
Çizelge 4.19. Artan dozlarda uygulanan kromun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök Na, Mg ve Ca içeriği üzerine etkisi 79
Çizelge 4.20. Artan dozlarda uygulanan kromun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Na, Mg ve Ca miktarlarına etkisi 79
Çizelge 4.21. Artan dozlarda uygulanan kromun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök N, P ve K içeriği üzerine etkisi 81
Çizelge 4.22. Artan dozlarda uygulanan kromun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan N, P ve K miktarlarına etkisi 82

Çizelge 4.23. Artan dozlarda uygulanan kurşunun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi üzerine etkisi 83
Çizelge 4.24. Artan dozlarda uygulanan kurşunun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök Cd, Cr ve Pb içeriği üzerine etkisi 84
Çizelge 4.25. Artan dozlarda uygulanan kurşunun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Cd, Cr ve Pb miktarlarına etkisi 85
Çizelge 4.26. Artan dozlarda uygulanan kurşunun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök Fe, Cu ve Zn içeriği üzerine etkisi 87
Çizelge 4.27. Artan dozlarda uygulanan kurşunun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Fe, Cu ve Zn miktarlarına etkisi 88
Çizelge 4.28. Artan dozlarda uygulanan kurşunun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök Mn ve B içeriği üzerine etkisi 89
Çizelge 4.29. Artan dozlarda uygulanan kurşunun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Mn ve B miktarlarına etkisi 89
Çizelge 4.30. Artan dozlarda uygulanan kurşunun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök Na, Mg ve Ca içeriği üzerine etkisi 91
Çizelge 4.31. Artan dozlarda uygulanan kurşunun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Na, Mg ve Ca miktarlarına etkisi 91
Çizelge 4.32. Artan dozlarda uygulanan kurşunun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök N, P ve K içeriği üzerine etkisi 93
Çizelge 4.33. Artan dozlarda uygulanan kurşunun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan N, P ve K miktarlarına etkisi 93
Çizelge 4.34. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi üzerine etkisi 94
Çizelge 4.35. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Cd, Cr ve Pb içeriği üzerine etkisi 96
Çizelge 4.36. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Cd, Cr ve Pb miktarlarına etkisi 96
Çizelge 4.37. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Fe, Cu ve Zn içeriği üzerine etkisi 98
Çizelge 4.38. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Fe, Cu ve Zn miktarlarına etkisi 99
Çizelge 4.39. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Mn ve B içeriği üzerine etkisi 101
Çizelge 4.40. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Mn ve B miktarlarına etkisi 102
Çizelge 4.41. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Na, Mg ve Ca içeriği üzerine etkisi 103
Çizelge 4.42. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Na, Mg ve Ca miktarlarına etkisi 103
Çizelge 4.43. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök N, P ve K içeriği üzerine etkisi 105
Çizelge 4.44. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan N, P ve K miktarlarına etkisi 106
Çizelge 4.45. Artan dozlarda uygulanan kromun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi üzerine etkisi 107
Çizelge 4.46. Artan dozlarda uygulanan kromun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Cd, Cr ve Pb içeriği üzerine etkisi 108

Çizelge 4.47. Artan dozlarda uygulanan kromun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Cd, Cr ve Pb miktarlarına etkisi.....109
Çizelge 4.48. Artan dozlarda uygulanan kromun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Fe, Cu ve Zn içeriği üzerine etkisi 111
Çizelge 4.49. Artan dozlarda uygulanan kromun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Fe, Cu ve Zn miktarlarına etkisi 111
Çizelge 4.50. Artan dozlarda uygulanan kromun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Mn ve B içeriği üzerine etkisi.....113
Çizelge 4.51. Artan dozlarda uygulanan kromun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Mn ve B miktarlarına etkisi 113
Çizelge 4.52. Artan dozlarda uygulanan kromun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Na, Mg ve Ca içeriği üzerine etkisi 115
Çizelge 4.53. Artan dozlarda uygulanan kromun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Na, Mg ve Ca miktarlarına etkisi.....115
Çizelge 4.54. Artan dozlarda uygulanan kromun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök N, P ve K içeriği üzerine etkisi 118
Çizelge 4.55. Artan dozlarda uygulanan kromun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan N, P ve K miktarlarına etkisi 119
Çizelge 4.56. Artan dozlarda uygulanan kurşunun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi üzerine etkisi 121
Çizelge 4.57. Artan dozlarda uygulanan kurşunun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Cd, Cr ve Pb içeriği üzerine etkisi 122
Çizelge 4.58. Artan dozlarda uygulanan kurşunun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Cd, Cr ve Pb miktarlarına etkisi.....123
Çizelge 4.59. Artan dozlarda uygulanan kurşunun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Fe, Cu ve Zn içeriği üzerine etkisi 124
Çizelge 4.60. Artan dozlarda uygulanan kurşunun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Fe, Cu ve Zn miktarlarına etkisi 125
Çizelge 4.61. Artan dozlarda uygulanan kurşunun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Mn ve B içeriği üzerine etkisi.....126
Çizelge 4.62. Artan dozlarda uygulanan kurşunun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Mn ve B miktarlarına etkisi 127
Çizelge 4.63. Artan dozlarda uygulanan kurşunun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Na, Mg ve Ca içeriği üzerine etkisi 128
Çizelge 4.64. Artan dozlarda uygulanan kurşunun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Na, Mg ve Ca miktarlarına etkisi.....128
Çizelge 4.65. Artan dozlarda uygulanan kurşunun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök N, P ve K içeriği üzerine etkisi 130
Çizelge 4.66. Artan dozlarda uygulanan kurşunun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan N, P ve K miktarlarına etkisi 130
Çizelge 4.67. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi üzerine etkisi 131
Çizelge 4.68. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Cd, Cr ve Pb içeriği üzerine etkisi 133
Çizelge 4.69. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Cd, Cr ve Pb miktarlarına etkisi 134
Çizelge 4.70. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Fe, Cu ve Zn içeriği üzerine etkisi 136

Çizelge 4.71. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Fe, Cu ve Zn miktarlarına etkisi 136
Çizelge 4.72. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Mn ve B içeriği üzerine etkisi 138
Çizelge 4.73. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Mn ve B miktarlarına etkisi 138
Çizelge 4.74. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Na, Mg ve Ca içeriği üzerine etkisi 139
Çizelge 4.75. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Na, Mg ve Ca miktarlarına etkisi 140
Çizelge 4.76. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök N, P ve K içeriği üzerine etkisi 141
Çizelge 4.77. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan N, P ve K miktarlarına etkisi 142
Çizelge 4.78. Artan dozlarda uygulanan kromun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi üzerine etkisi 144
Çizelge 4.79. Artan dozlarda uygulanan kromun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Cd, Cr ve Pb içeriği üzerine etkisi 145
Çizelge 4.80. Artan dozlarda uygulanan kromun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Cd, Cr ve Pb miktarlarına etkisi 145
Çizelge 4.81. Artan dozlarda uygulanan kromun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Fe, Cu ve Zn içeriği üzerine etkisi 148
Çizelge 4.82. Artan dozlarda uygulanan kromun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Fe, Cu ve Zn miktarlarına etkisi 149
Çizelge 4.83. Artan dozlarda uygulanan kromun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Mn ve B içeriği üzerine etkisi 150
Çizelge 4.84. Artan dozlarda uygulanan kromun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Mn ve B miktarlarına etkisi 151
Çizelge 4.85. Artan dozlarda uygulanan kromun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Na, Mg ve Ca içeriği üzerine etkisi 152
Çizelge 4.86. Artan dozlarda uygulanan kromun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Na, Mg ve Ca miktarlarına etkisi 153
Çizelge 4.87. Artan dozlarda uygulanan kromun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök N, P ve K içeriği üzerine etkisi 155
Çizelge 4.88. Artan dozlarda uygulanan kromun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan N, P ve K miktarlarına etkisi 155
Çizelge 4.89. Artan dozlarda uygulanan kurşunun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi üzerine etkisi 157
Çizelge 4.90. Artan dozlarda uygulanan kurşunun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Cd, Cr ve Pb içeriği üzerine etkisi 159
Çizelge 4.91. Artan dozlarda uygulanan kurşunun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Cd, Cr ve Pb miktarlarına etkisi 159
Çizelge 4.92. Artan dozlarda uygulanan kurşunun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Fe, Cu ve Zn içeriği üzerine etkisi 162
Çizelge 4.93. Artan dozlarda uygulanan kurşunun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Fe, Cu ve Zn miktarlarına etkisi 162
Çizelge 4.94. Artan dozlarda uygulanan kurşunun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Mn ve B içeriği üzerine etkisi 164

Çizelge 4.95. Artan dozlarda uygulanan kurşunun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Mn ve B miktarlarına etkisi 164
Çizelge 4.96. Artan dozlarda uygulanan kurşunun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Na, Mg ve Ca içeriği üzerine etkisi 166
Çizelge 4.97. Artan dozlarda uygulanan kurşunun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Na, Mg ve Ca miktarlarına etkisi 166
Çizelge 4.98. Artan dozlarda uygulanan kurşunun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök N, P ve K içeriği üzerine etkisi 167
Çizelge 4.99. Artan dozlarda uygulanan kurşunun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan N, P ve K miktarlarına etkisi 168

1. GİRİŞ

Son yıllarda dünya nüfusunun hızla artması sonucu ortaya çıkan kentleşme, sanayileşme, endüstriyel ve evsel atıkların bilinçsizce doğaya bırakılması, aşırı pestisit ve kimyasal gübre kullanımı gibi yanlış tarım uygulamaları sonucu topraklarımız her geçen gün kirlenmektedir. Günümüzde de ağır metallerin kirleticiliği toprak kirliliği etmenlerinin başında gelmektedir. Toprakta bulunan ağır metallerin; bitki dokularına alınarak buralarda birikmeleri sonucunda, bitkilerin fizyolojik aktiviteleri etkilenmekte, çok aşırı dozda alınmaları durumunda ise verimleri azalmakta ve ölümlerine sebep olmaktadır. Ağır metaller yalnızca bitkiyi değil, besin zinciri yoluyla ağır metallere maruz kalan bitkilerle beslenen hayvanlar ve bu hayvanların et, süt vb. ürünleri ile beslenen insanların sağlığını da olumsuz şekilde etkilemektedir.

Bu ağır metallerden; toprakta 3 mg kg^{-1}'dan, bitki kuru maddesinde 1 mg kg^{-1}'dan fazla kadmiyum bulunmasının toksik etkili olduğu bildirilmiştir (Özbek ve ark. 1995). Kurşun elementinin ise, toprakta 15 ile 40 mg kg^{-1} konsantrasyonları arasında bulunduğu ve konsantrasyonunun 150 mg kg^{-1}'ı aşmadığı sürece insan ve bitki sağlığı açısından tehlike oluşturmayacağı, ancak 300 mg kg^{-1}'ı aştığında insan sağlığını tehdit eder duruma geleceği bildirilmiştir (Dürüst ve ark. 2004). Krom elementinin topraktaki miktarlarının ise ana materyale göre değişmekle birlikte 5 ile 100 mg kg^{-1} konsantrasyonları arasında bulunduğu, bitki kuru maddesinde ise 100 mg kg^{-1}'ı aştığında çoğu yüksek bitki için toksik olduğu bildirilmiştir (Özbek ve ark. 1995).

Ağır metal kirliliği olan sahaların ağır metal yüklerinin azaltılması ve iyileştirilmesi amacıyla kullanılan pahalı ve karmaşık olarak nitelendirilen geleneksel remediasyon yöntemlerinden farklı olarak (Salt ve ark. 1995, Glass 2000) günümüzde daha ekonomik ve daha çevreci olan yeşil ıslah (fitoremediasyon) olarak nitelendirilen teknoloji kullanılmaya başlanmıştır (Arshad ve ark. 2008, Shi ve ark. 2009). Fitoremediasyon teknolojisinde hiperakümülatör bitkilere ihtiyaç duyulmakta olup, 450 civarında bitki türünün (angiospermlerin sadece % 0.2'si) hiperakümülatör bitkiler grubuna dahil edildiği belirtilmiştir (Reeves 2006). *Asteraceae, Brassicaceae, Fabaceae, Lamiaceae, Scrophulariaceae, Euphorbiaceae* bu özelliği olan familyalardan yalnızca birkaç

tanesidir (Assuncao ve ark. 2003). *Brassicaceae* familyasının 11 cins ve 87 türle bu özelliğe sahip en geniş familya olduğu, *Brassicaceae* familyasından 7 cins ve 72 türün nikel biriktirebilme yeteneğinde olduğu, bu bitkilerin yaprak dal ve gövdelerinde toprakta bulunan metal konsantrasyonundan 50 ile 500 kat daha yüksek miktarda metal biriktirebildikleri bildirilmektedir (Thompson 1997, Clemens 2006).

Hiperakümülatör bitkiler sınıfında kültür bitkisi olarak insan ve hayvan beslenmesinde kullanılan kimi bitkiler de yer almaktadır. Hiperakümülatör amaçlı kullanılan bitkiler bünyelerinde çok miktarda ağır metal biriktirebildiklerinden bu bitkilerin beslenme amaçlı kullanımları canlılar için zararlıdır. Bunun yerine insan ve hayvan beslenmesinde kullanılmayan, iç mekanlarda veya bahçelerde peyzaj uygulamaları için yetiştirilen süs bitkilerinin kullanımı daha uygun bir yoldur. Bu sayede insan ve hayvan sağlığını olumsuz yönde etkilemeden tarım alanlarının daha az maliyetle iyileştirilmesi sağlanabilir.

Bu çalışma kapsamında hiperakümülatör süs bitkisi sınıflarında yer alan; Aslanağzı Çiçeği *(Antirrhinum majus)*, Ateş Çiçeği *(Salvia splendens)* ve Kadife Çiçeği (*Tagetes patula)*'nin ağır metal biriktirebilme kapasiteleri belirlenerek fitoremediasyon yöntemi ile toprakların ağır metal kirliğinin temizlenmesinde kullanılabilme potansiyellerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Ağır metaller, kadmiyum, krom ve kurşun hakkında genel bilgiler, bitki ve insan yaşamındaki etkileri, fitoremediasyon teknolojisi, hiperakümülatör bitkiler ve hiperakümülatör süs bitkileri ile daha önceki yıllarda yürütülmüş farklı çalışmalar özet olarak sunulmuştur.

2.1. Ağır Metaller ve Oluşturduğu Kirlilik

Tıpta atomik ağırlıkları dikkate alınmadan toksik özellik taşıyan tüm metaller olarak tanımlanan ağır metal kavramı; topraklarda doğal olarak bulunan 5 g cm^{-3}'ten daha fazla yoğunluğa sahip ve atom numarası 20'nin üzerinde ve periyodik tabloda oldukça geniş bir bölümde yer alan doğal elementler olarak ifade edilmektedir (Özbolat ve Tuli 2016).

Ağır metal olarak nitelenen altmıştan fazla element arasında Demir (Fe), Mangan (Mn), Bakır (Cu), Çinko (Zn), Krom (Cr), Kadmiyum (Cd), Kurşun (Pb), Civa (Hg), Nikel (Ni), Arsenik (As), Kobalt (Co), Gümüş (Ag) ve Selenyum (Se)'un en çok tanınan ve en sık rastlanan ağır metaller olarak değerlendirilebileceği ifade edilmiştir (Duffus 2002, Ağcasulu 2007, Kahvecioğlu ve ark. 2003, Aslam ve ark. 2011).

Oluştukları kayacın bileşimine göre toprakların farklı oranlarda ve formlarda ağır metal içerdikleri bildirilmektedir (Brümmer ve ark. 1991).

Ağır metallerin büyük kısmının yer kürenin derinliklerinde inert ham maddeler, fosil enerji kaynakları olarak bulundukları kayaçlardan binlerce yıllık süreç içinde fiziksel, kimyasal ve biyolojik ayrışma olayları ile çözünme sonucunda toprak yapısına katıldığı, topraktaki mikroorganizmalar ve bitkilerin kökleri ile alınarak toprak üstü biyokütleye taşındıkları ifade edilmektedir. Bu biyokütlenin çoğunun besin, yem ve yenilebilir enerji kaynağı olarak kullanıldığı, bir kısmının ise ham materyal olarak, topraktaki döngüsel olaylara katıldıkları belirtilmektedir. Topraklar dolaşım süreci sonunda ağır metallerin büyük çoğunluğunun son depolanma bölgesini oluşturmaları nedeniyle oldukça önem arz etmektedir. Topraklarda ağır metal kirliliğinin çoğunlukla yüzey ve yüzeye yakın

kısımlarda oluştuğu, toprakta yer alan kil minerallerince adsorbe edildiği veya toprak organik maddesi ile birlikte kararlı forma dönüşebildiği ve birikimin derinlikle beraber genellikle azaldığı bildirilmektedir (Tok 1997, Sümer ve ark. 2013, Sarıyer 2017).

Antik çağlarda metal cevherlerinin işlenmeye başlamasıyla metaller, doğal döngü dışında insan faaliyetlerince atmosfere, hidrosfere ve pedosfere salınım ve yayılım göstermiştir. Endüstriyel kullanım amaçlı ham maddeye duyulan gereksinim nedeniyle, kaynaktan alınarak işlenme sonrası doğaya seyreltilerek salınımları yanı sıra, fosil maddelerin enerji kullanımı amacıyla yakılmaları ve diğer endüstri atıklarıyla biyosfere salınımlarından kaynaklanan kirlilik sorunlarının da her geçen gün artış gösterdiği bildirilmektedir (Sarıyer 2017).

Topraktaki ağır metal birikimi toprağın oluşumu sırasında meydana gelebileceği gibi madencilik, motorlu araçların egzoz gazları, atmosferik taşınım, biyolojik arıtma çamurlarının boşaltımı, biyositler, hayvan ve evsel kanalizasyon atıklarının uzaklaştırılması gibi süreçler sonucunda da gerçekleşebilmektedir (Önder 2012, Özay ve Mammadov 2013).

Doğaya deşarj edilen ve insanlığı tehdit eden klorlu hidrokarbonlar, petrol, yağ, radyoaktif atıklar ve sentetik deterjanlar yanında pestisitlerin, yapay ve doğal tarımsal gübrelerin ve ağır metallerin de kirleticiler arasında bulundukları bildirilmiştir. Bu kirleticiler arasında yer alan ağır metallere; sucul ortamlarda veya canlılarda birikim yapmaları nedeniyle alıcı ortamların en ciddi kirleticileri gözüyle bakıldığı belirtilmiştir (Harte ve Owen 1991, Sunlu ve Egemen 1998, Schüürmann ve Markert 1998).

Bu süreçte toprakların doğal filtreleme özelliklerinin yanı sıra toprak pH'sı, redoks potansiyeli, tamponlama ve katyon değişim kapasitesi, Cl, S, N içerikleri ile organik maddelerin miktar ve niteliği gibi fiziksel ve kimyasal özelliklerin de önem taşıdığı ifade edilmiştir (Sarıyer 2017).

Antropojen kökenli ağır metallerin topraklarda genellikle oksitler ve nispeten iyi çözünen tuzlar halinde bulunduğu belirtilmiştir (Grupe ve Filipinski 1989). Koch ve Grupe (1993)

antropojen kökenli Cd, Ni, Zn ve Pb'un jeolojik kökenli olanlara nazaran daha yüksek hareketliliğe sahip olduğunu bildirmiştir. Bu nedenle toprakta belli bir düzeyin üzerine çıkan metal konsantrasyonunun; toprak canlıları ve kökler tarafından alındığı ya da yeraltı suyuna karışarak taban suyu kalitesinin bozulmasına ve besin döngüsünün kirlenmesine neden olduğu belirtilmiştir (Haktanır ve Arcak 1998, Kahvecioğlu ve ark. 2003).

Tehlikeli kirleticiler olarak tanımlanan ve endüstriyel faaliyetler nedeniyle çevreye karışan ağır metallerin; biyolojik ayrışmaya uğramamaları nedeniyle kolayca toprakta birikebildiği ve karmaşık yapılar oluşturarak zehirlilik miktarlarını da yükseltebildiği ifade edilmektedir. Son yıllarda dünyadaki nüfus ve endüstriyel faaliyetlerin artışına paralel olarak su, hava ve toprakların kirliliğinin tüm canlı hayatını tehdit eder boyutlara ulaştığı, hızlı sanayileşme ve nüfus artışıyla beraber bu problemlerin ülkemizde de görüldüğü belirtilmektedir (Sarıyer 2017).

2.2. Kadmiyum Kirliliği ve Yapılan Önceki Çalışmalar

Kadmiyum'un (Cd) gümüş beyazı renginde yumuşak ve işlenebilir bir metal olduğu, atom ağırlığının 112,40 g, özgül ağırlığının ise 8,642 g cm^{-3} olduğu, yerkabuğunda ortalama olarak 0,1 ile 0,2 mg kg^{-1}, topraklarda düşük konsantrasyonlarda bulunduğu ve birçok özelliği ile çinkoya benzediği bildirilmiştir (Kabata-Pendias ve Mukherjee 2007, Özkan 2009).

Kadmiyumun havada hızla kadmiyum oksite dönüştüğü, kadmiyum sülfat, kadmiyum nitrat, kadmiyum klorür gibi inorganik tuzlarının suda çözünür olduğu belirtilmiştir (Keser 2008).

Kadmiyum bileşiklerinin yüksek derecede zehirli olduğu ve yeryüzünde çinko mineralinde $CdCO_3$ veya CdS halinde çok az ve yerkabuğunda 1 mg kg^{-1}'dan az miktarda bulunduğu ifade edilmiştir (Özkan 2009).

Kadmiyum çinko üretimine katılan önemli bir metaldir ve çinko üretimi sırasında oluşuncaya kadar havaya, yiyeceklere ve suya dikkate değer oranda karışmamaktadır.

Bununla birlikte günümüzde kadmiyum'un da çevre kirliliğine yol açan ağır metaller arasında olduğu belirtilmiştir. Kadmiyum kullanımı endüstriyel faaliyetler sonucu artarak çevreyi negatif yönde etkilemiştir (Sarıyer 2017).

Kadmiyum elementi sanayide büyük oranda kaplama ürünü ve boya sanayinde boya pigmenti olarak kullanılmaktadır. Plastik endüstrisinde de kadmiyumdan faydalanıldığı ifade edilmektedir. Günümüzde kadmiyum endüstrisi içinde nikel/kadmiyum pillerde, özellikle deniz koşullarında metal ve/veya alaşımlarının oksitlenmesiyle ortaya çıkan aşınma durumlarına karşı dayanıklılığı sebebiyle gemi endüstrisinde çeliklerin kaplanmasında, PVC stabilizatörü olarak, alaşımlarda ve elektronik üretiminde kullanıldığı ifade edilmiştir. Kadmiyum'un fosfor içeren gübrelerde, kimyasal temizlik ürünlerinde, işlenmiş petrol türevlerinde yer aldığı ve bu ürünlerin sık kullanımı sonucunda dikkate değer oranda kadmiyum kirliliğinin ortaya çıkabileceği ifade edilmiş, yollara yakın tarla topraklarında kadmiyum birikiminin fosforlu gübrelerin yanı sıra motor yağları ve lastiklerin Cd elementi kapsamalarından kaynaklandığı bildirilmiştir (Sarıyer 2017).

Kadmiyumun yeryüzünde mevcut miktarının yıllık 25.000 ile 30.000 ton olduğu ve 4000 ile 13.000 tonun insan kullanımından kaynaklandığı belirtilmiştir. İnsan hayatında yer alan kadmiyum kaynaklarının; sigara dumanı, kahve, çay, işlenmiş yiyecekler, kabuğu olan deniz ürünleri, su boruları, kömür yakılması, tohum aşamasında kullanılan gübreler ve endüstri faatliyetleri sonucunda ortaya çıkan baca gazları olduğu belirtilmiş, kadmiyumun özellikle yeniden şarj edilebilen pillerde ve alaşımlarda da kullanıldığı bildirilmiştir (Özkan 2009, Sarıyer 2017).

Kadmiyumun büyük bir çoğunluğu bitki ve topraklara, kadmiyum içeren toz parçacıklarının havadan çökelmesi ile iletilir. Toz çökelmesi ile trafiğin fazla olduğu alanların yol kenarlarındaki topraklarda her yıl m^2'ye 0,2-1,0 mg kadmiyumun eklendiği tespit edilmiştir (Haktanır 1987, Öktüren ve Sönmez 2007).

Kadmiyumun ziraat alanlarına girişinin ve yayılmasının; endüstriyel çalışmalar, fosfor içeren gübreler, lağım atıkları ve atmosferik depositler aracılığıyla gerçekleştiği ifade edilmiştir (Haktanır 1987, Öktüren ve Sönmez 2007).

Kadmiyum kirliliği, topraktaki toplam Cd miktarının 1 mg kg^{-1}'dan daha yüksek olması olarak tanımlanmaktadır. Kadmiyum toprakta 3 mg kg^{-1}, bitki kuru maddesinde ise 1 mg kg^{-1}'dan fazla olduğu zaman zehir etkisinin ortaya çıktığı belirtilmiştir (Özbek ve ark. 1995, Öktüren ve Sönmez 2007).

Tarım alanlarında tolere edilebilir Cd konsantrasyonunun 3 mg kg^{-1} olduğu, topraklarda Cd miktarının ise çoğunlukla 0,1 mg kg^{-1} civarında bulunduğu ifade edilmiştir. Topraklara Cd girişinin % 54-58'inin fosfor içeren gübrelerden, % 39-41'inin insan veya doğal kaynaklı atıkların atmosferdeki süreçlerinin ardında yeniden yeryüzüne ulaşmaları olarak tanımlanan atmosferik çökeltilerden ve % 2-5'inin atık çamurlardan meydana gediği bildirilmiştir (Alloway 1995).

Kültür bitkileri, toprakta biriken kadmiyumu kolayca bünyelerine alabilmektedirler. Cd konsantrasyonu bitkilerde çoğunlukla 0,1-1,0 mg kg^{-1} kadar bulunmaktadır. Toprak içerisinde artış gösteren kadmiyum oranı ile bitkilerde negatif etkinin başladığı, bununla beraber negatif etkilerin şiddetinin Cd değerinin 3 mg kg^{-1}'ı aşması ile arttığı belirtilmektedir (Kabata- Pendias ve Pendias 1984, Tok 1997, Daşdemir 2015).

Kadmiyum, farklı alanlardan topraklara erişen ciddi bir çevre kirleticisidir. Canlıların yaşamlarını sürdürmeleri için mutlak gerekli olmayan bir element olduğu bildirilmiştir. Kadmiyum canlıların yaşamsal faaliyetlerini kötü etkileyen toksik metallerden biridir. Genellikle endüstriyel faaliyetlerden ve fosfor ihtiva eden gübrelerden besin zincirine aktarıldığı belirtilmiştir (Sandalio ve ark. 2001).

DAP, TSP ve farklı fosforlu gübreler tarımda verimliliği ve üretkenliği yükseltmek için kullanılmaktadır. Toprağın verimli olan üst katmanlarında bu maddelerin bilinçsiz ve fazla kullanımı sonucu başta Cd ve bazı ağır metallerin ciddi oranlarda birikebildiği belirtilmektedir (Camelo ve ark. 1997).

Buğday, mısır, çeltik, yulaf, darı, bezelye, pancar ve marul gibi yüksek besin değerine sahip çoğu bitkinin, kökleri aracılığı ile Cd elementini kolaylıkla alabildiği ifade edilmiştir (Schroeder ve Balasa 1963, Daşdemir 2015).

Aydınalp ve ark. (2003), vertisol grubu tarım topraklarının ağır metal içeriklerini belirlemek amacıyla 15 adet farklı toprakta yaptıkları çalışmada toplam Cd miktarının 0,23-0,51 mg kg^{-1}, DTPA ile ekstrakte edilebilir Cd miktarının ise 0,04-0,08 mg kg^{-1} arasında değiştiğini bildirmiştir.

Aydınalp ve ark. (2005), Bursa ovasındaki ağır metal kirliliğini belirlemek amacıyla yapmış oldukları çalışmada fluvisol topraklarda toplam Cd miktarının 1,0-2,8 mg kg^{-1} ve vertisol topraklarda 1,5-6,3 mg kg^{-1} arasında değişim gösterdiğini belirtmiştir. İncelenen toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir Cd miktarının ise fluvisol topraklarda 0,01-0,55 mg kg^{-1}, vertisol topraklarda ise 0,15-0,1 mg kg^{-1} arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

Tlustoš ve ark. (2006), yapmış oldukları çalışmada tarım topraklarında 0,2-7,6 mg kg^{-1} ve mera arazilerinde ise 0,6-37,0 mg kg^{-1} düzeylerinde Cd belirlemişlerdir. Analiz edilen örneklerin % 8'inin Cd içeriğinin 1,0 mg kg^{-1} dan daha düşük ve sınır değerin altında olduğunu bildirmişlerdir.

Micó ve ark. (2006), İspanyanın güneyinde yoğun şekilde sebze tarımının yapıldığı 10 farklı bölgeden toplam 29 toprak örneğinin toplam Cd konsantrasyonunun 0,15 -0,88 mg kg^{-1} arasında değişim gösterdiğini, topraklardaki Cd'un gübreleme vb. insan faaliyetlerinden kaynaklandığını bildirmişlerdir.

Doelsch ve ark. (2006), Hint Okyanusunda tarım yapılan ve yapılmayan volkanik etkinliğe sahip topraklardan aldıkları 84 adet toprak örneğinin ortalama Cd miktarının 0,15 mg kg^{-1} olduğunu belirlemiş, topraklardaki Cd'un tarımsal faaliyetlerden kaynaklandığı sonucuna varmışlardır.

Qishlaqi ve Moore (2007), İran'ın Shiraz bölgesinde tarımın yoğun olarak yapıldığı ve yerleşimin yoğun olduğu iki bölgede 40 adet yüzey toprağının Cd içeriklerinin 0,0 (iz)-5,6 mg kg^{-1} arasında değişim gösterdiğini belirlemişlerdir. Alınan toprak örneklerinin bazılarında Cd içeriğinin yüksek çıkmasının arıtılmadan kullanılan atık sulardan kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Bech ve ark. (2007), İspanya Katalunya bölgesi büyük toprak gruplarının (Calcaric Cambisols, Rendzic Leptosols ve Calcaric Regosols) Cd içeriklerinin 0,08-0,75 mg kg^{-1} arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

Maldonado ve ark. (2008), yoğun olarak yem bitkileri yetiştirilen Chihuahua bölgesi atık su ile sulama yapılan, belli dönemde sulama yapılan ve sulama yapılmayan topraklar arasında en yüksek Cd'un atık su ile sulanan topraklarda (4,48 mg kg^{-1}) belirlendiğini bildirmiştir.

2.3. Krom Kirliliği ve Yapılan Önceki Çalışmalar

Krom; 24 atom numaralı, 51,9961 gr atom ağırlığına sahip olan ve periyodik tabloda VI B grubuna dahil bir elementtir. Krom, kromit madeninden ($FeO.Cr_2O_3$) elde edilmekte ve asit dayanıklılığı çok yüksek düzeyde olan bir elementtir.

Ana materyale göre değişim göstermekle birlikte kromun topraklardaki toplam miktarının genellikle 7-750 mg kg^{-1} arasında bulunduğu bildirilmiştir (Daşdemir 1995).

Topraktaki miktarı az olan krom'un (2-60 mg kg^{-1}), bazı topraklarda miktarının 4 g kg^{-1}'a kadar çıkabildiği, kayaçlardan ve topraktan suya, havaya ve tekrar toprağa çevriminin olduğu, yaklaşık olarak 6700 ton $yıl^{-1}$ krom'un bu çevrimden denizlere akarak, okyanus tabanında çökeldiği, havada > 0,1µg m^{-3} ve kirlenmemiş suda ortalama 1 µg L^{-1} bulunduğu belirtilmiştir (Kahvecioğlu ve ark. 2003).

Havada bulunan ağır metal konsantrasyonlarının büyük çoğunlukla vejetatif mevsime bağlı olduğu, büyüme mevsiminden sonra birikimin yüksek oranda artabildiği belirtilmiştir (Bragato ve ark., 2006).

Krom; metalurji endüstrisinde paslanmaz çelik üretimi, cila, boya, cam ve seramik malzemelerinde, çeşitli lehim ve pas engelleyicilerin üretimi ile deri endüstrisinde kullanılmakta olup, ana materyale bağlı olarak 5 ile 100 mg kg^{-1} oranlarında toprakta bulunduğu, bitki kuru maddesinde 100 mg kg^{-1} bulunmasının ise birçok yüksek bitki için toksik olduğu belirtilmiştir (Özbek ve ark., 1995, Asri ve Sönmez 2006).

Tarım topraklarında izin verilebilir toplam krom ağır metali miktarının 100 mg kg^{-1} ve ekstrakte edilebilir Cr miktarının ise 1 mg kg^{-1} olduğu bildirilmektedir (Bowen 1966, Daşdemir 1995).

Allen (1989), bitkilerde izin verilebilen Cr konsantrasyonunu 0,05 ile 0,5 mg kg^{-1}, sedimentlerde 10 ile 200 mg kg^{-1} arasında, FAO/WHO tarafından bitkilerde kabul edilen sınırı ise 0,5 mg kg^{-1} olarak bildirmiştir.

Cr konsantrasyonunun 0,5 mg kg^{-1}'dan fazla olması durumunda bitkiler için toksik etki gösterebileceği belirtilmiştir (Allen 1989).

Avcil (2018), yaptıkları çalışma sonucunda Cr konsantrasyonunun en fazla *Alkanna orientalis* var. *orientalis* bitkisinin kökünde 0,17 mg kg^{-1} olarak tespit ettiklerini bildirmiştir.

Krom'un kök hücrelerinin bölünmesini, uzamasını ve gelişimini engellediği, bu durumun topraktan alınan su miktarının ve besin maddesinin azalmasına yol açarak bitkilerin büyüme ve gelişimlerini olumsuz yönde etkilediği buna bağlı olarak verim ve kalitede önemli düzeyde azalma görüldüğü belirtilmiştir (Khan ve ark. 2000).

Krom zehirlenmesi belirtilerine sahip bitki yapraklarında Cr miktarının 1 ile 4 mg kg^{-1} arasında değiştiği, bitki köklerinde bu miktardan daha yüksek krom bulunduğu saptanmıştır (Wallace ve ark. 1976).

Krom zehirlenmesinde bitki köklerinin az, yaprakların ise dar ve kahverengi kırmızı bir renkte olduğu ve üzerlerinde küçük yanık lekeleri oluştuğu ifade edilmiştir (Karaçağıl 2013).

Krom zehirlenmesi sonucunda, insanlarda da deri hastalıklarına ve karaciğer bozukluklarına neden olduğu ve kanserojen etki gösterebildiği ifade edilmektedir (Avcil 2018).

Vücutta insulin hareketini, karbonhidrat, su ve protein metabolizmasını etkilediği belirtilmiştir (Kahvecioğlu ve ark. 2003).

2.4. Kurşun Kirliliği ve Yapılan Önceki Çalışmalar

Kurşun; 207,19 g atom ağırlığına sahip yumuşak, mavi - gümüş grisi renkli bir element olup, atmosfere metal veya bileşik olarak yayılmakta ve toksik özelliğe sahip olması nedeniyle insan faaliyetleri ile ekolojik sisteme ciddi zarar vermektedir. Dünya Sağlık Örgütüne (WHO) göre çalışma ortamında 0,1 mg m^{-3}'ten fazla bulunduğunda çevresel kirlilik oluşturarak insan sağlığını tehdit eden önemli ağır metallerden biri olarak ifade edilmiştir (Özkan 2009).

Kurşun'un günümüzden yaklaşık 4000 - 5000 yıl öncesi antik uygarlıklar tarafından gümüş üretimi sırasında keşfedildiği ve tarih boyunca üretim ve kullanımının arttığı bildirilmiştir (Sarıyer 2017).

Kurşunun endüstriyel ve tarım faaliyetlerinde yaygın olarak kullanıldığı için çevrede daha sık rastlanılan ve insan faaliyetleri ile ekolojik sisteme oldukça önemli zararlar veren bir metal olduğu belirtilmiştir (Sarıyer 2017).

Kurşunun, asidik ve alkali şartlarda çok düşük düzeyde çözünebildiği, klor ve brom tuzlarının suda çok az, karbonat ve hidroksit tuzlarının ise hiç çözünemeyebileceği ifade edilmiş ve bundan dolayı da kurşun kaynaklarından az bir düzeyde çevreye kurşun bulaşması olabileceği ve biyolojik döngüde az düzeyde yer alacağı ifade edilmiştir. Kurşunun çevreye olan dağılımının genellikle kurşun madenlerinin olduğu yerlerde ve bunların işlendiği tesislerde bacalardan çıkan parçacıkların atmosfere yayılması ile olacağı bildirilmiştir (Metin 2010).

1920'lerde kurşun bileşiklerinden biri olan kurşuntetraetil'in [$Pb(C_2H_5)_4$)] benzin katkısı olarak kullanılmaya başlanmasının ekolojik sisteme kurşun yayınımında önemli rol oynadığı (227,250 ton $yıl^{-1}$ ABD), uçuculuklarının diğer petrol bileşenlerinden daha yüksek olması ve ilave edildiği yakıtın uçuculuğunu artırması nedeniyle kurşun birikiminin yol kenarının ilk 50 m'si içerisinde en yoğun olabildiği bildirilmektedir (Metin 2010, Sarıyer 2017).

Sanayileşme, araba kullanımı ve kurşun yayınımı arasındaki ilişkinin açıkça görülebildiği, otomobil endüstrisi, batarya ve benzin katkısı olarak kurşunun tetraetil ve tetrametil olarak kullanılması yanında kurşun içeren pestisidlerin, gübrelerin, arıtma çamurlarının ve kompostun kullanılmasıyla da tarım topraklarına kurşun bulaştığı ve bunun sonucunda da bitkilere geçebildiği ifade edilmektedir (Kalbasi ve ark. 1995, Üstbaş 2008).

Kurşunlu benzin ve boya maddeleri dışında yiyeceklerin ve suyun da kurşun kaynağı olabileceği endüstri bölgelerine ve şehir merkezlerine yakın yerlerde yetişen yiyeceklerin; tahılların, baklagillerin, meyvelerin ve birçok et ürününün bünyelerinde normal seviyelerin üzerinde kurşun bulundurdukları bildirilmiştir (Sarıyer 2017).

Arabaların eksozundan ve kurşun kullanan fabrikaların bacalarından çıkan dumanlar, sanayi, depolamadaki atıklar, madencilik ve kurşun eritme cevherleri, gübreleme, pestisitler, pigmentler ve katkılı benzin kullanımı ve metal kaplamalar havadaki kurşun kirliliğinin kaynakları olarak bildirilmiştir (Shama ve Dubey 2005, Akıncı ve Çalışkan 2010).

Günümüzde madenlerden yıllık 4 milyon ton kurşun çıkarılmaktadır. Kurşun elementi yaygın olarak oksitler, sülfitler, asetatlar, kloratlar ve klorit formlarda bulunur. Yüksek dozajlarda çevreye salınımı insan faaliyetleri sonucunda ortaya çıkmaktadır. Kurşunun eritilmesi, inceltilmesi ve gayri resmi geri dönüşümü, kurşunlu benzin kullanımı, piller, boyalar, kurşunlu cam, pestisitler ve elektronik atıklar kurşunun çevredeki oranını artırmaktadır. Bu faaliyetlerden dolayı çevrede kurşun elementinin seviyesinin son 30 yılda 1000 katına çıktığı belirtilmiştir (Sağlam ve Cihangir 1995).

Atmosferde inorganik kurşunun partiküller halinde bulunduğu, organik kurşunun ise uçucu olduğu, gıda maddelerine ve içme suyuna karıştığı ve bu nedenle organik kurşunun, inorganik kurşuna oranla canlı yaşamını daha çok etkilediği ifade edilmektedir (Malkoç 2015).

Çeşitli yollarla topraklara bulaşan kurşun miktarının 0,18-4,80 mg $m^{-2}gün^{-1}$ seviyesine kadar ulaşabildiği ve tarım yapılan topraklarda ortaya çıkan kurşun kirliliğinin çoğu durumda, benzinin yanması sonucu oluşan atmosferik kurşundan kaynaklandığı bildirilmektedir (Deniz 2003, Daşdemir 2015).

Kurşunun doğal olarak tüm topraklarda bulunabildiği ve toplam Pb miktarının 1 - 200 mg kg^{-1} arasında değiştiği ve ortalama miktarın 15 mg kg^{-1} olduğu belirtilmiştir (Swaine 1955, Daşdemir 2015).

Bitkilerde bulunan kurşun miktarının yetiştiriciliği yapılan toprak ve atmosfer koşullarına bağlı olarak değişebildiği ve bitkilerdeki doğal kurşun seviyesinin 5 mg kg^{-1}'ın altın bulunduğu belirtilmiştir. Bitkinin almış olduğu kurşunun büyük bir kısmının köklerde biriktiği, toprak üstü aksamda ise pek bulunmadığı ifade edilmiştir. Bitkinin kurşunu bünyesine alması veya asimile etmesinin topraktaki toplam kurşun konsantrasyonundan ziyade, toprakta bulunan çözünür kurşun konsantrasyonuna bağlı olduğu ve bunun yaklaşık olarak 0,05-5 mg kg^{-1} seviyesinde olduğu bildirilmiştir. Çok çözünen kurşun bileşiklerinin toprakta çözünemeyen kurşun bileşiklerine dönüştüğü ifade edilmiştir (Özkan 2009).

Kurşun ağır metalinin otoyol yakınlarında yetişen kültür bitkileri ile çayır mera alanlarında toksisite oluşturabildiği belirtilmiştir. Hücre turgoru ve hücre duvarı stabilitesinde bozulma, stoma hareketlerinde ve yaprak alanında azalma bitkiler üzerindeki toksik etkileri olarak sıralanmıştır (Asri ve Sönmez 2006).

Kurşunun sebep olduğu kirlilik boyutlarının araştırılmasında toprağın, havadaki toz partiküllerinin su sistemlerindeki sedimentlerin ve yol kenarında yetişen bitkilerin kullanıldığı, en fazla tercih edilenlerin ise mantar, liken, karayosunu, ağaç kabukları, tek yıllık ve çok yıllık bitki yaprakları olduğu ifade edilmiştir (Çavuşoğlu ve Arıca 2007).

Sharma ve Dubey (2005), kurşun elementinin, hücre turgoru ve hücre duvarı stabilitesindeki olumsuz etkisini, stoma hareketlerinde ve yaprak alanında azalma nedeniyle bitki su rejiminin etkilenmesini, aynı zamanda kökler tarafından tutulması ve kök gelişiminin azalması nedeniyle bitkilerin anyon ve katyon alımının azalmasına bağlı olarak besin alımının olumsuz yönde etkilenmesini bildirmiştir.

Kurşun elementinin sürgünlere göre köklerde daha çok biriktiği ifade edilmektedir. Kum kültüründe 10 ile 20 günlük periyodlarla 500 ve 1000 μM $Pb(NO_3)_2$ uygulanması ile yetiştirilen çeltik bitkisi köklerinde büyümenin % 22 - % 42, sürgün büyümesinin ise % 25 oranında azaldığı, kökler tarafından absorbe edilen kurşun miktarının ise sürgünlerden 1,7-3,3 kat daha yüksek olduğu bildirilmektedir (Verma ve Dubey 2003).

Sahibin ve ark. (2002), sebze tarımı (lahana, çay, orman vb) yapılan topraklardaki ağır metal kirliliğini araştırmak amacıyla beş farklı bölgeden aldıkları toprak örneklerinde Pb miktarını 34,8-78,0 mg kg^{-1} arasında belirlemişlerdir.

Imperato ve ark. (2003), İtalyanın Naples bölgesinde yapılan çalışmada toplam 173 adet toprak örneğinde şehirleşmenin etkisi ile ağır metal içeriğinin arttığını bildirmişlerdir. Doğu, batı ve orta bölgelerden alınan toprak örneklerinde Pb içeriğinin 4,0-3420 mg kg^{-1} arasında değiştiğini, ele alınan toprakların % 76'sının belirlenen sınır değerin üzerinde

(>100 mg kg^{-1}) Pb içerdiğini ve kirliliğin özellikle karayolu civarında arttığını belirlemişlerdir.

Aydınalp ve ark. (2003), vertisol grubu tarım topraklarının ağır metal içeriklerinin belirlenmesine yönelik olarak yaptıkları çalışmada; 15 adet farklı toprakta toplam Pb miktarının 19,14-33,47 mg kg^{-1} arasında değiştiğini, DTPA ile ekstrakte edilen Pb miktarının ise 0,087-1,20 mg kg^{-1} arasında değiştiğini bildirmiştir.

Aydınalp ve ark. (2005), Bursa ovasındaki fluvisol ve vertisol büyük toprak gruplarına ait toprak örneklerinin farklı toprak derinliklerinde ağır metal dağılımını belirlemişlerdir. Yapmış oldukları çalışmada fluvisol topraklarda toplam Pb miktarının 3,6-4,8 mg kg^{-1} ve vertisol topraklarda ise 17,0-52,0 mg kg^{-1} arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

Micó ve ark. (2006), İspanya'nın güneyinde yer alan ve yoğun şekilde sebze tarımının yapıldığı Segura nehrinin on farklı bölgesinden alınan toplam 29 toprak örneğinin toplam Pb içeriğinin 8,9-34,5 mg kg^{-1} arasında değiştiğini ve Pb içeriklerinin sınır değerlerinin altında olduğunu belirtmişlerdir.

Tlustoš ve ark. (2006) madencilik faaliyetleri sonucu toprakların kirlilik düzeyini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada; Příbram bölgesi topraklarının Pb içeriklerinin 123-2000 mg kg^{-1} arasında değiştiğini ve değerlerin Çek Cumhuriyeti toprak kirliliği sınır değerlerinin üstünde olduğunu belirlemişlerdir.

Leštan ve Neža (2006), toprak özellikleri ile kimi ağır metallerin yarayışlılığı arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla Slovenya'nın Mežica Valley bölgesinden 12, Celje bölgesinden 6 farklı lokasyondan almış oldukları toprakların Pb içeriğinin 56,3 ile 9585,1 mg kg^{-1} arasında olduğunu belirlemiştir. Alınan toprak örneklerinin 12 sinin Pb içeriğinin sınır değerin üzerinde olduğunu (300 mg kg^{-1}) bildirmiştir.

Qishlaqi ve Moore (2007), İran'ın Shiraz bölgesinde yoğun tarım yapılan ve yerleşimin yoğun olduğu iki bölgeden ağır metal birikimini belirlemek amacıyla almış oldukları 40 adet yüzey toprakta çeşitli analizler yapmışlardır. Sonuçta toprakların Pb içeriklerinin

90,9-440,6 mg kg^{-1} arasında değişim gösterdiğini, alınan toprak örneklerinin bazılarında arıtılmadan kullanılan atık sulardan kaynaklanan yüksek Pb içeriğinin belirlendiğini bildirmişlerdir.

Bech ve ark. (2007), İspanya Katalunya bölgesi topraklarının ağır metal içeriklerini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada; toprakların Pb içeriklerinin 9,8-60,0 mg kg^{-1} arasında değiştiğini, toprakların Pb içeriğinin organik madde ile pozitif ancak kireç ile negatif korelasyon verdiğini bildirmişlerdir.

Papafilippaki ve ark. (2007), yoğun olarak zeytin, limon ve üzüm tarımının yapıldığı ve kimyasalların kullanıldığı Chania bölgesinde ağır metal kirliliğini araştırdıkları çalışmalarında bölgeyi temsilen 26 adet 0-25 cm derinlikten toprak örneği almışlardır. Alınan toprak örneklerinde toplam Pb miktarının 11,48-33,55 mg kg^{-1} arasında, alınabilir Pb içeriğinin ise 0,97 ile 3,98 mg kg^{-1} arasında değiştiğini, değerlerin genel sınır değerlerinin (2-300 mg kg^{-1}) altında olduğunu belirtmişlerdir.

Maldonado ve ark. (2008), yoğun olarak yem bitkileri yetiştirilen ve atıks u ile sulama yapılan Chihuahua bölgesi topraklarındaki ağır metal miktarını araştırmışlardır. Bu kapsamda atık su ile sulama yapılan, belli dönemde sulama yapılan ve sulama yapılmayan bölgelerden almış oldukları topraklarda en yüksek Pb miktarını 155,83 mg kg^{-1} olarak atık su ve nehir suyu ile sulanan topraklarda belirlemiştir.

2.5. Ağır Metallerin İnsan Sağlığı Üzerine Olumsuz Etkileri

Son yıllarda hızlı nüfus artışı, enerji ve besin ihtiyacında artış, düzensiz kentleşme, insanların aşırı tüketim isteği ve çok hızla gelişen teknoloji çevre kirliliği sorununu da beraberinde gündeme getirmiştir (Sağlam ve Cihangir 1995, Duru ve ark. 2011).

Ağır metallerin ağız, solunum ve deri yolu ile organizmaya alındığı, ancak özel destek olmadan vücuttan böbrek, karaciğer, barsak, akciğer, deri gibi boşaltım yolları ile atılamadığı ve bu nedenle büyük bir bölümünün, biyolojik organizmalarda biriktikleri, etkili konsantrasyona ulaştıklarında, birikim yaptıkları dokuyu etkileyerek tiroit,

nörolojik bozukluklar, otizm ve kısırlık gibi ciddi hastalıklara yol açtığı, hatta ölümlere neden olabildiği bildirilmiştir (Wang ve Chen 2006, Farooq ve ark. 2008).

Bazı metal elementlerin biyolojik süreçlere katılma derecelerine göre yaşamsal ve yaşamsal olmayan şeklinde sınıflandırıldıkları, yaşamsal olarak tanımlananların hücresel işlemlerin sürdürülebilmesi konusunda insanlar için gerekli olup organizma yapısında belirli bir konsantrasyonda bulunmalarının ve bu metallerin biyolojik reaksiyonlara katıldıklarından düzenli olarak besinlerle alınmalarının zorunlu olduğu bildirilmiştir (Bigersson ve ark. 1988).

Mutlak gerekli ağır metal elementler haricinde diğer ağır metallerin insan vücuduna önemli bir katkısı olmadığı, düşük konsantrasyonlarda alındığında vücudu olumsuz etkilememesine rağmen, daha yüksek veya sık konsantrasyonlarda alındığında ise olumsuz etkilerinin ortaya çıkabildiği bildirilmiştir (Wagner 1993).

İnsan sağlığını olumsuz yönde etkileyen metaller arasında kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), nikel (Ni), cıva (Hg), arsenik (As), krom (Cr), uranyum (U), berilyum (Be) ve kalay (Sn)'ın bulunduğu ifade edilmiştir. Çok az derişimlerinin bile ölümle sonuçlanabilecek bir zehirlenme için yeterli olabilmesi nedeniyle bu toksik elementlerin öneminin; canlı yaşamı ve çevre kirliliği açısından her geçen gün daha da arttığı bildirilmiştir. (Keser 2008, Hashem ve ark., 2013, Adesoye 2014, Zhang ve ark. 2014a).

Ağır metaller, çevreye doğal kaynakların yanı sıra endüstri ve evsel atıklar, metal içerikli ürünlerin atık yakma tesislerinde yakılması, kullanılan fosil kökenli yakıtların yanması, tarımsal ilaçlar, taşıtlar ve kullanılan tarımsal gübrelerle yayılarak havayı, suyu ve toprağı kirletmektedir.

Havada bulunan parçacıkların % 0,01 ile % 3'ünün insan dokularında birikime uğrayarak ve birbirleri ile etkileşimleri nedeniyle sağlığı tehdit eden eser elementlerden meydana geldiği belirtilmiştir. Havadan solunum yolu ile alınan parçacıklara ek olarak önemli miktarda metalik maddelerin yiyecekler ve içme suları aracılığı ile de vücuda alındığı ifade edilmektedir (İlhan ve ark. 2006, Keser 2008).

Sanayinin gelişmesiyle birlikte, kimyasal gübre ve ilaç kullanımındaki artışlar da kirletici türlerini ve oranlarını yükselterek, nüfus artışı ile beraber su kaynaklarını kirletmeye başlamıştır. Sanayi kökenli bakır, kurşun, siyanür, kadmiyum, cıva, arsenik gibi inorganik bileşiklerin ve tarımsal uygulamaların oluşturduğu kimyasal gübre atıklarının, pestisit atıklarının ve deterjanların su kaynaklarına karışarak insan sağlığını tehdit edebileceği ifade edilmiştir (Sarıyer 2017).

Ağır metallerin düşük seviyelerde de olsa sürekli olarak yiyecek maddeleri ile insan ve hayvanlar tarafından alınmasına rağmen, atılmalarındaki zorlukları dolayısıyla vücutta birikim özelliği göstermelerinin insan sağlığında bazı zararlı etkilere neden olabileceği ifade edilmiştir (Yılmaz 2014).

Bitkilerin ağır metalleri topraktan ve yapraktan aldıkları belirtilmiş, bitki içerisine giren kurşunun, bitkinin değişik yerlerinde biriktiği ve besin zinciri ile dolaylı veya solunumla doğrudan insan sağlığını etkileyebildiği bildirilmiştir (Zurera ve ark. 1989, Çavuşoğlu ve ark. 2009).

Solunum ve sindirim sistemi ile alınan kurşunun vücuttaki etkileşiminin aynı olduğu, kurşun toksisitesinde erişkin ve çocukların sinir sisteminin ana hedef olduğu bildirilmiştir. Hematolojik sistem, kalp-damar ve böbreklerin kurşuna duyarlı olması nedeniyle, kurşun toksitesinin değerlendirilmesinde bu hususların önemli olduğu ifade edilmiştir (Malkoç 2015).

Yetişkinlerde genellikle, maruziyet düzeyine ve zamanına bağlı farklı biyolojik etkilere neden olabileceği bildirilmiştir. Kurşunun, vücut organlarında ve beyinde biriktiği, sindirim sistemi, kırmızı kan hücreleri, böbrekler ve merkezi sinir sisteminin de kurşun varlığından etkilendiği belirtilerek hafıza kaybı, bulantı, uykusuzluk, iştahsızlık ve eklemlerin zayıflamasının görülebileceği, zehirlenmeye veya ölüme bile yol açabildiği bildirilmiştir. Kurşuna maruz kalan çocukların, gelişimlerinde bozulma, zekâlarında gerileme, dikkat süresinde kısalma, hiperaktivite ve zihinsel algının bozulması gibi risklerle karşı karşıya oldukları özellikle altı yaştan küçük çocukların daha ciddi risk

altında olduğu ifade edilmiştir. Kurşun, beyin, sinir sistemi ve böbreklerde ciddi zarara neden olabilir. (Wuana ve Okieimen, 2011).

İnsanlarda görülen kurşun zehirlenmesinde beyinin hasar görebileceği, ölüme yol açabileceği, bebek ve çocukların maruz kaldığı kronik zehirlenme vakalarında ise zekâ geriliğinin, öğrenme bozukluklarının, hiperaktivite ve kan basıncı yüksekliğinin, kronik aneminin, periferik sinir hasarının görülebileceği belirtilmektedir (Çağlarırmak ve Hepçimen 2010).

İnsan vücudundaki kurşun miktarının tahmini olarak ortalama 125 ile 200 mg civarında olduğu ve normal koşullar altında insan vücudunun günde 1-2 mg kadar kurşunu normal fonksiyonlarla atabilme yeteneğine sahip olduğu ve birçok kişinin günlük maruziyet miktarının 300-400 µg'ı geçmediği bildirilmiştir (Bigersson ve ark. 1988).

Buna rağmen yapılan kemik analiz sonuçlarına göre günümüzün insan kemiklerinde, atalarımızdaki kurşun miktarının 500–1000 katı kadar daha yüksek bulunduğu belirtilmiştir. Kurşunun kana karışarak buradan da kemiklere ve diğer dokulara gittiği çoğunun kemiklerde depolanmasına rağmen beyine, anne karnındaki cenine ve anne sütüne de geçebildiği ya da dışkı ve böbrekler yoluyla vücuttan atıldığı belirtilmiştir (Seven ve ark. 2018).

Kurşunun insan vücudunda toksik etki oluşturabilmesi için kanda veya yumuşak dokularda belli bir düzeye kadar birikmesi gerektiği belirtilmiş, yaş, beslenme ve fizyolojik durumlar gibi birçok faktöre bağlı olarak etkinin değişebileceği bildirilmiştir. Çocuklar için 40-80 µg Pb 100 mL^{-1} dozunda toksik belirtilerin, 80 µg Pb 100 mL^{-1} dozunda kurşun zehirlenmelerinin görülebileceği ifade edilmiştir. Saçlar, kemikler ve dişlerdeki kurşun miktarının muhtemel kurşun zehirlenmeleri hakkında bilgi verebileceği belirtilmiştir (Vural 1993).

Kurşunun farklı enzim sistemleri etkileşimi ile birikiminin birçok organ veya sistem içinde mümkün görüldüğü, insanlarda genelde kandaki kurşun miktarının 0,04-0,06 µg mL^{-1}, kentsel alanlarda yaşayanlarda ise 0,1 µg mL^{-1} olduğu belirlenmiştir. Kandaki

kurşun miktarının 0,2 µg mL^{-1} limitini aşması durumunda kan sentezinin inhibe olduğu, 0,3-0,8 µg mL^{-1} arasında duyu ve motor sinir iletişim hızında azalma görüldüğü, 1,2 µg mL^{-1} sınırının aşılması durumunda ise yetişkinlerde kalıcı beyin hasarlarının oluşabileceği belirtilmiştir (Keser 2008).

Bebek ve çocuklarda düşük seviyedeki kurşun değerinin, yaşın ilerleme ve maruziyet derecesi ile artacağı, kanda 40 mg L^{-1} seviyesini aşınca tansiyonun yükselmesine neden olabileceği belirtilmiştir. Dünya Sağlık Örgütü'nün yapmış olduğu sınıflandırmaya göre kurşunun 2. sınıf kanserojen grubunda yer aldığı belirtilmiştir (Özkan 2009).

