



**FİTOREMEDİASYON YÖNTEMİ İLE
KADMIYUM AKÜMÜLASYONUNUN
GİDERİMİ: LAVANTA (*Lavandula angustifolia*)
ÖRNEĞİ**

Emel ÇARŞAMBALI

Yüksek Lisans Tezi

**Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Sevinç ADILOĞLU
2020**

T.C.

TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FİTOREMEDİASYON YÖNTEMİ İLE KADMIYUM
AKÜMÜLASYONUNUN GİDERİMİ: LAVANTA (*Lavandula angustifolia*)
ÖRNEĞİ**

Emel ÇARŞAMBALI

TOPRAK BİLİMİ ve BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Doç. Dr. Sevinç ADILOĞLU

TEKİRDAĞ-2020

Her hakkı saklıdır.



Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde eksiksiz biçimde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

Emel ÇARŞAMBALI

İMZA

Doç. Dr. Sevinç ADİLOĞLU danışmanlığında, Emel ÇARŞAMBALI tarafından hazırlanan “Fitoremediasyon Yöntemi ile Kadmiyum Akümülyasyonunun Giderimi: Lavanta (*Lavandula angustifolia*) Örneği” başlıklı bu çalışma aşığıdaki jüri tarafından 20.11.2020 tarihinde Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Mehmet Rüştü KARAMAN

İmza:

Üye : Prof. Dr. Aydın ADİLOĞLU

İmza:

Üye : Doç. Dr. Sevinç ADİLOĞLU

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Doç. Dr. Bahar UYMAZ
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans

FİTOREMEDİASYON YÖNTEMİ İLE KADMIYUM AKÜMÜLASYONUNUN

GİDERİMİ: LAVANTA (*Lavandula angustifolia*) ÖRNEĞİ

Emel ÇARŞAMBALI

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Sevinç ADILOĞLU

Fitoremediasyon, toprak kirliliğinde, organik ve inorganik kirleticiler ile kirlenmiş bölgelerde, bölgeye özgü iyileştirme hedeflerine ulaşmak için kullanılan bitki kontrollü bir uygulamadır. Çok yıllık aromatik bitkiler büyük biyokütle üretir ve ağır metallerle kirlenmiş bölgelerin fitoremediasyonu için yüksek bir potansiyele sahiptir. Topraktaki ağır metallerin toplam içeriği, değişim formlarının miktarı ve lavanta tarafından emilmeleri ile bitkisel organlardaki dağılımları hakkında kapsamlı bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada amaç, farklı dozlarda kadmiyum içeren topraklarda lavanta (*Lavandula angustifolia*) bitkisi kullanılarak topraklarda toksik kadmiyum giderimi ve bitkinin kadmiyum biriktirme kapasitesinin belirlenmesidir. Bununla birlikte ağır metallerin bitki besin maddelerinin alımı üzerindeki etkisinin araştırılmasıdır. Deneme, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölüm Laboratuvarında, "Şansa Bağlı Tam Bloklar" deneme desenine göre 3 tekrarlı 5 farklı doz Cd kirleticisi ve kontrol saksıları kullanılarak yürütülmüştür. Kirleticisi olarak uygulanan kadmiyum dozları 10, 20, 40, 80 ve 100 mgkg⁻¹ olacak şekilde suda çözünebilir Cd (CdSO₄.8H₂O) kullanılmıştır. Kirleticisi bulunan saksılara EDTA şelatörü (10 mmol.kg⁻¹) uygulanmıştır. 30 günlük inkübasyon süresinden sonra deneme bitkisi saksılara dikilmiştir. Araştırma bitkisi, dikildikten 60 gün sonra hasat edilmiştir. Saksılara uygulanan en yüksek kirleticisi dozunda lavanta (*Lavandula angustifolia*) yaş ağırlığı 34 gr, kuru ağırlığı 12,30 gr, bitki kök yaş ağırlığı 22 gr, bitki kuru kök ağırlığı 7 gr olarak belirlenmiştir. Diğer bitki özellikleri bitki boyu, bitki kök boyu, dal sayısı ise kontrol saksılarına göre azalma göstermiştir. SPAD değerlerindeki değişim istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Lavanta (*Lavandula angustifolia*) kadmiyum değerleri bitki içerisinde en yüksek içeriğe uygulanan 100 mgkg⁻¹ dozda bitki gövde içerisinde 10,33 mgkg⁻¹ ve kök içeriğinde ise 90,96 mgkg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Bitkinin makro bitki besin elementlerinden N, P, K, Ca ve Mg değerleri kontrol saksıları ile karşılaştırıldığında N ve K değerlerinde azalma görülmekle birlikte P ve Mg değerlerinde değişim görülmemiştir. Ca değerlerinde ise artış gözlemlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Bitki mikro bitki besin elementlerinde ise Fe ve Zn değerleri artmış Cu ve Mn değerlerinde düşüş olduğu görülmüştür. Ağır metallerin mevcut olduğu kirlenmiş alanlardan gideriminde kültür bitkilerinin yanı sıra, tıbbi ve aromatik bitkilerin yetiştirilmesi genellikle karlı ve kolay uygulanabilir bir seçenek olarak önerilmiştir. **Anahtar kelimeler:** Fitoremediasyon, Kadmiyum, Hiperakümülatör Bitki, Lavanta (*Lavandula angustifolia*)

2020, 97

ABSTRACT

Msc. Thesis

FITOREMEDIATION METHOD AND REMOVAL OF CADMIUM ACCUMULATION:

EXAMPLE OF LAVENDER (*Lavandula angustifolia*)

Emel ÇARŞAMBALI

Tekirdağ Namık Kemal University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Soil Science and Plant Nutrition

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Sevinç ADILOĞLU

Phytoremediation is a plant-controlled application used in soil pollution, in areas contaminated with organic and inorganic pollutants, to achieve region-specific improvement targets. Perennial aromatic plants produce large biomass and have a high potential for the phytoremediation of areas contaminated with heavy metals. There is no comprehensive study on the total content of heavy metals in the soil, the number of exchange forms, their absorption by lavender and distribution in vegetative organs. This study aims to determine the toxic cadmium removal and cadmium accumulation capacity of the soil by using lavender (*Lavandula angustifolia*) plant in soils containing different doses of cadmium. It is also to investigate the effect of heavy metals on the uptake of plant nutrients. The experiment was carried out in Tekirdağ Namık Kemal University Agricultural Faculty Soil Science and Plant Nutrition Department Laboratory, using 5 replicate doses of Cd pollutants and control pots in 3 repetitions according to the "Luck-Based Complete Blocks" trial pattern. Water-soluble Cd ($\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$), selected as a contaminant, was applied at doses of 10, 20, 40, 80 and 100 mg kg^{-1} . EDTA chelator (10 mmol kg^{-1}) was applied to pots with contaminants. After the 30-day incubation period, the trial plant was planted in pots and plants was harvested after 60 days. At the highest pollutant dose applied to pots, Lavender (*Lavandula angustifolia*) wet weight was determined as 34 g, dry weight 12,30 g, plant root wet weight 22 g, plant dry root weight 7 g. Other plant characteristics, plant height, plant root length and number of branches, have decreased compared to control pots plants. The change in SPAD values is not found statistically significant. Lavender (*Lavandula angustifolia*) cadmium values were determined at a dose of 100 mg kg^{-1} applied to highest content in the plant as $10,33 \text{ mg kg}^{-1}$ in the plant stem and $90,96 \text{ mg kg}^{-1}$ in the root. When N, P, K, Ca and Mg values of the plant's macro plant nutrients are compared with control pots, there was a decrease in N and K values, but no change in P and Mg values. However, there was an increase in Ca values. This situation is found statistically significant. In plants, values of the Fe and Zn micro plant nutrients increased, and Cu and Mn values decreased. In the removal of heavy metals from contaminated areas, cultivation of medicinal and aromatic plants is generally proposed instead of the cultivated plants as a profitable and easily applicable option.

Key words: Phytoremediation, Cadmium, Hyperaccumulator Plant, Lavender (*Lavandula angustifolia*)

2020, 97

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGE DİZİNİ.....	vi
ŞEKİL DİZİNİ.....	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	ix
TEŞEKKÜR.....	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Ağır Metal Kirliliği.....	3
1.2. Kadmiyum	6
1.2.1. Toprakta Kadmiyum Toksisitesi.....	6
1.2.2. Bitkilerde Kadmiyum Toksisitesi	7
1.3. Tarımsal Kirlilik	8
1.4. Kirlilik Gideriminde Yeni Bir Teknoloji: Fitoremediasyon	9
1.5. Fitoremediasyon Teknikleri.....	11
1.5.1. Fitoekstraksiyon.....	12
1.5.2. Fitostabilizasyon	13
1.5.3. Fitovolatalizasyon.....	13
1.5.4. Rizodegradasyon.....	13
1.5.5. Fitodegradasyon.....	14
1.5.6. Rizofiltrasyon	14
1.5.7. Hidrolik Kontrol	15
1.5.8. Vejetatif örtü sistemleri	15
1.5.9. Kıyı tampon şeritleri	15
1.6. Hiperakümülatör Bitkiler.....	16
1.7. Hiperakümülatör Olan Tıbbi ve Aromatik Bitkiler	18
1.7.1. Lavanta (<i>Lavandula angustifolia</i>).....	19
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	21
2.1. Bazı Bitkilerin Cd Kirliliğine Karşı Fitoremediasyon Davranışları	21
2.2. Çeşitli Su Kaynaklarında Cd Kirliliği.....	28
3. MATERYAL ve YÖNTEM	29
3.1. Materyal.....	29

3.1.1. Araştırmada Kullanılan Lavanta eşidinin zellikleri	29
3.1.2. Araştırmada Uygulanan Kirletici.....	30
3.1.3. Uygulanan Şelat ve zellikleri.....	32
3.1.4. Denemede Kullanılan Toprak.....	32
3.2. Yöntem	34
3.2.1. Saksı Denemesinin Kurulması ve Yürütülmesi: Deneme Planı	34
3.2.2. Toprağa Ağır Metal ve EDTA Uygulamaları.....	34
3.2.3. Sulama Uygulamaları	35
3.2.4. Denemenin Hasadı ve Bitkinin Bazı Biyolojik Ölçümleri	35
3.2.5. Bitki ve Toprak Örneklerinin Alınması.....	35
3.3. Toprak Örneklerindeki Fiziksel ve Kimyasal Analizler.....	36
3.3.1. Toprak Reaksiyonu (pH) Tayini.....	36
3.3.2. Elektriki İletkenlik (EC) Tayini.....	36
3.3.3. Toprak Tekstürü.....	36
3.3.4. Kireç Tayini	37
3.3.5. Fosfor Tayini	37
3.3.6. Organik Madde Tayini.....	37
3.3.7. Makro Element Tayini (K, Mg, Ca, Na).....	37
3.3.8. Mikro Element (Fe, Mn, Cu, Zn) ve Cd Tayini.....	37
3.4. Bitki Örneklerinin Kimyasal Analizleri.....	37
3.5. İstatistiki analizler.....	38
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	39
4.1. Farklı Cd Dozlarının Uygulandığı Saksılarda Yetişen Lavanta Bitkisinin Bazı Agro- Morfolojik zellikleri.....	39
4.2. Farklı Dozlarda Kadmiyum Uygulanmış Saksıların Deneme Sonunda Toprakta, Kökte ve Toprak Üstü Aksamda Akümüle Olan Cd İçerikleri.....	42
4.3. Kadmiyum Uygulanan Topraklarda ve Bu Topraklarda Yetiştirilen Lavanta Bitkisinde Makro Besin Elementi İçerikleri.....	47
4.3.1. Azot İçeriği (%)	49
4.3.2. Fosfor İçeriği (%)	50
4.3.3. Potasyum içeriği (%)	52
4.3.4. Kalsiyum içeriği (%).....	54
4.3.5. Magnezyum içeriği (%)	55

4.4. Kadmiyum Uygulanan Topraklarda ve Bu Topraklarda Yetiştirilen Lavanta Bitkisinde Bazı Mikro Besin Elementi İçerikleri	57
4.4.1. Demir içeriği (mgkg^{-1})	59
4.4.2. Bakır içeriği (mgkg^{-1})	60
4.4.3. Çinko içeriği (mgkg^{-1})	61
4.4.4. Mangan içeriği (mgkg^{-1})	63
5. SONUÇ ve öneriler	65
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ	82



ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 1.1. İz metallerin atmosfer, su ve toprağa yayılımı.....	5
Çizelge 3.1. Denemede kullanılan toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri	33
Çizelge 4.1. Farklı Cd dozlarının uygulandığı saksılarda bitkinin bazı biyolojik özellikleri-1	39
Çizelge 4.2.Farklı Cd dozlarının uygulandığı saksılarda bitkinin bazı biyolojik özellikleri-2	40
Çizelge 4.3. Cd metalinin topraktaki sınır değerleri	42
Çizelge 4.4.Deneme sonunda toprakta, gövde ve kök aksamında biriken Cd değerleri ve önemlilik grupları, (mgkg ⁻¹)	43
Çizelge 4.5. Kadmiyum uygulanan topraklarda yetiştirilen lavanta bitkisinde makro bitki besin elementi içerikleri ve önemlilik grupları, (+: %).....	48
Çizelge 4.6. Kadmiyum uygulanan topraklarda yetiştirilen lavanta bitkisinde mikro besin besin elementi içerikleri ve önemlilik grupları, (+: mgkg ⁻¹).....	58

ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 1.1. Hiperakümülatör olan ve hiperakümülatör olmayan bitkinin şematik davranış diyagramı	17
Şekil 1.2. Lavanta (<i>Lavandula angustifolia</i>)	19
Şekil 3.1. Denemede kullanılan Cd ve EDTA-Na dozları	31
Şekil 3.2. Denemede kullanılan farklı konsantrasyonlardaki kamiyum çözeltileri.....	32
Şekil 3.3. Artan dozlarda Cd uygulanan bitkilere ait bir görüntü	34
Şekil 3.4. Hasat sonrası kontrol saksılarına ait numune görüntüleri	35
Şekil 3.5. Lavanta (<i>Lavandula angustifolia</i>)'nın hasat sonrası görüntüsü.....	36
Şekil 4.1. Farklı kadmiyum uygulamalarından elde edilen bitki gövde ve kök gelişim kriterlerine ilişkin ortalamalar	41
Şekil 4.2. Lavanta bitkisinin gövde aksamında Cd içeriklerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi	44
Şekil 4.3. Kökte Cd içeriklerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi.....	45
Şekil 4.4. Toprakta Cd içeriklerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi	46
Şekil 4.5. Kirletici olarak kadmiyum uygulanan saksılarda yetiştirilen lavanta bitkisine ait azot içerikleri, (%).....	49
Şekil 4.6. Kirletici olarak kadmiyum uygulanan saksılardaki topraklara ait azot içerikleri, (%)	50
Şekil 4.7. Kirletici olarak kadmiyum uygulanan saksılarda yetiştirilen lavanta bitkisine ait fosfor içerikleri, (%)	51
Şekil 4.8. Kirletici olarak kadmiyum uygulanan saksılardaki topraklara ait fosfor içerikleri, (%)	52
Şekil 4.9. Kirletici olarak kadmiyum uygulanan saksılarda yetiştirilen lavanta bitkisine ait potasyum içerikleri, (%)	53
Şekil 4.10. Kirletici olarak kadmiyum uygulanan saksılardaki topraklara ait potasyum içerikleri, (%).....	53
Şekil 4.11. Kirletici olarak kadmiyum uygulanan saksılarda yetiştirilen lavanta bitkisine ait kalsiyum içerikleri, (%)	54
Şekil 4.12. Kirletici olarak kadmiyum uygulanan saksılardaki topraklara ait kalsiyum içerikleri, (%)	55
Şekil 4.13. Kirletici olarak kadmiyum uygulanan saksılarda yetiştirilen lavanta bitkisine ait magnezyum içerikleri, (%)	56
Şekil 4.14. Kirletici olarak kadmiyum uygulanan saksılardaki topraklara ait magnezyum içerikleri, (%).....	57
Şekil 4.15. Kirletici olarak kadmiyum uygulanan saksılarda yetiştirilen lavanta bitkisine ait demir içerikleri, (mgkg ⁻¹)	59

Şekil 4.16. Kirletici olarak kadmiyum uygulanan saksılardaki topraklara ait demir içerikleri, (mgkg ⁻¹)	59
Şekil 4.17. Kirletici olarak kadmiyum uygulanan saksılarda yetiştirilen lavanta bitkisine ait bakır içerikleri, (mgkg ⁻¹).....	60
Şekil 4.18. Kirletici olarak kadmiyum uygulanan saksılardaki topraklara ait bakır içerikleri, (mgkg ⁻¹)	61
Şekil 4.19. Kirletici olarak kadmiyum uygulanan saksılarda yetiştirilen lavanta bitkisine ait çinko içerikleri, (mgkg ⁻¹).....	62
Şekil 4.20. Kirletici olarak kadmiyum uygulanan saksılardaki topraklara ait çinko içerikleri, (mgkg ⁻¹)	62
Şekil 4.21. Kirletici olarak kadmiyum uygulanan saksılarda yetiştirilen lavanta bitkisine ait mangan içerikleri, (mgkg ⁻¹)	63
Şekil 4.22. Kirletici olarak kadmiyum uygulanan saksılardaki topraklara ait mangan içerikleri, (mgkg ⁻¹)	64

SİMGELER VE KISALTMALAR

μM	:Mikromolar
%	:Yüzde Oranı
$^{\circ}\text{C}$:Santigrat Derece
μg	:Mikrogram
μm	:Mikrometre
AAS	:Atomik Absorbsiyon Spektroskopisi
ABD	:Amerika Birleşik Devletleri
Ag	:Gümüş
Al	:Alüminyum
ANOVA	:Tek Yönlü Varyans Analizi
As	:Arsenik
ATP	:Adenozin Trifosfat
Ba	:Baryum
BCF	:Biyokonsantrasyon Faktörü
Cd	:Kadmiyum
cm	:Santimetre
Co	:Kobalt
Cr	:Krom
Cs	:Sezyum
Cu	:Bakır
DNA	:Deoksiribo Nükleik Asit
DTPA	:Dietilen Triamin Penta Asetik Asit
EMA	:European Medicines Agency
Fe	:Demir
g	:Gram
Hg	:Civa
ICP	:İndüktif Eşleşmiş Plazma
ICP-OES	:Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry
IT	:Tolerans İndeksi

İTASHY	:İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik
K	:Potasyum
kg	:Kilogram
km	:Kilometre
km ²	:Kilometrekare
KOB	:Koloni Oluşturan Birim
m	:Metre
Meja	:Metil jasmonad
Mg	:Magnezyum
mg	:Miligram
Mo	:Molibden
mmol	:Milimol
mm	:Milimetre
Mn	:Mangan
NH ₄ ⁺	:Amonyum
Ni	:Nikel
pH	:Asitlik Alkalilik Derecesi
S	:Kükürt
SA	:Salisilik Asit
Sb	:Antimon
Se	:Selenyum
Sn	:Siyanür
SPAD	:Klorofil ölçer
Sr	:Stronsiyum
TF	:Translokasyon Faktörü
Va	:Vanadyum
vd	:ve diğerleri
Zn	:Çinko
WHO	:World Health Organization

TEŞEKKÜR

Tez çalışma dönemimde kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösteren ve destek olan değerli danışman hocam sayın Doç. Dr. Sevinç ADİLOĞLU'na sonsuz teşekkür ederim ve saygılarımı sunarım.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca ilgisini ve önerilerini göstermekten kaçınmayan bana sabırla yardım eden Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölüm Başkanı Prof. Dr. Aydın ADİLOĞLU'na teşekkür ederim.

Denememde kullandığım bitki olan Lavanta bitkilerini fide olarak Lüleburgaz Orman Fidanlığı Şefliğinden temin edilmiştir. Kuruma canı gönülden bilime verdikleri destekten dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım boyunca yardımını ve manevi desteğini hiç esirgemeyen ve hayatımda her zaman en değerli destekçilerim olan Merve KIRAL, Seda PAMAY, Burcu KARABULUT ve Tuğba BATSIZ'a teşekkür ederim.

Son olarak doğumumdan bugüne dek hayatımın her evresinde maddi manevi her zaman yanımda olan canım annem ve her zaman benimle gurur duyduğuna inandığım canım babama ve kız kardeşlerime bana her zaman destek oldukları için sonsuz teşekkür ederim.

Kasım, 2020

Emel ÇARŞAMBALI
Ziraat Mühendisi

1. GİRİŞ

20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren dikkatleri üzerine çeken çevre kirliliği, kontrolsüz nüfus artışı, bilinçsiz tarım faaliyetleri, sanayileşme, çarpık kentleşme gibi faaliyetler kontrol altına alınmadıkça her geçen gün ekolojik dengeyi bozmuş ve sonucunda doğada birikerek toksik boyutlara ulaşan ağır metal dünya çapında ciddi bir sorun haline gelmiştir. Topraklara karışan ve toksik boyutlarda biriken bu ağır metaller biyolojik çeşitliliği, toprak verimliliği, mikrobiyal aktiviteyi ve çevre faktörlerini etkilemektedir. Mikro bitki besin elementleri ekolojinin parametreleri toprak, su ve atmosferdeki içerikleri toksik boyutta birikmesi sağlık açısından canlılarda olumsuzluk oluşturmaktadır. Ağır metallerin sebep olduğu toksik etkiler yer kürede ciddi sorunlar teşkil etmektedir. Bununla birlikte sanayinin bu denli yoğun olması, tedbir amaçlı önlemleri mümkün kılamamaktadır. Çeşitli organik ve inorganik kirleticilerin canlılarda çevre kirliliğine ve ciddi sağlık sorunlarına neden olduğu gözlemlenmiştir. Yüksek miktarda birikme gösterebilen bu ağır metaller ortamdaki kalıcılıkları nedeniyle oldukça zararlı kirleticilerdir. Bu kalıcı etkilerinden dolayı canlı-toprak kirliliğine ve canlılarda toksik, genotoksik, teratojenik ve mutajenik etkilere neden olurlar (Dixit vd., 2015). Ayrıca düşük konsantrasyonda bile endokrin bozulmasına ve nörolojik bozukluklara neden olurlar (Yadav, 2010).

Ağır metal toksisitesi, bitkilerde oksidatif strese yol açtığı ve üretim veriminin düşmesi gibi zararlı etkilere sebep olduğu için tarım sektörü açısından büyük bir tehdittir. 2050 yılına kadar dünyanın artan nüfusunun 10,9 milyara ulaşacağı ve yakın gelecekte gıda krizlerine yol açacağı tahmin ediliyor. Günümüzde bile tarım sektörü, yeterli gıda tedariki sağlamak için büyük zorluklarla karşı karşıya kalmakta, bununla birlikte elde edilen ürünler kirlilik tehdidi altında bulunmakta ve bu durum ciddi boyutlara ulaşmaktadır (Rascio ve Navari-Izzo, 2011). Çin'de, 6,3 milyon km² araziden toplanan tüm toprak örneklerinin %13,33'ünün yüksek seviyelerde metallerle kirlendiği bildirilmiştir (Lee, Yu, Yun ve Mayer, 2005). Ağır metallerin besin değerleri üzerinde güçlü etkisi vardır. Bu nedenle, metalle kirlenmiş toprakta yetişen bitkiler besin eksikliğine sahiptir ve bu tür sebzelerin tüketimi, özellikle yetersiz beslenme problemleriyle karşı karşıya olan gelişmekte olan ülkelerde yaşayan popülasyonda beslenme eksikliğine yol açabilir. Tarımda kullanılan pestisitler ve gübreler, endüstri ve sanayi kuruluşlarından çıkan baca gazları, sigara dumanı, otomobillerin doğaya saldırdığı gazlar, atık pillerin neden olduğu kirlilik her geçen gün havayı, suyu ve toprağı kirletmektedir ve ekolojik sistemdeki herhangi bir kirlilik tüm canlıları etkilemektedir. Araştırma grupları toksik metaller

gibi bazı kimyasal kirleticilerin uzun süre çevrede kalabileceğini ve sonunda insanlara zarar verebilecek seviyelerde birikebileceğini kabul etmiştir. Son yıllarda özellikle tarımsal alanlarda ağır metal içeriği artışının ekolojiye zarar vermesinden dolayı bu konuya dikkat çekilmekte ve toprağa bulaşan ağır metaller üzerinde bir takım giderim çalışmaları yapılmaktadır. Fosfor içeren gübreler, tarımsal alanlarda yüksek düzeyde Cd ve Pb içeren bir kirliliktir.

Tarım topraklarında özellikle sanayi kökenli olmak üzere ağır metal kirliliği son yıllarda giderek artmıştır. Toprakların bozulmuş olan bu verimliliği ve kalitesi söz konusu bu topraklarda yetiştirilen bitkilere de yansımaktadır. Çünkü ağır metal kirliliği olan topraklarda yetiştirilen bitkiler topraktan önemli miktarlarda bazı ağır metalleri bünyelerine almaktadır. Sonuçta bu bitki ve tarımsal ürünlerle beslenen insan ve diğer canlılarda da ciddi sağlık sorunları gündeme gelebilmektedir. Bu nedenle ağır metal kirliliği olan tarım topraklarının bu ağır metallerden temizlenmesi günümüzde çevre ve canlı sağlığının korunması için bir zorunluluk halini almıştır.

Birçok çevresel kirlilik faktörünün olumsuz etkileri ve özellikle de ağır metal kirliliğinden de ilk etkilenen canlı grup, bitkiler alemidir. Bitkiler metalleri biriktirme yeteneğine sahiptir ve bazıları herhangi bir olumsuz etki göstermeden aynı koşullarda diğer bitkilerden 100 kat daha fazla birikebilir. Ağır metalleri toksik seviyelerden daha büyük miktarlarda tölere etme ve biriktirme kabiliyetine sahip bitkiler hiperakümülatörler olarak bilinir. Kirlenmiş toprak, tarım ve çevre bilimcileri için küresel bir sorun haline gelmiştir. Son yıllarda, bu bitkilerin kirlenmiş topraktan ağır metalleri emme ve onları yer üstü biyokütlelerinde biriktirme kapasiteleri nedeniyle, kirlenmiş alanların iyileştirilmesi için hiperakümülatörlerin kullanımı üzerine yapılan çalışmaların sayısı giderek artmaktadır. Son yıllarda ağır metal kirliliği olan tarım topraklarının ıslah edilebilmesi ve yetiştirilen ürünlerin daha sağlıklı olabilmesi için fitoremediasyon yöntemi yoğun bir biçimde ve gayet başarılı olarak kullanılmaktadır. Söz konusu bu yöntem çevre dostu olan doğal bir yöntem olduğu gibi aynı zamanda diğer kimyasal ve fiziksel yöntemlere göre de daha ekonomik bir yöntemdir.

1.1. Ağır Metal Kirliliği

Doğal olarak oluşan 90 elementin 53'ü ağır metallerdir (Weast, 1984). Bu metaller arasında Fe, Mo ve Mn mikro besinler olarak önemlidir. Zn, Ni, Cu, Co, Va ve Cr ise eser elementler olarak yüksek veya düşük öneme sahip toksik elementlerdir. Ag, As, Hg, Cd, Pb ve Sb'nin besin olarak bilinen bir işlevi yoktur ve bitkiler ve mikroorganizmalar için az ya da çok toksik görülmektedir (Niess, 1999). Bu ağır metaller çevresel taşınım sonucu toprak, hava, su ve besinler ile canlıya ulaşır. Ağır metaller insan ve hayvan organizmaları ile çevre için önemli kirleticiler olup, toksisiteleri ekolojik ve besinsel sebeplerden dolayı önemi artan bir sorundur. Hücreler metal kaynaklı hasarları en aza indirmek için metal iyon konsantrasyonunu düzenleyici homeostatik mekanizmalara sahiptir. Buna rağmen, metallere bağlı zehirlenmeler insan, hayvan ve bitkiler için hayati önemdedir (Benavides, Gallego ve Tomaro, 2005).

Atmosferde, toprakta ve suda zorunlu veya zorunlu olmayan ağır metallerin aşırı miktarda bulunması, tüm organizmalarda ciddi sorunlara neden olabilir. Metal-bitki etkileşimleri bilgisi, çevrenin güvenliği için değil, aynı zamanda eser metallerin gıda zincirine sokulmasıyla ilişkili riskleri azaltmak için de önemlidir.

Yeke (1989)'a göre "Ağır metal" terimi, periyodik tabloda özgül ağırlığı 5g/cm^3 'ten büyük olan veya 20'den fazla atom sayısına sahip, genellikle alkali ve alkalın toprak elementleri hariç metalleri ifade eder (Tiller, 1989).

Ksidhna ve Mohan (2016)'a göre ağır metaller atmosfer, litosfer, hidrosfer ve biyosferde bulunur ve volkanik patlamalar, kaynak suları, erozyon ve bakteriyel aktivite gibi çeşitli doğal süreçler ve fosil yakıt yanması, endüstriyel prosesler, tarımsal faaliyetler ve beslenmeyi içeren antropojenik aktiviteler yoluyla çevreye dağıtılır (Florea, Dopp, Obe ve Rettenmeier, 2004). Bununla birlikte, madencilik ve metal eritme gibi insan faaliyetleri, yavaş yavaş dünyanın kabuğundan çevreye birçok toksik metal aktarmış, bu da ağır metallerin çevreye yayılmasına ve toprakların kirlenmesine neden olmuştur (Zeng vd., 2020). Ağır metallerin toprakta kalma süresi birkaç yıldan birkaç yüzyıla kadar değişmektedir (Kabata-Pendias, 1995). Küresel olarak, toprakların farklı ağır metaller ile kirlendiği 20 milyon hektarlık bir alanı kapsayan 5 milyondan fazla alan bulunmaktadır (He ve Chen, 2014; Wuana, Okieimen ve Imborvungu, 2010). Çevreye zararı olan bu ağır metaller zehirli olmaları nedeniyle topraktan giderimi sağlanmalıdır.

Zehirli metaller biyosferi uzun süre etkileyebilir ve su tabakalarının kirlenmesine yol açan toprak katmanlarından süzülebilir. Sonuç olarak, gıda için yüksek seviyelerde ağır metallerle kontamine olmuş bitkilerin kullanılması, insan ve hayvan sağlığı için ciddi bir risk oluşturabilir. Ağır metallerin topraklarda yaygın olarak birikmesi, dünya çapındaki endüstriyel faaliyetlerin bir sonucu olarak ciddi bir sorun haline gelmektedir (Gratao, Prasad, Cardoso, Lea ve Azevedo, 2005). Bu metal çoğunlukla endüstride boya, pigment alaşımı, kaplama, pil ve plastik üretimi için kullanılır. Kadmiyumun çoğunluğu, yaklaşık dörtte üçü alkalin pil üretiminde elektrot bileşeni olarak kullanılır. Kadmiyum endüstriyel prosesler ve kadmiyum izabe tesislerinden birkaç yıl boyunca topraklarda ve çökeltilerde kalabilen ve bitkiler tarafından alınabilen kanalizasyon çamuru, gübreler ve yeraltı sularına yayılır. Bu nedenle, insanın kadmiyuma önemli ölçüde maruz kalması, kontamine olmuş gıda maddelerinin, özellikle tahıllar, tahıllar, meyveler ve yapraklı sebzelerin yanı sıra kontamine içeceklerin yutulmasıyla olabilir (Engwa vd., 2015). Ayrıca, insanlar belediye atıklarının yakılması yoluyla solunarak kadmiyuma maruz kalabilirler. Çin, Japonya ve Endonezya gibi dünyadaki alanların çoğunun madencilik ve tarımsal faaliyetler nedeniyle Cd, Cu ve Zn tarafından kirlendiği bildirilmiştir (Hasan vd., 2019).

Ağır metaller çevreye jeolojik ve antropojenik kaynaklar yoluyla sokulur. Kirleticiler gaz halinde, sulu veya katı formdadır açığa çıkabilir (Çizelge 1.1). Mineral ayrıştırma, erozyon, volkanik patlama ve kristal tozu gibi süreçler jeolojik, madencilik, eritme, elektrokaplama ve endüstriyel faaliyetler ile böcek ilacı ve fosfat gübrelerinin kullanımı, tarımsal atıkların doğaya salınması gibi uygulamalar antropojenik kaynaklardır (Ali, Khan ve Sajad, 2013). Toprak ekosisteminde, ağır metal seviyelerindeki kademeli artış tüm dünyada önemli bir sorundur. Ağır metal kirliliği, sanayileşme, ulaşım ve şehirleşme gibi antropojenik faaliyetlerdeki hızlı artış nedeniyle çevre yönetimi için hayati bir konudur. Ağır metallerin kaynakları arasında, çevreye ağır metaller ekleyen tıbbi atıklar, kömür, benzin, madencilik, gübreler, eritme ve pestisitlerin yanması bulunmaktadır. Bu ağır metaller arasında Cd, Pb, Al, Zn, Mn, Cr ve Cu yaygın toksik ağır metaller olarak kabul edilir (Hasan vd., 2019). Ağır metallerin yarılanma ömürleri oldukça uzundur ve doğada parçalanmamaktadır (Tripathi ve Ranjan, 2015). Bu ağır metaller endüstride çeşitli endüstriyel amaçlar için kullanıldığında, bu elementlerin bir kısmı yanma sırasında havaya veya atık su olarak toprağa veya su kütlelerine salınır. Ağır metaller erozyon, akma veya asit yağmuru ile toprak ve su kütleleri üzerindeki farklı yerlere taşınabilir (Hu, 2002).

Çizelge 1.1. İz metallerin atmosfer, su ve toprağa yayılımı (1000 metrik ton/yıl) (Niragu, 1988).