Havadaki kurşun derişimi ile kandaki kurşun derişimi arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu, havada bulunan 1 µg m^{-3} kurşunun kanda 0,01-0,02 µg mL^{-1} civarında derişim oluşturduğu tespit edilmiştir. Sağlık üzerine olumsuz etkinin gözlenmediği 0,1 µg mL^{-1} kan kurşun limitinin aşılmaması için kent havasındaki kurşun konsantrasyonunun 0,5-1 µg m^{-3} olarak hedeflenmesi Dünya Sağlık Örgütü tarafından önerilmiştir (Keser 2008).

Dünya Sağlık Örgütü, yerleşim alanları atmosferinde ortalama 0,001 g m^{-3} düzeyinde kadmiyum kirliği hesaplamış, insanların solunum ile günlük 0,02-2 mg kadmiyum aldıklarını saptamıştır. Kadmiyum oksid dumanının yüksek oranda solunması durumunda akut, pnomönisitis, akciğer ödemi ve öldürücü etkilerin meydana gelebileceği ifade edilmiştir. Uzun süreli maruz kalma nedeniyle böbreklerin etkilendiği ve oluşan hasarın gideriminin sağlanamadığı belirtilmiştir. Akciğer ve prostat kanser oluşumunda kadmiyumun etkin olduğu belirlenmiştir (Özkan 2009, Çağlarırmak ve Hepçimen 2010).

Galvaniz çinko kaplı ambalajlarda kadmiyum kullanımı durumunda gıdalarda bulunan organik asitlerin ambalaj yapısındaki kadmiyumu çözünür hale getirerek gıdalarda zehirlenme olaylarının meydana gelebileceği vurgulanmıştır (Vural 1993).

Amerikan Toksik Maddeler ve Hastalık Kayıt Ajansı'nın 2015 yılı verilerine göre kadmiyumun (Cd) insan sağlığına etki eden toksik maddeler içinde 7. sırada yer aldığı ifade edilmiştir (ATSDR 2015).

İnsan vücudunda aylık tolere edilebilen kadmiyum miktarının vücut ağırlığının her kg'ı için 25 µg olduğu belirlenmiştir (Nassouhi 2018). Kadmiyum elementinin insan sağlığı üzerinde birçok toksik etki gösterdiği WHO (2010)'ya göre bu elementin iskelet ve solunum sistemi üzerinde, böbrek ve karaciğerde kanserojen etkisi bulunduğu bildirilmektedir.

Uzun süreli kadmiyuma maruz kalındığında böbreklerin etkilendiği, böbrekte biriken kadmiyumun (yaş ağırlık üzerinden) 200 mg kg^{-1}'a ulaşması durumunda, böbrek fonksiyonlarında geriye dönüşü olmayan bozulma meydana gelebileceği belirtilmiştir (Keser 2008, Çağlarırmak ve Hepçimen 2010).

Plasenta ya da kan yoluyla anne karnından hiç kadmiyum geçmediği için yeni doğan bebeklerde kadmiyum bulunmadığı bildirilmektedir. Cd seviyesinin ilerleyen yaşla beraber artış gösterdiği, insan vücudunda normal olarak 40 mg'a kadar kadmiyum bulunabildiği, genellikle 50'li yaşlarda maksimum seviyeye ulaştıktan sonra azalmaya başladığı ifade edilmektedir.

Günlük olarak 40 µg'a kadar kadmiyumun vücuttan atılabildiği, atılımın az olması ve birikim yapması nedeni ile sağlık üzerine olumsuz etkilerinin zamanla ortaya çıktığı bildirilmektedir. Yapılan araştırmalarda uzun vadeli temastan en fazla zarar görecek organın böbrekler olduğu, böbrekte biriken kadmiyum derişiminin (yaş ağırlık üzerinden) 200 mg kg^{-1}'a ulaşması durumunda, böbrek fonksiyonlarında bozulma meydana getirdiği tespit edilmiştir.

Kadmiyumla aşırı maruziyet durumunda akciğerde, karaciğerde ve böbreklerde bir takım rahatsızlıklar olabileceği gibi, görme bozukluğu, kansızlık ve yüksek tansiyon gibi sağlık problemleri de görülebileceği bildirilmiştir. Dünya Sağlık Örgütü verilerine göre yetişkin bir insanın günlük tolere edilebilir Cd miktarının 60-70 µg, haftalık 400-500 µg olduğu ifade edilmiştir. Kadmiyumun vücuda girmesinde besinlerin esas giriş kaynağı iken, sigara içmenin de önemli etkenlerden biri olduğu, dünyada beslenme ile ortalama günlük 25-75 µg Cd alınırken, sigara içen insanlarda 20-35 µg kadmiyumun daha buna ilave olarak alındığı belirtilmiştir (Alloway 1995).

Besin zinciri yoluyla toprakta yetişen bitkilere oradan da insan ve hayvanlara geçen Cd'un canlı organizmalar için son derece tehlikeli ve toksik etkili bir element olduğu belirtilmiştir. Cd zehirlenmesine bağlı olarak gelişen İtai itai hastalığının ilk kez 1950 yılında Japonya'nın Toyama bölgesinde çinko madeni atıkları ile kirlenmiş nehir sularıyla sulanmış tarlalarda yetişen Cd içeriği yüksek pirinçle beslenen insanlarda görüldüğü ifade edilmiştir (Ertem 2011, Dağhan 2016).

Kadmiyumun diğer ağır metaller arasında suda çözünme özelliği en yüksek element olması sebebiyle doğadaki yayınım hızının yüksek olduğu, Cd^{2+} halinde bitki ve deniz canlıları tarafından biyolojik sistemlere alınarak akümüle olma özelliğine sahip olduğu, ancak insan yaşamı için gerekli elementlerden biri olmaması nedeniyle, yüksek konsantrasyonlarda bulunduğunda bitki, hayvan ve insanlara toksik etki yaptığı ifade edilmektedir (Marschner 2008).

Kadmiyumun suda çözünürlüğünün yüksek olması sebebiyle bitki ve deniz canlıları tarafından biyolojik sistemlere alındığı ifade edilmiştir. Normal olarak insan vücudunda 40 mg kadar kadmiyum bulunabildiği ve kadmiyum ve bileşiklerinin genellikle böbrekler ve karaciğerde birikerek ilerleyen yaşlarda böbreklerdeki birikim nedeniyle yüksek tansiyona da sebep olabileceği ifade edilmektedir. Kronik kadmiyum zehirlenmesinde ortaya çıkan en önemli etkinin akciğer ve prostat kanseri olduğu da bildirilmiştir. Kemik erimesi, kansızlık, diş dökülmesi ve koku duyumunun yitirilmesi de bildirilen diğer önemli etkilerindendir (Yağmur ve ark. 2003, Asri ve Sönmez 2007).

Havadaki kadmiyumun, 1 mg m^{-3} limitini aşması durumunda, solunumda akut etkilerinin gözlenebildiği bildirilmiş, 0,01 mg m^{-3} kadmiyum içeren havanın 14 günden daha fazla solunması durumunda kronik akciğer rahatsızlıklarının ve böbrek yetmezliğinin ortaya çıkabildiği belirtilmiştir. Dünya Sağlık Örgütü insan sağlığının korunması için havadaki kadmiyum derişiminin kırsal alanlarda 1-5 ng m^{-3}, zirai faaliyetlerin bulunmadığı kentsel ve endüstriyel bölgelerde ise 10-20 ng m^{-3} ü aşmaması gerektiğini tavsiye etmiştir (Keser 2008).

Kadmiyumun önemli enzim ve organ fonksiyonlarında çinkonun yerini alarak fonksiyonların gerekli şekilde gerçekleşmesini engellediği bildirilmektedir. Zn yetersizliği nedeniyle Cd zehirlenmesi arttığından Zn ve Cd'un vücut içindeki oranlarının önemli olduğu, tahılların rafinasyon işleminin bu oranı düşürdüğü ve dolayısıyla Zn eksikliği ve Cd zehirlenmesinin fazla rafine edilmiş tahıl ve unların tüketimiyle artış gösterdiği bildirilmiştir (Sarıyer 2017).

Krom'un vücutta insulin hareketini, karbonhidrat, su ve protein metabolizmasını etkilediği belirtilmiştir. Başta insan bünyesinde olmak üzere canlı organizmalardaki davranışının oksidasyon kademesine, kimyasal özelliklerine ve bulunduğu ortamdaki fiziksel yapısına bağlı olduğu bildirilmiştir. Günlük krom alımının ortalama 30-200 µg olduğu ve hegzavalent krom'un (Cr^{+6}) trivalent kroma (Cr^{+3}) göre daha toksik olduğu ifade edilmiştir. Cr^{+6}'nın hava yoluyla vücuda alınması ile burun akmaları, burun kanamaları, kaşınma ve üst solunum yollarında delinmelerin yanı sıra kroma karşı alerji gösteren insanlarda da astım krizlerinin görülebileceği belirtilmiştir (Kahvecioğlu ve ark. 2003).

Kromun insan vücuduna 1–5 g krom tuzu şeklinde girmesi ile oluşan akut zehirlenmenin gerçekleşebileceği; gastrointestinal bulgulara, kanama bozukluğuna, nöbetlere, kalp damar sisteminde şoka bağlı ölümlere neden olabileceği ifade edilmektedir (Tunçok 2008, Çağlarırmak ve Hepçimen 2010).

2.6. Ağır Metallerin Bitki Gelişimi Üzerine Olumsuz Etkileri

Bitkiler için gerekli olan ve ortamda uygun miktarlarda bulunduğunda olumlu etki yapan kimi metallerin, fazla miktarlarda bulunması durumunda bitkilere toksik olabileceği ifade edilmektedir (Steffens 1990, Asri ve Sönmez 2006).

Bitkiler için mutlak gerekli olsun veya olmasın ağır metallerin doku ve organlardaki aşırı birikimi bitkilerin vejetatif ve generatif organ gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir (Gür ve ark., 2004).

Toprakta ağır metallerin oluşturduğu kirlilik belirtilerinin bitki türleri arasında ve metalden metale de değişebildiği ifade edilmektedir (Sarıyer 2017).

Bitkilerin elementleri seçici özelliklerle aldıkları, ağır metallerin bitkilerdeki birikimi ve organlardaki dağılımının, bitkinin ve elementin türüne, kimyasal ve biyolojik aktiviteye, indirgenme-yükseltgenme potansiyeline, pH değerine, katyon değişim kapasitesine, oksijen çözülmesine, ısıya ve köklerin salgı yeteneğine bağlı olduğu bildirilmiştir (Sharma ve Dubey 2005, Koca 2012, Gümüş ve ark. 2019).

Ağır metallerin çevrede yaygın bir şekilde bulunması, tüm canlılar için giderek artan bir tehlike oluşturmaktadır. Çevre kirliğine neden olan tüm faktörlerin bitkilerde stres oluşturması, stresin de bitkideki fizyolojik olayları etkileyeceği, genetik potansiyelleri değiştirebileceği, verimliliklerini kısıtlayacağı ve ölümlerine neden olarak, büyük oranlarda ürün kayıplarının meydana geleceği bildirilmiştir (Zengin ve Munzuroğlu 2004).

Ağır metallerin bitki doku ve organlarında aşırı birikiminin strese neden olacağı, büyüme ve gelişme, mineral besin alımı, transpirasyon, fotosentez, enzim aktivitesi, klorofil biyosentezi ve çimlenme gibi çok sayıda morfolojik ve fizyolojik olayı olumsuz yönde etkileyeceği farklı araştırıcılar tarafından da ifade edilmektedir (Kennedy ve Gonsalves 1987, Ouzounidou 1994, Gür ve ark. 2004, Kıran ve ark. 2014).

Ağır metallerin bildirilen limit değerlerden itibaren bitkilerdeki fizyolojik ve biyokimyasal olaylar üzerine doğrudan veya dolaylı etkide bulunduğu, bitki türlerinin abiyotik stres faktörlerine olan toleranslarının da aynı olmadığı ifade edilmiştir. Bu durumun bitkilerin tipine, çeşidine stres faktörlerine maruz kalma süresine ve strese maruz kalan doku veya yapısına göre büyük farklılıklar oluşturduğu belirtilmiştir (Barman ve ark. 2000).

Ağır metallerin transpirasyon, stoma hareketleri, su alımı, fotosentez, enzim aktivitesi, çimlenme, protein sentezi, membran stabilitesi, hormonal denge gibi birçok fizyolojik olayın bozulmasına neden olabileceği belirtilmiştir (Kennedy ve Gonsalves, 1987).

Ağır metallerin genellikle daha çok bitki köklerinde birikim gösterdiği bildirilmiştir. Ağır metallerin, özellikle amilaz aktivitesi ve embriyoların şeker naklinin azaltılması gibi bazı enzim aktiviteleri ve proteaz aktivitesini artırmasının bir sonucu olarak çimlenmesini önleyeceği belirtilmiştir (Bildirici ve ark. 2016).

Ağır metallerin etkilerine bitkilerin farklı gelişim dönemlerinde rastlanabildiği, bitkilerin stres veya toksiteye tepkilerinin ilk çimlenme ve gelişim aşamalarında daha belirgin ve önemli olduğu bildirilmiştir (Akıncı ve Çalışkan 2010).

Topraklarda yetiştirilen bitkilerdeki ağır metal konsantrasyonlarının artış göstermesi ve insan sağlığını tehdit eder boyuta gelmesi nedeniyle bitkiler ve insanlar üzerindeki zararlı etkilerini belirlemek için bitkilerde toksik türlerin tayinini belirlenmesine yönelik çalışmaların önemli olduğu bildirilmiştir (Deveci 2012).

Bitkilerde ağır metal stres etkilerinin, elementin tipi ve konsantrasyonu yanı sıra, genetik esaslı olabileceği belirtilmiştir (Haktanır ve Arcak 1998, Kıran ve ark. 2014). Çeşitli araştırmacılar bitkilerin stres koşullarına tepkilerinin ve geliştirdikleri uyum mekanizmalarının bilinmesi gerektiğini vurgulayarak, bazı bitki türlerinin metal ağırlıklı topraklarda endemik olduğunu, ağır metallerin ve diğer toksik bileşenlerin yüksek konsantrasyonlarını tolere edebileceğini bildirmişlerdir (Raskin ve Ensley 2000, Dahmani-Müller ve ark. 2000, Kıran ve ark. 2014).

Önceki araştırmalarda diğer sebzelerden daha büyük bir kapasitede ağır metal biriktirme potansiyelleri nedeniyle ağır metal kirliliğinin araştırılmasında yapraklı sebzelerin tercih edildiği ifade edilmektedir (Farooq ve ark. 2008).

Kurşun ve kadmiyum ağır metalleri bitki besin elementi olmadıkları için kültür bitkilerinde genellikle bulunmamalarına rağmen bazen çok az miktarlarda bulunmaları dahi çoğunlukla toksisite ve kirlilik olarak kabul edilmektedir (Foy ve ark. 1978).

Ağır metallerin kök, gövde ve yaprak büyümesi üzerine önemli toksik etkileri olduğu çok sayıda çalışmayla tespit edilmiştir. *Phaseolus vulgaris* bitkisine 48 saat süreyle 3 µM Cd

uygulanması sonucunda yaprak hücrelerinin genişlemesinin engellendiği, hücre duvarı elastikiyetinin de azaldığı bildirilmiştir (Zengin ve Munzuroğlu 2004).

Kadmiyumun bitkilerde nekroza, krom ve çinkonun ise kloroza yol açtığı belirtilmiştir (Zengin ve Munzuroğlu 2004). Mangan'ın *Glycine wightti* bitkisinin gelişen genç yapraklarında şekil bozukluklarına, özellikle yaprak yüzeyinin üst kısmındaki orta ve yan damarların sertleşerek kahverengileşmesine ve yaprak yüzeyinde nekrotik leke oluşmasına yol açtığı belirtilmiştir (Zengin ve Munzuroğlu 2004).

Marulun yapraklı sebzeler arasında en iyi akümülatör bitkilerden biri olduğu ve bünyelerinde çoğunlukla kadmiyum başta olmak üzere nikel ve kobalt gibi ağır metalleri biriktirdiği bildirilmiştir (Boysan-Canal ve ark. 2018).

Kadmiyum birikiminin bitki çeşitlerine göre farklılık gösterdiği, yaprağı yenen bitkilerden son yıllarda tüketimi yaygınlaşan marul ve ıspanağın kadmiyum elementini en fazla biriktiren sebzeler olduğu, yine biriktirdiği kurşun miktarının da daha kolay tespit edilebilmesi nedeniyle ıspanağın test bitkisi olarak kullanıldığı bildirilmiştir (Lehoczky ve ark. 1998).

Ağır metallerin toprakta toksik miktarlarda bulunmaları durumunda bitkide su absorbsiyonu, membran stabilitesi, çimlenme, transpirasyon, stoma hareketi, fotosentez, enzim aktivitesi, hormonal denge, protein sentezi gibi pek çok fizyolojik olayın bozulmasına neden olduğu belirtilmiştir (Asri ve Sönmez 2006).

Bitkilerde genel olarak görülen ağır metal toksisite belirtilerinin, kloroz yanı sıra kahverengi benek oluşumu, yaprak, gövde ve kök kısımlarının deformasyonu şeklinde de görülebildiği belirtilmiştir (Tok 1997, Kacar ve İnal 2010, Karaman 2012).

Kurşun bitkiler için gerekli bir element olmamasına rağmen, bütün bitkilerde doğal olarak bir miktar bulunabildiği ifade edilmiştir (Kabata-pendias ve Pendias 1984). Kurşuna maruz kalan bitkilerin köklerinin uzamasında ve biyokütlesinde azalma (Fargasova 1994), klorofil biyosentezinde gerileme (Miranda ve Ilangovan 1996), bazı enzim

aktivitelerinde tetiklenme ya da engellenme olduğu rapor edilmiştir (Van Assche ve Clijsters 1990).

Sebzelerin farklı türlerinde tespit edilen ağır metal sıralamasının Pb>Zn>Cr>Cu>Cd şeklinde olduğu belirtilmiştir. Sanayi alanların çevresinde farklı sebze yetiştiriciliğinde ağır metalin girişini araştıran bir çalışmada Pakistan Faisalabadın sanayi alanların çevresinde ıspanak, marul, karnabahar, turp, kişniş ve lahananın yapraklarında kurşun konsantrasyonun 2,251; 2,411; 1,331; 2,035; 2,652 ve 1,921 mg kg^{-1} olduğu belirtilmiştir (Farooq ve ark. 2008).

Kurşun elementinin hücre turgoru ve hücre duvarı stabilitesini olumsuz yönde etkilediği, stoma hareketlerini ve yaprak alanını azaltması nedeniyle bitki su rejiminin etkilendiği, aynı zamanda kökler tarafından tutulması ve kök gelişiminin azalması nedeniyle de bitkilerin katyon ve anyon alımının etkilendiği bildirilmiştir (Sharma ve Dubey 2005).

Soma'nın Turgutalp yöresinde yol kenarındaki tütün yapraklarının kurşun miktarlarını belirlemek amacıyla yapılan araştırmada tütün yaprak örneklerinin analizi sonucunda tarlanın 50 ve 100'üncü metrelerinden alınan tütün yaprak örneklerindeki kurşun miktarlarının yüksek olduğu, kurşun miktarı fazla olan topraklarda yetişen bitkilerin solgun ve küçük yapraklı oldukları ifade edilmiştir (Sesli 2002).

Yapılan pek çok çalışma sonucunda; kurşuna maruz kalan bitkilerde; tohum çimlenmesinde, kök ve gövde uzamasında azalma (Fargasova 1994), klorofil biyosentezinde inhibisyon (Miranda ve Ilangovan 1996), kloroz (yaprakların sararması) (Johnson ve ark. 1977), fotosentez miktarında azalma (Bazzaz ve ark. 1974), birçok enzimde indüksiyon ve inhibisyon (Van Assche ve Cliisters 1990), hücre yapısında bozulma, kromozom lezyonları ve bölünme anomalileri (Xiong 1997) gibi olumsuzluklar görüldüğü, kurşunun bu olumsuz etkileri nedeniyle bitkilerde bozulmalara ve ekosistemde tahribatlara yol açtığı ifade dilmiştir (Lamersdorf ve ark. 1991, Fargasova 1994).

Yüksek kurşun konsantrasyonunun bitkilerde besin maddelerinden özellikle kalsiyum, demir, magnezyum, manganez, fosfor ve çinkonun alınımı ve taşınmasını etkilediği ifade edilmiştir (Patra ve ark. 2004).

Dahmani ve ark. (2000), kök ve yaprak kurşun konsantrasyonları arasında oluşan büyük farkın, köklerden sürgün ve yeşil yapraklara doğru metallerin taşınmasında oluşan kısıtlamanın göstergesi olduğunu bildirmiştir.

Sebze yetiştiriciliğinde kurşun kirliliği üzerine araştırmaların oldukça sınırlı sayıda olduğu ifade edilmiş, *Lens culinaris* ile yapılan bir çalışmada kurşunun artan konsantrasyonlarının, yaprak oluşumunu engellediği; yapraklarda kloroz, nekroz ve solgunluğa neden olduğu; gövdede yaş ve kuru ağırlığı azalttığı bildirilmiştir (Jana ve Dalal 1987).

Kurşunun, *Triticum aestivum* ve *Cucumis sativus* tohumlarında çimlenme ile bitki büyümesini engelleyerek, kloroz ve nekroza neden olduğu rapor edilmiştir (Sinha ve Tripathi 1993).

Düşük kurşun konsantrasyonları ile muamele edilen *Lupinus luteus, Sesamum indicum, Sinapsis alba, Raphanus sativus* ve *Lactuca sativa* tohumlarının çimlenmesinde, fidelerin kök ve gövde uzunluklarında kontrole göre belirgin bir farkın olmadığı, ancak yüksek kurşun konsantrasyonlarında tohumların çimlenmelerinde, kök ve gövdenin uzamasında konsantrasyon artışıyla azalma olduğu bildirilmiştir (Miranda ve Ilangovan 1996).

Kurşun uygulanan *Hordeum vulgare* ve *Zea mays* bitkilerinin kök/gövde oranlarının kontrol bitkilerine göre azaldığı bildirilmiştir (Wierzbicka 1998).

Kurşunun *Phaseolus vulgaris* L.' nin kök, gövde ve yaprak büyümesi üzerine etkilerinin belirlendiği çalışmada; ağır metale en duyarlı kısmın kökler olduğu bunu da sırasıyla gövde ve yaprakların takip ettiği bildirilmiştir (Ayaz ve Kadıoğlu 1997).

Domates fidelerinde 0, 75, 150 ve 300 mg lt^{-1} kurşun dozları ile yapılan çalışmada kurşun uygulamaları ile domates fidesinin yaprak, sürgün ve köklerindeki kurşun konsantrasyonun arttığı belirtilmiştir. Düşük dozdaki kurşun uygulamasında yapraklarda 312 mg kg^{-1}, sürgünde 130 mg kg^{-1} ve köklerde 510 mg kg^{-1} bulunmuştur. Buna ek olarak bitkideki kurşun seviyeleri özellikle yüksek dozdaki kurşun uygulamasında ve orta dozdaki uygulamalarda yapraklarda 917– 1750 mg kg^{-1}, sürgünde 750–1022 mg kg^{-1} ve kökte 1438–2520 mg kg^{-1} olarak bulunmuştur. Kurşun uygulaması diğer Ca, Mg, K, P, Na, Fe, Zn, Cu ve Mn gibi elementlerin miktarında azalmalara yol açarak besin elementi noksanlığına neden olmuştur (Akıncı ve Çalışkan 2010).

Kadmiyum akümülasyonunun mineral besin elementi alımını değiştirdiği, bitkinin su dengesi ile etkileşime girerek stomaların açılmasını engellediği, Calvin döngüsü enzimlerini, fotosentezi ve karbonhidrat metabolizmasını bozduğu, antioksidan metabolizmasını değiştirdiği ve ürün verimini düşürdüğü belirtilmiştir (Nazar ve ark. 2012).

Kadmiyum'un diğer metallere oranla daha fazla suda çözünebilir, hareketli ve bitki tarafından alınabilirliğinin de fazla olması nedeniyle toprakta birikimi en tehlikeli ağır metal olduğu ifade edilmiştir (Sarıyer 2017).

Ham fosfat kayasının belirli bir düzeyde Cd içermesi nedeniyle ve bilinçsiz gübreleme, doğal veya antropojenik etkenler sonucunda toprak pH'sının düşmesi durumunda Cd'un çözünürlüğünün artarak tarım ürünlerine geçişini kolaylaştırdığı bildirilmiştir (Köleli ve Kantar 2005).

Bitki tarafından alınan Cd'un bitkide birçok fizyolojik, biyokimyasal ve strüktürel değişime neden olabileceği belirtilmiştir (Thamayanthi ve ark. 2013, Mansour ve ark. 2015, Dağhan 2016).

Kadmiyumun toprak içindeki biyolojik yarayışlılığının çeşitli toprak özellikleri tarafından kontrol edildiği, bunların sırası ile toprak pH'sı, organik madde düzeyi, toprağın kil içeriği ve katyon değiştirme kapasitesi olduğu ifade edilmiştir. Özellikle asit

reaksiyona sahip topraklarda ağır metallerin hareketliliğinin fazla olduğu, pH değeri 7'nin üzerindeki topraklarda kadmiyum, kalsiyum ve magnezyum tarafından yer değiştirilmek sureti ile kil mineralleri yüzeyinde tutulduğu belirtilmiştir. Yine kireçli topraklarda kadmiyum, CdO, $CdCO_3$ ve $Cd_3(PO_4)_2$ formunda çökeldiği, bu durumun kadmiyumun bitki tarafından alınımını azaltıp engellediği ifade edilmiştir (Gao ve ark. 2010, Sherameti 2011).

Kadmiyum toprak, kök ve tohum sisteminde yüksek hareketliliği nedeniyle, insan ve canlı sağlığı açısından ciddi problemlere neden olabilecek niteliğe sahip ağır metaldir. Kadmiyum bakımından kirli topraklarda yetişen bitkilerin yenilebilir kısımlarında geniş ölçüde biriktiriliyor olmasının bu ağır metalin besin zincirine katılmasına neden olduğu belirtilmiştir (Monteiro ve ark. 2009).

Bitkilerin ağır metal stresinden etkilenme düzeylerinin, çevre faktörleri ve bitkinin gelişme dönemine bağlı olarak değiştiği, farklı bitki türleri ve tür içerisindeki genotiplerin de farklı duyarlılık gösterdikleri belirtilmiştir. Yumru köke sahip ve yaprağı yenen sebzelerin diğer sebzelere, makarnalık buğdayların ekmeklik buğdaylara oranla daha fazla kadmiyum biriktirdiği gözlenmiştir (Stolt ve ark. 2003).

Kacar ve İnal (2008), yeşil tüketilen sebzelerde kadmiyumun yaprakta birikmesine karşılık tahıllarda kök kısımlarında daha fazla kadmiyum bulunduğunu ve bitkinin kök bölgesinden tepe kısmına doğru azaldığını belirtmiş, Pillay ve ark. (2007) da özellikle marul bitkisinde kadmiyumun en fazla biriktiği bölgenin yaprakları olduğunu ifade etmiştir.

Marul'un Cd konsantrasyonunun 29-400 ppm arasında değiştiği ve yüksek oranda Cd biriktirebilen bitkilerden biri olduğu (Pais ve Jones 2000), dokularında 3 mg kg^{-1}'dan fazla Cd içeren marul bitkilerini düzenli olarak tüketen insanlarda Cd'un toksik etkilerinin görülebildiği bildirilmiştir (Alloway 1995, Kabata-Pendias ve Mukherjee 2007).

Salt ve ark. (1995), hardal bitkisinde kadmiyumun hareket ve birikim mekanizmasını anlamak için yaptıkları çalışmada, Cd uygulamasına paralel olarak bitkideki Cd konsantrasyonunun artarak ilk önce genç yapraklarda biriktiğini ve klorozun ilk olarak buralarda görüldüğünü, ortaya koymuşlardır. Transprasyon oranının azalması ile yapraklardaki Cd konsantrasyonun azaldığı ancak kökte bir değişim olmadığı bu nedenle kök ve gövdeye alınım mekanizmalarının birbirinden farklı olduğu belirtilmiştir. Yaprağa taşınmada transprasyon oranı, kök alınımı, radyal taşınma ve ksilem yüklemesi gibi faktörlerin etkili olduğu, yüksek Cd koşulları altında Mn içeriğinin düştüğü, Cu konsantrasyonunun gövde de düştüğü ancak kökte herhangi bir değişim olmadığı da belirtilmiştir.

Doğrudan toksik etkinin bitkisel hacimde azalmaya bağlı klorofil sentezi ve fotosentezde azalmayla kendini gösterdiği ifade edilmektedir (Padmajave ark. 1990). Güçlü fitotoksik etkiye sahip olan kadmiyumun bitki hücrelerine girdiği zaman birçok fizyolojik ve metabolik fonksiyonların bozulmasına yol açtığı belirtilmiştir (Shao ve ark. 2007).

Kadmiyum toksisitesinin, klorofil biyosentezini, kalvin döngüsündeki rubisco aktivitesini ve fotosentetik enzimlerinin aktivitelerini engelleyerek fotosentez mekanizmasına zarar verdiği rapor edilmiştir (Tiryakioğlu ve ark. 2006).

Kadmiyum toksisitesi ile yaprakların büyümesinde gerileme sonucu yaşlanma sürecindeki artışa bağlı olarak, peroksidaz, RNA, DNA etkinliğinde aşırı artış görüldüğü belirtilmektedir (Barcelo ve Poschenrieder 1990).

Ağır metallerin bitkiler üzerindeki olumsuz etkisinin büyük ölçüde bitkinin hangi büyüme aşamasında kadmiyuma maruz kaldığı ile ilgili olduğu, gelişimin erken dönemlerinde kadmiyuma maruz kalan bitkide toksisite etkisinin büyümede gerilemeyle sonuçlanırken, daha ileri safhalarda bitkinin yaşlanma sürecini hızlandırarak toksisiteye cevap verdiği belirtilmektedir (Siedlecka ve Krupa 1999).

Kloroplastların, bitkideki kadmiyum toksisitesi ve demir eksikliği veya fazlalığına karşı aşırı hassasiyet gösterdiği, bitki tarafından alınan kadmiyumun ancak %1'inin

kloroplastlarda yer almasına rağmen, kloroplast yapısında ve işlevinde önemli ölçüde bozulmalara yol açtığı ifade edilmiştir (Ghoshroy ve Nasdakavukaren 1990, Siedlecka ve Krupa 1996).

Kadmiyum toksisitesinin bitkideki belirtilerinin kloroz ve bodur büyüme şeklinde görüldüğü, klorozun, yaprak demir içeriği ile dolaylı ve doğrudan etkileşim ile ortaya çıktığı ifade edilmiştir. Yetişme ortamında yüksek düzeyde kadmiyum bulunmasının bitki tarafından demir alımını azalttığı, klorozun, demir yarayışlılığının düşük olduğu nötr ve alkali tepkimeye sahip topraklarda daha fazla görüldüğü ifade edilmiştir (Das ve ark. 1997).

Kadmiyumun yüksek miktarlarda alındığı zaman bitkide oksidatif stres meydana getirdiği, oksidatif stresin artmasının kadmiyum toksisitesinde engellenen bitki gelişimi ve reaktif oksijen radikallerinden kaynaklandığı ifade edilmiştir (Fediuc ve Erdei 2002).

Kadmiyum ile demir etkileşiminin en önemli göstergesinin kadmiyumun köklerden yapraklara demir taşınımını engellemesi olduğu bildirilmiştir. Bitkinin beslenme ortamında kadmiyum bulunması halinde demir taşınımını önemli ölçüde azaltarak sürgünlerde demir eksikliğine neden olduğu belirtilmiştir. Kadmiyum ile demir arasında tek yönlü etkileşimden ziyade karşılıklı etkileşim olduğu, kadmiyumun bitkinin demir alımını zorlaştırdığı gibi demirin de aynı zamanda kadmiyumun bitki tarafından alımını ve köklerden sürgünlere taşınımını etkilediği belirtilmektedir. Kadmiyum toksisitesi altındaki bitkilerin ağır metali köklerde tutup taşınımını olabildiğince azaltabilmek için üç temel strateji kullandığı, bunlardan birincisinin; kadmiyumu metobolik olarak inaktif bileşikler haline dönüştürmek, ikincisinin; toksik iyonların hücre zarında veya vakuol içinde biriktirilmesinin sağlanması ve üçüncüsünün ise çözünmez formda tutulması olduğu ifade edilmiştir (Siedlecka ve Krupa 1999).

Vivek ve ark. (2001) bezelye bitkisine 4 ve 40 µM Cd uygulayarak bitkinin ağır metalden etkilenme düzeyini ve bünyesinde biriktirme kapasitesini tespit etmek için bir su kültürü çalışması yürütmüşlerdir. Araştırma sonucunda kadmiyumun bitki biyokütlesini azalttığı,

bitkinin 4 µM Cd'a oranla 40 µM Cd'dan daha fazla etkilendiği ve en fazla kadmiyumu köklerin biriktirdiği, bunu gövde ve yaprağın izlediği saptanmıştır.

Stolt ve ark. (2003) yapmış oldukları çalışmada ekmeklik ve makarnalık buğday içerisinde, Cd'un yüksek konsantrasyonlarının bitki gelişimini olumsuz etkilediğini belirtmişlerdir. Bununla beraber çeşitler arasında ciddi bir farkın oluşmadığını, gövdeye göre kökte daha fazla kadmiyum biriktiğini ve ekmeklik buğdayın daha az kadmiyum biriktirdiğini bildirmişlerdir.

Milone ve ark. (2003) buğday çeşitlerinde yaptıkları bir çalışmada birçok stres faktörlerine dayanıklı Ofanto çeşidi ile daha hassas olan Adamello çeşidinin kadmiyuma verdikleri tepkiyi araştırmışlardır. Oftanto ve Adamello çeşitlerinin ikisinin de kök gelişiminin engellendiği, gerçekleştirilen kadmiyum uygulaması sonucu tespit edilmiştir. Aynı zamanda kök ve gövdenin yaş ve kuru ağırlıklarının azaldığı görülmüştür. Adamello çeşidi buğday, Cd'u köklerinde biriktirmiş; Ofanto çeşidi buğday ise yapraklarına taşımıştır. Ofantonun daha dayanıklı olmasının sebebi, bitki kökünün bitki ile Cd'un ilk temas eden bölge olması ve bitkinin kadmiyumu köklerde biriktirmeden üst aksamlara taşıması olarak açıklanmıştır. Köklerde biriktirmemesi sebebi ile Ofanto çeşidi buğdayın gelişirken Adamello buğday çeşidine kıyasla zarar görme oranının daha az olduğu tespit edilmiştir.

Çekiç (2004) domates bitkisinde yapmış olduğu çalışmada bazı fizyolojik parametreler ve antioksidant savunma sistemi üzerine tuz ve ağır metal stresinin etkilerini araştırmıştır. Domates bitkisine 0, 100 ve 200 mM NaCl ile 0, 100 ve 200 µM $CdCl_2$ uygulamaları ile kök ve gövde uzunluğunun, klorofil miktarının ve oransal su içeriğinin azalma gösterdiğini tespit etmiştir.

Benavides ve ark. (2005) kadmiyumun bitkiler için gerekli bir element olmaması, bitki bünyesi üzerinde olumsuz etkilerinin olması ve suda yüksek çözünür olması nedeniyle ciddi bir kirletici olduğunu ifade etmiştir. Buna ek olarak, kadmiyumun bitki bünyesinde taşınımı gerçekleşirken suyu ve Ca, Mg, K, P gibi bazı elementleri kullandığını belirtmiştir. Kadmiyumun bitkide K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Ni elementleri ile rekabet

halinde olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca kadmiyumun sırasıyla kök>gövde>yaprak>meyve>tohum aksamlarında biriktiğini belirlemiştir.

Syed ve ark. (2007) nohut bitkisi ile yapmış oldukları araştırmada, kum kültüründe kadmiyumun bitki gelişimine olan etkilerini araştırmak amacıyla nohut bitkisine 0, 50, 100, 150 μM konsantrasyonlarında Cd uygulaması yapmışlardır. Çalışma sonucunda ortamda Cd konsantrasyonunun artışı ile birlikte bitkinin kök uzunluğunun, kök ve gövdenin yaş ve kuru ağırlıklarının azalma gösterdiğini tespit etmişlerdir. Ortamda kadmiyumun var olmasıyla birlikte hücre duvarı bileşenlerinin çapraz şekilde bağlanmasıyla kök hücrelerinin genişlemesinin engellendiğini bu sebeple kök gelişiminin de engellenmiş olduğunu belirlemişlerdir.

Bitiktaş (2007) yapmış olduğu çalışmada farklı konsantrasyonlarda çinko ve kadmiyum uygulamasının ve sabit oranlardaki arıtma çamuru uygulamasının marul bitkisinin gelişimine ve bazı enzimlerin (süperoksit dismutaz, glutatyon-S-transferaz, glutatyon peroksidaz ve glutatyon redüktaz) aktivitesine olan etkisini araştırmıştır. Çalışmada % 10 arıtma çamurunu sabit oranda tutup, farklı konsantrasyonlarda çinko (250-500 ppm) ve kadmiyum (50-100 ppm) uygulaması yapmıştır. Araştırmada bulunan sonuçlara göre; sadece Zn uygulaması bitkinin gelişimini pozitif etkilerken, Cd uygulamasının negatif etkilediği saptanmıştır. Buna ek olarak; çinko ve kadmiyumun beraber uygulanmasıyla bitkide kadmiyum toksitesinde nispeten azalma sağlandığı belirlenmiştir. Düşük konsantrasyonlardaki kadmiyum uygulamaları bitkinin çimlenmesinde artış sağlarken, yüksek konsantrasyonlardaki kadmiyum çimlenmeyi azaltmış, bitkiye uygulanan kadmiyum konsantrasyonu arttıkça gövdenin bakır içeriğinde azalma, kökün bakır içeriğinde ise artış meydana getirdiği ifade edilmiştir.

Hashem ve ark. (2013) yapmış oldukları araştırmada turp, domates ve marul bitkilerinin kök ve gövdelerinde yüksek konsantrasyonda ağır metal (Cd, Pb, Ni, Co) depolayabildiğini saptamışlardır. Üzerinde çalışılan bitkilerin yaprak alanının ve bitki kuru maddesinin ciddi miktarda azaldığını bildirmişlerdir. Buna ek olarak, fotosentetik pigment içeriklerinin de azaldığını ve hücre zarlarının zarara uğradığını ifade etmişlerdir. Bitkilerin gelişimlerinin azalma nedeninin köklerin ağır metallerden zarar görerek besin

elementlerini bünyelerine alamamaları olduğunu belirlemişlerdir. Buna bağlı olarak ağır metallerin gövdeye kıyasla köklerde daha çok biriktiğini ifade etmişlerdir. Bunun sonucunda ağır metallerin bitki bünyesine kökler yoluyla alındığını fakat bunun az bir miktarının gövdeye taşındığını belirterek açıklamaya çalışmışlardır. Turp ve domatese kıyasla marul bitkisinin gövdesinin ağır metalleri daha fazla miktarda biriktirdiğini ifade etmişlerdir. Sebebinin ise marulun yalnızca geniş yaprak alanına sahip olması ve yüksek terlemeden değil, hızlı gelişim gösterme oranından kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Bakhshayesh ve ark. (2014) laboratuvar şartlarında su kültüründe ağır metallerle kontamine olmuş atık suların tarımsal alanda kullanımında ortaya çıkan sorunlar üzerine çalışma yürütmüşlerdir. Havuç, tarhun, fesleğen, sarımsak, brokoli, ıspanak, dereotu gibi sebzelere 0, 30, 60, 120 mg kg^{-1} dozlarında Cd uygulayarak kadmiyum ağır metalinin bitkinin farklı aksamlarına taşınmasını ve birikmesini sağlamışlardır. Çalışma sonucunda; bu bitkilerin kadmiyumu köke oranla gövdelerinde daha fazla depoladıklarını saptamışlardır. Çıkan sonucun yaprağı tüketilen bitkiler için dezavantaj, yumruları tüketilen bitkiler için ise avantaj olduğunu ifade etmişlerdir.

Zhang ve ark. (2014b) yapmış oldukları çalışmada Cd'un bitki gelişimini, fotosentezi, bitki besin elementlerini nasıl etkilediğini ve kadmiyumun dokulardaki birikim durumunu araştırmışlardır. Çalışma sonucunda kadmiyumun, bitkideki klorofil miktarını düşürerek fotosentez ve bitki biyokütlesinde azalmalara neden olduğunu ve ağır metallerin bitkide gövde su miktarını azaltıp artırabileceğini ifade etmişlerdir. Buna ek olarak; Cd'un bitkiye katyon (Ca, Mg) kanallarından ulaştığından veya çinko, bakır ve demir gibi bazı divalent katyonlarla taşındığından bahsedilerek bu elementlerle rekabet halinde olduğunu bildirmişlerdir. Kadmiyumun köklere alınımında ise Fe ve Mn'ın etki ettiğini ve aralarındaki antagonistik ilişkinden dolayı kökte Fe ve Mn içeriğinin azaldığını, Zn ve K'un kadmiyumun taşınmasında etkili olduğunu ifade etmişlerdir.

Zhang ve ark. (2014c) yapmış oldukları çalışmada Cd'un bitki gelişimini, fotosentezi, bitki besin elementlerini nasıl etkilediğini ve kadmiyumun dokulardaki birikim durumunu araştırmışlardır. Bitkide kadmiyum konsantrasyonu arttıkça kök ve gövde uzunluğunda, yaprak alanı ve yaprak uzunluğunda azalma olduğunu tespit etmişlerdir. Buna ek olarak,

yaprak şeklinin farklılaştığını, yaprakta bulunan su miktarının artış gösterdiğini belirtmişlerdir. Artan kadmiyum konsantrasyonuyla birlikte bitkideki Cd miktarının da artış gösterdiğini, Zn, Mg ve Ca elementlerinin köklerde arttığını, Fe ve K'un değişmediğini belirlemişlerdir. Buna ilave olarak Mn'ın azalma gösterdiği, Ca'un gövdede, Zn, Cu ve Mg'ın ise yapraklarda arttığı, Fe'in değişmediği, Mn ve Ca'un ise azaldığı sonucuna varmışlardır. Bu araştırmaya göre bitki yapraklarında Cd ile Zn, Mg, K pozitif, Mn ve Ca ile negatif ilişki olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca bitki köklerinde Zn, Mg, Ca ile Cd arasında pozitif bir ilişki olduğunu, gövde de ise Zn, Cu, Mg, Ca ile Cd arasında pozitif fakat Mn ile negatif bir ilişki olduğunu belirlemişlerdir.

Li ve ark. (2014) yapmış oldukları araştırmada, ortamda Cd artışı ile birlikte bitkideki Cd konsantrasyonunun artış gösterdiğini belirlemişlerdir. Kadmiyum konsantrasyonu arttıkça yaprak alanının küçüldüğünü, bitkinin içermiş olduğu su miktarında azalmalar meydana geldiğini belirtmişlerdir. Ortamda artan Cd ile birlikte Fe konsantrasyonunun artış gösterdiğini, bitkinin üst aksamlarına göre köklerde daha fazla Cd biriktirdiğini bildirmişlerdir. Kontrol bitkisinde kökler beyaz renkte iken kadmiyum uygulaması yapılmış bitkilerin köklerinin kahverengi ve siyah renkte oldukları tespit edilmiştir.

Ergün ve Öncel (2009) buğday bitkisinde yaptıkları çalışmada ağır metallerden Pb, Zn ve Cd'un buğdaydaki etkilerini ve bu üç ağır metalle beraber uygulanan ABA ve GA3 etkileşimlerinin kök ve sürgün büyümesini nasıl etkilediğini zamana bağlı olarak (5. ve 10. gün) incelemişlerdir. Pb, Zn ve Cd'un yüksek konsantrasyonlarının ve uygulanan ABA ve GA3'in buğdayda kök ve sürgün büyümesine engel olduğunu, sebebinin ise bitkiye uygulanmış olan hormonların bitki besin alımını veya hormon dengesini değiştirmesinden olabileceğini tespit etmişlerdir. Ağır metal dozları ve uygulama süresi arttıkça kök ve sürgün büyümesinin engellenmesi arasında doğrusal bir ilişki olduğunu, uygulanan parametreler içinde genel anlamda en toksik etkiye Cd'un sahip olduğunu, ardından Pb ve Zn ağır metallerinin izlediğini belirlemişlerdir. Bitki büyüme hormanlarının, yüksek konsantrasyonlu ağır metallerle uygulanmasının bitkide metallerin olumsuz etkilerini azaltmada bir etkisinin bulunmadığını ifade etmişlerdir.

Kovacik ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada salisilik asitin bitkide kadmiyum stresini nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Salisilik asitin (50 µM) bitkinin Cd içeriğinde azaltıcı etki yaptığını ayrıca kökteki süperoksit anyonlarını da azalttığını tespit etmişlerdir. Yapılan uygulamaların kökte K konsantrasyonunda azalma meydana getirdiğini, salisilik asit uygulamasının kökte Zn içeriğinde artış meydana getirdiğini bildirmişlerdir. Uygulanan kadmiyum ile birlikte bitki gövdesinde Na konsantrasyonunun, yapraklarda ise Cu konsantrasyonunun artış gösterdiğini belirlemişlerdir. Salisilik asit uygulamasıyla beraber Cd stresi altındaki bitkilerin Cd içeriğinin azaltılabileceğini ifade etmişlerdir.

Belkhadi ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada salisilik asitin Cd stresi üzerine etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda, Cd (50, 100 µM) uygulamasıyla kök ve gövde uzunluğunun azalmış olduğunu, salisilik asit uygulamasıyla beraber kök ve gövde yaş ağırlığının artmış olduğunu, bitkinin sahip olduğu su miktarının ise sabit kaldığını tespit etmişlerdir. Bitkide Cd uygulamasıyla, salisilik asit tarafından taşınımın engellenmesiyle Cd'un bitki bünyesinde azalma gösterdiğini bildirmişlerdir. Buna ek olarak, Cd uygulamasıyla birlikte bitkinin K, Ca, Mg ve Fe konsantrasyonlarında azalma olduğunu, salisilik asit uygulandıktan sonra ise K, Ca, Mg, ve Fe konsantrasyonlarının kökte artış gösterirken yaprakta azalma gösterdiğini bildirmişlerdir. Cd stresindeki bitkilerin salisilik asit uygulamasıyla Cd stresinin azaltılabileceğini tespit etmişlerdir.

2.7. Fitoremediasyon ve Yapılmış Çalışmalar

Kimyasal, fiziksel, biyolojik ve termal süreçleri içeren yöntemler kirli toprakların temizlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında; izolasyon ve immobilizasyon teknolojileri, mekanik ayırma teknolojileri, pirometalurjik teknolojiler, elektrokinetik teknolojiler, toprağı su/sıvı ile yerinde temizleme teknolojileri, toprak yıkama (kimyasal sızma) teknolojileri, biyokimyasal teknolojiler ile fitoremediasyon teknolojilerinin yer aldığı bildirilmektedir. Biyolojik temizleme yöntemleri arasında yer alan fitoremediasyonun, diğer yöntemlere oranla en ucuz ve ekolojik yönden en uygun yaklaşım olduğu ifade edilmiştir. Farklı kimi bitkilerin kullanılarak toprağın temizlenmesi işlemi fitoremediasyon olarak tanımlanmaktadır. Bu yöntemin, özel donanım gerektirmemesi, ekonomik ve ekolojik olması ve uygulanan bölgenin yeniden

kullanılabilmesine olanak sağlaması günümüzde tercih edilmesinde önemli rol oynamaktadır (Özay ve Mammadov 2013, Vanlı ve Yazgan 2008).

Fitoremediasyon teknolojisinde biyolojik materyallerden biri olan bitki kullanılarak kirlenmiş alanlardaki organik ve inorganik maddeler temizlenebildiği bildirilmiş, yerinde arıtıma ve ekstra enerjiye gereksinim olmamasının ve kamuoyu tarafından yüksek kabul görmesinin ve doğal kaynaklara zarar vermeden çevreyi tezmilemesinin ise avantajları arasında yer aldığı ifade edilmektedir (Hamutoğlu ve ark. 2012).

Hiperakümülatörler, çok yüksek konsantrasyonlarda ağır metal içeren topraklarda yaşayan ve ağır metalleri köklerinden diğer dokularda biriktirebilen bitkilerdir. Söz konusu miktar, bu tür ağır metalleri içeren topraklarda yaşamaya adapte olmamış birçok benzer tür için zehirlidir. Bitki kökleri, birikim yapmayan türlere göre topraktan ağır metalleri çok yüksek oranda absorbe etme, gövdeye daha hızlı aktarma, gövde ve yapraklarda büyük miktarlarda depolama özelliğine sahiptir (Rascio ve Navari-Izzo 2011).

Bitki türlerinin ağır metalleri biriktirmesinde ve taşınmasında değişen kapasiteleri; kimi bitki türlerinin spesifik ağır metalleri depolayabileceğini göstermiş, bununla ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Wenzel ve ark. (1999)'nın yapmış olduğu araştırmada, topraktaki ağır metallerin temizlenmesinde bitkilerin etkili olduğu vurgulanmıştır.

Metallerin topraktan uzaklaştırılmasında bitkilerin kullanılmasının amacı, toprakta tutulan metalleri daha kontrol edilebilir ve taşınabilir bir forma dönüştürmektir. Bu sayede metal kirliliğini düşük maliyetli ve basit fitoremediasyon yöntemleri ile ortadan kaldırmak için biyolojik materyaller (bakteri, mantar, liken ve bitkiler) kullanılmaktadır (Hamutoğlu ve ark. 2012).

Bitkiler, kökleri aracılığıyla ağır metalleri veya izotoplarını emer ve onları kolayca uzaklaştırılabilecekleri gövde ve yaprak gibi organlara taşınmasını sağlarlar.

Araştırmacılar ağır metalerle kirlenmiş toprakları bitki materyali kullanarak ıslah etmenin; bu toksik atıkları kazarak ve taşıyarak ortamdan uzaklaştırmaktan 10 kat daha ucuz olduğunu ifade etmektedirler. Bu amaçla yetiştirilen bitkiler hasat edildikten sonra kuruyan yeşil aksamları yakılarak metaller geri dönüştürülebilir. Buna ek olarak ağır metaller bitki bünyesine alındıktan sonra satışı yapılarak da maliyetin düşürülebileceği belirtilmiştir. Bu bitkilerin yakılmasıyla ortaya çıkan kül maden gibidir. Chaney (1995) bu süreci "Green Remediation" olarak isimlendirmektedir. Halbuki topraktaki bu ağır metallere müdahale edilmezse yüzyıllarca toprakta kalabilirler (Özbek ve ark. 1995).

Fitoteknoloji sayesinde bitki materyalinin çeşitli şekilde kullanılmasıyla bozulmuş olan doğal denge eski haline gelebilmektedir. Bu teknoloji, entegre ekosistem yönetimi, engelleme, kontrol, iyileştirme ve değerlendirme gibi proseslerin takibi ile yönetilmektedir (Zalewski ve Lotkowska 2004).

Hiperakümülatör olarak adlandırılan bazı bitkilerin diğer bitkilere göre bazı elementleri fazla miktarda bünyelerinde biriktirirler (Brooks ve ark., 1977). Bu birikimin topraktaki metal miktarından, Clemens (2006)'e göre 50-500, Brooks (1998)'a göre ise 100-1000 kat daha fazla olduğu ifade edilmektedir. Topraktaki kirleticileri uzaklaştırmak amacıyla kullanılan doğadan gelmeyen yöntemler bozulmaya sebep olmakta ve doğaya uygun olmayan bütün yaklaşımlar doğanın kazanımında yeterli olmamaktadır (Yurdakul 2015).

Yaprakların kuru ağırlıkları baz alınarak topraktaki metal konsantrasyonlarından bağımsız olarak %1 Zn ve Mn veya %0,1'den fazla Ni, Co, Cu, Cr içeren bitkiler hiperakümülatör olarak isimlendirilmiştir (Raskin ve ark. 1994, Kocaer ve Başkaya 2003).

Yeryüzünde hiperakümülatör olarak isimlerdirilen, yeşil kısımlarında normal bitkiden daha fazla metal biriktiren bitkiler bulunmaktadır. Bu tür bitkilerin akümülasyon kapasiteleri ağır metale göre değişiklik gösterebillir. Genelde kuru madde esasına göre vejatatif kısımlarında 10.000 ppm Zn ve Mn, 1000 ppm Co, Cu, Ni, As ve Se, 100 ppm Cd biriktirebilmektedirler (Rungruang ve ark. 2011).

Fitoremediasyonda kullanılacak olan en ideal bitkinin seçiminde, toprakta bulunan yüksek ağır metal konsantrasyonlarında dahi rahatlıkla yetişebilen, daha sağlıklı ve zengin bir kök sistemi olan, hasat edilebilen aksamlarında yüksek miktarda metal biriktirebilen, hızlı gelişim kabiliyeti gösteren ve çok miktarda biyokütle üretebilme yeteneğinde olan bir bitki olması gerektiği yapılan çalışmalar neticesinde belirlenmiştir (Reeves ve Baker 2000). Fitoremediasyon tekniği, çevrenin kirleticilerden arıtılması için bitkilerin kullanılmasını kapsayan, bitkilerin kirleticileri özütlemesi veya detoksifiye etmesi amacıyla kullanılan oldukça etkili bir yöntemdir.

Bitkilerin kirli bir çevreyi arındırmak için kullanılması yeni bir kavram değildir. Yaklaşık olarak 300 yıl önce atık su arıtımı için bitkilerin kullanılmış olduğu konusunda araştırmalar bulunmaktadır. 19. yüzyıl sonlarında *Thlaspi caerulescens* L. ve *Viola calaminaria* L. türlerinin yapraklarında yüksek miktarlarda metal biriktirebilen ilk bitki türlerinden olduğu ifade edilmiştir (Baumann, 1885, Özbek 2015).

Astragalus familyasına ait bitkilerin sürgünlerinde %0,6' ya kadar Se biriktirebilme potansiyelinde olduğu rapor edilmiştir (Byers 1935).

Bundan 10 yıl sonra ise Minguzzi ve Vargnano (1948) sürgünlerinde %1 Ni biriktirebilecek bitkileri saptamışlardır (Özbek 2015).

Bradshaw (1952) metal yataklarında sıklıkla yetişen *Festuca rubra* L.ve *Agrostis capillaris* L. gibi bitkilerin metal dirençlerini ortaya koyan ilk araştırmacı olduğu ifade edilmiştir (Özbek 2015).

Chaney (1983) tarafından ağır metallerce kontamine olmuş ortamlarda bitkilerin kullanılarak metallerin temizlenmesi fikri ortaya çıkmış ve geliştirilmiştir.

Hansruedi (1997) tarafından; *Zea mays*, *Brassica juncea*, *Raphanus sativus* ve *Brassica napa* bitkileri ile tarlada, *Alyssum murale* ve *Thlaspi caerulescens* ile plastik kaplara taşınan toprakta, *Salix viminalis* ile plastik kaplarda, *Nicotiana tabacum* ve *Miscanthus*

sinensis ile turba ve kum karışımı ile taşınan toprakta yapılan çalışmada, en iyi Cd ve Ni toplayıcı olarak *Alyssum murale* bitkisinin olduğu tespit edilmiştir.

Bennicelli ve ark. (2004) *Azolla caroliniana* türünü kullanarak kentsel atık suyundaki civa, krom (III) ve krom (VI) gibi ağır metallerin arıtım kabiliyetini gözlemlemişlerdir. Çalışma sonucunda bu bitki türünün yüksek bir emilim kabiliyetine sahip olduğu, özellikle de krom (III) ağır metalinin arıtımında yüksek performans gösterdiği görülmüştür.

Arora ve ark. (2004, 2006) 3 farklı *Azolla* cinsinin kadmiyum, nikel ve kroma karşı emilim potansiyellerini araştırmıştır. Sonuç olarak sırasıyla kadmiyum için: *A. microphylla* > *A.filiculoides* > *A. pinnata*; nikel için: *A. pinnata* > *A. microphylla* > *A. filiculoides* ve krom için: *A. pinnata* > *A. filiculoides* > *A. microphylla* türlerinin emilim potansiyelleri belirlenmiştir. Aynı cinslerin farklı türlerinde emilim potansiyellerinde farklılıklar gösterdiği gözlemlenmiştir.

Vesely ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada ağır metallerden olan kadmiyum ve kurşunun emilimlerini 4 ayrı makrofitte (*Pistia stratiotes, Salvinia auriculata, Salvinia minima* ve *Azolla filiculoides*) araştırmışlardır. Ayrıca 14 gün boyunca bitkilerin klorofil içeriğini ve terleme hızını gözlemleyerek kadmiyum (9.5 ve 10.5 ppm) ve kurşunun (25 ve 125 ppm) bitkilerdeki stres belirtilerini incelenmişlerdir. Çalışma sonucunda bu bitkilerin, bu iki element için de yüksek bir absorpsiyon oranına sahip olduğunu saptamışlardır. Ayrıca kurşuna maruz kalan bitkilerde terleme hızında azalma gözlenirken, kadmiyuma maruz kalan bitkilerde ilk 48 saatte terleme hızında önemli bir artış gözlendiğini ifade etmişlerdir.

Chandra ve Yadav (2011), *Phragmites cummunis, Typha angustifolia* ve *Cyperus esculentus* bitkilerini Cd, Cr, Cu, Mn, Fe, Ni, Pb ve Zn ağır metal karışımlarına maruz bırakarak bitki dokularındaki birikim miktarını incelemişlerdir. Sonuç olarak her 3 bitkide en çok Fe ve en az ise Cd'un birikimi görülmüştür. Ayrıca bitkilerin fitoremediasyon kapasiteleri sırasıyla *P. cummunis* > *T. Angustifolia* > *C. Esculentus* şeklinde bulunmuştur.

Lissy ve Madhu (2011) yapmış oldukları 20 günlük çalışmada, *Eichhornia crassipes* bitkisini 1 mg kg^{-1} Cr ve 5 mg kg^{-1} Cu içeren sularla muammele ederek bu bitkinin remediasyon potansiyelini incelemişlerdir. Araştırma sonuçlarından elde edilen verilere göre, bitki krom ve bakır elementlerinin çoğunu saflaştırmıştır.

Singh ve ark. (2012) kurşun elementinin fitoremediasyonu ile ilgili yaptığı derleme çalışmasında *Lemna* spp. bitkisinin diğer bitkilere göre pH ve soğukluğa karşı toleransından dolayı daha başarılı bir hiperakümülatör olduğunu göstermiştir.

Üçüncü ve ark. (2013) deneyin başlangıcından 48 saat sonra 144. saate kadar sudan her 24 saatte bir örnekler alarak analiz yapmış ve bakır, krom, kurşun karışımlarında *Lemna minor*'un biyoremediasyon profilini gözlemlemişlerdir. Sonuç olarak krom ve kurşun hızlı ve başarılı bir şekilde arıtılırken bakırda aynı seviyede yüksek arıtım görülmemiştir.

Das ve ark. (2013) *Pistia stratiotes* bitkisinin kadmiyum elementinin remediasyon potansiyelini 21 gün içerisinde 4 farklı konsantrasyonda (5, 10, 15 ve 20 ppm) araştırmışlardır. Ayrıca bu çalışmada kök ve yaprakta biriken kadmiyum konsantrasyonlarını ölçerek biyokonsantrasyon faktörünü ve translokasyon faktörünü hesaplamışlardır. Sonuç olarak bu bitkinin en yüksek dozaj dahil kadmiyuma karşı dirençli olduğunu göstermişlerdir.

El-Khatib ve ark. (2014) *Ceratophyllum demersum* ve *Myriophyllum spicatum* bitkilerinin kurşun ağır metaline karşı fitoremediasyon potansiyellerini incelemiştir. Bu bitkiler 1 hafta boyunca 25, 50 ve 75 mg kg^{-1} dozlarında kurşun ağır metaline maruz bırakılmıştır. En yüksek absorpsiyon, 1 gün süresince 75 mg kg^{-1} kurşuna maruz bırakılan *C. demersum* bitkisinde 164,26 mg g^{-1} olarak ifade edilmiştir.

Ağır metallerce kirlenmiş topraklarda yetişen yonca dokularının topraktaki ağır metalleri temizlediği ifade edilmiştir (Demir ve Düz 2008). Bu ağır metalleri alan bitkilerin, hayvan ve insan beslenmesinde temel besin maddesi olarak kullanılması durumunda insan sağlığı için ciddi bir riske sebep olacağı da bildirilmiştir (Farooq ve ark. 2008).

Ağır metallere dayanıklı bitkilerde, ağır metallerin bitki içindeki küçük peptidlere tutunup kofullar içinde depolandığı ve bu şekilde bitkiye zarar vermedikleri ifade edilmiştir (Işık 2004).

Ağır metallerin bitkide birikiminin ve organlarda dağılımının bitki ve element türüne, kimyasal ve biyolojik aktiviteye, oksidasyon-redüksiyon potansiyeline, pH değerine, katyon değişim kapasitesine, oksijenin çözülmesine, ısıya ve köklerin salgı yeteneğine bağlı olduğu belirtilmiştir (Sharma ve Dubey 2005).

Smith ve Bradshaw (1979), İngiltere'de metal kirliliğini belirlemek amacıyla metallere toleranslı yerel bitki türleriyle çalışmışlardır. Uzun dönemde gübreleme, metallere toleranslı bitkiler yetiştirirken Metal dayanımlı bitki yetiştiriciliğinde uzun dönemde gübrelemenin bitkide sağlıklı vejetatif aksam ve toprak stabilizasyonu sağladığını ifade etmişlerdir. Bu çalışma sonucunda, *Agrostis capillaris* cv. *Goginan*, ve *Festuca rubra* cv. *Merlin*'in Pb ve Zn kirliliğinin temizlenmesinde ve *Agrostis stolonifera* cv. Parys'in ise yoğun Cu kirliliğinin temizlenmesinde kullanımının uygun olduğu belirlenmiştir.

Lázaro ve ark. (2006) *Cistus ladanifer, Lavandula stoechas, Plantago subulata* ve *Thymus mastichina* bitkilerine Cr, Mn ve Zn uygulamış toprakta yeşil ıslah türü olan bitkisel özümleme (fitoekstraksiyon) yöntemini araştırmışlardır. Bu çalışma sonucunda bu bitki çeşitlerinden *P. Subulata*'nın tolerans kabiliyetinin düşük olduğu, diğer üç bitkinin ise sahip oldukları yüksek tolerans kabiliyetiyle gelişimini sürdürdüğü ve arıtım için yüksek performans gösterdikleri saptanmıştır. Buna ek olarak *Cistus ladanifer, Lavandula stoechas* ve *Thymus mastichina* bitkilerinin kendilerine has hoş koku ve yağları sayesinde maddi olarak fayda getirebilecek bir biokütleye sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Madejon ve ark. (2003) eski bir madende yapmış oldukları çalışmada ayçiçeği bitkisi yetiştirmişler ve toprağın iyileşme miktarını, ağır metalle kirlenmemiş yörelerdeki yetiştiricilik sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda; ayçiçeğinin bitkisel özümleme potansiyelinin düşük olduğunu fakat ayçiçeği bitkisinin ağır metallerle

kontamine olmuş yörelerde toprak koruma amacıyla kullanılabileceğini ifade etmişlerdir. Ayçiçek bitkisinin sağladığı bir diğer avantaj ise elde edilecek bitkisel yağın endüstriyel alanda kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Moijiri (2011) yapmış olduğu çalışmada ortama artan dozlarda Cd (2, 4, 8 ve 16 mg kg^{-1}) ve Pb (6, 12, 18 ve 24 mg kg^{-1}) uygulanarak mısır bitkisinin gelişimi üzerine etkilerini araştırmıştır. Araştırma sonucunda kadmiyumun bitkinin üst aksağımından daha fazla kök aksağımında bulunduğunu, kurşunun ise iki aksamda da arttığını gözlemlemiştir. Yüksek Cd dozunun etkisi mısır bitkisinde pozitif olarak görülmüş ve kadmiyum düşüşüne sebep olduğu belirlenmiştir.

Eski kurşun yatakları etrafındaki alanlardan alınan 10.02, 500, 1000, 2500 ve 5876 mg kg^{-1} Pb içerikli topraklarla kurşun kirliliği olmayan topraklarda ayçiçeği (*Helianthus annuus*), sorgum (*Sorghum bicolor*) ve çin kabağı (*Brassica chinensis*) yetiştirilmiştir. Çin kabağının daha fazla kurşunu bünyesine aldığı, bitki dokusunda kurşun artarken gelişimde zayıflama ve biyolojik kütlede de azalma meydana geldiği bildirilmiştir (Hamvumba ve ark. 2014).

Ortamdan kurşun ağır metal kirliliğini gidermek amacıyla yapılan çalışmada *Brassica juncea* L. Czern ve *Helianthus annuus* L. bitkilerini kullanmıştır. Bu bitkilerin kurşunu bertaraf etmede etkili olduğu, bitkinin kök ile almış olduğu kurşunu çökelmiş (kurşun fosfat) bir şekilde bünyesinde bulundurduğu, köklerde kurşun metalinin kuru maddede 131-563 kat arttığı ifade edilmiştir. Yüksek dozlardaki kurşunun bitki bünyesinde çökelmesinin, ortamın kurşundan arındırılmasında önemli yer tuttuğu ifade edilmektedir (Viatcheslav ve ark. 1995). Brassica türlerinde (*Brassica nigra, Brassica juncea, Brassica campestris, Brassica oleracea, Brassica carinata* ve *Brassica nopus*) Brassica olmayan türlere kıyasla fitoekstraksiyon oranının daha fazla olduğu, köklerde Pb miktarının kuru ağırlık olarak % 0.82-10.9 arasında bulunduğu saptanmıştır (Nanda Kumar ve ark. 1995).

Hiperakümülatör bitkiler hücre zarlarındaki taşıyıcı proteinler aracılığıyla ağır metalleri bünyelerine alırlar. Bu proteinler, bitkilerin ihtiyacı olan elementleri kökleri aracılığıyla almasını sağlayan ya da mineral iyonlarını kofullarda depolayan taşıyıcılara benzerler.

Bu bitkilerdeki taşıyıcı proteinler diğer bitkilere göre değişikliğe uğramış ve ağır metallerin taşınımını gerçekleştirmişlerdir. Değişikliğe uğramış olan bu taşıyıcı proteinler kullanarak *Thlaspi caerulescens* bitkisi, kuru ağırlığının %3'ü oranında Zn'yu, hiç bir toksik etki göstermeden bünyesinde biriktirebilir. Eğrelti türleri arasındaki *Pteris vittara*, toprakta olanın 100 katı oranında arseniği, kendi bünyesinde depolayabilir. Dokularında metal biriktiren bitkiler hasat edilerek metallerde geri kazanım sağlanabilir. Ayrıca bu tür bitkiler görevlerini tamamladıktan sonra toksik atıklar için tesis edilmiş depolama bölgelerinde yok edilebilir (Işık 2004).

Çinko ve kadmiyum fitoekstraksiyonu konusunda ilk arazi çalışması 1991 yılında gerçekleştirilmiştir (Baker ve Brooks 1989).

Bitkilerin kadmiyuma olan tepkisi bitkiden bitkiye farklılık göstermektedir. Gerard ve ark. (2000), yapmış oldukları çalışmada üç tane metalle kirlenmiş ve temiz toprakta İngiliz çimi (*Lolium perenne* L.), marul (*Lactuca*) ve çinko ve kadmiyum akümülatörü olarak *Thlaspi caerulescens* L. bitkilerini yetiştirmişlerdir. İngiliz çimi sürgünlerinde kadmiyum içeriği 0,1-2,3 ppm, marulda 0,4-8,3 ppm ve *T. caerulescens*'de 8,7-647 ppm aralıklarında bulunmuştur. *T. caerulescens* L. değişebilir kadmiyumun % 22'sini alırken, marul ve çim bitkisi değişebilir kadmiyumun % 1'inden daha azını almıştır (Gerard ve ark. 2000).

Reeves ve ark. (2001), eskide maden yatakları, maden eritme bölgeleri ve serpantin yatakları üzerinde yetişen herbaryum kayıtlarını inceleyerek, *Thlaspi* türleri hakkında çalışma yapmışlardır. Fransa'da farklı *T.caerulescens* L. populasyonları konusunda yapılan araştırmalarda bazı türlerin arasında ciddi farkların var olduğunu saptamışlardır. Buna ek olarak, yapraklı bitkilerde bu değerin % 0,1-0,4 kadmiyuma kadar ulaştığı ifade edilmiştir. Nikel alımının da serpantinli topraklarda genelde % 1'den yüksek çıktığı belirlenmiştir. Esas olarak, organik içeriğin düşük olmasına rağmen *T. caerulescens* L.'nin fitoremediasyon için uygun olduğu, bilhassa kadmiyum ağır metali için iyi bir temizleyici potansiyeline sahip olduğu ifade edilmiştir (Reeves ve ark. 2001).

Öztürk ve ark. (2003), çinko ve kadmiyumun bitki gelişimi üzerine etkilerini araştırdıkları çalışmada *Thlaspi caerulescens* L.ve *Thlaspi arvense* L. bitkilerini kullanmışlardır. Araştırmanın sonucunda, *T. Caerulescens'in* bu ağır metallere karşı dayanıklı olduğunu ve sürgünlerinde fazla miktarda Zn ve Cd elementini biriktirebildiğini rapor etmişlerdir.

Özbek ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada Toros dağlarında yetişen ve çinko madenlerine adapte olmuş türlerin kadmiyum konsantrasyonlarını araştırmışlardır. Yetiştiği bölgede çay olarak tüketilen *Micromeria myrtifolia* Boiss & Hohen (Lamiaceae) (boğumlu çay, dağ çayı) bitkisinin 4.7 ppm Cd içeriğine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Genelde bitkiler, yaklaşık olarak 100 ppm'lik Zn birikimi ile toksisite belirtileri gösterirken, en yaygın metal hiperakümülatörlerinden olan *Thlaspi caeruledcens*'ın 26000 ppm'den daha fazla birikim yapabildiği literatürde bulunmaktadır (Lasat 2000).

Chen ve ark. (2000) *Vetiver* (Kabe samanı) çimi ile yapmış oldukları araştırmada Cd, Cu, Pb ve Zn ile kirlenmiş toprakta vetiver çiminin iyi gelişim gösterdiğini belirlemiştir. Buna ek olarak, bitki gövdesinin Cd, Cu, Pb ve Zn içeriğinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Araştırma sonucunda, Cd, Pb ve Zn'nun topraktan temizlenmesinde vetiver çiminin etkili rol oynayabileceğini fakat hasat edilen kısımların nasıl arıtılabileceğiyle ilgili detaylı araştırmaların yapılması gerektiğini vurgulamıştır.

Gündüz (2005) yapmış olduğu araştırmada *Lepidium sativum* L. ssp. sativum (küçük tere) *Spinacia oleraceae* L. (ıspanak) *Raphanus sativus* L. var. niger (turp) ve *Lactuca sativa* var. sativa (marul) plastik kaplar içerisinde 12, 14 ve 17 numaralı Eski Bakır İşletmesi atık havuzlarından temin edilen sular ile sulama yapılarak yetiştirilmiş ve ağır metaller karşısındaki akümülasyon potansiyellerini incelemiştir. Çalışma sonucunda, tüm bitkiler gelişmiş oldukları topraktaki ağır metal içeriğinin göstergesi olmuşlardır. Bu araştırmada kullanılan 10 elementten Arsenik (As), Kadmiyum (Cd), Demir (Fe) ve Kurşun (Pb)'u bitkilerin metabolik ihtiyaçlarından daha fazla bünyelerine aldıkları belirlenmiştir. Üzerinde çalışılan bitkilerden marulun arsenik, ıspanağın arsenik ve kurşun, küçük terenin ise kurşun için hiperakümülatör oldukları tespit edilmiştir (Gündüz 2005).

Axtell ve ark. (2003) laboratuvar ortamında yetiştirilen *Lemna minor* bitkisini kullanarak kurşun ve nikel metallerini kaldırma kabiliyetini incelemişlerdir. Ayrıca *Microspora*'nın kurşunu kaldırma potansiyeli de araştırılmıştır. Sonuç olarak *L. minor* kurşunu ve nikeli sırayla % 76 ve % 82 oranında kaldırırken *Microspora* kurşunun % 97'sini kaldırmıştır.

Ülkemizin flora açısından dünyada önemli bir yere sahip olmasına ve 10 günde yeni bir bitki türünün keşfedilmesine rağmen bu zenginlikten yararlanamadığımızı ve genetik olarak yeterince incelemediğimizi ve testler yapmadığımızı söylemektedir. Uluslararası literatürler incelendiğinde, Türkiye'nin bitki popülasyonuna ait ve aynı familyadan olmayan hiperakümülatör tür içerisinde 38 adet farklı türün bulunduğu görülmektedir. Yazar, yapılan araştırmalarla hiperakümülatör türlerin diğer kültür bitkilerinin üretilemediği yerlerde yetiştirilebilme potansiyelinin olduğunu ve bunun çeşitli ekolojik bozulmaların iyileşmesine katkı sağlayacağını savunmaktadır (Özbek 2015).

Görgü (Malatya-Yeşilyurt) kurşun-çinko cevherleşme alanında yetişen, *Astragalus pycnocephalus Fischer* 15 (Keven) ve *Verbascum euphraticum* L. (Sığır kuyruğu) bitkilerinin alt ve üst aksamlarında bulunan Cd, Pb ve Zn konsantrasyonlarını belirlemeyi amaçlamıştır. Yukarıda adı geçen bu bitkilerden 30 örnek ve üzerinde yetiştiği topraktan da 30 örnek olacak şekilde 60 örnek elde edilmiştir. Analiz sonucu erişilen bilgiler istatiktiksel veriler olarak değerlendirildiğinde, *Astragalus pycnocephalus Fischer* ve *Verbascum euphraticum* bitkilerinin topraktaki element seviyesini belirtme özelliğine sahip bitkiler olabileceğini ayrıca kadmiyum ve kurşun metalleri ile kirlenmiş toprakların iyileştirilmesinde kullanılabileceğini rapor etmiştir (Kırat 2017).

Hoşgören, (2017) yapmış olduğu çalışmada, zararlı bir toprak kirleticisi olan kadmiyum ağır metalinin kanola yağ bitkisi (*Brassica napus* ssp. *oleifera*)'nın vejetatif aksamlarındaki total yağ miktarı oranları ve yağ asidi bileşenlerini incelemiştir. Kanola tohumları, 0,25-0,50-1,0 mM konsantrasyonlarındaki Cd çözeltisine maruz bırakılmıştır. Öğütülen bitki örnekleri 30 gün sonunda, kloroform-metanol karışımına bırakılarak, yağların ekstraksiyonu sağlanmıştır. Reflüx işlemi ve gaz kromatografisi uygulanan bitki ve bitki organlarının total yağ asidi miktarlarını belirlemek için HP 3365 Chem Station bilgisayar programı kullanılmıştır. Uygulanan işlemler sonucunda, Cd'dan en çok

etkilenen kısmın kök olduğu, gövdedeki birikimin ise kayda değer olmadığı ve yapraklardaki Cd birikiminin en az olduğu sonucuna varılmıştır.

2.8. Süs Bitkilerinin Fitoremediasyon Amaçlı Kullanımı ve Ağır Metallerin Zararlı Etkilerinin Giderilmesine Yönelik Yapılmış Çalışmalar

Günümüzde ağır metallerle kirlenmiş toprakların arıtılmasında (fitoremediasyon) hiperakümülatör bitkilerin kullanılması ve bu işleve sahip olan bitkilerin tespiti önemlidir. Bitkilerin ağır metal toksisitesine olan direnci çeşitli faktöre göre değiştiği bilinmektedir. Bunlar; bitki çeşidi, elementin türü, bitkinin strese maruz kalma süresi ve strese maruz kalan doku veya organın yapısına göre değişiklik gösterdiği ifade edilmektedir. Günümüze kadar çeşitli bitki türleri fitoremediasyonda kullanılmıştır fakat ağır metallerle kirletilmiş toprakların arıtılmasında süs bitkilerinin kullanılması konusunda yeterli rapor mevcut değildir. Doğanın ağır metal kirliliğinden arıtılmasında süs bitkilerinin fitoremediasyon amacıyla kullanılabilirliği önem arz etmektedir (Özay ve Mammadov 2013).

Bitkilerin ya da bitki türünlerinin kirlenmiş alanları eski haline getirmek veya stabilize etmek amacıyla kullanımı, kirliliğin bitki tarafından seçilerek alınması, ayrılması ve arındırılması yeşil ıslah (fitoremediasyon) olarak bilinmekdir. Bitkilerin organik veya inorganik maddeleri giderimi, akümüle etmesi, depolaması veya parçalaması gibi doğal kabiliyetleri avantaj olarak kullanılmaktadır (Meagher 2000, Mcintyre 2003).

Bazı bitkiler, toprağı ve suyu ağır metallerden temizlemek için önemli araçlardır. Günümüze kadar çeşitli bitkiler ağır metallerle kirletilmiş alanların arıtılmasında kullanılmıştır fakat hem çevreyi güzelleştirip hem de ağır metal kirliliğini giderebilme kabiliyetine sahip olan süs bitkilerinin remediasyonda kullanımı konusunda yeterli rapor mevcut değildir. Süs bitkileri başlıca 3 gruba ayrılmaktadır. Bunlar; dış mekân süs bitkileri, iç mekân süs bitkileri ve kesme çiçektir (Dilaver 2011, Özay ve Mammadov 2013). Dış mekân süs bitkileri genel olarak çevre düzenlemesinde yani parklarda, bahçelerde, yollarda, aktif ve pasif yeşil alanlarda kullanılmaktadır. Bu tür bitkiler; kullanıldıkları ortamı güzelleştirmenin yanında insan ve çevre sağlığı, sosyal, kültürel ve

turizm açısından da önemlidirler. Dış mekân süs bitkileri; büyük ağaçlar, çalılar, çiçekler, yer örtücü bitkiler, su bitkileri, saz ve bambu türleri, sarmaşıklar ve çim gibi farklılıklar göstermektedir (Hocagil ve Aydın 2012). Günümüze kadar çeşitli bitki türleri fitoremediasyonda kullanılmış olmasına rağmen süs bitkilerinin remediasyonda kullanımı hakkında çok az çalışma vardır (Özay ve Mammadov 2013).

Diğer metallerin birikimi ile karşılaştırıldığında, 100 ppm konsantrasyonunda Cd birikimi bu elementin ne kadar toksit oldunu gösterir. Bu sebeple kadmiyum ile kirlenmiş alanların arıtılmasında toprak ve iklim seçiciliği olmayan, hızlı gelişim gösteren, zengin yeşil aksama sahip olan, yüksek miktarda Cd'u yeşil aksamında biriktirebilen ve besin zincirine katılmayacak olan yani besin olarak tüketilmeyen hiperakümülatör bitkilerin tespitine ve araştırılmasına gerek duyulmaktadır (Dağhan 2016).

Tagetes patula (Kadife çiçeği) tek yıllık bitki çeşitlerinden biridir. Bu bitki estetik bir görünüşe sahip, toprak ve iklim seçiciliği düşük, farklı iklim ve toprak koşullarına uyum sağlamış ve yetiştirilmesi zahmetli olmayan bir çiçek türüdür (Liu ve ark. 2011; Priyanka ve ark. 2013). Bu bitki, Liu ve ark. (2011) ve Priyanka ve ark. (2013)'nın ifade ettiğine göre tarımsal üretim açısından yararlı bir bitki olarak kullanılmaktadır. Kök uru ve lezyon nematodlarının kontrolünde köklerinden salgılamış oldukları alfatertienil sayesinde etkili bir nematisittir. Tagetes patula, allelopatik etkisi sayesinde, yetiştirilen ürünleri nematodlara karşı koruyabilmek amacıyla yardımcı veya tamamlayıcı bitki olarak bitkisel üretimde kullanılır (Liu ve ark. 2011, Priyanka ve ark. 2013).

Thlaspi, *Alyssum*, *Urtica*, *Chenopodium* ve *Polygonum sachalase* gibi bazı bitki türleri Cd, Cu, Ni, Zn ve Pb biriktirme yeteneğine sahiptir. Bu nedenle bahsi geçen bitkileri yetiştirmek, ağır metallerle kirlenmiş alanların temizlenmesinde dolaylı bir yol olarak kabul görmektedir (Mulligan ve ark. 2001). Örneğin, çoğu bitki 100 ppm civarında Zn biriktirdiğinde toksik semptomlar göstersede, literatürlerden en yaygın metal hiperakümülatörü olarak bilinen *Thlaspi caeruledcen*'ın 26000 ppm'den fazla Zn biriktirdiği bilinmektedir (Lasat 2000).

Kentsel alanlarda kirliğin artış göstermesiyle, süs bitkilerinin sadece çevreyi güzelleştirmekle kalmayıp aynı zamanda kirli toprakların arıtılmasında kullanılması düşüncesi giderek önem kazanmaktadır. Bir çalışmada, süs bitkileri olan *Althaea rosea* (gül hatmi) ve *Calendula officinalis*'in (aynısefa çiçeği) kadmiyum biriktirebilme kabiliyeti ve kadmiyuma direnci araştırılmıştır. Araştırma sonucunda bu iki bitkinin fitoremediasyonda kullanılabilir oldukları ifade edilmiştir. Bilhassa *A. Rosea*'nın iyi bir Cd hiperakümülatörü olarak kabul edilebileceği bildirilmiştir. Ayrıca çalışmalar, sodyum dodesil sülfat (SDS) ve etilen gluataro triasetik asit **(**EGTA) uygulamasının köklerde ve yapraklarda Cd birikimini artırdığını göstermiştir (Liu ve ark. 2008a). Daha önceki çalışmalar göz önünde bulundurularak seçilen üç süs bitkisinin (*C. officinalis, A. rosea* ve *Impatiens balsamina* (kına çiçeği)), yalnız Cd ya da Cd-Pb uygulayarak büyüme tepkileri ve olası fitoremediasyon potansiyelleri araştırılmıştır. Çalışılan üç bitkinin de Cd ve Pb uygulamalarına karşı yüksek direnç gösterdikleri ve bu metalleri bünyelerinde biriktirebildikleri ifade edilmiştir. Daha sonraki çalışmalarda bu özellikler hidroponik ortamda denenmiş ve *A. Rosea*'nın etkili bir Cd hiperakümülatörü potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir. Bu bilgilere ek olarak, Cd-Pb'nin bahsi geçen bitkiler üzerinde etkilerinin karmaşık olduğu belirtilmiş. Bu etkinin yalnız olumlu, antagonistik veya sinerjistik değil, ağır metal karışımlarının hangi oranlarda yapıldığı, bitki türü ve bitkinin farklı aksamlarına bağlı olarak değişebildiği ifade edilmiştir (Liu ve ark. 2008b).

Topraktaki As (Arsenik) kirliliğinin temizlenmesinde kullanımı ile ilgili yürütülen çalışmada kontrollü koşullar altında yetiştirilen ve farklı konsantrasyonlarda As (NaAsO2) uygulanan Kadife çiçeği (*Tagetes patula)* ve Fil kulağı (*Syngonia* sp.) süs bitkilerinin (Imamul Huq ve ark. 2005), 15 günün sonunda kök ve gövdelerinde biriktirmiş oldukları arsenik nedeniyle kirlenmiş toprakların temizlenmesinde kullanılması açısından etkili bir materyal oldukları sonucuna varılmıştır (Özay ve Mammadov 2013).

Süs bitkilerinden olan *Alyssum maritima* (bal çiçeği), *Aptenia cordifolia* (buz çiçeği, öğle çiçeği), *Brassica juncea* (hardal) ve *Brassica oleracea* (lahana) ile yapılan çalışmada 2.6 ppm, 13 ppm, 26 ppm ve 52 ppm $K_2Cr_2O_7$ (potasyumdikromat) kullanılarak hazırlanan sentetik atık su ile bitkiler sulanmıştır. Topraktaki Cr (VI) iyonunu en yüksek miktarda

alabilen bitki çeşidinin belirlenmesi ve bu bitkiler aracılığıyla topraktan Cr (VI) iyonunun arıtılması hedeflenmiştir. Kök, gövde ve yaprak olarak hasat edilen bitkilerin bünyelerinde biriken Cr (VI) iyonu miktarları incelenmiştir. Torf ile hazırlanmış yetiştirme ortamlarına uygulanan en yüksek konsantrasyondaki Cr (VI) iyonunu bünyesine alabilen bitkiler sırasıyla; *Alyssum maritima* > *Brasssica juncea* > *Brassica oleracea* > *Aptenia cordifolia* olarak rapor edilmiştir (Başçı 2009).

Liao ve Chang (2004), Erh-Chung sucul alanında *Eichhornia crassipes* (Su Sümbülü) bitkisinin Cu, Zn, Cd ve Pb elementlerine karşı fitoremediasyon potansiyelini incelemişlerdir. Sonuç olarak *Eichhornia crassipes* bitkisinin bu 4 elemente karşı yüksek direnci sebebiyle, özellikle Pb ve Cu ile kirlenmiş alanlarda fitoremediasyon açısından uygun bir aday olduğu belirlenmiştir.

Nelumbo nucifera Hint nilüferi olarak bilinen bir bitkidir. Yapılan bir çalışmada *Nelumbo nucifera*'da Cr birikimi araştırılmış ve sonucunda farklı Cr içeriklerinde (50-200 μM) yetiştirilmiş bitki dokularında benzer birikim sonuçlarına ulaşılmıştır. Aynı zamanda en fazla birikimin köklerde bulunduğu ifade edilmiştir (Vajpayee ve ark. 1999).

Thamayanthi ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada artan dozlarda (0-20-40-60-80-100 mg kg^{-1}) kadmiyum uygulanan saksılarda yetiştirilen Marigold (*Tagetes erecta* L.) süs bitkisinin Cd alım yeteneği ve Cd'un bitkinin besin elementi (N, P, K, Fe, Mn, Cu, Zn) içeriğine olan etkileri incelenmiştir. 60 gün süren deneme sonucunda Cd konsantrasyonundaki artışla birlikte bitkilerin gelişimlerinin ve besin elementi içeriklerinin azaldığı tespit edilmiştir.

Dağhan (2016)'nın yaptığı çalışmada, (0-5-10-20-40 μM) ve $8CdSO_4.7H_2O$ şeklinde ve artan dozlarda uygulanmış kadmiyumun su kültüründe *Tagetes patula* L. (Kadife çiçeği) bitkisinin kadmiyum hiperakümülasyon potansiyeli araştırılmıştır. *Tagetes patula* L. bitkisinin Cd akümülasyonu, demir (Fe), bakır (Cu), çinko (Zn), mangan (Mn) ve indirgenmiş glutatyon konsantrasyonuna etkileri gözlenmiştir. Bitki materyalleri kontrollü koşullar altında üç tekerrürlü olarak 15 gün boyunca Hoagland besin solüsyonunda yetiştirilmiştir. Deneme sonunda, kadmiyum uygulamalarındaki artışla

birlikte bitkilerin yeşil aksam ve kök kuru ağırlıklarında azalma olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte bitkinin kadmiyum içeriklerinde artış olduğu bildirilmiştr. Bu bitkinin yeşil aksamlarında hiperakümülasyon konsantrasyonunun (100 ppm Cd) sekiz katı kadmiyum birikimi olduğu ifade edilmiştir. Elde edilen sonuç kadife çiçeği bitkisinin kadmiyum metaliyle kirlenmiş toprakların temizlenmesinde kullanılabilecek potansiyele sahip olduğunu göstermiştir (Dağhan 2016).

Yapılan çalışma sonucunda; Cd elementi uygulamasındaki doz artışı ile beraber yeşil aksam ve kök büyümesinin azaldığı ifade edilmiştir. Alt yapraklarda başlayan hafif sararmanın ise kadmiyum ile paralel şekilde artış gösterdiği belirlenmiş, bununla beraber hafif kurumaların olduğu tespit edilmiştir (Dağhan 2016).

Farklı süs bitkileriyle Krizantem, Gladiolus ve Tagetes (Lal ve ark. 2008), *Tagetes patula* L. (Liu ve ark. 2011); *Tagetes erecta* L. (Thamayanth ve ark. 2013, Mansour ve ark. 2015) yapılan birçok araştırmada da Cd stresi sonucunda bitki kuru maddesinde azalmalar görüldüğü bildirilmiştir (Dağhan 2016).

Dağhan (2016) tarafından yapılan çalışmada kadmiyum uygulamalarındaki artış ile birlikte bitkilerin kuru ağırlıklarında azalma ifade edilmiştir. Bunun aksine Cd uygulamalarındaki artışla bitkilerin kök ve yeşil kısımlarının kadmiyum içeriklerinde istatistiksel olarak ciddi bir artış saptanmıştır ($p<0,01$). En yüksek kadmiyum konsantrasyonu, kök kısmında 22942 mg kg^{-1} ve yeşil kısımda ise 3633 mg kg^{-1} ile 40 µM Cd uygulama dozundan elde edildiği bildirilmiştir.

Liu ve ark. (2011) benzer bir çalışmada 14 gün boyunca 10-25-50 µM $CdCl_2$ uygulamışlardır. *Tagetes patula* bitkisinde en fazla Cd konsantrasyonunu kökte 3500 mg kg^{-1} ve yeşil aksamda ise 450 mg kg^{-1} bulmuşlardır. Bu çalışmadaysa, $CdSO_4$ formunda en yüksek Cd (40 µM) dozunda (Dağhan 2016), (Liu ve ark. 2011)'nın çalışmasından daha fazla Cd akümülasyonu sağlanmıştır. Lin ve ark. (2010), Rungruang ve ark. (2011) tarafından yapılan çalışmalarda da bitkilerin kadmiyum içeriğinin ve akümülasyonunun, kadmiyum dozlarındaki artış ile birlikte arttığı sonucuna varılmıştır.

Kabata-Pendias (2010), bitki dokularındaki normal Cd değerinin 0,05-0,2 mg kg^{-1}, toksik Cd değerinin ise 5-30 mg kg^{-1} olduğunu bildirmiştir. Kadmiyum hiperakümülatörü bitkilerin bünyelerinde 100 mg kg^{-1} Cd biriktirdiği ifade edilmiştir (Rungruang ve ark. 2011).

En düşük Cd (5 µM) uygulamasında *Tagetes patula* L. bitkisi köklerinde 1436 mg kg^{-1} (14 kat) ve yeşil aksamında 854 mg kg^{-1} (8 kat) Cd biriktirdiği ve hiperakümülator bitkilerin Cd akümülasyon değerinden fazla olduğu bildirilmiştir (Dağhan 2016).

Fitoremediasyon yönteminde kullanılacak bitki yeşil aksamında yüksek ağır metal biriktirebilme gerekliliği ve Tagetes bitkisinin hiperakümülator bitkilerden 8 ile 36 kat daha fazla Cd biriktirebilme özelliği nedeniyle, Cd ile kirlenmiş toprakların temizlenmesinde kullanılabileceği ifade edilmiştir (Dağhan 2016).

Benzer şekilde *Tagetes patula* bitkisinin yeşil aksamında 4501 mg kg^{-1} Cd biriktirdiği ve bu değerin standart Cd akümülasyon değerinden (100 mg Cd kg^{-1}) daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Liu ve ark. 2011).

Dağhan (2016) tarafından yapılan çalışma sonucunda, artan konsantrasyonlardaki Cd uygulamalarının bitkinin kök ve yeşil kısmında Fe, Cu, Mn ve Zn içeriklerine olan etkilerinin kök Zn konsantrasyonu haricinde istatistiksel olarak önemli bulunduğu ifade edilmiştir ($p<0,01$). Cd uygulamaları sonucunda kontrol bitkisine kıyasla yeşil aksamın Fe, Cu, Mn ve Zn içeriklerinde azalmalar meydana geldiği, köklerde en yüksek Cu (243 mg kg^{-1}) ve Fe (13605 mg kg^{-1}) konsantrasyonunun 40 µM Cd dozundan, en yüksek Mn konsantrasyonun (198 mg kg^{-1}) ise kontrol bitkisinden sağlandığı ifade edilmiştir.

Dağhan (2016) yapmış olduğu çalışmada, *Tagetes patula* bitkisinin yeşil aksamında normal Cd akümülasyon değeri olan 100 mg kg^{-1} Cd konsantrasyonundan 36 kat daha fazla (3633 mg kg^{-1} Cd) Cd biriktirebildiğini, tek yıllık bir süs bitkisi olması sebebiyle Cd'un gıda zincirine katılarak zehirli etki göstermesinin önlenebileceğini ifade etmiştir (Dağhan 2016).

Tagetes bitkisi (*Tagetes patula* L.), yeşil aksamda yüksek oranda kadmiyum biriktirebilen akümülatör bir bitki olması, iklim ve toprak seçiciliğinin olmaması, köklerinden nemotodlara karşı bitkileri koruyan nematisit salgılama özellikleri nedeniyle hem tarımsal üretim için hem de kirlenmiş toprakların temizlenmesinde kullanım potansiyelinin yüksek olduğu bildirilmiştir (Dağhan 2016).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Denemenin Kurulması ve Yürütülmesi

Çalışma 2019 yılında Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde yer alan Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü araştırma serasında yürütülmüştür.

Aslanağzı çiçeği (*Antirrhinum majus*), Ateş çiçeği (*Salvia splendes*) ve Kadife Çiçeği (*Tagates patula*) süs bitkisi tohumları perlit ortamında çimlendirilmiştir. Fide çıkışlarından sonra perlit ortamına 1/3 doz besin çözeltisi uygulanmıştır. Ön kültürden sonra bitkiler, hacmi 2L olan poşet geçirilmiş, 150 g perlit dolu saksılara yerleştirilmiştir.

Denemede ağır metallerden Kadmiyum (Cd), Krom (Cr) ve Kurşun (Pb) 0, 25, 50, 100, 150 µM dozlarında perlit ortamına sulama suyu ile ilave edilerek verilmiştir. Yapılan çalışma 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Denemede kullanılan besin çözeltilerine ait kimi bilgiler Çizelge 3.1.'de sunulmuştur.

Süs bitkileri 31. günde hasat edilmiş, yaprak ve kökleri polietilen torbalara konularak laboratuvara taşınmıştır.

3.2. Bitki Örneklerinde Yapılan Analizler

Yaprak ve kök örnekleri; çeşme suyu ve saf suda yıkandıktan sonra 70 °C'lik havalı kurutma fırınında (Nuve KD 400, Türkiye) sabit ağırlık elde edilinceye kadar ve yaklaşık olarak 72 saat süre ile kurutulmuştur. Kurumuş olan yaprak ve kök örnekleri öğütme değirmeninde yaklaşık 0,5 mm boyutunda öğütülerek homojen bir karışım elde edilmiştir. Yaprak ve kök örneklerinde yapılan analizler ve analizlerin yapılma yöntemleri alt başlıklarda sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Denemede kullanılan besin elementleri konsatrasyonları ve kullanılan kaynakları

Besin elementleri	Çözeltideki konsantrasyonları (mM)	Element kaynakalrı
N	4	$Ca(NO_3)_2$, HNO_3
P	1	K_2HPO_4
K	2	K_2HPO_4
Ca	1,5	$Ca(NO_3)_2$,
Mg	1	$MgSO_4$ $7H_2O$,
S	1	$MgSO_4$ $7H_2O$
	(µM)	
Fe	120	FeEDTA % 6
B	10	H_3BO_3
Zn	4	$ZnSO_4$ $7H_2O$
Mn	5	$MnSO_4$ $4H_2O$
Cu	1	$CuSO_4$ $5H_2O$
Na	0,1	NaCl
Cl	0,1	NaCl
Mo	0,05	$(NH_4)_6Mo_7O_{24}$ $4H_2O$
Cr	25-50-100-150	$K_2Cr_2O_7$
Cd	25-50-100-150	$3CdSO_4$ $8H_2O$
Pb	25-50-100-150	$Pb(NO_3)_2$

3.2.1. Yaprak ve kök örneklerinin yaş yakılması

Yaprak ve kök analizi aşamasında öğütülmüş yaprak ve kök örneklerinden 200 mg tartılarak özel teflon yakma kaplarına konulmuştur. Bitki örnekleri üzerine 3 ml HNO_3 ve 3 ml H_2O_2 karışımı ilave edilerek 20-30 dakika boyunca ön yakmaya bırakılmıştır. Daha sonrasında teflon kaplar kapatılarak mikrodalga yaş yakma fırınında (Berghof MWS 2) üç aşamalı yaş yakma programı uygulanmıştır. Programın ilk aşaması sıcaklığın 0-100 °C'ye çıkartılarak örneklerin 10 dakika boyunca % 75 güç uygulanarak yakılması, ikinci aşaması sıcaklığın 100-180 °C'ye çıkartılarak örneklerin 10 dakika boyunca % 75 güç uygulanarak yakılması ve üçüncü aşaması ise örneklerin 5 dakika boyunca % 0 güçle 180 °C'den oda sıcaklığına doğru soğuma aşaması şeklinde gerçekleştirilmiştir (Çelik ve ark. 2017). Yakma aşaması bittikten sonra örnekler çeker ocak içerisinde tam soğumaya bırakılmıştır. Yakılan örnekler 50 ml'lik balonjoje'lere yıkanmış, üzerleri % 0,3'lük nitrik asit içeren ultra saf su ile tamamlanmıştır. Daha sonra örnekler mavi bant filtre kağıdı kullanılarak örnek saklama şişelerine süzülmüş, elde edilen süzüklerde sodyum (Na),

potasyum (K) ve kalsiyum (Ca) okumaları alev fotometresinde (Horneck and Hanson 1998), demir (Fe), bakır (Cu), çinko (Zn), mangan (Mn), bor (B), magnezyum (Mg), cadmiyum (Cd), kurşun (Pb) ve krom (Cr) ise ICP-OES cihazında belirlenmiştir (Hansen ve ark. 2013).

3.2.2. Toplam azot içeriği

Bitki örneklerinin toplam azot içeriği modifiye edilmiş Kjeldahl yöntemine göre Buchi K-437 yakma blokunda yakılan örneklerin Buchi K-350 model buharlı damıtma cihazında damıtılması ve önlüğün 0,1 N sülfürik asit ile geri titrasyonu sonucu elde edilen sarfiyatın formülde hesaplanması ile belirlenmiştir (Bremner 1965).

3.2.3. Toplam fosfor içeriği

Yaş yakılan örneklerden elde edilen süzüklerde fosfor (P), vanadomolibdofosforik sarı renk yöntemine göre Shimadzu UV 1208 spektrofotometresinde saptanmıştır (Lott ve ark. 1956).

3.2.4. Toplam potasyum, kalsiyum ve magnezyum içeriği

Yaş yakılan bitki örneklerinden elde edilen çözeltide potasyum (K) ve kalsiyum (Ca) Ependorf Elex 6361 Flame fotometresinde (Horneck ve Hanson 1998), magnezyum (Mg) ise Perkin Elmer Optima 2100 model ICP–OES ile belirlenmiştir (Hanlon 1998).

3.2.5. Toplam demir, bakır, çinko, mangan, kadmiyum, kurşun ve krom içeriği

Yaş yakılan bitki örneklerinden elde edilen çözeltide toplam demir (Fe), bakır (Cu), çinko (Zn), mangan (Mn), kadmiyum (Cd), kurşun (Pb) ve krom (Cr) içerikleri Perkin Elmer Optima 2100 model ICP–OES ile belirlenmiştir (Hanlon 1998).

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Aslanağzı Çiçeği (*Antirrhinum majus*), Ateş Çiçeği (*Salvia splendens*) ve Kadife Çiçeği'nin (*Tagetes patula*) ağır metal biriktirebilme kapasitelerini belirleyerek, fitoremediasyon yöntemi ile toprakların ağır metal kirliğinin temizlenmesinde kullanılabilme potansiyellerini ortaya koyabilmek amacıyla bu çalışma yürütülmüştür. Yetiştirme ortamına, artan dozlarda uygulanan kadmiyum, krom ve kurşun ağır metallerinin etkisinin incelendiği deneme sonucunda; bitkilerin yaprak ve köklerinde bulunan element içerikleri ile kaldırılan element miktarları değerlendirilmiştir. Bitkilerin kaldırdığı besin elementi miktarları; bitkilerin kuru ağırlık değerleri ile besin elementi içerikleri ele alınarak hesaplanmıştır.

4.1. Kadmiyum Uygulamalarının Aslanağzı (*Antirrhinum majus*) Bitkisinin Besin Elementi İçeriğine ve Kaldırılan Besin Elementi Miktarına Etkisi

4.1.1. Aslanağzı (*Antirrhinum majus*) bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kadmiyumun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.1'de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi üzerine etkisi

		Kadmiyum Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cd0	Cd1	Cd2	Cd3	Cd4	**Ortalama**
kuru ağırlık verimi (g)	Yaprak	9,27	10,08	9,74	8,67	8,94	9,34 a
	Kök	1,05	1,10	1,31	1,25	1,06	1,16 b
	Ortalama	**5,17**	**5,59**	**5,53**	**4,96**	**5,00**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,87	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Artan dozlarda uygulanan kadmiyum aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlığında kontrole oranla azalma meydana getirmiş, ancak istatistiksel olarak önemli

bulunmamıştır. En yüksek kuru madde verimi (5,59 g) Cd1 uygulamasından elde edilirken, en düşük değer (4,96 g) ise Cd3 uygulamasında belirlenmiştir.

Aslanağzı bitkisinin yaprak kuru ağırlık ortalaması (9,34 g), kök kuru ağırlık ortalamasına (1,16 g) oranla daha yüksek bulunmuştur ($p<0,01$).

Yaprakların kuru madde veriminde kontrole göre Cd1 ve Cd2 uygulamalarında artış sağlanırken Cd dozunun artması ile kuru madde veriminde düşüş gözlenmiş, en yüksek kuru madde verimi (10,08 g) Cd1 uygulamasında, en düşük verim (8,67 g) ise Cd3 dozunda belirlenmiştir. En yüksek kök kuru ağırlığı (1,31 g) Cd2 uygulamasından elde edilirken, En düşük kök kuru ağırlığı (1,05 g) ise Cd0 kontrol uygulamasından sağlanmış, ancak istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Düşük Cd dozlarının bitkinin gelişimini teşvik edici etki yaptığı gözlenmiştir. Ancak, bitki gelişimi için mutlak gerekli element olsun veya olmasın ağır metallerin doku ve organlardaki aşırı birikiminin bitkilerin vejetatif ve generatif organlarının gelişimini olumsuz yönde etkileyeceği, bitkilerdeki belirtilerin metalden metale değişebildiği gibi bitki türleri arasında da farklılık gösterebileceği ifade edilmiştir (Barman ve ark. 2000; Gür ve ark. 2004; Sarıyer 2017).

Bitkilerin elementleri seçici özelliklerle aldıkları, ağır metallerin bitkilerdeki birikiminin ve organlardaki dağılımının bitkinin ve elementin türüne, kimyasal ve biyolojik aktiviteye, indirgenme-yükseltgenme potansiyeline, pH değerine, katyon değişim kapasitesine, oksijen çözülmesine, ısıya ve köklerin salgı yeteneğine bağlı olduğu bildirilmiştir (Sharma ve Dubey 2005, Koca 2012, Gümüş ve ark. 2019).

Yapılan önceki çalışmalarda da Cd dozunun artışı ile bitki biyokütlesinde azalma meydana geldiği bildirilmiştir (Vivek ve ark. 2001; Stolt ve ark. 2003; Milone ve ark. 2003; Çekiç 2004; Benavides ve ark. 2005; Syed ve ark. 2007; Bitiktaş 2007; Hashem ve ark. 2013; Zhang ve ark. 2014b). Kadmiyum stresi sonucunda bitki biyokütlesinde azalmalar farklı süs bitkileri ile Krizantem, Gladiolus ve Tagetes (Lal ve ark. 2008); *Tagetes patula* L. (Liu ve ark. 2011); *Tagetes erecta* L. (Thamayanth ve ark. 2013,

Mansour ve ark. 2015) yapılan birçok araştırmada da ifade edilmiş, denememizden elde edilen sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür.

4.1.2. Aslanağzı bitkisinin Cd, Cr, Pb içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kadmiyumun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök Cd, Cr ve Pb içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.2'de, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.3'te sunulmuştur.

Çizelge 4.2. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök Cd, Cr ve Pb içeriği üzerine etkisi

		Kadmiyum Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cd0	Cd1	Cd2	Cd3	Cd4	**Ortalama**
Cd içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	0,25 a A	4,46 b A	3,07 b A	3,71 b A	4,05 b A	3,11 b
	Kök	3,96 a D	201,07 a C	310,79 a B	548,20 a A	648,92 a A	342,59 a
	Ortalama	**2,11 C**	**102,77 B**	**156,93 B**	**275,95 A**	**326,48 A**	
	A $_{LSD<0.01}$	47,014	B $_{LSD<0.01}$	74,336	AxB $_{LSD<0.01}$	105,127	
Cr içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	1,65	1,57	2,08	1,90	1,74	1,79 b
	Kök	4,78	6,10	5,53	3,55	4,04	4,80 a
	Ortalama	**3,22**	**3,84**	**3,80**	**2,73**	**2,89**	
	A $_{LSD<0.01}$	1,010	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Pb içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	0,99	1,16	0,75	1,40	1,15	1,09
	Kök	0,66	1,49	2,06	1,82	1,40	1,49
	Ortalama	**0,83**	**1,32**	**1,40**	**1,61**	**1,28**	
	A $_{LSD}$	öd	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Artan dozlarda uygulanan Cd aslanağzı bitkisinin Cd içeriklerini ve kaldırılan Cd miktarlarını kontrole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde artırmıştır ($p<0,01$). Aslanağzı bitkisinin en yüksek Cd içeriği (326,48 mg kg^{-1}) ve kaldırılan Cd miktarı (367,65 µg) Cd4 dozundan sağlanmıştır.

Çizelge 4.3. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Cd, Cr ve Pb miktarlarına etkisi

		Kadmiyum Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cd0	Cd1	Cd2	Cd3	Cd4	**Ortalama**
Kaldırılan Cd miktarı (µg)	Yaprak	2,29 a A	44,44 a A	30,25 b A	33,13 b A	35,50 b A	29,12 b
	Kök	4,20 a C	218,55 a BC	406,51 a B	688,69 a A	699,81 a A	403,55 a
	Ortalama	**3,25 C**	**131,49 BC**	**218,38 AB**	**360,91 A**	**367,65 A**	
	A $_{LSD<0.01}$	117,18	B $_{LSD<0.01}$	185,28	AxB $_{LSD<0.01}$	262,01	
Kaldırılan Cr miktarı (µg)	Yaprak	15,19	15,81	19,70	16,49	15,04	16,45 a
	Kök	5,06	6,30	7,18	4,45	4,22	5,44 b
	Ortalama	**10,12**	**11,05**	**13,44**	**10,47**	**9,63**	
	A $_{LSD<0.01}$	2,78	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan Pb miktarı (µg)	Yaprak	9,12	11,71	7,17	12,50	10,23	10,15 a
	Kök	0,70	1,45	2,64	2,29	1,45	1,70 b
	Ortalama	**4,90**	**6,58**	**4,91**	**7,40**	**5,84**	
	A $_{LSD<0.01}$	2,67	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Toprakta artan Cd miktarı ile bitkilerde olumsuz etkinin başladığı ve 3 mg kg^{-1} Cd değerinden sonra olumsuz etkilerin şiddetinin daha da arttığı belirtilmektedir (Kabata-Pendias ve Pendias 1984, Daşdemir 2015). Bitki kuru maddesinde ise 1 mg kg^{-1}'dan fazla kadmiyumun toksik etkili olduğu bildirilmiştir (Özbek ve ark. 1995, Öktüren ve Sönmez 2007). Aslanağzı bitkisi ile yapmış olduğumuz denememizden elde edilen Cd içeriklerinin literatürlerde bildirilen toksik sınır değerinin çok üzerinde olduğu görülmüş kuru madde veriminde meydana gelen azalmalara rağmen aslanağzı bitkisinin yüksek Cd düzeylerinde yetişebildiği ve yüksek Cd biriktirebildiği görülmüştür.

Gerard ve ark. (2000), yaptığı çalışmada hiperakümülatör bir bitki olarak tanımlanan *Thlaspi caerulescens* L.'nin Cd konsantrasyonunu 8,7-647 mg kg^{-1} olarak belirlemiştir. Liu ve ark. (2011) benzer bir çalışmada *Tagetes patula* bitkisinin Cd konsantrasyonunu yeşil aksamda 450 mg kg^{-1} ve kökte ise 3500 mg kg^{-1} olarak bildirmişlerdir. Aslanağzı bitkisininde içermiş olduğu yüksek Cd konsantrasyonlarından dolayı hiperakümülatör bitki olarak fitoremediasyonda kullanımı mümkün görülmektedir.

Kadmiyum konsantrasyonlarının ve kaldırılan miktarlarının yapraklara (3,11 mg kg^{-1}, 29,12 µg) oranla köklerde (342,59 mg kg^{-1}; 403,55 µg) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Kadmiyum uygulamaları yaprakların ve köklerin Cd konsantrasyonlarını ve kaldırılan miktarlarını kontrole göre istatistiksel olarak önemli düzeyde artırmıştır ($p<0,01$). En yüksek Cd konsantrasyonu ve kaldırılan miktarı sırasıyla yapraklarda Cd1 uygulamasından (4,46 mg kg^{-1}; 44,44 µg); köklerde ise Cd 4 uygulamasından (648,92 mg kg^{-1}; 699,81 µg) elde edilmiştir.

Artan dozlarda uygulanan Cd'un aslanağzı bitkisinin Cr ve Pb içeriklerine ve kaldırılan miktarlarına etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Aslanağzı bitkisinin köklerinde Cr ve Pb konsantrasyonları yapraklara oranla daha fazla belirlenirken kaldırılan miktarların yapraklarda daha fazla olduğu görülmüştür (Çizelge 4.2 ve 4.3). Bu durumun kök gelişiminin daha fazla etkilenmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.1.3. Aslanağzı bitkisinin Fe, Cu, Zn içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kadmiyumun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök Fe, Cu ve Zn içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.4'te, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.5'te sunulmuştur.

Uygulanan Cd'un düşük dozları aslanağzı bitkisinin Fe ve Cu içeriklerini kontrole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde artırmıştır ancak artan dozlar değerlerin azalmasına neden olmuştur ($p<0,05$; $p<0,01$). Zn içeriklerinde ise kontrole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde azalma gözlenmiştir ($p<0,01$). En yüksek Fe içeriği Cd1 dozunda (413,12 mg kg^{-1}), en yüksek Cu içeriği ise Cd3 dozunda (20,62 mg kg^{-1}) belirlenirken, en yüksek çinko kontrol dozundan (38,60 mg kg^{-1}) sağlanmıştır.

Çizelge 4.4. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök Fe, Cu ve Zn içeriği üzerine etkisi

		Kadmiyum Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cd0	Cd1	Cd2	Cd3	Cd4	**Ortalama**
Fe içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	135,95	151,39	155,20	140,94	119,95	140,69 b
	Kök	554,65	674,84	580,39	550,39	520,38	576,13 a
	Ortalama	**345,30 B**	**413,12 A**	**367,80 AB**	**345,66 B**	**320,17 B**	
	A $_{LSD<0.01}$	48,66	B $_{LSD<0.05}$	56,44	AxB $_{LSD}$	öd	
Cu içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	6,36	7,16	6,65	11,90	5,63	7,54 b
	Kök	22,52	31,14	26,88	29,34	25,54	27,08 a
	Ortalama	**14,44 C**	**19,15 AB**	**16,76 ABC**	**20,62 A**	**15,59 BC**	
	A $_{LSD<0.01}$	2,72	B $_{LSD<0.01}$	4,29	AxB $_{LSD}$	öd	
Zn içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	19,81 b AB	20,34 b AB	17,14 b AB	22,84 b A	14,68 b B	18,96 b
	Kök	57,38 a A	36,51 a B	34,44 a BC	36,86 a B	28,26 a C	38,69 a
	Ortalama	**38,60 A**	**28,43 B**	**25,79 BC**	**29,85 B**	**21,47 C**	
	A $_{LSD<0.01}$	3,09	B $_{LSD<0.01}$	4,88	AxB $_{LSD<0.01}$	6,90	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Çizelge 4.5. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Fe, Cu ve Zn miktarlarına etkisi

		Kadmiyum Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cd0	Cd1	Cd2	Cd3	Cd4	**Ortalama**
Kaldırılan Fe miktarı (mg)	Yaprak	1,26	1,52	1,53	1,21	1,09	1,32 a
	Kök	0,59	0,76	0,76	0,68	0,56	0,67 b
	Ortalama	**0,93**	**1,14**	**1,14**	**0,95**	**0,83**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,25	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan Cu miktarı (µg)	Yaprak	58,82 a BC	71,94 a B	64,97 a BC	103,41 a A	50,33 a C	64,97 a
	Kök	23,84 b A	33,10 b A	35,09 b A	36,38 b A	27,42 b A	35,09 b
	Ortalama	**41,33 B**	**52,52 B**	**50,03 B**	**69,89 A**	**38,88 B**	
	A $_{LSD<0.01}$	8,97	B $_{LSD<0.01}$	14,18	AxB $_{LSD<0.01}$	20,06	
Kaldırılan Zn miktarı (µg)	Yaprak	183,05	204,19	168,81	198,36	130,65	177,01 a
	Kök	60,75	41,01	45,00	46,22	30,01	44,60 b
	Ortalama	**121,90 A**	**122,60 A**	**106,90 AB**	**122,29 A**	**80,34 B**	
	A $_{LSD<0.01}$	21,84	B $_{LSD<0.01}$	34,53	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Aslanağzı bitkisinin Fe, Cu ve Zn konsantrasyonlarının yapraklara oranla sırasıyla (140,69 mg kg^{-1}; 7,54 mg kg^{-1}; 18,96 mg kg^{-1}) köklerde (576,13 mg kg^{-1}; 27,08 mg kg^{-1}; 38,69 mg kg^{-1}) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Thamayanthi ve ark. (2013), Cd dozundaki artışla *Tagetes erecta* L. bitkisinin büyümesinde ve Cu içeriğinde azalmalar olduğunu bildirmişlerdir. Belkhadi ve ark. (2010), Cd uygulaması ile bitkide K, Ca, Mg, ve Fe konsantrasyonlarının azaldığını belirtmiştir. Artan Cd dozları ile bitkilerin Fe, Cu ve Zn içeriklerinde azalma Cd ile antagonistik ilişkinin bir göstergesi olarak düşünülmektedir (Zhang ve ark. 2014b). Benavides ve ark. (2005) de kadmiyumun K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, elementleri ile rekabet halinde olduğunu saptamıştır. Denememizden elde edilen sonuçların önceki çalışmalarla uyumlu olduğu görülmüştür.

Aslanağzı bitkisinin kaldırılan Fe, Cu ve Zn miktarlarının, köklere oranla (0,67 mg; 35,09 µg; 44,60 µg) yapraklarda sırasıyla (1,32 mg; 64,97 µg; 177,01 µg) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$). Kaldırılan miktarların yapraklarda daha fazla bulunmasının köklerin uygulamalardan daha fazla etkilenmesinden kaynaklandığını düşündürmektedir.

Artan Cd dozları ile aslanağzı bitkisinin kaldırılan Fe, Cu ve Zn miktarlarını kontrole oranla artırdığı görülmüş, Cu ve Zn'da elde edilen değerler istatistiksel olarak önemli çıkarken ($p<0,01$), kaldırılan demir miktarları üzerine etki istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. En yüksek kaldırılan Cu (69,89 µg) Cd3 uygulamasından, en yüksek kaldırılan Zn (122,60 µg) ise Cd1 uygulamasından elde edilmiştir.