Element	Hava	Su	Toprak
Zn	132	226	1372
Cu	35	112	954
Mn	38	262	1670
Mo	3.3	11	88
Cd	7.6	9.4	22
Pb	332	138	796
Ni	56	113	325
Hg	3.6	4.6	8.3
As	18.8	41	82

Ağır metaller toprakta birikebildikleri ve uzun süre devam edebildikleri ve hatta gıda zincirine girebildikleri için ciddi çevre kirliliğine neden olabilirler. Ağır metallerin bitki türleri tarafından kimyasal değişikliğe bağlı olarak iyileştirilmesi etkili bir tekniktir, çünkü ağır metallerin çoğuna karşı yüksek bağlanma kapasitelerine sahiptir. Ağır metal kontamine toprak için gereken zaman ve maliyeti azaltmak için kimyasal değişiklik kapasitesi önemli bir husustur. Bu bitkilerdeki ağır metal biyoakümülyasyon indeksinin arttırılmasıyla yapılabilir (Hasan vd., 2019).

Fitoremediason, bitkilerin özellikle toksik organik maddeler ve ağır metaller içeren kirli toprakları geri kazanmak için kullanıldığı güvenli, ekonomik ve çevre dostu tekniklerden biridir. Bununla birlikte, bitkilerin büyümesi ve gelişmesi zaman aldığından, yavaş bir iyileştirme şekli olarak kabul edilir (Hasan vd., 2019). Ağır metal ile kirlenmiş toprakların iyileştirilmesi dünya çapında daha fazla ilgi görmüştür. Metallerin bitkiler tarafından alınımı önlemek için immobilizasyonu, kirlenmiş toprakları düzeltmek için etkili bir yoldur.

1.2. Kadmiyum

Kadmiyum ve diğer metaller bilinen eski, en yaygın, en sinsi ve en etkili toksinlerdendir. Kadmiyum, 1817 yılında Alman araştırmacı Stromayer tarafından keşfedilmiştir. Kadmiyum, toksik etkisi güçlü ağır metaller arasındadır (Kalay ve Karataş, 1999).

Adriano (2001)'e göre kadmiyum; atom numarası 48, kütle numarası 112, erime noktası 321 ° C ve kaynama noktası 765 ° C olan, yumuşak, sünek, mavimsi renkte gümüşü beyaz, parlak ve elektropozitif özelliklere sahip bir elementtir. Kokusu veya tadı yoktur ve çok zehirlidir. Cd'de sekiz kararlı izotop vardır: ¹⁰⁶Cd, ¹⁰⁸Cd, ¹¹⁰Cd, ¹¹¹Cd, ¹¹²Cd, ¹¹³ Cd, ¹¹⁴Cd ve ¹¹⁶Cd. En yaygın izotoplar ¹¹²Cd ve ¹¹⁴Cd'dir. (Rahimzadeh, Kazemi ve Moghadamnia, 2017). Kadmiyumun birçok formu suda çözünür (Evcimen, 2015). Kadmiyum canlı organizmalar için vazgeçilmez bir unsur değildir. Genellikle ağır metaller arasında en toksik olarak kabul edilir (Hamid, 2019).

Birçok araştırmacı, fosfatlar, kil mineralleri, kalkerli malzemeler ve benzeri dahil olmak üzere kirli topraklarda kadmiyumu hareketsiz hale getirmek için çeşitli değişikliklerin kullanıldığını bildirmiştir. Bununla birlikte, tek bir kimyasal değişikliği, uzun süreli kullanımı; toprak alkalileştirme, toprak sertleştirme, mikrobiyolojik ekolojik bozuklukları ile sonuçlanır ve toprak özelliklerini değiştirebilir. Bu nedenle, bu eksiklikleri telafi etmek için kimyasal ve biyolojik malzeme kombinasyonlarının tanımlanması, toprak metallerinin hareketsizleştirilmesi açısından popüler bir yaklaşım olmuştur (Cui vd., 2011; Zeng vd., 2020; Woldetsadik vd., 2016).

1.2.1. Toprakta Kadmiyum Toksisitesi

Toprak çözeltilisinden ağır metallerin alınması türe, metalin şekline ve konsantrasyonuna, toprağa veya besin çözeltilisi asitliğine ve organik madde bileşimine bağlıdır (Chen, Huang ve Liu, 2009; Yanai, Zhao, McGrath ve Koosaki, 2006). Bağlı olarak nadir var olan kadmiyum, dünyanın birçok yerinde bulunmaktadır. Kirlenmemiş toprak çözeltilerinin 0,04 ila 0,32 mM arasında değişen Cd konsantrasyonları içerdiği tahmin edilmektedir. Cd konsantrasyonu 0,32 ila yaklaşık 1 mM arasında değişen toprak çözeltilerinin orta düzeyde kirlenmiş olduğu düşünülebilir (Toppi ve Gabrielli, 1999). Genellikle litosferde (0,2 mgkg⁻¹), tortul kayaçlarda (0,3 mgkg⁻¹) ve toprakta (0,53 mgkg⁻¹) görülür (Greenwood ve Earnshaw,

1997). Bitkilerde ise 1 mgkg⁻¹'den yüksek kadmiyum içermesi toksik etki düzeyine ulaştığı bildirilmektedir (Bıçakçı, 2003).

Hızlı sanayileşme ve kentleşme, toprak ve yeraltı suyunun Cd, Pb, Cu, Hg, As, Se, Zn ve Ni gibi çeşitli ağır metallere kirlenmesine neden olmuştur (Liu, Li, Song ve Guo, 2018). Kadmiyum kimyasal olarak kararlıdır ve kimyasal veya mikrobiyal bozulmaya uğramaz. Ayrıca kadmiyum canlı organizmalar için vazgeçilmez bir unsur değildir. Genellikle ağır metaller arasında en toksik element olarak kabul edilir (Hamid vd., 2019).

Khalid vd. (2017) ve Bolan vd. (2014) fosfor gübrelerinin kritik düzeyde ve uzun bir süre sahaya uygulanması, pestisitler, biyosolütler, hayvan gübresi, atık su ve kötü işlenmiş endüstriyel atık suların kirlenmesi çevre sorunlarına neden olur ve bu kirliliklerin topraklara karışmasının ana yoludur (Tatu, Vladut, Voicea, Vanghele ve Pruteanu, 2020). Madencilik, eritme, savaş ve askeri eğitim, elektronik endüstrileri, fosil yakıt tüketimi, atık bertarafı, zirai kimyasal kullanım ve sulama gibi antropojenik etkenler toprağı kirletebilir. Ağır metaller, buharlar, baca gazı partikülleri, uçucu kül ve kömür yanmasından kaynaklanan kül tarafından çevreye salınır. Toprağı ağır metallere kirlenmenin bir başka olasılığı, inşaat malzemelerinden kaynaklanan atıklar ve endüstriyel madenlerde uygun olmayan toprak depolamadır (Liu vd., 2018).

Toksisite, metallerin proteinlerdeki sülfidril gruplarına bağlanması, aktivitenin inhibisyonuna veya yapının bozulmasına neden olabilir. Enzimler, ağır metal iyonlarının ana hedeflerinden biridir. Toprakların ağır metallere uzun süre maruz kalması, toprak enzimleri aktivitesinde belirgin düşüslere neden olur (Assche ve Clijters, 1990).

Hinesly vd. (1984) toprak pH'sının mısırdaki Cd alımını ve taşınmasını büyük ölçüde etkilediğini bildirirken, Street vd. (1977), yüksek organik madde içeriğine sahip asit topraklarında mısır ile Cd alımının daha düşük olduğunu bildirmiştir (Benavides, Gallego ve Tomaro, 2005).

1.2.2. Bitkilerde Kadmiyum Toksisitesi

Endüstriyel faaliyetler, kentsel trafik, santraller vb. sebeplerle önce toprağı, suya veya havaya, sonra bitki bünyesine geçen ağır metaller büyüme ve gelişmeyi olumsuz etkiler (Toppi ve Gabrielli, 1999).

Türk Gıda Kodeksine göre; Cd konsantrasyonunda sebzeler ve meyvelerin yıkandıktan sonra yenilebilir kısımları için belirlenen yaş ağırlık üst limiti $0,05 \text{ mgkg}^{-1}$ iken yapraklı sebzeler, taze otlar, yapraklı lahanalar, kereviz için yaş ağırlık $0,20 \text{ mgkg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Köklü sebzeler ve patatesin kabuk kısmı hariç kısmı için ise üst limit $0,10 \text{ mgkg}^{-1}$ olarak saptanmıştır (Anonim, 2020).

Kadmiyumun, minerallerin topraktan alınabilirliği üzerine etkileri olduğu söylenebilir (Moreno, Hernandez ve Garcia, 1999). Stomantal açılma, terleme, fotosentez ve besin çözeltilerinin kadmiyumdan etkilendiği bildirilmiştir (Toppi ve Gabrielli, 1999). Kloroz, yaprak ruloları ve bodurluk, bitkilerdeki kadmiyum toksisitesinin ana belirtileridir. Fe eksikliği (Haghiri, 1973), fosfor eksikliği veya Mn taşınmasını azaltabilmektedir (Goldbold ve Hutterman, 1985). Cd'nin neden olduğu kök Fe (III) redüktazın inhibisyonu, Fe (II) eksikliğine yol açmış ve fotosentezi ciddi şekilde etkilemiştir (Alcantara, Romera, Canete ve De la Guardia, 1994). Genel olarak, Cd'nin çeşitli elementlerin (Ca, Mg, P ve K) ve suyun bitkiler tarafından alınmasına, taşınmasına ve kullanılmasına müdahale ettiği görülmüştür (Das, Samantaray ve Rout, 1997). Ayrıca Cd sürgünlerdeki nitrat redüktaz aktivitesini inhibe ederek nitratın emilimini ve köklerden sürgünlere taşınmasını azaltmıştır (Alcantara, Romera, Canete ve De la Guardia, 1994).

Cataldo vd. (1983)'e göre Cd iyonları normal şartlarda bitkinin ana köklerine tutunur ve küçük miktarlarda taşınım gerçekleşir. Blum (1997)'a göre bitki bünyesinde kadmiyum içeriği en çoktan en aza doğru incelendiğinde kökler>saplar>yapraklar>meyveler<tohumlar şeklinde olduğunu söylemektedir (Benavides, Gallego ve Tomaro, 2005).

1.3. Tarımsal Kirlilik

Çevrenin toksik metallerle kontaminasyonu, ürün verimini, toprak biyokütlesini ve doğurganlığı etkileyen, gıda zincirinde biyoakümülyasyona katkıda bulunan dünya çapında bir sorun haline gelmiştir. Son birkaç on yılda, araştırma grupları toksik metaller gibi bazı kimyasal kirleticilerin uzun süre çevrede kalabileceğini ve sonunda insanlara zarar verebilecek seviyelerde birikebileceğini kabul etmiştir. Ayrıca, bu kimyasalların sayısız sınıfı ve türü, birçok toksik metalin çevreden çıkarılmasını zorlaştırır. Alternatif olarak, toksik metallerle kirlenmiş toprakların temizlenmesi veya iyileştirilmesi için bitkilerin kullanılmasını içeren ekolojik bir teknolojik yaklaşım geliştirilmiştir. Hiperakümülatörler olarak adlandırılan bazı bitkiler, ağır metallere karşı dirençli oldukları ve bu kirleticilerle biriktirip yüksek

konsantrasyonlara taşıyabildikleri gösterilmiştir. Böylece, kirlenmiş topraklardaki ağır metal miktarını azaltmak ve bitki ıslahının kullanımını iyileştirmek için tasarlanmış biyolojik ve mühendislik stratejileri ortaya çıkmaya başlamıştır. Çevrenin toksik metaller tarafından kirlenmesi, "İnsan ve biyosfer" için bir tehdit oluşturur ve tarımsal üretkenliği azaltır, ekosistem sağlığına zarar verir (Gratao vd., 2005).

Ağır metallerin topraklarda yaygın olarak birikmesi, dünya çapındaki endüstriyel faaliyetlerin bir sonucu olarak ciddi bir sorun haline gelmektedir. Madencilik atıkları, gübreler, kağıt fabrikaları ve atmosferik emisyonlardan kaynaklanan toksik elementler, sürekli birikmeye ve sonuç olarak çevrede toksik metal birikmesine neden olmuştur. Kirli topraklardaki toksik metallerin konsantrasyonları, daha yüksek bitkilerin çoğunda toksik bir etki yaratmak için gerekenden genellikle yüzlerce kat daha fazladır. Zehirli metaller biyosferi uzun süre etkileyebilir ve su tabakalarının kirlenmesine yol açan toprak katmanlarından süzülebilir. Sonuç olarak, gıda için yüksek seviyelerde ağır metallerle kontamine olmuş bitkilerin kullanılması, insan ve hayvan sağlığı için ciddi bir risk oluşturabilir (Wang, Cui, Liu, Dong ve Christie 2003).

Toprak, metallerin besin zincirine girmelerini önlemek için bir bariyer görevi görür (Kabata-Pendias, 2011). Fakat mineral ve organik gübrelerin tarım alanlarına uygulanması, pestisitler, kimyasal atıklar, endüstriyel faaliyetler gibi nedenler topraktaki aşırı ağır metallerin gıda zincirine dahil olmasına sebep olmuştur (Hamid, 2019; Simon, 2001).

Doğal olarak oluşan metal toleranslı bitkilerin kullanımı ve genetik manipülasyon uygulaması, bu teknolojiyi laboratuvarından sahaya aktarma sürecini hızlandırmalıdır. Bu nedenle, bitkilerin toksik metalleri nasıl tolere edebildiğini araştırmak ve anlamak ve böyle bir süreçte hangi metabolik yolların ve genlerin dahil olduğunu belirlemek önemlidir (Gratao vd., 2005).

1.4. Kirlilik Gideriminde Yeni Bir Teknoloji: Fitoremediasyon

Metalle kirlenmiş toprakları düzeltmek için bir dizi fiziksel, kimyasal ve biyolojik teknik kullanılabilir. Ağır metal kontamine alanlar için bitkileri ana kaynak olarak kullanan bitki ıslahı, ekolojik iyileştirme teknolojisidir. Bu teknoloji ile inorganik ve organik maddeler kontamine alandan bitkiler kullanılarak uzaklaştırılmaktadır. Bu yöntemin etkileri düşük kirli alanlarda kısa sürede görülebilir. Olumsuz yönü, ağır kirlilik bulunan alanlarda bitkilerin kısa sürede faydalı olamamasıdır. Bitki ıslahı, bitkilerin organik ve/veya inorganik kontaminantları

biyotadan (fito-ekstraksiyon) uzaklaştırmak, toksik olmayan formlara (fitovolatilizasyon) alınması veya inorganik maddenin daha az çözüner bir forma stabilize edilmesidir (fitotabilizasyon). Daha önce bahsedilen geleneksel yöntemlerin aksine, bitki ışlahı ucuzdur, etkilidir, yerinde uygulanabilir ve çevre dostudur. Bitki ışlahının özel bir avantajı, toprak işleyişinin sürdürülmesi ve toprağın yeniden aktifleştirilmesidir. Bu nedenle, bitki ışlahı genellikle botanik biyolojik iyileştirme veya yeşil iyileştirme olarak adlandırılır (Trapp ve Karlson, 2001).

Fitoremediasyon tekniğinde genellikle hiperakümülatör bitkiler kullanılmaktadır. Kirlenmiş alanlarda 10.000 mgkg⁻¹'dan daha fazla kuru ağırlık Zn veya Mn, 1000 mgkg⁻¹'dan daha fazla kuru ağırlık Ni, Cu veya Pb, 100 mgkg⁻¹'dan daha fazla kuru ağırlık Cd içeren bitkiler hiperakümülatör bitkiler olarak kabul edilir. Toksik ağır metalleri aşırı biriktirdiğı bilinen birkaç bitki ailesi vardır. Bu tür bazı önemli bitki aileleri, genellikle bitki ışlahı işlemlerinde kullanılan Lamiaceae, Fabaceae, Scrophulariaceae, Asteraceae, Euphorbiaceae ve Brassicaceae'dir. Bunun dışında, yaklaşık 500 bitki türünde ağır metal hiperakümülasyonu olduğı bildirilmiştir (Jeffre, Pillon, Thomine ve Merlot, 2013). Bu hiperakümülatör bitkiler, yaprak, gövde ve dallarında toprak çözeltilisinde var olan metal miktarından 50 ila 500 kat daha çok metal akümüle eden bitkilerdir (Clemens, 2006). Fitoremediasyonun başarısı, bir bitkinin, belirli fenotip ve genotipin bir fonksiyonu olan ağır metalleri alma ve translokasyon yeteneğine bağılıdır (Tatu vd., 2020).

Fitoremediasyon, topraktaki ağır metallerin konsantrasyonunu azaltmak için etkili bir teknoloji olabilir ve sürdürülebilir toprak kullanımına katkıda bulunabilecek, tarımsal üretimi artırabilecek ileriye dönük bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir. Bitkiler, eser elementleri kökleriyle topraktan alma ve onları toprak üstü dokularına taşıma konusunda doğal bir yeteneğe sahiptir. Bilim adamları, bu bitkinin yüzeysel olarak kirlenmiş tarım alanlarından zararlı maddeleri çıkarma yeteneğinden faydalandılar. řu anda, yeterli metal biriktirme kapasitesine sahip hızlı büyüyen ve büyük biyokütle bitkilerinin taranması ve tanımlanmasına büyük ilgi duyulmaktadır (Zehra vd., 2020).

Bitki kökleri tarafından alım için topraktaki toksik metal iyonlarının mevcudiyeti, bitki kökleri tarafından kirleticilerin alım oranı, köklerden sürgünlere translokasyonu ve derecesi gibi çeşitli süreçler, bitki ışlahındaki bitkilerin performansını sınırlayabilir. Metallerin daha biyolojik olarak temin edilebilir formlara dönüştürülmesi, vahşi yaşamın ve insanların metallere maruz kalmasını artırabilir. Bununla birlikte, yaban hayatı tarafından alınabilecek bitki

sürgünlerinde metal birikme riski, büyüme süresinin azaltılması ve böylece transgenik bitkilerin maruz kalmasıyla en aza indirilebilir. Ayrıca, normalde hayvancılık ve insanları beslemek için kullanılan mahsul bitkilerinin hasat edilmesi durumunda, toksik elementlerin tohumlara translokasyonunun her ne pahasına olursa olsun önlenmesi önemlidir. Bitki ıslah teknolojisinde elde edilen sonuçlar, bitkilerin etkili olduğunu ve toksik metal ıslahında kullanılabileceğini göstermiştir (Gratao vd., 2005). Fakat kirlenme çok derine inerse veya toksik bileşiklerin konsantrasyonu çok yüksekse, bitkiler tek başlarına toprağı etkili bir şekilde düzeltemez (Cunningham, Berti ve Huang, 1995).

Petra vd., (2009) çevre kirliliğı konusundaki endişeler, çevrenin iyileştirilmesine yönelik yeni yaklaşımlar önerme çabalarını teşvik etmiştir. Bu şekilde, metal kontamine alanların tedavisi için çeşitli fizikokimyasal teknikler test edilmiştir. Ancak, bu metal çıkarma işlemleri oldukça pahalıdır. Ek olarak, bu teknikler genellikle ekosistem üzerindeki olumsuz etkilerle birlikte toprak verimliliğini ciddi şekilde engelleyebilen katı fizikokimyasal kullanır. Bu nedenle, biyolojik arıtım, özellikle bitki ıslahı, ağır metallerle kontamine olmuş alanların geri kazanılmasına katkıda bulunan umut verici bir teknoloji olarak ortaya çıkmıştır. İlginç bir şekilde, bitki ıslahı 300 yıldan uzun bir süre önce insanlar tarafından tanınmış ve belgelenmiş, ancak uygun bitkilerin bilimsel çalışması ve geliştirilmesi 1980'lerin başına kadar yapılamamıştır (Lasat, 2000). O yüzden nispeten yeni bir tekniktir ve düşük kamuoyu kabulüne sahip, uygun maliyetli, verimli, çevre dostu ve güneş enerjisiyle çalışan bir teknoloji olarak algılanmaktadır. Seçilen bitkilerin metalleri büyütme ve biriktirme kabiliyetine dayanan bu yaklaşım, fizikokimyasal yöntemlerle karşılaştırmalı olarak çevre dostu ve nispeten ucuz bir tekniktir.

1.5. Fitoremediasyon Teknikleri

Birçok araştırmanın ortaya koyduğu verilerde görülmektedir ki ağır metal kirliliğı farklı sebeplerle oluşmaktadır. İnsanoğlunun aktivitesi veya doğal olarak topraklarda bulunabilir. Endüstriyel çalışmalar, tarımsal aktivitede yoğun olarak görülen gübreleme ve ilaçlama, trafik kaynaklı araç egzoz gazları, madenler ve işletme faaliyetleri kirliliğın başlıca nedenleri olarak sayılabilir. Bu metallerin bitki bünyesinde birikerek besin zincirine katılması, insanoğlunun beslenmesini etkilemesi ve ekolojik parametrelerde yer alması ciddi sorun teşkil etmektedir (Gadd, 2000).

Doğada beşerî kaynaklı ağır metal kirlilikleri çoğunlukla kömür madenciliği, kentsel atıklar, maden faaliyetleri sonucudur. Ağır metal giderimi için birçok yöntem bulunmaktadır. Bunlar kimyasal çöktürme, redüksiyon, filtrasyon, elektrokimyasal muamele ve havalandırma gibi tekniklerdir. Bu yöntemlerin uygulama yönüyle özellikle ekonomik açıdan yüksek olması, uygulanabilir olmama, birçok yerde adapte edilememesi vb. sorunlar bulunmaktadır. Uygulanabilirliği yüksek ve ekonomik bir yöntem olan fitoremediasyon tekniğini kirlilik gideriminde kullanımı son zamanlarda gitgide artmaktadır (Anderson, 1977).

Fitoremediasyonun başarısı, bir bitkinin, belirli fenotip ve genotipin bir fonksiyonu olan ağır metalleri alma ve translokasyon yeteneğine bağlıdır. Ağır metalle kirlenmiş toprağın bitki ıslahı, metalleri çıkarmayı veya aktive etmeyi amaçlayan gelişmekte olan bir teknolojidir ve çevre dostu ve nispeten ucuz bir teknik olması nedeniyle çok dikkat çekmiştir. Gelişmekte olan iki temel strateji vardır. Birincisi, ağır metalleri hiper biriktirme kapasitesine sahip hiperakümülatör bitkilerinin kullanılması ikincisi kimyasal şelat ile güçlendirilmiş fitoekstraksiyondur (McGrath, Zhao ve Lombi, 2002; Salt, Smith ve Raskin, 1998; Sun, Zhao, Lombi ve McGrath, 2001).

Fitoremediasyon kapsamında olan yöntemler; fitostabilizasyon, fitoekstraksiyon, rizodegradasyon, fitovolatilizasyon, rizofiltrasyon, fitodegradasyon, hidrolik kontrol, vejetatiförtü sistemleri kıyı tampon şeritleri başlıkları altında toplanmaktadır.

1.5.1. Fitoekstraksiyon

Metal kirleticilerin bitki kökleri yardımıyla topraktan alıp vejetatif organlarına taşımasıdır. Kirli bölgelerin gideriminde etkin bir tekniktir. Kirlenmiş arazilerde yetiştirilen temizleme kabiliyeti olan bitkinin sökülmesi veya budanması ile kirlilik parametreleri ortamdan arındırılmaktadır. Bitkisel madencilik denilen bu teknik ile diğer yöntemlerle elde edilmesi maliyetli olan madenlerin kazanımında da iyi bir fikirdir. ABD’de bu metodlar Au ve Ni elde edilmek için kullanılmaktadır (EPA, 2000). Fitoekstraksiyon uygulaması ile hasat sonucunda elde edilen bitki kısımları kurutularak, kompostlanmakta veya yakılıp kül elde edilerek biyolojik metal madeni halinde yeniden dönüşüme sokularak izole edilebilir (Memon, Aktopraklıgil, Özdemir ve Vertıı, 2000).

1.5.2. Fitostabilizasyon

Birçok alanda meydana gelen erozyonu durdurmak için, yer altı sularına ağır metal kirleticilerinin sızmasını önlemek ve topraklara bulaşması engellemek amacıyla uygulanmaktadır. Topraktaki mevcut kirleticileri, bitkileri kullanarak stabil hale getirmek amacıyla fitostabilizasyon yönteminde, köklerin yüzeyine yapışması, köklerde akümüle olması, kirleticilerin hareketsizleştirilmesi şeklinde meydana gelmektedir. Bu teknolojiye bitki rizosfer bölgesindeki mikrobiyal aktivite ile bitki, kirletici faktörünün yapısını suda çözünemeyen-taşınamayan forma dönüştürebilmektedir (EPA, 2000).

Toprak içeriğinin olduğu yerde kalmasını sağlaması ile birlikte diğer yandan toprak içeriğinin zenginleşmesine neden olması bu yöntemin avantajlarından. Dikkate değer olumsuz yönü ise kirlilik etmenlerinin arazide çok uzun süre kalması ile oluşabilecek farklı faktörlerle kirliliğin yıkanarak yeraltı suyuna karışmasıdır (Henry, 2000).

1.5.3. Fitovolatalizasyon

Bitki içerisindeki ağır metallerin farklı formlara dönüştürülerek terleme ile tekrar ortama salınmaktadır. Fitovolatilizasyon inorganik (Hg, Se) ve organik (klorlu çözücüler) kirletici faktörler bitki içerisinde, atmosfere verilecek şekilde kirleticinin formunun değiştirilmesi ve atmosfere karışmasıdır. Bu yöntemde kök uzunluğu dikkat edilmesi gerek parametrelerdendir. Yeraltı sularının temizlenebilmesi açısından bitki köklerinin derinlere inebilmesi yöntemin uygulanabilirliği açısından önemlidir. Bu teknolojinin en olumlu yönü zehirli bileşiklerin (örneğin civalı bileşikler) farklı formlara dönüştürülerek olumsuz etkileri azaltılır veya tamamen giderilmektedir. Bununla birlikte yöntemin olumsuz yönünde çok zararlı-zehirli bileşikler terleme ile atmosfere geri dönebilmektedir (EPA, 2000).

1.5.4. Rizodegradasyon

Söğüt vd. (2002)'ne göre bu teknolojinin baş mimarı mikroorganizmalardır. Rizosfer bölgesinde mikroorganizmalarla giderim yapılan metoda rizodegradasyon denir. Rizodegradasyon topraktaki mikroorganizmaların parçalayıcı işlemleri sonucunda organik kirleticilerin parçalanmasıdır. Toprak altı bölgesinde mikrobiyal faaliyeti etkileyen yağ asitleri, sterol, aminoasit, nükleotid, şeker, organik asit, büyüme etmenleri, flavanon ve enzimler yöntemin aktif edilmesinde görev yapmaktadır. Bu yöntemin önemli faydası kirleticilerin doğal

ortamda giderilmesidir. Fakat düşük konsantrasyonlarda ekolojik ortamlara taşınabilmektedir (Aybar, Bilgin ve Sağlam, 2015).

1.5.5. Fitodegradasyon

Organik kökenli kirleticilerin gideriminde kullanılan fitodegradasyon bitki bünyesine alınan kirleticilerin üretilen enzimler gibi bileşikler ile parçalanması yöntemidir. Bitki bünyesindeki enzimleri, solventler (TCE: trichloroethane), klorine olmuş ve organik herbisitler gibi parçalanabilen diğer zararlı maddeleri ayrıştırma ile tanımlanır (Mirsal, 2004). Ana mekanizma ortamdaki kirleticinin bitkiler tarafından bünyesine alınması ve bitki bünyesinde depolanması, metabolize olmasıdır. Bu süreç bitki rizosfer bölgesinde gerçekleşmektedir. Organik bileşiklerin akümüülasyonunda bitki çeşidi, eriyebilirliği, kirlilik yarılanma süresi ile toprak özellikleri bu etken faktörlerdir. Fitodegradasyon yani bitkisel bozunum sediment, toprak, çamur ve yeraltı sularında giderim amaçlı kullanılmaktadır (Pivetz, 2001).

Bu yöntemle topraktaki petrol yeraltı sularındaki çözücüler, havadaki uçucu bileşikler aromatik bileşikler, gibi birçok farklı kirletici ortamdan uzaklaştırılabilir (Newman ve Reynolds, 2004).

1.5.6. Rizofiltrasyon

Su ortamında bulunan kirleticilerin gelişmiş kök sistemine sahip ve kirli ortama adapte edilen bitkiler tarafından alımı sağlanmasıdır (EPA, 1995).

Söğüt vd. (2002) rizofiltrasyonu yöntemi kirletici etmenin bitki kök yüzeyine alınarak, adsorplanması şeklinde ifade eder. Kirletici bitki tarafından alınabilir ve taşınabilir. Ana kriter kirletici etmenlerin bitki bünyesinde hareket yeteneğinin sınırlamasıdır. Kirleticiler daha sonra çeşitli yollarla bitki bünyesinden alınabilir. Bu yöntem atık sularda, yeraltı sularında ve yüzey sularında uygulanmaktadır. Karasal ve sucül bitkilerin kullanılabilir olması büyük avantajdır. Ayrıca sistem yapay alanlarda ve doğal ortamlarda uygulanabilmektedir. Kirletici etmen, ortamında veya uzakta giderilebilmektedir (Aybar, Bilgin ve Sağlam, 2015). Debinin kontrol altına alınması, atık su ile bitki yetiştiriciliği için uygun pH düzeyine getirilmesi sağlanmalıdır (Pivetz, 2001). Bu yöntemle giderimi yapılan kirleticileri, kurşun, bakır, kadmiyum, nikel, çinko gibi elementler ve radyonükleidler (Cs, U, Sr) olarak ifade edilebilir (EPA, 2000).

1.5.7. Hidrolik Kontrol

“Phytohydraulic control” veya “hidrolik plumecontrol” olarak da bilinir. Bu sistemde amaç bitki kullanılarak yer altı sularında kirliliğe sebep olan etmenlerin taşınmasını ve birikmesini engellemek veya kontrol altına almaktır. Bu sistem yeraltı ve yüzey sularının temizlenmesi için uygulanabilir. En önemli olumsuz etkisi iklime ve mevsime bağlı olarak bitkinin su isteğinin farklılık göstermesidir. En önemli olumlu özelliği ise herhangi bir yapay sistem kurulmasına gerek olmadan köklerin pompalardan daha fazla alana yayılmasından dolayı etki alanını fazladır.

Söğüt ve Eucalyptus bitki türleri bu yöntemde etkin olduğu yapılan çalışmalar ile ortaya konulmuştur. Tek bir söğüt ağacının bir gündeki terleme miktarının 5000 galon suya eşit olması, beş yaşındaki bir Populus ağacının bir günde 100-200 litre bünyesine su alabilmesi gibi bu tarz su kullanma yetenekleri bu amaçla kullanımlarını önemli kılmaktadır (Pivetz, 2001).

1.5.8. Vejetatif örtü sistemleri

Kirleticilerin toprak verimli katmanından doğal olarak ve çok yıllık bitkiler ile kontrole alınması tekniğidir. Vejetatif örtü, ıslah etmekte veya topraktan buharlaşarak su kaybını engellemektedir. Bitki toprak bünyesindeki su kaybını minimuma düşürmekte ve su tutma kapasitesini de en yüksek düzeye ulaştırmaktadır. Kirletici maddenin yıkanması ve hareket kabiliyeti engellemektedir. Fitoremediasyonda ikinci tip örtüde ise bitki bir örtü olarak suyun infiltrasyonunu en aza indirmekte ayrıca aşağı doğru katmanlardaki kirlilik etmenlerinin ortamdaki uzaklaştırılarak zararlı etkisi azaltılabilmektedir (EPA, 2000).

1.5.9. Kıyı tampon şeritleri

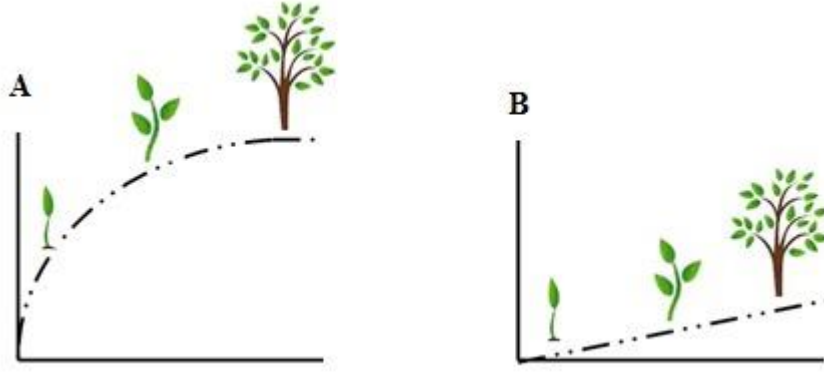
Akarsuların kıyılarına, akıntıyı takip eden şerit boyunca uygun bitkilerin ekilmesi kıyı tampon şeritleri denir. Bu teknikte amaç yer altı ve yer üstü sularına karışan kirletici etmenlerin giderimini sağlamaktır. Kirliliğin taban suyuna karışmaması ve kirliliğin çevreye yayılmaması gibi görevler bu teknikle sağlanmaktadır. Aynı zamanda bu teknik ile sistem erozyonu kontrol altına alınabilir ve sedimenti azaltılmaktadır. Kanada’da yapılan araştırmalarla herbisit akışının %42-70, toprak erozyonunun %90 civarında azaldığı gözlemlenmiştir. Bu yöntem ile su içerisindeki azot %67-96, fosfor %27-97, sediment %71-91, fekal koliformlar %70-74 ve pestisitler %8-100 oranlarında azalabilmektedir (Gabor vd., 2001).

1.6. Hiperakümülatör Bitkiler

“Hiperakümülatör” terimi, topraktan olağanüstü yüksek miktarlarda bir veya daha fazla ağır metali aktif olarak alabilen bitkileri ifade eder (Reeves, 2006). Zenk (1996)’ya göre periyodik tabloda civa ile bakır arasında, atom ağırlıkları 63,546 ile 200,590 arasında değişen ve 5 gr/cm^{-3} ’den daha yüksek özgül ağırlığa sahip olan elementler ağır metal olarak tanımlanır.