Kaldırılan miktarlardaki azalma Cd uygulamaları ile kuru madde veriminin azalmasına bağlanabilir.

4.1.4. Aslanağzı bitkisinin Mn ve B içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kadmiyumun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök Mn ve B içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.6'da, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.7'de sunulmuştur.

Çizelge 4.6. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök Mn ve B içeriği üzerine etkisi

		Kadmiyum Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cd0	Cd1	Cd2	Cd3	Cd4	**Ortalama**
Mn içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	17,46	16,06	17,11	15,10	10,89	15,33 b
	Kök	30,59	34,19	30,95	33,30	28,19	31,44 a
	Ortalama	**24,03**	**25,13**	**24,03**	**24,20**	**19,54**	
	A $_{LSD<0.01}$	4,30	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
B içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	31,32 b A	38,22 a A	32,00 a A	38,27 a A	32,15 a A	34,39
	Kök	42,10 a A	33,24 a B	32,58 a B	32,39 a B	31,51 a B	34,37
	Ortalama	**36,71**	**35,73**	**32,29**	**35,33**	**31,84**	
	A $_{LSD}$	öd	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD<0.05}$	8,00	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Çizelge 4.7. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Mn ve B miktarlarına etkisi

		Kadmiyum Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cd0	Cd1	Cd2	Cd3	Cd4	**Ortalama**
Kaldırılan Mn miktarı (mg)	Yaprak	0,16 a AB	0,16 a AB	0,17 a A	0,13 a BC	0,10 a C	0,14 a
	Kök	0,03 b A	0,04 b A	0,04 b A	0,04 b A	0,03 b A	0,04 b
	Ortalama	**0,10 A**	**0,10 A**	**0,10 A**	**0,09 AB**	**0,06 B**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,02	B $_{LSD<0.01}$	0,03	AxB $_{LSD<0.01}$	0,04	
Kaldırılan B miktarı (µg)	Yaprak	289,97	383,50	312,94	332,90	277,44	319,35 a
	Kök	44,59	36,68	42,58	40,72	34,03	39,72 b
	Ortalama	**167,28**	**210,09**	**177,76**	**186,81**	**155,73**	
	A $_{LSD<0.01}$	37,03	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Artan dozlarda uygulanan Cd ile aslanağzı bitkisinin Mn içeriklerinde artış, B içeriklerinde ise kontrole oranla azalma gözlenmesine rağmen sonuçlar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. En yüksek Mn içeriği Cd1 dozunda (25,13 mg kg^{-1}), belirlenirken, en yüksek B Cd0 kontrol dozundan (36,71 mg kg^{-1}) sağlanmıştır

Aslanağzı bitkisinin Mn, konsantrasyonlarının yapraklara oranla (15,33 mg kg^{-1}) köklerde (31,44 mg kg^{-1}) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$). Benavides ve ark. (2005) kadmiyumun K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Ni elementleri ile rekabet halinde olduğunu bildirmiş yapmış olduğumuz çalışmada da kadmiyumun Mn taşınımını olumsuz yönde etkilediği saptanmıştır.

Aslanağzı bitkisinin kaldırılan Mn ve B miktarlarının, köklere oranla sırasıyla (0,04 mg; 39,72 µg) yapraklarda (0,14 mg; 319,35 µg) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$). Bor konsantrasyonunun yapraklarla köklerde birbirine yakın olduğu tespit edilmiş, ancak kök gelişiminin olumsuz yönde etkilenmesi nedeniyle bor elementinin kaldırılan miktarları köklere oranla yapraklarda daha fazla tespit edilmiştir.

4.1.5. Aslanağzı bitkisinin Na, Mg ve Ca içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kadmiyumun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök Na, Mg ve Ca içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.8'de, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.9'da sunulmuştur.

Uygulanan Cd aslanağzı bitkisinin Na ve Ca içeriklerini kontrole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde etkilemiş, etkinin düşük dozlarda artma, yüksek dozlarda ise azalma şeklinde olduğu görülmüştür ($p<0,05$; $p<0,01$). Benavides ve ark. (2005) kadmiyumun K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Ni elementleri ile rekabet halinde olduğunu bildirmiş, yapmış olduğumuz çalışmada bu elementlere ilave olarak kadmiyumun sodyum alımını da olumsuz yönde etkilediği saptanmıştır.

Çizelge 4.8. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök Na, Mg ve Ca içeriği üzerine etkisi

		Kadmiyum Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cd0	Cd1	Cd2	Cd3	Cd4	**Ortalama**
Na içeriği (%)	Yaprak	0,23 b A	0,21 b A	0,20 b A	0,20 b A	0,19 b A	0,21 b
	Kök	0,63 a B	0,76 a A	0,60 a B	0,64 a B	0,57 a B	0,64 a
	Ortalama	**0,43 B**	**0,48 A**	**0,40 B**	**0,42 B**	**0,38 B**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,05	B $_{LSD<0.05}$	0,05	AxB $_{LSD<0.05}$	0,08	
Mg içeriği (%)	Yaprak	0,68	0,61	0,65	0,61	0,60	0,63 a
	Kök	0,29	0,26	0,27	0,31	0,26	0,28 b
	Ortalama	**0,49**	**0,43**	**0,46**	**0,46**	**0,43**	
	A $_{LSD<0.01}$	2,72	B $_{LSD<0.01}$	4,29	AxB $_{LSD}$	öd	
Ca içeriği (%)	Yaprak	0,50	0,50	0,52	0,58	0,54	0,53 a
	Kök	0,40	0,41	0,44	0,54	0,46	0,45 b
	Ortalama	**0,45 B**	**0,45 B**	**0,48 B**	**0,56 A**	**0,50 AB**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,05	B $_{LSD<0.01}$	0,08	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Çizelge 4.9. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Na, Mg ve Ca miktarlarına etkisi

		Kadmiyum Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cd0	Cd1	Cd2	Cd3	Cd4	**Ortalama**
Kaldırılan Na miktarı (mg)	Yaprak	21,30	20,90	19,52	17,34	17,39	19,29 a
	Kök	6,65	8,19	7,79	7,97	6,03	7,33 b
	Ortalama	**13,97**	**14,54**	**13,66**	**12,66**	**11,71**	
	A $_{LSD<0.01}$	2,24	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan Mg miktarı (mg)	Yaprak	63,28	61,38	62,80	53,09	54,33	58,98 a
	Kök	3,10	2,83	3,59	3,79	2,77	3,22 b
	Ortalama	**33,19**	**32,11**	**33,19**	**28,44**	**28,55**	
	A $_{LSD<0.01}$	6,76	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan Ca miktarı (mg)	Yaprak	46,98	50,44	51,03	50,85	48,43	49,54 a
	Kök	4,22	4,49	5,74	6,60	4,93	5,19 b
	Ortalama	**25,60**	**27,46**	**28,38**	**28,73**	**26,68**	
	A $_{LSD<0.01}$	5,39	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Belkhadi ve ark. (2010) kadmiyum stresi üzerine yaptıkları çalışmada, Cd uygulaması ile bitkide Mg konsantrasyonunun azaldığını bildirmiştir. Yaptığımız çalışmada Mg içeriklerinde kontrole oranla azalma gözlenmiş, ancak istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Aslanağzı bitkisinin en yüksek Na, içeriği Cd1 (% 0,48), dozundan, en yüksek Ca içeriği ise Cd3 (0,56 %) dozundan elde edilmiştir.

Mg ve Ca konsantrasyonlarının köklere (% 0,28; % 0,45) oranla yapraklarda (% 0,63; % 0,53) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$). Na konsantrasyolarının ise yapraklara (% 0,21) oranla köklerde (% 0,64) daha yüksek olduğu belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Artan dozlarda uygulanan Cd'un aslanağzı bitkisinin kaldırılan Na, Mg ve Ca miktarlarına etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Aslanağzı bitkisinin kaldırılan Na, Mg ve Ca miktarlarının köklere oranla (7,33 mg; 3,22 mg; 5,19 mg) yapraklarda (19,29 mg; 58,98 mg; 49,54 mg) daha fazla olduğu belirlenmiştir ($p<0,01$). Bu durumun Cd uygulamalarından köklerin yapraklara oranla daha fazla etkilenmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.1.6. Aslanağzı bitkisinin N, P ve K içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kadmiyumun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök N, P ve K içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.10'da, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.11'de sunulmuştur.

Artan dozlarda uygulanan Cd'un aslanağzı bitkisinin N içeriğinde kontrole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde azalma görülmüştür ($p<0,01$). En yüksek N içeriği Cd0 kontrol (% 2,14) uygulamasında belirlenmiştir.

Aslanağzı bitkisinin N ve K konsantrasyonlarının yapraklarda (% 2,39; % 2,51) köklere oranla (% 1,70; % 1,77) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli

bulunmuştur (p<0,01). P konsantrasyonlarının ise yapraklara (% 0,42) oranla köklerde (% 0,55) daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.10. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök N, P ve K içeriği üzerine etkisi

	Bitki kısmı	Kadmiyum Dozları (µM)					**Ortalama**
		Cd0	Cd1	Cd2	Cd3	Cd4	
N içeriği (%)	Yaprak	2,52	2,32	2,41	2,42	2,25	2,39 a
	Kök	1,76	1,54	1,68	1,82	1,69	1,70 b
	Ortalama	**2,14 A**	**1,93 B**	**2,05 AB**	**2,12 A**	**1,97 B**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,09	B $_{LSD<0.01}$	0,14	AxB $_{LSD}$	öd	
P içeriği (%)	Yaprak	0,45	0,41	0,42	0,41	0,41	0,42 b
	Kök	0,53	0,54	0,55	0,59	0,56	0,55 a
	Ortalama	**0,49**	**0,48**	**0,49**	**0,50**	**0,48**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,03	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
K içeriği (%)	Yaprak	2,73	2,63	2,55	2,45	2,17	2,51 a
	Kök	1,82	1,74	1,67	1,92	1,69	1,77 b
	Ortalama	**2,28**	**2,19**	**2,11**	**2,18**	**1,93**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,25	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Artan Cd dozlarının aslanağzı bitkisinin kaldırılan N, P ve K miktarlarını kontrole oranla azalttığı görülmesine rağmen elde edilen değerler istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. En yüksek kaldırılan N (126,05 mg) Cd0 kontrol uygulamasından, en yüksek kaldırılan P (23,88 mg) Cd1 uygulamasından, en yüksek kaldırılan K (141,98 mg) ise Cd1 uygulamasından elde edilmiştir.

Aslanağzı bitkisinin kaldırılan N, P ve K miktarlarının, köklere oranla (19,70 mg; 6,40 mg; 20,50 mg) yapraklarda sırasıyla (222,68 mg; 39,30 mg; 20,50 mg) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p<0,01). Kadmiyumun köklerde birikimi, kök gelişimini olumsuz yönde etkilemiş, bu durum azot miktarlarına da yansımış, köklere oranla yapraklarda azotun daha fazla bulunduğu ve yapraklardan daha fazla azotun kaldırıldığı tespit edilmiştir. Benavides ve ark. (2005) kadmiyumun bitki için gerekli olmadığını, bitkinin gelişimini olumsuz etkilediğini ve K, Ca, Mg, Fe,

Mn, Cu, Zn, Ni elementleri ile rekabet halinde olduğunu saptamışlardır. Bitiktaş (2007) yaptığı araştırmada bitkilerin köklerinin ağır metallerden zarar görmesi nedeniyle bitki besin maddelerini alamadıklarını belirtmiştir.

Çizelge 4.11. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan N, P ve K miktarlarına etkisi

		Kadmiyum Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cd0	Cd1	Cd2	Cd3	Cd4	**Ortalama**
Kaldırılan N miktarı (mg)	Yaprak	233,44	234,14	233,39	210,06	202,37	222,68 a
	Kök	18,65	17,08	21,86	22,93	17,98	19,70 b
	Ortalama	**126,05**	**125,61**	**127,63**	**116,49**	**110,18**	
	A $_{LSD<0.01}$	19,60	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan P miktarı (mg)	Yaprak	41,72	41,77	41,02	35,73	36,26	39,30 a
	Kök	5,59	5,99	7,24	7,27	5,91	6,40 b
	Ortalama	**23,66**	**23,88**	**24,13**	**21,50**	**21,08**	
	A $_{LSD<0.01}$	2,79	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan K miktarı (mg)	Yaprak	253,50 a A	264,63 a A	246,52 a AB	210,46 a BC	194,49 a C	233,92 a
	Kök	19,27 b A	19,34 b A	21,84 b A	24,04 b A	18,00 b A	20,50 b
	Ortalama	**136,39**	**141,98**	**134,18**	**117,25**	**106,24**	
	A $_{LSD<0.01}$	22,54	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD<0.05}$	36,97	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

4.2. Krom Uygulamalarının Aslanağzı (*Antirrhinum majus*) Bitkisinin Besin Elementi İçeriğine ve Kaldırılan Besin Elementi Miktarına Etkisi

4.2.1. Aslanağzı (*Antirrhinum majus*) bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kromun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.12'de sunulmuştur.

Artan dozlarda uygulanan kromun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlığında kontrole oranla azalma meydana getirmiştir. En yüksek kuru madde verimi (5,91 g) Cr0

kontrol uygulamasından elde edilirken, en düşük değer (3,07 g) ise Cr3 uygulamasında belirlenmiştir.

Çizelge 4.12. Artan dozlarda uygulanan kromun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi üzerine etkisi

		Krom Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cr0	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	**Ortalama**
kuru ağırlık verimi (g)	Yaprak	10,52 a A	10,43 a A	7,52 a B	5,17 a C	6,26 a BC	7,98 a
	Kök	1,31 b A	1,27 b A	1,05 b A	0,98 b A	0,85 b A	1,09 b
	Ortalama	**5,91 A**	**5,85 A**	**4,28 B**	**3,07 B**	**3,55 B**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,84	B $_{LSD<0.01}$	1,32	AxB $_{LSD<0.01}$	1,87	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Aslanağzı bitkisinin yaprak kuru ağırlığı (7,98 g) kök kuru ağırlığına (1,09 g) oranla daha yüksek bulunmuştur. En yüksek yaprak kuru madde verimi (10,52 g) Cr0 kontrol uygulamasında, en düşük verim (5,17 g) ise Cr3 dozunda belirlenmiştir. En yüksek kök kuru ağırlığı (1,31 g) Cr0 kontrol uygulamasından elde edilirken, en düşük kök kuru ağırlığı (0,85 g) ise Cr4 uygulamasından sağlanmıştır.

Artan Cr dozlarının bitkinin gelişimine olumsuz etki yaptığı gözlenmiştir. Krom'un kök hücrelerinin bölünme ve uzamasını engelleyerek kök gelişimini engellediği, bu durumun topraktan alınan bitki besin maddesi ve suyun azalmasına yol açarak bitki büyüme ve gelişmesini olumsuz yönde etkilediği, verim ve kalitede de önemli düzeyde azalma görüldüğü belirtilmiştir (Khan ve ark. 2000).

4.2.2. Aslanağzı bitkisinin Cd, Cr ve Pb içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kromun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök Cd, Cr ve Pb içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.13'te, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.14'te sunulmuştur.

Çizelge 4.13. Artan dozlarda uygulanan kromun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök Cd, Cr ve Pb içeriği üzerine etkisi

		Krom Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cr0	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	**Ortalama**
Cd içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	0,25	0,49	0,25	0,25	0,25	0,30 b
	Kök	6,02	9,10	6,05	6,76	2,58	6,10 a
	Ortalama	**3,14**	**4,80**	**3,15**	**3,51**	**1,42**	
	A $_{LSD<0.01}$ 1,95	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd		
Cr içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	2,15 a B	6,27 b B	12,25 b B	34,78 b B	117,86 b A	46,66 b
	Kök	5,53 a E	153,08 a D	392,17 a C	663,30 a B	1513,58 a A	545,53 a
	Ortalama	**3,84 D**	**79,67 D**	**202,21 C**	**349,04 B**	**845,72 A**	
	A $_{LSD<0.01}$ 57,34	B $_{LSD<0.01}$	90,67	AxB $_{LSD<0.01}$	128,23		
Pb içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	1,81	1,49	2,57	1,81	2,49	2,03
	Kök	1,65	1,99	1,49	1,32	0,67	1,42
	Ortalama	**1,73**	**1,74**	**2,03**	**1,57**	**1,58**	
	A $_{LSD}$ öd	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd		

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Çizelge 4.14. Artan dozlarda uygulanan kromun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Cd, Cr ve Pb miktarlarına etkisi

		Krom Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cr0	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	**Ortalama**
Kaldırılan Cd miktarı (µg)	Yaprak	2,61	4,86	1,87	1,28	1,55	2,43 b
	Kök	7,68	11,30	6,28	6,17	2,25	6,74 a
	Ortalama	**5,14 B**	**8,08 A**	**4,07 BC**	**3,73 BC**	**1,90 C**	
	A $_{LSD<0.01}$ 1,77	B $_{LSD<0.01}$	2,80	AxB $_{LSD}$	öd		
Kaldırılan Cr miktarı (µg)	Yaprak	21,97	65,78	91,43	196,58	1102,41	295,63 b
	Kök	7,31	191,53	410,23	649,77	1282,30	508,24 a
	Ortalama	**14,64 C**	**128,66 C**	**250,86 BC**	**423,18 B**	**1192,35 A**	
	A $_{LSD<0.01}$ 149,92	B $_{LSD<0.01}$	237,04	AxB $_{LSD}$	öd		
Kaldırılan Pb miktarı (µg)	Yaprak	18,32	16,27	19,03	9,22	16,04	15,78 a
	Kök	2,14	2,42	1,56	1,23	0,58	1,58 b
	Ortalama	**10,23**	**9,35**	**10,30**	**5,22**	**8,31**	
	A $_{LSD<0.01}$ 9,20	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd		

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Artan dozlarda uygulanan Cr aslanağzı bitkisinin Cr içeriklerini ve kaldırılan Cr miktarlarını kontrole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde artırmıştır ($p<0,01$). Aslanağzı bitkisinin en yüksek Cr içeriği (845,72 mg kg^{-1}) ve kaldırılan Cr miktarı (1192,35 mg) Cr4 dozlarından sağlanmıştır.

Krom konsantrasyonlarının ve kaldırılan miktarlarının yapraklara (46,66 mg kg^{-1}, 295,63 mg) oranla köklerde (545,53 mg kg^{-1}; 508,24 mg) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Krom uygulamaları yaprakların ve köklerin Cr konsantrasyonlarını kontrole göre istatistiksel olarak önemli düzeyde artırmıştır ($p<0,01$). En yüksek Cr konsantrasyonu yapraklarda (117,86 mg kg^{-1}) ve köklerde (1513,58 mg kg^{-1}) Cr4 uygulamasından elde edilmiştir.

Allen (1989), bitkilerde bulunmasına izin verilebilen Cr konsantrasyonu 0,05 – 0,5 mg kg^{-1} olarak bildirmiştir. FAO/WHO'nun bitkilerde kabul ettiği Cr sınır değeri 0,5 mg kg^{-1}'dır. Krom zehirlenmesi belirtilerinin görüldüğü bitki yapraklarında Cr miktarının 1 ile 4 mg kg^{-1} arasında değiştiği, bitki köklerinde ise bu miktarın daha fazlasının bulunduğu saptanmıştır (Wallace ve ark 1976).

Krom'un kök hücrelerinin bölünme ve uzamasını engelleyerek kök gelişimini engellediği, bu durumun topraktan alınan bitki besin maddesi ve suyun azalmasına yol açtığı, bitki büyüme ve gelişmesini olumsuz yönde etkileyerek verim ve kalitede önemli düzeyde azalma görüldüğü belirtilmiştir (Khan ve ark. 2000).

Artan dozlarda uygulanan Cr ile aslanağzı bitkisinin Cd konsantrasyonlarının ve kaldırılan miktarlarının köklerde sırasıyla (6,10 mg kg^{-1}; 6,74 µg) yapraklara (0,30 mg kg^{-1}; 2,43 µg) oranla daha fazla bulunduğu belirlenirken, kaldırılan Pb miktarlarının ise köklere (1,58 µg) oranla yapraklarda (15,78 µg) daha yüksek olduğu görülmüştür.

4.2.3. Aslanağzı bitkisinin Fe, Cu ve Zn içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kromun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök Fe, Cu ve Zn içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.15'de, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.16'da sunulmuştur.

Çizelge 4.15. Artan dozlarda uygulanan kromun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök Fe, Cu ve Zn içeriği üzerine etkisi

		Krom Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cr0	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	**Ortalama**
Fe içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	124,17 b B	111,04 b B	120,75 b B	136,78 b B	310,01 b A	160,55 b
	Kök	682,35 a A	604,31 a AB	458,48 a C	353,42 a C	487,25 a BC	517,16 a
	Ortalama	**403,26 A**	**357,68 AB**	**289,61 BC**	**245,10 C**	**398,63 A**	
	A $_{LSD<0.01}$	63,37	B $_{LSD<0.01}$	100,20	AxB $_{LSD<0.01}$		141,70
Cu içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	7,62	7,44	6,49	6,24	13,15	8,19 b
	Kök	27,80	27,10	22,08	18,59	27,29	24,57 a
	Ortalama	**17,71 AB**	**17,27 AB**	**14,28 BC**	**12,41 C**	**20,22 A**	
	A $_{LSD<0.01}$	2,84	B $_{LSD<0.01}$	4,50	AxB $_{LSD}$		öd
Zn içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	23,48	23,20	20,53	18,21	19,05	20,90 b
	Kök	55,95	49,39	40,25	31,63	40,12	43,47 a
	Ortalama	**39,72 A**	**36,30 AB**	**30,39 BC**	**24,92 C**	**29,58 BC**	
	A $_{LSD<0.01}$	7,07	B $_{LSD<0.05}$	8,20	AxB $_{LSD}$		öd

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Artan dozlarda uygulanan Cr'un aslanağzı bitkisinin Fe ve Zn içeriklerini kontrole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde azalttığı görülmüştür ($p<0,01$; $p<0,05$). Aslanağzı bitkisinin en yüksek Fe (403,26 mg kg^{-1}) ve Zn konsantrasyonu (39,72 mg kg^{-1}) Cr0 kontrol uygulamasından sağlanmıştır.

Krom uygulamaları, yaprakların Fe konsantrasyonlarını kontrole göre istatistiksel olarak önemli düzeyde azaltırken, Cr4 dozunda artış görülmüştür ($p<0,01$). Köklerin Fe konsantrasyonlarını ise kontrole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde azaltmıştır ($p<0,01$). En yüksek Fe konsantrasyonu yapraklarda (310,01 mg kg^{-1}) Cr4

uygulamasından ve köklerde en yüksek Fe konsantrasyonu (682,35 mg kg^{-1}) Cr0 kontrol uygulamasından elde edilmiştir.

Çizelge 4.16. Artan dozlarda uygulanan kromun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Fe, Cu ve Zn miktarlarına etkisi

		Krom Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cr0	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	**Ortalama**
Kaldırılan Fe miktarı (mg)	Yaprak	1,29 a B	1,17 a B	0,90 a B	0,75 a B	1,94 a A	1,21 a
	Kök	0,89 a A	0,77 a A	0,48 a A	0,36 a A	0,42 b A	0,58 b
	Ortalama	**1,90 A**	**0,97 AB**	**0,69 BC**	**0,56 C**	**1,18 A**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,25	B $_{LSD<0.01}$	0,39	AxB $_{LSD<0.01}$	0,55	
Kaldırılan Cu miktarı (µg)	Yaprak	79,44 a A	77,93 a A	48,79 a B	33,16 a B	81,80 a A	64,22 a
	Kök	35,87 b A	34,68 b A	23,10 b A	18,59 a A	23,24 b A	27,10 b
	Ortalama	**57,65 A**	**56,31 A**	**35,94 B**	**25,87 B**	**52,52 A**	
	A $_{LSD<0.01}$	10,22	B $_{LSD<0.01}$	16,16	AxB $_{LSD<0.01}$	22,85	
Kaldırılan Zn miktarı (µg)	Yaprak	247,39 a A	242,85 a A	153,57 a B	94,56 a B	119,70 a B	171,61 a
	Kök	72,01 b A	60,11 b A	42,10 b A	30,52 b A	34,50 b A	47,85 b
	Ortalama	**159,70 A**	**151,48 A**	**97,83 B**	**62,54 B**	**77,10 B**	
	A $_{LSD<0.01}$	27,19	B $_{LSD<0.01}$	43,00	AxB $_{LSD<0.01}$	60,80	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Aslanağzı bitkisinin Cu içeriklerinde kontrole oranla azalma görülmesine rağmen, Cr4 dozunda (20,22 mg kg^{-1}) kontrole oranla artış belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Aslanağzı bitkisinin Fe, Cu ve Zn konsantrasyonlarının yapraklara oranla sırasıyla (160,55 mg kg^{-1}; 8,19 mg kg^{-1}; 20,90 mg kg^{-1}) köklerde (517,16 mg kg^{-1}; 24,57 mg kg^{-1}; 43,47 mg kg^{-1}) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Artan dozlarda uygulanan Cr'un aslanağzı bitkisinin kaldırılan Fe, Cu ve Zn miktarlarında kontrole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde azalma gözlenmiştir ($p<0,01$). Aslanağzı bitkisinin kaldırılan en yüksek Fe, Cu ve Zn miktarları (1,90 mg; 57,65 µg; 159,70 µg) Cr0 kontrol uygulamalarından elde edilmiştir.

Krom uygulamaları yaprakların kaldırılan Fe ve Cu miktarlarını kontrole göre azaltırken, Cr4 uygulamalarında artış meydana getirmiş, köklerde ise istatistiksel olarak önemli düzeyde azalma meydana gelmiştir ($p<0,01$). Yapraklarda kaldırılan en yüksek Fe ve Cu miktarları (1,94 mg; 81,80 µg) Cr4 uygulamalarından elde edilirken, köklerde kaldırılan en yüksek Fe ve Cu miktarı (0,89 mg; 35,87 µg) Cr0 kontrol uygulamalarından elde edilmiştir.

Krom uygulamaları yaprakların ve köklerin kaldırılan Zn miktarlarını kontrole göre istatistiksel olarak önemli düzeyde azaltmıştır ($p<0,01$). Kaldırılan en yüksek Zn miktarı yapraklarda (247,39 µg) ve köklerde (72,01 µg) Cr0 kontrol uygulamasından elde edilmiştir.

Aslanağzı bitkisinin kaldırılan Fe, Cu ve Zn miktarlarının, köklere oranla (0,58 mg; 27,10 µg; 47,85 µg) yapraklarda sırasıyla (1,21 mg; 64,22 µg; 171,61 µg) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

4.2.4. Aslanağzı bitkisinin Mn ve B içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kromun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök Mn ve B içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.17'de, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.18'de sunulmuştur.

Artan dozlarda uygulanan Cr'un aslanağzı bitkisinin Mn ve B içeriklerinde kontrole oranla azaltma meydana getirmesine rağmen, istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Aslanağzı bitkisinin en yüksek Mn (32,20 mg kg^{-1}) ve B (33,22 mg kg^{-1}) konsantrasyonu Cr0 kontrol uygulamasından sağlanmıştır.

Aslanağzı bitkisinin Mn konsantrasyonlarının yapraklara oranla (16,62 mg kg^{-1}) köklerde (38,45 mg kg^{-1}) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$). B konsantasyonlarının köklere oranla (27,80 mg kg^{-1}) yapraklarda (30,77 mg

kg^{-1}) daha yüksek olduğu belirlenmesine rağmen istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Çizelge 4.17. Artan dozlarda uygulanan kromun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök Mn ve B içeriği üzerine etkisi

	Bitki kısmı	Krom Dozları (µM)					**Ortalama**
		Cr0	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	
Mn içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	17,77	19,71	13,74	16,47	15,40	16,62 b
	Kök	46,62	40,49	30,60	34,11	40,42	38,45 a
	Ortalama	**32,20**	**30,10**	**22,17**	**25,29**	**27,91**	
	A $_{LSD<0.01}$	11,18	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
B içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	31,56	31,77	32,80	24,02	33,68	30,77
	Kök	34,88	29,76	22,73	25,63	26,00	27,80
	Ortalama	**33,22**	**30,77**	**27,76**	**24,83**	**29,84**	
	A $_{LSD}$	öd	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Çizelge 4.18. Artan dozlarda uygulanan kromun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Mn ve B miktarlarına etkisi

	Bitki kısmı	Krom Dozları (µM)					**Ortalama**
		Cr0	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	
Kaldırılan Mn miktarı (mg)	Yaprak	0,19 a A	0,20 a A	0,10 a B	0,08 a B	0,10 a B	0,13 a
	Kök	0,06 b A	0,05 b A	0,03 b A	0,03 a A	0,04 b A	0,04 b
	Ortalama	**0,13 A**	**0,13 A**	**0,07 B**	**0,06 B**	**0,07 B**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,03	B $_{LSD<0.01}$	0,05	AxB $_{LSD<0.05}$	0,05	
Kaldırılan B miktarı (µg)	Yaprak	333,47 a A	331,14 a A	249,72 a AB	125,78 a C	209,98 a BC	250,02 a
	Kök	45,09 b A	37,64 b A	23,76 b A	26,56 a A	21,79 b A	30,97 b
	Ortalama	**189,28 A**	**184,39 AB**	**136,74 ABC**	**76,17 C**	**115,89 BC**	
	A $_{LSD<0.01}$	44,42	B $_{LSD<0.01}$	70,23	AxB $_{LSD<0.01}$	99,33	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Artan dozlarda uygulanan Cr'un aslanağzı bitkisinin kaldırılan Mn ve B miktarlarında kontrole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde azalma gözlenmiştir ($p<0,01$). Aslanağzı bitkisinin kaldırılan en yüksek Mn miktarı (0,13 mg) Cr0 kontrol ve Cr1

uygulamalarından, kaldırılan en yüksek B miktarı (189,28 mg) ise Cr0 kontrol uygulamasından elde edilmiştir.

Aslanağzı bitkisinin kaldırılan Mn ve B miktarlarının, köklere oranla sırasıyla (0,04 mg; 30,97 µg) yapraklarda (0,13 mg; 250,02 µg) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Krom uygulamaları yaprakların ve köklerin kaldırılan Mn ve B miktarlarını kontrole göre istatistiksel olarak önemli düzeyde azaltmıştır ($p<0,05$; $p<0,01$). Kaldırılan en yüksek Mn miktarı yapraklarda (0,20 mg) Cr1 uygulamasından, köklerde (0,06 mg) Cr0 kontrol uygulamasından elde edilmiştir. Kaldırılan en yüksek B miktarı ise yapraklarda (333,47 µg) ve köklerde (45,09 µg) Cr0 kontrol uygulamasından elde edilmiştir.

4.2.5. Aslanağzı bitkisinin Na, Mg ve Ca içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kromun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök Na, Mg ve Ca içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.19'da, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.20'de sunulmuştur.

Artan dozlarda uygulanan Cr'un aslanağzı bitkisinin Mg ve Ca içeriklerinde kontrole oranla azaltma meydana getirmesine rağmen, Cr4 uygulamalarında kontrole oranla artış gözlenmiştir ($p<0,05$; $p<0.01$). En yüksek Mg ve Ca içerikleri (% 0,57; % 0,63) Cr4 uygulamalarından elde edilmiştir.

Aslanağzı bitkisinin Na konsantrasyonunun yapraklara oranla (% 0,26) köklerde (% 0,63) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$). Mg ve Ca konsantrasyonlarının köklere oranla (% 0,34; % 0,50) yapraklarda (% 0,66; % 0,55) daha yüksek olduğu belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$; $p<0,05$).

Çizelge 4.19. Artan dozlarda uygulanan kromun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök Na, Mg ve Ca içeriği üzerine etkisi

		Krom Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cr0	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	**Ortalama**
Na içeriği (%)	Yaprak	0,24 b A	0,23 b A	0,22 b A	0,22 a A	0,40 a A	0,26 b
	Kök	0,72 a A	0,74 a A	0,67 a A	0,57 b AB	0,46 a B	0,63 a
	Ortalama	**0,48**	**0,49**	**0,44**	**0,40**	**0,43**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,11	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD<0.05}$	0,19	
Mg içeriği (%)	Yaprak	0,61	0,65	0,68	0,63	0,71	0,66 a
	Kök	0,37	0,35	0,29	0,28	0,42	0,34 b
	Ortalama	**0,49 B**	**0,50 B**	**0,48 B**	**0,46 B**	**0,57 A**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,05	B $_{LSD<0.05}$	0,06	AxB $_{LSD}$	öd	
Ca içeriği (%)	Yaprak	0,49	0,54	0,54	0,55	0,63	0,55 a
	Kök	0,48	0,48	0,48	0,44	0,63	0,50 b
	Ortalama	**0,48 B**	**0,51 B**	**0,51 B**	**0,50 B**	**0,63 A**	
	A $_{LSD<0.05}$	0,05	B $_{LSD<0.01}$	0,10	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Çizelge 4.20. Artan dozlarda uygulanan kromun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Na, Mg ve Ca miktarlarına etkisi

		Krom Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cr0	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	**Ortalama**
Kaldırılan Na miktarı (mg)	Yaprak	24,53 a A	23,87 a A	16,47 a B	11,68 a B	24,96 a A	20,30 a
	Kök	9,17 b A	9,15 b A	6,97 b A	5,55 b A	4,00 b A	6,97 b
	Ortalama	**16,85 A**	**16,51 A**	**11,72 BC**	**8,62 C**	**14,48 AB**	
	A $_{LSD<0.01}$	2,57	B $_{LSD<0.01}$	4,06	AxB $_{LSD<0.01}$	5,74	
Kaldırılan Mg miktarı (mg)	Yaprak	64,11 a A	67,63 a A	50,76 a B	33,26 a C	44,24 a BC	52,00 a
	Kök	4,84 b A	4,34 b A	2,96 b A	2,78 b A	3,57 b A	3,70 b
	Ortalama	**34,48 AB**	**35,98 A**	**26,86 BC**	**18,02 D**	**23,91 CD**	
	A $_{LSD<0.01}$	5,28	B $_{LSD<0.01}$	8,34	AxB $_{LSD<0.01}$	11,80	
Kaldırılan Ca miktarı (mg)	Yaprak	51,76 a A	56,04 a A	40,39 a B	28,65 a C	39,99 a B	43,37 a
	Kök	6,19 b A	5,92 b A	4,97 b A	4,30 b A	5,34 b A	5,34 b
	Ortalama	**28,97 AB**	**30,98 A**	**22,68 BC**	**16,48 C**	**22,67 BC**	
	A $_{LSD<0.01}$	4,78	B $_{LSD<0.01}$	7,56	AxB $_{LSD<0.01}$	10,69	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Artan dozlarda uygulanan Cr'un aslanağzı bitkisinin kaldırılan Na miktarında kontrole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde azalma gözlenmiştir ($p<0,01$). Kaldırılan en yüksek Na miktarı (16,85 mg) Cr0 kontrol uygulamasında görülmüştür. Kaldırılan Mg ve Ca miktarlarında kontrole oranla Cr1 dozunda artış gözlenirken Cr dozunun artmasıyla kontrole oranla azalma meydana gelmiştir ($p<0,01$). Aslanağzı bitkisinin kaldırılan en yüksek Mg ve Ca miktarları (35,98 mg; 30,98) Cr1 uygulamalarından elde edilmiştir.

Aslanağzı bitkisinin kaldırılan Na, Mg ve Ca miktarlarının, köklere oranla sırasıyla (6,97 mg; 3,70 mg; 5,34 mg) yapraklarda (20,30 mg; 52,00 mg; 43,37 mg) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

4.2.6. Aslanağzı bitkisinin N, P ve K içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kromun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök N, P ve K içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.21'de, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.22'de sunulmuştur.

Uygulanan Cr, aslanağzı bitkisinin N, P ve K içeriklerinde kontrole oranla Cr1 uygulamalarında artış meydana getirirken, Cr dozlarının artmasıyla kontrole oranla azalmalar gözlenmiştir. ($p<0.01$; $p<0,05$; $p<0,01$). En yüksek N, P ve K içerikleri (% 2,15; % 0,55; % 2,40) Cr1 uygulamalarından elde edilmiştir.

Aslanağzı bitkisinin N ve K konsantrasyonlarının köklere oranla (% 1,68; % 1,48) yapraklarda (% 2,29; % 2,45) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$). P konsantrasyonunun yapraklara (% 0,43) oranla köklerde (% 0,58) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Krom uygulamalarıyla yaprakların N ve K içeriklerinde kontrole göre Cr1 dozlarında artış meydana gelirken, Cr dozunun artmasıyla kontrole göre azalmalar gözlenmiştir. Köklerin N ve K içeriğinde ise kontole göre azalma meydana gelmiştir. Elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$; $p<0,05$). En yüksek N ve K

içerikleri yapraklarda (% 2,64; % 3,13) Cr1 uygulamalarından, köklerde ise (% 1,81; % 1,82) Cr0 kontrol uygulamasından elde edilmiştir.

Çizelge 4.21. Artan dozlarda uygulanan kromun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök N, P ve K içeriği üzerine etkisi

		Krom Dozları (µM)					**Ortalama**
	Bitki kısmı	Cr0	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	
N içeriği (%)	Yaprak	2,36 a B	2,64 a A	2,35 a B	1,99 a C	2,08 a C	2,29 a
	Kök	1,81 b A	1,65 b A	1,63 b A	1,60 b A	1,73 b A	1,68 b
	Ortalama	**2,09 A**	**2,15 A**	**1,99 AB**	**1,80 C**	**1,91 BC**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,11	B $_{LSD<0.01}$	0,17	AxB $_{LSD<0.01}$	0,24	
P içeriği (%)	Yaprak	0,44	0,47	0,44	0,40	0,39	0,43 b
	Kök	0,56	0,63	0,59	0,53	0,60	0,58 a
	Ortalama	**0,50 BC**	**0,55 A**	**0,52 AB**	**0,47 C**	**0,49 BC**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,04	B $_{LSD<0.05}$	0,04	AxB $_{LSD}$	öd	
K içeriği (%)	Yaprak	2,66 a B	3,13 a A	2,43 a B	2,04 a C	1,97 a C	2,45 a
	Kök	1,82 b A	1,66 b AB	1,48 b AB	1,36 b BC	1,08 b C	1,48 b
	Ortalama	**2,24 AB**	**2,40 A**	**1,96 BC**	**1,70 CD**	**1,52 D**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,22	B $_{LSD<0.01}$	0,35	AxB $_{LSD<0.05}$	0,36	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Artan dozlarda uygulanan Cr aslanağzı bitkisinin kaldırılan N, P ve K miktarlarında kontrole oranla Cr1 uygulamalarında artış meydana getirirken, Cr dozunun artmasıyla kontrole oranla azalma meydana gelmiştir ($p<0,01$). En yüksek kaldırılan N, P ve K (147,11 mg; 28,08 mg; 172,12 mg) Cr1 uygulamasından elde edilmiştir.

Aslanağzı bitkisinin kaldırılan N, P ve K miktarlarının köklere oranla (18,44 mg; 6,31 mg, 16,46 mg) yapraklarda (186,25 mg; 34,41 mg; 202,75 mg) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Krom uygulamaları yaprakların kaldırılan N ve K miktarlarını kontrole göre Cr1 dozlarında artış meydana getirirken, Cr dozunun artmasıyla kontrole göre azalma meydana getirmiştir. Köklerin kaldırılan N ve K miktarında ise kontole göre azalma meydana getirmiştir. Elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur

(p<0,01). En yüksek kaldırılan N ve K miktarları yapraklarda (273,14 mg; 323,34 mg) Cr1 uygulamalarından, köklerde ise (23,55 mg; 23,62 mg) Cr0 kontrol uygulamalarından elde edilmiştir.

Çizelge 4.22. Artan dozlarda uygulanan kromun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan N, P ve K miktarlarına etkisi

		Krom Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cr0	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	**Ortalama**
Kaldırılan N miktarı (mg)	Yaprak	248,46 a A	273,14 a A	176,58 a B	102,71 a C	130,38 a C	186,25 a
	Kök	23,55 b A	21,08 b A	17,09 b A	15,81 b A	14,69 b A	18,44 b
	Ortalama	**136,00 A**	**147,11 A**	**96,83 B**	**59,26 C**	**72,53 BC**	
	A $_{LSD<0.01}$	16,04	B $_{LSD<0.01}$	25,37	AxB $_{LSD<0.01}$	35,87	
Kaldırılan P miktarı (mg)	Yaprak	46,05 a A	48,37 a A	33,08 a B	20,42 a C	24,13 a C	34,41 a
	Kök	7,27 b A	7,78 b A	6,15 b A	5,20 b A	5,12 b A	6,31 b
	Ortalama	**26,66 A**	**28,08 A**	**19,61 B**	**12,81 C**	**14,63 C**	
	A $_{LSD<0.01}$	2,70	B $_{LSD<0.01}$	4,27	AxB $_{LSD<0.01}$	6,04	
Kaldırılan K miktarı (mg)	Yaprak	280,67 a A	323,34 a A	181,47 a B	105,38 a C	122,88 a C	202,75 a
	Kök	23,62 b A	20,90 b A	15,49 b A	13,08 b A	9,19 b A	16,46 b
	Ortalama	**152,14 A**	**172,12 A**	**98,48 B**	**59,23 C**	**66,04 C**	
	A $_{LSD<0.01}$	19,94	B $_{LSD<0.01}$	31,53	AxB $_{LSD<0.01}$	44,59	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Artan dozlarda uygulanan krom yaprakların ve köklerin kaldırılan P miktarlarında kontrole göre Cr1 dozlarında artış meydana getirirken, Cr dozunun artmasıyla kontrole göre azalmalar meydana getirmiştir ve elde dilen sonuçlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p<0,01). En yüksek kaldırılan P miktarı yapraklarda (48,37 mg), köklerde (7,78 mg) Cr1 uygulamalarından elde edilmiştir.

4.3. Kurşun Uygulamalarının Aslanağzı (*Antirrhinum majus*) Bitkisinin Besin Elementi İçeriğine ve Kaldırılan Besin Elementi Miktarına Etkisi

4.3.1. Aslanağzı (*Antirrhinum majus*) bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kurşunun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.23'te sunulmuştur.

Çizelge 4.23. Artan dozlarda uygulanan kurşunun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi üzerine etkisi

		Kurşun Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Pb0	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	**Ortalama**
kuru ağırlık verimi (g)	Yaprak	11,07	10,09	10,06	8,48	10,85	10,11 a
	Kök	1,56	1,30	1,19	1,22	1,21	1,30 b
	Ortalama	**6,31**	**5,70**	**5,63**	**4,85**	**6,03**	
	$A_{LSD<0.01}$	1,22	B_{LSD}	öd	AxB_{LSD}	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Artan dozlarda uygulanan kurşun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlığında kontrole oranla azalma meydana getirmiştir. En yüksek kuru madde verimi (6,31 g) Pb0 kontrol uygulamasından elde edilirken, en düşük kuru madde verimi (4,85 g) ise Pb3 uygulamasında belirlenmiştir.

Aslanağzı bitkisinin yaprak kuru ağırlığı (10,11 g) kök kuru ağırlığına (1,30 g) oranla daha yüksek bulunmuştur ($p<0,01$). En yüksek yaprak kuru madde verimi (11,07 g) Pb0 kontrol uygulamasında, en düşük verim (8,48 g) ise Pb3 uygulamasında belirlenmiştir. En yüksek kök kuru ağırlığı (1,56 g) Pb0 kontrol uygulamasından elde edilirken, en düşük kök kuru ağırlığı (1,19 g) ise Pb2 uygulamasından sağlanmış ancak istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Bitki tarafından alınan kurşunun büyük bir kısmının bitkinin köklerinde biriktiği, bitkinin toprak üstündeki kısımlarında pek bulunmadığı ifade edilmiştir (Özkan 2009). Kurşun elementi, hücre turgoru ve hücre duvarı stabilitesini olumsuz etkilemesi, stoma hareketlerini ve yaprak alanını azaltması nedeniyle bitki su

rejimini etkilediği, aynı zamanda kökler tarafından tutulması ve kök gelişimini azalttığını bildirmiştir (Sharma ve Dubey 2005).

4.3.2. Aslanağzı bitkisinin Cd, Cr ve Pb içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kurşunun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök Cd, Cr ve Pb içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.24'te, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.25'te sunulmuştur.

Çizelge 4.24. Artan dozlarda uygulanan kurşunun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök Cd, Cr ve Pb içeriği üzerine etkisi

		Kurşun Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Pb0	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	**Ortalama**
Cd içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	0,24	0,25	0,25	0,24	0,25	0,25 b
	Kök	2,91	3,31	2,48	3,48	5,56	3,55 a
	Ortalama	**1,58**	**1,78**	**1,36**	**1,87**	**2,91**	
	A $_{LSD<0.01}$ 1,06	B $_{LSD}$ öd		AxB $_{LSD}$ öd			
Cr içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	1,73 b A	1,74 b A	1,66 b A	1,49 b A	1,81 b A	1,69 b
	Kök	6,66 a A	6,54 a A	5,45 a A	5,71 a A	3,81 a B	5,63 a
	Ortalama	**4,19 A**	**4,14 A**	**3,55 AB**	**3,50 AB**	**2,81 B**	
	A $_{LSD<0.01}$ 0,70	B $_{LSD<0.05}$ 0,81		AxB $_{LSD<0.01}$ 1,57			
Pb içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	0,91 a A	3,16 a A	0,83 b A	2,15 b A	3,37 b A	2,08 b
	Kök	1,91 a D	9,52 a D	21,62 a C	35,07 a B	65,03 a A	26,63 a
	Ortalama	**1,41 D**	**6,34 CD**	**11,22 C**	**18,61 B**	**34,20 A**	
	A $_{LSD<0.01}$ 4,61	B $_{LSD<0.01}$ 7,30		AxB $_{LSD<0.01}$ 10,32			

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Artan dozlarda uygulanan Pb aslanağzı bitkisinin Pb içeriklerini ve kaldırılan Pb miktarlarını kontrole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde artırmıştır ($p<0,01$). Aslanağzı bitkisinin en yüksek Pb içeriği (34,20 mg kg^{-1}) Pb4 dozundan ve kaldırılan en yüksek Pb miktarı (56,73 µg) Pb4 dozlarından sağlanmıştır.

Çizelge 4.25. Artan dozlarda uygulanan kurşunun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Cd, Cr ve Pb miktarlarına etkisi

	Bitki kısmı	Kurşun Dozları (µM)					**Ortalama**
		Pb0	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	
Kaldırılan Cd miktarı (µg)	Yaprak	2,73	2,51	2,50	2,10	2,68	2,51 b
	Kök	4,38	4,11	3,03	4,12	6,29	4,39 a
	Ortalama	**3,56**	**3,31**	**2,77**	**3,11**	**4,49**	
	A $_{LSD<0.01}$	1,14	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan Cr miktarı (µg)	Yaprak	18,80	17,14	16,75	12,58	19,68	16,99 a
	Kök	10,59	8,89	6,49	6,73	4,55	7,45 b
	Ortalama	**14,70**	**13,01**	**11,62**	**9,66**	**12,12**	
	A $_{LSD<0.01}$	3,26	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan Pb miktarı (µg)	Yaprak	9,91 a A	32,43 a A	8,30 a A	17,93 a A	36,20 b A	20,95 b
	Kök	2,86 a C	12,09 a C	26,00 a BC	44,58 a B	77,25 a A	32,56 a
	Ortalama	**6,38 C**	**22,26 BC**	**17,15 BC**	**31,25 B**	**56,73 A**	
	A $_{LSD<0.05}$	1,17	B $_{LSD<0.01}$	21,92	AxB $_{LSD<0.01}$	31,01	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Kurşun konsantrasyonlarının ve kaldırılan miktarlarının yapraklara (2,08 mg kg^{-1}, 20,95 µg) oranla köklerde (26,63 mg kg^{-1}; 32,56 µg) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$; $p<0,05$).

Kurşun uygulamaları yaprakların ve köklerin Pb konsantrasyonlarını ve kaldırılan Pb miktarlarını kontrole göre istatistiksel olarak önemli düzeyde artırmıştır ($p<0,01$). En yüksek Pb konsantrasyonu yapraklarda (3,37 mg kg^{-1}) ve köklerde Pb4 uygulamasından (65,03 mg kg^{-1}) elde edilmiştir. En yüksek kaldırılan Pb miktarı yapraklarda (36,20 µg) ve köklerde yine Pb4 dozundan (77,25 µg) elde edilmiştir.

Artan dozlarda uygulanan Pb, aslanağzı bitkisinin Cr içeriğini kontrole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde azaltmıştır ($p<0,05$). En yüksek Cr içeriği (4,19 mg kg^{-1}) Cr0 kontrol uygulamasından elde edilmiştir.

Artan dozlarda uygulanan Pb ile aslanağzı bitkisinin Cd konsantrasyonları ve kaldırılan miktarları yapraklara (0,25 mg kg^{-1}; 2,51 µg) oranla köklerde (3,55 mg kg^{-1}; 4,39 µg) daha fazla belirlenmiş ve istatiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Aslanağzı bitkisinin Cr içeriğinin yapraklara (1,69 mg kg^{-1}) oranla köklerde (5,63 mg kg^{-1}) daha yüksek olduğu görülmüş, kaldırılan Cr miktarlarının ise köklere (7,45 µg) oranla yapraklarda (16,99 µg) daha fazla olduğu belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Kurşunun doğal olarak tüm topraklarda bulunabildiği ve toplam Pb miktarının 1 - 200 mg kg^{-1} arasında değişmekte olduğu ve ortalama miktarın 15 mg kg^{-1} olduğu belirtilmiştir (Swaine 1955, Daşdemir 2015).

Bitkilerde bulunan kurşun miktarının bitkinin yetiştiği toprağa ve içinde bulunduğu atmosfere göre değişebildiği ve bitkilerdeki doğal kurşun seviyesinin 5 mg kg^{-1}'ın altında bulunduğu belirtilmiştir. Bitki tarafından alınan kurşunun büyük bir kısmının bitkinin köklerinde biriktiği, bitkinin toprak üstündeki kısımlarında pek bulunmadığı ifade edilmiştir. Bitkinin kurşunu bünyesine alması veya asimile etmesinin topraktaki toplam kurşun konsantrasyonundan ziyade, topraktaki çözünebilir kurşun konsantrasyonuna bağlı olduğu ve bunun yaklaşık olarak 0.05-5 mg kg^{-1} seviyesinde olduğu bildirilmiştir (Özkan 2009).

4.3.3. Aslanağzı bitkisinin Fe, Cu ve Zn içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kurşunun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök Fe, Cu ve Zn içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.26'da, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.27'de sunulmuştur.

Artan dozlarda uygulanan Pb aslanağzı bitkisinin Cu içeriğini kontrole oranla azaltmasına rağmen Pb4 uygulamasında kontrole oranla artırmıştır ve elde edilen sonuçlar istatistiksel

olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$). Aslanağzı bitkisinin en yüksek Cu içeriği (19,91 mg kg^{-1}) Pb4 dozundan sağlanmıştır.

Çizelge 4.26. Artan dozlarda uygulanan kurşunun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök Fe, Cu ve Zn içeriği üzerine etkisi

		Kurşun Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Pb0	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	**Ortalama**
Fe içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	132,00	119,08	102,12	103,44	153,05	121,94 b
	Kök	656,57	619,67	465,51	491,51	624,40	571,53 a
	Ortalama	**394,29**	**369,38**	**283,82**	**297,48**	**388,73**	
	A $_{LSD<0.01}$	134,57	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Cu içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	7,72 b A	6,18 b A	6,82 b A	6,94 b A	7,57 b A	7,07 b
	Kök	26,97 a B	22,86 a C	21,18 a C	22,47 a C	32,24 a A	25,15 a
	Ortalama	**17,35 AB**	**15,52 B**	**14,00 B**	**14,71 B**	**19,91 A**	
	A $_{LSD<0.01}$	2,49	B $_{LSD<0.01}$	3,93	AxB $_{LSD<0.01}$	4,08	
Zn içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	18,52	19,59	25,22	24,92	27,80	23,21 b
	Kök	51,04	48,98	55,62	59,59	58,04	54,66 a
	Ortalama	**34,78**	**34,29**	**40,42**	**42,26**	**42,92**	
	A $_{LSD<0.01}$	7,98	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Kurşun uygulamasının Ca, Mg, K, P, Na, Fe, Zn, Cu ve Mn gibi diğer elementlerin miktarında azalmalara yol açarak besin elementi noksanlığına neden olduğu ifade edilmiştir (Akıncı ve Çalışkan 2010). Denememizden elde edilen sonuçların önceki çalışmalarla uyumlu olduğu görülmüştür.

Kurşun aslanağzı bitkisinin Fe içeriğini kontole oranla azaltırken, Zn içeriğini kontorole oranla artırmıştır. Fakat elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Aslanağzı bitkisinin Fe, Cu ve Zn konsantrasyonlarının yapraklara oranla sırasıyla (121,94 mg kg^{-1}; 7,07 mg kg^{-1}; 23,21 mg kg^{-1}) köklerde (571,53 mg kg^{-1}; 25,15 mg kg^{-1}; 54,66 mg kg^{-1}) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Çizelge 4.27. Artan dozlarda uygulanan kurşunun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Fe, Cu ve Zn miktarlarına etkisi

	Bitki kısmı	Pb0	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	**Ortalama**
Kaldırılan Fe miktarı (mg)	Yaprak	1,50	1,18	1,05	0,89	1,67	1,26 a
	Kök	1,07	0,86	0,64	0,61	0,74	0,78 b
	Ortalama	**1,29**	**1,02**	**0,84**	**0,75**	**1,21**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,47	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan Cu miktarı (µg)	Yaprak	86,12	62,21	69,74	59,33	82,28	71,94 a
	Kök	42,70	30,10	26,29	27,38	38,34	32,96 b
	Ortalama	**64,41**	**46,16**	**48,02**	**43,36**	**60,31**	
	A $_{LSD<0.01}$	16,57	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan Zn miktarı (µg)	Yaprak	205,25	194,91	211,02	151,71	302,38	213,06 a
	Kök	76,91	62,55	66,17	69,67	69,27	68,92 b
	Ortalama	**141,08**	**128,73**	**138,59**	**110,69**	**185,83**	
	A $_{LSD<0.01}$	58,77	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Artan dozlarda uygulanan Pb, aslanağzı bitkisinin kaldırılan Fe ve Cu miktarlarında kontrole oranla azalma meydana getirmesine rağmen, etki istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Aslanağzı bitkisinin kaldırılan Fe, Cu ve Zn miktarlarının köklere oranla sırasıyla (0,78 mg; 32,96 µg, 68,92 µg) yapraklarda (1,26 mg; 71,94 µg; 213,06 µg) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

4.3.4. Aslanağzı bitkisinin Mn ve B içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kurşunun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök Mn ve B içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.28'de, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.29'da sunulmuştur.

Çizelge 4.28. Artan dozlarda uygulanan kurşunun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök Mn ve B içeriği üzerine etkisi

		Kurşun Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Pb0	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	**Ortalama**
Mn içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	22,50	13,94	21,55	22,00	17,36	19,47 b
	Kök	41,12	35,67	39,11	36,28	36,27	37,69 a
	Ortalama	**31,81**	**24,81**	**30,33**	**29,14**	**26,81**	
	A $_{LSD<0.01}$	9,16	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
B içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	33,37	34,81	38,62	35,84	37,47	36,02 a
	Kök	27,20	22,91	22,29	19,62	27,21	23,85 b
	Ortalama	**30,28**	**28,86**	**30,45**	**27,73**	**32,34**	
	A $_{LSD<0.01}$	6,03	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Çizelge 4.29. Artan dozlarda uygulanan kurşunun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Mn ve B miktarlarına etkisi

		Kurşun Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Pb0	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	**Ortalama**
Kaldırılan Mn miktarı (mg)	Yaprak	0,24	0,14	0,22	0,18	0,19	0,19 a
	Kök	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05 b
	Ortalama	**0,15**	**0,09**	**0,13**	**0,12**	**0,11**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,04	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan B miktarı (µg)	Yaprak	367,44	354,08	326,56	242,41	407,26	339,55 a
	Kök	42,94	29,06	28,01	23,66	32,85	31,31 b
	Ortalama	**205,19**	**191,57**	**177,29**	**133,04**	**220,06**	
	A $_{LSD<0.01}$	107,01	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Artan dozlarda uygulanan Pb aslanağzı bitkisinin Mn içeriğini ve kaldırılan Mn miktarını kontrole göre azaltmış, en yüksek Mn içeriği (31,831 mg kg^{-1}) Pb0 kontrol uygulamasından sağlanmış ancak etki istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Aslanağzı bitkisinin Mn içeriğinin yapraklara (19,47 mg kg^{-1}) oranla köklerde (37,69 mg kg^{-1}) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

B içeriğinin ise köklere (23,85 mg kg^{-1}) oranla yapraklarda (36,02 mg kg^{-1}) daha fazla olduğu belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Aslanağzı bitkisinin B içeriğinde ve kaldırılan B miktarında kontrole oranla azalma meydana gelirken, Pb4 dozunda kontrole oranla artış görülmüş ancak elde edilen bu değerler istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Aslanağzı bitkisinin kaldırılan Mn ve B miktarlarının köklere oranla (0,05 mg; 31,31 µg) yapraklarda (0,19 mg; 339,55 µg) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

4.3.5. Aslanağzı bitkisinin Na, Mg ve Ca içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kurşunun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök Na, Mg ve Ca içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.30'da, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.31'de sunulmuştur.

Uygulanan Pb, aslanağzı bitkisinin Na, Mg ve Ca konsantrasyonlarında kontrole oranla azalma meydana getirirken, Pb4 uygulamalarında kontrole oranla artırmış ancak elde edilen bu sonuçlar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Aslanağzı bitkisinin Na içeriğinin yapraklara (% 0,75) oranla köklerde (% 0,25) daha yüksek olduğu görülürken, Mg ve Ca içeriğinin köklere (% 0,34; % 0,41) oranla yapraklarda (% 0,64; % 0,51) daha yüksek olduğu belirlenmiş ve istatistiksel olarak öenmli bulunmuştur ($p<0,01$).

Uygulanan Pb, aslanağzı bitkisinin kaldırılan Na ve Ca miktarlarında kontrole oranla azalma meydana getirirken, Pb4 uygulamalarında kontrole oranla artış meydana getirmiştir. Kaldırılan Mg miktarında ise kontole oranla azalma meydana getirmiştir. Elde edilen bu değerler istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Çizelge 4.30. Artan dozlarda uygulanan kurşunun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök Na, Mg ve Ca içeriği üzerine etkisi

		Kurşun Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Pb0	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	**Ortalama**
Na içeriği (%)	Yaprak	0,22	0,23	0,24	0,27	0,26	0,25 b
	Kök	0,72	0,70	0,68	0,74	0,89	0,75 a
	Ortalama	**0,47**	**0,46**	**0,46**	**0,51**	**0,58**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,12	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Mg içeriği (%)	Yaprak	0,66	0,61	0,61	0,65	0,66	0,64 a
	Kök	0,35	0,34	0,30	0,29	0,40	0,34 b
	Ortalama	**0,51**	**0,47**	**0,46**	**0,47**	**0,53**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,06	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Ca içeriği (%)	Yaprak	0,51	0,44	0,49	0,52	0,58	0,51 a
	Kök	0,43	0,38	0,36	0,41	0,46	0,41 b
	Ortalama	**0,47**	**0,41**	**0,43**	**0,47**	**0,52**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,08	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Çizelge 4.31. Artan dozlarda uygulanan kurşunun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Na, Mg ve Ca miktarlarına etkisi

		Kurşun Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Pb0	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	**Ortalama**
Kaldırılan Na miktarı (mg)	Yaprak	24,37	23,02	19,96	15,73	28,37	22,29 a
	Kök	10,95	9,10	9,22	7,26	10,87	9,48 b
	Ortalama	**17,66**	**16,06**	**14,59**	**11,50**	**19,62**	
	A $_{LSD<0.01}$	6,49	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan Mg miktarı (mg)	Yaprak	72,36	61,47	61,87	56,02	71,85	64,71 a
	Kök	5,54	4,38	3,82	3,49	4,74	4,40 b
	Ortalama	**38,95**	**32,93**	**32,84**	**29,76**	**38,29**	
	A $_{LSD<0.01}$	9,31	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan Ca miktarı (mg)	Yaprak	56,72	43,85	41,98	30,98	63,47	47,40 a
	Kök	6,66	4,85	4,40	3,86	5,56	5,07 b
	Ortalama	**31,69**	**24,35**	**23,19**	**17,42**	**34,52**	
	A $_{LSD<0.01}$	13,32	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Aslanağzı bitkisinin kaldırılan Na, Mg ve Ca miktarlarının köklere oranla (9,48 mg; 4,40 mg; 5,07 mg) yapraklarda (22,29 mg; 64,71 mg; 47,40 mg) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Kurşun elementi, hücre turgoru ve hücre duvarı stabilitesini olumsuz etkilemesi, stoma hareketlerini ve yaprak alanını azaltması nedeniyle bitki su rejimini etkilediği, aynı zamanda kökler tarafından tutulması ve kök gelişimini azaltması nedeniyle bitkilerin katyon ve anyon alımını azalttığı, dolayısıyla besin alımını etkilediği belirtilmektedir (Sharma ve Dubey 2005). Denememizden elde edilen sonuçların önceki çalışmalarla uyumlu olduğu görülmüştür.

4.3.6. Aslanağzı bitkisinin N, P ve K içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kurşunun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök N, P ve K içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.32'de, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.33'te sunulmuştur.

Artan dozlarda uygulanan Pb'un aslanağzı bitkisinin N, P ve K konsantrasyonlarında kontole oranla artış meydana getirmesine rağmen elde edilen değerler istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Aslanağzı bitkisinin N ve K içeriğinin köklere (% 1,85; % 1,54) oranla yapraklarda (% 2,36; % 2,80) daha yüksek olduğu görülürken, P içeriğinin ise yapraklara (% 0,44) oranla köklerde (% 0,56) daha yüksek olduğu belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Artan dozlarda uygulanan Pb aslanağzı bitkisinin kaldırılan N, P ve K miktarlarında kontrole oranla azalma meydana getirirken, Pb4 uygulamalarında kontrole oranla artış görülmüştür. Elde edilen bu değerler istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Aslanağzı bitkisinin kaldırılan N, P ve K miktarlarının köklere oranla (21,61 mg; 7,10 mg; 18,38 mg) yapraklarda (218,28 mg; 44,00 mg; 255,62 mg) daha yüksek olduğu belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Çizelge 4.32. Artan dozlarda uygulanan kurşunun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kök N, P ve K içeriği üzerine etkisi

	Bitki kısmı	Kurşun Dozları (µM)					Ortalama
		Pb0	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	
N içeriği (%)	Yaprak	2,30	2,38	2,36	2,38	2,40	2,36 a
	Kök	1,71	1,63	1,66	2,35	1,89	1,85 b
	Ortalama	**2,00**	**2,00**	**2,00**	**2,36**	**2,14**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,39	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
P içeriği (%)	Yaprak	0,40	0,42	0,46	0,45	0,46	0,44 b
	Kök	0,56	0,50	0,55	0,58	0,61	0,56 a
	Ortalama	**0,48**	**0,46**	**0,50**	**0,52**	**0,53**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,05	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
K içeriği (%)	Yaprak	2,49	2,58	3,05	2,96	2,92	2,80 a
	Kök	1,73	1,36	1,42	1,49	1,69	1,54 b
	Ortalama	**2,11**	**1,97**	**2,24**	**2,22**	**2,31**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,27	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Çizelge 4.33. Artan dozlarda uygulanan kurşunun aslanağzı bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan N, P ve K miktarlarına etkisi

	Bitki kısmı	Kurşun Dozları (µM)					Ortalama
		Pb0	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	
Kaldırılan N miktarı (mg)	Yaprak	253,16	239,04	195,17	143,89	260,13	218,28 a
	Kök	26,71	21,02	20,57	16,94	22,81	21,61 b
	Ortalama	**139,93**	**130,03**	**107,87**	**80,41**	**141,47**	
	A $_{LSD<0.01}$	48,26	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan P miktarı (mg)	Yaprak	44,31	42,03	46,58	37,69	49,37	44,00 a
	Kök	8,54	6,44	6,26	6,94	7,31	7,10 b
	Ortalama	**26,43**	**24,24**	**26,42**	**22,31**	**28,34**	
	A $_{LSD<0.01}$	4,24	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan K miktarı (mg)	Yaprak	269,59	258,56	252,61	180,80	316,51	255,62 a
	Kök	25,88	16,74	16,58	12,45	20,24	18,38 b
	Ortalama	**147,74**	**137,65**	**134,60**	**96,63**	**168,38**	
	A $_{LSD<0.01}$	57,75	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

4.4. Kadmiyum Uygulamalarının Ateş Çiçeği (*Salvia splendens*) Bitkisinin Besin Elementi İçeriğine ve Kaldırılan Besin Elementi Miktarına Etkisi

4.4.1. Ateş Çiçeği (*Salvia splendens*) bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kadmiyumun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.34'te sunulmuştur.

Çizelge 4.34. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi üzerine etkisi

		Kadmiyum Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cd0	Cd1	Cd2	Cd3	Cd4	**Ortalama**
kuru ağırlık verimi (g)	Yaprak	2,69	3,53	2,86	2,35	2,11	2,71 a
	Kök	0,62	1,05	0,94	0,74	0,64	0,80 b
	Ortalama	**1,65**	**2,29**	**1,90**	**1,55**	**1,38**	
	$A_{LSD<0.01}$	0,68	B_{LSD}	öd	AxB_{LSD}	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlığında Cd1 ve Cd2 uygulamalarında kontrole oranla artış meydana getirirken, Cd3 ve Cd4 uygulamalarında azalma meydana getirmiştir. En yüksek kuru madde verimi (2,29 g) Cd1 uygulamasından elde edilirken, en düşük kuru madde verimi (1,38 g) ise Cd4 uygulamasında belirlenmiştir.

Ateş çiçeği bitkisinin yaprak kuru ağırlığı (2,71 g) kök kuru ağırlığına (0,80 g) oranla daha yüksek bulunmuştur ($p<0,01$). En yüksek yaprak kuru madde verimi (3,53 g) Cd1 uygulamasında, en düşük verim (2,11 g) ise Cd4 uygulamasında belirlenmiştir. En yüksek kök kuru ağırlığı (1,05 g) Cd1 uygulamasından elde edilirken, en düşük kök kuru ağırlığı (0,62 g) ise Cd0 uygulamasından sağlanmıştır.

Düşük Cd dozlarının bitkinin gelişimini teşvik edici etki yaptığı gözlenmiştir. Ancak, bitki gelişimi için mutlak gerekli element olsun veya olmasın ağır metallerin doku ve

organlardaki aşırı birikiminin bitkilerin vejetatif ve generatif organlarının gelişimini olumsuz yönde etkileyeceği, bitkilerdeki belirtilerin metalden metale değişebildiği gibi bitki türleri arasında da farklılık gösterebileceği ifade edilmiştir (Barman ve ark. 2000; Gür ve ark. 2004; Sarıyer 2017).

Yapılan önceki çalışmalarda da Cd dozunun artışı ile bitki biyokütlesinde azalma meydana geldiği bildirilmiştir (Vivek ve ark. 2001; Stolt ve ark. 2003; Milone ve ark. 2003; Çekiç 2004; Benavides ve ark. 2005; Syed ve ark. 2007; Bitiktaş 2007; Hashem ve ark. 2013; Zhang ve ark. 2014b). Kadmiyum stresi sonucunda bitki biyomasında azalmalar farklı süs bitkileri ile (Krizantem, Gladiolus ve Tagetes (Lal ve ark. 2008; *Tagetes patula* L. (Liu ve ark. 2011); *Tagetes erecta* L. (Thamayanth ve ark. 2013, Mansour ve ark. 2015) yapılan birçok araştırmada da ifade edilmiş, denememizden elde edilen sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür.

4.4.2. Ateş çiçeği bitkisinin Cd, Cr ve Pb içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kadmiyumun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Cd, Cr ve Pb içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.35'te, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.36'da sunulmuştur.

Artan dozlarda uygulanan Cd ateş çiçeği bitkisinin Cd içeriklerini ve kaldırılan Cd miktarlarını kontole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde artırmıştır ($p<0,01$). Ateş çiçeği bitkisinin en yüksek Cd içeriği (402,43 mg kg^{-1}) ve kaldırılan Cd miktarı (260,87 µg) Cd4 uygulamalarından sağlanmıştır.

Kadmiyum konsantrasyonlarının ve kaldırılan miktarlarının yapraklara (7,45 mg kg^{-1}, 20,12 mg) oranla köklerde (350,64 mg kg^{-1}; 271,30 µg) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Kadmiyum uygulamaları yaprakların ve köklerin Cd konsantrasyonlarını ve kaldırılan miktarlarını kontrole göre artırırken, elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak önemli

bulunmuştur ($p<0,01$). En yüksek Cd konsantrasyonu yapraklarda Cd3 uygulamasından (11,35 mg kg^{-1}) köklerde ise Cd4 uygulamasından (796,30 mg kg^{-1}) elde edilmiştir. Kaldırılan en yüksek Cd miktarı yapraklarda Cd1 uygulamasından (30,60 µg) köklerde ise Cd4 uygulamasından (503,72 µg) elde edilmiştir.

Çizelge 4.35. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Cd, Cr ve Pb içeriği üzerine etkisi

		Kadmiyum Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cd0	Cd1	Cd2	Cd3	Cd4	**Ortalama**
Cd içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	0,25 a A	8,48 a A	8,63 b A	11,35 b A	8,55 a A	7,45 b
	Kök	2,65 a A	177,11 a C	262,24 a C	514,89 a B	796,30 b A	350,64 a
	Ortalama	**1,45 D**	**92,79 CD**	**135,44 C**	**263,12 B**	**402,43 A**	
	A $_{LSD<0.01}$	75,85	B $_{LSD<0.01}$	119,94	AxB $_{LSD<0.01}$	169,61	
Cr içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	1,49	1,58	1,49	1,48	4,91	2,19
	Kök	3,07	3,21	2,82	4,85	3,14	3,42
	Ortalama	**2,28**	**2,39**	**2,16**	**3,17**	**4,03**	
	A $_{LSD}$	öd	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Pb içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	0,58	0,67	0,75	0,83	0,91	0,75 b
	Kök	1,91	1,56	1,66	1,73	1,65	1,70 a
	Ortalama	**1,24**	**1,12**	**1,20**	**1,28**	**1,28**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,31	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Toprakta artan Cd miktarı ile bitkilerde olumsuz etkinin başladığı ve 3 mg kg^{-1} Cd değerinden sonra olumsuz etkilerin şiddetinin daha da arttığı belirtilmektedir (Kabata-Pendias ve Pendias 1984, Daşdemir 2015). Bitki kuru maddesinde ise 1 mg kg^{-1}'dan fazla kadmiyumun toksik etkili olduğu bildirilmiştir (Özbek ve ark. 1995, Öktüren ve Sönmez 2007). Ateş çiçeği bitkisi ile yapmış olduğumuz denememizden elde edilen Cd içeriklerinin literatürlerde bildirilen toksik sınır değerinin çok üzerinde olduğu görülmüş kuru madde veriminde meydana gelen azalmalara rağmen ateş çiçeği bitkisinin yüksek Cd düzeylerinde yetişebildiği ve yüksek Cd biriktirebildiği görülmüştür.

Gerard ve ark. (2000), yaptığı çalışmada hiperakümülatör bir bitki olarak tanımlanan *Thlaspi caerulescens* L.'nin Cd konsantrasyonunu 8,7-647 mg kg^{-1} olarak belirlemiştir.

Çizelge 4.36. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Cd, Cr ve Pb miktarlarına etkisi

	Bitki kısmı	Kadmiyum Dozları (µM) Cd0	Cd1	Cd2	Cd3	Cd4	**Ortalama**
Kaldırılan Cd miktarı (µg)	Yaprak	0,67 a A	30,60 a A	24,83 b A	26,49 b A	18,02 b A	20,12 b
	Kök	1,49 a C	189,39 a BC	273,66 a B	388,24 a AB	503,72 a A	271,30 a
	Ortalama	**1,08 C**	**110,00 BC**	**149,25 AB**	**207,37 AB**	**260,87 A**	
	A $_{LSD<0.01}$	91,45	B $_{LSD<0.01}$	144,59	AxB $_{LSD<0.01}$	204,48	
Kaldırılan Cr miktarı (µg)	Yaprak	3,99	5,49	4,27	3,34	11,55	5,73
	Kök	1,88	3,30	2,82	3,25	2,01	2,65
	Ortalama	**2,94**	**4,39**	**3,55**	**3,30**	**6,78**	
	A $_{LSD}$	öd	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan Pb miktarı (µg)	Yaprak	1,62	2,57	2,35	2,08	1,93	2,11
	Kök	1,18	1,71	1,64	1,24	1,06	1,37
	Ortalama	**1,40**	**2,14**	**2,00**	**1,66**	**1,50**	
	A $_{LSD}$	öd	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Liu ve ark. (2011) benzer bir çalışmada *Tagetes patula* bitkisinin Cd konsantrasyonunu yeşil aksamda 450 mg kg^{-1} ve kökte ise 3500 mg kg^{-1} olarak bildirmişlerdir. Ateş çiçeği bitkisinin de içermiş olduğu yüksek Cd konsantrasyonlarından dolayı hiperakümülatör bitki olarak fitoremediasyonda kullanımı mümkün görülmektedir.

Ateş çiçeği bitkisinin Pb içeriği yapraklara (0,75 mg kg^{-1}) oranla köklerde (1,70 mg kg^{-1}) daha yüksek olduğu belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Artan dozlarda uygulanan Cd'un ateş çiçeği bitkisinin Cr ve Pb içeriklerine ve kaldırılan miktarlarına etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Ateş çiçeği bitkisinin köklerinde Cr ve Pb konsantrasyonları yapraklara oranla daha fazla belirlenirken kaldırılan miktarların yapraklarda daha fazla olduğu görülmüştür.

4.4.3. Ateş çiçeği bitkisinin Fe, Cu ve Zn içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kadmiyumun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Fe, Cu ve Zn içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.37'de, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.38'de sunulmuştur.

Çizelge 4.37. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Fe, Cu ve Zn içeriği üzerine etkisi

		Kadmiyum Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cd0	Cd1	Cd2	Cd3	Cd4	**Ortalama**
Fe içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	105,86	169,41	142,42	115,09	134,74	133,50 b
	Kök	769,36	1040,58	1118,09	1169,41	1227,55	1065,00 a
	Ortalama	**437,61**	**605,00**	**630,25**	**642,25**	**681,15**	
	A $_{LSD<0.01}$	187,21	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Cu içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	11,58	8,43	7,22	6,92	7,06	8,24 b
	Kök	30,05	31,36	33,74	30,75	34,55	32,09 a
	Ortalama	**20,82**	**19,89**	**20,48**	**18,83**	**20,81**	
	A $_{LSD<0.01}$	5,04	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Zn içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	45,86	30,92	24,96	24,23	19,69	29,13 a
	Kök	85,48	56,02	55,95	53,38	50,73	60,31 b
	Ortalama	**65,67 A**	**43,47 B**	**40,46 B**	**38,81 B**	**35,21 B**	
	A $_{LSD<0.01}$	11,05	B $_{LSD<0.01}$	17,47	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Artan dozlarda uygulanan Cd ateş çiçeği bitkisinin Zn içeriklerini ve kaldırılan Zn miktarlarını kontole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde azaltmıştır ($p<0,01$; $p<0,05$). Ateş çiçeği bitkisinin en yüksek Zn içeriği (65,67 mg kg^{-1}) ve kaldırılan Zn miktarı (86,95 µg) Cd0 kontrol uygulamalarından sağlanmıştır. Ateş çiçeği bitkisinin Fe içeriklerinde ve kaldırılan Fe miktarlarında kontole oranla artış meydana gelmesine rağmen istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Çizelge 4.38. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Fe, Cu ve Zn miktarlarına etkisi

		Kadmiyum Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cd0	Cd1	Cd2	Cd3	Cd4	**Ortalama**
Kaldırılan Fe miktarı (mg)	Yaprak	0,29	0,61	0,43	0,26	0,29	0,38 b
	Kök	0,48	1,09	1,19	0,87	0,78	0,88 a
	Ortalama	**0,39**	**0,85**	**0,81**	**0,57**	**0,54**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,41	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan Cu miktarı (µg)	Yaprak	31,12	29,91	22,04	15,92	14,83	22,76
	Kök	18,68	32,82	35,32	23,04	22,12	26,40
	Ortalama	**24,90**	**31,37**	**28,68**	**19,48**	**18,48**	
	A $_{LSD}$	öd	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan Zn miktarı (µg)	Yaprak	122,50	112,20	73,67	54,33	41,59	80,86 a
	Kök	51,40	58,29	56,27	40,27	32,61	47,77 b
	Ortalama	**86,95 A**	**85,25 A**	**64,97 AB**	**47,30 B**	**37,10 B**	
	A $_{LSD<0.01}$	27,78	B $_{LSD<0.05}$	32,23	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Ateş çiçeği bitkisinin Fe, Cu ve Zn içeriğinin yapraklara (133,50 mg kg^{-1}; 8,24 mg kg^{-1}; 29,13 mg kg^{-1}) oranla köklerde (1065,00 mg kg^{-1}; 32,09 mg kg^{-1}; 60,13 mg kg^{-1}) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Artan dozlarda uygulanan Cd ateş çiçeği bitkisinin kaldırılan Cu miktarlarını kontrole oranla azaltmış, elde edilen değerler istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Kaldırılan Fe miktarının yapraklara (0,38 mg) oranla köklerde (0,88 mg daha yüksek olduğu görülmüş, kaldırılan Zn miktarının ise köklere (47,77 µg) oranla yapraklarda (80,86 µg) daha yüksek olduğu belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Li ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada, ortamda artan Cd konsantrasyonu ile bitki Cd konsantrasyonunun paralel olarak arttığını, yaprak alanının azaldığını, bitkinin su içeriğinin azaldığını, artan Cd ile Fe konsantrasyonunun arttığını tespit etmişlerdir.

Kadmiyum ile demir etkileşiminin en önemli göstergesinin kadmiyumun köklerden yapraklara demir taşınımını engellemesi olduğu bildirilmiştir. Bitkinin beslenme ortamında kadmiyum bulunması halinde demir taşınımını önemli ölçüde azaltarak sürgünlerde demir eksikliğine neden olduğu belirtilmiştir. Kadmiyum ile demir arasında tek yönlü etkileşimden ziyade karşılıklı etkileşim olduğu, kadmiyumun bitkinin demir alımını zorlaştırdığı gibi demirin de aynı zamanda kadmiyumun bitki tarafından alımını ve köklerden sürgünlere taşınımını etkilediği belirtilmektedir (Siedlecka ve Krupa 1999).

Zhang ve ark. (2014c) kadmiyumun bitki gelişimi, fotosentez, besin elementleri ve Cd birikimi üzerine etkilerini araştırmak için yaptıkları çalışmada, artan Cd konsantrasyonunun kök ve gövde uzunluğunu, yaprak alanını ve uzunluğunu azalttığını, yaprak şeklini değiştirdiğini, yaprak su içeriğini artırdığını belirlemişlerdir. Kadmiyum konsantrasyonu ile paralel olarak bitkideki Cd miktarının arttığını, Zn, Mg ve Ca elementlerinin köklerde arttığını saptamışlardır.

Li ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada, ortamda artan Cd konsantrasyonu ile bitki Cd konsantrasyonunun paralel olarak arttığını, yaprak alanının azaldığını, bitkinin su içeriğinin azaldığını, artan Cd ile Fe konsantrasyonunun arttığını tespit etmişlerdir.

Kadmiyum ile demir etkileşiminin en önemli göstergesinin kadmiyumun köklerden yapraklara demir taşınımını engellemesi olduğu bildirilmiştir. Bitkinin beslenme ortamında kadmiyum bulunması halinde demir taşınımını önemli ölçüde azaltarak sürgünlerde demir eksikliğine neden olduğu belirtilmiştir. Kadmiyum ile demir arasında tek yönlü etkileşimden ziyade karşılıklı etkileşim olduğu, kadmiyumun bitkinin demir alımını zorlaştırdığı gibi demirin de aynı zamanda kadmiyumun bitki tarafından alımını ve köklerden sürgünlere taşınımını etkilediği belirtilmektedir (Siedlecka ve Krupa 1999).

Zhang ve ark. (2014c) kadmiyumun bitki gelişimi, fotosentez, besin elementleri ve Cd birikimi üzerine etkilerini araştırmak için yaptıkları çalışmada, artan Cd konsantrasyonunun kök ve gövde uzunluğunu, yaprak alanını ve uzunluğunu azalttığını, yaprak şeklini değiştirdiğini, yaprak su içeriğini artırdığını belirlemişlerdir. Kadmiyum

konsantrasyonu ile paralel olarak bitkideki Cd miktarının arttığını, Zn, Mg ve Ca elementlerinin köklerde arttığını saptamışlardır.

4.4.4. Ateş çiçeği bitkisinin Mn ve B içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kadmiyumun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Mn ve B içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.39'da, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.40'ta sunulmuştur.

Çizelge 4.39. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Mn ve B içeriği üzerine etkisi

		Kadmiyum Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cd0	Cd1	Cd2	Cd3	Cd4	**Ortalama**
Mn içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	20,94	13,37	15,00	10,12	8,81	13,65
	Kök	13,36	14,47	17,09	13,24	14,84	14,60
	Ortalama	**17,15**	**13,92**	**16,05**	**11,68**	**11,82**	
	A $_{LSD}$	öd	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
B içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	35,01	38,88	37,09	29,38	28,98	33,87
	Kök	31,20	31,66	32,93	28,70	33,88	31,68
	Ortalama	**33,10**	**35,27**	**35,01**	**29,04**	**31,43**	
	A $_{LSD}$	öd	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Artan dozlarda uygulanan Cd'un aslanağzı bitkisinin Mn içeriği ve kaldırılan Mn miktarını kontole oranla azaltmasına rağmen elde edilen değerler istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Ateş çiçeği bitkisinin B içeriğinin ve kaldırılan B miktarının kontrole göre artış gösterdiği ancak, Cd3 ve Cd4 dozlarında kontrole göre azaldığı görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Aslanağzı bitkisinin kaldırılan Mn ve B miktarlarının köklere (0,01 mg; 25,77 µg) oranla yapraklarda (0,04 mg; 94,24 µg) daha yüksek olduğu belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Çizelge 4.40. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Mn ve B miktarlarına etkisi

		Kadmiyum Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cd0	Cd1	Cd2	Cd3	Cd4	**Ortalama**
Kaldırılan Mn miktarı (mg)	Yaprak	0,06	0,05	0,05	0,02	0,02	0,04 a
	Kök	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01 b
	Ortalama	**0,03**	**0,03**	**0,03**	**0,02**	**0,02**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,02	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan B miktarı (µg)	Yaprak	94,96	137,37	110,09	67,78	60,99	94,24 a
	Kök	19,76	32,89	33,13	21,45	21,65	25,77 b
	Ortalama	**57,36**	**85,13**	**71,61**	**44,62**	**41,32**	
	A $_{LSD<0.01}$	28,63	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

4.4.5. Ateş çiçeği bitkisinin Na, Mg ve Ca içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kadmiyumun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Na, Mg ve Ca içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.41'de, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.42'de sunulmuştur.

Artan dozlarda uygulanan Cd ateş çiçeği bitkisinin Na içeriğini kontrole göre istatistiksel olarak önemli düzeyde azaltmıştır ($p<0,01$). En yüksek Na içeriği (% 0,73) Cd0 kontrol uygulamasından elde edilmiştir.

Ateş çiçeği bitkisinin Na içeriğinin köklere (% 0,37) oranla yapraklarda (% 0,85) daha yüksek olduğu belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$). Ateş çiçeği bitkisinin Mg içeriğinin ise yapraklara (% 0,60) oranla köklerde (% 0,89) daha yüksek olduğu belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Çizelge 4.41. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Na, Mg ve Ca içeriği üzerine etkisi

		Kadmiyum Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cd0	Cd1	Cd2	Cd3	Cd4	**Ortalama**
Na içeriği (%)	Yaprak	0,96	0,83	0,83	0,81	0,80	0,85 a
	Kök	0,49	0,37	0,36	0,31	0,31	0,37 b
	Ortalama	**0,73 A**	**0,60 B**	**0,60 B**	**0,56 B**	**0,56 B**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,08	B $_{LSD<0.01}$	0,12	AxB $_{LSD}$	öd	
Mg içeriği (%)	Yaprak	0,65	0,62	0,62	0,60	0,53	0,60 b
	Kök	0,92	0,83	0,84	0,95	0,92	0,89 a
	Ortalama	**0,78**	**0,72**	**0,73**	**0,78**	**0,73**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,07	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Ca içeriği (%)	Yaprak	0,88 a A	0,82 a A	0,73 a A	0,75 a A	0,66 b A	0,77
	Kök	0,59 b C	0,70 a BC	0,71 a BC	0,89 a AB	1,04 a A	0,79
	Ortalama	**0,73**	**0,76**	**0,72**	**0,82**	**0,85**	
	A $_{LSD}$	öd	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD<0.01}$	0,27	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Çizelge 4.42. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Na, Mg ve Ca miktarlarına etkisi

		Kadmiyum Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cd0	Cd1	Cd2	Cd3	Cd4	**Ortalama**
Kaldırılan Na miktarı (mg)	Yaprak	25,65	28,49	23,62	18,30	16,99	22,61 a
	Kök	3,11	3,96	3,60	2,34	1,97	3,00 b
	Ortalama	**14,38**	**16,22**	**13,61**	**10,32**	**9,48**	
	A $_{LSD<0.01}$	4,57	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan Mg miktarı (mg)	Yaprak	17,26	21,84	17,60	13,65	11,16	16,30 a
	Kök	5,63	8,49	8,08	7,03	5,89	7,03 b
	Ortalama	**11,45**	**15,17**	**12,84**	**10,34**	**8,53**	
	A $_{LSD<0.01}$	4,13	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan Ca miktarı (mg)	Yaprak	23,32	28,52	20,53	17,65	13,88	20,78 a
	Kök	3,64	7,09	7,17	6,60	6,58	6,21 b
	Ortalama	**13,48**	**17,80**	**13,85**	**12,13**	**10,23**	
	A $_{LSD<0.01}$	4,86	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Kadmiyum uygulamaları yaprakların Ca konsantrasyonunu kontrole göre istatistiksel olarak önemli düzeyde azaltmış, köklerin Ca konsantrasyonunu kontrole göre istatistiksel olarak önemli düzeyde artırmıştır ($p<0,01$). En yüksek Ca konsantrasyonu yapraklarda Cd0 kontrol uygulamasından (% 0,88); köklerde ise Cd4 uygulamasından (% 1,04) elde edilmiştir.

Belkhadi ve ark. (2010), Cd uygulaması ile bitkide K, Ca, Mg, ve Fe konsantrasyonlarının azaldığını belirtmiştir. Artan Cd dozları ile bitkilerin Fe, Cu ve Zn içeriklerinde azalma Cd ile antagonistik ilişkinin bir göstergesi olarak düşünülmektedir (Zhang ve ark. 2014b). Benavides ve ark. (2005) de kadmiyumun K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, elementleri ile rekabet halinde olduğunu saptamıştır. Denememizden elde edilen sonuçların önceki çalışmalarla uyumlu olduğu görülmüştür.

Ateş çiçeği bitkisinin kaldırılan Na, Mg, ve Ca miktarlarının köklere (3,00 mg; 7,03 mg; 6,21 mg) oranla yapraklarda (22,61 mg, 16,30 mg; 20,78) daha yüksek olduğu belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

4.4.6. Ateş çiçeği bitkisinin N, P ve K içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kadmiyumun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök N, P ve K içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.43'te, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.44'te sunulmuştur.

Artan dozlarda uygulanan Cd ateş çiçeği bitkisinin N ve K içeriğini kontrole göre istatistiksel olarak önemli düzeyde azaltmıştır ($p<0,01$). En yüksek N (% 2,98) ve K içeriği (% 2,80) Cd0 kontrol uygulamasından elde edilmiştir. Ateş çiçeği bitkisinin P içeriklerinde kontrole oranla azalma meydana gelmesine rağmen Cd 4 dozunda artış sağlanmış ancak istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Ateş çiçeği bitkisinin N ve K içeriğinin köklere (% 2,30; % 1,57) oranla yapraklarda (% 3,05; % 3,16) daha yüksek olduğu belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur

(p<0,01). Ateş çiçeği bitkisinin P içeriğinin ise yapraklara (% 0,46) oranla köklerde (% 0,53) daha yüksek olduğu belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p<0,01).

Çizelge 4.43. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök N, P ve K içeriği üzerine etkisi

		Kadmiyum Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cd0	Cd1	Cd2	Cd3	Cd4	**Ortalama**
N içeriği (%)	Yaprak	3,55	3,06	2,92	3,01	2,70	3,05 a
	Kök	2,41	2,27	2,32	2,42	2,06	2,30 b
	Ortalama	**2,98 A**	**2,67 B**	**2,62 BC**	**2,71 AB**	**2,38 C**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,17	B $_{LSD<0.01}$	0,28	AxB $_{LSD}$	öd	
P içeriği (%)	Yaprak	0,54 a A	0,47 a AB	0,44 a AB	0,44 a AB	0,40 b B	0,46 b
	Kök	0,48 a B	0,47 a B	0,50 a B	0,56 a AB	0,64 a A	0,53 a
	Ortalama	**0,51**	**0,47**	**0,47**	**0,50**	**0,52**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,06	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD<0.01}$	0,13	
K içeriği (%)	Yaprak	3,67	3,19	3,02	3,10	2,82	3,16 a
	Kök	1,92	1,53	1,63	1,47	1,23	1,57 b
	Ortalama	**2,80 A**	**2,36 B**	**2,32 B**	**2,28 B**	**2,03 B**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,25	B $_{LSD<0.01}$	0,40	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Artan dozlarda uygulanan Cd ateş çiçeği bitkisinin yapraklarının P içeriğinde kontrole göre azalma meydana getirmiştir. Köklerin P içeriğinde ise kontrole göre Cd1 dozunda azalma meydana gelirken, Cd dozunun artmasıyla kontrole göre artış görülmüş, elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p<0,01). En yüksek P içeriği yapraklarda (% 0,54) Cd0 kontrol uygulamasından, köklerde ise (% 0,64) Cd4 uygulamasından elde edilmiştir.

Uygulanan Cd ateş çiçeği bitkisinin kaldırılan K miktarını kontrole göre Cd1 dozunda artırırken, Cd dozunun artmasıyla kontrole göre azaltmıştır ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p<0,05). En yüksek kaldırılan K miktarı (63,45 mg) Cd1 uygulamasından elde edilmiştir.

Çizelge 4.44. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan N, P ve K miktarlarına etkisi

		Kadmiyum Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cd0	Cd1	Cd2	Cd3	Cd4	**Ortalama**
Kaldırılan N miktarı (mg)	Yaprak	94,52	107,25	82,85	69,77	57,24	82,33 a
	Kök	14,84	23,30	20,91	17,95	13,17	18,04 b
	Ortalama	**54,68**	**65,28**	**51,88**	**43,86**	**35,20**	
	A $_{LSD<0.01}$ 17,90	B $_{LSD}$ öd		AxB $_{LSD}$ öd			
Kaldırılan P miktarı (mg)	Yaprak	14,41	16,51	12,87	10,10	8,44	12,47 a
	Kök	2,98	4,82	4,78	4,15	4,10	4,17 b
	Ortalama	**8,70**	**10,66**	**8,83**	**7,12**	**6,27**	
	A $_{LSD<0.01}$ 3,16	B $_{LSD}$ öd		AxB $_{LSD}$ öd			
Kaldırılan K miktarı (mg)	Yaprak	97,35	110,58	85,05	70,95	60,08	84,81 a
	Kök	11,69	16,32	15,33	11,04	7,97	12,47 b
	Ortalama	**54,52 AB**	**63,45 A**	**50,19 ABC**	**41,00 BC**	**34,03 C**	
	A $_{LSD<0.01}$ 16,58	B $_{LSD<0.05}$ 19,23		AxB $_{LSD}$ öd			

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Ateş çiçeği bitkisinin kaldırılan N, P, ve K miktarlarının köklere (18,04 mg; 4,17 mg; 12,47 mg) oranla yapraklarda (82,33 mg, 12,47 mg; 84,81) daha yüksek olduğu belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Kadmiyumun köklerde birikimi, kök gelişimini olumsuz yönde etkilemiş, bu durum azot miktarlarına da yansımış, köklere oranla yapraklarda azotun daha fazla bulunduğu ve yapraklardan daha fazla azotun kaldırıldığı tespit edilmiştir. Benavides ve ark. (2005) kadmiyumun bitki için gerekli olmadığını, bitkinin gelişimini olumsuz etkilediğini ve K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Ni elementleri ile rekabet halinde olduğunu saptamışlardır. Bitiktaş (2007) yaptığı araştırmada bitkilerin köklerinin ağır metallerden zarar görmesi üzerine bitki besin maddelerini alamadıklarını belirtmiştir. Belkhadi ve ark. (2010) da Cd uygulaması ile bitkide K konsantrasyonlarının azaldığını bildirmiş, yapmış olduğumuz çalışmada da benzer olarak kadmiyumun potasyum alımını olumsuz yönde etkilediği görülmüştür.

4.5. Krom Uygulamalarının Ateş Çiçeği (*Salvia splendens*) Bitkisinin Besin Elementi İçeriğine ve Kaldırılan Besin Elementi Miktarına Etkisi

4.5.1. Ateş Çiçeği (*Salvia splendens*) bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kromun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.45'te sunulmuştur.

Çizelge 4.45. Artan dozlarda uygulanan kromun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi üzerine etkisi

		Krom Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cr0	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	**Ortalama**
kuru ağırlık verimi (g)	Yaprak	3,75 a A	4,15 a A	3,29 a AB	2,58 a B	1,20 a C	2,99 a
	Kök	1,05 b A	1,25 b A	0,79 b A	0,71 b A	0,36 a A	0,83 b
	Ortalama	**2,40 AB**	**2,70 A**	**2,04 AB**	**1,65 B**	**0,78 C**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,55	B $_{LSD<0.01}$	0,86	AxB $_{LSD<0.05}$	0,89	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Artan dozlarda uygulanan krom ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlığında Cr1 uygulamasında kontrole oranla artış meydana getirirken, Cr dozunun artmasıyla kontrole oranla azalma görülmüştür ($p<0,01$). En yüksek kuru madde verimi (2,70 g) Cr1 uygulamasından elde edilirken, en düşük kuru madde verimi (0,78 g) ise Cr4 uygulamasında belirlenmiştir.

Artan Cr dozlarının bitkinin gelişimine olumsuz etki yaptığı gözlenmiştir. Krom'un kök hücrelerinin bölünme ve uzamasını engelleyerek kök gelişimini engellediği, bu durumun topraktan alınan bitki besin maddesi ve suyun azalmasına yol açtığı, bitki büyüme ve gelişmesini olumsuz yönde etkileyerek verim ve kalitede önemli düzeyde azalma görüldüğü belirtilmiştir (Khan ve ark. 2000).

Ateş çiçeği bitkisinin yaprak kuru ağırlığı (2,99 g) kök kuru ağırlığına (0,83 g) oranla daha yüksek bulunmuştur ($p<0,01$). En yüksek yaprak kuru madde verimi (4,15 g) Cr1

uygulamasında, en düşük verim (1,20 g) ise Cr4 uygulamasında belirlenmiştir. En yüksek kök kuru ağırlığı (1,25 g) Cr1 uygulamasından elde edilirken, en düşük kök kuru ağırlığı (0,36 g) ise Cr4 uygulamasından elde dilmiştir ($p<0,05$).

4.5.2. Ateş çiçeği bitkisinin Cd, Cr ve Pb içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kromun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Cd, Cr ve Pb içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.46'da, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.47'de sunulmuştur.

Çizelge 4.46. Artan dozlarda uygulanan kromun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Cd, Cr ve Pb içeriği üzerine etkisi

		Krom Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cr0	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	**Ortalama**
Cd içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	0,25 b A	1,00 b A	0,25 b A	0,25 a A	0,25 b A	0,40 b
	Kök	3,00 a B	5,14 a A	3,14 a B	1,41 a C	1,65 a C	2,87 a
	Ortalama	**1,63 B**	**3,07 A**	**1,70 B**	**0,83 B**	**0,95 B**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,78	B $_{LSD<0.01}$	1,23	AxB $_{LSD<0.05}$	1,28	
Cr içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	1,40 a A	5,31 a A	15,95 b A	33,89 b A	63,79 b A	24,07 b
	Kök	3,33 a D	206,93 a D	756,85 a C	1203,14 a B	1805,78 a A	795,21 a
	Ortalama	**2,37 D**	**106,12 D**	**386,40 C**	**618,51 B**	**934,78 A**	
	A $_{LSD<0.01}$	116,72	B $_{LSD<0.01}$	184,55	AxB $_{LSD<0.01}$	261,00	
Pb içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	0,50 b A	0,75 b A	0,99 b A	1,07 a A	1,08 a A	0,88 b
	Kök	1,67 a B	2,65 a A	1,74 a B	1,08 a B	1,74 a B	1,78 a
	Ortalama	**1,08**	**1,70**	**1,37**	**1,08**	**1,41**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,43	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD<0.05}$	0,71	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Allen (1989)'e göre, bitkilerde bulunmasına izin verilebilen Cr konsantrasyonu 0,05 – 0,5 mg kg^{-1} olarak bildirilmiştir. FAO/WHO'nun bitkilerde kabul ettiği Cr sınır değeri 0,5 mg kg^{-1}'dır. Krom zehirlenmesi belirtilerinin görüldüğü bitki yapraklarında Cr miktarının 1 ile 4 mg kg^{-1} arasında değiştiği, bitki köklerinde ise bu miktarın daha fazlasının bulunduğu saptanmıştır (Wallace ve ark 1976). Ateş çiçeği bitkisininde içermiş olduğu

yüksek Cr konsantrasyonlarından dolayı hiperakümülatör bitki olarak fitoremediasyonda kullanımı mümkün görülmektedir.

Çizelge 4.47. Artan dozlarda uygulanan kromun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Cd, Cr ve Pb miktarlarına etkisi

		Krom Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cr0	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	**Ortalama**
Kaldırılan Cd miktarı (µg)	Yaprak	0,93	4,36	0,82	0,64	0,30	1,41 b
	Kök	3,18	6,66	2,32	0,99	0,59	2,75 a
	Ortalama	**2,05 B**	**5,51 A**	**1,57 B**	**0,82 B**	**0,45 B**	
	A $_{LSD<0.05}$	1,05	B $_{LSD<0.01}$	2,72	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan Cr miktarı (µg)	Yaprak	5,31 a A	28,83 a A	53,01 b A	87,49 b A	78,10 b A	49,55 b
	Kök	3,48 a D	268,41 a C	598,77 a B	859,87 a A	664,40 a AB	478,99 a
	Ortalama	**4,40 B**	**146,12 B**	**325,89 A**	**473,68 A**	**371,25 A**	
	A $_{LSD<0.01}$	110,04	B $_{LSD<0.01}$	173,99	AxB $_{LSD<0.01}$	246,06	
Kaldırılan Pb miktarı (µg)	Yaprak	1,86	2,88	3,26	2,85	1,30	2,43 a
	Kök	1,73	3,61	1,38	0,77	0,60	1,62 b
	Ortalama	**1,79 AB**	**3,25 A**	**2,32 AB**	**1,81 AB**	**0,95 B**	
	A $_{LSD<0.05}$	0,74	B $_{LSD<0.01}$	1,58	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Artan dozlarda uygulanan Cr ateş çiçeği bitkisinin Cr içeriklerini ve kaldırılan Cr miktarlarını kontrole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde artırmıştır ($p<0,01$). Ateş çiçeği bitkisinin en yüksek Cr içeriği (934,78 mg kg^{-1}) Cr4 dozundan ve kaldırılan Cr miktarı (473,68 mg) Cr3 dozundan sağlanmıştır.

Krom konsantrasyonlarının ve kaldırılan miktarlarının yapraklara (24,07 mg kg^{-1}; 49,55 µg) oranla köklerde (795,21 mg kg^{-1}; 478,99 µg) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Krom uygulamaları yaprakların ve köklerin Cr konsantrasyonlarını ve kaldırılan miktarlarını kontrole göre istatistiksel olarak önemli düzeyde artırmıştır ($p<0,01$). En yüksek Cr konsantrasyonu yapraklarda Cr4 uygulamasından (63,79 mg kg^{-1}); köklerde Cr4 uygulamasından (1805,78 mg kg^{-1}) elde edilmiştir. En yüksek kaldırılan Cr miktarı

yapraklarda Cr3 uygulamasından (87,49 µg); köklerde ise Cr3 uygulamasından (859,87 µg) elde edilmiştir.

Ateş çiçeği bitkisinin Cd içeriklerinde ve kaldırılan Cd miktarlarında kontrole oranla Cr1 dozlarında artış meydana gelirken, Cr dozunun artmasıyla birlikte kontrole oranla azalma meydana gelmiştir ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$). Ateş çiçeği bitkisinin en yüksek Cd içeriği (3,07 mg kg^{-1}) ve kaldırılan Cd miktarı (5,51 µg) Cr1 dozundan sağlanmıştır.

Kadmiyum konsantrasyonlarının ve kaldırılan miktarlarının yapraklara (0,40 mg kg^{-1}, 1,41 µg) oranla köklerde (2,87 mg kg^{-1}; 2,75 µg) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Artan dozlarda uygulanan Cr ateş çiçeği bitkisinin kaldırılan Pb miktarında kontrole oranla artış meydana getirirken Cr4 uygulamasında kontrole oranla azalma meydana getirmiştir ($p<0,01$). Kromun ateş çiçeği bitkisinin Pb içeriğini kontrole oranla artırmasına rağmen istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. En yüksek Pb içeriği (1,70 mg kg^{-1}) ve kaldırılan Pb miktarı (3,25 µg) Cr1 dozundan sağlanmıştır.

Ateş çiçeği bitkisinin kurşun konsantrasyonlarının yapraklara (0,88 mg kg^{-1}) oranla köklerde (1,78 mg kg^{-1}) daha yüksek olduğu görülmüştür. Kaldırılan Pb miktarlarının ise köklere (1,62 µg) oranla yapraklarda (2,43 µg) daha yüksek olduğu görülmüştür. Elde edilen bu değerler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$; $p<0,05$).

4.5.3. Ateş çiçeği bitkisinin Fe, Cu ve Zn içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kromun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Fe, Cu ve Zn içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.48'de, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.49'da sunulmuştur.

Çizelge 4.48. Artan dozlarda uygulanan kromun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Fe, Cu ve Zn içeriği üzerine etkisi

	Bitki kısmı	Krom Dozları (µM) Cr0	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	**Ortalama**
Fe içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	129,05	127,59	117,61	139,19	135,62	129,81 b
	Kök	881,00	844,96	1004,02	864,23	1011,22	921,09 a
	Ortalama	**505,03**	**486,28**	**560,82**	**501,71**	**573,42**	
	A $_{LSD<0.01}$	108,09	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Cu içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	12,07	11,41	7,22	8,08	9,69	9,69 b
	Kök	31,12	32,03	31,65	29,38	28,20	30,47 a
	Ortalama	**21,60**	**21,72**	**19,43**	**18,73**	**18,94**	
	A $_{LSD<0.01}$	3,45	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Zn içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	43,35 a A	44,20 a A	26,09 b B	28,18 b B	29,10 b B	34,19 b
	Kök	56,44 a A	51,51 a A	62,40 a A	53,89 a A	56,90 a A	56,23 a
	Ortalama	**49,90**	**47,86**	**44,25**	**41,04**	**43,00**	
	A $_{LSD<0.01}$	5,93	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD<0.01}$	13,26	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Çizelge 4.49. Artan dozlarda uygulanan kromun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Fe, Cu ve Zn miktarlarına etkisi

	Bitki kısmı	Krom Dozları (µM) Cr0	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	**Ortalama**
Kaldırılan Fe miktarı (mg)	Yaprak	0,49	0,57	0,39	0,36	0,17	0,39 b
	Kök	0,94	1,12	0,80	0,62	0,37	0,77 a
	Ortalama	**0,72 AB**	**0,84 A**	**0,59 ABC**	**0,49 BC**	**0,27 C**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,30	B $_{LSD<0.05}$	0,35	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan Cu miktarı (µg)	Yaprak	45,09	47,84	24,00	20,59	11,79	29,86
	Kök	32,90	42,37	25,18	21,03	10,33	26,37
	Ortalama	**39,00 AB**	**45,11 A**	**24,59 BC**	**20,81 BC**	**11,06 C**	
	A $_{LSD}$	öd	B $_{LSD<0.01}$	18,49	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan Zn miktarı (µg)	Yaprak	160,96 a A	180,63 a A	85,67 a B	71,98 a BC	34,87 a C	106,82 a
	Kök	58,93 b A	64,12 b A	49,83 a A	38,25 a A	20,53 a A	46,33 b
	Ortalama	**109,94 A**	**122,38 A**	**67,75 B**	**55,12 BC**	**27,70 C**	
	A $_{LSD<0.01}$	21,75	B $_{LSD<0.01}$	34,38	AxB $_{LSD<0.01}$	48,63	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Artan Cr dozları ile ateş çiçeği bitkisinin Cu ve Zn konsantrasyonlarını kontrole oranla azalttığı görülmesine rağmen istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. En yüksek Cu konsantrasyonu (21,72 mg kg^{-1}) Cr1 uygulamasından, en yüksek Zn konsantrasyonu (49,90 mg kg^{-1}) ise Cr0 kontrol uygulamasından elde edilmiştir.

Ateş çiçeği bitkisinin Fe, Cu ve Zn konsantrasyonlarının yapraklara oranla sırasıyla (129,81 mg kg^{-1}; 9,69 mg kg^{-1}; 34,19 mg kg^{-1}) köklerde (921,09 mg kg^{-1}; 30,47 mg kg^{-1}; 56,23 mg kg^{-1}) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Artan dozlarda uygulanan Cr ile ateş çiçeği bitkisinin kaldırılan Fe, Cu ve Zn miktarlarında kontrole oranla Cr1 dozlarında artış meydana gelirken, Cr dozlarının artmasıyla azalma olmuştur ($p<0,05$; $p<0,01$; $p<0,01$). En yüksek kaldırılan Fe, Cu ve Zn miktarı (0,84 mg; 45,11 µg; 122,38 µg) Cr1 uygulamalarından elde edilmiştir.

Yaprakların ve köklerin kaldırılan Zn miktarlarında Cr1 dozunda kontrole göre artış meydana gelirken, Cr dozunun artmasıyla azalma görülmüştür. Elde edilen değerler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$). En yüksek kaldırılan Pb miktarı yapraklarda (180,61 µg) ve köklerde (64,12 µg) Cr1 uygulamasından elde edilmiştir.

Ateş çiçeği bitkisinin kaldırılan Fe miktarının yapraklara (0,39 mg) oranla köklerde (0,77 mg) daha yüksek olduğu görülürken; kaldırılan Zn miktarlarının köklere (46,33 µg) oranla yapraklarda (106,82 µg) daha yüksek olduğu görülmüş ve elde edilen bu değerler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

4.5.4. Ateş çiçeği bitkisinin Mn ve B içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kromun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Mn ve B içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.50'de, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.51'de sunulmuştur.

Çizelge 4.50. Artan dozlarda uygulanan kromun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Mn ve B içeriği üzerine etkisi

	Bitki kısmı	Krom Dozları (µM) Cr0	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	**Ortalama**
Mn içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	24,27 a AB	34,87 a A	13,31 a B	15,23 a B	14,91 a B	20,52
	Kök	12,08 a A	12,92 b A	20,98 a A	22,47 a A	23,35 a A	18,36
	Ortalama	**18,18**	**23,90**	**17,14**	**18,85**	**19,13**	
	A $_{LSD}$	öd	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD<0.01}$	12,48	
B içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	39,86 a A	34,94 a A	24,25 b B	17,42 b B	15,97 b B	26,49 b
	Kök	33,18 a A	34,24 a A	40,03 a A	32,57 a A	37,92 a A	35,59 a
	Ortalama	**36,52 A**	**34,59 B**	**32,14 AB**	**24,99 C**	**26,95 BC**	
	A $_{LSD<0,01}$	3,99	B $_{LSD<0.01}$	6,31	AxB $_{LSD<0.01}$	8,92	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Çizelge 4.51. Artan dozlarda uygulanan kromun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Mn ve B miktarlarına etkisi

	Bitki kısmı	Krom Dozları (µM) Cr0	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	**Ortalama**
Kaldırılan Mn miktarı (mg)	Yaprak	0,09 a B	0,16 a A	0,04 a BC	0,04 a BC	0,02 a C	0,71 a
	Kök	0,01 b A	0,02 b A	0,02 a A	0,02 a A	0,01 a A	0,02 b
	Ortalama	**0,05 AB**	**0,09 A**	**0,03 B**	**0,03 B**	**0,02 B**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,04	B $_{LSD<0.05}$	0,04	AxB $_{LSD<0.05}$	0,06	
Kaldırılan B miktarı (µg)	Yaprak	149,56 a A	150,28 a A	80,02 a B	44,38 a BC	19,43 a C	88,73 a
	Kök	34,80 b A	43,90 b A	31,52 a A	23,35 a A	13,50 a A	29,42 b
	Ortalama	**92,18 AB**	**97,09 A**	**55,77 BC**	**33,87 C**	**16,46 C**	
	A $_{LSD<0.01}$	25,55	B $_{LSD<0.01}$	40,41	AxB $_{LSD<0.01}$	57,14	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Artan dozlarda uygulanan Cr ateş çiçeği bitkisinin yapraklarının Mn içeriğinde kontrole göre Cr1 dozunda artış meydana getirirken Cr dozunun artmasıyla birlikte azalma görülmüştür. Krom uygulamaları ateş çiçeği bitkisinin köklerinin Mn içerğinde kontrole göre artış meydana getirmiştir. Elde edilen bu değerler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$). En yüksek Mn içeriği yapraklarda (34,87 mg kg^{-1}) Cr1 uygulamasından, köklerde ise (23,35 mg kg^{-1}) Cr4 uygulamasından elde edilmiştir.

Krom uygulamaları ateş çiçeği bitkisinin B içeriğini kontrole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde azaltmıştır ($p<0,01$). En yüksek B içeriği (36,52 mg kg^{-1}) Cr0 kontrol uygulamasından elde edilmiştir.

Ateş çiçeği bitkisinde krom uygulamaları yaprakların B konsantrasyonunu kontrole göre azaltırken, köklerin B konsantrasyonunu kontrole göre artırmıştır ($p<0,01$). En yüksek B konsantrasyonu yapraklarda Cr0 kontrol uygulamasından (39,86 mg kg^{-1}); köklerde ise Cd2 uygulamasından (40,03 mg kg^{-1}) elde edilmiştir.

Ateş çiçeği bitkisinin B konsantrasyonu yapraklara oranla (26,49 mg kg^{-1}) köklerde (35,59 mg kg^{-1}) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Artan Cr dozları ile ateş çiçeği bitkisinin kaldırılan Mn ve B miktarlarında kontrole oranla Cr1 dozunda artış meydana gelirken Cr dozlarının artmasıyla azalma meydana gelmiştir ve elde edilen bu değerler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$; $p<0,01$). En yüksek kaldırılan Mn ve B miktarı (0,09 mg; 97,07 µg) Cr1 uygulamalarından elde edilmiştir.

Ateş çiçeği bitkisinin kaldırılan Mn ve B miktarlarının köklere (0,02 mg; 29,42 µg) oranla yapraklarda (0,71 mg; 88,73 µg) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

4.5.5. Ateş çiçeği bitkisinin Na, Mg ve Ca içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kromun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Na, Mg ve Ca içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.52'de, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.53'te sunulmuştur.

Çizelge 4.52. Artan dozlarda uygulanan kromun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Na, Mg ve Ca içeriği üzerine etkisi

		Krom Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cr0	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	**Ortalama**
Na içeriği (%)	Yaprak	0,92	0,92	0,87	0,70	0,72	0,83 a
	Kök	0,50	0,56	0,49	0,36	0,38	0,46 b
	Ortalama	**0,71 A**	**0,74 A**	**0,68 A**	**0,53 B**	**0,55 B**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,05	B $_{LSD<0.01}$	0,08	AxB $_{LSD}$	öd	
Mg içeriği (%)	Yaprak	0,68	0,63	0,60	0,55	0,58	0,61 b
	Kök	0,91	0,84	0,87	0,80	0,86	0,86 a
	Ortalama	**0,80 A**	**0,74 AB**	**0,74 AB**	**0,67 B**	**0,72 B**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,04	B $_{LSD<0.01}$	0,07	AxB $_{LSD}$	öd	
Ca içeriği (%)	Yaprak	0,93 a A	0,94 a A	0,68 b B	0,62 b B	0,56 b B	0,75 b
	Kök	0,62 b C	0,56 b C	0,93 a B	0,95 a B	1,17 a A	0,85 a
	Ortalama	**0,77**	**0,75**	**0,81**	**0,79**	**0,87**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,08	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD<0.01}$	0,17	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Çizelge 4.53. Artan dozlarda uygulanan kromun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Na, Mg ve Ca miktarlarına etkisi

		Krom Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cr0	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	**Ortalama**
Kaldırılan Na miktarı (mg)	Yaprak	34,31 a A	37,73 a A	28,65 a A	17,98 a B	8,64 a B	25,46 a
	Kök	5,33 b A	7,14 b A	3,84 b A	2,58 b A	1,38 a A	4,05 b
	Ortalama	**19,82 A**	**22,43 A**	**16,24 AB**	**10,28 BC**	**5,01 C**	
	A $_{LSD<0.01}$	4,27	B $_{LSD<0.01}$	6,74	AxB $_{LSD<0.01}$	9,54	
Kaldırılan Mg miktarı (mg)	Yaprak	25,60 a A	25,47 a A	19,71 a B	14,02 a C	7,03 a D	18,37 a
	Kök	9,59 b A	10,48 b A	6,92 b AB	5,69 b AB	3,11 a B	7,16 b
	Ortalama	**17,60 A**	**17,98 A**	**13,32 AB**	**9,86 BC**	**5,07 C**	
	A $_{LSD<0.01}$	3,22	B $_{LSD<0.01}$	5,08	AxB $_{LSD<0.05}$	5,27	
Kaldırılan Ca miktarı (mg)	Yaprak	34,91 a A	38,42 a A	22,52 a B	15,96 a BC	6,72 a C	23,71 a
	Kök	6,44 b A	7,04 b A	7,38 b A	6,82 a A	4,30 a A	6,40 b
	Ortalama	**20,68 AB**	**22,73 A**	**14,95 BC**	**11,39 CD**	**5,51 D**	
	A $_{LSD<0.01}$	4,20	B $_{LSD<0.01}$	6,65	AxB $_{LSD<0.01}$	9,40	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Uygulanan Cr ateş çiçeği bitkisinin Na içeriğinde kontrole göre Cr1 dozunda artış meydana gelirken, Cr dozunun artmasıyla azalma olmuştur ($p<0,01$). En yüksek Na içeriği (% 0,74) Cr1 uygulamasından elde edilmiştir.

Artan Cr dozları ateş çiçeği bitkisinin Mg içeriğini kontrole göre istatistiksel olarak önemli düzeyde azaltmıştır ($p<0,01$). En yüksek Mg içeriği (% 0,80) Cr0 kontrol uygulamasından elde edilmiştir.