Ağır metallere bağlı çevresel kirlenme, endüstrilerde artan kullanımları nedeniyle dünya çapında ciddi ekotoksikolojik endişe kaynağıdır. Biyolojik olarak parçalanamayan ve kalıcı yapısı nedeniyle, ağır metaller canlı varlıklarda maruz kaldıklarında ciddi toprak-su kirliliğine ve ciddi sağlık tehlikelerine neden olur. Ağır metaller düşük konsantrasyonda bile genotoksik, kanserojen, mutajenik ve teratojenik olabilir. Ayrıca endokrin yıkıcılar olarak hareket edebilir ve nörolojik bozuklukların yanı sıra gelişimsel ve indükleyici olabilir ve bu nedenle bunların doğal çevremizden uzaklaştırılması kontamine alanların rehabilitasyonu için çok önemlidir. Ağır metal kirliliği ile başa çıkmak için, fitoremediasyon, yüksek sermaye yatırımı ve emek gerektiren toprak özelliklerini değiştiren ve toprak mikroflorasını bozan geleneksel fiziko-kimyasal temizleme yöntemlerine düşük maliyetli ve eko-sürdürülebilir bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır. Bitki ıslahı, bitkilerin ve ilgili mikropların, çevreyi korumak ve halk sağlığını korumak için ağır metal ile kontamine olmuş alanları iyileştirmek için kullanıldığı yeşil bir teknolojidir (Saxena, Purchase, Mulla, Saratale ve Bharagava, 2019). Alternatif olarak, toksik metallere kirlenmiş toprakların temizlenmesi veya iyileştirilmesi için bitkilerin kullanılmasını içeren ekolojik bir teknolojik yaklaşımdır. Hiperakümülatörler olarak adlandırılan bazı bitkiler, ağır metallere karşı dirençli oldukları ve bu kirletici maddeleri biriktirip yüksek konsantrasyonlara taşıyabildikleri gösterilmiştir. Böylece, kirlenmiş topraklardaki ağır metal miktarını azaltmak için bitki ıslahının kullanımını iyileştirilmesi tasarlanmış, biyolojik ve mühendislik stratejileri ortaya çıkmaya başlamıştır (Gratao vd., 2005).

400'den fazla hiperakümülatör bitkisi bildirilmiştir ve bunlar arasında *Asteraceae*, *Brassicaceae*, *Caryophyllaceae*, *Cyperaceae*, *Cunouniaceae*, *Fabaceae*, *Flacourtiaceae*, *Lamiaceae*, *Poaceae*, *Violaceae* ve *Euphobiaceae* bulunur. *Brassicaceae*, ağır metal birikimi söz konusu olduğunda çok önemli bir gruptur ve birkaç tür birden fazla metali hiperaktif hale getirebilir (Prasad ve Freitas, 2003)



Şekil 1.1. Hiperakümülatör olan ve hiperakümülatör olmayan bitkinin şematik davranış diyagramı

Yukarıdaki Şekil 1.1'de Salt vd. (1998)'e göre A bitkisi akümüle yeteneği olan, hiperakümülatör bitkidir. B bitkisi ise hiperakümülatör olmayıp ağır metal alımı yavaş bir bitkidir. B bitkisinin hiperakümülatör bir bitki kadar metal alımı şelat uygulamasıyla hızla artar (Souza, Piotto, Nogueirol ve Azevedo, 2013).

Şimdiye kadar, hiperakümülatör olarak sınıflandırılan bitki türlerinin çoğunluğu yukarıda açıklanan kriterleri karşılamaktadır. Bununla birlikte, bu türler çok az biyokütle üretir ve yavaş büyüyen bitkilerdir, bu da bu türlerin fitoremediasyonda kullanılmasını olanaksız hale getirir. Bununla birlikte, aşırı yüksek konsantrasyonlarda ağır metal biriktirebilen bu model organizmalar, çok çeşitli ağır metallerin fitotoksik konsantrasyonlarını biriktirmelerine ve tolere etmelerine izin veren mekanizmaları anlamaya odaklanan çalışmalar için gerekli olmuştur. Bu nedenle, bu organizmalar, daha yüksek biyokütle üretimi gibi fitoekstraksiyon için daha uygun özelliklere sahip diğer bitki türlerini genetik olarak modifiye etmek için stratejiler geliştirmek için bir referans olarak kullanılabilir. Bu nedenle, hiperakümülatör olmayan bitki türlerinin, özellikle biyokütle üretimi yüksek olan (Peuke ve Rennenberg, 2005) ve diğer abiyotik faktörlere toleranslı mahsul bitki türlerinin, bitki ıslah potansiyellerinin anlaşılması için araştırılmalıdır. Dikkate alınması gereken ek faktörler arasında tarlada iyi bir büyüme performansı, haşere yönetimi için çok az yatırım yapılması ve yer üstü bitki parçalarının toplanması için mekanize hasat yöntemlerinin kullanılması olasılığı bulunmaktadır (Souza vd., 2013).

1.7. Hiperakümülatör Olan Tıbbi ve Aromatik Bitkiler

Genel olarak, yenilebilir mahsuller, insanlar/hayvanlar tarafından tüketilen gıda zincirine girme riski ve bununla ilişkili sağlık tehlikeleri nedeniyle ağır metaller ile kontamine olmuş alanların fitoremediasyonu için uygun değildir. Ağır metaller ile kontamine olmuş alanların fitoremediasyonu için tıbbi ve aromatik bitkilerin uygulanması yenilikçi bir yaklaşım olmaktadır.

Aromatik bitkiler çoğunlukla yenilmez ve özleri nedeniyle doğrudan insanlar veya hayvanlar tarafından tüketilmez. Yenilebilir bitki hiperakümülatörlerine kıyasla düşük metal birikme potansiyeline sahiptirler, ancak hasat edilen yaprakları uçucu yağın ana kaynağı olduğu için ekonomik olarak önemlidir. Aromatik bitkilerden elde edilen uçucu yağ, bitki biyokütlesinde ağır metal birikimi riski taşımamaktadır ve böylece ağır metallerin besin zincirine girmesini önler. Ağır metaller, damıtma işlemiyle yağ ekstraksiyonu sırasında ekstrakte edilen bitki tortularında kalır ve bu nedenle uçucu yağdaki saptanabilir konsantrasyonu sınırlar. Satış için uçucu yağ ihracatı, sabunlama, deterjan, böcek kovucu, kozmetik, parfüm ve gıda işleme endüstrilerinde kullanıldığından bitki ıslahı ile birlikte önemli bir ekonomik teşviktir (Gupta, Verma, Khan ve Verma, 2013; Lajayer, Ghorbanpour ve Nikabadi, 2017).

1.7.1. Lavanta (*Lavandula angustifolia*)



Şekil 1.2. Lavanta (*Lavandula angustifolia*) (Anonim, 2020b)

Lavanta *Lamiaceae* ailesindeki *Lavandula* cinsinin üyeleridir. *Lavandula angustifolia* veya İngiliz Lavanta, 50'den fazla çeşitten oluşur (Lis-Balchin, 2004). Lavanta özellikle Batı Akdeniz Bölgesi'nin karakteristik bitkilerinde olup yabancı olarak Güney Fransa, Orta İtalya, İspanya ve Yunanistan'da yaygın durumdadır. Yoğun olarak tarımının yapıldığı ülkeler Fransa, Bulgaristan, İspanya, İtalya, Yunanistan, İngiltere, Rusya, ABD, Avusturya ve Kuzey Afrika ülkeleridir. Dünyada ticari değeri olan Lavender (*Lavandula angustifolia* Mill = *Lavandula officinalis* L. = *Lavandula vera*), Lavandin (*Lavandula x intermedia* = *Lavandula hybrida*) ve Spike lavander (*Lavandula spica*) türleridir (Arabacı ve Ceylan, 1990; Ceylan, 1997).

İran'da "Ostokhoddus" olarak bilinen *Lavandula angustifolia* (*Lamiaceae*), 1-2 m yüksekliğinde kuvvetli aromatik bir çalıdır ve yaygın olarak kullanılan bir ev bitkisidir (Hajhashemi, Ghannadi ve Sharif, 2003). Çok farklı renklere sahip olan Lavanta başak oluşumu ile 15-20 cm boyundaki saplar ile her kümede de 5-15 adet çiçek içermektedir (Ceylan, 1997). İlkbaharın sonlarında ve yaz başında çiçeklenir ve çiçeklenme ağustos ayının sonuna kadar devam eder. Mor, beyaz veya pembe renkli çiçeklere sahiptir. Dar yapraklıdır ve ılıman iklimlerde yapraklar her zaman yeşil kalır (Lis-Balchin, 2004).

Wagner (1980)'e göre ortalama yağ yüzdesi taze ağırlık bazında%1–1,5'tir. Bu bitkide bitki ıslahı açısından yapılan araştırmalar daha azdır. Angelova vd., (2015) Lavender'ın potansiyel bir Pb, Cd ve Zn hiperakümülatörü olarak hareket edebileceğini bildirmiştir. Bozhanov vd., (2007)'de lavanta çiçeklenmesinde metal içeriği ile lavanta yağları arasında güçlü bir korelasyon gözlenmemiştir (Pandey, Verma ve Singh, 2019).

Lavanta orta çağda bit, migren, epilepsi, bayılma, nefes nefese kalma, olası panik ataklar, kalp çarpıntısı veya diğer kalp problemleri, soğuk algnlığı, kramplar ve tıkanıklıklar için kullanılmıştır. İngiltere'de üretilen Lavanta esans yağı, İkinci Dünya Savaşı sırasında yaraları dezenfekte etmek ve iyileşmeye yardımcı olmak için sfagnum yosunu ile de kullanılmıştır (Lis-Balchin, 2004).

şifalı bitkilerin terapötik amaçlar için kullanılması, insanlık tarihi kadar eski bir uygulama olmasına rağmen, 21. yüzyıldan itibaren aromaterapi biliminin gelişmesini sağlamıştır. Dunning (2013), Steven ve Erhlich (2009)'a göre bu bitkisel ilaç, esansiyel yağlar, alkollü ve hidrolik özler, meyve suları ve reçinelerden damıtılmış ekstraktlar dahil olmak üzere aromatik ve tıbbi bitkilerden elde edilen ekstraktlar kullanılarak hastalıkların tedavisinde önemli bir değer göstermiştir (Ez zoubi, Boustave Farah, 2020).

Bu çalışma, farklı dozlarda kadmiyum ağır metali ile kirlenmiş toprakların gideriminde kullanılabilecek en uygun ve en ekonomik yöntem olan fitoremediasyon yöntemi ile lavanta (*Lavandula angustifolia*) bitkisinin topraktan kaldırabildiği kadmiyum miktarını tespit etmek ve asit topraklarda kadmiyum kirliliği gideriminde bu bitkinin hiperakümülatör olup olmadığını ortaya koymak amacıyla yürütölmüştür.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Bazı Bitkilerin Cd Kirliliğine Karşı Fitoremediasyon Davranışları

Sivas koşullarında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin 5 mgkg⁻¹ kadmiyum ile zenginleştirilmiş topraklarda gelişimi ve besin elementi alımına etkilerini belirlemek amacıyla, saksı denemesi kurulmuş, 6 tür bakteri seçilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde ise kadmiyum uygulamasının bitkinin biyokütle gelişimini önemli ölçüde ($p<0,05$) düşürmüş, bakteri aşılamanın bitkinin kuru madde ağırlığını arttırdığını göstermiştir. Aynı zamanda, kadmiyum ile zenginleştirilmiş alanlara bakteri aşılması, bitki kuru ağırlığını daha da arttırmış, en yüksek değer 43.1 gbitki⁻¹ ile B1 ve 5 mgkg⁻¹ Cd uygulamasından elde edilmiştir. Bu sonuca göre bakterileri uygulanmasının Cd'un kötü etkilerini azaltabildiğini göstermektedir. B5 hariç kadmiyum uygulanan saksılardaki bakteri uygulamalarının hepsi bitkinin biyokütlesini artırmıştır. Cd ile Zn arasındaki antogonistik ilişki, kadmiyum uygulamalarında çinko alımını azaltmıştır. Bakteri uygulamaları Cd uygulanan koşullarda bile Zn alımını artırmıştır (Coşkan, Demirbaş ve Jawad, 2020).

Domates, biber, fasulye ve mısır bitkilerinin kent merkezi ve köylerde yetiştirilen bireylerindeki bazı ağır metal konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla bitkilerin yaprak ve meyvelerinde yıkama işlemi uygulanmış ve Pb, Fe, Cr, Cd, Mg, Al ve Ca elementlerinin tür, organ, yetiştirme yeri ve yıkama durumuna bağlı değişimleri değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda tür bazında genel olarak en düşük değerler domates ve mısırdaki, en yüksek değerler ise biberde elde edilmiştir. Bunun dışında genel olarak yapraklardaki konsantrasyonların meyvelerdekenden, yıkanmayan numunelerdeki konsantrasyonların ise yıkanan numunelerinkinden daha yüksek düzeyde olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar trafiğin yoğun olduğu alanlar gibi ağır metal kirliliğinin yüksek olduğu bölgelerde yetiştirilen bitkilerin gıda olarak tüketilmesinin insan sağlığı açısından önemli sağlık sorunlarına yol açabileceğini göstermektedir. Çalışma sonucunda ağır metallerin birçoğunun ve özellikle insan sağlığı açısından en önemli ağır metallere birisi olan Pb'nin kent merkezinde yetiştirilen bireylerdeki konsantrasyonlarının oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla trafiğin yoğun olduğu alanlar gibi ağır metal kirliliğinin yüksek olduğu alanlarda yetiştirilen bitkilerin tüketilmesinin insan sağlığı açısından önemli sağlık sorunlarına yol açabileceği görülmektedir (Gültekin, 2020).

Kadmiyum stresine karşı çilek (*Camarosa*) bitkisinde dışsal metil jasmonat (MeJa) uygulamalarının bazı büyüme parametreleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Yapılan araştırmada artan kadmiyum konsantrasyonları çileğin büyüme ve gelişmesini fazlaca etkilemiş ve kadmiyum dozu arttıkça gelişme düşüş göstermiştir. Kullanılan metil jasmonat uygulamalarının kadmiyum toksitesini hafiflettiği ve uygulama dozuna bağlı olarak çilek bitkisinde kök sayısı, kök ağırlığı, gövde ağırlığı ve yaprak alanında artış sağladığı belirlenmiştir. Yapılan araştırmadan elde edilen sonuçlara göre kadmiyum ağır metali uygulamalarının çilek bitkisinin büyüme parametrelerini düşürdüğü görülmüş ve metil jasmonat uygulamalarının ise kadmiyum toksitesinin stresini azalttığı sonucuna varılmıştır (Akkuş, Başak, Baytın ve Muradoğlu, 2020).

Etiyopya'nın merkezinde yapılan bir çalışmada Rift Vadisi'ndeki Mojo bölgesi tarım alanlarından toplanan sebzeler ve toprak örneklerindeki ağır metallerin seviyelerini değerlendirmek amacıyla çalışma yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda As, Pb, Cd, Cu, Hg ve Co metallerinin tarım toprağında önerilen değerleri aştığını saptamıştır. Domates ve lahana sebzelerinin tüketildiği Etiyopya'nın Mojo bölgesinde potansiyel kanser riskinin varlığı tespit edilmiştir (Gebeyehu ve Bayissa, 2020).

Çin'in önde gelen 10 tütün çeşidinde ağır metal birikimi, bitki organları arasında ekstraksiyon kabiliyeti ve Cd birikimi profilleri analiz edilmiştir. Tütün kökleri kobalt, nikel ve Cd biriktiren, yaprak yüksek oranda biyolojik olarak birikmiş Cd ve düşük birikmiş çinko, selenyum ve civa içerdiği saptanmıştır. Bütün yapraklarda Cd konsantrasyonu oranları nispeten stabil bulunmuştur. Yüksek Cd içeren çeşitler normal topraklarda "Hongda", "NC89" ve "Zhongyan 100" iyi yetişmiş, Orta derecede kirli topraklarda "CuiBi 1" ve "Hongda" ve ciddi derecede kirli topraklarda "YuYan 87", "LongJiang 851" ve "K326" iyi yetişmiştir. Tütün yaprakları, bitki tarafından topraktan çıkarılan toplam Cd'nin yaklaşık %80'ini biriktirebilir. Önde gelen tütün çeşitlerinin sergilediği Cd biriktirme kapasiteleri göz önüne alındığında, germplazma kaynaklarının yüksek veya düşük Cd birikimi için araştırmalar yapılması gelecek için önemli bir hedefdir (Liu vd., 2019).

Kurşun, kadmiyum, antimon ve nikel ağır metalleriyle kirletilmiş alanda yonca (*Medicago sativa L.*) bitkisi kullanılarak bu ağır metallerin giderimi sağlanması amaçlanan bu araştırma 0 (kontrol) grubu ve her bir uygulamadan 3 tekerrür olarak kurulmuştur. Sonuç olarak yoncanın bünyesine aldığı ağır metallere Cd ve Ni'in daha kolay bünyesine alınmış, Pb ve Sb'nini ise Cd ve Ni'e göre daha zor bitki bünyesine geçtiği görülmüştür. Elde edilen sonuçlara

göre yonca bitkisinin kurşun, kadmiyum, antimon ve nikel ağır metal kirliliği gideriminde topraktan arıtım işlemleri başarılı olmuştur (Bağdatlı, 2019).

Çöl bitkisinin toprak konsantrasyonuna göre Ba, Cd, Cr, Cu, Ni ve Pb'ye toleransını incelenen bu çalışmada kök ve filizdeki tüm metallerin biyokonsantrasyon faktörü (BCF), bitkinin bu metalleri biriktirme kapasitesini gösterir. Cd'nin translokasyon faktörü (TF) birden fazla; Bununla birlikte, diğer tüm metaller için birden az bulunmuş, bu da bitkinin Cd'yi fitoekstraksiyon ile iyileştirdiğini, Cr, Cu ve Ni'nin fitotabilizasyon yoluyla biriktiği filiz ve kökteki metalleri konsantre ettiği anlamına gelir. Sonuç olarak *T. qataranse*'nin Cd, Cr, Cu ve Ni'ye toleranslı olduğunu göstermektedir. Potansiyel olarak, bu metaller burada gösterilenden daha yüksek konsantrasyonda birikebilir; bu nedenle *T. qataranse*, toksik metallerin bitki stabilizasyonu için uygun bir adaydır (Usman, Al-Ghouti ve Abu-Dieyeh, 2019).

Karataş (2019)'ın, yaptığı çalışmada Potasyum nitrat (KNO_3), priming (Hydropriming (H_2O) ve Salisilik asit (SA) uygulanan üç çeltik çeşidi (*Oryza sativa L.*) (Osmancık-97, Halilbey ve Kızıltan) üzerine çimlenme, fide gelişimi ve Cd birikimleri üzerine farklı Cd dozlarının (0, 50, 100, 200 ve 400 mgL^{-1}) etkilerini belirlenmiştir. Yüksek dozda kadmiyum uygulamaları, tüm çeltik çeşitlerinde çimlenme ve fide gelişimi üzerinde olumsuz etki göstermiştir. Hidropriming uygulamasının çimlenme üzerinde daha çok olumlu etki yaptığı, ancak Potasyum Nitrat (KNO_3)'ın tüm çeltik çeşitleri üzerinde olumsuz etki yaptığı belirlenmiştir. Bitki köklerindeki kadmiyum içeriğinin, fidenin kadmiyum içeriğinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Salisilik Asit (SA) ile priming uygulaması, fidenin kök ve sürgünlerinde tespit edilen kadmiyumda bir azalmaya neden olmuştur. Salisilik asit ile priming uygulamasının, çeltikte Cd kaynaklı etkileri azalttığı sonucuna varılmıştır.

Yakar (2019), sera koşullarında farklı tütün çeşitlerinin (Özbaş, Canik-190/5, Xanthi/81 ve Birlik/124) Cd toksisitesine karşı (0, 5, 10 ve 20 $mgkg^{-1}$ Cd, ($CdSO_4$) $_3 \cdot 8H_2O$ formu)) tepkisini belirlemek amacıyla yaptığı çalışmada bütün tütün çeşitlerinde kadmiyum konsantrasyonunda istatistiksel olarak önemli artış ve yeşil aksam kuru madde verimlerinde önemli düzeyde azalmalar saptamıştır. En yüksek Cd uygulaması (Cd_20) koşullarında kuru madde veriminde meydana gelen azalma en fazla Özbaş (%58,5 azalma), Birlik/124 (%52,4 azalma) ve Canik (%51,1 azalma) çeşitlerinde, en az ise Xanthi/81 (%44,6 azalma) çeşidinde meydana gelmiştir. Bitkilerin topraktan kaldırdıkları Cd bakımından çeşitler arasında önemli farklılıkların olduğu, Cd_20 uygulamasında topraktan Cd alımı en fazla Xanthi/81 (395.2 μg Cd plant $^{-1}$), en az ise Canik (232.6 μg Cd plant $^{-1}$) çeşitlerinde olmuştur. Toksik Cd uygulamaları

çeşitlerin yeşil aksam Zn konsantrasyonlarında azalmaya neden olurken, Cu konsantrasyonlarında önemli artışlara neden olmuş, Fe ve Mn konsantrasyonlarında ise önemli bir değişim olmamıştır. Sonuç olarak, Canik çeşidinin diğer çeşitlerden daha az düzeyde topraktan Cd kaldırdığı, buna karşın Xanthi/81 çeşidinin daha fazla Cd aldığı ve bu çeşidin diğer tütün çeşitlerine göre Cd toksisitesine karşı daha dayanıklı olduğu ortaya çıkmıştır.

İki farklı çilek çeşidi (Sweet Charlie, Camarosa) kullanılan çalışmada bitkilere 4 doz (0, 6, 12 ve 24 Cd mgkg⁻¹) kadmiyum uygulanmıştır. Çalışma sonunda artan dozlarda Cd uygulamalarının çilek bitkisinde bazı büyüme ve stres parametreleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 'Sweet Charlie' çeşidi 'Camarosa' çeşidine göre yetiştirme ortamından daha fazla Cd alımı yaptığı ortaya çıkmıştır. Sonuçlar artan dozlarda Cd uygulamalarının her iki çilek çeşidinin büyüme performansı ile toplam fenol ve antioksidan içeriğinde önemli bir değişime neden olmadığını göstermiştir (Boyar, 2019).

Virola surinamensis bitkisi, Cd ile kontamine ortamları düzeltmek için derin ve yoğun kökler, nispeten hızlı büyüme ve yüksek biyokütle üretimi gibi istenen özelliklere sahip bir ağaç türüdür. Yapılan bu çalışmada, *V. surinamensis*'in Cd konsantrasyonlarına karşı genç yapraklarda fizyolojik tepkilerini, fito-ekstraksiyon ve tolerans kapasitesi değerlendirilmiştir. Kadmiyum konsantrasyonları farklı bitki dokularında farklı dozlarda birikim sağlamıştır (kök> gövde>yaprak). Ek olarak bu tür, yüksek bakır (Cu) ve çinko (Zn) konsantrasyonları dahil olmak üzere bozulmuş alanlar için ıslah programlarında başarıyla kullanılmıştır. *V. surinamensis* ağır metallerle kirlenmiş ortamlara tolerans mekanizması geliştirmektedir (Andrade vd., 2019).

Brassica juncea (Hint hardalı)-Malopolska bitkileri Cd, Cu, Pb ve Zn, 50 µM konsantrasyonda maruz bırakılmış ve daha sonra hasat edilmiştir. Tüm *B. juncea* için %90'dan daha yüksek bir tolerans indeksi (IT) gözlemlenmiştir. Bitkilerdeki Cd, Cu, Pb ve Zn birikiminin, yer üstü kısımlarda köklerden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Sonuçlar *B. juncea* var. Malopolska, eser metallerin, özellikle Cu, Cd ve Zn'nin iyi bir hiperakümülatörü olduğunu ve toprak ıslahında faydalı olabileceğini göstermiştir (Malecka vd., 2019).

Pishin bölgesinin en yaygın kullanılan terapötik beş bitkilerinin (*Hertia intermedia*, *Cardaria chalepense*, *Scorzonera ammophila*, *Tamaix karelini* ve *Astragalus auganus*) ağır metal içerikleri (Kadmiyum, Bakır, Nikel, Kurşun ve Çinko konsantrasyonları (mgkg⁻¹)) incelenmiştir. En yüksek Cd konsantrasyonu (0,0338 mgkg⁻¹) ve Ni (0,469 mgkg⁻¹ sırasıyla

Scorzonera ammophila ve *Cardariachalepense*'de bulunurken, yüksek Cu konsantrasyonu ($2,035 \text{ mgkg}^{-1}$), Pb ($0,309 \text{ mgkg}^{-1}$) ve Zn ($4,529 \text{ mgkg}^{-1}$) sadece *Hertiaintermedia*'da gözlenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, örnek toplama yapılan alanlarda büyüyen bu bitkilerin tüketilebilir olduğunu göstermektedir (Baqi, Hussain, Jabeen, Khattak ve Ullah, 2019).

Nassouhi (2018)'un yaptığı araştırmaya göre kurşun, kadmiyum ve bu iki ağır metalin karışımlarına maruz bırakılan *Pistia stratiotes* sucul bitkisinin ağır metal alım potansiyeli araştırılmıştır. Kurşun ağır metali için kullanılan konsantrasyonlar $1, 5$ ve 25 mgkg^{-1} , kadmiyum için ise $1, 2,5$ ve 5 mgkg^{-1} şeklindedir. Denemede ağır metallerin düşük, orta ve yüksek konsantrasyonlarının yarısı denenmiştir. 1 haftalık olan bu çalışmada haftanın 1, 4. ve 7. günlerinde bitki örnekleri alınmış ve Pb'nin 1 ve $2,5 \text{ mgkg}^{-1}$, Cd'nin 1 ve 5 mgkg^{-1} 'lik konsantrasyonlarında bitki maruz bırakılan bitkilerin dokularındaki ağır metal miktarı denemede süre bakımından önemli bir farklılık göstermemiştir. Karışım denemelerinde bitkilerde biriken kurşun miktarının 4 ve 7 gün sonunda önemli bir artış gösterdiği belirlenmiştir. Kadmiyum miktarında ise tüm deneme gruplarında doz artışına bağlı olacak bir artış gözlenmiştir. Araştırma sonunda *P. stratiotes* bitkisinin kurşun, kadmiyum ve bu ağır metallerin karışımları için bitkisel ıslahta kullanılabileceği gözlemlenmiştir.

Şalgam ekili iki farklı arazide Cd toleransı, büyümesi ve Cd birikim özelliklerini, Cd fitoremediasyon potansiyeli araştırılmış. Sonuçlar, şalgamın *Phytolacca americana* Linn, *Pilosa* Linn'i ve *Brassica napus* Linn'e göre nispeten daha düşük Cd konsantrasyonlarını tolere edebileceğini göstermiştir. Şalgamların önce hızlı bir şekilde büyüdüğü, sonra yavaş yavaş büyümenin yavaşladığı ve fotosentetik parametreleri biyokütle birikiminin ışıktan kolayca etkilendiğini göstermiştir. Bununla birlikte, şalgamın Cd alım ve translokasyon kapasiteleri, *Phytolacca americana* Linn'den daha yüksek, *Pilosa* Linn ve *Brassica napus* Linn ise birbirine yakın bulunmuştur. Sonuç olarak, erken büyüme sırasında şalgamlarda büyük miktarlarda Cd birikmiş ve etli kökler hafifçe artmıştır. Bu bulgulara dayanarak, mevcut şalgam ekili topraklarda kirlilik giderme potansiyeli vardır. Ayrıca, şalgamlar bitkilerde yüksek Cd birikiminin moleküler mekanizmasını incelemek için iyi adaylar olarak değerlendirilmiştir (Li vd., 2017).

Çin'de 18 şalgam arazisinde Cd toleransı ve biriktirme yetenekleri araştırılmıştır. Sonuçlar, şalgamın Cd birikimi için yüksek bir kapasiteye sahip olduğunu göstermiştir. Bildirilen bazı Cd hiperakümülatörlerle karşılaştırıldığında, şalgam sadece yüksek bir Cd biriktirme kapasitesi göstermemiş, aynı zamanda hızlı bir büyüme göstermiş ve geniş bir

dağıtım alanına sahip olmuştur. Bu avantajlar, şalgamın Cd ile kirlenmiş toprağın fitoremediasyonu için önemli bir potansiyele sahip olabileceğini göstermektedir. Ayrıca çalışmaya göre güvenli Cd seviyelerini aşan bir ortamda yetiştirilen şalgamının tüketimi tavsiye edilmez (Li vd., 2016).

Liu vd., (2016) yaptığı çalışmada, Cd hiperakümülatörü olan *C. rossii*'yi kullanarak azotun Cd fitoekstraksiyonu üzerindeki etkisini değerlendirmek amaçlanmıştır. Kimyasal N gübrelerinin eklenmesi, sürgün biyokütle üretimini önemli ölçüde arttırmıştır. Bununla birlikte, gübre uygulaması toprakta Cd mevcudiyetini ve dolayısıyla Cd fitoekstraksiyon etkinliğini önemli ölçüde azaltmıştır. Dört kimyasal N işlemi benzer sürgün ve kök biyokütle üretimiyle sonuçlansa da *C. rossii* tarafından Cd fito-ekstraksiyonunun en yüksek verimliliği üre ve NH_4^+ 'te olmuştur. Bu nedenle, bu çalışma *C. rossii*'nin Cd fitoeksantrasyonunu arttırmak için üre kullanılmasının iyi olacağını düşündürmektedir.

Nohut bitkisi kullanarak yapılan bi araştırmada 6 gün boyunca kadmiyum stresine maruz kalan nohut (*Cicer arietinum L.*) tohumlarında Ekzojen kalsiyum ve etilen glikol tetraasetik asit (EGTA) takviyesinin Cd alımı üzerine etkisi incelenmiştir. Ca ve EGTA hem kök hem de sürgün hücrelerinde büyüme inhibisyonunu ve azalmış Cd birikiminin yanı sıra lipid peroksidasyonu ve protein karbonilasyonunu hafifletmiştir. Ekzojen efektör uygulaması, apoptotik benzeri bir işlem olarak kabul edilen, sabit bir ATP seviyesi ile ilişkili olan Cd kaynaklı hücre ölümünü hafifletmiştir. Bu araştırma, Ca ve EGTA'nın, hücrel indirgeme gücünün geri dönüşüm yeteneklerinin iyileştirilmesi yerine hassas hücre bölgelerinin Cd kaynaklı oksidasyondan, yani membran lipidlerinden ve proteinlerinden korunması yoluyla oluşan Cd'a maruz kalan nohut fidelerinin büyümesi üzerinde iyileştirici bir etki göstermiştir (Sakouhi vd., 2016).

Youngia erythrocarpa bitkisinin kadmiyum (Cd) hiperakümülatörü olduğunu doğrulamak ve tarım arazilerinde fitoremediasyon amaçlı kullanımı araştırılmıştır. Sonuçlar *Y. erythrocarpa*'nın biyokütle ve direnç katsayısının azaldığını, ancak kök ve sürgünlerdeki kök/sürgün oranının ve topraktaki Cd konsantrasyonunun arttığını göstermiştir. Bu nedenle *Y. erythrocarpa*, Cd ile kirlenmiş tarım toprağını iyileştirmek için kullanılacak hiperakümülatör bir bitkidir (Lin vd., 2015).

Sucul bitki *Hydrilla verticillata* yüksek bir alım kapasitesine sahiptir ve bu nedenle su rezervuarlarında Cd ve Cr metallерinin umut verici bir akümülatörü olarak kabul edilir (Phukan, Phukan ve Phukan, 2015).

Lonicera japonica Thunb'un kadmiyum birikme kapasitesi ve fizyolojik mekanizmaları araştırılmıştır. Ulaşılan sonuçlara göre *L. japonica*'nın Cd'ye karşı güçlü toleransı ve birikme kapasitesine sahip olduğu gösterilmiştir. Bu nedenle bu bitki potansiyel bir Cd hiperakümülatördür (Liu vd., 2009).

Beş söğüt ağacı türü fito-ekstraksiyon yetenekleri açısından incelenmiştir. Bu türler *Salix dasyclados*, *Salix triandra*, *Salix schwerinii*, *Salix fragilis* ve *Salix purpurea X Salix daphnoides*. İncelenen beş tür arasında *S. schwerinii*, *S. dasyclados* ve *S. fragilis*, Zn ve Cd'nin fitoekstraksiyonu için daha fazla potansiyel göstermiştir (Meers, Vandecasteele, Ruttens, Vangronsveld ve Tack, 2007).

Sera koşullarında marul, ıspanak, turp ve havucun fitoremediasyon davranışını incelemek için kadmiyum, bakır, mangan, kurşun ve çinkonun farklı konsantrasyonlarda kontamine olmuş kompost üzerinde büyütülmüştür. Bitkiler olgunlaşıp kökleri ve yapraklarındaki ağır metal konsantrasyonları incelenmiştir. Sonuçlara bakıldığında turp ve havuca uygulanan Cd, bu sebzelerin kökünde önemsiz düzeyde, yapraklarında ise önemli düzeyde birikme göstermiştir. En yüksek Cd içerikleri, turp yaprakları, turp kökleri ve havuç yaprakları için sırasıyla 184.4, 68.2 ve 47.4 $\mu\text{g g}^{-1}$ konsantrasyonlarındadır. En düşük Cd konsantrasyonu, katkısız topraktaki havuç yapraklarında ($0.2 \mu\text{g g}^{-1}$) olmuştur (Intawongse ve Dean, 2006).

Dört farklı kültür bitkisi üzerinde yapılan bu çalışmada: *Brassica rapa*, *Helianthus annuus*, *Zea mays* ve *Cannabis sativadhas* bitkilerinin Cd, Cu, Ni, Pb ve Zn elementlerinin fitoekstraksiyonu için hiperakümülatör oldukları bildirilmiştir. Sonuçlar, bu dört bitkinin sürgünlerinde, özellikle Cd ağır metal birikimleri sergilediğini göstermiştir. *B. rapa*'da Zn, *C. sativa*'da Cu, *H. annuus*'ta Cd, *B. rapa*'da Pb ve *C. sativa*'da Ni'de yüksek düzeyde birikmiş ve tüm metaller *Z. mays*'da en düşük birikim göstermiştir. Sonuç olarak farklı agronomik ürünler, farklı ağır metallere karşı fitoekstraksiyon için farklı potansiyeller sergilemişlerdir (Meers, Ruttens, Hopgood, Lesage ve Tack, 2005).

2.2. Çeşitli Su Kaynaklarında Cd Kirliliği

Bu çalışmada, Hazar Gölü Havzası'ndaki yeraltı ve yüzey sularının iz element içeriklerinin belirlenmesi ve bu elementlerin insan sağlığı açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, havza içindeki 51 farklı noktadan alınan su örneklerinde arsenik, kadmiyum, bakır, manganez, kurşun, çinko, nikel ve krom gibi iz elementler analiz edilmiştir. Seçilen iz elementlerin su örneklerindeki en düşük ve en yüksek konsantrasyonları (mgkg^{-1}) As için 0,01– 2,08; Cd için 0,01–0,15; Cu için 0,05–111,35; Mn için 0,06–311,44; Pb için 0,01– 2,56; Zn için 1,73– 896,11; Ni için 0,09–14,21 ve Cr için 0,05–3,39 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre; bazı su örneklerinde Cu ve Mn konsantrasyonlarının içme suyu için önerilen standart değerlerin üzerinde olduğu bulunmuştur. Bu çalışma, Hazar Gölü havzasında bulunan çeşitli su kaynaklarının, analiz edilen kimyasal parametreler (iz elementler) bakımından, İTASHY (2005) ve WHO (2011) içme suyu standartlarına uygun olduğunu ortaya koymuştur. Bununla birlikte, çalışma alanının bazı bölgelerinde, jeolojik faktörlere bağlı olarak sulardaki Cu ve Mn konsantrasyonlarının, içme suyu için belirlenen sınır değerlerini aştığı belirlenmiştir. Bu nedenle, özellikle yüksek iz element konsantrasyonunun görüldüğü bölgelerde, yeraltı ve yerüstü suları uygun arıtma işlemlerine tabi tutulmadan içme suyu olarak tüketilmemelidir (Çeliker, Güler ve Parlakyıldız, 2020).

Soda gölleri, pH değerinin yüksek olduğu (9,0 -12,0) yeryüzündeki doğal alkalın ortamlardır. Bu alanlar sıradışı jeokimyası nedeniyle, çok sayıda ekolojik ve ekonomik öneme sahip mikrobiyal topluluk barındırırlar. Van Gölü, büyük bir havzanın alçak kısmını kaplayan dünyanın en büyük soda gölüdür. Göl kendine has su kimyası ile diğer soda göllerinin içinde özel bir yere sahiptir. Dünya genelinde soda göllerindeki mikroorganizmalar üzerine yapılan çalışmalar her geçen gün artmaktadır. Ağır metaller mikro kirleticilerdir ve birikimleri özellikle sucul sistemleri tehdit etmektedir. Bakteriyel komüniteler çevresel değişimlere karşı oldukça duyarlıdır. Şehirleşmenin ve sanayileşmenin getirdiği en kötü sonuçlardan biri olan ağır metal varlığı da bakteriler üzerinde negatif etki yaratmaktadır. Böyle bir stresin Van Gölü'nün doğal bakteri popülasyonunda nasıl bir etkiye neden olduğunu görmek için kadmiyum, bakır ve çinko varlığındaki sayısal değişimleri incelenmiştir. Buna göre gölün iki farklı kıyısından alınan örneklerde de paralel sonuçlar gözlenmiştir. Van Gölü sedimentinin kültüre edilebilen bakteri sayısı 106 KOB/g olarak bulunmuştur. Ağır metaller açısından değerlendirildiğinde ise her iki bölgede de en toksik metalin kadmiyum olduğu belirlenmiştir (Öktaş, 2020).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Çalışmada materyal bitki, lavanta (*Lavandula angustifolia*) kullanılmıştır. Yetiştirme ortamı olarak toprak seçilmiştir. Ağır metallere kadmiyum (Cd) uygulanmıştır. Sulama suyu olarak içme suyu kullanılmıştır. Araştırma kapsamında kullanılan materyallere ilişkin teknik detaylı bilgiler alt başlıklar halinde aşağıda sunulmuştur.

3.1.1. Araştırmada Kullanılan Lavanta Çeşidinin Özellikleri

İran'da “*Ostokhodus*” olarak bilinen *Lavandula angustifolia* (Lamiaceae), 1-2 m yüksekliğinde güçlü aromatik bir çalı ve yaygın olarak kullanılan bir ev bitkisidir (Hajhashemi, Ghannadi ve Sharif, 2003; Rabiei, Afienian, Mokhtari ve Shahrani, 2014).

Lavandula angustifolia veya İngiliz Lavanta, 50'den fazla kültürden oluşur. Akdeniz Bölgesine özgüdür ve doğaldır. İlbaharın sonlarında ve yaz başında çiçeklenir ve çiçeklenme ağustos ayının sonuna kadar devam eder. Mor, beyaz veya pembe renkli çiçeklere sahiptir. Dar yapraklıdır ve ılıman iklimlerde yapraklar her zaman yeşil kalır. Çiçek yağları, linalool ve linalil asetat gibi arzu edilen esans yağ bileşiklerince daha zengindir ve kafur gibi istenmeyen bileşikler daha düşük miktarlarda bulunur. Genellikle en yüksek kalitede yağa sahip olduğu düşünülse de bu çalılar aynı zamanda ticari lavantaların en küçüğüdür ve genellikle yükseklik ve genişlik bakımından sadece 1–1,5 m'ye kadar büyürler (Upson ve Andrews, 2004).

Ticari olarak Fransa, İspanya, Portekiz, İngiltere, Bulgaristan, Avustralya, Çin ve ABD'de yetiştirilmektedir. Lavanta yağı, hoş kokusuyla ünlüdür ve parfümeri, kolonyalar, cilt losyonları ve diğer kozmetik endüstrilerinde geniş bir uygulama alanına sahiptir (Verma vd., 2010).

Lavanta esansiyel yağı geleneksel olarak Avrupa İlaç Ajansı (EMA) tarafından stres ve kaygıyı hafifletmek için bitkisel ilaç olarak kullanılır. Bazı hayvan ve klinik çalışmalar, anksiyete ve depresyon modellerinde olumlu sonuçlar ortaya koysa da moleküler mekanizmalar üzerinde çok az araştırma yapılmıştır (Lopez, Nielsen, Solas, Ramirez ve Jager, 2017).

3.1.2. Araştırmada Uygulanan Kirlenici

Kadmiyum, tarım topraklarına atmosferik depozitler, endüstriyel faaliyetler, lağım atıkları ve fosforlu gübreler gibi insan faaliyetleri sonucunda karışabileceği gibi, ana materyalden kaynaklıda bulunabilmektedir (Assche ve Clijsters, 1990). Kadmiyum topraktaki hareketliliğinden dolayı bitki köklerine kolayca ulaşabilmekte ve bünyesine geçebilmektedir. Bitkilerin kadmiyum ve kadmiyum gibi ağır metalleri bünyesine alması sonucunda besin zincirine girmesi ya da topraktan yıkanarak kaynak sularına karışması önemli bir çevre sorunu haline gelmiştir. Kadmiyumun yeraltı sularına karışarak tarlaların sulama sularına ve canlıların içme sularına karışmasını topraktaki şelatlayıcı ajanlar hızlandırmakta ve kirliliği yukarı seviyelere taşınmasını sağlamaktadır (Köleli ve Kantar, 2005). Kadmiyumun topraktan taşınımı zordur. Bunun gibi zararlı bir elementin yarılanma ömrünün 15-1100 yıl gibi uzun olması (Kabata-Pendias ve Pendias, 1992) toprakta veya suda bulunmaması, varsa ortamdan uzaklaştırılması ve minimuma indirilmesini gerektiğini açıklamaktadır.

Tarım topraklarının kadmiyum (Cd) ile antropojenik kirlenmesi sonucu, ürünlerde Cd birikimi insan sağlığını tehdit etmesi sebebiyle dikkat edilmesi gereken bir elementtir. Toprakta bulunan Cd, bitkilerin yaşam döngülerini etkileyerek büyüme ve gelişimlerini olumsuz etkiler. Kadmiyuma maruz kalma sonucunda, bitki gelişiminin tüm aşamalarına müdahale ederek tohum çimlenmesini, vejetatif büyüme ve üremeyi engellediği gözlemlenmiştir. Bu derece zehir etkisine sahip metalin tarım topraklarından giderimine fayda sağlayabilmesi ve giderimde sağlanacak maksimum kapasiteyi belirleyebilmek açısından ağır metalin farklı konsantrasyonlarında bu araştırma yapılmıştır. Saksılara uygulanan Cd dozları şekil 3.1'de, çözeltilerin hazırlanmış hali ise şekil 3.2'de gösterilmektedir.



Kontrol Saksuları

Cd ve EDTA-Na uygulanmamış, saf topraktır.



10 ppm derişim için: 0,38 gr $\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$

ve 10 mmol EDTA- Na



20 ppm derişim için: 0,75 gr $\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$

ve 10 mmol EDTA- Na



40 ppm derişim için: 1,50 gr $\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$

ve 10 mmol EDTA- Na



80 ppm derişim için: 3,01 gr $\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$

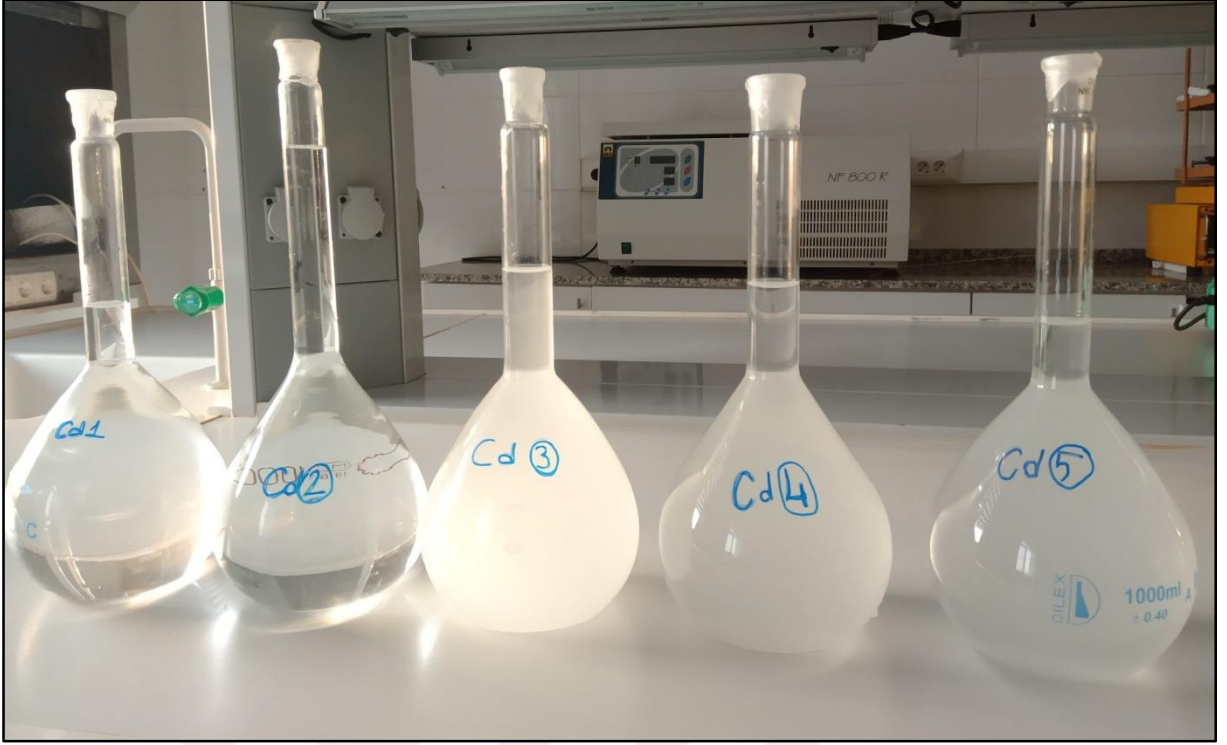
ve 10 mmol EDTA- Na



100 ppm derişim için: 3,77 gr $\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$

ve 10 mmol EDTA- Na

Şekil 3.1. Denemede kullanılan Cd ve EDTA-Na dozları



Şekil 3.2. Denemede kullanılan farklı konsantrasyonlardaki kadmiyum çözeltileri

3.1.3. Uygulanan Şelat ve Özellikleri

Şelasyon kelimesi, Yunancada Chele kelimesinden türemiştir ve kısıkaç anlamına gelmektedir. İki veya çok dişli bir kimyasal ligandın iyonik bir substrata bağlanması veya komplekslenmesine şelasyon denir. Bu ligandlar, ki genelde organik bileşiklerdir, şelatör veya şelat ajanı olarak adlandırılır. Şelasyon tedavisi, vücutta biriken toksik mineral ve metallerin atılması ve EDTA adı verilen sentetik kompleksinin, Pb, Fe, Cu, Ca, Mg ve Zn gibi (+) yüklü metalleri ve diğer maddeleri kuvvetle bağlayıp sabitleştirerek ortamdan uzaklaştırma yöntemine denir. Şelatör maddeler genellikle, akut civa intoksikasyonları ve Fe, Ar, Pb, Cd gibi diğer ağır metal intoksikasyonlarında tedavi amacıyla kullanılır (Brodkin vd., 2007).

Denemede Etilen diamin tetra asetik asit (EDTA) kullanmamızın nedeni de toprağa uyguladığımız ağır metalin çözünmesini sağlamak ve fitoekstraksiyon performansını arttırmaktır. Lavantanın ağır metalden biyoyararlanımını sağlamak için her saksıya 10 mmol/kg EDTA uygulanmıştır.

3.1.4. Denemede Kullanılan Toprak

Araştırma kapsamında kullanılan deneme toprağı Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi araştırma uygulama alanından 0-30 cm derinlikten alınmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan

toprak kaba materyalden arındırılmak için 4 mm'lik elek ile elenmiş, hava kuru ortamda kurutulmuş tarla toprağı kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. Denemede Kullanılan Toprağın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Parametre	Sonuç/Birim	Değerlendirme
pH	6,34	Hafif Asit
Tuz	254	Tuzsuz
Kireç	1	Az Kireçli
Tekstür	Kum: %44 Kil: %36 Silt: %20	Kumlu Killi Tın
Toplam Azot (N)	0,10	Çok Az
Yarayışlı Fosfor (P)	19,46 mgkg ⁻¹	Yeterli
Değişebilir Potasyum (K)	133,17 mgkg ⁻¹	Az
Değişebilir Kalsiyum (Ca)	2321 mgkg ⁻¹	Yeterli
DeğişebilirMagnezyum (Mg)	179,48 mgkg ⁻¹	Yeterli
Yarayışlı Demir (Fe)	8,53 mgkg ⁻¹	Yüksek
Yarayışlı Bakır (Cu)	1,30 mgkg ⁻¹	Yeterli
Yarayışlı Çinko (Zn)	0,29 mgkg ⁻¹	Az
Yarayışlı Mangan (Mn)	9,97 mgkg ⁻¹	Az
Ekstrakte Edilebilir Kadmiyum (Cd)	0,11 mgkg ⁻¹	İzin Verilebilir

Araştırmada kullanılan lavantanın 10, 20, 40, 80 ve 100 mgkg⁻¹ Cd ile kirletilmiş ve toprakta fitoremediasyon arıtım teknolojisi ile ekosistemde toksik etki yaratan ağır metal iyonlarının giderimi hedeflenmiştir.

Araştırmada kullanılan toprağın başlangıçtaki fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.1'de bahsedildiği şekildedir. Denemede kullanılan toprak hafif asit, tuz içermez denecek kadar az ve az kireçli yapıya sahiptir. Tekstür sınıfı bouyoucous hidrometre yöntemiyle belirlenmiştir.

3.2. Yöntem

Çalışmada denemenin kurulması ve yürütülmesi, ağır metal uygulamaları, bitki ve toprak örneklerinin alınması, ağır metal analizleri ile ilgili yöntemler aşağıda başlıklar halinde açıklanmıştır.

3.2.1. Saksı Denemesinin Kurulması ve Yürütülmesi: Deneme Planı

Bu araştırma Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölüm Laboratuvarlarında 2019 Kasım- 2020 Şubat tarihleri arasında yürütülmüştür. Denemede kullanılan bitkiler fide olarak Lüleburgaz Orman Fidanlığı Şefliğinden temin edilmiştir.

Yetiştirme ortamı olarak laboratuvar koşulları dikkate alınmıştır ve lavanta bitkisinin etkili kök derinliği dikkate alınarak 4 kg kapasiteli saksılara 4 mm elekten geçirilen topraklar doldurulmuştur (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Artan dozlarda Cd uygulanan bitkilere ait bir görüntü

3.2.2. Toprağa Ağır Metal ve EDTA Uygulamaları

Araştırmada 1 bitki x 3 tekrür x 5 farklı doz Cd kirleticisi uygulanmış ve kontrol saksıları yer almıştır. Kirletici olan saksılara dikimden sonra bitkilerin adaptasyonu beklenmiş ve 1 hafta sonra 10 mmolkg^{-1} EDTA şelatörü uygulanmıştır. Kirletici olarak uygulanan Cd ($\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) artan dozlarda 10, 20, 40, 80 ve 100 mgkg^{-1} şeklindedir. Daha sonra kirletici parametresi toprakta doğal koşullarda kirlilik unsuru yaratması ve kirleticinin toprak tarafından absorpsiyonu için 30 günlük inkübasyon süresi beklenmiştir.

3.2.3. Sulama Uygulamaları

Deneme süresince yetiştirilen bitkiler; mutlak bitki besin elementlerinin toprak çözeltisinde çözünüp alınabilmesi ve yine uygulanan kirleticinin toprak çözeltisine geçmesi ve bitki tarafından alınması için lavanta bitkisinin fide dikiminden sonra tarla kapasitesi kontrol edilerek sulama işlemi gerçekleştirilmiştir.

3.2.4. Denemenin Hasadı ve Bitkinin Bazı Biyolojik Ölçümleri

Bitkiler 2 aylık gelişme periyodundan sonra hasat edilerek her saksıdaki bitkinin; klorofil değeri, toprak üstü aksam uzunluğu ve yaş ağırlığı, kök uzunluğu ve yaş ağırlığı ölçülmüştür ve Şekil 3.4'deki gibi hazırlanmıştır. Daha sonra aynı örnekler bir hafta hava kuruda, 48 saat 65 °C etüvde kurutulmuştur. Kurutulan 18 bitkinin toprak üstü ve toprak altı kısımları hassas terazide tartılarak kuru ağırlıkları belirlenmiştir.

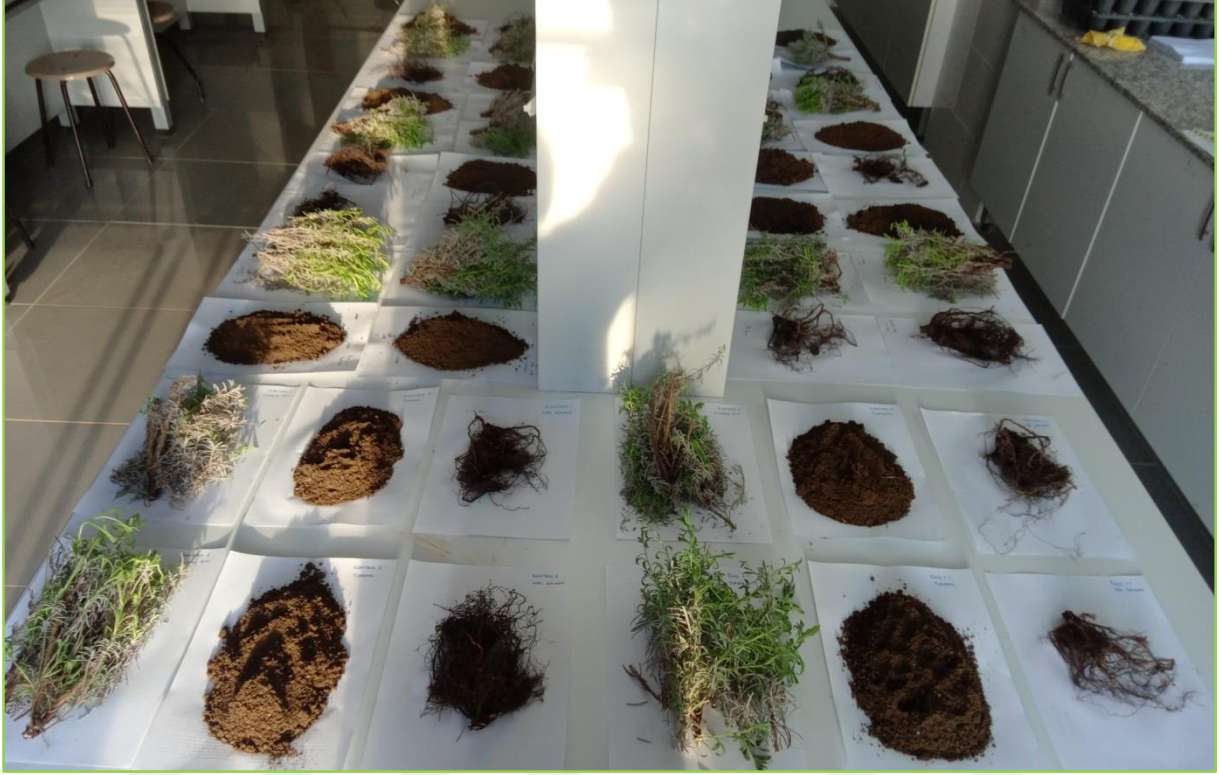


Şekil 3.4. Hasat sonrası kontrol saksılarına ait numune görüntüleri

3.2.5. Bitki ve Toprak Örneklerinin Alınması

Etüvde kurutulan bitki kısımları öğütüldü. Cd ağır metali analizi ve makro-mikro besin elementi analizi yapılmak üzere NABİLTEM'e (Namık Kemal Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi) gönderildi. Deneme öncesi toprağın bazı kimyasal analizleri NABİLTEM'de yapılmıştır.

Hasat sonrası saksılardan alınan ve hava kuruda bekletilen topraklar tekrardan 2 mm' lik elekten geçirildi. Cd ağır metali analizi ve makro-mikro besin elementi analizi yapılmak üzere NABİLTEM'e gönderildi (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Lavanta (*Lavandula angustifolia*)'nın hasat sonrası görüntüsü

3.3. Toprak Örneklerindeki Fiziksel ve Kimyasal Analizler

3.3.1. Toprak Reaksiyonu (pH) Tayini

pH değerinin elektrometrik tayini, hidrojen iyonu için spesifik olan elektrod (cam elektrodu) ile 1:2,5'luk toprak-su karışımında belirlenmiştir (Sağlam, 2012)

3.3.2. Elektriki İletkenlik (EC) Tayini

Toprak tuzluluğu, elektriki iletkenlik cihazının (Wheatstone Bridge) elektrodu 1:2.5'luk toprak-su karışımına daldırılarak ölçülmesiyle belirlenmiştir (Sağlam, 2012).

3.3.3. Toprak Tekstürü

Denemenin toprak örneğinin toprak sınıfını belirlemek için Bouyoucos'un yöntemi kullanılmıştır (Tuncay, 1994).

3.3.4. Kireç Tayini

Topraktaki kireç miktarı Scheibler kalsimetresi ile volümetrik olarak tespit edilmiştir (Sağlam, 2012).

3.3.5. Fosfor Tayini

Kurutulmuş ve elekten geçirilmiş toprak örnekleri NaHCO_3 ile çalkalanıp filtre kağıdından geçirilmiştir. Elde edilen süzük ICP-OES cihazına okutulmuştur (Sağlam, 2012)

3.3.6. Organik Madde Tayini

Denemede kullanılan toprak örneğinin organik madde içeriği Smith-Weldon yöntemiyle tespit edilmiştir (Sağlam, 2012).

3.3.7. Makro Element Tayini (K, Mg, Ca, Na)

Kurutulmuş ve elekten geçirilmiş toprak örnekleri amonyum asetatla çalkalanıp filtre kağıdında süzümüştür. Elde edilen süzük ICP-OES cihazına analiz edilmiştir (Sağlam, 2012)

3.3.8. Mikro Element (Fe, Mn, Cu, Zn) ve Cd Tayini

Kurutuluş ve elekten geçirilmiş toprak örnekleri yarayışlı demir, mangan, bakır, çinko ve ekstrakte edilebilir kadmiyum içerikleri DTPA yöntemine göre ICP-OES cihazında belirlenmiştir (Lindsay ve Norvel, 1978).

3.4. Bitki Örneklerinin Kimyasal Analizleri

Denemede kullandığımız lavanta bitki örneklerinde azot analizi, makro ve mikro besin elementi analizleri yapılmak üzere, NABİLTEM'e (Namık Kemal Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi) gönderilmiştir.

Azot analizinde Kjeldahl Metodu kullanılmış ve Gerhardt Kjeldatherm yakma cihaz-Gerhardt Vapodest 20 S disitilasyon cihazı kullanılmıştır. Makro ve mikro besin elementleri ise ICP-OES cihazında belirlenmiştir (Kacar ve İnal, 2010).

3.5. İstatistiki analizler

Araştırma sonucunda tespit edilen veriler bilgisayar ortamında PASW® Statistics 18 for Windows istatistik paket programı ile analize tabi tutulmuştur. Uygulamalardaki farklılığı belirlemek amacıyla verilerde varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Ortalamaların önemlilik kontrolü Duncan Multiple Range testine göre belirlenmiştir.



4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Farklı Cd Dozlarının Uygulandığı Saksılarda Yetişen Lavanta Bitkisinin Bazı Agro-Morfolojik Özellikleri

Farklı Cd dozlarının uygulandığı saksılarda bitki gövde yaş ve kuru ağırlığı, bitki kök yaş ve kuru ağırlığı, bitki gövde ve kök boyu, dal sayısı ve SPAD değerleri etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Farklı Cd dozlarının uygulandığı saksılarda bitkinin bazı biyolojik özellikleri-1

Parametre/ Dozlar	Bitki Yaş Ağırlığı (gr)	Bitki Kuru Ağırlığı (gr)	Kök Yaş Ağırlığı (gr)	Kök Kuru Ağırlığı (gr)
Kontrol	70,5±3,1a	22,0±2,0a	38,3±3,2a	14,3±1,2a
10 mgkg ⁻¹	54,0±3,2b	19,6±0,8ab	24,0±4,5b	8,0±1,5b
20 mgkg ⁻¹	49,6±5,0bc	19,6±2,4ab	26,6±4,8b	8,6±1,3b
40 mgkg ⁻¹	37,3±0,3d	15,0±1,5bc	20,3±2,3b	5,6±0,8b
80 mgkg ⁻¹	41,3±1,3cd	18,0±1,1ab	22,0±3,7b	6,0±0,5b
100 mgkg ⁻¹	34,0±4,0d	12,3±0,8c	22,0±1,0b	7,0±1,1b

*: değerler üç tekerrür ortalamasıdır. **: %5 düzeyinde önemli ($p<0,05$).

Çizelge 4.1 incelendiğinde artan dozlarda kadmiyum ve şelatör uygulaması sonucunda bitkinin toprak üstü aksamında yaş ağırlığı ve bitkinin toprak üstü aksamında kuru ağırlığının azaldığı görülmektedir. Bu durum kirleticinin bitki bünyesinde alımının artması ile ilişkilidir. Bu azalışlar istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli bulunmuştur. Duncan testine göre de kontrol saksıları ile kirletici uygulanan saksılar farklı gruplarda yer almıştır. Fitoekstraksiyon işlemi, biyokütle üretimi ve birikiminin daha yoğun olduğu vejetatif büyüme aşamasında gerçekleşir, böylece toprakta bulunan kirletici elementlerin emilimini destekler. Bu nedenle, fitoekstraksiyon işleminin daha etkili olması için kök sisteminden bitkinin toprak üstü kısımlarına kirletici taşınımının en üst düzeye çıkarılması esastır (Bhargava, Carmona, Bhargava ve Srivastava, 2012). Bitki kök ağırlıkları değerlendirildiğinde ise hem bitki kök yaş ağırlığı hem de bitki kök kuru ağırlığında kontrol saksılarına göre azalma olduğu belirlenmiştir.

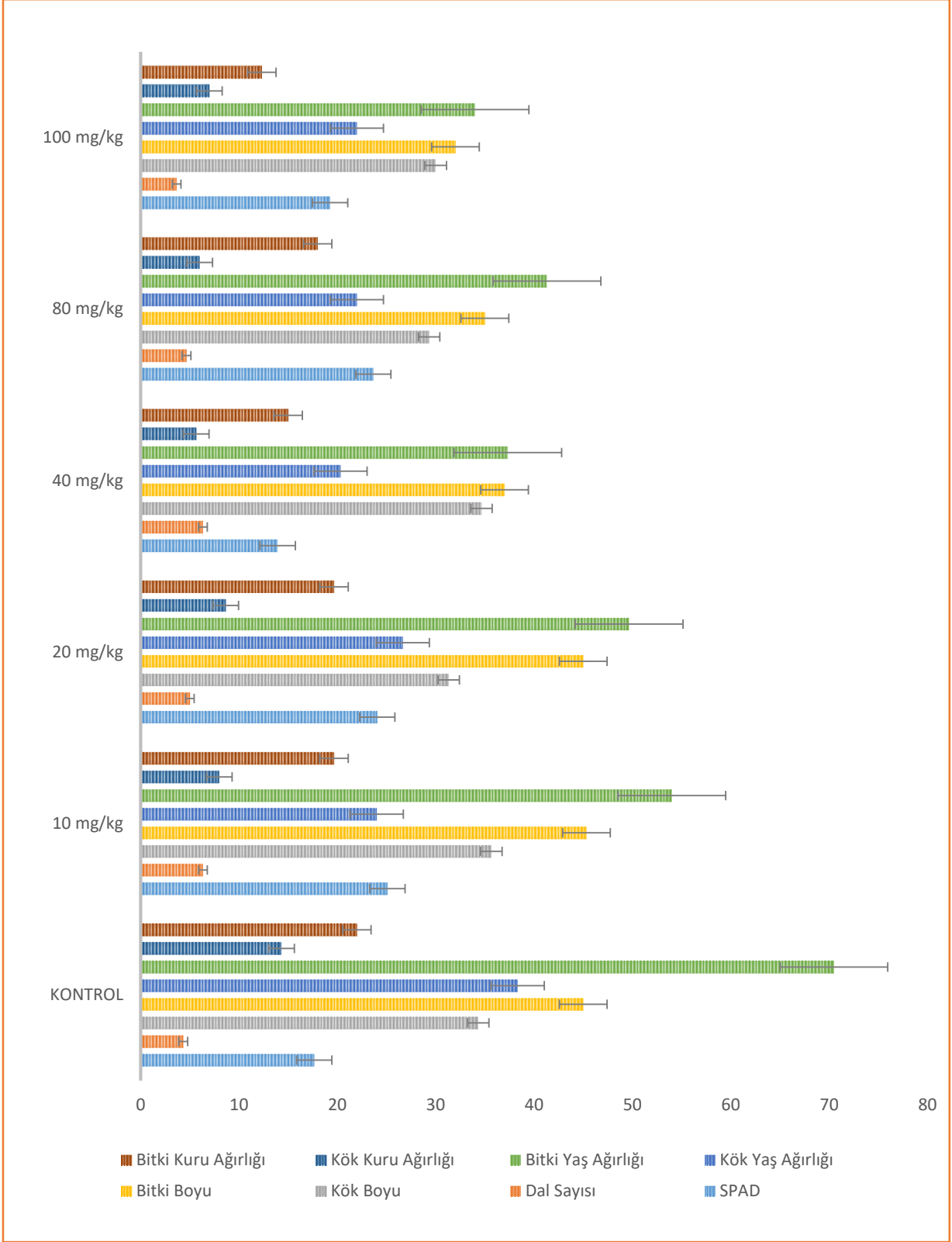
Bu sonuç kadmiyum kirleticisinin lavanta bitkisinin hem üst aksamda hem de kök aksamında akümüle olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.2. Farklı Cd dozlarının uygulandığı saksılarda bitkinin bazı biyolojik özellikleri-2

Parametre/Dozlar	Bitki Boyu	Kök Boyu	Dal Sayısı	SPAD
Kontrol	45,0±0,5a	34,3±1,4öd	4,3±1,2 öd	17,6±1,0öd
10 mgkg ⁻¹	45,3±5,3a	35,6±7,2 öd	6,3±0,3 öd	25,1±6,0öd
20 mgkg ⁻¹	45,0±0,5a	31,3±3,5öd	5±1,0 öd	24,0±3,8öd
40 mgkg ⁻¹	37,0±2,6ab	34,6±4,8öd	6,3±1,3 öd	13,9±3,0öd
80 mgkg ⁻¹	35,0±0,5b	29,3±1,4öd	4,6±0,6 öd	23,6±3,0öd
100 mgkg ⁻¹	32,0±2,8b	30,0±5,0öd	3,6±0,3 öd	19,2±4,7öd

*: değerler üç tekerrür ortalamasıdır. **: %5 düzeyinde önemli ($p<0,05$).