Uygulanan Cr ateş çiçeği bitkisinin yapraklarının Ca içeriğinde kontrole göre Cr1 dozunda artış sağlanırken, Cr dozlarının artmasıyla azalma meydana gelmiştir. Krom uygulamaları ateş çiçeği bitkisinin köklerinin Ca içerğinde kontrole göre Cr1 dozunda azalma, Cr dozunun artmasıyla artış meydana getirmiştir. Elde edilen bu değerler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$). En yüksek Ca içeriği yapraklarda (% 0,94) Cr1 uygulamasından, köklerde ise (% 1,17) Cr4 uygulamasından elde edilmiştir.

Ateş çiçeği bitkisinin Mg ve Ca konsantrasyonlarının yapraklara (% 0,61; % 0,75) oranla köklerde (% 0,86; % 0,85) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$). Na konsantrasyonunun ise köklere (% 0,46) oranla yapraklarda (% 0,83) daha yüksek olduğu belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Uygulanan Cr, ateş çiçeği bitkisinin kaldırılan Na, Mg ve Ca miktarlarında kontrole göre Cr1 dozlarında artış, Cr dozunun artmasıyla azalma meydana getirmiştir ($p<0,01$). En yüksek kaldırılan Na (22,43 mg), Mg (17,98 mg) ve Ca miktarı (22,73 mg) Cr1 uygulamalarından elde edilmiştir.

Ateş çiçeği bitkisinin kaldırılan Na, Mg ve Ca miktarlarının köklere oranla sırasıyla (4,05 mg; 7,16 mg; 6,40 mg) yapraklarda (25,46 mg; 18,37 mg; 23,71 mg) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Ateş çiçeği bitkisinin yapraklarının ve köklerinin kaldırılan Na miktarında Cr dozunun artmasıyla kontrole göre azalma meydana gelmiştir ($p<0,01$). En yüksek kaldırılan Na

miktarı yapraklarda (37,73 mg), köklerde ise (7,14 mg) Cr1 uygulamalarından elde edilmiştir.

Ateş çiçeği bitkisinin yapraklarında kaldırılan Mg miktarında kontrole göre azalma meydana gelirken, köklerinde kontrole göre Cr1 dozunda artış, diğer Cr dozlarında ise kontrole göre azalma görülmüştür. En yüksek kaldırılan Mg miktarı yapraklarda (25,60 mg) Cr0 kontrol uygulamasından, köklerde ise (10,48 mg) Cr1 uygulamasından elde edilmiştir ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$).

Artan krom dozları ile ateş çiçeği bitkisinin yapraklarından kaldırılan Ca miktarında kontrole göre Cr1 uygulamasında artış meydana gelirken, Cr dozunun artmasıyla azalma görülmüştür. Köklerinden kaldırılan Ca miktarında da kontrole göre artış meydana gelirken, Cr4 dozunda azalma olmuştur. Elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$). En yüksek kaldırılan Ca miktarı yapraklarda (38,42 mg) Cr1 uygulamasından, köklerde ise (7,38 mg) Cr2 uygulamasından elde edilmiştir.

4.5.6. Ateş çiçeği bitkisinin N, P ve K içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kromun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök N, P ve K içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.54'te, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.55'te sunulmuştur.

Artan dozlarda uygulanan Cr ateş çiçeği bitkisinin N içeriğinde kontrole göre Cr1 ve Cr4 dozlarında artış meydana getirirken, Cr2 ve Cr3 dozlarında kontole göre azalma meydana getirmiştir ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$). En yüksek N içeriği (% 2,63) Cd4 uygulamasından elde edilmiştir.

Ateş çiçeği bitkisinin K içeriğinde Cr1 dozunda kontrole göre artış meydana gelirken Cr dozunun artmasıyla kontrole göre azalma olmuş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$). En yüksek K içeriği (% 2,43) Cd1 uygulamasından elde edilmiştir.

Çizelge 4.54. Artan dozlarda uygulanan kromun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök N, P ve K içeriği üzerine etkisi

	Bitki kısmı	Krom Dozları (µM)										**Ortalama**
		Cr0		Cr1		Cr2		Cr3		Cr4		
N içeriği (%)	Yaprak	2,99 a	A	3,02 a	A	2,72 a	B	2,69 a	B	3,04 a	A	2,89 a
	Kök	1,90 b	B	2,03 b	AB	2,12 b	AB	1,99 b	B	2,23 b	A	2,05 b
	Ortalama	**2,45 BC**		**2,52 AB**		**2,42 BC**		**2,34 C**		**2,63 A**		
	A $_{LSD<0.01}$	1,14		B $_{LSD<0.05}$		1,16		AxB $_{LSD<0.05}$		0,23		
P içeriği (%)	Yaprak	0,57 a	A	0,58 a	A	0,43 b	B	0,43 b	B	0,44 b	B	0,49 b
	Kök	0,44 b	B	0,45 b	B	0,65 a	A	0,58 a	A	0,64 a	A	0,55 a
	Ortalama	**0,51**		**0,52**		**0,54**		**0,50**		**0,54**		
	A $_{LSD<0.01}$	0,04		B $_{LSD}$		öd		AxB $_{LSD<0.01}$		0,09		
K içeriği (%)	Yaprak	3,10		3,05		2,48		2,36		2,43		2,69 a
	Kök	1,64		1,81		1,58		1,03		0,64		1,34 b
	Ortalama	**2,37 A**		**2,43 A**		**2,03 AB**		**1,69 BC**		**1,53 C**		
	A $_{LSD<0.01}$	0,26		B $_{LSD<0.01}$		0,41		AxB $_{LSD}$		öd		

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Ateş çiçeği bitkisinin N ve K konsantrasyonlarının köklere oranla (% 2,05; % 1,34) yapraklarda (% 2,89; % 2,69) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$). P konsantrasyonunun ise yapraklara oranla (% 0,49) köklerde (% 0,55) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Artan krom dozları, ateş çiçeği bitkisinin yapraklarının N içeriğinde kontrole göre Cr1 ve Cr4 dozunda artış meydana getirmiştir. Köklerin N içeriğinde de kontrole göre artış sağlanmış, elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$). En yüksek N içeriği yapraklarda (% 3,04) ve köklerde (% 2,23) Cr4 uygulamalarından elde edilmiştir.

Çizelge 4.55. Artan dozlarda uygulanan kromun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan N, P ve K miktarlarına etkisi

		Krom Dozları (µM)										
	Bitki kısmı	Cr0		Cr1		Cr2		Cr3		Cr4		**Ortalama**
Kaldırılan N miktarı (mg)	Yaprak	112,34 a	AB	123,53 a	A	89,39 a	BC	69,24 a	C	36,50 a	D	86,20 a
	Kök	19,86 b	A	24,72 b	A	16,62 b	A	14,24 b	A	8,05 a	A	16,70 b
	Ortalama	**66,10 A**		**74,13 A**		**53,01 AB**		**41,74 BC**		**22,27 C**		
	A $_{LSD<0.01}$	13,95		B $_{LSD<0.01}$		22,05		AxB $_{LSD<0.01}$			31,19	
Kaldırılan P miktarı (mg)	Yaprak	21,33 a	A	24,05 a	A	14,30 a	B	10,96 a	BC	5,33 a	C	15,19 a
	Kök	4,62 b	A	5,57 b	A	5,10 b	A	4,17 b	A	2,35 a	A	4,36 b
	Ortalama	**12,98 AB**		**14,81 A**		**9,70 BC**		**7,56 CD**		**3,84 D**		
	A $_{LSD<0.01}$	2,84		B $_{LSD<0.01}$		4,49		AxB $_{LSD<0.01}$			6,34	
Kaldırılan K miktarı (mg)	Yaprak	115,19 a	A	123,59 a	A	81,32 a	B	60,50 a	B	29,50 a	C	82,02 a
	Kök	17,51 b	A	12,66 b	A	12,43 b	A	7,34 b	A	2,28 b	A	12,45 b
	Ortalama	**66,35 A**		**73,13 A**		**46,88 B**		**33,92 BC**		**15,89 C**		
	A $_{LSD<0.01}$	11,42		B $_{LSD<0.01}$		18,05		AxB $_{LSD<0.01}$			25,53	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Ateş çiçeği bitkisinin yapraklarının P içeriğinde kontrole göre Cr1 dozunda artış, Cr dozunun artmasıyla azalma meydana gelmiştir. Köklerinin P içeriğinde ise kontrole göre Cr1 dozunda azalma, Cr dozunun artmasıyla artış meydana gelmiştir. Elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$). En yüksek P içeriği yapraklarda (% 0,58) Cd1 uygulamasından, köklerde (% 0,65) ise Cr3 uygulamasından elde edilmiştir.

Artan dozlarda uygulanan Cr ateş çiçeği bitkisinin kaldırılan N, P ve K miktarlarını kontrole göre Cd1 dozunda artırırken, Cd dozunun artmasıyla kontrole göre azaltmış ve elde edilen değerler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$). En yüksek kaldırılan N, P ve K miktarları sırasıyla (74,13 mg; 14,81 mg 73,13 mg) Cr1 uygulamalarından elde edilmiştir.

Ateş çiçeği bitkisinin kaldırılan N, P, ve K miktarlarının köklere (16,70 mg; 4,36 mg; 12,45 mg) oranla yapraklarda (86,20 mg, 15,19 mg; 82,02) daha yüksek olduğu belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Artan krom dozları ateş çiçeği bitkisinin yapraklarının ve köklerinin kaldırılan N miktarında kontrole göre Cr1 uygulamasında artış meydana getirirken Cr dozunun artmasıyla kontrole göre azalma olmuştur. Elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$). En yüksek kaldırılan N miktarı yapraklarda (123,53 mg), köklerde ise (24,72 mg) Cr1 uygulamalarından elde edilmiştir.

Artan dozlarda uygulanan Cr ateş çiçeği bitkisinin yapraklarının kaldırılan P miktarında kontrole göre Cr1 dozunda artış, Cr dozunun artmasıyla kontole göre azalma meydana getirmiştir. Köklerin kaldırılan P miktarında ise kontrole göre Cr1 ve Cr2 dozlarında artış, Cr dozunun artmasıyla azalma meydana getirmiştir. Elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$). En yüksek kaldırılan P miktarı yapraklarda (24,05 mg) ve köklerde (5,57 mg) Cr1 uygulamalarından elde edilmiştir.

Artan krom dozları ateş çiçeği bitkisinin yapraklarının kaldırılan K miktarında kontrole göre Cr1 uygulamasında artış, Cr dozunun artmasıyla kontrole göre azalma meydana getirmiştir. Köklerin kaldırılan K miktarında ise kontrole göre azalma meydana gelmiştir. Elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$). En yüksek kaldırılan K miktarı yapraklarda (123,59 mg) Cr1 uygulamasından, köklerde (17,51 mg) ise Cr0 kontrol uygulamasından elde edilmiştir.

4.6. Kurşun Uygulamalarının Ateş Çiçeği (*Salvia splendens*) Bitkisinin Besin Elementi İçeriğine ve Kaldırılan Besin Elementi Miktarına Etkisi

4.6.1. Ateş Çiçeği (*Salvia splendens*) bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kurşunun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.56'da sunulmuştur.

Artan dozlarda uygulanan kurşun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlığında kontrole oranla artış meydana getirmiş, ancak etki istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. En yüksek kuru madde verimi (2,16 g) Pb2 uygulamasından elde

edilirken, en düşük kuru madde verimi (1,42 g) ise Pb0 kontrol ve Pb3 uygulamalarında belirlenmiştir.

Çizelge 4.56. Artan dozlarda uygulanan kurşunun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi üzerine etkisi

		Kurşun Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Pb0	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	**Ortalama**
kuru ağırlık verimi (g)	Yaprak	2,29	2,72	3,56	2,76	2,40	2,75 a
	Kök	0,54	0,62	0,75	0,64	0,44	0,60 b
	Ortalama	**1,42**	**1,67**	**2,16**	**1,70**	**1,42**	
	$A_{LSD<0.01}$	0,72	B_{LSD}	öd	AxB_{LSD}	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Ateş çiçeği bitkisinin yaprak kuru ağırlığı (2,75 g) kök kuru ağırlığına (0,60 g) oranla daha yüksek bulunmuştur ($p<0,01$). En yüksek yaprak kuru madde verimi (3,56 g) Pb2 uygulamasında, en düşük verim (2,29 g) ise Pb0 kontrol uygulamasında belirlenmiştir. En yüksek kök kuru ağırlığı (0,75 g) Pb2 uygulamasından elde edilirken, en düşük kök kuru ağırlığı (0,44 g) ise Pb4 uygulamasından sağlanmıştır.

4.6.2. Ateş çiçeği bitkisinin Cd, Cr ve Pb içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kurşunun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Cd, Cr ve Pb içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.57'de, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.58'de sunulmuştur.

Kurşunun doğal olarak tüm topraklarda bulunabildiği ve toplam Pb miktarının 1 - 200 mg kg^{-1} arasında değişmekte olduğu ve ortalama miktarın 15 mg kg^{-1} olduğu belirtilmiştir (Swaine 1955, Daşdemir 2015).

Bitkilerde bulunan kurşun miktarının bitkinin yetiştiği toprağa ve içinde bulunduğu atmosfere göre değişebildiği ve bitkilerdeki doğal kurşun seviyesinin 5 mg kg^{-1}'ın altında bulunduğu belirtilmiştir. Bitki tarafından alınan kurşunun büyük bir kısmının bitkinin

köklerinde biriktiği, bitkinin toprak üstündeki kısımlarında pek bulunmadığı ifade edilmiştir. Bitkinin kurşunu bünyesine alması veya asimile etmesinin topraktaki toplam kurşun konsantrasyonundan ziyade, topraktaki çözünebilir kurşun konsantrasyonuna bağlı olduğu ve bunun yaklaşık olarak 0.05-5 mg kg^{-1} seviyesinde olduğu bildirilmiştir (Özkan 2009).

Çizelge 4.57. Artan dozlarda uygulanan kurşunun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Cd, Cr ve Pb içeriği üzerine etkisi

		Kurşun Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Pb0	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	**Ortalama**
Cd içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25 b
	Kök	0,66	3,40	3,73	3,70	2,48	2,79 a
	Ortalama	**0,46**	**1,82**	**1,99**	**1,97**	**1,36**	
	A $_{LSD<0.01}$	1,22	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Cr içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	1,49	2,07	4,61	1,57	1,81	2,31 b
	Kök	8,20	3,32	3,49	2,88	4,30	4,44 a
	Ortalama	**4,85**	**2,70**	**4,05**	**2,22**	**3,06**	
	A $_{LSD<0.05}$	1,87	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Pb içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	0,92 a A	1,00 a A	1,40 b A	1,16 a A	1,73 b A	1,24 b
	Kök	1,58 a C	7,71 a C	24,30 a B	6,99 a C	51,04 a A	18,33 a
	Ortalama	**1,25 C**	**4,35 C**	**12,85 B**	**4,08 C**	**26,39 A**	
	A $_{LSD<0.01}$	4,50	B $_{LSD<0.01}$	7,11	AxB $_{LSD<0.01}$	10,06	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Artan dozlarda uygulanan Pb ateş çiçeği bitkisinin Pb içeriklerini ve kaldırılan Pb miktarlarını kontrole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde artırmıştır ($p<0,01$). Ateş çiçeği bitkisinin en yüksek Pb içeriği (26,39 mg kg^{-1}) Pb4 dozundan ve kaldırılan en yüksek Pb miktarı (13,41 mg) Pb4 dozlarından sağlanmıştır. Ateş çiçeği bitkisininde içermiş olduğu yüksek Pb konsantrasyonlarından dolayı hiperakümülatör bitki olarak fitoremediasyonda kullanımı mümkün görülmektedir.

Kurşun konsantrasyonlarının ve kaldırılan miktarlarının yapraklara (1,24 mg kg^{-1}, 3,37 µg) oranla köklerde (18,33 mg kg^{-1}; 10,29 µg) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Çizelge 4.58. Artan dozlarda uygulanan kurşunun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Cd, Cr ve Pb miktarlarına etkisi

		Kurşun Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Pb0	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	**Ortalama**
Kaldırılan Cd miktarı (µg)	Yaprak	0,57	0,68	0,88	0,68	0,60	0,68 b
	Kök	0,38	2,31	2,76	1,97	1,41	1,76 a
	Ortalama	**0,48**	**1,49**	**1,82**	**1,33**	**1,00**	
	A $_{LSD<0.01}$ 0,92	B $_{LSD}$ öd		AxB $_{LSD}$ öd			
Kaldırılan Cr miktarı (µg)	Yaprak	3,53	5,75	16,18	4,36	4,62	6,89 a
	Kök	4,89	1,95	2,67	1,83	1,68	2,60 b
	Ortalama	**4,21**	**3,85**	**9,42**	**3,09**	**3,15**	
	A $_{LSD<0.05}$ 3,74	B $_{LSD}$ öd		AxB $_{LSD}$ öd			
Kaldırılan Pb miktarı (µg)	Yaprak	2,17 a A	2,49 a A	4,99 b A	3,15 a A	4,04 b A	3,37 b
	Kök	0,89 a B	4,84 a B	18,46 a A	4,48 a B	22,78 a A	10,29 a
	Ortalama	**1,53 C**	**3,67 BC**	**11,72 AB**	**3,83 BC**	**13,41 A**	
	A $_{LSD<0.01}$ 4,50	B $_{LSD<0.01}$ 7,11		AxB $_{LSD<0.05}$ 10,06			

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Kurşun uygulamaları yaprakların ve köklerin Pb konsantrasyonlarını ve kaldırılan Pb miktarlarını kontrole göre istatistiksel olarak önemli düzeyde artırmıştır ($p<0,01$; $p<0,05$). En yüksek Pb konsantrasyonu yapraklarda (1,73 mg kg^{-1}) ve köklerde Pb4 uygulamasından (51,04 mg kg^{-1}) elde edilmiştir. En yüksek kaldırılan Pb miktarı yapraklarda (4,99 µg) Pb2 dozundan ve köklerde Pb4 dozundan (22,78 µg) elde edilmiştir.

Artan dozlarda uygulanan Pb ateş çiçeği bitkisinin Cd içeriklerinde ve kaldırılan miktarlarında kontrole oranla artış meydana getirmesine rağmen istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Artan dozlarda uygulanan Pb ile ateş çiçeği bitkisinin Cd konsantrasyonları ve kaldırılan miktarları yapraklara (0,25 mg kg^{-1}; 0,68 µg) oranla köklerde (2,79 mg kg^{-1}; 1,76 µg) daha fazla belirlenmiş ve istatiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Ateş çiçeği bitkisinin Cr içeriği yapraklara (2,31 mg kg^{-1}) oranla köklerde (4,44 mg kg^{-1}) daha yüksek olduğu görülmüş, kaldrılan Cr miktarlarının ise köklere (6,89 µg) oranla yapraklarda (2,60 µg) daha fazla olduğu belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

4.6.3. Ateş çiçeği bitkisinin Fe, Cu ve Zn içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kurşunun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Fe, Cu ve Zn içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.59'da, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.60'ta sunulmuştur.

Çizelge 4.59. Artan dozlarda uygulanan kurşunun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Fe, Cu ve Zn içeriği üzerine etkisi

		Kurşun Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Pb0	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	**Ortalama**
Fe içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	169,02	123,92	169,09	190,40	139,46	158,38 b
	Kök	786,83	840,11	977,81	923,12	855,59	876,69 a
	Ortalama	**477,93**	**482,02**	**573,45**	**556,76**	**497,52**	
	A $_{LSD<0.01}$	121,92	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Cu içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	11,92	12,33	13,08	12,65	11,63	12,32 b
	Kök	25,66	25,70	27,86	29,41	29,54	27,63 a
	Ortalama	**18,79**	**19,01**	**20,47**	**21,03**	**20,59**	
	A $_{LSD<0.01}$	2,38	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Zn içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	39,93	36,93	39,71	37,63	34,44	37,73 b
	Kök	50,43	47,23	53,17	48,95	45,97	49,15 a
	Ortalama	**45,18**	**42,08**	**46,44**	**43,29**	**40,21**	
	A $_{LSD<0.01}$	5,59	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Kurşun uygulaması diğer Ca, Mg, K, P, Na, Zn ve Mn gibi elementlerin miktarında azalmalara yol açarak besin elementi noksanlığına neden olur (Akıncı ve Çalışkan 2010). Denememizden elde edilen sonuçların önceki çalışmalarla uyumlu olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.60. Artan dozlarda uygulanan kurşunun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Fe, Cu ve Zn miktarlarına etkisi

		Kurşun Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Pb0	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	**Ortalama**
Kaldırılan Fe miktarı (mg)	Yaprak	0,42	0,36	0,62	0,54	0,35	0,46
	Kök	0,43	0,53	0,75	0,57	0,35	0,53
	Ortalama	**0,43**	**0,45**	**0,69**	**0,56**	**0,35**	
	A $_{LSD}$	öd	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan Cu miktarı (µg)	Yaprak	27,81	33,26	47,38	35,50	28,33	34,46 a
	Kök	13,77	16,36	21,12	18,59	12,68	16,50 b
	Ortalama	**20,79**	**24,81**	**34,25**	**27,05**	**20,51**	
	A $_{LSD<0.01}$	11,74	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan Zn miktarı (µg)	Yaprak	88,51	101,53	142,43	105,78	85,82	104,81 a
	Kök	27,87	28,89	40,18	30,59	19,57	29,42 b
	Ortalama	**58,19**	**65,21**	**91,31**	**68,13**	**52,70**	
	A $_{LSD<0.01}$	31,84	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Artan dozlarda uygulanan Pb ateş çiçeği bitkisinin Fe ve Cu içeriklerini kontrole oranla artırmış, Zn içeriklerinde ise kontrole oranla Pb2 dozunda artış olmasına rağmen diğer Pb dozlarında ise azalma meydana getirmiştir. Elde edilen değerler istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Ateş çiçeği bitkisinin Fe, Cu ve Zn konsantrasyonlarının yapraklara oranla sırasıyla (159,38 mg kg^{-1}; 12,32 mg kg^{-1}; 37,73 mg kg^{-1}) köklerde (876,69 mg kg^{-1}; 27,63 mg kg^{-1}; 49,15 mg kg^{-1}) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Artan dozlarda uygulanan Pb ateş çiçeği bitkisinin kaldırılan Fe, Cu ve Zn miktarlarını kontrole oranla artırırken, Pb4 uygulamalarında kontrole oranla azalma meydana getirmiştir. Elde edilen değerler istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Ateş çiçeği bitkisinin kaldırılan Cu ve Zn miktarlarının köklere oranla (16,50 µg; 29,42 µg) yapraklarda (34,46 µg; 104,81 µg) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

4.6.4. Ateş çiçeği bitkisinin Mn ve B içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kurşunun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Mn ve B içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.61'de, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.62'de sunulmuştur.

Çizelge 4.61. Artan dozlarda uygulanan kurşunun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Mn ve B içeriği üzerine etkisi

		Kurşun Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Pb0	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	**Ortalama**
Mn içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	22,76	63,29	23,97	24,28	23,81	24,96 a
	Kök	13,86	9,37	11,86	12,50	14,06	12,33 b
	Ortalama	**18,31**	**19,66**	**17,92**	**18,39**	**18,93**	
	A $_{LSD<0.01}$	7,62	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
B içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	22,87	25,91	27,22	26,90	26,12	25,80 b
	Kök	29,55	32,40	33,60	35,55	34,12	33,04 a
	Ortalama	**26,21**	**29,15**	**30,41**	**31,23**	**30,12**	
	A $_{LSD<0.01}$	4,05	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Artan dozlarda uygulanan Pb ateş çiçeği bitkisinin B içeriğini ve kaldırılan B miktarını kontrole oranla artırmasına rağmen istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Ateş çiçeği bitkisinin en yüksek B içeriği (31,23 mg kg^{-1}) Pb3 dozundan ve kaldırılan en yüksek B miktarı (61,46 µg) Pb2 dozundan sağlanmıştır.

Ateş çiçeği bitkisinin B içeriği yapraklara (25,80 mg kg^{-1}) oranla köklerde (33,04 mg kg^{-1}) daha yüksek olduğu görülmüş, kaldırılan B miktarının ise köklere (19,73 µg) oranla

yapraklarda (71,96 µg) daha fazla olduğu belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Ateş çiçeği bitkisinin Mn içeriğinin ve kaldırılan Mn miktarının köklere oranla (12,33 mg kg^{-1}; 0,01 mg) yapraklarda (24,96 mg kg^{-1}; 0,07 mg) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Çizelge 4.62. Artan dozlarda uygulanan kurşunun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Mn ve B miktarlarına etkisi

		Kurşun Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Pb0	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	**Ortalama**
Kaldırılan Mn miktarı (mg)	Yaprak	0,05	0,14	0,09	0,07	0,07	0,07 a
	Kök	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01 b
	Ortalama	**0,03**	**0,04**	**0,05**	**0,04**	**0,04**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,03	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan B miktarı (µg)	Yaprak	49,96	76,18	97,52	74,00	62,14	71,96 a
	Kök	15,96	20,50	25,39	22,19	14,61	19,73 b
	Ortalama	**32,96**	**48,34**	**61,46**	**48,10**	**38,38**	
	A $_{LSD<0.01}$	25,33	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

4.6.5. Ateş çiçeği bitkisinin Na, Mg ve Ca içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kurşunun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Na, Mg ve Ca içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.63'te, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.64'te sunulmuştur.

Artan dozlarda uygulanan Pb ateş çiçeği bitkisinin Na içeriğini kontrole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde artırmıştır ($p<0,05$). En yüksek Na içeriği (% 0,81) Pb1 uygulamasından elde edilmiştir.

Çizelge 4.63. Artan dozlarda uygulanan kurşunun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Na, Mg ve Ca içeriği üzerine etkisi

		Kurşun Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Pb0	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	**Ortalama**
Na içeriği (%)	Yaprak	0,91	1,08	0,99	1,05	0,98	1,00 a
	Kök	0,45	0,54	0,53	0,51	0,50	0,51 b
	Ortalama	**0,68 C**	**0,81 A**	**0,76 AB**	**0,78 AB**	**0,74 BC**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,06	B $_{LSD<0.05}$	0,07	AxB $_{LSD}$	öd	
Mg içeriği (%)	Yaprak	0,67	0,66	0,64	0,70	0,68	0,67 b
	Kök	0,91	0,95	0,97	1,04	0,95	0,96 a
	Ortalama	**0,79**	**0,81**	**0,81**	**0,87**	**0,82**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,09	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Ca içeriği (%)	Yaprak	0,71	0,71	0,71	0,83	0,77	0,74 a
	Kök	0,56	0,61	0,67	0,72	0,69	0,65 b
	Ortalama	**0,64**	**0,66**	**0,69**	**0,77**	**0,73**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,09	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Çizelge 4.64. Artan dozlarda uygulanan kurşunun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Na, Mg ve Ca miktarlarına etkisi

		Kurşun Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Pb0	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	**Ortalama**
Kaldırılan Na miktarı (mg)	Yaprak	20,99	29,35	35,29	28,71	23,28	27,52 a
	Kök	2,42	3,88	4,67	3,12	2,18	3,26 b
	Ortalama	**11,70**	**16,62**	**19,98**	**15,92**	**12,73**	
	A $_{LSD<0.01}$	7,31	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan Mg miktarı (mg)	Yaprak	15,18	17,83	22,91	19,02	15,63	18,11 a
	Kök	4,96	5,83	7,26	6,47	3,87	5,68 b
	Ortalama	**10,07**	**11,83**	**15,09**	**12,74**	**9,75**	
	A $_{LSD<0.01}$	4,46	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan Ca miktarı (mg)	Yaprak	15,98	19,15	25,32	23,04	17,94	20,29 a
	Kök	3,09	4,02	6,01	4,35	2,77	4,05 b
	Ortalama	**9,53**	**11,58**	**15,66**	**13,70**	**10,36**	
	A $_{LSD<0.01}$	5,30	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Ateş çiçeği bitkisinin Na ve Ca konsantrasyonlarının köklere oranla (% 0,51; % 0,65) yapraklarda (% 1,00; % 0,74) daha yüksek olduğu görülmüş, Mg konsantrasyonunun ise yapraklara oranla (% 0,67) köklerde (% 0,96) daha yüksek olduğu belirlenmiş ve elde edilen değerler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Artan dozlarda uygulanan Pb ateş çiçeği bitkisinin kaldırılan Na, Mg ve Ca miktarlarını kontrole oranla artırırken, kaldırılan Mg miktarında Pb4 uygulamasında kontrole oranla azalma meydana getirmiştir. Elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Ateş çiçeği bitkisinin kaldırılan Na, Mg ve Ca miktarlarının köklere oranla sırasıyla (3,26 mg; 5,68 mg; 4,05 mg) yapraklarda (27,52 mg; 18,11 mg; 20,29 mg) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

4.6.6. Ateş çiçeği bitkisinin N, P ve K içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kurşunun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök N, P ve K içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.65'te, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.66'da sunulmuştur.

Artan dozlarda uygulanan Pb ateş çiçeği bitkisinin P içeriğini kontrole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde artırmıştır ($p<0,05$). En yüksek P içeriği (% 0,51) Pb3 ve Pb4 uygulamalarından elde edilmiştir.

Kurşun uygulamaları ile yaprakların N içeriğinde kontrole oranla Pb1 uygulamasında azalma meydana gelirken, Pb dozunun artmasıyla artış sağlanmıştır. Köklerin N içeriğinde ise kontrole oranla azalma meydana gelmiştir. Elde edilen değerler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$). En yüksek N içeriği yapraklarda (% 3,42) Pb2 uygulamasında, köklerde (% 2,31) Pb0 kontrol uygulamasında bulunmuştur.

Çizelge 4.65. Artan dozlarda uygulanan kurşunun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kök N, P ve K içeriği üzerine etkisi

		Kurşun Dozları (µM)										
	Bitki kısmı	Pb0		Pb1		Pb2		Pb3		Pb4		**Ortalama**
N içeriği (%)	Yaprak	3,21 a	AB	3,06 a	B	3,42 a	A	3,39 a	A	3,27 a	AB	3,27 a
	Kök	2,31 b	A	2,12 b	ABC	1,98 b	C	2,02 b	BC	2,28 b	AB	2,14 b
	Ortalama	**2,76**		**2,59**		**2,70**		**2,71**		**2,78**		
	A $_{LSD<0.01}$	0,16		B $_{LSD}$		öd		AxB $_{LSD<0.05}$		0,27		
P içeriği (%)	Yaprak	0,46		0,48		0,47		0,50		0,50		0,48
	Kök	0,45		0,46		0,43		0,53		0,53		0,48
	Ortalama	**0,45 B**		**0,47 AB**		**0,45 B**		**0,51 A**		**0,51 A**		
	A $_{LSD}$	öd		B $_{LSD<0.05}$		0,05		AxB $_{LSD}$		öd		
K içeriği (%)	Yaprak	2,94		2,98		2,90		2,99		2,96		2,96 a
	Kök	2,33		1,96		1,83		1,83		1,88		1,97 b
	Ortalama	**2,64**		**2,47**		**2,37**		**2,41**		**2,42**		
	A $_{LSD<0.01}$	0,32		B $_{LSD}$		öd		AxB $_{LSD}$		öd		

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Çizelge 4.66. Artan dozlarda uygulanan kurşunun ateş çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan N, P ve K miktarlarına etkisi

		Kurşun Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Pb0	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	**Ortalama**
Kaldırılan N miktarı (mg)	Yaprak	72,93	82,27	121,60	93,75	78,50	89,81 a
	Kök	12,29	13,64	17,54	13,20	10,18	13,37 b
	Ortalama	**42,61**	**47,96**	**69,57**	**53,48**	**44,34**	
	A $_{LSD<0.01}$	21,94	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan P miktarı (mg)	Yaprak	10,37	12,98	16,75	13,73	11,88	13,14 a
	Kök	2,46	2,73	3,22	3,26	2,22	2,78 b
	Ortalama	**6,42**	**7,86**	**9,98**	**8,49**	**7,05**	
	A $_{LSD<0.01}$	3,43	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan K miktarı (mg)	Yaprak	66,17	77,80	103,25	82,85	75,33	81,08 a
	Kök	12,59	13,50	16,28	11,75	8,38	12,50 b
	Ortalama	**39,38**	**45,65**	**59,77**	**47,30**	**41,86**	
	A $_{LSD<0.01}$	22,01	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Ateş çiçeği bitkisinin N ve K konsantrasyonlarının köklere oranla (% 2,14; % 1,97) yapraklarda (% 3,27; % 2,96) daha yüksek olduğu görülmüş istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Artan dozlarda uygulanan Pb ateş çiçeği bitkisinin kaldırılan N, P ve K miktarlarını kontrole oranla artırmasına rağmen etki istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Ateş çiçeği bitkisinin kaldırılan N, P ve K miktarlarının köklere oranla sırasıyla (13,37 mg; 2,78 mg; 12,50 mg) yapraklarda (89,81 mg; 13,14 mg; 81,08 mg) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

4.7. Kadmiyum Uygulamalarının Kadife Çiçeği (*Tagetes patula*) Bitkisinin Besin Elementi İçeriğine ve Kaldırılan Besin Elementi Miktarına Etkisi

4.7.1. Kadife çiçeği (*Tagetes patula*) bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kadmiyumun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.67'de sunulmuştur.

Çizelge 4.67. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi üzerine etkisi

		Kadmiyum Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cd0	Cd1	Cd2	Cd3	Cd4	**Ortalama**
kuru ağırlık verimi (g)	Yaprak	13,21	12,12	13,66	12,32	12,47	12,76 a
	Kök	3,15	3,28	3,63	3,19	3,22	3,26 b
	Ortalama	**8,18**	**7,70**	**8,64**	**7,75**	**7,84**	
	$A_{LSD<0.01}$	0,68	B_{LSD}	öd	AxB_{LSD}	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlığında kontrole oranla azalma meydana getirirken Cd2 uygulamasında artış sağlanmış ancak istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. En yüksek kuru madde verimi

(8,64 g) Cd2 uygulamasından elde edilirken, en düşük değer (7,70 g) ise Cd1 uygulamasında belirlenmiştir.

Kadife çiçeği bitkisinin yaprak kuru ağırlığı (12,76 g) kök kuru ağırlığına (3,26 g) oranla daha yüksek bulunmuştur ($p<0,01$). En yüksek yaprak kuru madde verimi (13,66 g) Cd2 uygulamasında, en düşük verim (12,12 g) ise Cd1 dozunda belirlenmiştir. En yüksek kök kuru ağırlığı (3,63 g) Cd2 uygulamasından elde edilirken, en düşük kök kuru ağırlığı (3,15 g) ise Cd0 kontrol uygulamasından sağlanmıştır.

Yapılan önceki çalışmalarda da Cd dozunun artışı ile bitki biyokütlesinde azalma meydana geldiği bildirilmiştir (Vivek ve ark. 2001; Stolt ve ark. 2003; Milone ve ark. 2003; Çekiç 2004; Benavides ve ark. 2005; Syed ve ark. 2007; Bitiktaş 2007; Hashem ve ark. 2013; Zhang ve ark. 2014b). Kadmiyum stresi sonucunda bitki biyomasında azalmalar farklı süs bitkileri ile (Krizantem, Gladiolus ve Tagetes (Lal ve ark. 2008; *Tagetes patula* L. (Liu ve ark. 2011); *Tagetes erecta* L. (Thamayanth ve ark. 2013, Mansour ve ark. 2015) yapılan birçok araştırmada da ifade edilmiş, denememizden elde edilen sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür.

4.7.2. Kadife çiçeği bitkisinin Cd, Cr ve Pb içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kadmiyumun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Cd, Cr ve Pb içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.68'de, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.69'da sunulmuştur.

Artan dozlarda uygulanan Cd kadife çiçeği bitkisinin Cd içeriklerini ve kaldırılan Cd miktarlarını kontole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde artırmıştır ($p<0,01$). Kadife çiçeği bitkisinin en yüksek Cd içeriği (506,58 mg kg^{-1}) ve kaldırılan Cd miktarı (3196,05 mg) Cd4 uygulamalarından sağlanmıştır.

Kadife çiçeği bitkisinin kadmiyum konsantrasyonunun yapraklara (164,47 mg kg^{-1}) oranla köklerde (312,80 mg kg^{-1}) daha yüksek olduğu görülmüş, kaldırılan Cd miktarının

ise köklere (1026,96 µg) oranla yapraklarda (2070,22 µg) daha yüksek olduğu belirlenmiş ve elde edilen değerler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Çizelge 4.68. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Cd, Cr ve Pb içeriği üzerine etkisi

		Kadmiyum Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cd0	Cd1	Cd2	Cd3	Cd4	**Ortalama**
Cd içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	2,41 a D	89,35 a C	139,28 b C	252,69 b B	338,60 b A	164,47 b
	Kök	4,15 a E	129,16 a D	255,87 a C	500,25 a B	674,57 a A	312,80 a
	Ortalama	**3,28 E**	**109,25 D**	**197,58 C**	**376,48 B**	**506,58 A**	
	A $_{LSD<0.01}$	31,96	B $_{LSD<0.01}$	50,53	AxB $_{LSD<0.01}$	71,46	
Cr içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	1,99	1,73	1,73	1,82	1,74	1,80 b
	Kök	10,70	10,63	10,00	7,46	7,80	9,32 a
	Ortalama	**6,35**	**6,18**	**5,87**	**4,64**	**4,77**	
	A $_{LSD<0.01}$	1,93	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Pb içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	0,42	0,58	0,41	0,50	0,41	0,46 b
	Kök	1,99	2,31	2,07	2,16	1,91	2,09 a
	Ortalama	**1,21**	**1,44**	**1,24**	**1,33**	**1,62**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,33	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Toprakta artan Cd miktarı ile bitkilerde olumsuz etkinin başladığı ve 3 mg kg^{-1} Cd değerinden sonra olumsuz etkilerin şiddetinin daha da arttığı belirtilmektedir (Kabata-Pendias ve Pendias 1984, Daşdemir 2015). Bitki kuru maddesinde ise 1 mg kg^{-1}'dan fazla kadmiyumun toksik etkili olduğu bildirilmiştir (Özbek ve ark. 1995, Öktüren ve Sönmez 2007). Aslanağzı bitkisi ile yapmış olduğumuz denememizden elde edilen Cd içeriklerinin literatürlerde bildirilen toksik sınır değerinin çok üzerinde olduğu görülmüş kuru madde veriminde meydana gelen azalmalara rağmen kadife çiçeği bitkisinin yüksek Cd düzeylerinde yetişebildiği ve yüksek Cd biriktirebildiği görülmüştür.

Gerard ve ark. (2000), yaptığı çalışmada hiperakümülatör bir bitki olarak tanımlanan *Thlaspi caerulescens* L.'nin Cd konsantrasyonunu 8,7-647 mg kg^{-1} olarak belirlemiştir. Liu ve ark. (2011) benzer bir çalışmada *Tagetes patula* bitkisinin Cd konsantrasyonunu yeşil aksamda 450 mg kg^{-1} ve kökte ise 3500 mg kg^{-1} olarak bildirmişlerdir. Kadife çiçeği

bitkisinin de içermiş olduğu yüksek Cd konsantrasyonlarından dolayı hiperakümülatör bitki olarak fitoremediasyonda kullanımı mümkün görülmektedir.

Çizelge 4.69. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Cd, Cr ve Pb miktarlarına etkisi

		Kadmiyum Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cd0	Cd1	Cd2	Cd3	Cd4	**Ortalama**
Kaldırılan Cd miktarı (µg)	Yaprak	31,36 a E	1083,29 a D	1900,67 a C	3114,67 a B	4221,13 a A	2070,22 a
	Kök	12,89 a D	422,63 b D	925,58 b C	1602,75 b B	2170,96 b A	1026,96 b
	Ortalama	**22,12 E**	**752,96 D**	**1413,12 C**	**2358,71 B**	**3196,05 A**	
	A $_{LSD<0.01}$	216,41	B $_{LSD<0.01}$	342,17	AxB $_{LSD<0.01}$	483,91	
Kaldırılan Cr miktarı (µg)	Yaprak	26,33	21,07	23,72	22,42	21,71	23,05 b
	Kök	33,33	35,31	35,77	24,03	25,12	30,71 a
	Ortalama	**29,83**	**28,19**	**29,74**	**23,23**	**23,41**	
	A $_{LSD<0.01}$	6,89	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan Pb miktarı (µg)	Yaprak	5,63	7,02	5,62	6,33	5,15	5,95
	Kök	6,17	7,59	7,53	6,89	6,14	6,87
	Ortalama	**5,90**	**7,31**	**6,58**	**6,61**	**5,65**	
	A $_{LSD}$	öd	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Kadmiyum uygulamaları yaprakların ve köklerin Cd konsantrasyonlarını ve kaldırılan miktarlarını kontrole göre istatistiksel olarak önemli düzeyde artırmıştır ($p<0,01$). En yüksek Cd konsantrasyonu ve kaldırılan miktarı sırasıyla yapraklarda (338,60 mg kg^{-1}; 4221,13 µg) ve köklerde Cd4 uygulamasından (674,57 mg kg^{-1}; 2170,96 µg) elde edilmiştir.

Artan dozlarda uygulanan Cd'un kadife çiçeği bitkisinin Cr ve Pb içeriklerine ve kaldırılan miktarlarına etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Kadife çiçeği bitkisinin Cr ve Pb konsantrasyonu yapraklara (1,80 mg kg^{-1}; 0,46 mg kg^{-1}) oranla köklerde (9,32 mg kg^{-1}; 2,09 mg kg^{-1}) daha yüksek olduğu belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Kaldırılan Cr ve Pb miktarlarının yapraklara (23,05 µg; 5,95 µg) oranla köklerde (30,71 µg; 6,87 µg) daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Kaldırlan Cr miktarı istatistiksel olarak önemli bulunurken ($p<0,01$), kaldırılan Pb miktarı istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

4.7.3. Kadife çiçeği bitkisinin Fe, Cu ve Zn içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kadmiyumun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Fe, Cu ve Zn içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.70'te, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.71'de sunulmuştur.

Artan dozlarda uygulanan Cd kadife çiçeği bitkisinin Fe içeriklerini kontole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde azaltmıştır ($p<0,05$). En yüksek Fe içeriği (824,74 mg kg^{-1}) Cd0 kontrol uygulamasından elde edilmiştir.

Kadmiyum uygulamaları ile kadife çiçeği bitkisinin Zn içeriklerinde kontole oranla azalma görülürken Cd3 dozunda artış meydana gelmiştir ($p<0,01$). En yüksek Zn içeriği (50,15 mg kg^{-1}) Cd3 uygulamasından elde edilmiştir.

Kadmiyum uygulamaları yaprakların Zn konsantrasyonlarını kontrole göre azaltmıştır. Köklerin Zn konsantrasyonlarını kontrole göre azaltırken Cd3 dozunda kontrole göre artış meydana getirmiştir. Elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$). En yüksek Zn konsantrasyonu yapraklarda Cd0 kontrol uygulamasından (42,78 mg kg^{-1}), köklerde ise Cd3 uygulamasından (60,91 mg kg^{-1}) elde edilmiştir.

Kadife çiçeği bitkisinin Fe, Cu ve Zn konsantrayonunun yapraklara oranla sırasıyla (284,37 mg kg^{-1}; 14,95 mg kg^{-1}; 40,32 mg kg^{-1}) köklerde (1157,96 mg kg^{-1}; 43,88 mg kg^{-1}; 52,21 mg kg^{-1}) daha yüksek olduğu belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Çizelge 4.70. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Fe, Cu ve Zn içeriği üzerine etkisi

		Kadmiyum Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cd0	Cd1	Cd2	Cd3	Cd4	**Ortalama**
Fe içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	344,25	361,44	254,52	240,27	221,39	284,37 b
	Kök	1305,22	1223,14	1254,01	1064,52	942,89	1157,96 a
	Ortalama	**824,74 A**	**792,29 AB**	**754,26 AB**	**652,40 BC**	**582,14 C**	
	A $_{LSD<0.01}$	133,27	B $_{LSD<0.05}$	154,57	AxB $_{LSD}$	öd	
Cu içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	18,84	14,96	15,14	13,03	12,78	14,95 b
	Kök	41,99	45,47	47,39	44,98	39,54	43,88 a
	Ortalama	**30,42**	**30,22**	**31,27**	**29,00**	**26,16**	
	A $_{LSD<0.01}$	5,22	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Zn içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	42,78 b A	41,59 b A	41,91 b A	39,39 b A	35,94 a A	40,32 b
	Kök	56,27 a AB	53,63 a AB	51,60 a B	60,91 a A	38,62 a C	52,21 a
	Ortalama	**49,53 A**	**47,61 A**	**46,76 A**	**50,15 A**	**37,28 B**	
	A $_{LSD<0.01}$	5,03	B $_{LSD<0.01}$	7,96	AxB $_{LSD<0.05}$	8,26	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Çizelge 4.71. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Fe, Cu ve Zn miktarlarına etkisi

		Kadmiyum Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cd0	Cd1	Cd2	Cd3	Cd4	**Ortalama**
Kaldırılan Fe miktarı (mg)	Yaprak	4,61	4,42	3,50	2,98	2,76	3,65
	Kök	4,11	4,01	4,56	3,42	3,03	3,83
	Ortalama	**4,36**	**4,22**	**4,03**	**3,20**	**2,90**	
	A $_{LSD}$	öd	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan Cu miktarı (µg)	Yaprak	250,23	181,91	207,41	161,31	159,28	192,03 a
	Kök	133,42	148,94	172,20	144,80	127,39	145,35 b
	Ortalama	**191,82 A**	**165,42 AB**	**189,81 A**	**153,06 B**	**143,33 B**	
	A $_{LSD<0.01}$	30,87	B $_{LSD<0.05}$	35,80	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan Zn miktarı (µg)	Yaprak	566,95	506,42	572,98	486,12	447,90	516,08 a
	Kök	177,26	175,84	186,81	196,17	124,40	172,10 b
	Ortalama	**372,11**	**341,13**	**379,90**	**341,15**	**286,15**	
	A $_{LSD<0.01}$	56,33	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Artan dozlarda uygulanan Cd kadife çiçeği bitkisinin kaldırılan Cu miktarını kontole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde azaltmıştır ($p<0,05$). En yüksek kaldırılan Cu miktarı (191,82 µg) Cd0 kontrol uygulamasından elde edilmiştir.

Kadife çiçeği bitkisinin kaldırılan Cu ve Zn miktarları köklere oranla (145,35 µg; 172,10 µg) yapraklarda (192,03 µg; 516,08 µg) daha yüksek olduğu belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Thamayanthi ve ark. (2013), Cd dozundaki artışla *Tagetes erecta* L. bitkisinin büyümesinde ve Cu içeriğinde azalmalar olduğunu bildirmişlerdir. Belkhadi ve ark. (2010), Cd uygulaması ile bitkide K, Ca, Mg, ve Fe konsantrasyonlarının azaldığını belirtmiştir. Artan Cd dozları ile bitkilerin Fe, Cu ve Zn içeriklerinde azalma Cd ile antagonistik ilişkinin bir göstergesi olarak düşünülmektedir (Zhang ve ark. 2014b). Benavides ve ark. (2005) de kadmiyumun K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, elementleri ile rekabet halinde olduğunu saptamıştır. Denememizden elde edilen sonuçların önceki çalışmalarla uyumlu olduğu görülmüştür.

4.7.4. Kadife çiçeği bitkisinin Mn ve B içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kadmiyumun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Mn ve B içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.72'de, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.73'te sunulmuştur.

Artan dozlarda uygulanan Cd kadife çiçeği bitkisinin Mn içeriklerini ve kaldırılan Mn miktarlarını kontole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde azaltmıştır ($p<0,05$; $p<0,01$). En yüksek Mn içeriği (42,67 mg kg^{-1}) ve en yüksek kaldırılan Mn miktarı (0,49 mg) Cd0 kontrol uygulamalarından elde edilmiştir.

Kadife çiçeği bitkisinin Mn ve B konsantrayonlarının köklere oranla (15,72 mg kg^{-1}; 20,65 mg kg^{-1}) yapraklarda (55,52 mg kg^{-1}; 90,23 mg kg^{-1}) daha yüksek olduğu belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Çizelge 4.72. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Mn ve B içeriği üzerine etkisi

		Kadmiyum Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cd0	Cd1	Cd2	Cd3	Cd4	**Ortalama**
Mn içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	71,57 a A	55,35 a B	51,40 a B	51,99 a B	47,26 a B	55,52 a
	Kök	13,77 b A	14,44 b A	16,70 b A	16,92 b A	16,77 b A	15,72 b
	Ortalama	**42,67 A**	**34,90 B**	**34,05 B**	**34,46 B**	**32,02 B**	
	A $_{LSD<0.01}$	5,91	B $_{LSD<0.05}$	6,85	AxB $_{LSD<0.01}$	13,21	
B içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	99,88	91,09	89,81	87,82	86,03	90,23 a
	Kök	20,72	21,53	20,30	21,11	19,58	20,65 b
	Ortalama	**60,30**	**56,31**	**55,05**	**54,46**	**52,81**	
	A $_{LSD<0,01}$	4,50	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Çizelge 4.73. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Mn ve B miktarlarına etkisi

		Kadmiyum Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cd0	Cd1	Cd2	Cd3	Cd4	**Ortalama**
Kaldırılan Mn miktarı (mg)	Yaprak	0,94 a A	0,67 a B	0,70 a B	0,64 a B	0,59 a B	0,71 a
	Kök	0,04 b A	0,05 b A	0,06 b A	0,06 b A	0,05 b A	0,05 b
	Ortalama	**0,49 A**	**0,36 B**	**0,38 AB**	**0,35 B**	**0,32 B**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,07	B $_{LSD<0.01}$	0,11	AxB $_{LSD<0.01}$	0,16	
Kaldırılan B miktarı (µg)	Yaprak	1320,85	1108,08	1227,79	1085,41	1072,43	1162,91 a
	Kök	64,90	70,42	73,59	67,73	63,22	67,97 b
	Ortalama	**692,87**	**589,25**	**650,69**	**576,57**	**567,83**	
	A $_{LSD<0.01}$	100,25	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Kadmiyum uygulamaları yaprakların Mn konsantrasyonlarını ve kaldırılan Mn miktarlarını kontrole göre azaltırken, köklerin Mn konsantrasyonlarını ve kaldırılan Mn miktarlarını kontrole göre artırmıştır. Elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$). En yüksek Mn konsantrasyonu ve kaldırılan miktarı yapraklarda Cd0 kontrol uygulamasından (71,57 mg kg^{-1}; 0,94 mg), köklerde ise Cd3 uygulamasından (16,92 mg kg^{-1}; 0,06 mg) elde edilmiştir. Benavides ve ark. (2005) kadmiyumun K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Ni elementleri ile rekabet halinde olduğunu bildirmiş yapmış

olduğumuz çalışmada da kadmiyumun Mn taşınımını olumsuz yönde etkilediği saptanmıştır.

Kadife çiçeği bitkisinin kaldırılan Mn ve B miktarları köklere oranla (0,05 mg; 67,97 µg) yapraklarda (0,71 mg; 1162,91 µg) daha yüksek olduğu belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$). Bitkinin kök gelişiminin olumsuz yönde etkilenmesi nedeniyle Mn ve B konsantrasyonları köklere oranla yapraklarda daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

4.7.5. Kadife çiçeği bitkisinin Na, Mg ve Ca içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kadmiyumun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Na, Mg ve Ca içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.74'te, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.75'te sunulmuştur.

Çizelge 4.74. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Na, Mg ve Ca içeriği üzerine etkisi

		Kadmiyum Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cd0	Cd1	Cd2	Cd3	Cd4	**Ortalama**
Na içeriği (%)	Yaprak	0,22	0,23	0,21	0,20	0,20	0,21 b
	Kök	1,12	1,10	1,19	1,20	1,04	1,13 a
	Ortalama	**0,67**	**0,66**	**0,70**	**0,70**	**0,62**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,07	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Mg içeriği (%)	Yaprak	1,25	1,16	1,18	1,18	1,12	1,18 a
	Kök	0,81	0,94	0,91	0,86	0,73	0,85 b
	Ortalama	**1,03**	**1,05**	**1,04**	**1,02**	**0,93**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,09	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Ca içeriği (%)	Yaprak	1,29	1,43	1,45	1,50	1,47	1,43 a
	Kök	0,55	0,53	0,52	0,56	0,52	0,54 b
	Ortalama	**0,92**	**0,98**	**0,99**	**1,03**	**1,00**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,08	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Artan dozlarda uygulanan Cd'un kadife çiçeği bitkisinin Na, Mg ve Ca içeriklerinde ve kaldırılan miktarlarında etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Kadife çiçeği bitkisinin Na konsantrasyonu ve kaldırılan miktarının yapraklara oranla (% 0,21; 26,76 mg) köklerde (% 1,13; 37,30 mg) daha fazla olduğu belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Kadife çiçeği bitkisinin Mg ve Ca konsantrayonlarının köklere oranla (% 0,85; % 0,54) yapraklarda (% 1,18; % 1,43) daha yüksek olduğu belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Kadife çiçeği bitkisinin kaldırılan Mg ve Ca miktarlarının da köklere oranla (28,02 mg; 17,72 mg) yapraklarda (150,74 mg; 182,06 mg) daha yüksek olduğu belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Çizelge 4.75. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Na, Mg ve Ca miktarlarına etkisi

		Kadmiyum Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cd0	Cd1	Cd2	Cd3	Cd4	**Ortalama**
Kaldırılan Na miktarı (mg)	Yaprak	28,81	27,67	27,88	24,86	24,59	26,76 b
	Kök	35,37	35,99	43,18	38,58	33,37	37,30 a
	Ortalama	**32,09**	**31,83**	**35,53**	**31,72**	**28,98**	
	A $_{LSD<0.01}$	3,75	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan Mg miktarı (mg)	Yaprak	166,15	140,49	161,60	145,79	139,65	150,74 a
	Kök	25,49	30,59	32,82	27,61	23,58	28,02 b
	Ortalama	**95,82**	**85,54**	**97,21**	**86,70**	**81,61**	
	A $_{LSD<0.01}$	12,23	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan Ca miktarı (mg)	Yaprak	169,74	173,91	197,90	185,46	183,30	182,06 a
	Kök	17,33	17,41	18,88	18,14	16,84	17,72 b
	Ortalama	**93,54**	**95,66**	**108,39**	**101,80**	**100,07**	
	A $_{LSD<0.01}$	14,33	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

4.7.6. Kadife çiçeği bitkisinin N, P ve K içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kadmiyumun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök N, P ve K içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.76'da, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.77'de sunulmuştur.

Çizelge 4.76. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök N, P ve K içeriği üzerine etkisi

		Kadmiyum Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cd0	Cd1	Cd2	Cd3	Cd4	**Ortalama**
N içeriği (%)	Yaprak	3,05 a A	2,98 a AB	2,92 a AB	2,88 a AB	2,82 a B	2,93 a
	Kök	1,60 b A	1,57 b A	1,65 b A	1,63 b A	1,74 b A	1,64 b
	Ortalama	**2,32**	**2,27**	**2,29**	**2,25**	**2,28**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,08	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD<0.01}$	0,18	
P içeriği (%)	Yaprak	0,81	0,82	0,82	0,88	0,88	0,84 a
	Kök	0,52	0,51	0,54	0,54	0,52	0,53 b
	Ortalama	**0,66**	**0,67**	**0,68**	**0,71**	**0,70**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,03	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
K içeriği (%)	Yaprak	3,71	3,67	3,49	3,39	3,32	3,52 a
	Kök	1,95	1,43	1,61	1,84	1,80	1,73 b
	Ortalama	**2,83**	**2,55**	**2,55**	**2,62**	**2,56**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,23	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Kadmiyum uygulamaları yaprakların N konsantrasyonlarında kontrole göre azalma meydana getirmiştir. Köklerin N konsantrasyonlarında ise kontrole göre, Cd1 dozunda azalma görülürken artan Cd ile artış meydana gelmiştir. Elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$). En yüksek N konsantrasyonu yapraklarda Cd0 kontrol uygulamasından (% 3,05), köklerde ise Cd4 uygulamasından (% 1,74) elde edilmiştir.

Çizelge 4.77. Artan dozlarda uygulanan kadmiyumun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan N, P ve K miktarlarına etkisi

		Kadmiyum Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cd0	Cd1	Cd2	Cd3	Cd4	**Ortalama**
Kaldırılan N miktarı (mg)	Yaprak	401,55 a A	360,45 a B	398,56 a A	353,99 a B	350,84 a B	373,08 a
	Kök	50,29 b A	51,55 b A	59,86 b A	52,05 b A	56,06 b A	53,96 b
	Ortalama	**225,92 A**	**206,00 B**	**229,21 A**	**203,02 B**	**203,45 B**	
	A $_{LSD<0.01}$	16,45	B $_{LSD<0.05}$	19,08	AxB $_{LSD<0.05}$	26,99	
Kaldırılan P miktarı (mg)	Yaprak	107,01	99,58	112,06	108,42	110,27	107,47 a
	Kök	16,27	16,86	19,71	17,44	16,63	17,38 b
	Ortalama	**61,64**	**58,22**	**65,89**	**62,93**	**63,45**	
	A $_{LSD<0.01}$	5,46	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan K miktarı (mg)	Yaprak	489,26 a A	444,84 a BC	476,08 a AB	416,74 a C	414,30 a C	448,25 a
	Kök	61,84 b A	47,10 b A	58,81 b A	58,79 b A	57,76 b A	56,86 b
	Ortalama	**275,55 A**	**245,97 BC**	**267,45 AB**	**237,77 C**	**236,03 C**	
	A $_{LSD<0.01}$	24,40	B $_{LSD<0.05}$	28,30	AxB $_{LSD<0.05}$	40,03	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Kadife çiçeği bitkisinin N, P ve K konsantrayonlarının köklere oranla sırasıyla (% 1,64; % 0,53; % 1,73) yapraklarda (% 2,93; % 0,84; % 3,52) daha yüksek olduğu belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Artan dozlarda uygulanan Cd kadife çiçeği bitkisinin kaldırılan N miktarlarını kontole oranla azaltırken Cd2 dozunda kontrole oranla artış meydana getirmiştir ($p<0,05$). En yüksek kaldırılan N miktarı (229,21 mg) Cd2 uygulamasından elde edilmiştir.