Bitkinin diğer agro-morfolojik özelliklerinden bitki boyu 40 mgkg⁻¹ doz uygulamasından sonraki azalma farklı grupta yer almıştır. Bu durum farklı Cd toksik dozlarında büyütülen bitkilerin boylarına bakıldığında istatistiksel anlamda %5 düzeyinde önemli değişim meydana getirmiştir. Lavanta bitkisinde özellikle toksisitenin artmasıyla birlikte yüksek konsantrasyonlarda etkilendiği görülmektedir. Bazı hiperakümülatör bitkiler toksik boyutta metal biriktirdiğinde vejetatif aksamlarında değişime neden olmaktadır. Hindistan hardalı bünyesinde Zn ve Cd'yi fazlaca akümüle etmiştir. Ancak çinko ve kadmiyumun yüksek konsantrasyonlar gövde, kök ve yapraklarda fizyolojik ve morfolojik özelliklerinde farklılığa sebep olmuştur (Sridhar, Diehl, Han, Monts ve Su, 2004). Araştırmada bitki kök boyu, dal sayısı ve SPAD değerlerindeki değişim istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Çizelge 4.2 ve Şekil 4.1). Bu durum göstermektedir ki Fitoremediasyon yönteminde kullanılan bitkilerinin iyi bir kök gelişimine ihtiyacı vardır. Bitkinin hiperakümülatör olmasını etkileyen faktörlerden biri olduğu düşünülmektedir. Diğer yandan klorofil değerlerinin ve dal sayısının etkilenmemesi de bitkinin fotosentez sürecine devam ederek kendi besinini kendi üretmeye devam etmiştir. Gelişimini etkileyen kadmiyum ağır metali karşısında güçlü kalmasının bir diğer sebebi olduğu düşünülmektedir (Çizelge 4.2).



Şekil 4.1. Farklı kadmiyum uygulamalarından elde edilen bitki gövde ve kök gelişim kriterlerine ilişkin ortalamalar

Şekil 4.1 değerlendirildiğinde, bazı agro-morfolojik özelliklerinden bitki-kök yaş ağırlığı ve kuru ağırlıklarının Cd-şelatör uygulanan saksılarda önemli düzeyde etkilendiği ancak yine de bitkinin bünyesinde kirlilik biriktirmeye devam ettiği görülmektedir. Bitki de biyokütle oluşumunu etkilemiştir. Ağır metaller fitotoksik yapıdadır ve bitki büyümesi üzerinde önemli ölçüde olumsuz etkilere sahiptirler ve daha düşük konsantrasyonlarda bile bitki büyümesini engellerler (Li, Khan, Yamaguchi, Kamiya 2005; Di Salvatore, Carafa ve Carratu, 2008; Fjallborg, Ahlberg, Nilsson ve Dave, 2005). Yüksek ağır metal konsantrasyonları altında, bitki büyümesi büyük ölçüde azalır (Chaves, Estrela ve Souza, 2011; Gopal ve Khurana 2011; Kumari, Sinhal, Srivastava ve Singh, 2011; Manivasagaperumal, Vijayarengan, Balamurugan ve Thiyagarajan, 2011). Topraktaki yüksek ağır metal konsantrasyonları ekili ürünlerin büyümesini ve metabolik süreçlerini büyük ölçüde etkiler (John, Ahmad, Gadgil ve Sharma 2009; Sinha, Pandey, Gupta ve Bhatt, 2005). Ağır metaller oksidatif streslere neden olur, fotosentetik süreci etkiler ve büyüme geriliğine neden olur. Yüksek ağır metal konsantrasyonları, fotosentetik sistemi engelleyerek ve temel unsurlar arasındaki koordinasyon mekanizmasını bozarak büyümeye olumsuz etki edebilir (Toppi ve Gabrielli, 1999).

4.2. Farklı Dozlarda Kadmiyum Uygulanmış Saksıların Deneme Sonunda Toprakta, Kökte ve Toprak Üstü Aksamda Akümüle Olan Cd İçerikleri

Toprak kirliliğinde önemli rolü olan kadmiyum içerikleri toprakta ekstrakte edilebilir sınır değerleri Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Cdmetalinin topraktaki sınır değerleri (Alloway, 1995; Adiloğlu, 2013).

Cd mg/kg>0,2	Toksik
Cd mg/kg<0,2	Toksik Değil

Deneme sonrasında saksılardan alınan toprak örneklerinin çözünebilir Cd analizi sonuçları, kök ve toprak üstü aksamda biriken çözünebilir Cd analizi sonuçları Çizelge 4.4’da gösterilmiştir. Kadmiyumun topraktaki çözünürlüğünün artması ve lavantanın topraktan daha fazla Cd alımını sağlamak için uygulanan EDTA şelatörünün aktivitesi göz önünde bulundurularak toprak içerisindeki kadmiyum miktarları kontrol saksıları ile karşılaştırıldığında tüm dozlarda toksik seviyeye ulaşmıştır. Bu saksılarda yetiştirilen Lavanta (*Lavandula*

angustifolia) bitki aksamlarındaki kadmiyum içerikleri ise Jones (1996)'a göre değerlendirilmiştir.

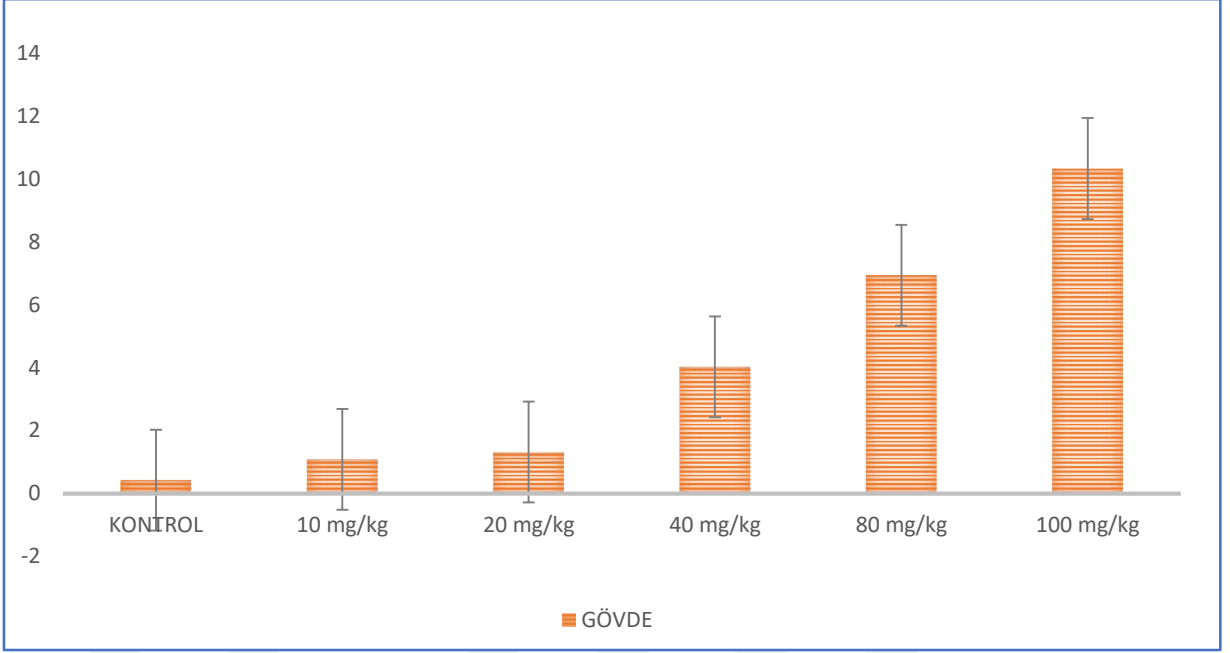
Schutzendubel ve Polle (2001)'göre kadmiyumun bitki büyümesinde gecikmeye neden olduğunu bildirmiştir. Saberi vd., (2009) çeşitli kadmiyum konsantrasyonlarının filizlenme hızını ve hızını önemli ölçüde etkilemediğini ve bakır sülfatın *A. lentiformis*'in filizlenme oranını önemli ölçüde etkilemediğini bildirmiştir. Ancak çalışma sonuçları ($p \leq 0,01$) radikül, plumula ve plantlet uzunluklarındaki artış ve ayrıca tohum canlılığı indeksi anlamlı olarak belirlenmiştir (Kiarostami, Moradi ve Abdousi, 2017).

Çizelge 4.4. Deneme sonunda toprakta, gövde ve kök aksamında biriken Cd değerleri ve önemlilik grupları, (mgkg^{-1})

Dozlar	ToprakCd _{ort} ± S _h	GövdeCd _{ort} ± S _h	KökCd _{ort} ± S _h
Kontrol	0,11±0,01f	0,43±0,07b	1,79±0,11ab
10 mgkg^{-1} Cd	13,18±0,05e	1,09±0,25b	7,88±0,88c
20 mgkg^{-1} Cd	26,41±0,51d	1,32±0,56b	14,22±1,56ab
40 mgkg^{-1} Cd	54,86±1,11c	4,03±1,50ab	35,15±9,79ab
80 mgkg^{-1} Cd	82,25±0,94b	6,94±2,29ab	74,55±11,14a
100 mgkg^{-1} Cd	94,59±1,16a	10,33±5,59a	90,96±3,30a

*: değerler üç tekrür ortalamasıdır. **: %5 düzeyinde önemli.

Çizelge 4.4. incelendiğinde deneme topraklarına uygulanan kadmiyum dozları toprak üstü, kök ve toprak içerikleri kontrole kıyasla bitki içeriğinde ve toprakta biriken Cd miktarına bakıldığında istatistiki açıdan önemli bir fark olduğu gözlemlenmiştir ($P < 0,05$). Kadmiyum varlığı, bitki tarafından büyüme, buharlaşma, terleme ve iyon emiliminde azalmaya ve su emme ve iyon konsantrasyonundaki azalmaya kök aktivitesini önlediği tespit edilmiştir (Veselov, 2003; Adiloğlu, Adiloğlu, Açıkgöz, Yeniaras ve Solmaz, 2016; Adiloğlu, 2020).

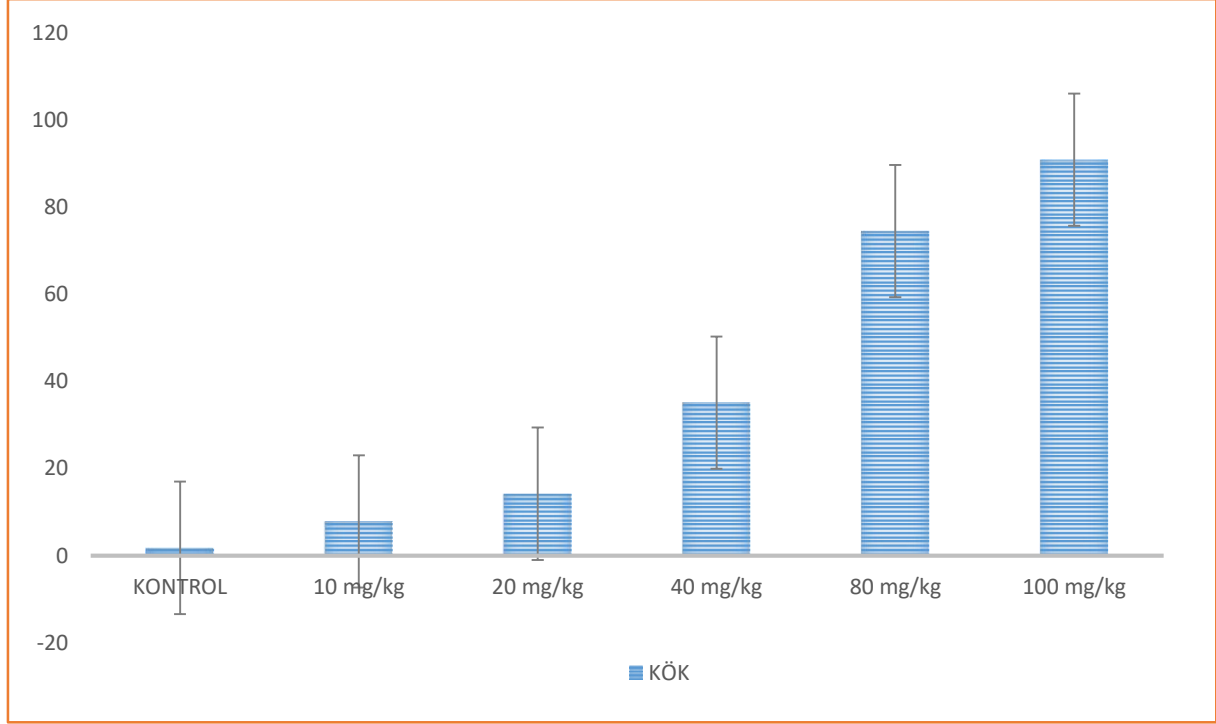


Şekil 4.2. Lavanta bitkisinin gövde aksamında Cd içeriklerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi

Çizelge 4.4 ve Şekil 4.2'e göre artan dozlarda uygulanan Cd ağır metalinin lavanta bitkisindeki içerikleri kontrol saksılarında ($0,43 \text{ mgkg}^{-1}$) olarak belirlenirken en yüksek kirletici dozu 100 mgkg^{-1} dozunda ise $10,33 \text{ mgkg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Bu değerle %5 düzeyinde önemli bulunmakla birlikte toprak çözeltisinde Cd konsantrasyonu arttıkça bitki içerisindeki birikiminin de arttığı görülmektedir. Bitkiler büyüme ve gelişimlerini sürdürebilmek için topraktaki metalleri bünyelerine alabilme ve bu metalleri dokularında biriktirebilme özelliklerine sahiptir. Bu metaller arasında magnezyum, demir, mangan, çinko, molibden, kadmiyum ve nikel gibi ağır metaller sayılabilir (Adiloğlu vd., 2016; Adiloğlu, 2017; Akay ve Adiloğlu, 2020).

Lavantanın yetiştirildiği farklı dozlarda Cd kullanılan toprakların varyans analiz sonuçları incelendiğinde %5 düzeyinde etkili olduğu gözlemlenmiştir. Lavantanın kök ve toprak üstü aksamı incelendiğinde ise toprak üstü aksamda biriken Cd özellikle 40 mgkg^{-1} dozundan sonra farklı gruplarda yer almaya başlamak ile birlikte 100 mgkg^{-1} uygulanan saksılarda tamamen farklı grupta yer alarak bitki bünyesinde daha fazla birikme görülmüştür. Kirletici ile birlikte uygulanan EDTA şelatörünün toprak çözeltisine geçen kadmiyum miktarında etkili olduğu düşünülmektedir. Maden atık topraklarında Cd, Cu, Pb ve Zn immobilizasyonu için fosfat işleminin etkinliği değerlendirilen bir çalışmada Cd ile EDTA uygulaması sırasında Cd konsantrasyonu %51,98 artmıştır (Mignardi, Corami ve Ferrini, 2012).

Seth vd., (2011)'e göre kurşun (Pb) ile birlikte EDTA uygulamasının, hidroponik sistemde yetiştirilen ayçiçeği bitkilerinin yerüstü kısımlarında biriken Pb miktarını%80'den fazla arttırdığını göstermiştir. Kos ve diğ. (2003) ayrıca EDTA uygulamasının, farklı ailelerden gelen çeşitli bitki türlerinde Pb, Cd ve Zn birikimini teşvik ettiğini göstermiştir (Souza vd., 2013).

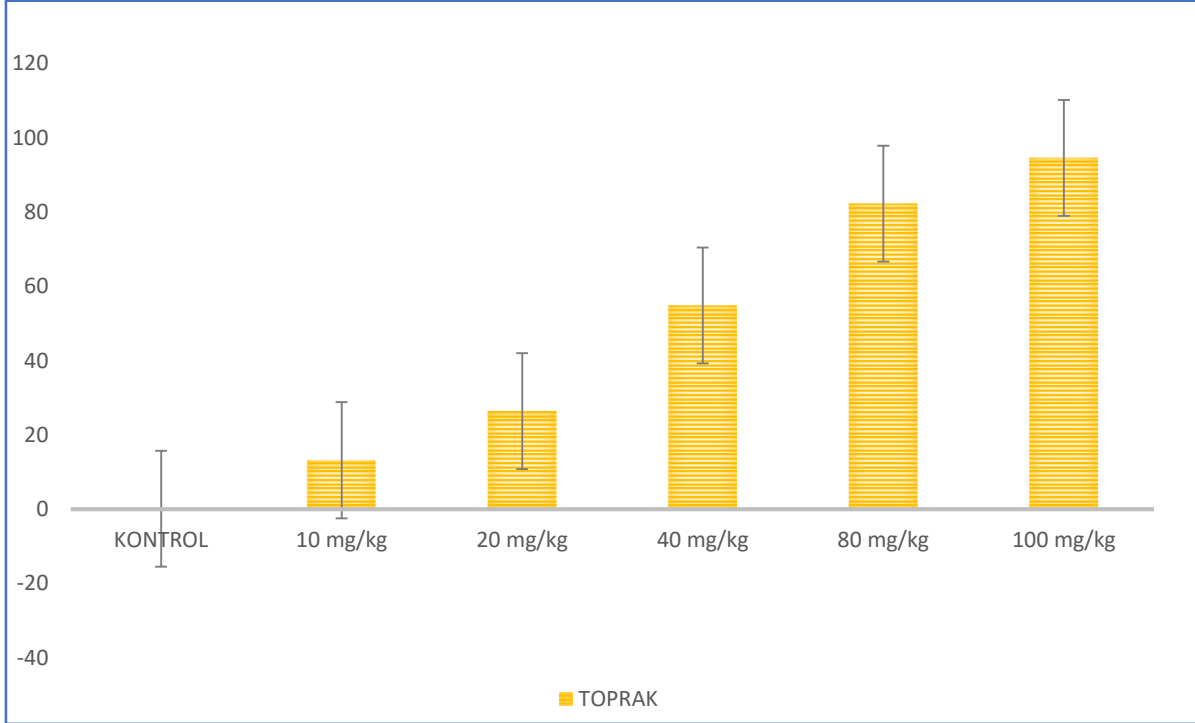


Şekil 4.3. Kökte Cd içeriklerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi

Lavanta kök aksamında biriken Cd miktarının gövde aksamından daha çok olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.3) ve önemli ($p < 0,05$) olduğu tespit edilmiştir. Lavantanın gövde ve köklerinde biriken kadmiyum miktarının benzer araştırmalarla karşılaştırıldığında, kökün daha fazla kadmiyum depolamak ve biriktirmek için önemli bir yeteneği olduğunu göstermiştir (Violina, Angelova, Grekov, Kisyov ve Ivanov, 2015). Krämer'e (2010) göre, metale bağlı olarak bitki filizlerinde 1000 ila 10,000 mg kg^{-1} arasında değişen toprak üstü kısımlarındaki ağır metal konsantrasyonları, tipik olarak bir hiperakümülatör bitki türünün iyi bir göstergesidir (Ameri, Ghnaya ve Abdelly, 2017).

Kirlenmiş topraktan Cd, bitki kökleri tarafından kolayca alınabilir ve daha sonra bitki morfolojisini ve büyüme oranını etkileyen biyokimyasal ve fizyolojik süreçlerle etkileşime girdiği yer üstü kısımlarına taşınabilir (Toppi ve Gabbrielli, 1999; Sgherri, Quartacci, Izzo ve Navari-Izzo, 2002; Uruguchi vd., 2009).

Yang vd., (1996), çeşitli besin maddelerinin bitkiler tarafından alınmasına Cd etkileri bildirmiştir. Kök bölgesinde Cd, Ca ve Mg gibi kimyasal özelliklere sahip minerallerle emilim için rekabet ederek mineral eksikliğine neden olur (Barcelo ve Poschenrieder, 1990).



Şekil 4.4. Toprakta Cd içeriklerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi

Şekil 4.4. değerlendirildiğinde artan kadmiyum dozları ile toprak çözeltisindeki kadmiyum konsantrasyonu da artmıştır. Bu durumun önemli sebeplerinden biri de kirlenilen saksılara uygulanan EDTA şelatörüdür. Ağır metallerin çözünürlüğünün artırılması toprak içerisindeki canlı dinamik ve toprak oluşum süreçlerinde etken olması nedeniyle son derece önemlidir. Uygulanan şelatör kadmiyum ağır metalinin çözünürlüğünü artırmakla birlikte bazı bitki besin elementlerinin de toprak içerisindeki çözünürlüğünü artırmaktadır. Böyle rizosfer bölgesindeki aktiviteyi artırmaktadır. Topraklarda ağır metal birikimi genellikle yüzeyde veya yüzeye yakın yerlerde oluşmaktadır. Bunun sebebi ağır metallerin hemen hemen tamamı toprakta kil mineralleri üzerinde adsorbe olmakta ya da topraktaki organik bileşiklerle organo-mineral bileşikler oluşturarak kararlı forma dönüşmektedirler. Toprakta ağır metal birikimi derinlikle birlikte genellikle azalmaktadır (Sağlam 2012; Adiloğlu, Sağlam ve Süme, 2015; Adiloğlu, 2016).

Kadmiyum, bitki besin değerleri ve büyüme oranı üzerinde önemli olumsuz etkilere sahiptir ve Cd kontamine toprakta yetişen bitkilerin çoğunda besin maddesi eksikliğine neden olur (Khan, Khan, Khan, Qamar ve Waqas, 2015).

Fitoremediasyon verimini etkileyen faktörlerin başında, topraktaki ağır metallerin bitki kökleri tarafından alınabilecek formda olması gelmektedir. Bu amaçla kullanılan kompleks yapıcı şelatların bitkilerde metallerin alınabilirliğini arttırdığı gözlemlenmiştir (Göker, 2019).

Kadmiyum ile kontamine topraklarda yetişen ayçiçeği çeşitlerinin farklı bitki parçaları tarafından Cd birikimi farklı iki toprak koşulu da ayçiçeği kültürleri arasında Cd birikimi ile tohum, sürgün ve kök birikimi arasında önemli bir fark ($P<0.05$) göstermiştir. En yüksek Cd birikimi her iki toprak tipindeki sürgünler>tohumlar>köklerde bulunmuştur. Cd'nin konsantrasyonu ve birikimi, sürgünlerde köklerden daha fazla bulunmuştur (Zehra vd., 2020).

Toprak arıtımı için kullanılan fizikokimyasal yöntemlerin hemen hemen hepsi toprağı bitki büyümesi için uygun olmayan bir ortam şekline dönüştürürken topraktaki biyolojik aktiviteyi tamamen yok etmektedir. Fitoremediasyon yöntemi ise toprağın fiziksel yapısını ve biyolojik özelliklerini korumaktadır. Ancak, fitoremediasyon yönteminin arazide çoğunlukla kullanılabilmesi ağır metallerin bitki bünyesinde birikimini karakterize eden moleküler, fizyolojik ve biyokimyasal proseslerin iyi anlaşılmasını gerektirmektedir (Khan, Kuek, Chaudhry, Khoo ve Hayes, 2000; Adiloğlu, Karaman ve Adiloğlu, 2018).

4.3. Kadmiyum Uygulanan Topraklarda ve Bu Topraklarda Yetiştirilen Lavanta Bitkisinde Makro Besin Elementi İçerikleri

Artan dozlarda kadmiyum uygulanarak kirletilen topraklarda yetiştirilen Lavanta (*Lavandula angustifolia*) bitkisi hasat edilerek gerekli analizlere tabi tutulmuştur. Çizelge 4.5'de bitkiye ait bazı makro bitki besin elementi içerikleri verilmiştir.

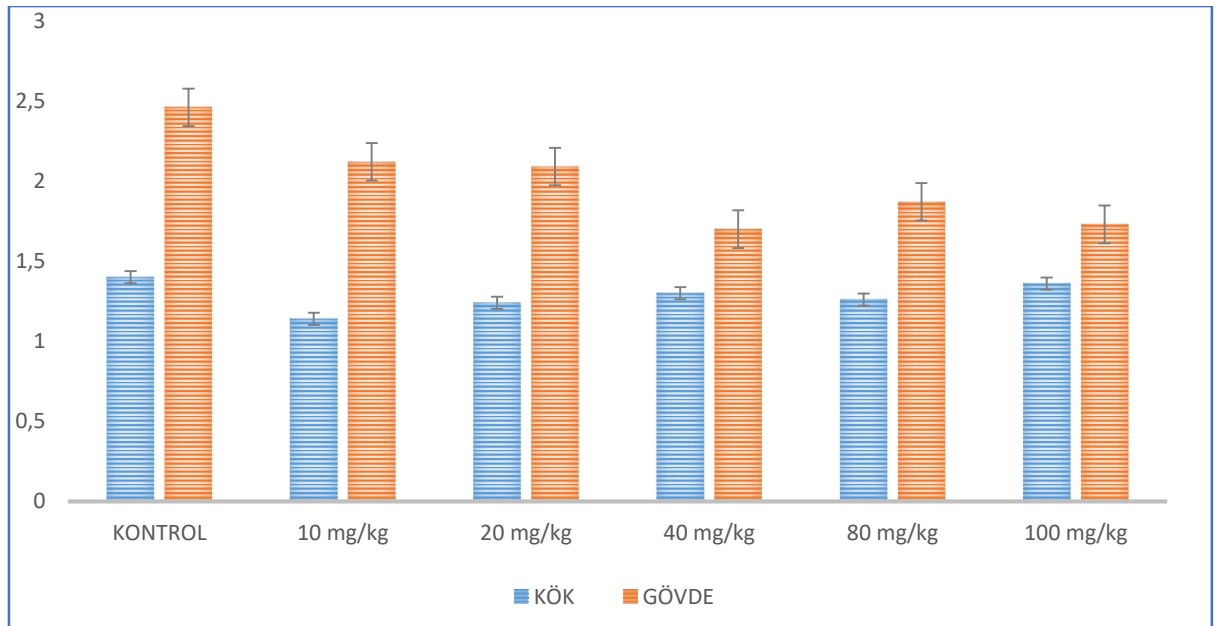
Çizelge 4.5. Kadmiyum uygulanan topraklarda yetiştirilen lavanta bitkisinde makro bitki besin elementi içerikleri ve önemlilik grupları

Uygulamalar		N ⁺	P ⁺	K ⁺	Ca ⁺	Mg ⁺
Kontrol	G	2,46±0,01a	0,16±0,15ab	1,50±0,14ab	0,92±0,46c	0,29±0,15c
	K	1,40±0,07 öd	0,15±0,09a	0,49±0,19öd	0,63±0,34öd	0,34±0,14a
	T	0,76 ±0,01a	0,016±0,01öd	0,13±2,90a	0,22±76,8a	0,22±5,40a
10 mgkg ⁻¹	G	2,12±0,01b	0,16±0,05ab	1,67±0,14a	1,37±0,15abc	0,34±0,33abc
	K	1,14±0,17 öd	0,11±0,90b	0,43±0,87öd	0,52±0,10öd	0,21±52,0ab
	T	0,50±0,07ab	0,012±0,40öd	0,12±2,10b	0,21±28,08ab	0,21±0,50ab
20 mgkg ⁻¹	G	2,09±0,01b	0,15±0,54b	1,23±0,20b	1,05±0,64bc	0,29±0,15bc
	K	1,24±0,03öd	0,10±0,30b	0,36±0,60öd	0,65±0,10öd	0,24±239,5ab
	T	0,67±0,10ab	0,017±0,08öd	0,12±4,10ab	0,18±82,6bc	0,18±0,40bc
40 mgkg ⁻¹	G	1,70±0,10c	0,16±0,12ab	1,40±0,44ab	1,48±0,21ab	0,37±0,29ab
	K	1,30±0,06öd	0,11±0,70b	0,39±0,72öd	0,75±0,10öd	0,26±44,6ab
	T	0,63±0,03ab	0,014±0,10öd	0,12±3,70ab	0,20±0,10abc	0,20±1,3abc
80 mgkg ⁻¹	G	1,87±0,05c	0,19±0,70a	1,45±0,48ab	1,56±0,88a	0,40±0,14a
	K	1,26±0,03öd	0,13±0,02b	0,41±0,70öd	0,83±0,75öd	0,27±22,1ab
	T	0,62±0,06ab	0,17±0,02öd	0,12±6,04ab	0,19±75,9bc	0,19±4,2bc
100 mgkg ⁻¹	G	1,73±0,05c	0,17±0,10ab	1,40±0,44ab	1,36±0,15abc	0,37±0,31ab
	K	1,36±0,08öd	0,12±0,16b	0,44±0,70öd	0,72±0,12öd	0,27±43,0ab
	T	0,54±0,06ab	0,018±0,02öd	0,12±2,32b	0,18±0,13c	0,18±0,30c

*: değerler üç tekerrür ortalamasıdır. **: %5 düzeyinde önemli. +: %. ***: G: gövde, K: kök, T: toprak

4.3.1. Azot İçeriği (%)

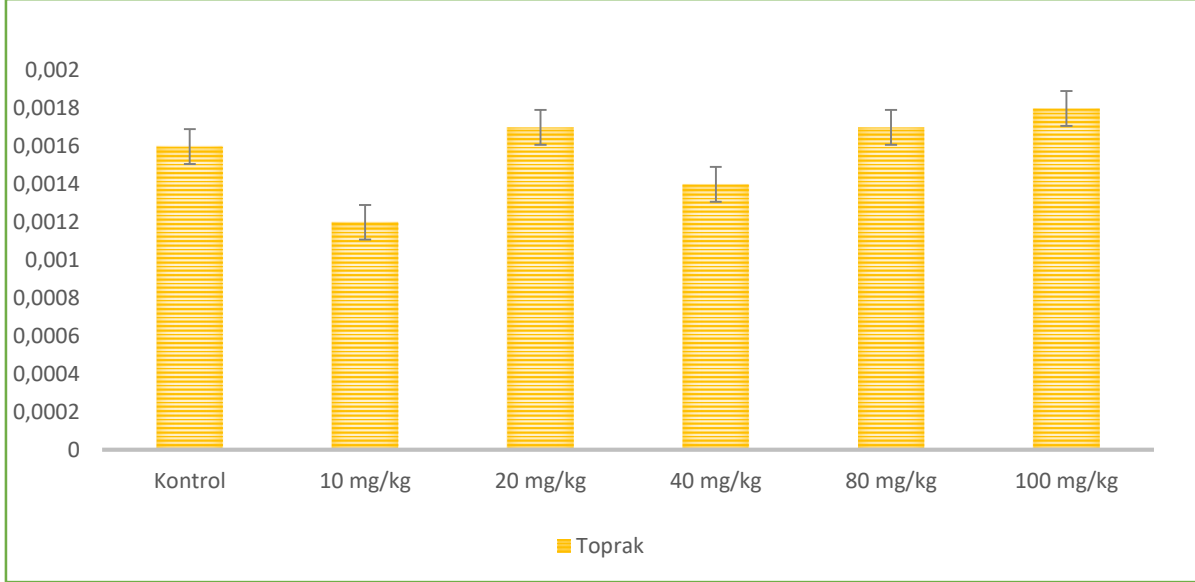
Bitkinin biyokütle oluşmasında çok önemli görevi olan azot makro bitki besin elementi klorofilin temel yapı taşı olması sebebiyle fitoremediasyonda kullanılan bitkiler için dikkat edilmesi gereken bir makro bitki besin elementidir (Karaman vd., 2012). Genetik, yapısal ve metabolik bileşenlerin önemli bir parçası olan N, bitkilerin büyümesinde ve metabolizmasında önemli bir rol oynar (Hasan, Hayat, Ali ve Ahmad, 2008). Analiz sonuçları incelendiğinde Lavanta (*Lavandula angustifolia*) bitkisinin gövde içerisindeki N içeriği (%2,46-1,73) arasında değişmiş ve kirletici arttıkça azot içeriği de düşmüştür (Çizelge 4.5 ve Şekil 4.5). Bu durum istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.



Şekil 4.5. Kirletici olarak kadmiyum uygulanan saksılarda yetiştirilen lavanta bitkisine ait azot içerikleri, (%)

Çizelge 4.5 ve Şekil 4.5'e göre Lavanta (*Lavandula angustifolia*) bitkisinin kök içerisindeki azot (%1,40- 1,36) arasında değişmiş ve bu durum istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Kirleticinin kökteki azot içeriklerini etkilememesi özellikle bitkinin beslenmesinde görev yapan kök gelişimi ve bitkinin tepe-kök oranında olumlu sonuç vermiştir. Bitkinin kirletici karşısında hiperakümülatör olmasının da önemli bir nedeni olduğu düşünülmektedir. Deneme toprağındaki azot içerikleri ise (%0,76- 0,54) olarak tespit edilmiştir. Bitkinin gelişimi aynı zamanda metabolizması için çok önemli makro bitki besin elementidir. Azot bitkilerde diğer bitki besin elementlerinin alımı ve bitkideki etkinliği açısından son derece önemli bir makro besin elementidir. Eksikliği halinde özellikle bitki vejetatif gelişimini olumsuz etkilemekle birlikte fotosentez sürecinde görev yapan klorofilin yapı taşıdır. Bitkinin

besinini oluşturmada da ciddi görevler üstlenmektedir (Karaman, 2012). Genetik, yapısıl ve metabolik bileşenlerin önemli bir parçası olan N, bitkilerin büyümesinde ve metabolizmasında önemli bir rol oynar (Hasan vd., 2008). Kadmiyumun biyoakmlasyonu, N metabolizmasını etkileyerek çeşitli fizyolojik fonksiyonların değişmesine neden olur (Chaffei, Pageau, Suzuki, Gouia ve Ghorbel, 2004).



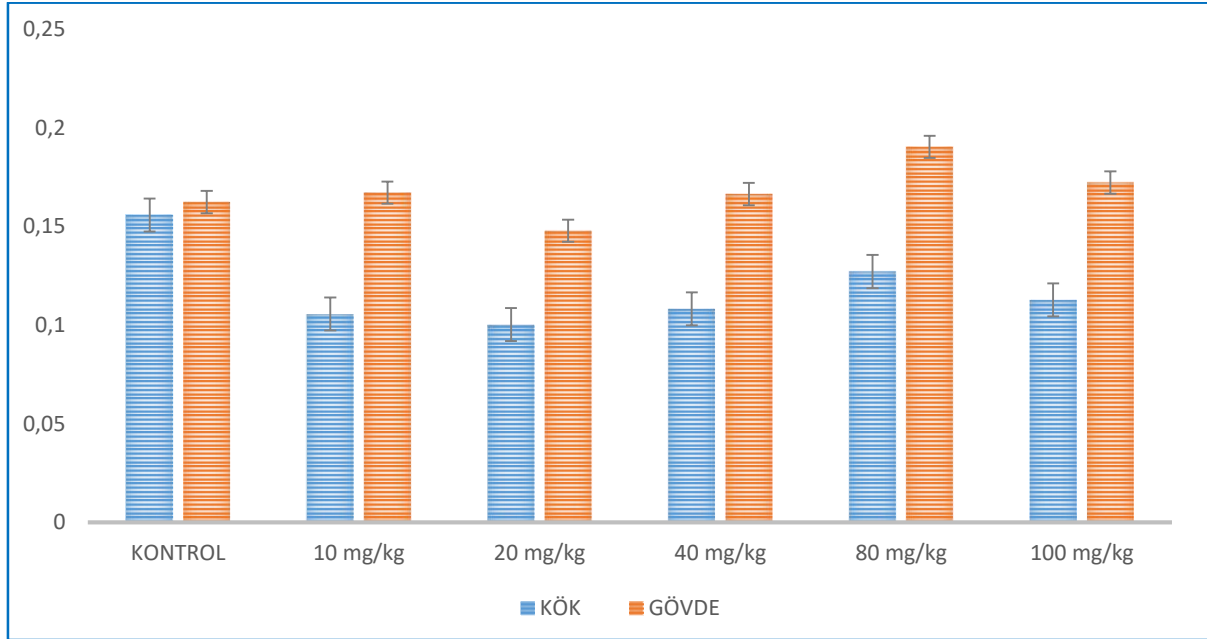
Şekil 4.6. Kirletici olarak kadmiyum uygulanan saksılardaki topraklara ait azot içerikleri, (%)

Sürdürülebilir toprak verimliliği açısından ve toprak mikrobiyolojisi açısından çok önemli bir besin elementi olan azot toprak kimyası açısından da üzerinde en çok durulan elementtir. Kadmiyum ile rekabete girmeyen azot makro besin elementi bitkinin gelişiminde rol oynamıştır. Çizelge 4.5 ve Şekil 4.6. incelendiğinde toprak çözeltisindeki azot içerikleri %5 düzeyinde önemsiz olduğu görülmüştür. Toprak içerisindeki (Şekil 4.6) azot içeriklerinde dalgalanma görülmekle birlikte bu durum önemsiz olduğu için toprak mikrobiyolojisi ve verimlilik açısından etkilenmediği düşünülmektedir.

4.3.2. Fosfor İçeriği (%)

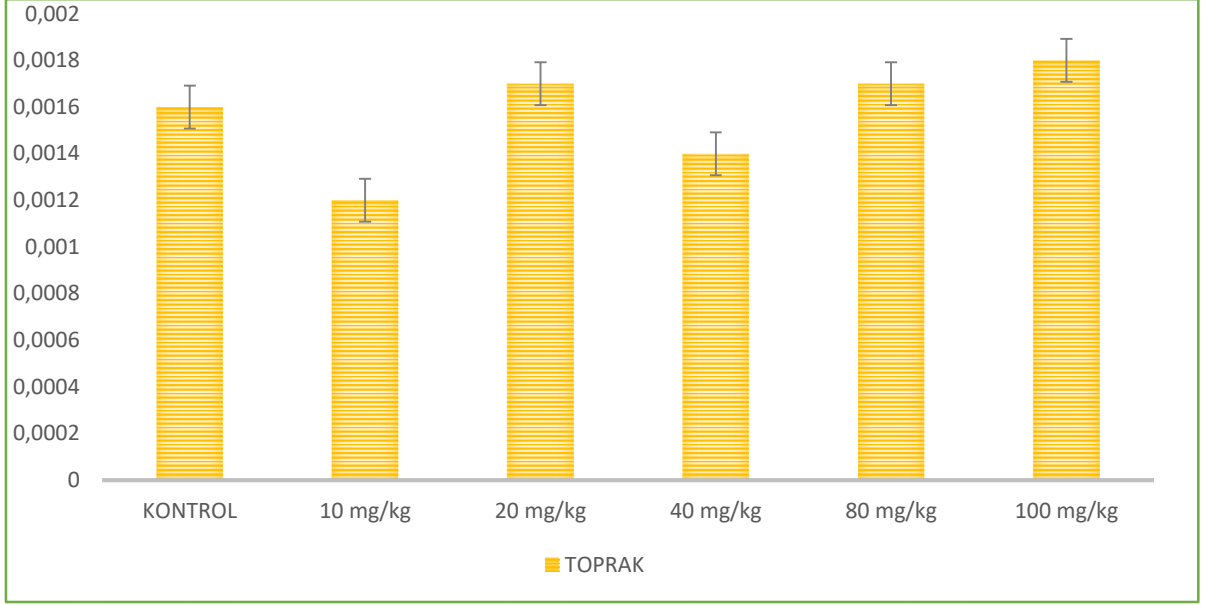
Bitkideki birçok biyokimyasal sürecin yapıtaşı olan fosfor aynı zamanda bitkinin enerji kaynağını oluşturan temel makro bitki besin elementidir. Fitoremediasyon yöntemi için önemli parametrelerden biyokütle oluşumunu da fosfor eksikliği halinde olumsuz etkilemektedir. Sharma (2007), yaptığı araştırmada aşırı fosfor içeren topraklarda fitoremediasyon potansiyelini incelemiştir. Araştırmada sarı kabak (*Cucurbita pepo var. melopepo*) ve salatalık (*Cucumis sativus*) kullanılmıştır. Sonuç olarak söz konusu bitkilerin yüksek biyokütle ve

ekonomik değer oluşturduğunu, fosforun bitkisel özümlemesi için birer potansiyel aday olduklarını öne sürmüştür.



şekil 4.7. Kirletici olarak kadmiyum uygulanan saksılarda yetiştirilen lavanta bitkisine ait fosfor içerikleri, (%)

Deneme sonuçları incelendiğinde Lavanta (*Lavandula angustifolia*) bitkisinin gövde P iğeriği kontrol saksılarında (%0,16) iken 100 mgkg⁻¹ kirletici uygulanan saksılarda (%0,17) olarak tespit edilmiştir. Bitki içerisindeki fosfor değerleri önemlilik grubu olarak aynı grupta yer almıştır. Bitkinin kök aksamı değerlendirildiğinde kontrol saksıları (%0,15), 100 mgkg⁻¹ kirletici uygulanan saksılarda (%0,12) olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.5 ve şekil 4.7). Önemlilik açısından da farklı gruplarda yer almıştır. Bitki fosfor açısından Cd karşısında olumsuz etkilenmiştir.



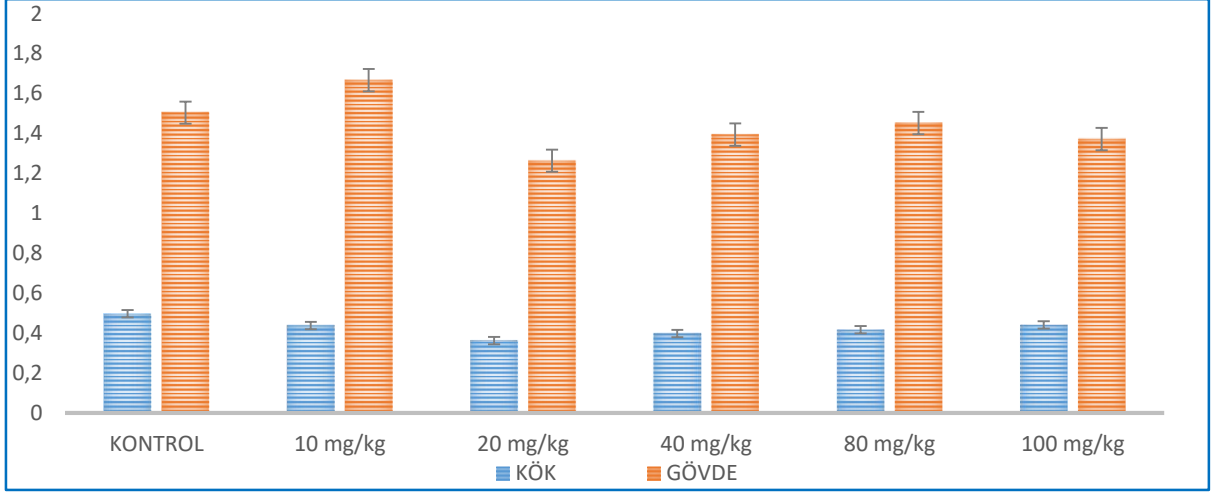
Şekil 4.8. Kirletici olarak kadmiyum uygulanan saksılardaki topraklara ait fosfor içerikleri, (%)

Şekil 4.8 değerlendirildiğinde toprak çözeltisindeki P içeriği artış ve azalışlar olduğu ancak bu durum %5 düzeyinde önemsiz bulunmuştur. Topraktaki yarıyıllı fosfor içeriklerinin kadmiyum karşısında etkilenmemesi biyokütle oluşumu için önemli bir faktördür.

4.3.3. Potasyum içeriği (%)

Bitkinin fizyolojik ve morfolojik birçok olayında görev yapan K makro bitki besin elementi bitkini birçok stres faktörüne karşı güçlü olması sağlayan ve bitki besin elementlerinin ve suyun taşınımında görevli olan bu element kirleticinin akümüle olmasında diğer bir etkendir (Karaman vd., 2012). Topraktaki K içeriğini birçok faktör etkilemektedir. Bunların başında toprak pH, organik madde, KDK, ıslanma ve kuruma olayları, sıcaklık, toprak işleme, kil tipi gibi birçok faktör olmaktadır (Karaman vd., 2012).

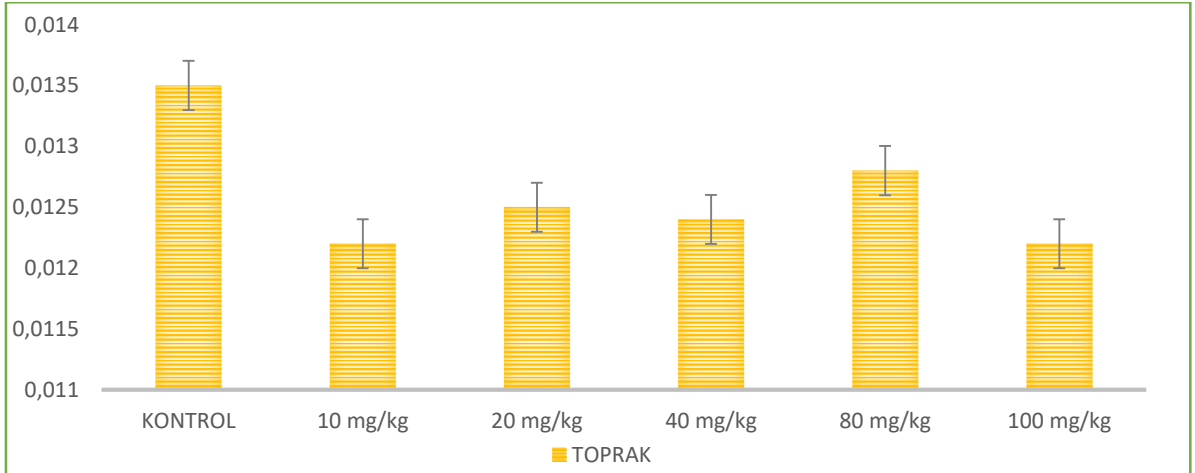
Araştırma sonuçları değerlendirildiğinde Lavanta (*Lavandula angustifolia*) bitkisinin toprak üstü aksamının K içeriği kontrol saksılarında (%1,50) iken en yüksek kirletici uygulanan saksılardaki K içerikleri ise (%1,40) olarak belirlenmiştir. Bitkinin kök aksamının kontrol saksılarında ise (%0,49) iken 100 mgkg⁻¹ uygulanan saksılarda (%0,40) olarak tespit edilmiştir ancak bu değerler istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Bu durum bitkinin iyi bir kök gelişimi için etkilenmediğini göstermektedir.



Şekil 4.9. Kirletici olarak kadmiyum uygulanan saksılarda yetiştirilen lavanta bitkisine ait potasyum içerikleri, (%)

Şekil 4.9’da Lavanta (*Lavandula angustifolia*) bitkisinin kök ve gövde içerisindeki potasyum içerikleri görülmektedir. Kadmiyumun 20 mgkg⁻¹ dozunda en düşük potasyum değeri belirlenmiştir. Ancak kökteki azalma ve artışlar istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Farklı dozlarda Cd uygulanan domates ve patatesin yenilebilir kısımlarında K ve P konsantrasyonlarında önemli bir azalma meydana gelirken, C vitamini içeriğini arttırdığı gözlemlenmiştir (Khan vd., 2016).



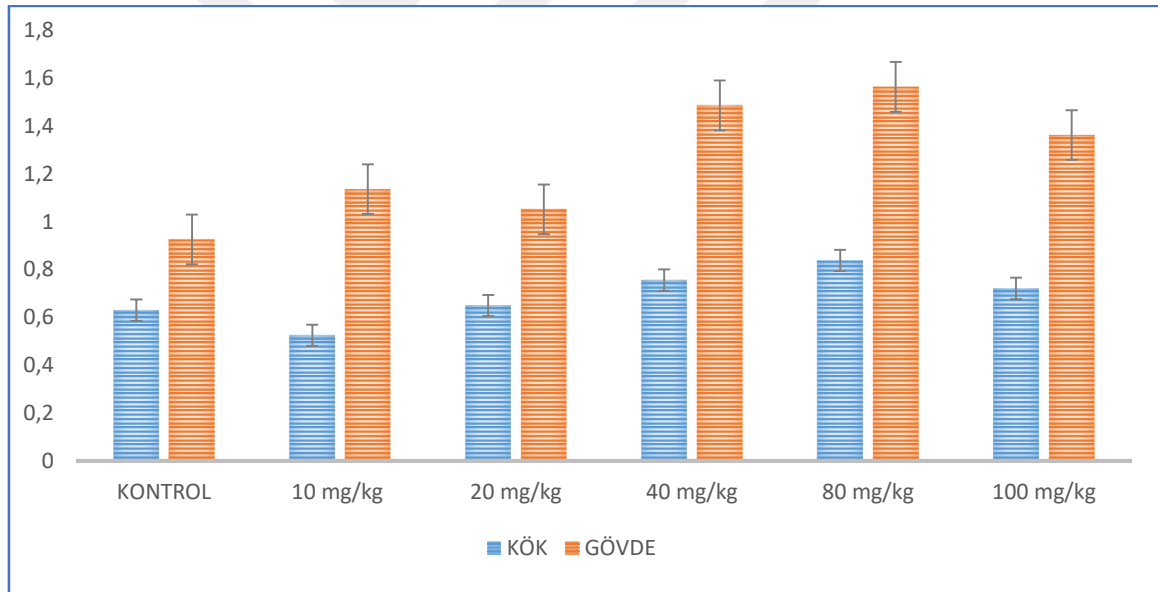
Şekil 4.10. Kirletici olarak kadmiyum uygulanan saksılardaki topraklara ait potasyum içerikleri, (%)

Çizelge 4.5. ve Şekil 4.10. incelendiğinde deneme toprağındaki değişebilir potasyum içeriği %5 düzeyinde önemli bulunmuştur. Kontrol saksılarının topraktaki K içerikleri (%0,13) iken en yüksek toksisite olan saksılarda (%0,12) olarak belirlenmiştir. Topraktaki potasyum içeriği bitki beslenmesi açısından oldukça önemlidir.

4.3.4. Kalsiyum içeriği (%)

Kalsiyum %90'ı bitkide hücre duvarlarında bulunmaktadır ve hücre duvarı sentezi için mutlak gerekli bir besin elementidir. Bitki dokusunda hücreleri birleştiren ve yapılarını bir arada tutan kohezyon etmeni olarak hareket etmektedir. Bitkide Ca eksikliği bitkinin gelişimini yavaşlatmaktadır. Yeni kök ve sürgün gelişimi yavaşlayan bitkide verim olumsuz etkilenir. Bitkide savunma mekanizmasını oluşturan kalsiyum, dış tehditlere karşı bitkiyi korumakla görevlidir. Bitki bünyesinde hareketsiz bir element olan kalsiyum, eksikliğinde önce genç yapraklara ve genç dokulara zarar verir. Diğer katyonların toprağa yüksek miktarda uygulanması bitkide kalsiyum alımını azaltmaktadır (Karaman vd., 2012).

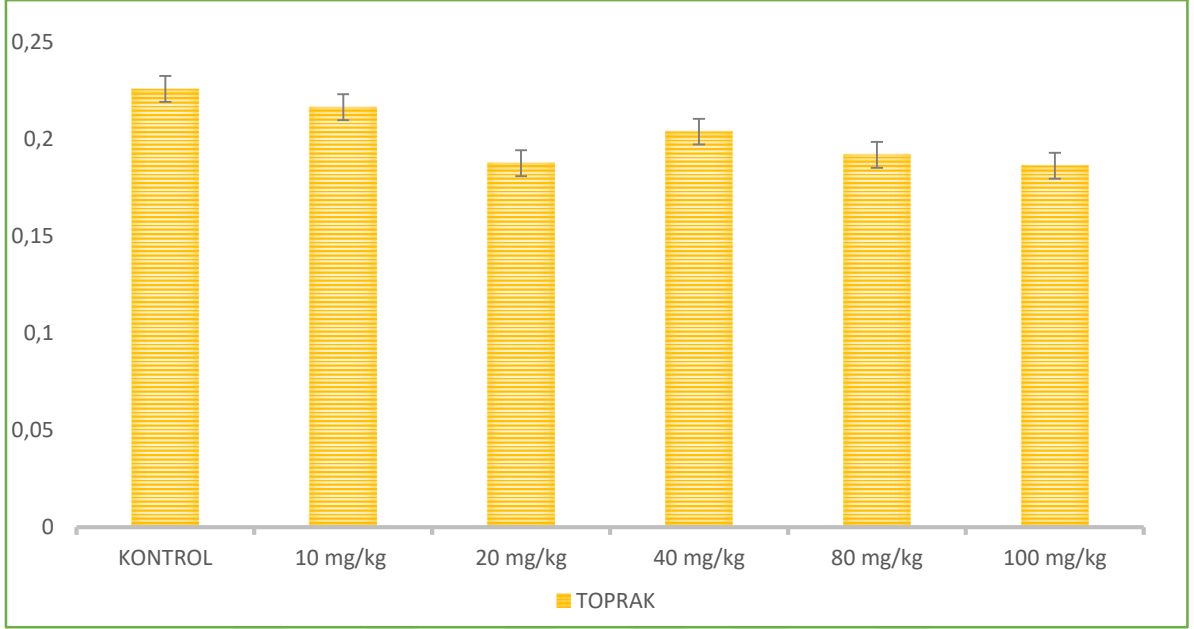
Farklı kalsiyum dozlarının karanfil çeşitleri üzerinde verim ve kalite çalışma sonucunda %0,25 ve %0,50'lük kalsiyum dozlarının, çiçek sapı kalınlığını, yaprakların kalsiyum içeriğini arttırdığı saptanmıştır (Köksal, 2011)



Şekil 4.11. Kirletici olarak kadmiyum uygulanan saksılarda yetiştirilen lavanta bitkisine ait kalsiyum içerikleri, (%)

Araştırma sonuçlar incelendiğinde Lavanta (*Lavandula angustifolia*) bitkisinin toprak üstü aksamının kontrol saksılarındaki Ca içeriği (%0,92) iken en yüksek toksisite olan saksılarda ise (1,36) olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.5 ve Şekil 4.11). Lavanta (*Lavandula angustifolia*) bitkisinin kök aksamı kontrol saksılarında (%0,63) iken 100 mgkg⁻¹ kadmiyum dozundaki kalsiyum içeriği (0,72) olarak belirlenmiştir ancak bu değerler istatistiksel olarak önemsiz olarak bulunmuştur. Lavanta (*Lavandula angustifolia*) bitki gövdesindeki kalsiyum içerikleri artmış ve %5 düzeyinde anlamlı olarak belirlenmiştir. Bitkinin kök aksamındaki Ca

içerikleri ise uygulanan kirlетici (Cd) ve EDTA şelatöründen olumsuz etkilenmemiştir. Bitkinin hiperakümülatör olmasında çok önemli bir faktördür. Bitkinin sağlıklı gelişmesi için yüksek miktarda kalsiyuma gereksinim duyar ve gereksinim duyduğu kadar kalsiyum alan bitkiler ağır metal stresi gibi birçok faktöre karşı güçlü mücadele etmektedir.



Şekil 4.12. Kirlетici olarak kadmiyum uygulanan saksılardaki topraklara ait kalsiyum içerikleri, (%)

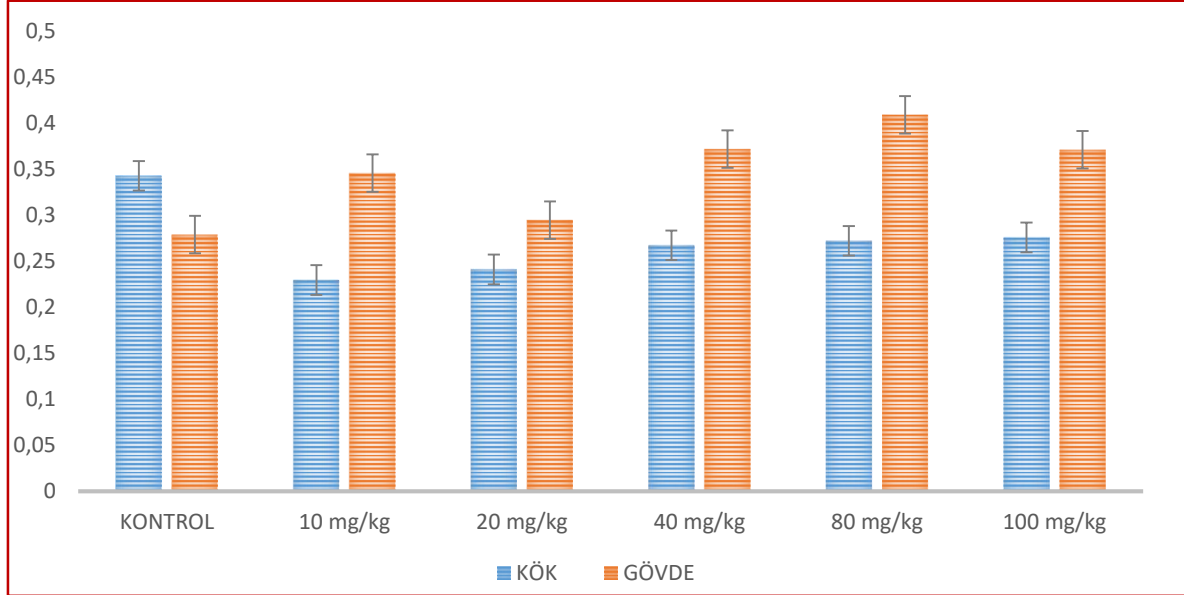
Deneme sonucunda hasat sonrası saksılardaki topraklardaki kalsiyum içerikleri Şekil 4.12' de verilmiştir. Şekil 4.12. incelendiğinde deneme toprağındaki kontrol saksılarında Ca içeriğı (%0,22) iken en yüksek kirlетici olan saksılardaki değışebilir Ca içerikleri ise (%0,18) olarak belirlenmiş ve %5 düzeyinde önemli bulunmuştur.

4.3.5. Magnezyum içeriğı (%)

Magnezyum bitki tarafından Mg^{+2} olarak alır ve bitkide hareketli bir makro bitki besin elementidir. Magnezyum klorofilin merkez atomudur. Ağır metaller karşında zayıf olan bitkilerde ağır metaller merkez atomu olan Mg ile yer değıştirerek bitkinin fotosentez sürecini bozarak gelişimini engellemektedir. Magnezyum ile iyi beslenen bitkilerin hiperakümülatör olmasında diğer bir önemli faktördür (Adiloğlu, 2020).

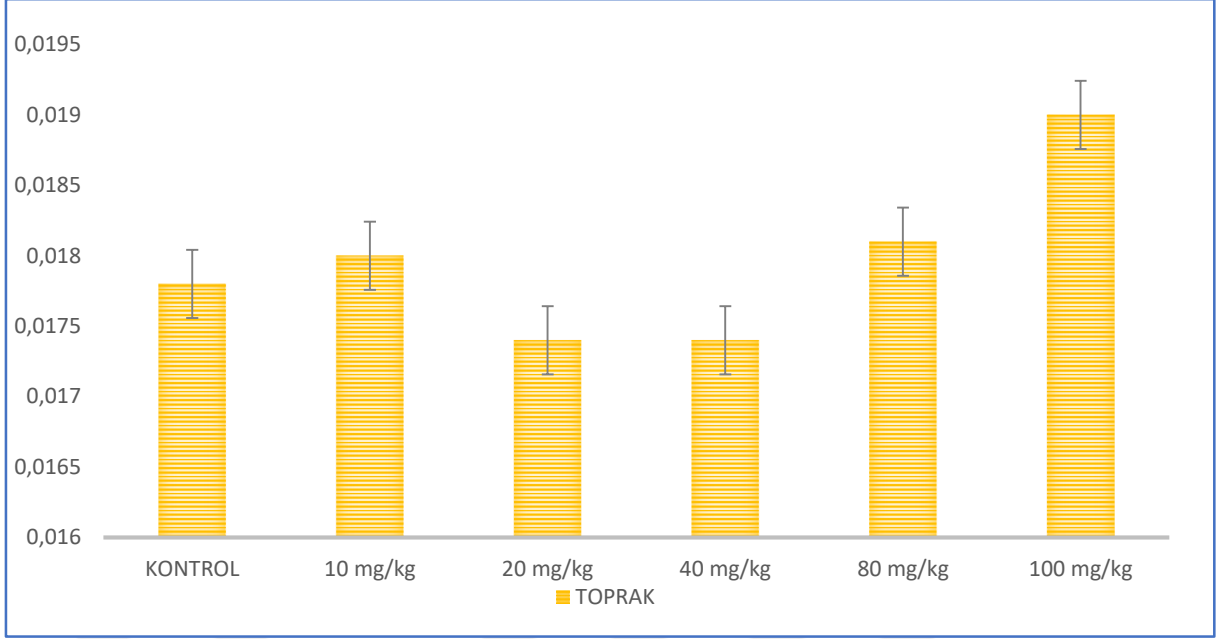
Deneme sonuçları incelendiğinde Lavanta (*Lavandula angustifolia*) bitkisinin kontrol saksılarındaki Mg içeriğı (%0,29) iken 100 mgkg⁻¹ kadmiyum dozundaki Ca içeriğı ise (%0,37) olarak tespit edilmiştir. Lavanta (*Lavandula angustifolia*) bitkisinin kök aksamının kontrol

saksılarındaki Mg içerikleri (%0,34) iken en yüksek kirletici dozundaki Mg içeriği ise (%0,27) olarak belirlenmiş ve önemlilik grupları açısından farklı gruplarda yer almış ve %5 düzeyinde önemli olarak bulunmuştur (Çizelge 4.5 ve Şekil 4.13).



Şekil 4.13. Kirletici olarak kadmiyum uygulanan saksılarda yetiştirilen lavanta bitkisine ait magnezyum içerikleri, (%)

Magnezyum konsantrasyonu bitki kuru ağırlığının %0,15- 0,35'arasındadır. Magnezyum kök meristemini koruyan ve bitki hücrelerinin sitoplazmasında en çok bulunan katyonlardan biridir (Karaman vd., 2012).



Şekil 4.14. Kirlotici olarak kadmiyum uygulanan saksılardaki topraklara ait magnezyum içerikleri, (%)

Şekil 4.14. incelendiğinde deneme toprağını kontrol saksılarındaki Mg içeriğı (%0,22) iken 100 mgkg⁻¹olarak uygulanan kadmiyum saksılarındaki Mg içeriğı (%0,18) olarak tespit edilmiş ve istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli bulunmuştur.

4.4. Kadmiyum Uygulanan Topraklarda ve Bu Topraklarda Yetiştirilen Lavanta Bitkisinde Bazı Mikro Besin Elementi İçerikleri

Denemenin yürütülmesinden sonra Lavanta (*Lavandula angustifolia*) bitkisinin ve toprak içeriklerindeki bazı mikro bitki besin elementlerinin içerikleri Çizelge 4.6’da verilmiştir.

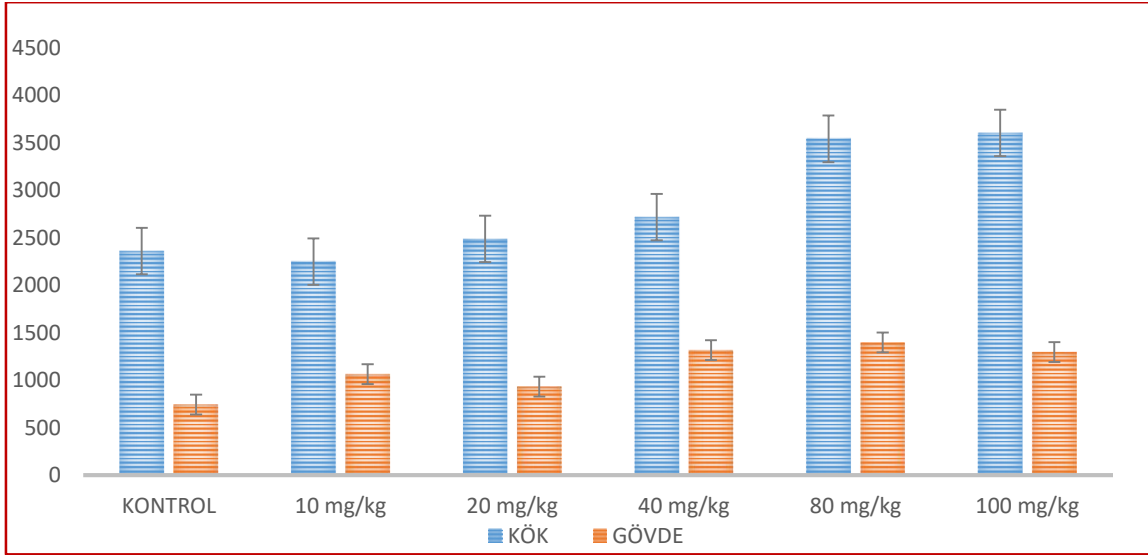
Çizelge 4.6. Kadmiyum uygulanan topraklarda yetiştirilen lavanta bitkisinde mikro besin besin elementi içerikleri ve önemlilik grupları

Uygulamalar		Fe ⁺	Cu ⁺	Zn ⁺	Mn ⁺
Kontrol	G	742,2±50,2b	6,03±0,42b	20,06±0,65c	65,25±4,47b
	K	2359,9±54,1öd	12,58±0,4ab	19,68±0,6abc	185,5±24,0ab
	T	9,94±0,21öd	1,08±0,04öd	0,49±0,05a	12,25±0,70öd
10 mgkg ⁻¹	G	931±76,1ab	6,75±0,77ab	22,46±0,74bc	83,85±16,7ab
	K	2248±15,6öd	10,01±0,9b	13,21±3,1d	123,69±40,5b
	T	8,68±0,19öd	1,03±0,01öd	0,38±0,01ab	12,20±1,81öd
20 mgkg ⁻¹	G	1062,4±42,4ab	6,21±0,49ab	19,28±1,65c	78,53±1,21ab
	K	2488,4±238,3öd	11,46±1,01ab	15,38±0,80cd	179,3±12,26ab
	T	9,3±0,08öd	1,08±0,02öd	0,42±0,02ab	12,04±0,82öd
40 mgkg ⁻¹	G	1317±235,7ab	7,25±0,38ab	24,60±2,42abc	106,5±19,3ab
	K	2718,0±279,4öd	13,38±0,3ab	19,05±0,8bc	196,66±18,6ab
	T	9,16±0,11öd	1,05±0,01öd	0,37±0,006b	12,85±1,61öd
80 mgkg ⁻¹	G	1398,1±221,6a	8,53±1,10a	30,05±0,94a	122,6±18,4a
	K	3542,9±479,2öd	14,86±0,5a	22,85±1,3ab	223,69±22,1a
	T	9,41±0,84öd	1,04±0,03öd	0,45±0,04ab	10,44±0,74öd
100 mgkg ⁻¹	G	1296,4±213,1ab	7,08±0,37ab	26,76±2,94ab	103,7±18,6ab
	K	3604,3±843,3öd	12,64±2,7ab	25,34±1,57a	224,52±41,8a
	T	9,98±0,85öd	1,06±0,02öd	0,43±0,02ab	12,43±0,38öd

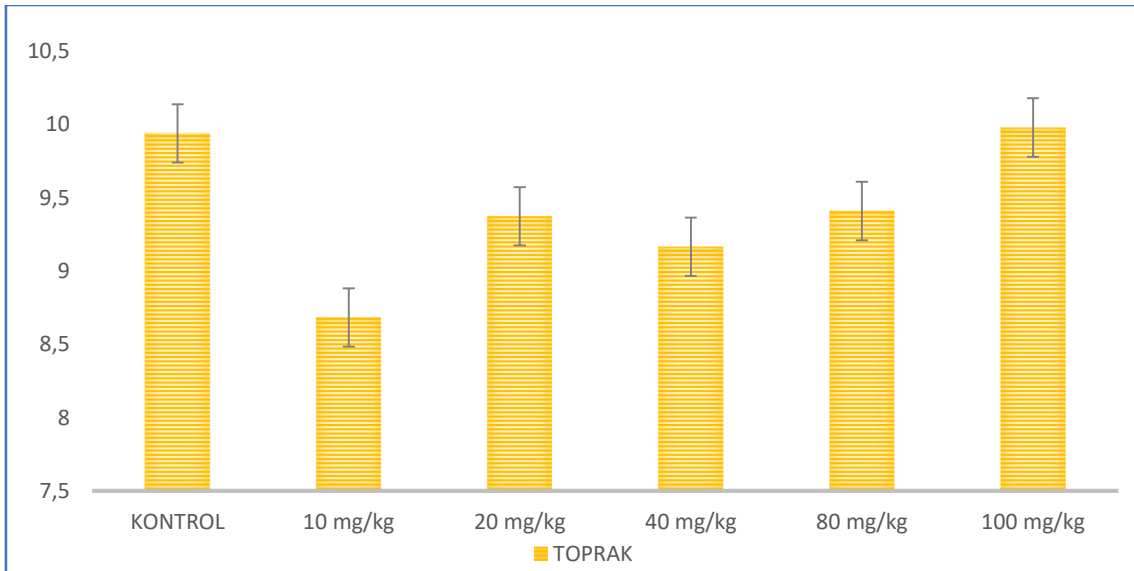
*: değerler üç tekerrür ortalamasıdır. **: %5 düzeyinde önemli. +: mgkg⁻¹, G: gövde, K: Kök, T: toprak