Kadmiyum uygulamaları yaprakların kaldırılan N miktarlarında kontrole göre azalma meydana getirken, köklerin kaldırılan N miktarlarında ise kontrole göre artış meydana getirmiştir. Elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$). En yüksek kaldırılan N miktarı yapraklarda Cd0 kontrol uygulamasından (401,55 mg), köklerde ise Cd2 uygulamasından (59,86 mg) elde edilmiştir.

Artan dozlarda uygulanan Cd kadife çiçeği bitkisinin kaldırılan K miktarlarında kontole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde azalma meydana getirmiştir ($p<0,05$). En yüksek kaldırılan K miktarı (275,55 mg) Cd0 kontrol uygulamasından elde edilmiştir.

Kadmiyum uygulamaları yaprakların ve köklerin kaldırılan K miktarlarında kontrole göre istatistiksel olarak önemli düzeyde azalma meydana getirmiştir ($p<0,05$). En yüksek kaldırılan K miktarı yapraklarda (489,26 mg) ve köklerde (61,84 mg) Cd0 kontrol uygulamalarından elde edilmiştir.

Kadife çiçeği bitkisinin kaldırılan N, P ve K miktarlarının köklere oranla sırasıyla (53,96 mg; 17,38 mg; 56,86 mg) yapraklarda (373,08 mg; 107,47 mg; 448,25 mg) daha yüksek olduğu belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Benavides ve ark. (2005) kadmiyumun bitki için gerekli olmadığını, bitkinin gelişimini olumsuz etkilediğini ve K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Ni elementleri ile rekabet halinde olduğunu saptamışlardır. Bitiktaş (2007) yaptığı araştırmada bitkilerin köklerinin ağır metallerden zarar görmesi üzerine bitki besin maddelerini alamadıklarını belirtmiştir.

4.8. Krom Uygulamalarının Kadife Çiçeği (*Tagetes patula*) Bitkisinin Besin Elementi İçeriğine ve Kaldırılan Besin Elementi Miktarına Etkisi

4.8.1. Kadife çiçeği (*Tagetes patula*) bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kromun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.78'de sunulmuştur.

Artan dozlarda uygulanan krom kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlığında istatistiksel olarak önemli düzeyde azalma meydana getirmiştir ($p<0,01$). En yüksek kuru madde verimi (8,53 g) Cr0 kontrol uygulamasından elde edilirken, en düşük kuru madde verimi (3,61 g) ise Cr4 uygulamasında belirlenmiştir.

Çizelge 4.78. Artan dozlarda uygulanan kromun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi üzerine etkisi

		Krom Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cr0	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	**Ortalama**
kuru ağırlık verimi (g)	Yaprak	13,79 a A	11,99 a B	9,20 a C	6,11 a D	5,26 a D	9,27 a
	Kök	3,27 b A	2,88 b AB	2,44 b ABC	1,70 b C	1,96 b BC	2,45 b
	Ortalama	**8,53 A**	**7,44 B**	**5,82 C**	**3,90 D**	**3,61 D**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,50	B $_{LSD<0.01}$	0,78	AxB $_{LSD<0.01}$	1,11	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Kadife çiçeği bitkisinin yaprak kuru ağırlığı (9,27 g) kök kuru ağırlığına (2,45 g) oranla daha yüksek bulunmuştur ($p<0,01$). En yüksek yaprak kuru madde verimi (13,79 g) Cr0 kontrol uygulamasında, en düşük verim (5,26 g) ise Cr4 uygulamasında belirlenmiştir. En yüksek kök kuru ağırlığı (3,27 g) Cr0 kontrol uygulamasından elde edilirken, en düşük kök kuru ağırlığı (1,70 g) ise Cr3 uygulamasından elde dilmiştir ($p<0,01$).

Artan Cr dozlarının bitkinin gelişimine olumsuz etki yaptığı gözlenmiştir. Krom'un kök hücrelerinin bölünme ve uzamasını engelleyerek kök gelişimini engellediği, bu durumun topraktan alınan bitki besin maddesi ve suyun azalmasına yol açtığı, bitki büyüme ve gelişmesini olumsuz yönde etkileyerek verim ve kalitede önemli düzeyde azalma görüldüğü belirtilmiştir (Khan ve ark. 2000).

4.8.2. Kadife çiçeği bitkisinin Cd, Cr ve Pb içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kromun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Cd, Cr ve Pb içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.79'da, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.80'de sunulmuştur.

Artan dozlarda uygulanan Cr kadife çiçeği bitkisinin Cr içeriklerini ve kaldırılan Cr miktarlarını kontrole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde artırmıştır ($p<0,01$). Kadife çiçeği bitkisinin en yüksek Cr içeriği (936,95 mg kg^{-1}) ve kaldırılan en yüksek Cr miktarı (2017,86 µg) Cr4 dozundan sağlanmıştır.

Çizelge 4.79. Artan dozlarda uygulanan kromun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Cd, Cr ve Pb içeriği üzerine etkisi

		Krom Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cr0	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	**Ortalama**
Cd içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	1,98	3,81	0,58	0,41	0,50	1,46 b
	Kök	6,57	6,04	2,15	3,57	2,57	4,18 a
	Ortalama	**4,27 AB**	**4,93 A**	**1,37 C**	**1,99 BC**	**1,53 C**	
	A $_{LSD<0.01}$	1,68	B $_{LSD<0.01}$	2,66	AxB $_{LSD}$	öd	
Cr içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	1,73 a A	10,62 a A	11,15 b A	22,94 b A	116,88 b A	32,66 b
	Kök	9,73 a D	170,04 a CD	414,11 a C	703,49 a B	1757,03 a A	610,88 a
	Ortalama	**5,73 D**	**90,33 CD**	**212,63 BC**	**363,21 B**	**936,95 A**	
	A $_{LSD<0.01}$	116,22	B $_{LSD<0.01}$	183,77	AxB $_{LSD<0.01}$	259,88	
Pb içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	0,33 b A	0,33 b A	0,33 b A	0,42 b A	0,25 b A	0,33 b
	Kök	2,08 a BC	2,65 a A	1,65 a CD	2,40 a AB	1,49 a D	2,06 a
	Ortalama	**1,20 ABC**	**1,49 A CD**	**0,99 BC**	**1,41 AB D**	**0,87 C**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,29	B $_{LSD<0.01}$	0,46	AxB $_{LSD<0.05}$	0,47	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Çizelge 4.80. Artan dozlarda uygulanan kromun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Cd, Cr ve Pb miktarlarına etkisi

		Krom Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cr0	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	**Ortalama**
Kaldırılan Cd miktarı (µg)	Yaprak	26,81 a B	45,89 a A	5,26 a C	2,47 a C	2,62 a C	16,61 a
	Kök	20,74 a A	17,42 b AB	5,25 a C	6,33 a C	5,04 a C	10,96 b
	Ortalama	**23,78 A**	**31,66 A**	**5,25 B**	**4,40 B**	**3,83 B**	
	A $_{LSD<0.05}$	4,58	B $_{LSD<0.01}$	9,88	AxB $_{LSD<0.01}$	13,97	
Kaldırılan Cr miktarı (µg)	Yaprak	23,86 a B	128,46 a B	102,84 b B	140,56 a B	621,97 b A	203,54 b
	Kök	31,36 a D	488,47 a C	1004,76 a B	1179,41 b B	3413,74 a A	1223,55 a
	Ortalama	**27,61 D**	**308,47 CD**	**553,80 BC**	**659,99 B**	**2017,86 A**	
	A $_{LSD<0.01}$	199,38	B $_{LSD<0.01}$	315,25	AxB $_{LSD<0.01}$	445,83	
Kaldırılan Pb miktarı (µg)	Yaprak	4,59	3,94	3,07	2,55	1,30	3,09 b
	Kök	6,84	7,63	3,91	4,09	2,94	5,08 a
	Ortalama	**5,71 A**	**5,78 A**	**3,49 B**	**3,32 B**	**2,12 B**	
	A $_{LSD<0.01}$	1,29	B $_{LSD<0.01}$	2,05	AxB	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Krom'un kök hücrelerinin bölünme ve uzamasını engelleyerek kök gelişimini engellediği, bu durumun topraktan alınan bitki besin maddesi ve suyun azalmasına yol açarak bitki büyüme ve gelişmesini olumsuz yönde etkileyerek verim ve kalitede önemli düzeyde azalma görüldüğü belirtilmiştir (Khan ve ark. 2000). Kuru madde veriminde meydana gelen azalmalara rağmen kadife çiçeği bitkisinin yüksek Cr düzeylerinde yetişebildiği ve yüksek Cr biriktirebildiği görülmüştür.

Allen (1989)'e göre, bitkilerde bulunmasına izin verilebilen Cr konsantrasyonu 0,05 – 0,5 mg kg^{-1} olarak bildirilmiştir. FAO/WHO'nun bitkilerde kabul ettiği Cr sınır değeri 0,5 mg kg^{-1}'dır. Krom zehirlenmesi belirtilerinin görüldüğü bitki yapraklarında Cr miktarının 1 ile 4 mg kg^{-1} arasında değiştiği, bitki köklerinde ise bu miktarın daha fazlasının bulunduğu saptanmıştır (Wallace ve ark 1976). Kadife çiçeği bitkisinin de içermiş olduğu yüksek Cr konsantrasyonlarından dolayı hiperakümülatör bitki olarak fitoremediasyonda kullanımı mümkün görülmektedir.

Krom uygulamaları yaprakların ve köklerin Cr konsantrasyonlarını ve kaldırılan Cr miktarlarını kontrole göre istatistiksel olarak önemli düzeyde artırmıştır ($p<0,01$; $p<0,05$). En yüksek Cr konsantrasyonu yapraklarda (116,88 mg kg^{-1}) ve köklerde Cr4 uygulamasından (1757,03 mg kg^{-1}) elde edilmiştir. En yüksek kaldrılan Cr miktarı yapraklarda (621,97 µg) ve köklerde yine Cr4 dozundan (3413,74 µg) elde edilmiştir.

Krom konsantrasyonlarının ve kaldırılan miktarlarının yapraklara (32,66 mg kg^{-1}, 203,54 µg) oranla köklerde (610,88 mg kg^{-1}; 1223,55 µg) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Artan dozlarda uygulanan Cr kadife çiçeği bitkisinin Cd içeriklerini ve kaldırılan Cd miktarlarını kontrole oranla Cr1 dozunda artırırken, Cr dozlarının artmasıyla kontrole oranla azalma meydana getirmiştir ($p<0,01$). Kadife çiçeği bitkisinin en yüksek Cd içeriği (4,93 mg kg^{-1}) ve kaldırılan en yüksek Cd miktarı (31,66 µg) Cr4 dozlarından sağlanmıştır.

Artan dozlarda uygulanan krom ile kadife çiçeği bitkisinin Cd konsantrasyonlarının yapraklara (1,46 mg kg^{-1}) oranla köklerde (4,18 mg kg^{-1}) daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Kaldırılan Cd miktarının ise köklere (10,96 µg) oranla yapraklarda (16,61 µg) daha yüksek olduğu görülmüştür. Elde edilen değerler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$; $p<0,05$).

Krom uygulamaları yaprakların kaldırılan Cd miktarında kontrole göre Cr1 dozunda artış meydana getirirken, Cr dozunun artmasıyla kontrole göre azalma meydana getirmiştir.

Köklerin kaldırılan Cd miktarında ise kontrole oranla azalma meydana getirmiştir. Elde edilen değerler istatistiksel olarak öenmli bulunmuştur. En yüksek kaldrılan Cd miktarı yapraklarda (45,89 µg) Cr1 dozunda ve köklerde Cr0 kontrol dozundan (20,74 µg) elde edilmiştir.

Artan dozlarda uygulanan Cr kadife çiçeği bitkisinin Pb içeriklerinde kontrole oranla Cr1 ve Cr3 uygulamalarında artış meydana getirirken, Cr2 ve Cr4 uygulamalarında kontrole oranla azalma meydana getirmiştir. Elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$). Kadife çiçeği bitkisinin en yüksek Pb içeriği (1,49 mg kg^{-1}) Cr1 dozundan sağlanmıştır.

Kadife çiçeği bitkisinin kaldırılan Pb miktarında kontrole göre Cr1 dozunda artış meydana gelirken, Cr dozunun artmasıyla kontrole göre azalma meydana gelmiştir ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.($p<0,01$)

Kurşun konsantrasyonlarının ve kaldırılan miktarlarının yapraklara (0,33 mg kg^{-1}, 3,09 µg) oranla köklerde (2,06 mg kg^{-1}; 5,08 µg) daha yüksek olduğu belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

4.8.3. Kadife çiçeği bitkisinin Fe, Cu ve Zn içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kromun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Fe, Cu ve Zn içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre

gruplandırmaları Çizelge 4.81'de, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.82'de sunulmuştur.

Çizelge 4.81. Artan dozlarda uygulanan kromun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Fe, Cu ve Zn içeriği üzerine etkisi

		Krom Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cr0	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	**Ortalama**
Fe içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	335,05 b A	236,55 b A	137,28 b A	139,22 b A	276,60 b A	224,94 b
	Kök	1152,91 a A	822,46 a B	733,62 a B	466,88 a C	712,03 a B	777,58 a
	Ortalama	**743,98 A**	**529,50 B**	**435,45 BC**	**303,05 C**	**494,32 B**	
	A $_{LSD<0.01}$	98,67	B $_{LSD<0.01}$	156,01	AxB $_{LSD<0.01}$	220,63	
Cu içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	17,50	13,66	9,57	7,98	13,13	12,37 b
	Kök	46,61	34,20	28,05	24,09	39,40	34,47 a
	Ortalama	**32,05 A**	**23,93 ABC**	**18,81 BC**	**16,04 C**	**26,26 AB**	
	A $_{LSD<0.01}$	5,85	B $_{LSD<0.01}$	9,24	AxB $_{LSD}$	öd	
Zn içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	39,55	31,44	21,18	19,10	28,27	27,91 b
	Kök	51,38	51,50	40,89	37,73	43,03	44,91 a
	Ortalama	**45,47 A**	**41,47 AB**	**31,03 BC**	**28,42 C**	**35,65 ABC**	
	A $_{LSD<0.01}$	7,62	B $_{LSD<0.01}$	12,05	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Artan dozlarda uygulanan Cr'un kadife çiçeği bitkisinin Fe, Cu ve Zn içeriklerini kontrole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde azalttığı görülmüştür ($p<0,01$). Kadife çiçeği bitkisinin en yüksek Fe, Cu ve Zn konsantrasyonu sırasıyla (743,98 mg kg^{-1}; 32,05 mg kg^{-1}; 45,47 mg kg^{-1}) Cr0 kontrol uygulamasından elde eldilmiştir.

Krom uygulamaları, yaprakların ve köklerin Fe konsantrasyonlarını kontrole göre istatistiksel olarak önemli düzeyde azaltmıştır ($p<0,01$). En yüksek Fe konsantrasyonu yapraklarda (335,05 mg kg^{-1}) ve köklerde (1152,91 mg kg^{-1}) Cr0 kontrol uygulamalarından elde edilmiştir.

Çizelge 4.82. Artan dozlarda uygulanan kromun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Fe, Cu ve Zn miktarlarına etkisi

		Krom Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cr0	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	**Ortalama**
Kaldırılan Fe miktarı (mg)	Yaprak	4,63	2,85	1,26	0,85	1,47	2,21
	Kök	3,80	2,36	1,80	0,79	1,39	2,03
	Ortalama	**4,21 A**	**2,61 B**	**1,53 C**	**0,82 C**	**1,43 C**	
	A $_{LSD<0.01}$	öd	B $_{LSD<0.01}$	0,87	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan Cu miktarı (µg)	Yaprak	241,92 a A	164,27 a B	88,19 a C	48,63 a C	69,58 a C	122,52 a
	Kök	152,37 b A	98,17 b B	68,43 a BC	41,01 a C	78,24 a BC	87,65 b
	Ortalama	**197,15 A**	**131,22 B**	**78,31 C**	**44,82 D**	**73,91 CD**	
	A $_{LSD<0.01}$	21,01	B $_{LSD<0.01}$	33,22	AxB $_{LSD<0.01}$	46,98	
Kaldırılan Zn miktarı (µg)	Yaprak	545,64 a A	377,24 a B	195,54 a C	116,28 a C	151,03 a C	277,15 a
	Kök	167,89 b A	147,80 b AB	101,06 b AB	64,11 a B	83,90 a AB	112,95 b
	Ortalama	**356,77 A**	**262,52 B**	**148,30 C**	**90,20 C**	**117,47 C**	
	A $_{LSD<0.01}$	39,63	B $_{LSD<0.01}$	62,66	AxB $_{LSD<0.01}$	88,61	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Kadife çiçeği bitkisinin Fe, Cu ve Zn konsantrasyonlarının yapraklara oranla sırasıyla (224,94 mg kg^{-1}; 12,37 mg kg^{-1}; 27,91 mg kg^{-1}) köklerde (777,58 mg kg^{-1}; 34,47 mg kg^{-1}; 44,91 mg kg^{-1}) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Artan dozlarda uygulanan Cr'un kadife çiçeği bitkisinin kaldırılan Fe, Cu ve Zn miktarlarını kontrole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde azalttığı görülmüştür ($p<0,01$). Kadife çiçeği bitkisinin en yüksek kaldırılan Fe, Cu ve Zn miktarı sırasıyla (4,21 mg; 197,15 µg; 4356,77 µg) Cr0 kontrol uygulamalarından elde eldilmiştir.

Krom uygulamaları, yaprakların ve köklerin kaldırılan Cu ve Zn miktarlarını kontrole göre istatistiksel olarak önemli düzeyde azaltmıştır ($p<0,01$). En yüksek kaldırılan Cu miktarı yapraklarda (241,92 µg) ve köklerde (152,37 µg) Cr0 kontrol uygulamalarından elde edilmiştir. En yüksek kaldırılan Zn miktarı yapraklarda (545,64 µg) ve köklerde (167,89 mg) Cr0 kontrol uygulamalarından elde edilmiştir.

Kadife çiçeği bitkisinin kaldırılan Fe, Cu ve Zn miktarlarının köklere oranla sırasıyla (2,03 mg; 87,65 µg; 112,95 µg) yapraklarda (2,21 mg; 122,52 µg; 277,15 µg) daha yüksek olduğu belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

4.8.4. Kadife çiçeği bitkisinin Mn ve B içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kromun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Mn ve B içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.83'te, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.84'te sunulmuştur.

Çizelge 4.83. Artan dozlarda uygulanan kromun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Mn ve B içeriği üzerine etkisi

		Krom Dozları (µM)										**Ortalama**
	Bitki kısmı	Cr0		Cr1		Cr2		Cr3		Cr4		
Mn içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	68,61 a	A	63,35 a	A	46,89 a	B	43,36 a	B	40,35 a	B	52,51 a
	Kök	12,63 b	B	13,74 b	B	14,88 b	B	12,66 b	B	27,15 b	A	16,21 b
	Ortalama	**40,62 A**		**38,54 AB**		**30,88 BC**		**28,01 C**		**33,75 ABC**		
	A $_{LSD<0.01}$	4,95		B $_{LSD<0.01}$		7,82		AxB $_{LSD<0.01}$		11,06		
B içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	86,03 a	A	85,75 a	A	76,16 a	AB	60,13 a	C	70,37 a	B	75,69 a
	Kök	20,30 b	A	19,11 b	A	18,62 b	A	16,71 b	A	19,08 b	A	18,76 b
	Ortalama	**53,17 A**		**52,43 A**		**47,39 AB**		**38,42 B**		**44,73 AB**		
	A $_{LSD<0,05}$	6,19		B $_{LSD<0.01}$		9,79		AxB $_{LSD<0.05}$		10,15		

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Artan dozlarda uygulanan Cr'un kadife çiçeği bitkisinin Mn ve B içeriklerini ve kaldırılan miktarlarını kontrole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde azaltmıştır ($p<0,01$). Kadife çiçeği bitkisinin en yüksek Mn ve B konsantrasyonu (40,62 mg kg^{-1}; 53,17 mg kg^{-1}) Cr0 kontrol uygulamalarından elde eldilirken, en yüksek kaldırılan Mn ve B miktarı (0,49 mg; 627,19 µg) yine C0 kontrol uygulamalarından elde edilmiştir.

Çizelge 4.84. Artan dozlarda uygulanan kromun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Mn ve B miktarlarına etkisi

		Krom Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cr0	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	**Ortalama**
Kaldırılan Mn miktarı (mg)	Yaprak	0,95 a A	0,76 a B	0,43 a C	0,27 a D	0,21 a D	0,52 a
	Kök	0,04 b A	0,04 b A	0,04 b A	0,02 b A	0,05 b A	0,04 b
	Ortalama	**0,49 A**	**0,40 B**	**0,23 C**	**0,14 D**	**0,13 D**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,05	B $_{LSD<0.01}$	0,08	AxB $_{LSD<0.01}$	0,12	
Kaldırılan B miktarı (µg)	Yaprak	1188,33 a A	1029,26 a B	701,05 a C	370,19 a D	372,57 a D	732,28 a
	Kök	66,05 b A	54,87 b A	45,47 b A	28,23 b A	37,33 b A	46,39 b
	Ortalama	**627,19 A**	**542,07 A**	**373,26 B**	**199,21 C**	**204,95 C**	
	A $_{LSD<0.01}$	69,07	B $_{LSD<0.01}$	109,21	AxB $_{LSD<0.01}$	154,45	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Kadife çiçeği bitkisinin Mn ve B konsantrasyonlarının köklere oranla sırasıyla (16,21 mg kg^{-1}; 19,76 mg kg^{-1}) yapraklarda (52,51 mg kg^{-1}; 75,69 mg kg^{-1}) daha yüksek olduğu belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$; $p<0,05$).

Artan dozlarda uygulanan Cr yaprakların Mn konsantrasyonunu kontrole göre istatistiksel olarak önemli düzeyde azaltırken ($p<0,01$), köklerin Mn konsantrasyonunu kontrole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde artırmıştır ($p<0,01$). En yüksek Mn konsantrasyonu yapraklarda (68,61 mg kg^{-1}) Cr0 kontrol uygulamasından ve köklerde en yüksek Mn konsantrasyonu (27,15 mg kg^{-1}) Cr4 uygulamasından elde edilmiştir.

Krom uygulamaları, yaprakların ve köklerin B konsantrasyonunu ve kaldırılan B miktarını kontrole göre istatistiksel olarak önemli düzeyde azaltmıştır ($p<0,01$). En yüksek B konsantrasyonu yapraklarda (86,03 mg kg^{-1}) ve köklerde (20,30 mg kg^{-1}) Cr0 kontrol uygulamalarından elde edilmiştir. En yüksek kaldırılan B miktarı yapraklarda (1188,33 µg) ve köklerde (66,05 µg) Cr0 kontrol uygulamalarından elde edilmiştir.

Kadife çiçeği bitkisinin kaldırılan Mn ve B miktarlarının köklere oranla sırasıyla (0,04 mg; 46,39 µg) yapraklarda (0,52 mg; 732,28 µg) daha yüksek olduğu belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

4.8.5. Kadife çiçeği bitkisinin Na, Mg ve Ca içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kromun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Na, Mg ve Ca içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.85'te, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.86'da sunulmuştur.

Çizelge 4.85. Artan dozlarda uygulanan kromun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Na, Mg ve Ca içeriği üzerine etkisi

		Krom Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cr0	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	**Ortalama**
Na içeriği (%)	Yaprak	0,20 b A	0,19 b A	0,18 b A	0,15 b A	0,19 b A	0,18 b
	Kök	1,14 a A	1,02 a A	1,05 a A	0,71 a B	0,66 a B	0,92 a
	Ortalama	**0,67 A**	**0,61 A**	**0,62 A**	**0,43 B**	**0,42 B**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,74	B $_{LSD<0.01}$	0,12	AxB $_{LSD<0.01}$	0,17	
Mg içeriği (%)	Yaprak	1,23 a A	1,15 a AB	1,04 a BC	0,96 a C	1,11 a B	1,10 a
	Kök	0,76 b A	0,62 b B	0,58 b B	0,37 b C	0,41 b C	0,55 b
	Ortalama	**0,99 A**	**0,89 B**	**0,81 BC**	**0,67 D**	**0,76 CD**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,07	B $_{LSD<0.01}$	0,11	AxB $_{LSD<0.05}$	0,11	
Ca içeriği (%)	Yaprak	1,28 a A	1,35 a A	1,21 a AB	0,97 a C	1,03 a BC	1,17 a
	Kök	0,55 b B	0,49 b B	0,51 b B	0,54 b B	0,88 a A	0,60 b
	Ortalama	**0,91 A**	**0,92 A**	**0,86 AB**	**0,76 B**	**0,96 A**	
	A $_{LSD<0.05}$	0,82	B $_{LSD<0.01}$	0,13	AxB $_{LSD<0.01}$	0,18	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Artan dozlarda uygulanan Cr'un kadife çiçeği bitkisinin Na ve Mg içeriklerini kontrole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde azalttığı görülmüştür ($p<0,01$). Kadife çiçeği bitkisinin en yüksek Na (% 0,67) ve Mg konsantrasyonu (% 0,99) Cr0 kontrol uygulamasından elde edilmiştir.

Krom uygulamaları, Ca konsantrasyonunda kontrole göre Cr1 ve Cr4 dozunda artış, Cr2 ve Cr3 dozunda ise kontrole göre azalma meydana getirmiştir ($p<0,01$. En yüksek Ca konsantrasyonu (% 0,96) Cr4 uygulamasından elde edilmiştir.

Çizelge 4.86. Artan dozlarda uygulanan kromun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Na, Mg ve Ca miktarlarına etkisi

		Krom Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Cr0	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	**Ortalama**
Kaldırılan Na miktarı (mg)	Yaprak	28,39	22,97	16,77	9,29	10,00	17,48 b
	Kök	37,20	29,28	25,72	12,00	12,91	23,42 a
	Ortalama	**32,80 A**	**26,13 B**	**21,24 B**	**10,65 C**	**11,45 C**	
	A $_{LSD<0.01}$	3,14	B $_{LSD<0.01}$	4,96	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan Mg miktarı (mg)	Yaprak	169,42 a A	137,87 a B	95,83 a C	58,72 a D	58,65 a D	104,10 a
	Kök	24,68 b A	17,85 b AB	14,20 b AB	6,30 b B	8,11 b AB	14,23 b
	Ortalama	**97,05 A**	**77,86 B**	**55,02 C**	**32,51 D**	**33,38 D**	
	A $_{LSD<0.01}$	8,16	B $_{LSD<0.01}$	12,90	AxB $_{LSD<0.01}$	18,24	
Kaldırılan Ca miktarı (mg)	Yaprak	176,28 a A	162,38 a A	111,32 a B	59,53 a C	54,34 a C	112,77 a
	Kök	18,01 b A	14,11 b A	12,57 b A	9,15 b A	17,14 b A	14,20 b
	Ortalama	**97,15 A**	**88,25 A**	**61,95 B**	**34,34 C**	**35,74 C**	
	A $_{LSD<0.01}$	9,74	B $_{LSD<0.01}$	15,39	AxB $_{LSD<0.01}$	21,77	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Artan dozlarda uygulanan krom yaprakların ve köklerin Na ve Mg konsantrasyonlarında kontrole göre istatistiksel olarak önemli düzeyde azalma meydana getirmiştir ($p<0,01$; $p<0,05$). En yüksek Na ve Mg konsantrasyonu yapraklarda (% 0,20; % 1,23) ve köklerde (% 1,14; % 0,76) Cr0 kontrol uygulamalarından elde edilmiştir.

Krom uygulamaları, yaprakların Ca konsantrasyonunda kontrole oranla azalma meydana getirirken, Cr1 uygulamasında ise kontrole oranla artış sağlanmıştır. Köklerin Ca konsantrasyonunda kontrole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde azalma meydana gelirken, Cr4 uygulmasında kontrole göre artış gözlenmiş, elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$). En yüksek Ca konsantrasyonu yapraklarda (% 1,35 [1]) Cr1 uygulamasından ve köklerde en yüksek Ca konsantrasyonu (% 0,33) Cr4 uygulamasından elde edilmiştir.

Kadife çiçeği bitkisinin Mg ve Ca konsantrasyonlarının köklere oranla (% 0,55; % 0,60) yapraklarda (% 1,10; % 1,17) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$; $p<0,05$). Na konsantrasyonunun ise yapraklara oranla (% 0,18)

köklerde (% 0,92) daha yüksek olduğu belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Artan dozlarda uygulanan Cr, kadife çiçeği bitkisinin kaldırılan Na, Mg ve Ca miktarlarında kontrole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde azalma meydana getirmiştir ($p<0,01$). Kadife çiçeği bitkisinin kaldırılan en yüksek Na, Mg ve Ca miktarları sırasıyla (32,80 mg; 97,05 mg; 97,15 mg) Cr0 kontrol uygulamalarından elde edilmiştir.

Krom uygulamaları yaprakların ve köklerin kaldırılan Mg ve Ca miktarlarını kontrole göre istatistiksel olarak önemli düzeyde azaltmıştır ($p<0,01$). Kaldırılan en yüksek Mg ve Ca miktarı yapraklarda (169,42 mg; 176,28 mg) ve köklerde (24,68 mg; 18,01 mg) Cr0 kontrol uygulamasından elde edilmiştir.

Kadife çiçeği bitkisinin kaldırılan Mg ve Ca miktarlarının köklere oranla (14,23 mg; 14,20 mg) yapraklarda (104,10 mg; 112,77 mg) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$). Kaldırılan Na miktarlarının ise yapraklara oranla (17,48 mg) köklerde (23,42 mg kg^{-1}) daha yüksek olduğu belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

4.8.6. Kadife çiçeği bitkisinin N, P ve K içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kromun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök N, P ve K içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.87'de, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.88'de sunulmuştur.

Artan dozlarda uygulanan Cr, kadife çiçeği bitkisinin N konsantrasyonunda kontrole oranla azalma meydana getirirken, Cr4 dozunda kontrole oranla artış meydana getirmiştir ve elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$). Kadife çiçeği bitkisinin en yüksek N konsantrasyonu (% 2,30) Cr4 uygulamasından elde edilmiştir.

Çizelge 4.87. Artan dozlarda uygulanan kromun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök N, P ve K içeriği üzerine etkisi

	Bitki kısmı	Krom Dozları (µM)										**Ortalama**
		Cr0		Cr1		Cr2		Cr3		Cr4		
N içeriği (%)	Yaprak	3,06 a	A	2,86 a	B	2,58 a	C	2,44 a	C	2,82 a	B	2,75 a
	Kök	1,51 b	B	1,49 b	B	1,44 b	B	1,54 b	B	1,78 b	A	1,55 b
	Ortalama	**2,28 A**		**2,18 A**		**2,01 B**		**1,99 B**		**2,30 A**		
	A $_{LSD<0.01}$	0,08		B $_{LSD<0.01}$		0,13		AxB $_{LSD<0.01}$		0,18		
P içeriği (%)	Yaprak	0,81 a	A	0,78 a	A	0,63 a	B	0,48 a	C	0,52 a	C	0,64 a
	Kök	0,51 b	AB	0,48 b	B	0,48 b	B	0,47 a	B	0,57 a	A	0,50 b
	Ortalama	**0,66 A**		**0,63 A**		**0,56 B**		**0,47 C**		**0,54 B**		
	A $_{LSD<0.01}$	0,03		B $_{LSD<0.01}$		0,05		AxB $_{LSD<0.01}$		0,07		
K içeriği (%)	Yaprak	3,47 a	A	3,30 a	AB	3,05 a	AB	2,42 a	C	2,85 a	BC	3,02 a
	Kök	1,66 b	B	1,64 b	B	1,98 b	AB	2,29 a	A	1,67 b	B	1,85 b
	Ortalama	**2,57**		**2,47**		**2,52**		**2,36**		**2,26**		
	A $_{LSD<0.01}$	0,27		B $_{LSD}$		öd		AxB $_{LSD<0.01}$		0,60		

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Çizelge 4.88. Artan dozlarda uygulanan kromun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan N, P ve K miktarlarına etkisi

	Bitki kısmı	Krom Dozları (µM)										**Ortalama**
		Cr0		Cr1		Cr2		Cr3		Cr4		
Kaldırılan N miktarı (mg)	Yaprak	421,94 a	A	343,25 a	B	237,59 a	C	148,74 a	D	148,37 a	D	259,98 a
	Kök	49,21 b	A	42,97 b	A	34,99 b	A	26,21 b	A	34,99 b	A	37,67 b
	Ortalama	**235,58 A**		**193,11 B**		**136,29 C**		**87,48 D**		**91,68 D**		
	A $_{LSD<0.01}$	12,76		B $_{LSD<0.01}$		20,17		AxB $_{LSD<0.01}$		28,53		
Kaldırılan P miktarı (mg)	Yaprak	111,12 a		93,10 a		58,07 a		28,95 a		27,47 a		63,74 a
	Kök	16,63 b		13,93 b		11,66 b		7,94 b		11,15 b		12,26 b
	Ortalama	**63,88 A**		**53,52 B**		**34,87 C**		**18,45 D**		**19,31 D**		
	A $_{LSD<0.01}$	3,18		B $_{LSD<0.01}$		5,04		AxB $_{LSD<0.01}$		7,12		
Kaldırılan K miktarı (mg)	Yaprak	477,87 a	A	395,46 a	B	281,54 a	C	147,16 a	D	150,49 a	D	290,51 a
	Kök	54,23 b	A	47,26 b	A	48,21 b	A	38,91 b	A	32,96 b	A	44,32 b
	Ortalama	**266,05 A**		**221,36 B**		**164,88 C**		**93,04 D**		**91,73 D**		
	A $_{LSD<0.01}$	3,18		B $_{LSD<0.01}$		5,04		AxB $_{LSD<0.01}$		7,12		

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Krom uygulamaları, kadife çiçeği bitkisinin P konsantrasyonunda kontrole oranla istaistiksel olarak önemli düzeyde azalma meydana getirmiştir ($p<0,01$). En yüksek P konsantrasyonu (% 0,66) Cr0 kontrol uygulamasından elde edilmiştir.

Krom uygulamaları, yaprakların N konsantrasyonunda kontrole oranla azalma meydana getirmiştir. Köklerin N konsantrasyonunda da kontrole oranla azalma meydana getirirken, Cr3 ve Cr4 dozunda kontrole oranla artış sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$). En yüksek N konsantrasyonu yapraklarda (% 3,06) Cr0 kontrol uygulamasından ve köklerde en yüksek N konsantrasyonu (% 1,78) Cr4 uygulamasından elde edilmiştir.

Artan dozlarda uygulanan krom, yaprakların P konsantrasyonunda kontrole oranla azalma meydana getirmiştir. Köklerin P konsantrasyonunda kontrole oranla azalma, Cr4 dozunda ise kontrole oranla artış meydana getirmiştir. Elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$). En yüksek P konsantrasyonu yapraklarda (% 0,81) Cr0 kontrol uygulamasından ve köklerde en yüksek N konsantrasyonu (% 0,57) Cr4 uygulamasından elde edilmiştir.

Krom uygulamaları, yaprakların K konsantrasyonunda kontrole oranla azalma meydana getirmiştir. Köklerin K konsantrasyonunda kontrole oranla artış, Cr1 dozunda ise kontrole oranla azalma meydana getirmiştir. Elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$). En yüksek K konsantrasyonu yapraklarda (% 3,47) Cr0 kontrol uygulamasından ve köklerde en yüksek K konsantrasyonu (% 2,29) Cr3 uygulamasından elde edilmiştir.

Kadife çiçeği bitkisinin N, P ve K konsantrasyonlarının köklere oranla sırasıyla (% 1,55; % 0,50; % 1,85) yapraklarda (% 2,75; % 0,64; % 3,02) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Artan dozlarda uygulanan Cr, kadife çiçeği bitkisinin kaldırılan N, P ve K miktarlarında kontrole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde azalma meydana getirmiştir ($p<0,01$).

Kadife çiçeği bitkisinin kaldırılan en yüksek N, P ve K miktarları sırasıyla (235,58 mg; 63,88 mg; 266,05 mg) Cr0 kontrol uygulamalarından elde edilmiştir.

Krom uygulamaları yaprakların ve köklerin kaldırılan N, P ve K miktarlarını kontrole göre istatistiksel olarak önemli düzeyde azaltmıştır ($p<0,01$). Kaldırılan en yüksek N, P ve K miktarı yapraklarda sırasıyla (421,94 mg; 111,12 mg; 477,87 mg) Cr0 kontrol uygulamalarından ve köklerde (49,21 mg; 16,63 mg; 54,23 mg) yine Cr0 kontrol uygulamasından elde edilmiştir.

Kadife çiçeği bitkisinin kaldırılan N, P ve K miktarlarının köklere oranla sırasıyla (37,67 mg; 12,26 mg; 44,32 mg) yapraklarda (259,98 mg; 63,74 mg; 290,51 mg) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

4.9. Kurşun Uygulamalarının Kadife Çiçeği (*Tagetes patula*) Bitkisinin Besin Elementi İçeriğine ve Kaldırılan Besin Elementi Miktarına Etkisi

4.9.1. Kadife çiçeği (*Tagetes patula*) bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kurşunun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.89'da sunulmuştur.

Çizelge 4.89. Artan dozlarda uygulanan kurşunun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlık verimi üzerine etkisi

		Kurşun Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Pb0	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	**Ortalama**
kuru ağırlık verimi (g)	Yaprak	14,93	13,98	12,78	12,61	13,00	13,44 a
	Kök	3,47	3,32	3,10	3,34	2,67	3,19 b
	Ortalama	**9,20 A**	**8,65 AB**	**7,94 B**	**7,95 B**	**7,84 B**	
	$A_{LSD<0.01}$	0,77	$B_{LSD<0.05}$	0,90	AxB_{LSD}	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Artan dozlarda uygulanan kurşun, kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök kuru ağırlığında istatistiksel olarak önemli düzeyde azalma meydana getirmiştir ($p<0,05$). En yüksek kuru madde verimi (9,20 g) Pb0 kontrol uygulamasından elde edilirken, en düşük kuru madde verimi (7,84 g) ise Pb4 uygulamasında belirlenmiştir.

Kadife çiçeği bitkisinin yaprak kuru ağırlığı (13,44 g) kök kuru ağırlığına (3,19 g) oranla daha yüksek bulunmuştur ($p<0,01$). En yüksek yaprak kuru madde verimi (14,93 g) Pb0 kontrol uygulamasında, en düşük verim (12,61 g) ise Pb3 uygulamasında belirlenmiştir. En yüksek kök kuru ağırlığı (3,47 g) Pb0 kontrol uygulamasından, en düşük kök kuru ağırlığı (2,67 g) ise Pb4 uygulamasından elde dilmiştir.

4.9.2. Kadife çiçeği bitkisinin Cd, Cr ve Pb içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kurşunun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Cd, Cr ve Pb içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.90'da, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.91'de sunulmuştur.

Artan dozlarda uygulanan Pb, kadife çiçeği bitkisinin Pb içeriklerini ve kaldırılan Pb miktarlarını kontrole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde artırmıştır ($p<0,01$). Kadife çiçeği bitkisinin en yüksek Pb içeriği (104,22 mg kg^{-1}) ve kaldırılan en yüksek Pb miktarı (3217,19 µg) Pb4 dozlarından sağlanmıştır.

Bitki tarafından alınan kurşunun büyük bir kısmının bitkinin köklerinde biriktiği, bitkinin toprak üstündeki kısımlarında pek bulunmadığı ifade edilmiştir (Özkan 2009). Kurşun elementi, hücre turgoru ve hücre duvarı stabilitesini olumsuz etkilemesi, stoma hareketlerini ve yaprak alanını azaltması nedeniyle bitki su rejimini etkilediği, aynı zamanda kökler tarafından tutulması ve kök gelişimini azalttığını bildirmiştir (Sharma ve Dubey 2005). Denememizden elde edilen sonuçların önceki çalışmalarla uyumlu olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.90. Artan dozlarda uygulanan kurşunun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Cd, Cr ve Pb içeriği üzerine etkisi

		Kurşun Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Pb0	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	**Ortalama**
Cd içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	1,15	0,50	0,42	0,49	0,58	0,63 b
	Kök	1,16	1,49	1,07	0,66	1,40	1,16 a
	Ortalama	**1,15**	**0,99**	**0,75**	**0,58**	**0,99**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,48	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Cr içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	1,89	1,90	1,83	1,81	1,90	1,87 b
	Kök	10,71	9,42	8,27	5,93	10,40	8,94 a
	Ortalama	**6,30**	**5,66**	**5,05**	**3,87**	**6,15**	
	A $_{LSD<0.01}$	2,21	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Pb içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	0,33 a	1,32 a	2,08 b	3,21 b	7,52 b	2,89 b
	Kök	3,46 a	19,97 a	51,82 a	53,11 a	200,91 a	65,85 a
	Ortalama	**1,89 A**	**10,65 A**	**26,95 B**	**28,16 B**	**104,22 A**	
	A $_{LSD<0.01}$	8,68	B $_{LSD<0.01}$	13,72	AxB $_{LSD<0.01}$	19,41	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Çizelge 4.91. Artan dozlarda uygulanan kurşunun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Cd, Cr ve Pb miktarlarına etkisi

		Kurşun Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Pb0	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	**Ortalama**
Kaldırılan Cd miktarı (µg)	Yaprak	17,34 a A	6,93 a B	5,38 a B	6,10 a B	7,50 a B	8,65 a
	Kök	4,02 b A	5,13 a A	3,32 a A	2,28 a A	4,04 a A	3,76 b
	Ortalama	**10,69 A**	**6,03 B**	**4,35 B**	**4,19 B**	**5,77 B**	
	A $_{LSD<0.01}$	3,42	B $_{LSD<0.01}$	3,96	AxB $_{LSD<0.01}$	5,60	
Kaldırılan Cr miktarı (mg)	Yaprak	28,15	26,46	23,36	22,93	24,56	25,09
	Kök	37,43	32,26	25,38	20,47	28,01	28,71
	Ortalama	**32,79**	**29,36**	**24,37**	**21,70**	**26,29**	
	A $_{LSD}$	öd	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan Pb miktarı (µg)	Yaprak	4,81 a A	18,28 a A	26,83 b A	40,56 b A	97,42 b A	37,58 b
	Kök	12,13 a C	66,54 a BC	161,46 a B	178,53 a B	556,96 a A	195,13 a
	Ortalama	**8,47 C**	**42,41 BC**	**94,15 B**	**109,55 B**	**327,19 A**	
	A $_{LSD<0.01}$	51,32	B $_{LSD<0.01}$	81,15	AxB $_{LSD<0.01}$	114,77	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Kurşun konsantrasyonlarının ve kaldırılan miktarlarının yapraklara (2,89 mg kg^{-1}, 37,58 µg) oranla köklerde (65,85 mg kg^{-1}; 195,13 µg) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Kurşunun doğal olarak tüm topraklarda bulunabildiği ve toplam Pb miktarının 1 - 200 mg kg^{-1} arasında değişmekte olduğu ve ortalama miktarın 15 mg kg^{-1} olduğu belirtilmiştir (Swaine 1955, Daşdemir 2015).

Bitkilerde bulunan kurşun miktarının bitkinin yetiştiği toprağa ve içinde bulunduğu atmosfere göre değişebildiği ve bitkilerdeki doğal kurşun seviyesinin 5 mg kg^{-1}'ın altında bulunduğu belirtilmiştir. Bitki tarafından alınan kurşunun büyük bir kısmının bitkinin köklerinde biriktiği, bitkinin toprak üstündeki kısımlarında pek bulunmadığı ifade edilmiştir. Bitkinin kurşunu bünyesine alması veya asimile etmesinin topraktaki toplam kurşun konsantrasyonundan ziyade, topraktaki çözünebilir kurşun konsantrasyonuna bağlı olduğu ve bunun yaklaşık olarak 0.05-5 mg kg^{-1} seviyesinde olduğu bildirilmiştir (Özkan 2009). . Kadife çiçeği bitkisininde içermiş olduğu yüksek Pb konsantrasyonlarından dolayı hiperakümülatör bitki olarak fitoremediasyonda kullanımı mümkün görülmektedir.

Kurşun uygulamaları yaprakların ve köklerin Pb konsantrasyonlarını ve kaldırılan Pb miktarlarını kontrole göre istatistiksel olarak önemli düzeyde artırmıştır ($p<0,01$). En yüksek Pb konsantrasyonu yapraklarda (7,52 mg kg^{-1}) ve köklerde Pb4 uygulamasından (200,91 mg kg^{-1}) elde edilmiştir. En yüksek kaldrılan Pb miktarı yapraklarda (97,42 µg) ve köklerde yine Pb4 dozundan (556,96 µg) elde edilmiştir.

Artan dozlarda uygulanan Pb ile kadife çiçeği bitkisinin Cd konsantrasyonu yapraklara (0,63 mg kg^{-1};) oranla köklerde (1,16 mg kg^{-1}) daha fazla belirlenirken, kaldırılan Cd miktarının köklere oranla (3,76 µg) yapraklarda (8,65 µg) daha yüksek olduğu belirlenmiş ve elde edilen değerler istatiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Kadife çiçeği bitkisinin Cr içeriği ve kaldırılan miktarının yapraklara (1,87 mg kg^{-1}; 25,09 µg) oranla köklerde (8,94 mg kg^{-1}; 28,71 µg) daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Kadife

çiçeğinin Cr içeriği istatistiksel olarak önemli bulunurken ($p<0,01$), kaldırılan Cr miktarı istatistiksel olarak önemli çıkmamıştır.

Artan dozlarda uygulanan Pb, kadife çiçeği bitkisinin kaldırılan Cd miktarlarında kontrole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde azalma meydana getirmiştir ($p<0,01$). Kadife çiçeği bitkisinin kaldırılan en yüksek Cd miktarları (10,96 µg) Pb0 kontrol uygulamasından elde edilmiştir.

Kurşun uygulamaları yaprakların ve köklerin kaldırılan Cd miktarlarını kontrole göre istatistiksel olarak önemli düzeyde azaltmıştır ($p<0,01$). Kaldırılan en yüksek Cd miktarı yapraklarda (17,34 µg) ve köklerde (4,01 µg) Pb0 kontrol uygulamalarından elde edilmiştir.

4.9.3. Kadife çiçeği bitkisinin Fe, Cu ve Zn içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kurşunun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Fe, Cu ve Zn içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.92'de, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.93'te sunulmuştur.

Artan dozlarda uygulanan Pb kadife çiçeği bitkisinin Fe ve Cu içeriklerini kontrole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde azaltmıştır ($p<0,01$). Kadife çiçeği bitkisinin en yüksek Fe (843,45 mg kg^{-1}) ve Cu içeriği (32,45 mg kg^{-1}) Pb0 kontrol uygulamalarından elde edilmiştir.

Aslanağzı bitkisinin Fe, Cu ve Zn konsantrasyonlarının yapraklara oranla sırasıyla (287,61 mg kg^{-1}; 15,24 mg kg^{-1}; 38,93 mg kg^{-1}) köklerde (1122,89 mg kg^{-1}; 40,93 mg kg^{-1}; 72,61 mg kg^{-1}) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Çizelge 4.92. Artan dozlarda uygulanan kurşunun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Fe, Cu ve Zn içeriği üzerine etkisi

		Kurşun Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Pb0	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	**Ortalama**
Fe içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	363,80	264,49	265,38	230,74	313,63	287,61 b
	Kök	1323,10	1037,34	1044,50	1027,58	1181,93	1122,89 a
	Ortalama	**843,45 A**	**650,91 B**	**654,94 B**	**629,16 B**	**747,78 AB**	
	A $_{LSD<0.01}$	101,93	B $_{LSD<0.01}$	161,17	AxB $_{LSD}$	öd	
Cu içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	17,21	14,30	15,05	13,76	15,87	15,24 b
	Kök	47,70	39,38	38,77	37,68	41,10	40,93 a
	Ortalama	**32,45 A**	**26,84 B**	**26,91 B**	**25,72 B**	**28,48 AB**	
	A $_{LSD<0.01}$	2,75	B $_{LSD<0.01}$	4,35	AxB $_{LSD}$	öd	
Zn içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	42,75	34,02	37,48	41,82	38,55	38,93 b
	Kök	75,69	74,85	67,53	78,30	66,69	72,61 a
	Ortalama	**59,22**	**54,44**	**52,51**	**60,06**	**52,62**	
	A $_{LSD<0.01}$	8,60	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Çizelge 4.93. Artan dozlarda uygulanan kurşunun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Fe, Cu ve Zn miktarlarına etkisi

		Kurşun Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Pb0	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	**Ortalama**
Kaldırılan Fe miktarı (mg)	Yaprak	5,42	3,66	3,40	2,92	4,06	3,89
	Kök	4,61	3,42	3,25	3,44	3,29	3,60
	Ortalama	**5,02 A**	**3,54 B**	**3,32 B**	**3,18 B**	**3,67 B**	
	A $_{LSD}$	öd	B $_{LSD<0.01}$	1,01	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan Cu miktarı (µg)	Yaprak	257,54	198,70	192,93	173,17	205,16	205,50 a
	Kök	165,22	131,36	120,45	124,98	114,35	131,27 b
	Ortalama	**211,38 A**	**165,03 B**	**156,69 B**	**149,08 B**	**159,76 B**	
	A $_{LSD<0.01}$	22,38	B $_{LSD<0.01}$	35,38	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan Zn miktarı (µg)	Yaprak	639,66	473,89	481,58	526,43	498,39	523,99 a
	Kök	263,44	250,67	208,77	263,14	184,02	234,01 b
	Ortalama	**451,55 A**	**362,28 B**	**345,18 B**	**394,79 AB**	**341,21 B**	
	A $_{LSD<0.01}$	67,37	B $_{LSD<0.05}$	78,14	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Artan dozlarda uygulanan Pb, aslanağzı bitkisinin kaldırılan Fe, Cu ve Zn miktarlarında kontrole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde azalma meydana getirmiştir ($p<0,01$; $p<0,01$; $p<0,05$). Kadife çiçeği bitkisinin kaldırılan en yüksek Fe, Cu ve Zn miktarları sırasıyla (5,02 mg; 211,38 µg; 451,55 µg) Pb0 kontrol uygulamalarından elde edilmiştir.

Kurşun uygulaması diğer Ca, Mg, K, P, Na, Fe, Zn, Cu ve Mn gibi elementlerin miktarında azalmalara yol açarak besin elementi noksanlığına neden olur (Akıncı ve Çalışkan 2010). Denememizden elde edilen sonuçların önceki çalışmalarla uyumlu olduğu görülmüştür.

Kadife çiçeği bitkisinin kaldırılan Cu ve Zn miktarlarının köklere oranla (131,27 µg; 234,01 µg) yapraklarda (205,50 µg; 523,99 µg) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

4.9.4. Kadife çiçeği bitkisinin Mn ve B içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kurşunun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Mn ve B içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.94'te, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.95'te sunulmuştur.

Artan dozlarda uygulanan Pb, kadife çiçeği bitkisinin Mn içeriğini kontrole oranla artırırken, Pb1 dozunda kontrole göre azalma meydana getirmiştir. Elde edilen değerler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Kadife çiçeği bitkisinin en yüksek Mn içeriği (50,95 mg kg^{-1}) Pb3 dozundan sağlanmıştır.

Kurşun uygulamaları kadife çiçeği bitkisinin B içeriğinde kontrole oranla istatistiksel düzeyde önemli azalma meydana getirmiştir ($p<0,01$). En yüksek B içeriği (63,39 mg kg^{-1}) Pb0 kontrol uygulamasından elde edilmiştir.

Çizelge 4.94. Artan dozlarda uygulanan kurşunun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Mn ve B içeriği üzerine etkisi

		Kurşun Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Pb0	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	**Ortalama**
Mn içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	78,74	67,04	85,52	86,74	74,71	78,55 a
	Kök	14,50	9,42	13,47	15,15	19,80	14,47 b
	Ortalama	**46,62 A**	**38,23 B**	**49,49 A**	**50,95 A**	**47,26 A**	
	A $_{LSD<0.01}$	7,00	B $_{LSD<0.05}$	8,12	AxB $_{LSD}$	öd	
B içeriği (mg kg^{-1})	Yaprak	88,43	69,41	72,70	73,85	69,29	74,74 a
	Kök	38,34	25,33	20,26	17,69	15,55	23,43 b
	Ortalama	**63,39 A**	**47,37 B**	**46,48 B**	**45,77 B**	**42,42 B**	
	A $_{LSD<0.01}$	7,03	B $_{LSD<0.01}$	11,12	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Çizelge 4.95. Artan dozlarda uygulanan kurşunun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Mn ve B miktarlarına etkisi

		Kurşun Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Pb0	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	**Ortalama**
Kaldırılan Mn miktarı (mg)	Yaprak	1,18	0,93	1,10	1,09	0,96	1,05 a
	Kök	0,05	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05 b
	Ortalama	**0,62**	**0,48**	**0,57**	**0,57**	**0,51**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,11	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan B miktarı (µg)	Yaprak	1319,45 a A	966,33 a B	931,55 a B	927,71 a B	895,95 a B	1008,20 a
	Kök	132,07 b A	84,43 b A	63,16 b A	56,67 b A	42,41 b A	75,75 b
	Ortalama	**725,76 A**	**525,38 B**	**497,35 B**	**492,19 B**	**469,18 B**	
	A $_{LSD<0.01}$	73,82	B $_{LSD<0.01}$	116,72	AxB $_{LSD<0.01}$	165,07	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Kadife çiçeği bitkisinin Mn ve B konsantrasyonlarının köklere oranla (14,47 mg kg^{-1}; 23,43 mg kg^{-1}) yapraklarda (78,55 mg kg^{-1}; 74,74 mg kg^{-1}) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Artan dozlarda uygulanan Pb kadife çiçeği bitkisinin kaldırılan B miktarında kontrole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde azalma meydana getirmiştir ($p<0,01$). Kadife çiçeği bitkisinin en yüksek kaldırılan B miktarı (725,76 µg) Pb0 kontrol uygulamasından

elde edilmiştir. Kök gelişiminin olumsuz yönde etkilenmesi nedeniyle Mn ve B konsantrasyonları köklere oranla yapraklarda daha fazla tespit edilmiştir.

Kurşun uygulamaları yaprakların ve köklerin kaldırılan B miktarlarını kontrole göre istatistiksel olarak önemli düzeyde azaltmıştır ($p<0,01$). Kaldırılan en yüksek B miktarı yapraklarda (1319,45 µg) ve köklerde (132,07 µg) Pb0 kontrol uygulamalarından elde edilmiştir.

Kadife çiçeği bitkisinin kaldırılan Mn ve B miktarlarının köklere oranla (0,05 mg; 75,75 µg) yapraklarda (1,05 mg; 1008,20 µg) daha yüksek olduğu görülmüş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

4.9.5. Kadife çiçeği bitkisinin Na, Mg ve Ca içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kurşunun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Na, Mg ve Ca içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.96'da, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.97'de sunulmuştur.

Artan dozlarda uygulanan Pb'un kadife çiçeği bitkisinin Na, Mg ve Ca içeriklerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Artan dozlarda uygulanan Pb ile kadife çiçeği bitkisinin Mg ve Ca konsantrasyonları köklere (% 0,77; % 0,65) oranla yapraklarda (% 1,13; % 1,41) daha fazla belirlenirken, Na içeriğinin ise yapraklara oranla (% 0,19) köklerde (% 0,83) daha yüksek olduğu belirlenmiştir ve elde edilen değerler istatiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Artan dozlarda uygulanan Pb, kadife çiçeği bitkisinin kaldırılan Na ve Mg miktarında kontrole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde azalma meydana getirmiştir ($p<0,01$; $p<0,05$). Kadife çiçeği bitkisinin en yüksek kaldırılan Na (30,23 mg) ve Mg miktarı (101,38 mg) Pb0 kontrol uygulamasından elde edilmiştir.

Çizelge 4.96. Artan dozlarda uygulanan kurşunun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök Na, Mg ve Ca içeriği üzerine etkisi

		Kurşun Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Pb0	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	**Ortalama**
Na içeriği (%)	Yaprak	0,18	0,18	0,19	0,18	0,19	0,19 b
	Kök	0,94	0,87	0,83	0,76	0,75	0,83 a
	Ortalama	**0,56**	**0,53**	**0,51**	**0,47**	**0,47**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,06	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Mg içeriği (%)	Yaprak	1,16	1,08	1,15	1,12	1,14	1,13 a
	Kök	0,83	0,75	0,80	0,76	0,68	0,77 b
	Ortalama	**1,00**	**0,92**	**0,98**	**0,94**	**0,91**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,06	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
Ca içeriği (%)	Yaprak	1,41	1,40	1,56	1,40	1,29	1,41 a
	Kök	0,58	0,65	0,66	0,63	0,70	0,65 b
	Ortalama	**1,00**	**1,03**	**1,11**	**1,01**	**1,00**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,09	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Çizelge 4.97. Artan dozlarda uygulanan kurşunun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan Na, Mg ve Ca miktarlarına etkisi

		Kurşun Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Pb0	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	**Ortalama**
Kaldırılan Na miktarı (mg)	Yaprak	27,64	25,35	23,67	22,00	24,90	24,71
	Kök	32,82	28,86	25,63	24,98	20,73	26,61
	Ortalama	**30,23 A**	**27,11 AB**	**24,65 B**	**23,49 B**	**22,81 B**	
	A $_{LSD}$	öd	B $_{LSD<0.01}$	5,01	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan Mg miktarı (mg)	Yaprak	173,94	150,72	146,12	140,40	147,36	151,71 a
	Kök	28,83	25,06	24,91	25,15	18,93	24,58 b
	Ortalama	**101,38 A**	**87,89 B**	**85,51 B**	**82,77 B**	**83,15 B**	
	A $_{LSD<0.01}$	9,44	B $_{LSD<0.05}$	10,95	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan Ca miktarı (mg)	Yaprak	210,66	195,78	199,03	175,78	166,80	189,61 a
	Kök	20,36	21,69	20,45	20,94	19,28	20,55 b
	Ortalama	**115,51**	**108,74**	**109,74**	**98,36**	**93,04**	
	A $_{LSD<0.01}$	16,40	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Kadife çiçeği bitkisinin kaldırılan Mg ve Ca miktarlarının köklere oranla (24,58 mg; 20,55 mg) yapraklarda (151,71 mg; 189,61 mg) daha yüksek olduğu belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

4.9.6. Kadife çiçeği bitkisinin N, P ve K içeriği ve kaldırılan miktarları

Yetiştirme ortamına artan dozlarda uygulanan kurşunun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök N, P ve K içeriği üzerine etkisine ilişkin ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları Çizelge 4.98'de, kaldırılan miktarlarına ait ortalamalar ve LSD testine göre gruplandırmaları ise Çizelge 4.99'da sunulmuştur.