4.4.1. Demir içeriği (mgkg^{-1})

Araştırma sonuçlar incelendiğinde Lavanta (*Lavandula angustifolia*) bitkisinin gövde aksamının kontrol saksılarında Fe içeriği ($742,2 \text{ mgkg}^{-1}$) iken en yüksek doz uygulanan saksılardaki bitkinin Fe içeriği ($1296,4 \text{ mgkg}^{-1}$) olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.6 ve Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Kirlenici olarak kadmiyum uygulanan saksılarda yetiştirilen lavanta bitkisine ait demir içerikleri, (mgkg^{-1})



Şekil 4.16. Kirlenici olarak kadmiyum uygulanan saksılardaki topraklara ait demir içerikleri, (mgkg^{-1})

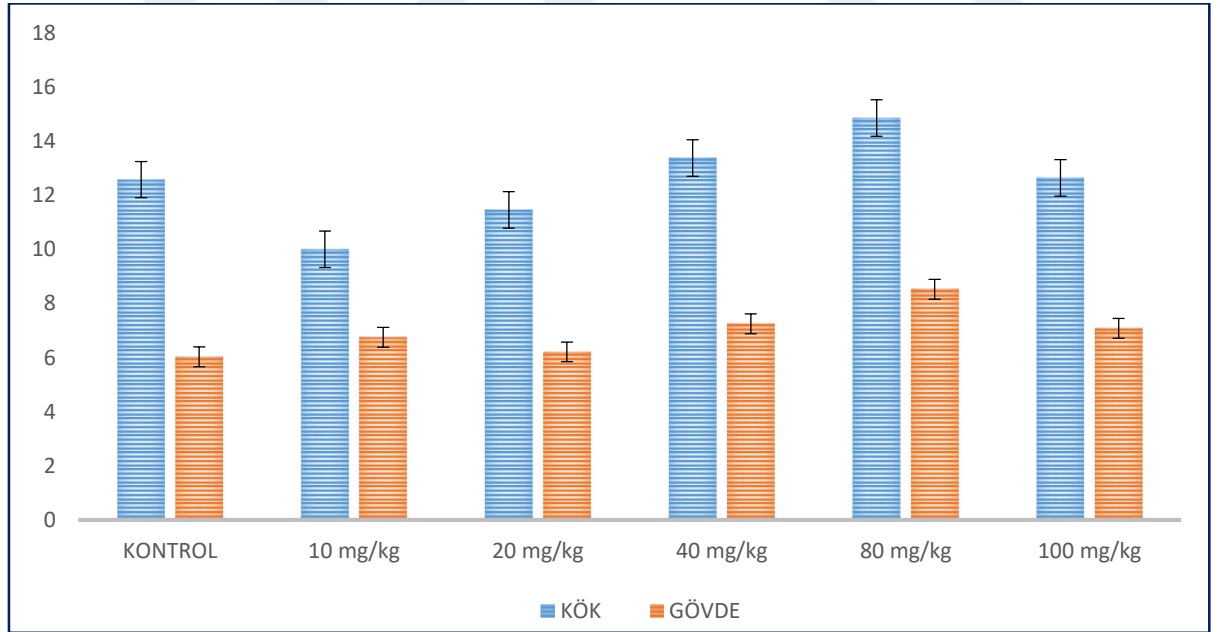
Şekil 4.15 ve Şekil 4.16 incelendiğinde deneme toprağı ve kök aksamında bulunan Fe içeriğı %5 düzeyinde önemsiz bulunmuştur. En yüksek Fe içeriğı kök aksamının 100 mgkg^{-1}

Cd dozunda belirlenmiş olup, diğer bütün yüksek Fe dozları kök aksamda toplandığı görülmektedir. En düşük Fe içeriği ise deneme toprağının 100 mgkg⁻¹ Cd dozunda belirlenmiş ve diğer bütün düşük Fe dozlarının deneme toprağında olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Artan dozlarda şelat uygulanan parsellerde yetiştirilen kanola bitkilerinin Fe içerikleri buna paralel olarak arttığı görülmüştür. Bunun nedenin uygulanan şelatın topraktaki Fe elementinin yarıyışlılığını artırdığı düşünülmektedir. EDTA şelat uygulaması ile birlikte Fe'nin topraktaki çözünürlüğü ve bitkilerce alımı artmaktadır (Esringü, 2005). Araştırmada uygulanan EDTA şelatörünün bitki içerisindeki Fe içeriğinde etken olduğu düşünülmektedir.

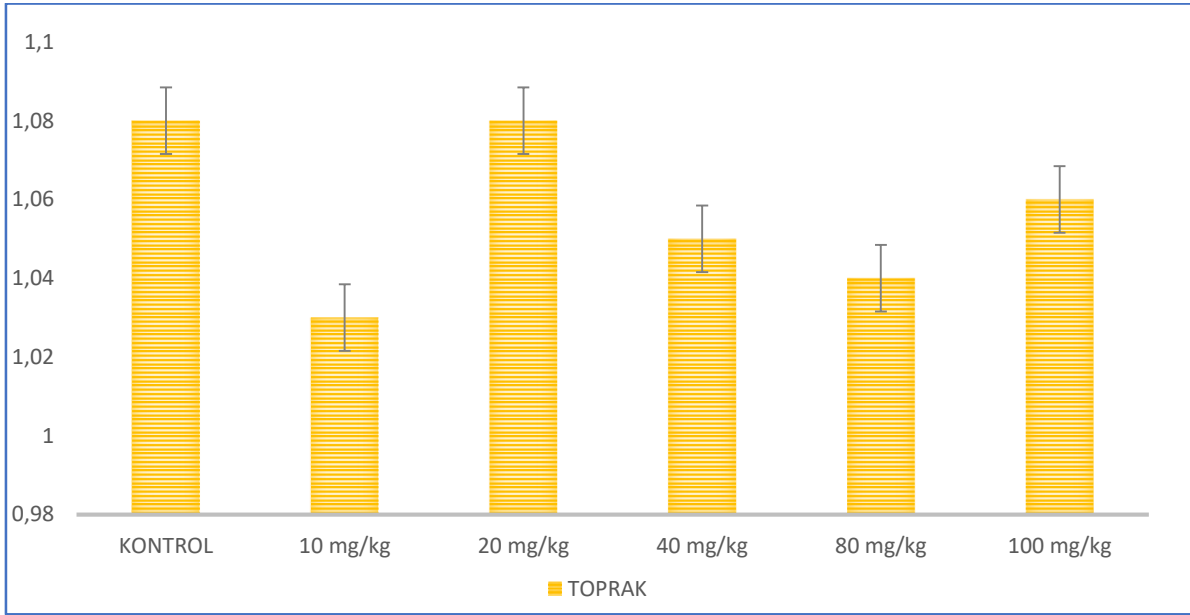
4.4.2. Bakır içeriği (mgkg⁻¹)

Deneme sonuçları incelendiğinde Lavanta (*Lavandula angustifolia*) bitkisinin gövde aksamının kontrol saksılarında Cu içeriği (6,03 mgkg⁻¹) iken 100 mgkg⁻¹ Cd dozunda bitkinin Cu içerikleri ise (7,08 mgkg⁻¹) olarak belirlenmiştir. Aynı bitkinin kök aksamında kontrol saksıları (12,58 mgkg⁻¹) 100 mgkg⁻¹ Cd dozunda bitkinin kök aksamındaki Cu içerikleri ise (12,64 mgkg⁻¹) olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.6 ve Şekil 4.17).



Şekil 4.17. Kirlenici olarak kadmiyum uygulanan saksılarda yetiştirilen lavanta bitkisine ait bakır içerikleri, (mgkg⁻¹)

Yapılan bir araştırmada artan dozlarda bakır uygulamalarının bitki besin elementleri ve toprak pH'sı üzerinde ki etkilerinin önemli olduğu belirlenmiştir. Farklı dozlarda yapılan bakır uygulamasının toprak pH'sını, değişebilir magnezyum ve bitkiye yararılı demir içeriklerini dūřurdđđđ; toprak örneklerinin toplam azot, alınabilir fosfor, değişebilir potasyum, bitkiye yararılı çinko ve bakır içeriklerini artırdđđđ belirlenmiştir (Sönmez, Kaplan, Sönmez ve Kaya, 2006).

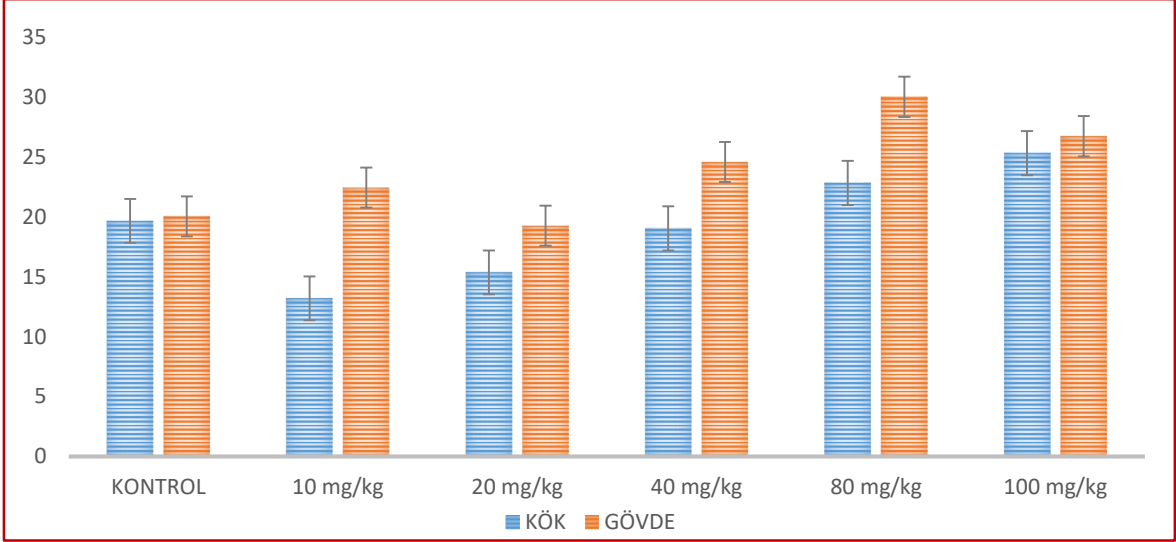


şekil 4.18. Kirletici olarak kadmiyum uygulanan saksılardaki topraklara ait bakır içerikleri, (mgkg⁻¹)

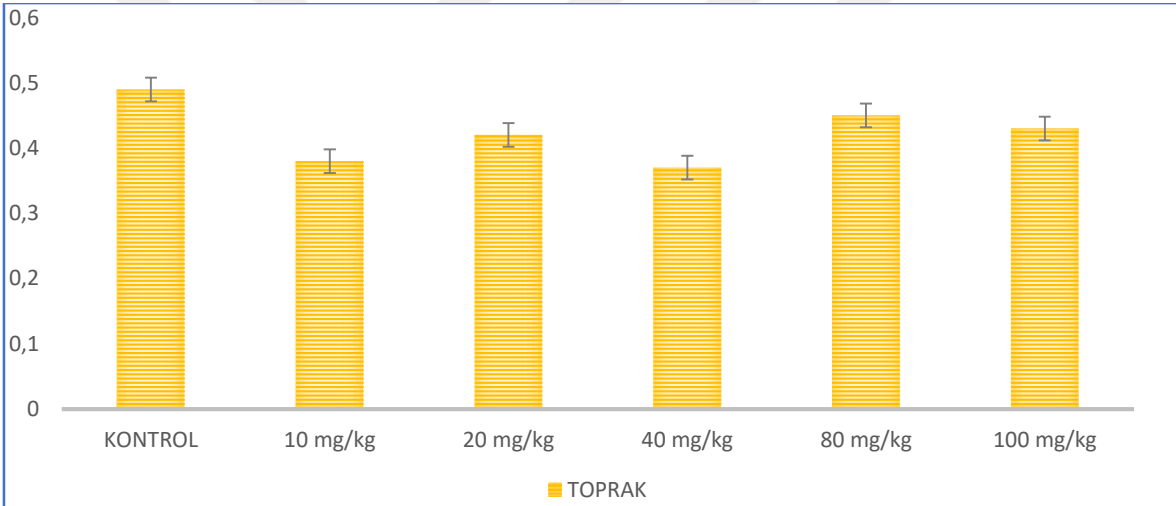
Demene toprağının kontrol ve en yüksek doz uygulanan saksılardaki bakır içerikleri (1,08 ve 1,06 mgkg⁻¹) olarak bulunmuştur (şekil 4.18). Topraklarda bulunan değerler istatistiksel olarak anlamlı olmadığı belirlenmiştir.

4.4.3. Çinko içeriği(mgkg⁻¹)

Araştırma sonuçlar incelendiğinde Lavanta (*Lavandula angustifolia*) bitkisinin toprak üştü aksamının Zn içeriği kontrol ve en yüksek doz olarak sırasıyla (20,06 ve 26,76 mgkg⁻¹) kök aksamı (19,68 ve 25,34 mgkg⁻¹) ve demene toprağının (0,49 ve 0,43 mgkg⁻¹) olarak bulunmuştur. Bütün parametrelerdeki çinko içerikleri %5 düzeyinde önemli bulunmuştur ve önemlilik grupları açısından da farklı gruplarda yer almıştır (izelge 4.6, şekil 4.19 ve şekil 4.20).



Şekil 4.19. Kirlenici olarak kadmiyum uygulanan saksılarda yetiştirilen lavanta bitkisine ait çinko içerikleri, (mgkg^{-1})



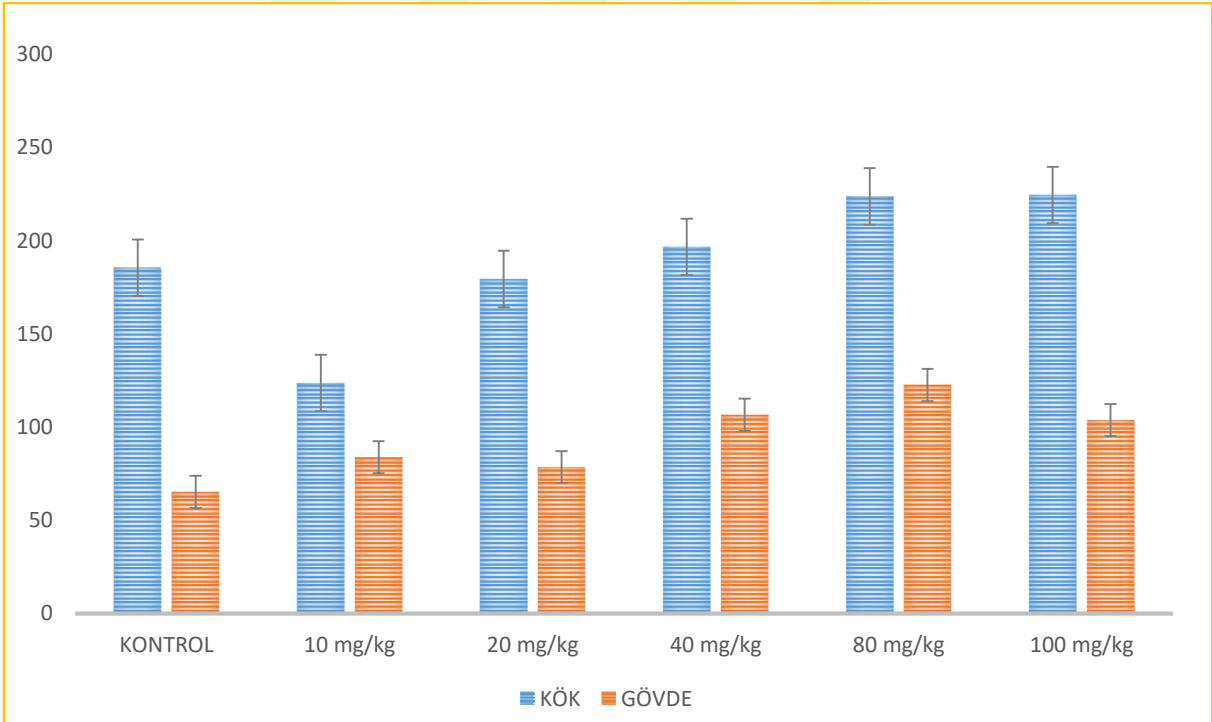
Şekil 4.20. Kirlenici olarak kadmiyum uygulanan saksılardaki topraklara ait çinko içerikleri, (mgkg^{-1})

Bitkilerce Zn alımı bitki çeşidi tarafından da önemli derecede etkilenmektedir. Bitki gelişimi ve metabolizması açısından çok önemli olan çinko özellikle bitkilerde enzimlerin aktivasyonunda kofaktör olarak görev yapmaktadır. Bitki gelişiminde önemli görev yapan indolasetik asit gibi gelişme hormonları içinde mutlak gerekli mikro bitki besin elementidir. Birçok biyokimyasal olayda görev yapan çinko kirlilik giderim çalışmalarında bitkinin gelişimi için dikkat edilmesi gereken bitki besin elementlerindedir. Diğer yandan tarım topraklarında yüksek miktarlarda bulunan çinko noksanlığının önemli bir nedeni tarım topraklarında fazlaca olmasına rağmen bitki tarafından alınabilir formda olmamasından kaynaklanmaktadır. Tarım topraklarında çinko alımını etkileyen önemli faktörler arasında toprakların genellikle yüksek

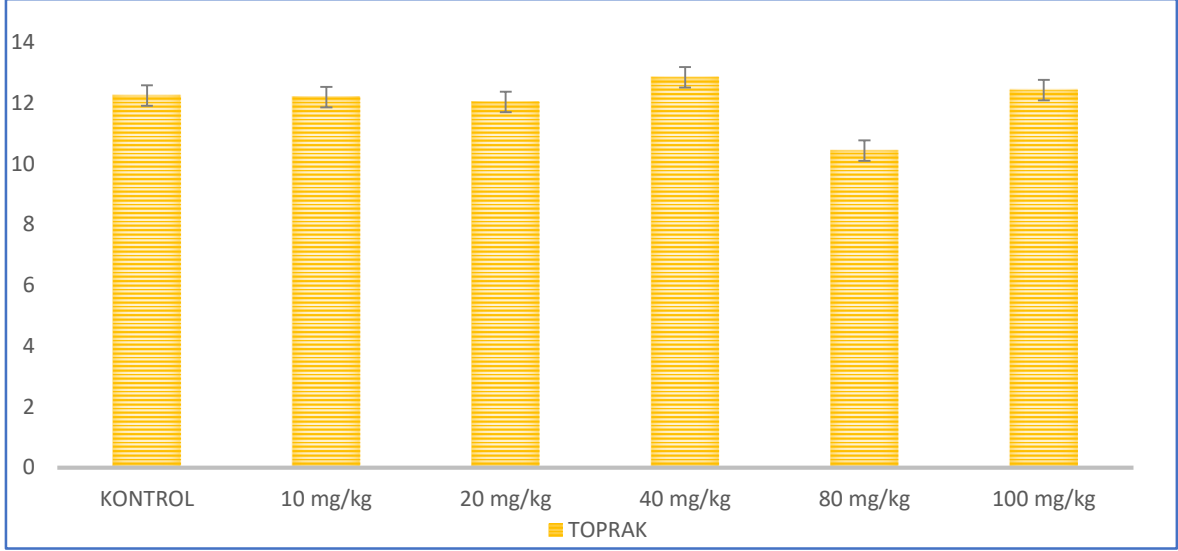
düzeylerde kireç, kil ve pH sahip olması ve organik maddenin düşük olmasıdır (Marschner, 1995; Karaman vd., 2012; Adiloğlu vd., 2018).

4.4.4. Mangan içeriği(mgkg⁻¹)

Araştırma sonuçlar incelendiğinde Lavanta (*Lavandula angustifolia*) bitkisinin toprak üstü aksamının Mn içerikleri kontrol saksıları ve 100 mgkg⁻¹ kadmiyum uygulanan saksılardaki Mn içerikleri sırasıyla (65,29 ve 103,7 mgkg⁻¹) bitkinin kök aksamında kontrol saksıları ve 100 mgkg⁻¹ kadmiyum uygulanan saksılardaki Mn içerikleri (185,5 ve 224,52 mgkg⁻¹) olarak belirlenmiştir. İstatistiksel olarak %5 düzeyinde anlamlı olarak tespit edilmiştir. Anlamlılık grupları açısından farklı gruplarda yer almışlardır (Çizelge 4.6, Şekil 4.21 ve Şekil 4.22). Demene toprağının kontrol saksıları ve 100 mgkg⁻¹ kadmiyum uygulanan saksılardaki Mn içerikleri ise sırasıyla (12,25 ve 12,43 mgkg⁻¹) olarak bulunmuştur. Bu değerler istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Cd, bitki için mutlak gerekli bitki besin elementi olan Mn içeriklerini etkilememiştir.



Şekil 4.21. Kirlenici olarak kadmiyum uygulanan saksılarda yetiştirilen lavanta bitkisine ait mangan içerikleri, (mgkg⁻¹)



Şekil 4.22. Kirlетici olarak kadmiyum uygulanan saksılardaki topraklara ait mangan içerikleri, (mgkg⁻¹)

Mangan, bitkinin fizyolojisi için çok önemlidir. Mangan bitkide karbonhidrat redüksiyonu, klorofil oluşumu, RNA ve DNA sentezinde bir katalizör olarak görev yapmaktadır. Mangan bitkinin fotosentezle oksijen üretimi süresince de metabolizmaya enerji sağlamak ve suyun parçalanmasında da rol oynamaktadır (Aktaş, 1995; Yıldız, 2008). Tarım topraklarımız özel durumlar ve bitkinin ihtiyaç duyduğu Mn gübrelemesi sağlandığı takdirde ekstra bir Mn takviyesine ihtiyaç duymaz. Tarla bitkilerinin ihtiyaç duyduğu Mn miktarı, çokça düşük olmakla birlikte tüm gelişim periyodu boyunca yaklaşık 50-100 g/da Mn civarındadır. Bitkiler mangany çoğunlukla Mn⁺² iyonu şeklinde, kök ve yapraklarından alabilmektedir. Mn bitki dokularında herhangi bir şekilde bulunamaz ve bitkilerin bu bitki besinine daha az ihtiyaç duyması bununla açıklanmıştır. Demir elementi ile karşılaştırıldığında Mn bitkide daha kolay taşınabilmektedir. Mn noksanlığı genelde genç yapraklarda gözükür. Bitkide mangan eksikliği yaprakların damar aralarını sarartmasıyla anlaşılır. Geniş yapraklı bitkilerde bu özellik daha belirgin gözükmektedir. Mn yetersizliğinde bitkilerde gözlemlenen sararma yeterli miktarda klorofil oluşturulamamasıyla alakalıdır. Klorofili oluşturan elementlerden biri olmamasına rağmen, Mn noksanlığı sonucunda klorofil oluşumu önemli miktarda düşer (Marschner, 2008; Kacar ve İnal, 2010; Karaman, 2012; Adiloğlu, 2017).

5. SONUÇVE ÖNERİLER

Son yüzyılda dünya nüfusunun hızlı artışı, kentleşme ve sanayileşmenin sebep olduğu kirlilik ekosferi önemli dikkate değer düzeyde etkilemiştir. Endüstriyel katı, sıvı ve gaz atıkları, yapay gübre kullanımı ve pestisit, boya sanayisi ekolojiye yüksek oranda ağır metalin karışmasında etkindir. Kirlilik giderimi için kullanılan Fitoremediasyon da pek çok bitki kullanılmıştır. Fakat süs bitkilerinin ağır metal toksisitesine karşı kullanılması hakkında çok az araştırma bulunmaktadır. Toprak kirliliği gideriminde ve birçok paydaş (Tarım ve Orman Bakanlığı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Belediyeler gibi) faydalanabileceği bu araştırma hem bilime katkısı olacak hemde günümüzde uygulanma imkânı sağlayacaktır.

Sürekli artan çevresel kirlilik, özellikle otoban kaynaklı kirlilik giderimin de lavanta gibi süs bitkilerinin kentsel alanları yeşillendirmek için kullanılabilirliğini ve besin zincirine girmeden bertaraf edilebilirliğini cazip kılmaktadır. Doğal bir kaynak olarak toprak, fosforlu gübreler gibi farklı kaynaklardan gelen kadmiyum gideriminde veya kirliliğin sabitleştirilmesinde doğru bitkilerin kullanılması önem arz etmektedir.

Bu çalışmada elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

- Denemeden elde edilen verilere göre Lavanta (*Lavandula angustifolia*) bitkisinin bazı agro-morfolojik özellikleri açısından incelendiğinde topraküstü bitki kuru-yaş ağırlığı, bitki kök kuru-yaş ağırlığı, bitki boyu ise istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur. Bitki kök boyu, SPAD değerleri ve dal sayısı artan Kadmiyum kirliliğinden istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur.

- Kadmiyum uygulanan saksılardaki Cd içerikleri Lavanta (*Lavandula angustifolia*) bitkisinin gövdesindeki en yüksek akümülyasyon 100 mgkg⁻¹ dozunda 10,33 mgkg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Bitkinin gövde içerisindeki akümüle olan Cd içeriği artmıştır.

- Artan kadmiyum uygulamalarının Lavanta (*Lavandula angustifolia*) bitkisinin kök aksamındaki Cd içerikleri en yüksek değere 90,96 mgkg⁻¹ değeriyle kirleticinin en yüksek olduğu dozda akümüle olmuştur. Bu değer diğer uygulanan dozlara göre artmıştır. En yüksek Cd birikimi bitkinin kök aksamında görülmektedir.

- Hasat sonrası toprak çözeltisindeki Cd içerikleri artmıştır. Bu durum uygulanan 10 mmol kg⁻¹ EDTA şelatörünün de etken olduğu görülmektedir. Alınabilir Cd içeriği en yüksek 100 mgkg⁻¹ kirletici dozunda belirlenmiştir.

- Kadmiyum ile kirlilik oluşturulan saksılarda bitkinin bünyesine aldığı makro ve mikro elementler açısından değerlendirildiğinde, gövdede N, P, K, Ca ve Mg içeriklerinden en çok etkilenen N içerikleri olmuştur. P ve K içerikleri kontrol saksıları ile aynı önemlilik gruplarında yer almıştır. Özellikle Ca içerikleri kontrol saksılarına göre artış görülmüştür. Hiperakümülatör bitkilerde kirleticiler bitki hücre duvarlarında biriktiği için hücre duvarlarında görevli olan makro bitki besin elementinin yüksek olması olumlu kabul edilmiştir. Mg içeriklerinde de benzer değerler belirlenmiştir.

- Lavanta (*Lavandula angustifolia*) bitkisinin kök aksamında N, K ve Ca içerikleri önemsiz olarak bulunmuştur. Fosfor ve Mg içerikleri Cd kirliliğinden olumsuz olarak etkilenmiştir.

- Toprak çözeltisindeki makro bitki besin elementleri hasat sonrasındaki değerler ise sadece P içerikleri istatistiksel olarak etkilenmemiştir. Diğer makro bitki besin elementlerindeki değişim istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

- Mikro bitki besin elementleri bitkinin gövde aksamında Fe, Zn, Cu ve Mn içerikleri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

- Kök aksamında ise Fe içerikleri önemsiz bulunmuştur. Zn, Cu ve Mn içerikleri ise önemli bulunmuştur.

- Toprak çözeltisindeki Fe, Cu ve Mn içerikleri önemsiz iken Zn içerikleri önemli bulunmuştur.

Bu araştırmada toprak kirliliğinin giderimin de yeni ve ekonomik bir yöntem olan Fitoremediasyon yönteminde kullanılmak üzere Lavanta (*Lavandula angustifolia*) bitkisinin Cd ağır metalini topraktan giderimin de kullanılıp kullanılamayacağı incelenmiştir. Bu bitkinin Cd karşısında hiperakümülatör olduğu yapılan analizlerle belirlenmiştir. Ancak kirleticinin bitkinin kök aksamında daha çok biriktiği özellikle de kirleticinin bulunduğu yerde sabitlenmesi istendiği bölgelerde kullanılması önerilmektedir. Aynı zamanda tarım alanlarındaki çeşitli yollar ile bulaşan Cd kontaminasyonunun gideriminde kullanılabileceği de tavsiye edilmektedir.

KAYNAKLAR

- Adiloğlu, S. (2013). *Tekirdağ İlinde Otoban Kenarlarında Bulunan Tarım Arazilerinde Bazı Ağır Metallerin Kirliliğinin Araştırılması*. (Doktora Tezi), Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Tekirdağ.
- Adiloğlu, S., Sağlam M. T. ve Süme, A. (2015). Chrome (Cr) Pollution In Agricultural Areas Improvement By Phytoremediation Method With Canola (*Brassica Napus L.*) Plant Growing. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 18(5),1180-1186.
- Adiloğlu, S. (2016). Using Phytoremediation with Canola to Remove Cobalt from Agricultural Soils. *Pol. J. Environ.l Stud.*, 57, 2251-2254.
- Adiloğlu, S., Adiloğlu, A., Acikgoz, F.E. Yeniaras T. ve Solmaz.Y. (2016). Phytoremediation of Cadmium (Cd) from Agricultural Soils Using Dock (*Rumex patientia L.*) Plant. *Analytical Letters*, 49(4), 601-606.
- Adiloğlu, S. (2017). The effects of manganese on the remediation of the heavy metal contaminated soil by using the dock (*Rumex patientia L.*) plant. *Desalination And Water Treatment*, 93, 335-338.
- Adiloğlu, A., Karaman, M. R. ve Adiloğlu, S. (2018) Determination of suitable extraction method for the available iron (Fe) content of calcareous soils. *Turkish Journal of Agriculture -Food Science and Technology*, 6(1), 51-54.
- Adiloğlu, S. (2020). İnteraction of some heavy metals with copper content in dock plant. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, 23(4), 1078-1084.
- Akay, A. ve Adiloğlu, S. (2020). Effects of mycorrhizal inoculation on the zn phytoremediation potential of buckwheat (*Fagopyrum esculentum*). *Fresenius Environmental Bulletin*, 29 (8), 6431-6437.
- Akkuş, G., Başak, İ., Baytın, R. ve Muradoğlu, F. (2020). Kadmiyum stresi altındaki çilek (*Fragaria x ananassa "Camarosa"*) bitkisinde metil jasmonat uygulamalarının bazı büyüme parametreleri üzerine etkileri. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(2), 714-722. doi.org/10.21597/jist.651203.
- Aktaş, M. (1995). *Bitki Besleme ve Toprak Verimliliği*. Ankara Üniv. Zir. Fak. Yayın No: 1429, Ders Kitabı No: 416, Ankara.
- Alloway, B. J. (1995). *Heavy Metals in Soils*.(Ed.). Blackie, London.

- Alcantara, E., Romera, F. J., Canete, M. ve De la Guardia, M. D. (1994). Effects of heavy metals on both induction and function of root Fe(III) reductase in Fe-deficient cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants. *Journal of Experimental Botany*, 45(12), 1893–1898. doi:10.1093/jxb/45.12.1893.
- Ali, H., Khan, E. ve Sajad, M. A. (2013). Phytoremediation of heavy metals-concepts and applications. *Chemosphere*, 91, 869–881
- Amari, T., Ghnaya, T. ve Abdelly, C. (2017). Nickel, cadmium and lead phytotoxicity and potential of halophytic plants in heavy metal extraction. *South African Journal of Botany*, 111, 99–110. doi: 10.1016/j.sajb.2017.03.011
- Anderson, A. (1977). Heavy metals in swedish soils: on their retention, distribution and amounts. *Swedish Journal of Agricultural*, 7, 7-20.
- Andrade, Junior, W. V., Oliveira, Neto, C. F., Santos, Filho, B. G., Amarante, C. B., Cruz, E. D., Okumura, R. S. ve Botelho, A. S. (2019). Effect of cadmium on young plants of *Virola surinamensis*. *Aob Plants*, 11(3). doi:10.1093/aobpla/plz022.
- Angelova, V.R., Grekov, D.F., Kisyov, V.K.ve Ivanov, K.I. (2015). Potential of lavender (*Lavandula vera* L.) for phytoremediation of soils contaminated with heavy metals. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Biological, Food, Veterinary and Agricultural Engineering*, 9(5). doi: 10.5281/zenodo.1105651.
- Anonim, (2020a). Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği. 13 Mart 2020, Erişim adresi <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/12/20111229M3-8.htm>
- Anonim, (2020b). Orman Genel Müdürlüğü. 20 Mart 2020, Erişim adresi: <https://atib.ogm.gov.tr/Sayfalar/T%C4%B1bbi%20ve%20Itri%20Bitkilerimizi%20Tan%C4%B1yal%C4%B1m/Lavanta.aspx>
- Arabacı, O. ve Ceylan, A. (1990). Bazı parfüm bitkilerinde (*Lavandula angustifolia* Mill., *Melissa officinalis* L., *Salvia sclerea* L.) verim ve ontogenetik varyabilite üzerine araştırmalar. *E.Ü. Fen Bil. Enst. Dergisi*, 1(1), 233-236.
- Assche, F. V. ve Clijsters, H. (1990). Effects of metals on enzyme activity in plants. *Plant, Cell and Environment*, 13(3),195–206. doi:10.1111/j.1365-3040.1990.tb01304.x
- Aybar, M., Bilgin, A. ve Sağlam, B. (2015). Fitoremediasyon yöntemi ile topraktaki ağır metallerin giderimi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 1 (1-2), 59-65. doi: 10.21324/dacd.67500.