Çizelge 4.98. Artan dozlarda uygulanan kurşunun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kök N, P ve K içeriği üzerine etkisi

		Kurşun Dozları (µM)					
	Bitki kısmı	Pb0	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	**Ortalama**
N içeriği (%)	Yaprak	2,77	2,55	2,61	2,52	2,55	2,60 a
	Kök	1,49	1,40	1,40	1,46	1,48	1,45 b
	Ortalama	**2,13 A**	**1,97 B**	**2,01 B**	**1,99 B**	**2,02 AB**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,08	B $_{LSD<0.01}$	0,12	AxB $_{LSD}$	öd	
P içeriği (%)	Yaprak	0,80	0,82	0,82	0,83	0,79	0,81 a
	Kök	0,51	0,50	0,53	0,54	0,51	0,52 b
	Ortalama	**0,65**	**0,66**	**0,67**	**0,69**	**0,65**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,03	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	
K içeriği (%)	Yaprak	3,09	2,96	3,08	2,94	3,10	3,04 a
	Kök	1,52	1,14	1,17	1,18	1,18	1,18 b
	Ortalama	**2,31**	**2,05**	**2,12**	**2,06**	**2,01**	
	A $_{LSD<0.01}$	0,23	B $_{LSD}$	öd	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Artan dozlarda uygulanan Pb, kadife çiçeği bitkisinin N içeriğinde kontrole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde azalma meydana getirmiştir ($p<0,01$). Kadife çiçeği bitkisinin en yüksek N içeriği (% 2,13) Pb0 kontrol uygulamasından elde edilmiştir. Kurşun uygulamasının kadife çiçeği bitkisinin P ve K içeriklerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Çizelge 4.99. Artan dozlarda uygulanan kurşunun kadife çiçeği bitkisinin yaprak ve kökleri ile kaldırılan N, P ve K miktarlarına etkisi

		Kurşun Dozları (μM)					
	Bitki kısmı	Pb0	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	**Ortalama**
Kaldırılan N miktarı (mg)	Yaprak	413,26 a A	355,62 a B	334,22 a B	316,99 a B	330,06 a B	350,03 a
	Kök	51,85 b A	46,30 b A	43,45 b A	48,23 b A	40,73 b A	46,11 b
	Ortalama	**232,56 A**	**200,96 B**	**188,84 B**	**182,61 B**	**185,40 B**	
	A $_{LSD<0.01}$	19,57	B $_{LSD<0.01}$	30,94	AxB $_{LSD<0.01}$	43,75	
Kaldırılan P miktarı (mg)	Yaprak	119,50	113,91	104,20	104,40	101,82	108,77 a
	Kök	17,59	16,40	16,38	17,92	14,04	16,47 b
	Ortalama	**68,55 A**	**65,16 AB**	**60,29 B**	**61,16 B**	**57,93 B**	
	A $_{LSD<0.01}$	6,30	B $_{LSD<0.05}$	7,31	AxB $_{LSD}$	öd	
Kaldırılan K miktarı (mg)	Yaprak	462,64	413,24	393,52	367,77	401,20	407,68 a
	Kök	52,57	37,53	36,19	39,71	26,03	38,41 b
	Ortalama	**257,60 A**	**225,38 B**	**214,86 B**	**203,74 B**	**213,62 B**	
	A $_{LSD<0.01}$	27,70	B $_{LSD<0.05}$	32,13	AxB $_{LSD}$	öd	

Büyük harfler yatay karşılaştırmayı, küçük harfler düşey karşılaştırmayı ifade etmektedir.
A: Bitki kısmı; B: Doz; AxB: Bitki kısmı x Doz İnteraksiyonu

Kadife çiçeği bitkisinin N, P ve K içeriklerinin köklere oranla sırasıyla (% 1,45; % 0,52; % 1,18) yapraklarda (% 2,60; % 0,81; % 3,04) daha yüksek olduğu belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

Artan dozlarda uygulanan Pb kadife çiçeği bitkisinin kaldırılan N, P ve K miktarında kontrole oranla istatistiksel olarak önemli düzeyde azalma meydana getirmiştir ($p<0,01$; $p<0,05$; $p<0,05$). Kadife çiçeği bitkisinin en yüksek kaldırılan N, P ve K miktarı sırasıyla (232,56 mg; 68,55 mg; 257,60 mg) Pb0 kontrol uygulamasından elde edilmiştir.

Kurşun uygulamaları yaprakların ve köklerin kaldırılan N miktarlarını kontrole göre istatistiksel olarak önemli düzeyde azaltmıştır ($p<0,01$). Kaldırılan en yüksek N miktarı yapraklarda (413,26 mg) ve köklerde (51,85 mg) Pb0 kontrol uygulamasından elde edilmiştir.

Kadife çiçeği bitkisinin kaldırılan N, P ve K miktarlarının köklere oranla sırasıyla (46,11 mg; 16,47 mg; 38,41 mg) yapraklarda (350,03 mg; 108,77 mg; 407,68 mg) daha yüksek olduğu belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$).

5. SONUÇ

Hiperakümülatör bitkiler ağır metalerle kirlenmiş alanların temizlenmsinde önemli rol oynar. Bu kirliliğin temizlenmesi için besin zinciri yoluyla hayvan ve insan beslenmesi için kullanılan kültür bitkileri yerine süs bitkilerinin kullanılması canlı sağlığı açısından önemlidir. Denememizde hiperakümülatör bitkiler arasında olduğu bilinen Aslanağzı (*Antirrhinum majus*), Ateş çiçeği (*Salvia splendes*) ve Kadife Çiçeği (*Tagates patula*)'nin artan dozlarda uygulanan Cd, Cr ve Pb'u yüksek miktarlarda bünyelerine alarak ortamdan uzaklaştırabildiği sonucuna ulaşılmıştır. Ancak ağır metal dozlarının artışıyla genel olarak bitki biyomasında azalmalar tespit edilmiştir. Buna ek olarak ateş çiçeği ve kadife çiçeğinin bitki boyunda gözle görülür şekilde azalma meydana gelmiştir. Ayrıca kadife çiçeğinin alt yapraklarında belirgin biçimde sararmalar gözlenmiştir.

Uygulanan ağır metal dozlarının artışıyla birlikte üç bitkinin de kök ve yaprak kuru madde miktarları kontrol uygulamasına göre azalma göstermiştir. Pb uygulaması yapılan Ateş çiçeği grubunun bitki besin elementlerinin içeriklerinde artış belirlenirken Aslanağzı ve Kadife çiçeğinin besin elementi içeriklerinde azalmalar belirlenmiştir. Kaldırılan besin elementi miktarlarında da besin elementi içerikleriyle pararlel olarak sonuçlanmıştır. Bu sonuçlara karşın bitkiler gelişimlerini sağlıklı bir şekilde devam ettirmişlerdir. Ağır metal dozlarının artmasıyla bitki kuru maddesi azalmasına rağmen ağır metal içeriklerinde artış olmuştur. Üç süs bitkisinin de en yüksek ağır metal içerikleri Cd4, Cr4 ve Pb4 uygulamalarından sağlanmıştır. Uygulanan ağır metaller bitkinin yapraklarına oranla köklerinde birikim göstermiştir. Çalışılan üç süs bitkisi arasında en yüksek Cd, Cr ve Pb akümülasyonu kadife çiçeğinde sırasıyla 506,58 mg kg^{-1}; 936,95 mg kg^{-1} ;104,22 mg kg^{-1} olarak elde edilmiştir. En yüksek kaldırılan Cd miktarı da yine kadife çiçeğinden (3196,05 mg kg^{-1}; 2017,86 mg kg^{-1} ; 327,19 mg kg^{-1}) elde edilmiştir. Araştırmada elde edilen sonuçlara göre Aslanağzı (*Antirrhinum majus*), Ateş çiçeği (*Salvia splendes*) ve Kadife Çiçeği (*Tagates patula*)'nin ağır metal akümülatörü olarak kullanılabileceği ortaya konmuştur. Ancak ortamın bu ağır metallerden tamamen arıtılabilmesi için bitkilerin yetiştirildikten sonra ağır metal birikimi olan kök, gövde ve yapraklarının ortamdan uzaklaştırılarak uygun bir alanda depolanması ya da yakılması gerekmektedir.

Ayrıca yakma işlemi ile ağır metallerin geri dönüştürülmesi ve ilgili alanlarda kullanımı da mümkündür.

Çalışma sonucunda en önemli toprak kirleticilerinin başında gelen ağır metallerin arıtılmasında tercih edilen fiziksel ve kimyasal temizleme yöntemlerinin yüksek maliyetli olması, arıtımın daha uzun sürede sağlanması ve arıtım sonunda birikmiş olan atıkların yok edilmesinde karşılaşılan sorunlardan dolayı çok tercih edilmemektedir. Bu sebeple kirlenmiş alanların temizlenmesinde fitoremediasyon yönteminin kullanılması hem ekonomik hem de ekolojik olması yönünden avantajlıdır.

Fitoremediasyon yönteminin kullanılması, toprakta tutulan metalleri taşınabilir forma dönüştürerek onları kontrol edebilmektir. Bunun için süs bitkilerinin kullanımı ile insan ve hayvan sağlığını olumsuz yönde etkilemeden tarım alanlarının daha az maliyetle iyileştirilmesi sağlanabilir. Buna ek olarak süs bitkilerinin yetiştirilmesi estetik görünümleri ile peyzaj alanlarına da katkıda bulunabilir. Fitoremediasyon yöntemi olarak bu süs bitkilerinin kullanılması doğal kaynaklara zarar vermeden, görsel anlamda çevreye estetik güzellikler katarak çevreyi temizlediği için halk tarafından da yüksek kabul göreceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Adesoye, P.O. 2014. Canopy layers stratified volume equations for pinus caribaea stands in south west nigeria using linear mixed models. *South-east Eur for*, 5 (2): 153-161

Ağcasulu, Ö. 2007. Sakarya Nehri Çeltikçe Çayı'nda yaşayan *Capoeta tinca*'nın dokularında ağır metal birikiminin incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Ankara.

Akıncı, İ. E., Çalışkan, Ü. 2010. Kurşunun bazı yazlık sebzelerde tohum çimlenmesi ve tolerans düzeyleri üzerine etkisi. *Ekoloji Dergisi*, 74: 164–172.

Allen, S.E. 1989. Chemical Analysis of Ecological Material, 2nd edition. Blackwell Scientific Publications, Oxford University Press, New York.

Alloway, B. J. 1995. Cadmium: Heavy metals in soils 2nd, Ed: Alloway, B. J., Blackie Academic and Professional, London, pp: 122-152.

Anonim, 2010a. Exposure to cadmium: a major public health concern. World Health Organization (WHO), http://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/cadmium/en/ (Erişim tarihi: 21.09.2020).

Arora, A., Saxena, S., Sharma, D.K. 2006. Tolerance and phytoaccumulation of chromium by three *Azolla* species. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 22: 97-100.

Arora, A., Sood, A., Singh, P.K. 2004. Hyperaccumulation of cadmium and nickel by *Azolla* species. *Indian J. Plant Physiol.,* 3: 302-304.

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.

Aslam, B., Javed, I., Khan, H.F., Rahman, Z. 2011. Uptake of heavy metal residues from sewage sludge in the goat and cattle during summer season. *Pak. Vet. J.*, 31(1):75-7.

Asri, F.Ö., Sönmez, S. 2006. Ağır metal toksisitesinin bitki metabolizması üzerine etkileri. Derim, *Batı Akdeniz Tarımsal Enstitüsü Derim Dergisi,* 23(2): 36- 45.

Assuncao, A.G.L., Schat, H., Aarts, M.G.M. 2003. Thlaspi caerulescens, an attractive model species to study heavy metal hyperaccumulation plants, New Phytologist, 159(2): 351-360.

ATSDR, 2015. Priority List of Hazardous Substances. Agency for Toxic Substances and Diseases. Available: http://www.atsdr.cdc.gov/spl/resources/atsdr_2015_spl_detailed_data_table.pdf (Erişim tarihi: 07.11.2020)

Avcil, N. 2018. Bitlis katı atık tesisi çevresindeki bazı hiperakümülatör bitkilerin ağır metal içeriklerinin belirlenmesi. *Y. Lisans Tezi*, Bitlis Eren Üniversitesi ve Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Bitlis, Elazığ.

Axtell, N.R., Sternberg, S.P.K., Claussen, K. 2003. Lead and nickel removal using *Microspora* and *Lemna minor*. *Bioresource Technology*, 89(1): 41-48.

Ayaz, F.A., Kadıoglu, A. 1997. Ağır metallerin (Zn, Cd, Cu, Hg) çimlenen lens esculenta l. tohumlarındaki çözünür protein bantları üzerine etkileri. *Tr. J. of Bot.,* 21 (2): 85-88.

Aydınalp, C., Cresser, M.S. 2003. The background levels of heavy metals in Vertisols under Mediterranean type of climate in the region of Turkey. *Journal of Central European Agricultur,*. 4: 289-296.

Aydınalp, C., Fitzpatrick, E.A., Cresser, M.S. 2005. Heavy metal pollution in some soil and water resources of Bursa Province, Turkey. *Communations in Soil Science and Plant Analysis*, 36 (13-14): 1691-1714.

Baker, A.J.M., Brooks, R.R. 1989. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements-a review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery*, 1: 81-126.

Bakhshayesh, B.E., Delkash, M., Scholz, M. 2014. Response of vegetables to cadmium enriched soil. *Water*, 1246-1256.

Barcelo, J., Poschenrieder, C. 1990. Plant water relations as affected by heavy metal stress: A review. *Journal of Plant Nutrition* 13: 1-37.

Barman, S.C., Sahu, R.K., Bhargava, S.K. 2000. Distribution of heavy metals in wheat, mustard and weed grains irrigated with industrial effluents. *Bull. Environ. Conta. Toxicol*, 64(1): 489-496

Başçı, N. 2009. Cr (VI) iyonunun süs bitkileri kullanılarak topraktan gideriminin araştırılması. *Y. Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Adana.

Baumann, A. 1885. Das verhalten von zinksatzen gegen pflanzen und imboden. *Landwirtsch*, 3: 1–53.

Bazzaz, F. A., Rolfe, G.L., Windle, P. 1974. Differing sensitivity of corn and soybean photosynthesis and transpiration to lead contamination. *J. Environ.Qual*, 3: 156-158

Bech, J., Tume, P., Longan, L., Reverter, F., Bech, J., Tume, L. and Tempio, M. 2007. Concentration of Cd, Cu, Pb, Zn, Al, and Fe in soils of Manresa, N.E Spain. Springer Science Business Media B.V.

Belkhadi, A., Hediji, H., Abbes, Z., Nouairi, I., Barhoumi, Z., Zarrouk, M., Chaibi, W. 2010. Effects of exogenous salicylic acid pre-treatment on cadmium toxicity and leaf lipid content in Linum usitatissimum L.. Ecotoxicology and Environmental Safety, 73: 1004–1011.

Benavides, M. P., Gallego, S. M., Tomaro, M. L. 2005. Cadmium toxixity in plants. *Braz. J. Physiol*., 17(1): 21-34.

Bennicelli, R.P., Stepniewska, Z., Banach, A., Szajnocha, K., Ostrowski, J. 2004. The ability of *Azolla caroliniana* to remove heavy metals (Hg(II), Cr(III), Cr(VI)) from municipal waste water. *Chemosphere*, 55(1): 141-146.

Bigersson, B., Sterner, O. , Zimerson, E., Chemie, G. 1988. Eine verst2ndliche Einführung in die Toxikologie. *VCHVerlagsgeselschaft,* 3(527): 8-26455.

Bildirici, N., Demir, C., Demi, H. 2016. Effects of heavy metals on bean plant. *J. Int. Environmental Application & Science,* 11(3): 267-269.

Bitiktaş, A., 2007. Çinko ve kadmiyum toksitesinin marul bitkisinde gelişme ve bazı antioksidant enzimlerin aktivitesine etkileri. *Yüksek Lisans Tezi*, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, Türkiye.

Bowen, H.J.M. 1966. Trace element in Biochemistry. Academic Press, London, 241 pp.

Boysan-Canal, S., Bozkurt, M.A., Kipcak, S. 2018. The effects of organic amendments on cadmium uptake of spinach (Spinacia oleracea L.) and plant growth under cadmium toxicity. *Fresenius Environmental Bulletin*, *27*(5): 3174-3179.

Bradshaw, A.D. 1952. Population of Agrostis tennis resistant to lead and zinc poisoning. *Nature,* 169:1098.

Bragato, C., Brix, H., Malagoli, M. 2006. Accumulation of nutrients and heavy metals in *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel and *Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla in a constructed wetland of the Venice lagoon watershed. *Environ Pollut.,* 144: 967–975.

Bremner, J.M. 1965. Total nitrogen: Methods of soil analysis, Part 2. ed.: Black, C.A., American Soc. Ag. Inc. Pub. Agronomy Series, No.9, Madison, Wisconsin, USA, 1149-1178 pp.

Brooks, R.R. 1998. Hyperaccumulate Heavy Metals: Their Role in Phytoremediation, Microbiology, Archaeology, Mineral Exploration and Phytomining, Ed.: Brooks, R.R., CAB International, New York, pp: 1-14.

Brooks, R.R., Lee, J., Reeves, R.D., Jaffré, T., 1977. Detection of nickeliferous rocks by analysis of herbarium specimens of indicator plants. *Journal Geochemcal Exploration*, 7: 49-57.

Brümmer, G.W., Hornburg, V., Hiller, D.A. 1991. Schwermetallbelasturg von Böden. Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. *Geslisch,* 63: 31-42.

Byers, H.G. 1935. Selenium occurence in certain soils in the united states, with a discussion of the related topics. *U.S. Dep. Agric. Technol. Bull*., 482: 1-47.

Camelo, L.G.L,. Miguez, S.R., Margan, L. 1997. Heavy metals ınput with phosphate fertilizers used in Argentina, *Science of the Total Environment*, 204: 45-250.

Chandra, R., Yadav, S. 2011. Phytoremediation of Cd, Cr, Cu, Mn, Fe, Ni, Pb and Zn from Aqueous Solution Using *Phragmites Cummunis*, *Typha Angustifolia* and *Cyperus Esculentus*. *International Journal of Phytoremediation,* 13: 580-591.

Chaney, R.L. 1983. Plant uptake of inorganic waste constituents. In: Parr, J.F., Marsh, P.B., Kla, J.M., Eds., Land Treatment of Hazardous Wastes, Noyes Data Corporation, Park Ridge, 50-76.

Chaney, W.R., Pope, P.E., Byrnes, W.R. 1995. Tree survival and growth on land reclaimed in accord with public law 95-87. *J. Environ.l Qual.*, 24(4): 630-634.

Chen, H.M., Zheng, C.R., Tu, C., Shen, Z.G. 2000. Chemical methods and phytoremediation of soil contaminated with heavy metals, *Chemosphere*, 41: 229-234.

Clemens, S., 2006. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. *Biochimie*, 88: 1707-1719.

Çağlarırmak, N., Hepçimen, A.Z. 2010. Ağır metal toprak kirliliğinin gıda zinciri ve insan sağlığına etkisi. *Akademik Gıda,* 8(2): 31-35.

Çavuşoğlu, K., Arıca, Ş.K. 2007. Pinus nigra (arnold) subs. Nigra var. Caramanica (loudon) rehder türünün yapraklarında kurşun birikiminin araştırılması. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(1): 42–46

Çavuşoğlu, K., Kılıç, S., Kılıç, M. 2009. Taşıtların sebep olduğu kurşun (Pb) kirliliğinin çam ve sedir yapraklarının anatomisi üzerine etkileri. *BioDiCon*, 2-3: 92-98

Çekiç, F.Ö. 2004. Tuz (NaCl) ve ağır metal (kadmiyum) stresine maruz bırakılan domates bitkisinde bazı fizyolojik parametrelerin ve antioksidant savunma sisteminin incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi,* Mersin Üniversitesi, Mersin, Türkiye.

Çelik, H., Turan, M.A., Aşık, B.B., Katkat, A.V. 2017. Evaluation of analytical methods for boron determination in maize shoots. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(21): 2573-2581.

Çeviri Editörü: Işık, K. 2004. Bitki Biyolojisi, Palme Yayıncılık, Ankara, 497 s. Graham, L.E., Graham, J.M., Wilcox, L.W.

Dağhan, H. 2016. *Tagetes patula* L. bitkisinin fitoremediasyon amaçlı kullanım potansiyelinin su kültürü koşullarında araştırılması. *Toprak Su Dergisi*, 5 (2): 25-31.

Dahmani-Muller, H., Oort, F., Gelie, B., Blabene, M. 2000. Strategies of heavy metal uptake by three plants species growing near a metal smelter. *Environmantel Pollution*, 109: 231-238.

Das, S., Goswami, S., Talukdar, A.D. 2013. A study on cadmium phytoremediation potential of water lettuce, *Pistia stratiotes* L. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 92(2); 169-174.

Daşdemir, A. 2015. İstanbul avrupa yakası otoban kenarlarındaki tarım arazilerinde ağır metal kirliliğinin araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Tekirdağ.

Delgado, M., Bigeriego, M., Guardiola, E. 1993. Uptake of Zn, Cr and Cd by water hyacinths. *Water Researches*, 27(2): 269-272.

Demir, R. ve Düz, Z. 2008. Diyarbakır il sınırları içerisinde yayılış gösteren bazı yonca (Medicago L.) türlerinde ağır metal düzeylerinin belirlenmesi. *Diyarbakır Üniversitesi Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Dergisi* 10: 148–153.

Deniz, M. 2003. Ağır metal kirliliği ve ekosistem üzerine olan etkileri. Trakya Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü.

Deveci, T. 2012. Gaziantep'te atık sulardan etkilenen toprak ve bitkilerde eser element (Cu, Co, Mn, Zn ve Fe) konsantrasyonları'nın ICP-MS ile Tayini. *Yüksek Lisans Tezi*, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Kilis.

Dilaver, Z. 2011. Peyzaj mimarlığında bitki materyali: Peyzaj, Çevre ve Tarım Kitabı, Anadolu Üniversitesi Yayını No: 2282, Ed: Yazgan, M.E, Eskişehir.

Djebali, W. 2010. Effects of exogenous salicylic acid pre-treatment on cadmium toxicity and leaf lipid content in Linum usitatissimum L.. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 73: 1004–1011.

Doelsch, E., Van De Kerchove, V., Macary, H. S. 2006. Heavy metal content in soils of Réunion (Indian Ocean). *Geoderma*, 134 (1-2) :119-134.

Duffus, J.H. 2002. Heavy metals: a meaningless term (IUPAC Technical report). *Pure Appl. Chem.*, 74: 793-807.

Duru, N., Türkmen, Z., Çavuşoğlu, K., Yalçın, E., Yapar, K. 2011. Verbascum Sınuatum L. (Scrophularıaceae) (Sığırkuyruğu) türü kullanılarak Karadeniz sahil şeridinde taşıtların sebep olduğu ağır metal kirliliğinin araştırılması. *SAÜ* Fen *Bilimleri Dergisi*, 15 (2) : 89-91.

Dürüst, N., Dürüst, Y., Tuğrul, D and Zengin, M. 2004. Heavy metal contents of pinus radiata trees of İzmit (Turkey). *Asian Journal of Chemistry*, 16(2): 1129-1134.

El-Khatib, A.A., Hegazy, A.K., Abo-El-Kassem, A.M. 2014. Bioaccumulation potential and physiological responses of aquatic macrophytes to Pb pollution. *International Journal of Phytoremediation*. 16: 29-45.

Ergün, N., Öncel, I. 2009. Ekmeklik buğdayda (Triticum aestivum L.) ilk gelişme döneminde kök ve gövde büyümesi üzerine bazı ağır metal ve ağır metalhormon uygulamalarının etkileri. *Yyü. Tar. Bil. Derg*., 19 (1): 11-17.

Ertem, M. 2011. Itai Itai hastalığı. Erişim: http://www.cevres agligi.org/cevresagligi/kutuphane/ii.-ulusal-cevre-hekimligi kongresi/itai-itai-hastal.html

Fargasova, A. 1994. Effect of Pb, Cd, Hg, As and Cr on germination and root growth of Sinapis alba seeds. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 52: 452-456.

Farooq, M., Anwar, F., Rashid U. 2008. Appraisal of heavy metal contents in different vegetables grown in the vicinity of an industrial area. *Pak. J. Bot.*, 40(5): 2099-2106.

Fediuc, E., Erdei, L. 2002. Physiological and biochemical aspects of cadmium toxicity and protective mechanisms induced in Phragmites australis and Typha latifolia. *Journal of Plant Physiology*, 159: 265-271.

Foy, C.D., Chaney, R.L., White, M.C. 1978. The physiology of metal toxicity in plants. *Ann. Rev.* of *Plant Physiol.*, 29: 511-566.

Gao, X., Akhter, F., Tenuta, M., Flaten, D.N., Gawalko, E. J., & Grant, C. 2010. Mycorrhizal colonization and grain Cd concentration of field-grown durum wheat in response totillage, preceding crop and phosphorus fertilization. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90: 750-758.

Gerard, E., Echevarria, G., Sterckeman, T., Morel, J.L. 2000. Cadmium availability to three plant species varying in cadmium accumulation pattern. *J. Environ. Qual.*, 29(4): 1117-1123.

Ghoshroy, S.,Nasdakavukaren, M. J. 1990. Influence of cadmium on the ultrastracture of developing chloroplasts in soybean and corn. *Environm. Exp. Bot*., 30: 187-192.

Glass, D.J. 2000. The 2000 Phytoremediation Industry. Glass Associates, Needham, Mass., D. Glass Associates., 100 pp. growth, photosynthesis, mineral nutrition and metal accumulation of an energy crop, King Grass (Pennisetum americanum x P. purpureum*). Biomass and bioenergy*, 67: 179-187.

Grupe, R., Filipinski, M. 1989. Zur Verfügbarkeit und pflanzenaufnahme von Pb auf Böden mit hohen lithogenen Schwermetallgehalten. Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. *Geslisch*., 59(1): 361-366.

Gümüş, B, Bayrak, M., Çelik, H. 2019. Usage of ornamental plants for phytoremediation: Researches In Landscape and Ornamental Plants, Editör: Zencirkıran, M., Gece Kitaplığı, New York, USA. pp. 83-108.

Gündüz, Ş. 2005. Turunçgil bakterilerinde yabancı otlar ve bazı bitkilerin ekolojik faktörlere tepkileri. *Doktora Tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitki Koruma Anabilim Dalı, Adana.

Gür, N., Topdemir, A., Munzuroğlu, Ö., Çobanoğlu, D. 2004. Ağır metal iyonlarının (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.

Haktanır, K. 1987. Çevre Kirliliği. A.Ü. Ziraat Fakültesi Ders Notu, Teksir No:140, Ankara.

Haktanır, K., Arcak, S. 1998. Çevre Kirliliği. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Ders Kitabı Yayın No: 1503, Ankara, 323 s.

Hamutoğlu, R., Dinçsoy, A.B., Cansaran Duman, D., Aras, S. 2012. Biyosorpsiyon, adsorpsiyon ve fitoremediasyon yöntemleri ve uygulamaları. *Türk Hij. Den. Biyol. Derg.*, 69(4): 235–253

Hamvumba, R., Mataa, M., Mweetwa, A.M., 2014. Evaluation of sunflower (*Helianthus annuus* L.), sorghum (*Sorghum bicolor* L.) and Chinese cabbage (*Brassica chinensis*) for phytoremediation of lead contaminated soils. *Environment and Pollution*, 3(2): 65-73.

Hanlon, E.A. 1998. Elemental determination by atomic absorption spectrophotometry: Handbook of Reference Methods for Plant Analysis, Ed.: Karla, Y.P., CRC Pres, Washington, D.C., p.157.

Hansen, T.H., De Bang, T.C., Laursen, K.H., Pedas, P., Husted, S., Schjørring, J.K. 2013. Multielement plant tissue analysis using ICP spectrometry: Plant mineral nutrients methods and protocols, Ed.: Maathuis, F.J.M., Humana Press, Totowa, NJ. pp: 121-141.

Hansruedi, F., 1997. Field trials for in situ decontamination of heavy metal polluted soils using crop of metal-accumulating plants. *Z. Pflanzenernähr. und Bodenk.*, 160: 525-529.

Harte, G., Owen, D. 1991. Environmental disclosure in the annual reports of British Companies: A Research notes. *Accounting, Auditing &Accountability Journal*, 4(3): 51-64.

Hashem, H.A., Hassanein, R.A., El-Deep, M.H., Shouman, A.I. 2013. Irrigation with industrial waste water activates antioxidant system and osmoprotectant accumulation in lettuce, turnip and tomato plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 95: 144–152.

Hocagil, M.M., Aydın, A., Yeler, O. 2012. Süs bitkileri sektörü yatırım el kitabı. Mersin Flora Süs Bitkileri Projesi, Mersin, 101 s.

Horneck, D.A., Hanson, D. 1998. Determination of potassium and sodium by flame emission spectrophotometry: Handbook of reference methods for plant analysis, Ed.: Karla, Y.P., CRC Pres, Washington, D.C. 157-164 pp.

Hoşgören, H. 2017. Kadmiyumun (Cd), *Brassica napus ssp*. *Oleifera* (Kanola) bitkisinin asitleri üzerinde meydana getirdiği değişiklikler. *Ecolojical Life Sciences*, 12(2): 20-25.

Imamul Huq, S.M., Joardar, J.C., Parvin, S. 2005. Marigold (*Tagetes patula*) and ornamental arum (*Syngonia sp.*) as phytoremediators for arsenic in pot soil. *Bangladesh J. Bot.*, 34(2): 65-70.

Imperato, M., Adamo, P., Naimo, D., Arienzo, M., Stanzione, D. and Violante, P. 2003. Spatial distribution of heavy metals in urban soils of Naples city (Italy). *Environmental Pollution*, 124: 247–256.

İlhan, A. İ., Dündar, C., Öz, N., Kılınç, H. 2006. Hava kirliliği ve asit yağmurlarının çevre ve insan sağlığı üzerine etkileri, http://www.meteor.gov.tr/2006/arastirma/files/webhakir.pdf

Jana, T. Dalal., Barua, B. 1987. Effects and relative toxicity of heavy metals on Cuscuta reflexa. *Water, Air and Soil Pollution*, 33: 23-27.

Johnson, M. S., McNeilly, T., Putwain, P. O. 1977. Revegetation of metalliferous mine spoil contaminated by lead and zinc. *Environ. Pollut.*, 12: 261-277

Kabata-Pendias, A. 2010. Trace elements in soils and plants. CRC Press, Boca Raton, 548pp. https://doi.org/10.1201/b10158

Kabata-Pendias, A. and Pendias, H. 1984 Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Inc., Florida.

Kabata-Pendias, A., Mukherjee, A.B. 2007. Trace elements from soil to human. Springer, Berlin, Germany. 550 pp.

Kacar, B., İnal, A. 2008. Kadmiyum Bölüm:20 :Bitki Analizleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No:1241, Ankara. 892.

Kacar, B., ve İnal, A. 2010. Bitki Analizleri (2. Baskı), Ankara, Nobel Yayınları No: 1241.

Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S. 2003. Metallerin çevresel etkileri-1, İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, *Metalurji Dergisi*, 136: 47-53, https://metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136_4753.pdf (Erişim tarihi: 02.11.2020).

Kalbasi, M., Peryea, F.J., Lindastay, W.L., Drake, S.R. 1995. 'Measurement of divalent lead in lead activity in lead arsenate contaminated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 59(5): 1274-1280.

Karaçağıl, D. 2013. İstanbul'da belirlenmiş sahil şeritlerinde toprak kalitesi ve ağır metal kirliliği. *Yüksek Lisans Tezi*, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kentsel Sistemler Ve Ulaştırma Yönetimi, İstanbul.

Karaman, M.R. 2012. Bitki besleme, Gübretaş Rehber Kitaplar Dizisi No, 2.

Kennedy, C.D., Gonsalves, F.A.N. 1987. The action of divalent zinc, cadmium, mercury, copper and lead on the trans-root potential and efflux of excised roots, *Journal of Experimental Botany*, 38: 800-817.

Keser, B. 2008. Aydın ilinde Büyük Menderes nehri ile sulanan bölgelerde yetişen bazı sebze ve meyvelerdeki ağır metal kirliliğinin araştırıması. *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adnan Menderes Üniversitesi.

Khan, A.G., Kuek, C., Chaudhry, T.M., Khoo, C.S., Hayes, W.J. 2000. Role of plants, mycorrhizae and phytochelators in heavy metal contaminated land remediation. *Chemosphere,* 41: 197-207.

Kıran, S., Özkay, F., Kuşvuran, Ş., Ellialtıoğlu Ş.Ş. 2014. Ağır metal içeriği yüksek sularla sulanan patlıcan bitkilerine uygulanan humik asidin bazı morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal özellikleri üzerine etkisi. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi,* 2(6): 280-288.

Kırat, G. 2017. Görgü (Yeşilyurt) Pb – Zn madeni çevresinde yetişen Pb-Zn-Cd akümülatör bitkiler. *MTA Dergisi,* 155: 165-178.

Koca, S., 2012. Bazı bitkilerin hidroponik ortamda fitoremediasyon kapasitelerin araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Denizli.

Kocaer, F.O., Başkaya, H.S., 2003. Metallerle kirlenmiş toprakların temizlenmesinde uygulanan teknolojiler. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 8(1): 121-131.

Koch, D. and Grupe, M. 1993. Mobilitaet von Schwermetallen georgener anthropogener herkunft. Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. *Geslisch.,* 72: 385-388.

Kovacik, J., Gruz, J., Hedbavny, J., Klejdus, B., Strnad, M. 2009. Cadmium and nickel uptake are differentially modulated by salicylic acid in Matricaria chamomilla plants. *J. Agric. Food Chem.,* 57: 9848–9855.

Köleli, N., Kantar, Ç. 2005. Fosfat kayası, fosforik asit ve fosforlu gübrelerdeki toksik ağır metal (Cd, Pb, Ni, As) konsantrasyonu. *Ekoloji Dergisi,* 14(55): 1-5.

Kumar, N.P.B.A., Dushenkov, V., Motto, H., Raskin, I., 1995. Phytoextrction: The use of plants to remove heavy metals from soils. *Environmental Sciences and Technolgy*, 29(5): 1232-1238.

Lal, K., Minhas, P.S., Chaturvedi, S.R.K., Yadav, R.K. 2008. Extraction of cadmium and tolerance of three annual cut flowers on Cd-contaminated soils. *Bioresource Technology*, 99: 1006-1011.

Lamersdorf, N. P., Godbold, D. L., Knoche. 1991 D. Risk assessment of some heavy metals for growth of Norway spruce. *Water, Air and Soil Pollution*, 57/58: 535-543.

Lasat, M.M. 2000. Phytoextraction of metals from contaminated soil: A review of plant/soil/metal interaction and assessment of pertinent agronomic issues. *Journal of Hazardous Substance Research*, 2(5): 1-25.

Lazaro, D.J., Kidd, P.S., Martinez, C.M. 2006. A phytogeochemical study of the Tras-Os-Montes region Ne Portugal: possible species for plant-based soil remediation technologies. *Science of the Total Environment*, 354: 265-77.

Lehoczky, E., Szabo, L., Horvath, S. Z. 1998. Cadmium uptake by lettuce in different soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 29(11-4): 1903-1912.

Leštan, D., Neža, F. 2006. Relationship of soil properties to fractionation, bioavailability and mobility of pb and zn in soil. environmental aspects of trace 57 element research – Water, Soil, Microorganisms, Plants Procs. Trace Elements in the Food Chain, 140 Budapest.

Li, S., Wang, F., Ru, M., Ni, W. 2014. Cadmium tolerance and accumulation of elsholtzia argyi oriıgining from a zinc/lead mining site – a hydroponics experiment. *International Journal of Phytoremediation*, 16: 1257–1267.

Liao, S.W., Chang, W.L. 2004. Heavy metal phytoremediation by water hyacinth at constructed wetlands in Taiwan. *J. Aquat. Plant Manage.*, 42: 60-68.

Lin, C.C., Lai, H.Y., Chen, Z.S. 2010. Bioavailability assessment and accumulation by five garden flower species grown in artificially cadmium-contaminated soils. *International Journal of Phytoremediation*, 12: 1-14.

Lissy, P.N.M., Madhu, G. 2011. Removal of heavy metals from waste water using water hyacinth. *ACEEE Int. J. on Transportation and Urban Development*, 1(1): 48-52.

Liu, J.N., Zhou, Q.X., Sun, T., Ma, L.Q., Wang, S. 2008a. Identification and chemical enhancement of two ornamental plants for phytoremediation. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 80: 260-265.

Liu, J.N., Zhou, Q.X., Sun, T., Ma, LQ., Wang, S. 2008b. Growth responses of three ornamental plants to Cd and Cd-Pb stress and their metal accumulation characteristics. *Journal of Hazardous Materials*, 151(1): 261-267.

Liu, Y.T., Chen, Z.S., Hong, C.Y. 2011. Cadmium-induced physiological response and antioxidant enzyme changes in the novel cadmium accumulator, *Tagetes patula*. *Journal of Hazardous Materials*, 189: 724-731.

Lott, W.L., Gallo, J.P., Meaff, J.C. 1956. Leaf analysis tecnique in coffee research, Ibec. Research Inc. 1-9,21-24.

Madejon, P., Murillo, J.M., Maranon, T., Cabrera, F., Soriano, M.A. 2003. Trace element and nutrient accumulation in sunflower plants two years after the Aznolcollar mine spill. *The Science of the Total Environment*, 307: 239-57.

Maldonado, V.M., Arias, H.O., Quintana, R., Saucedo, R.A., Gutierrez, M., Ortega, J.A., Nevarez, G.V. 2008. Heavy metal content in soils under different wastewater ırrigation patterns in Chihuahua, Mexico. *Int J Environ Res Public Health. Dec*., 5 (5): 441-449.

Malkoç, İ. 2015. Meslek Hastalıkları, 3.Baskı. Atatürk Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi, Ders Notu, Erzurum.

Mansour, H.A., El-Maadawy, E.I., Ahmed, H.A.H., Othman, E.Z. 2015. Effect of different chemical additives on growth and flowering of African Marigold (Tagetes erecta L.) grown under cadmium stress. *J. Hort. Sci. & Ornamen. Plants,* 7(1): 29-38.

Marschner, H. 2008. Mieral nutrition of higher plants. Academic Press, Second Edition. London, UK., 889 pp.

Mcintyre, T. 2003. Phytoremediation of heavy metals from soils. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechhnology*, 78: 97-123.

Meagher, R.B. 2000. Phytoremediation of toxic elemental and organic pollutants. *Current Opinion in Plant Biology*, 3: 153-162.

Memon, A.R., Aktoprakligül, D., Özdemir, A., Vertii, A. 2001. Heavy metal accumulation and detoxification mechanisms in plants, *Turk. J. Bot.*, 25: 111-121.

Metin, S.Ü. 2010. Bursa ovası aluviyal, koluviyal ve vertisol grubu tarım topraklarının ağır metal kirliliği yönünden incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi, Bursa.

Mıcó, C., Peris, M., Sánchez, J., Recatalá, L. 2006. Heavy metal content of agricultural soils in a mediterranean semiarid area: The Segura River Valley (Alicante, Spain). *Spanish Journal of Agricultural Research*, 4 (4): 363-372.

Milone, M.T., Sgherri, C., Clijsters, H., Navari-Izzo, F. 2003. Antioxidative responses of wheat treated with realistic concentration of cadmium. *Environmental and Experimental Botany*, 50: 265–276.

Minguzzi, C., Vergnano, O. 1948. II contento di nichel nelli ceneri di Alyssum bertlonii desv. atti della . *Societa Toscana di Science Naturali*, 55: 49–77.

Miranda, MG and Ilangovan, K. 1996. Uptake of lead by Lemna gibba L. influnce on spesific growth rate and basic biochemical changes. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 56: 1000-1007.

Moijiri, A., 2011. The potential of corn (*Zea mays*) for phytoremediation of soil contaminated with cadmium and lead. *J. Biol. Environ. Sci.*, 5(13): 17-22.

Monteiro, MS, Santos, C., Soares, A., Mann, R. 2009. Assessment of biomarkers of cadmium stres in lettuce. *Exotoxicology and Environmental Safety*, 72: 811-818.

Mulligan, C.N., Yong, R.N. and Gibbs, B.F. 2001. Remediation technologies for metal contaminated soils and groundwater: an evaluation. *Engineering Geology*, 60: 193-207.

Nassouhi, D. 2018. Kadmiyum, kurşun ve kadmiyum-kurşun karışımına maruz bırakılan *pistia stratiotes* l. sucul bitkisinin fitoremediasyon potansiyelinin araştırılması. *Yüksek Lisans tezi*, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Ankara.

Nazar, R., Iqbal, N., Masood, A., Khan, M.I.R., Syeed, S., Khan, N.A. 2012. Cadmium toxicity in plants and role of mineral nutrients in its alleviation. *AJPS*, 3: 1476-1489.
on bush bean plants grown in soil. *Plant Soil*, 44: 471-473.

Ouzounidou, G. 1994. Copper induced changes on growth, metal content and photosynhetic functions of *Alyssum montanum* L. plants. *Environmental and Experimental Botany*, 34: 165-172.

Öktüren, A., F., Sönmez, S. 2007. Ağır metal toksisitesinin bitki metabolizması üzerine etkileri. *Derim Dergisi*, 23(2):36-45.

Önder, S. 2012. Atık sular ile sulanan zirai alanlardaki ağır metal kirliliğinin araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.

Özay, C., Mammadov, R. 2013. Ağır metaller ve süs bitkilerinin fitoremediasyonda kullanılabilirliği. *BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi,* 15(1): 68-77.

Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M ve Kaptan, H. 1995. Toprak Bilimi. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Genel Yayın No: 73, Ders Kitapları Yayın No: 16, Adana.

Özbek, K. 2015. Hiperakümülasyon ve Türkiye florasındaki hiperakümülatör türler. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 3: 37 – 43.

Özbek, K., Cebel, N., Ünver, İ. 2013. Extractability and phytoavailability of cadmium in Cd-rich pedogenic soils. *Turk. J. Agric. For.*, 38: 70-79.

Özbolat, G., Tuli, A. 2016. Ağır metal toksisitesinin insan sağlığına etkileri. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, 23(3): 502-521.

Özkan, G. 2009. Endüstriyel bölge komşuluğunda kıyısal kırsal alandaki hava kalitesi; Muallimköy'de partikül madddede ve topraktaki ağır metal kirliliği. *Yüksek Lisans Tezi*, GYTE Fen Bilimleri Enstitüsüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Gebze.

Öztürk, L., Karanlık, S., Özkutlu, F., Çakmak, İ., Kochian, L.V. 2003. Shoot biomass and zinc/cadmium uptake for hyperaccumulator and non-accumulator thlaspi species in response to growth on a zinc-deficient calcareous soil. *Plant Science*, 164(6): 1095-1101.

Padmaja, K., Prasad, D.D.K, Prasad, A.R.K. 1990. Inhibition of chlorophyll synthesis in Phaseolus vulgaris L. seedlings by cadmium acetate. *Photosynth*. 24: 399-405.

Pais, I., Jones, J.B.Jr. 2000. The handbook of trace elements. Published by St. Lucie Pres, Boca Raton, Florida.

Papafilippaki, A., Gasparatos, D., Haidouti, C., Stavroulakis, G. 2007. Total and bioavailability forms of Cu, Zn, Pb and Cr: Agricultural soils in a study from the hydrological basin of Keritis, Chania, Greece. *Global NEST Journal*, 9 (3): 201-206.

Patra, M., Bhowmik, N., Bandopadhyay, B., Sharma, A. 2004. Comparison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plant systems and the development of genetic tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 52(3): 199-223.

Pillay, V., Sreekanth, E., Jonnalagadda, B. 2007. Elemental uptake by edible herbs and lettuce (Lactuca sativa). *Journal of Enviromental Science and Health*, 42: 423-428.

Priyanka, D., Shalini, T., Navneet, V.K. 2013. A brief study on Marigold (Tagetes Species): a review. *IRJP*, 4(1):43-48.

Qishlaqi, A., Moore, F. 2007. Statistical Analysis of Accumulation and Sources of Heavy Metals Occurrence in Agricultural Soils of Khoshk River Banks, Shiraz, Iran. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 2 (5): 565-573.

Rascio, N., Navari-Izzo, F. 2011. Heavy metal hyperaccumulating plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting?. *Plant Science*, 180 (2): 169–181.

Raskin, I., Ensley, B.D. 2000. Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean Up tthe Enviroment. John Wiley and Sons, NewYork, 304 pp.

Raskin, I., Kumar, N.P.B.A., Dushenkov, S., Salt, D. E. 1994. Bioconcentration of heavy metals by plants. *Current Opinion in Biotechnology*, 5 (3): 285-290

Reeves, R., Brooks, R., 1983. European species of Thlaspi L. (Cruciferae) as indicators of Ni and Zn. *Journal Geochemical Exploration*, 18: 275-283.

Reeves, R.D., Baker, A.J.M. 2000. Metal-accumulating plants. In: Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean up the environment, Ed: Raskin, I., Ensley, B.D., Wiley, New York, pp: 193-229.

Reeves, R.D., 2006. Hyperaccumulation of trace elements by plants. In: Morel, J.L., Echevarria, G. ve Goncharova, N. (Eds.). Phytoremediation of metal-contaminated soils, NATO Science Series: IV: Earth and Environmental Sciences, Springer, NY, 1-25 pp.

Reeves, R.D., Schwartz, C., Morel, J.L., Edmondson, J. 2001. Distribution and metal accumulating behaviour of Thlaspi caerulescens and associated Metallophytes in France. *International Journal of Phytoremediation*, 3(2): 145-172.

Rungruang, N., Babel, S., Parkpian, P. 2011. Screening of potential hyperaccumulator for cadmium from contaminated soil. *Desalination and Water Treatment*, 32: 19-26.

Sağlam, N., Cihangir, N. 1995. Ağır metallerin biyolojik süreçlerle biyosorbsiyonu çalışmaları. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 11: 157-161.

Sahibin, A.R., Zulfahmi, A.R., Lai, K.M., Errol, P., Talib, M.L. 2002. Proceedings of the Regional Symposium on Environment and Natural Resources 1011th April 2002, Hotel Renaissance Kuala Lumpur, Malaysia 1: 660-667.

Salt D.E., Rauser W.E. 1995. MgATP-Dependent Transport of phytochelatins across the tonoplast of oat roots, *Plant Physiology*, 107: 1293-1301.

Sandalio, L.M., Dalurzo, H.C., Gomez, M., Romero-Puertas, M.C., Del Rio, L.A. 2001. Cadmium-induced changes in the growth and oxidative metabolism of pea plants. *Journal of experimental botany, 52*(364): 2115-2126.

Sarıyer, E. 2017. Bursa Bölgesinde yetiştirilen bazı marul ve baş salata çeşitlerinde sulama suyu kaynağına bağlı olarak ağır metal miktarının belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi,* U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

Schroeder, H.A., Balasa, J.J. 1963. Cadmium: uptake by vegetables from superphosphate by soil. *Science*, 140: 819-820.

Schüürmann, G., Markert, B.A. 1998. Ecotoxicology. ecological fundamentals, chemical exposure and biological effects. *Environmental Science Technology*, Vol.13 pp. 900.

Sesli, M. 2002. Soma ilçesinde yol kenarında yetişen tütünlerde kurşun miktarlarının araştırılması. Celal Bayar Üniversitesi Akhisar Meslek Yüksekokulu, Manisa, No:11.

Seven, T., Can, B., Darende, B.N., Ocak, S. 2018. Hava ve toprakta ağır metal kirliliği. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi,* 1(2): 91-103 .

Shao, G., Chen, M., Wang, W., Mou, R., Zhang, G. 2007. Iron nutrition affects cadmium accumulation and toxicity in rice plants. *Plant Growth Regulation*, 53: 33-42.

Sharma, P., Dubey, R.S. 2005. Lead toxicity in plants. *Braz. J. Plant Physiol.*, 17(1): 35-52.

Sherameti, I. 2011. Soil Biology. Detoxification of heavy metal, Capter:1, Springer Verlag, No: 30, Spain. 448 pp.

Shi, W.Y., Shao, H.B., Li, H., Shao, M.A. ve Du, S., 2009. Co-Remediation of the Lead Polluted Garden Soil by Exogenous Natural Zeolite and Humic Acids. *Journal of Hazardous Materials*, 167: 136-140

Siedlecka A., Krupa Z. 1996. Interaction between cadmium and iron. Accumulation and distribution of metals and changes in growth parameters of Phaseolus vulgaris L. seedlings. *Acta Soc. Bot. Pol*., 65(3-4): 277–282.

Siedlecka, A., Krupa, Z. 1999. Cd/Fe interaction in higher plants. Its consequence for the photosynthetic apparatus. *Photosynthetica*, 36(3): 321-331.

Singh, D., Gupta, R., Tiwari, A. 2012. Potential of duckweed (*Lemna minor*) for removal of lead from wastewater by phytoremediation. *Journal of Pharmacy Research*, 5(3): 1578-1582.

Sinha, H. S., Tripathi, R. 1993. Influence of some growth regulators and cations on the ınhibition of chlorophyll biosynthesis by lead in maize. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 51: 241-246.

Smith, R.A.H., Bradshaw, A.D. 1979. The use of metal tolerant plant populations for the reclamation of metalliferous wastes. *Journal of Applied Ecology*, 16(2): 595-612.

Steffens, J.D. 1990. The heavy metal-binding peptides of plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Bioi*, 41: 533-575.

Stolt, J.P., Sneller, F.E.C., Bryngelsson, T., Lundborg, T., Schat H., 2003. Phytochelatin and Cadmium Accumulation in Wheat. *Environmental and Experimental Botany*, 49: 21-28.

Sunlu ve Egemen. 1998. Çevre için jeoloji; ağır metallerin çevresel etkileri. *SDUGEO e-dergi*, 2(45): 30-35.

Sümer, A., Adiloğlu, S., Çetinkaya, O., Adiloğlu, A., Sungur, A., Bulak, C. 2013. Karamenderes havzası topraklarında bazı ağır metallerin (Cr,Ni,Pb) kirliliğinin araştırılması. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 10(1):83-89.

Swaine, D.J. 1955. The trace element content of soils. Commonwealth Bur. Soil Sci. Tech. Comm., Herald Printing, No:48, York, England, 151 pp.

Syed, A.H., Barket, A., Shamsul, H., Aqil, A. 2007. Cadmium-ınduced changes in the growth and carbonic anhydrase activity of chickpea. *Turk J Biol*., 31: 137-140.

Thamayanthi, D., Sharavanan, P.S., Jayaprasad, B. 2013. Phytoremediating capability biochemical changes and nutrient status of marigold (Tagetes erecta L.), plant under cadmium stress. *IJSR,* 3(4): 57-63.

Thompson, L, 1997. Exciting Environmental Technologies.

Tiryakioğlu, M., Eker, S., Ozkutlu , F., Husted, S., Cakmak, I. 2006. Antioxidant defense system and cadmium uptake in barley genotypes differing in cadmium tolerance. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology,* 20: 181-189.

Tlustoš, P., Šichorová, K., Száková, J., Pavlíková, D. 2006. Environmental Aspects of Trace Element Research – Water, Soil, Microorganisms, Plants. Procs. Trace Elements in the Food Chain, Budapest, 125 Contents Of Trace Elements In Grain Crops Planted At Contaminated Area.

Tok, H.H. 1997. Çevre Kirliliği. Anadolu Matbaacılık, Tekirdağ.

Tunçok, Y. 2008. İçme suyunda ağır metaller ve insan sağlığına etkileri. Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Farmokoloji Anabilim Dalı Klinik Toksikoloji B.D. İlaç ve Zehir Danışma Merkezi, İzmir. http://izmir.kalder.org/Yesim_Tuncok.pdf.

Üçüncü, E., Tunca, E., Fikirdeşici, Ş., Özkan, A.D., Altındağ, A. 2013. Phytoremediation of Cu, Cr and Pb Mixtures by *Lemna minor*. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.,* 91: 600-604.

Üstbaş, Y. 2008. Trakya bölgesinde üretilen ayçiçeği tohumu (Helianthus annus L.) yağlarında bakır, demir, kadminyum ve kurşun içeriklerinin belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Trakya Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Tekirdağ.

Vajpayee, P., Sharma, S.C., Rai, U.N., Tripathi, R.D., Yunus, M. 1999. Bioaccumulation of chromium and toxicity to photosynthetic pigments nitrate reductase activity and protein content of *Nelumbo nucifera* Gaertn. *Chemosphere,* 39: 2159-2169.

Van, Assche, Clijsters, H. 1990. Effects of metals on enzyme activity in plants. *Plant Cell Environ*., 13: 195- 206.

Vanlı, Ö., Yazgan, M. 2008. Ağır metallerle kirlenmiş toprakların temizlenmesinde fitoremediasyon tekniği. http://www.tarimsal.com/fitoremediasyon/fitoremediasyon.html-(Erişim tarihi: 05.09.2020).

Verma, S., Dubey, R.S. 2003. Lead toxcitiy induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants. *Plant Science,* 164: 645-655.

Vesely, T., Tlustos, P., Szakova, J. 2011. The use of water lettuce (*Pistia Stratiotes* L.) for rhizofiltration of a highly polluted solution by cadmium and lead. *International Journal of Phytoremediation,* 13(9): 859-872.

Viatcheslav, D., Kumar, N.P.B.A., Motto, H., Raskin, I. 1995. Rhizofiltration: The use of plants to remove heavy metals from aqueous streams. *Environ. Sci. Technol.*, 29: 1239-1245.

Vivek, D., Vivek, P., Radhey, S. 2001. Differantial antioxidative responses to cadmium in roots and leaves of pea (Pisum sativum L. Cv. Azad). *Journal of Experimental Botany*, 52 (358): 1101-1109.

Vural, H. 1993. Ağır metal iyonlarının gıdalarda olusturduğu kirlilikler. *Çevre Dergisi,* 8: 3-8.

Wallace, A., Soufi, S.M., Cha, J.W., Romney, E.M. 1976. Some effects of chromium toxicity

Wang, J., Chen, C. 2006. Biosorption of heavy metals by saccharomyces cerevisiae: A review. *Biotechnology Advances,* 24: 427–451.

Wenzel, W. W., Adrıano, D. C., Salt, D., Smıth, R. 1999. Pytoremediation: A plant microbe based remediation system. p.457–508. ın D.C. Adriano et al (ed) Bioremediation of Contaminated Soils. American Society of Agronomy, Madison

Wierzbicka, W., Obidzinska, J. 1998. The effects of lead on seed ımbibitions and germination in different plant species. *Plant Science*, 137: 155-171.

Wuana, R.A., Okieimen, F.E., 2011. Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation, *ISRN Ecology*, 2011: 1-20.

Xiong, Z. T. 1997. Bioaccumulation and physiological effects of excess lead in a roadside pioneer species Sonchus oleraceus L. Environment Pollution 97.

Yağmur, B., Hakerlerler, H., Kılınç, R. 2003. Gübreler ve insan sağlığı. *Çiftçi Dergisi*, 2:

Yılmaz, T. 2014. Ispanakta değişen hümik asit dozlarının kurşun alımına ve bitki gelişimine etkisi. *Doktora Tezi*, S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Yurdakul, İ. 2015. Kirletilmiş topraklarda ve sularda bitkisel iyileştirme teknikleri ve önemi *Turk. J. Agric. Res.,* 2(1): 55-62

Zalewski, M., Lotkowska, I.W. 2004. Integrated Watershed Management-Ecohydrology & Phytotechnology–Manuel. Nations Environment Programme International Environmental Technology Centre, , Shiga, Japan, 246 pp.

Zengin, K.F., Munzuroğlu, Ö. 2004. Fasulye fidelerinin (Phaseolus vulgaris L.) kök, gövde ve yaprak büyümesi üzerine kadmiyum(Cd++) ve civa (Hg++)'nın etkileri. *C.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi,* 24(1) : 64-75.

Zhang, Z. Y., Meng, J., Dang, S., Chen, W. F. 2014a. Effect of biochar on relieving cadmium stress and reducing accumulation in Super japonica Rice. *Journal of Integrative Agriculture*, 13(3): 547-553.

Zhang, X., Gao, B., Xia, H. 2014b. Effect of cadmium on growth, photosynthesis, mineral nutrition and metal accumulation of bana grass and vetiver grass. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 106: 102–108.

Zhang, X., Zhang, X., Gao, B., Li, Z., Xia, H., Li , H., Li, J., 2014c. Effect of cadmium on growth, photosynthesis, mineral nutrition and metal accumulation of an energy crop, King Grass (Pennisetum americanum x P. purpureum*). Biomass and bioenergy*, 67: 179-187.

Zurera, G., Moreno, R., Salmeron, J., Pozo, R. 1989. Heavy metal uptake from greenhouse border soils for edible vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 49: 307-314.