- Bağdatlı, C.M. (2019). *Pb, Cd, Sb ve Ni kirliliğine maruz kalmış tarım topraklarının yonca (Medicago sativa l.) bitkisi kullanılarak doğal arıtımı*. (Yüksek Lisans Tezi), Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir.
- Barcelo, J. ve Poschenrieder, C. (1990). Plant water relations as affected by heavy metal stress: a review. *J. Plant Nutrition*, 13, 1–37. doi.org/10.1080/01904169009364057.
- Baqi, A., Hussain, M., Jabeen, R., Khattak, M. I. ve Ullah, S. H. (2019). Study of heavy metals (Cd, Cu, Ni, Pb & Zn) in some medicinal plant species (*Hertia intermedia*, *Cardaria chalepense*, *Scorzonera ammophila*, *Tamarix karelini*, *Astragalus auganus*) at Pishin area in Balochistan, Pakistan. *Pure and Applied Biology*, 8(1), 995-1007. doi: 10.19045/bspab.2019.80040.
- Benavides, M. P., Gallego, S. M. ve Tomaro, M. L. (2005). Cadmium toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17(1), 21–34. doi.org/10.1590/S1677-04202005000100003.
- Bhargava, A., Carmona, F. F., Bhargava, M. ve Srivastava, S. (2012). Approaches for enhanced phytoextraction of heavy metals. *Journal of Environmental Management*, 105, 103-120. doi: 10.1016/j.jenvman.2012.04.002.
- Bıçakçı, E. (2003). *Türkiyede yetişen farklı pamuk genotiplerinin metal stresine karşı taranması ve seçilen genotiplerin in vitro rejenerasyonu*. (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Boyar, S. (2019). *Kadmiyum toksisitesinin çilek bitkisinde (Fragaria x ananassa) bazı büyüme ve stres parametreleri üzerine etkileri*. (Yüksek Lisans Tezi), Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.
- Brodkin, E., Copes, R., Mattman, A., Kennedy, J., Kling, R. ve Yassi, A. (2007). Lead and mercury exposures: interpretation and action. *CMAJ*, 176(1), 59-63 doi: 10.1503/cmaj.060790
- Ceylan, A. (1997). *Tıbbi Bitkiler-II (Uçucu Yağ Bitkileri)*. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları (2. Baskı). No:481. ISBN 975-483-362-1. Bornova/İzmir. 225-240.
- Chaffei, C., Pageau, K., Suzuki, A., Gouia, H., Ghorbel, M.H. ve Masclaux-Daubresse, C. (2004). Cadmium toxicity induced changes in nitrogen management in *Lycopersicon esculentum* leading to a metabolic safeguard through an amino acid storage strategy. *Plant Cell Physiol*, 45(11), 1681–1693. Doi: 10.1093/pcp/pch192.

- Chaves, L. H. G., Estrela, M. A., Sena de Souza, R. (2011). Effect on plant growth and heavy metal accumulation by sunflower. *Journal Phytol*, 3(12), 04–09.
- Chen, C., Huang, D. ve Liu, J. (2009). Functions and toxicity of nickel in plants: recent advances and future prospects. *Clean: Soil, Air, Water*, 37(4-5), 304-313. doi: doi.org/10.1002/clen.200800199.
- Clemens, S. (2006). Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. *Biochimie*, 88(11), 1707-1719. doi: 10.1016/j.biochi.2006.07.003
- Coşkan, A., Demirbaş, A. ve Jawad, A. A. (2020). Seçilmiş bakteri izolatlarının kadmiyum ile zenginleştirilmiş topraklarda şeker pancarının gelişimi ve besin elementi alımı üzerine etkisi. *Ziraat Fakültesi Dergisi, Türkiye 13. Ulusal, I. Uluslararası Tarla Bitkileri Kongresi Özel Sayısı*, 95-102.
- Cui, L., Li, L., Zhang, A., Pan, G., Bao, D. ve Chang, A. (2011). Biochar amendment greatly reduces rice Cd uptake in a contaminated paddy soil: a two-year field experiment. *Bioresources*, 6(3), 2605–2618.
- Cunningham, S. D., Berti, W.R. ve Huang, J.W. (1995). Phytoremediation of contaminated soils. *TIBTECH*, 13, 393-397. doi: 10.1016/S0167-7799(00)88987-8.
- Çeliker, M., Güler, N. ve Parlakyıldız, C. (2020). Trace element contents of groundwater and surface waters in the lake hazar basin (Elazığ). *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(1), 53-62. doi.org/10.21597/jist.603458.
- Das, P., Samantaray, S. ve Rout, G. R. (1997). Studies on cadmium toxicity in plants: A review. *Environmental Pollution*, 98(1), 29–36. doi:10.1016/s0269-7491(97)00110-3.
- Di, Salvatore, M., Carafa, A. M. ve Carratu, G. (2008). Assessment of heavy metals phytotoxicity using seed germination and root elongation tests: a comparison of two growth substrates. *Chemosphere*, 73, 1461–1464. Doi: 10.1016/j.chemosphere.2008.07.061.
- Dixit, R., Wasiullah, Malaviya, D., Pandiyan, K., Singh, U., Sahu, A., Shukla, R., Singh, B. P., Rai, J. P., Sharma, P. K., Lade, H. ve Paul, D. (2015). Bioremediation of heavy metals from soil and aquatic environment: an overview of principles and criteria of fundamental processes. *Sustainability*, 7(2), 2189–2212. doi:10.3390/su7022189.
- Engwa, A. G., Udoka, F. P., Nweke, N. F. ve Unachukwu, N.M. (2019). *Mechanism and health effects of heavy metal toxicity in humans*. Poisoning in the Modern World-New Tricks for an Old Dog. doi: doi.org/10.5772/intechopen.82511.

- EPA, (1995). *Contaminants and remedial options at select metals-Contaminated Sites*, EPA/540/R-95/512.6.
- EPA, (2000). *Environmental Protection Agency, Introduction of phytoremediation*, epa/600/R-99/107, Cincinnati, Ohio, U.S.A2000: 72.
- Esringü, A. (2005). *Toprakta Kirliliğe Sebep Olan Bazı Ağır Metallerin Kanola (Brassica nopus) ve Hardal (Brassica juncea) Bitkileri ile Uzaklaştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi), Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı, Erzurum.
- Evcimen, M. (2015). *Kadmiyum Maruziyeti Uygulanan Ratlarda Polydatin ve Üzüm Çekirdeği Ekstraktının Kan, Karaciğer, Böbrek ve Beyin Dokuları Üzerine Etkilerinin Histopatolojik Olarak ve Oksidan- Antioksidan Göstergelerle Araştırılması*. (Doktora Tezi), Afyon Kocatepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Ez zoubi, Y., Bousta, D. ve Farah, A. (2020). A Phytopharmacological review of a Mediterranean plant: *Lavandula stoechas* L. *Clinical Phytoscience*, 6(1). Doi: doi.org/10.1186/s40816-019-0142-y
- Fjallborg, B., Ahlberg, G., Nilsson, E. ve Dave, G. (2005). Identification of metal toxicity in sewage sludge leachate. *Environ International* 31, 25–31. doi: 10.1016/j.envint.2004.06.004
- Florea, A-M., Dopp, E., Obe, G. ve Rettenmeier, AW. (2004). Genotoxicity of organometallic species. In: Hirner AV, Emons H, editors. *Organic Metal and Metalloid Species in the Environment: Analysis, Distribution, Processes and Toxicological Evaluation*. Heidelberg: Springer-Verlag; pp. 205-219.
- Gabor, T.S., North, A.K., Ross, L.C.M., Murkin, H.R., Anderson, J.S. ve Turner, M.A. (2001). *Beyond the Pipe: the Importance of Wetlands and Upland Conservation Practises in Watershed Management: Function and Values for Water Quality and Quantity*. Ducks Unlimited, Canada.
- Gadd, G. M. (2000). Bioremedial potential of microbial mechanisms of metal mobilization and immobilization. *Current Opinion in Biotechnology*, 11(3), 271–279. doi:10.1016/s0958-1669(00)00095-1.
- Göker, M. (2019). *Topraklarda krom ağır metalinin mısır (Zea mays L.) bitkisi kullanılarak fitoremediasyon tekniği ile giderilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.

- Goldbol, D. L. ve Hutterman, A. (1985). Effect of zinc, cadmium and mercury on root elongation on *Picea abies* (Karst.) seedlings and the significance of these metals to forest die-back. *Environmental Pollution Series A, Ecological and Biological*, 38, 375-381.
- Gopal, R. ve Khurana, N. (2011). Effect of heavy metal pollutants on sunflower. *African Journal of Plant Science*, 5(9), 531–536.
- Gebeyehu, H. R. ve Bayissa, L. D. (2020). Levels of heavy metals in soil and vegetables and associated health risks in Mojo area, Ethiopia. *PLOS ONE*, 15(1), e0227883. doi:10.1371/journal.pone.0227883.
- Gratao, P. L., Prasad, M. N. V., Cardoso, P. F., Lea, P. J. ve Azevedo, R. A. (2005). Phytoremediation: green technology for the clean up of toxic metals in the environment. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17(1), 53–64. doi:10.1590/s1677-04202005000100005.
- Greenwood, N. N. ve Earnshaw, A. (1997). *Chemistry of the Elements* (2th ed.) Oxford, Butterworth-Heinemann.
- Gupta, A. K., Verma, S. K., Khan, K. ve Verma, R. K. (2013). Phytoremediation using aromatic plants: a sustainable approach for remediation of heavy metals polluted sites. *Environmental Science & Technology*, 47, 10115–10116. 130906155737004. doi:10.1021/es403469c.
- Gültekin, Y. (2020). *Ordu kent merkezinde yetiştirilen bazı kültür bitkilerinde ağır metal konsantrasyonlarının yetiştirme ortamına bağlı değişimi*. (Yüksek Lisans Tezi), Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu.
- Haghiri, F. (1974). Plant Uptake of Cadmium as Influenced by Cation Exchange Capacity, Organic Matter, Zinc, and Soil Temperature¹. *Journal of Environment Quality*, 3(2), 180. doi:10.2134/jeq1974.00472425000300020021x.
- Hajhashemi, V., Ghannadi, A. ve Sharif, B. (2003). Anti-inflammatory and analgesic properties of the leaf extracts and essential oil of *Lavandula angustifolia* Mill. *Journal of Ethnopharmacology*, 89(1), 67–71. doi:10.1016/s0378-8741(03)00234-4.
- Hamid, Y., Tang, L., Sohail, M. I., Cao, X., Hussain, B., Aziz, M. Z., Usman, M., He, Z. ve Yang, X. (2019). An explanation of soil amendments to reduce cadmium phytoavailability and transfer to food chain. *Science of The Total Environment*, 660, 80–96. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.12.419

- Hasan, M. M., Uddin, M. N., Ara-Sharmeen, I., F. Alharby, H., Alzahrani, Y., Hakeem, K. R. ve Zhang, L. (2019). Assisting Phytoremediation of Heavy Metals Using Chemical Amendments. *Plants*, 8(9), 295. doi:10.3390/plants8090295
- Hasan, S. A., Hayat, S., Ali, B. ve Ahmad, A. (2008). 28-Homobrassinolide protects chickpea (*Cicer arietinum*) from cadmium toxicity by stimulating antioxidants, *Environmental Pollution*, 151 (1), 60–66. doi: 10.1016/j.envpol.2007.03.006.
- He, J. ve Chen, J. P. (2014). A comprehensive review on biosorption of heavy metals by algal biomass: Materials, performances, chemistry, and modeling simulation tools. *Bioresource Technology*, 160, 67–78. doi: 10.1016/j.biortech.2014.01.068.
- Henry, J. (2000). *An Overview of the Phytoremediation of Lead and Mercury* (ed.). Washington, D.C.
- Hu, H. (2002). *Human health and heavy metals exposure* (ed.). USA-MIT Press.
- Intawongse, M. ve Dean, J. R. (2006). Uptake of heavy metals by vegetable plants grown on contaminated soil and their bioavailability in the human gastrointestinal tract. *Food Additives and Contaminants*, 23(1),36–48. doi:10.1080/02652030500387554.
- Jaffre, T., Pillon, Y., Thomine, S.ve Merlot, S. (2013). The metal hyperaccumulators from New Caledonia can broaden our understanding of nickel accumulation in plants. *Frontiers in Plant Science*, 4. doi:10.3389/fpls.2013.00279.
- John, R., Ahmad, P., Gadgil, K. ve Sharma, S. (2009). Heavy metal toxicity: effect on plant growth, biochemical parameters and metal accumulation by *Brassica juncea L.* *International Journal of Plant Production*, 3, 65–76.
- Kabata-Pendias, A. (2011). *Trace Elements in Soils and Plants*. (4th edn.). CRC Press/Taylor ve Francis, Boca Raton.
- Kabata-Pendias, A. (1995). Agricultural problems related to excessive trace metal contents of soils. *Heavy Metals*, 3–18. doi:10.1007/978-3-642-79316-5_1.
- Kabata-Pendias, A. ve Pendias, H. (1992). *Trace Elements in Soils and Plants* (2th ed). CRC Press, Baton Rouge.
- Kacar, B. ve İnal, A. (2010). *Bitki Analizleri* (2. Baskı), Nobel Yayınları No: 1241.
- Kalay, M. ve Karataş, S. (1999). Kadmiyumun Kas, Beyin ve Kemik (Omurga kemiği) dokularındaki birikimi, *Turkish Journal of Zoology*, 23(3), 985-991.

- Karaman, M. R., Adiloğlu, A., Brohi, R., Güneş, A., İnal, A., Kaplan, M., Katkat, V., Korkmaz, A., Okur, N., Ortaş, İ., Saltalı, K., Taban, S., Turan, M., Tüfenkçi, Ş., Eraslan, F., Zengin, M. (2012). *Bitki Besleme*. ISBN 978-605-87103-2-0 Dumat Ofset, Matbacılık San. Tic. Ltd. Şti., Ankara.
- Karataş, S. (2019). *Priming uygulamalarının kadmiyum stresine maruz bırakılan bazı çeltik (Oryza Sativa L.) çeşitlerinde çimlenme, fide gelişimi ve bitki bünyesinde biriken kadmiyum miktarları üzerine etkileri*. (Yüksek Lisans Tezi), Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.
- Khan, A., Khan, S., Khan, M. A., Qamar, Z. ve Waqas, M. (2015). The uptake and bioaccumulation of heavy metals by food plants, their effects on plants nutrients, and associated health risk: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(18), 13772–13799. doi: 10.1007/s11356-015-4881-0.
- Khan, A., Khan, S., Alam, M., Khan, M.A., Aamir, M., Qamar, Z., Rehman, Z.U. ve Perveen, S. (2016). Toxic metal interactions affect the bioaccumulation and dietary intake of macro- and micro-nutrients. *Chemosphere*, 146, 121–128. doi: 10.1016/j.chemosphere.2015.12.014
- Khan, A. G., Kuek, C., Chaudhry, T. M., Khoo, C. S. ve Hayes, W. J. (2000). Role of plants, mycorrhizae and phytochelators in heavy metal contaminated land remediation. *Chemosphere*, 41, 197-207.
- Kiarostami, A., Moradi, P. ve Abdousi, V. (2017). Refining properties of lavender (*Lavandula spica L.*) in cadmium contaminated environments. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 8(1), 2277-2284.
- Köksal, F. (2011). *Yapraktan Kalsiyum Uygulamasının Karanfil Çeşitlerinde (Standart ve Sprey) verim, kalite ve besin elementi içeriğine Etkisi*. (Yüksek Lisans), Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Isparta.
- Köleli, N. ve Kantar, Ç. (2005). Fosfat Kayası, Fosforik Asit ve Fosforlu Gübrelerdeki Toksik Ağır Metal (Cd, Pb, Ni, As) Konsantrasyonu. *Ekoloji Dergisi*, 14(55).
- Krishna, K. A. ve Mohan, R. K. (2016). Distribution, correlation, ecological and health risk assessment of heavy metal contamination in surface soils around an industrial area, Hyderabad, India. *Environmental Earth Sciences*, 75(5). doi:10.1007/s12665-015-5151-7.
- Kumari, M. M., Sinhal, V. K., Srivastava, A. ve Singh, V. P. (2011). Zinc alleviates cadmium induced toxicity in (*Vigna radiata L.*) Wilczek. *Journal Phytol*, 3(8), 43–46.

- Lajayer, A. B., Ghorbanpour, M. ve Nikabadi, S. (2017). Heavy metals in contaminated environment: Destiny of secondary metabolite biosynthesis, oxidative status and phytoextraction in medicinal plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 145, 377–390. doi: 10.1016/j.ecoenv.2017.07.035.
- Lasat, M. M. (1999). 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, 1-25. doi: doi.org/10.4148/1090-7025.1015.
- Lee, P.-K., Yu, Y.-H., Yun, S.-T. ve Mayer, B. (2005). Metal contamination and solid phase partitioning of metals in urban roadside sediments. *Chemosphere*, 60(5), 672–689. doi: 10.1016/j.chemosphere.2005.01.048.
- Lindsay, W. L. ve Norvell, W. A. (1978). Development of a DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese, and Copper¹. *Soil Science Society of America Journal*, 42(3), 421. doi:10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x.
- Lis-Balchin, M. (2004). *Lavender: The Genus Lavandula*. (1th ed.). London and New York: Taylor and Francis.
- Li, X., Zhang, X., Li, B., Wu, Y., Sun, H. ve Yang, Y. (2017). Cadmium phytoremediation potential of turnip compared with three common high Cd-accumulating plants. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(27), 21660–21670. doi:10.1007/s11356-017-
- Li, X., Zhang, X., Yang, Y., Li, B., Wu, Y., Sun, H. ve Yang, Y. (2016). Cadmium Accumulation Characteristics in *Turnip Landraces* from China and Assessment of Their Phytoremediation Potential for Contaminated Soils. *Frontiers in Plant Science*, 7. doi:10.3389/fpls.2016.01862.
- Li, W., Khan, M. A., Yamaguchi, S. ve Kamiya, Y. (2005). Effects of heavy metals on seed germination and early seedling growth of *Arabidopsis thaliana*. *Plant Growth Regul*, 46,45–50. doi: 10.1007/s10725-005-6324-2.
- Lin, L., Ning, B., Liao, M., Ren, Y., Wang, Z., Liu, Y., Cheng, J. ve Luo, L. (2015). *Youngia erythrocarpa*, a newly discovered cadmium hyperaccumulator plant. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(1). doi: doi.org/10.1007/s10661-014-4205-8.

- Liu, H., Wang, H., Zhang, Y., Wang, H., Yang, J., Liu, J. ve Shi, Y. (2019). Comparison of heavy metal accumulation and cadmium phytoextraction rates among ten leading tobacco (*Nicotiana tabacum L.*) cultivars in China. *International Journal of Phytoremediation*, 1–8. doi:10.1080/15226514.2018.1556589.
- Liu, L., Li, W., Song, W. ve Guo, M. (2018). Remediation techniques for heavy metal-contaminated soils: Principles and applicability. *Science of The Total Environment*, 633, 206–219. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.03.161.
- Liu, Z., He, X., Chen, W., Yuan, F., Yan, K., ve Tao, D. (2009). Accumulation and tolerance characteristics of cadmium in a potential hyperaccumulator-*Lonicera japonica* Thunb. *Journal of Hazardous Materials*, 169(1–3), 170–175. doi: doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.03.090
- Lopez, V., Nielsen, B., Solas, M., Ramirez, M. J. ve Jager, A. K. (2017). Exploring Pharmacological Mechanisms of Lavender (*Lavandula angustifolia*) Essential Oil on Central Nervous System Targets. *Frontiers in Pharmacology*, 8. doi:10.3389/fphar.2017.00280.
- Malecka, A., Konkolewska, A., Hanc, A., Baralkiewicz, D., Ciszewska, L., Ratajczak, E., Staszak, A. M., Kmita, H., ve Jarmuszkiewicz, W. (2019). Insight into the phytoremediation capability of *Brassica juncea* (v. Malopolska): Metal accumulation and antioxidant enzyme activity. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(18). doi: doi.org/10.3390/ijms20184355.
- Manivasagaperumal, R., Vijayarengan, P., Balamurugan, S. ve Thiagarajan, G. (2011). Effect of copper on growth, dry matter yield and nutrient content of (*Vigna radiata L.*) Wilczek. *Journal Phytol*, 3(3), 53–62.
- Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants* (2nd ed.), Academic Press, p. 889, San Diego.
- Marschner, H. 2008. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Digital Print. Academic Press., pp. 889
- Sridhar, M. B. B., Diehl, S. V., Han, F. X., Monts, S. L. ve Su, Y. (2004). *Anatomical changes due to uptake and accumulation of Zn and Cd in Indian mustard (Brassica juncea)*, USA.
- McGrath, S. P., Zhao, J. ve Lombi, E. (2002). Phytoremediation of metals, metalloids, and radionuclides. *Advances in Agronomy*, 1–56. doi:10.1016/s0065-2113(02)75002-5.

- Meers, E., Ruttens, A., Hopgood, M., Lesage, E. ve Tack, F. M. G. (2005). Potential of *Brassica rapa*, *Cannabis sativa*, *Helianthus annuus* and *Zea mays* for phytoextraction of heavy metals from calcareous dredged sediment derived soils. *Chemosphere*, 61(4), 561–572. doi: 10.1016/j.chemosphere.2005.02.026.
- Meers, E., Vandecasteele, B., Ruttens, A., Vangronsveld, J. ve Tack, F. M. G. (2007). Potential of five willow species (*Salix spp.*) for phytoextraction of heavy metals. *Environmental and Experimental Botany*, 60(1), 57–68. doi: 10.1016/j.envexpbot.2006.06.008.
- Memon, A., Aktopraklıgil, D., Özdemir, A. ve Vertın, A. (2001). Heavy metal accumulation and detoxification mechanisms in plants. *Turkish Journal of Botany*, 25(3), 111-121.
- Mignardi, S., Corami, A. ve Ferrini, V. (2012). Evaluation of the effectiveness of phosphate treatment for the remediation of mine waste soils contaminated with Cd, Cu, Pb, and Zn. *Chemosphere*, 86(4), 354–360. doi: 10.1016/j.chemosphere.2011.09.050
- Mirsal, I. A. (2004). *Soil Pollution*, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, Germany.
- Moreno, J. L., Hernandez, T. ve Garcia, C. (1999). Effects of a cadmium-contaminated sewage sludge compost on dynamics of organic matter and microbial activity in an arid soil. *Biology and Fertility of Soils*, 28(3), 230–237. doi:10.1007/s003740050487
- 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, Ankara.
- Newman, L. A. ve Reynolds, C. M. (2004). Phytodegradation of organic compounds. *Current Opinion in Biotechnology*, 15(3),225–230. doi: 10.1016/j.copbio.2004.04.006
- Niess, D. H. (1999). Microbial heavy-metal resistance. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 51(6),730–750. doi:10.1007/s002530051457
- Öktaş, T. (2020). Heavy Metal Characterization of Lake Van Sediment Bacteria. *Journal of Natural & Applied Sciences of East* 3(1),1-8.
- Pandey, J., Verma, R. K. ve Singh, S. (2019). Suitability of aromatic plants for phytoremediation of heavy metal contaminated areas: a review. *International Journal of Phytoremediation*, 21(5), 405–418. doi: doi.org/10.1080/15226514.2018.1540546.
- Peuke, A. D. ve Rennenberg, H. (2005). Phytoremediation. *EMBO Reports*, 6(6), 497–501. doi: 10.1038/sj.embor.7400445.

- Phukan, P., Phukan, R. ve Phukan, S. N. (2015). Heavy metal uptake capacity of *Hydrilla verticillata*: a commonly available aquatic plant. *International Research Journal of Environment Sciences*, 4(3), 35–40.
- Prasad, M. N. V. ve Freitas, H. (2003). Metal hyperaccumulation in plants-Biodiversity prospecting for phytoremediation technology. *Electronic Journal of Biotechnology*, 6, 275-321.
- Pivetz, B. E. (2001). Phytoremediation of contaminated soil and ground water at hazardous waste sites. United States Environmental Protection Agency EPA. *Open Journal of Ecology*, 5(8).
- Rabiei, Z., Afieian, M., Mokhtari, S. ve Shahrani, M. (2014). Effect of dietary ethanolic extract of *Lavandula Officinalis* on serum lipids profile in rats. Iran. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 13(4),1295–1301. Doi: 10.22037/IJPR.2014.1586
- Rascio, N. ve 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. doi: 10.1016/j.plantsci.2010.08.016.
- Rahimzadeh, R. M., Kazemi, S. ve Moghadamnia, A. A. (2017). Cadmium toxicity and treatment: An update. *Caspian Journal of Intern Medicine*, 8(3). 135-145. doi: doi.org/10.22088/cjim.8.3.135.
- Reeves, R. D. (2006). *Hyperaccumulation of trace elements by plants. Phytoremediation of Metal-Contaminated Soils* (ed.). New Zealand: Springer, Dordrecht. doi:10.1007/1-4020-4688-x_2.
- Sağlam, M. T. (2012). *Toprak ve Suyun Kimyasal Analiz Yöntemleri*. Namık Kemal Üniversitesi, Yayın No: 2, Tekirdağ.
- Salt, D. E., Smith, R. D. ve Raskin, I. (1998). Phytoremediation. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 49(1), 643–668. doi: 10.1146/annurev.arplant.49.1.643
- Sakouhi, L., Rahoui, S., Ben Massoud, M., Munemasa, S., EL Ferjani, E., Murata, Y. ve Chaoui, A. (2016). Calcium and EGTA alleviate cadmium toxicity in germinating chickpea seeds. *Journal of Plant Growth Regulation*, 35(4), 1064–1073. doi:10.1007/s00344-016-9605-2

- Saxena, G., Purchase, D., Mulla, S. I., Saratale, G. D. ve Bharagava, R. N. (2019). *Phytoremediation of heavy metal-contaminated sites: eco-environmental concerns, field studies, sustainability issues, and future prospects. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. Lucknow, Uttar Pradesh, India. doi:10.1007/398_2019_24.
- Sharma, N. C., Daniel L. S. and Shivendra, V. S. (2007). Phytoextraction of Excess Soil Phosphorus. *Environmental Pollution*. 146,120-127.
- Sgherri, C., Quartacci, M.F., Izzo, R., Navari-Izzo, F. (2002). Relation between lipoic acid and cell redox status in wheat grown in excess copper. *Plant Physiol. Biochem*, 40, 591–597. doi: 10.1016/S0981-9428(02)01421-3.
- Sinha, S., Pandey, K., Gupta, A. K. ve Bhatt, K. (2005). Accumulation of metals in vegetables and crops grown in the area irrigated with river water. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 74(1), 210–218. doi:10.1007/s00128-004-0570-2.
- Simon, L. (2001). Heavy metals, sodium and sulphur in urban topsoils and in the indicator plant chicory (*Cichorium intybus L.*). *Acta Agronom Hung*, 49, 1–13.
- Souza, L. A., Piotto, F. A., Nogueirol, R. C. ve Azevedo, R. A. (2013). Use of non-hyperaccumulator plant species for the phytoextraction of heavy metals using chelating agents. *Scientia Agricola*, 70(4), 290–295. doi:10.1590/S0103-90162013000400010.
- Sönmez, S., Kaplan, M., Sönmez, N. K. ve Kaya, H. (2006). Topraktan yapılan bakır uygulamalarının toprak pH'sı ve bitki besin maddesi içerikleri üzerine etkisi. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(1), 151-158.
- Sun, B., Zhao, F., Lombi, E. ve McGrath, S. (2001). Leaching of heavy metals from contaminated soils using EDTA. *Environmental Pollution*, 113(2), 111–120. doi:10.1016/s0269-7491(00)00176-7.
- Tatu, G. L. A., Vladut, N. V., Voicea, I., Vanghele, N. A. ve Pruteanu, M. A. (2020). Removal of heavy metals from a contaminated soil using phytoremediation. *MATEC Web of Conferences*, 305, 00061. doi:10.1051/mateconf/202030500061.
- Tiller, K. G. (1989). Heavy metals in soils and their environmental significance. *Advances in soil Science*. 9, 113–141.
- Toppi, S. L. ve Gabbrielli, R. (1999). Response to cadmium in higher plants. *Environmental and Experimental Botany*, 41(2), 105–130. doi:10.1016/s0098-8472(98)00058-6.

- Trapp, S. ve Karlson, U. (2001). Aspects of phytoremediation of organic pollutants. *Journal of Soils and Sediments*, 1(1), 37–43. Doi:10.1007/bf02986468
- Tripathi, A. ve Ranjan, R. M. (2015). Heavy metal removal from wastewater using low cost adsorbents. *Journal of Bioremediation & Biodegradation*, 6(6),315. doi:10.4172/2155-6199.1000315.
- Tuncay, H. (1994). Toprak Fiziği Uygulama Kılavuzu. E.Ü. Ziraat fak. Teksir No: 29, İzmir.
- Upton, T. M., Andrews, S. (2004). *The Genus Lavandula, a Botanical Magazine Monograph. Kew: Royal Botanical Gardens, Kew, UK.*
- Uraguchi, S., Mori, S., Kuramata, M., Kawasaki, A., Arao, T., Ishikawa, S. (2009). Root-to-shoot Cd translocation via the xylem is the major process determining shoot and grain cadmium accumulation in rice. *Journal of Experimental Botany*, 60(9), 2677–2688. doi: 10.1093/jxb/erp119. Epub 2009 Apr 28.
- Usman, K., Al-Ghouti, M. A. ve Abu-Dieyh, M. H. (2019). The assessment of cadmium, chromium, copper, and nickel tolerance and bioaccumulation by shrub plant *Tetraena qataranse*. *Scientific Reports*, 9(1). doi:10.1038/s41598-019-42029-9.
- Verma, R. S., Rahman, L. U., Chanotiya, C. S., Verma, R. K., Chauhan, A. ve Yadav, A. (2010). Essential oil composition of *Lavandula angustifolia Mill* Cultivated in the mid hills of Uttarakhand, India. *Journal of Serbian Chemical Society*, 75(3) 343–348.
- Veselo, V. (2003). Effect of cadmium on ion uptake, transpiration and cytokine content in wheat seedlings. *Plant Physiol*, 117, 353- 359.
- Violina, R., Angelova, D.F., Grekov, V.K., Kisyov, K. ve Ivanov, I. (2015). Potential of Lavender (*Lavandula vera L.*) for phytoremediation of soils contaminated with heavy metals. *International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological*, doi: 10.5281/zenodo.1105651.
- Yadav, S. K. (2010). Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione & phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. *South African Journal of Botany*, 76, 167-179
- Yakar, R. (2019). *Tütün çeşitlerinin (Nicotiana tabacum l.) kadmiyum (cd) toksisitesine dayanıklılıklarının belirlenmesi.* (Yüksek Lisans Tezi), Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat.

- Yanai, J., Zhao, F.J., McGrath, S. P. ve Kosaki, T. (2006). Effect of soil characteristics on Cd uptake by the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. *Environmental Pollution*, 139(1), 167–175. doi: 10.1016/j.envpol.2005.03.013.
- Yıldız, S. (2008). *Nişasta sanayi atıksularının bitkisel iyileştirilme (fitoremediasyon) kapasitesine mikorizal simbiyozun etkilerinin araştırılması*. (Yüksek Lisans), Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.
- Zehra, A., Sahito, Z. A., Tong, W., Tang, L., Hamid, Y., Wang, Q., Cao, X., Khana, M. B., Hussaina, B., Jatoid, S. A., Hee, Z. ve Yang, X. (2020). Identification of high cadmium-accumulating oilseed sunflower (*Helianthus annuus*) cultivars for phytoremediation of an Oxisol and an Inceptisol. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 187. doi: 10.1016/j.ecoenv.2019.109857.
- Zeng, X., Xu, H., Lu, J., Chen, Q., Li, W., Wu, L., Tang, J. ve Ma, L. (2020). The immobilization of soil cadmium by the combined amendment of bacteria and hydroxyapatite. *Scientific Reports*, 10(1), 1–8. doi: 10.1038/s41598-020-58259-1.
- Wang, Q. R., Cui, Y. S., Liu, X. M., Dong, Y. T. ve Christie, P. (2003). Soil contamination and plant uptake of heavy metals at polluted sites in China. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 38(5), 823–838.
- Weast, R. C. (1984). *CRC Handbook of Chemistry and Physics* (64th ed.). CRC Press, Boca Raton.
- Woldetsadik, D., Drechsel, P., Keraita, B., Marschner, B., Itanna, F. ve Gebrekidan, H. (2016). Effects of biochar and alkaline amendments on cadmium immobilization, selected nutrient and cadmium concentrations of lettuce (*Lactuca sativa*) in two contrasting soils. *SpringerPlus*, 5(1). doi:10.1186/s40064-016-2019-6.
- Wuana, R. A., Okieimen, F. E. ve Imborvungu, J. A. (2010). Removal of heavy metals from a contaminated soil using organic chelating acids. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 7(3), 485–496. doi:10.1007/bf03326158.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Emel ÇARŞAMBALI

Doğum Yeri : Zonguldak

Doğum Tarihi : 01.05.1995

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi : Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi,
Ziraat Fakültesi,
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, 2018

Yüksek Lisans Öğrenimi : Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi,
Fen Bilimleri Enstitüsü,
Toprak Bilim ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, 2020

Yabancı Diller : İngilizce (Orta Seviye)

Bilgisayar : Word (Yüksek Seviye),
Exel (Orta Seviye),
PowerPoint (Yüksek Seviye)

Ehliyet : A2 ve B Sınıfı

İLETİŞİM

E-posta Adresi : carsambali.emel@gmail.com