

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

**NANE (*Mentha multimentha* L.)'NİN KADMIYUM, KURŞUN TOLERANSI VE
FİTOREMEDİASYON POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Eda BAKAR
DANIŞMAN: Prof. Dr. Füsün GÜLSER

VAN-2020

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

**NANE (*Mentha multimentha* L.)'NİN KADMIYUM, KURŞUN TOLERANSI VE
FİTOREMEDİASYON POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Eda BAKAR

Bu çalışma Van YYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı tarafından 8231 No'lu
proje olarak desteklenmiştir

VAN-2020

KABUL VE ONAY SAYFASI

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı'nda Prof. Dr. Füsun Gülser danışmanlığında, Eda Bakar tarafından sunulan “Nane (*mentha multimentha* L.)’nin Kadmiyum, Kurşun Toleransı ve Fitoremediasyon Potansiyelinin Belirlenmesi” isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği’nin ilgili hükümleri gereğince .../.../..... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile başarılı bulunmuş ve yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Füsun GÜLSER

İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi. Siyami KARACA

İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi. Ferit SÖNMEZ

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .../.../..... tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

İmza

.....
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

(İmza)

(Eda BAKAR)



ÖZET

NANE (*Mentha multimentha* L.)'NİN KADMIYUM, KURŞUN TOLERANSI VE FİTOREMEDİASYON POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ

BAKAR, Eda

Yüksek Lisans, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Füsun GÜLSER

Kasım 2020, 49 sayfa

Bu çalışmada kadmiyum ve kurşun bulaştırılmış topraklarda nane bitkisinin gelişiminin ve topraktan bitkiye ağır metal taşınımının belirlenmesi amaçlanmıştır. Deneme, 3 kg toprak kapasiteli 30 plastik saksıda, tam şansa bağlı deneme desenine göre 3 tekrarlamalı olarak Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümüne ait iklim odasında, kontrollü koşullarda yürütülmüştür. *Mentha multimentha* L. deneme bitkisi olarak kullanılmıştır. Kadmiyum (0, 2.5, 5, 10, 20 mg kg⁻¹) ve kurşun (0, 30, 60, 90, 120 mg kg⁻¹) yetiştirme ortamlarına kadmiyum nitrat (Cd(NO₃)₂) ve kurşun nitrat (Pb(NO₃)₂) formlarında uygulanmıştır. Deneme fide dikimini izleyen 8 hafta sonunda sonlandırılmıştır. Hasat sonrasında bitki boyu, gövde çapı, bitki yaş ve kuru ağırlıkları, yaprak ve dal sayısı, yaprak yüzey alanı, kök boyu, kök çapı, kök yaş ve kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Hasat edilen bitki örneklerinde topraktan bitkiye kadmiyum ve kurşun geçişleri incelenmiştir.

Bu araştırmada artan Cd ve Pb dozlarının bitki ve kök gelişim kriterleri üzerine genellikle olumsuz bir etkisi olmamıştır. En yüksek bitki Cd (116.7), Pb(50.66) alım ortalamaları sırasıyla Cd₄ ve Pb₁ uygulamalarında belirlenmiştir. En yüksek kök Cd (0.621), Pb(0.637) içeriğinde ortalamaları sırasıyla Cd₄ ve Pb₄ uygulamalarında bulunmuştur. En düşük Cd ve Pb içerik ve alım ortalamaları bitki ve kök için kontrol dozlarında belirlenmiştir.

Sonuç olarak nanenin (*Mentha multimentha* L.) hiperakümülatör bitki olduğu ve Cd ve Pb ile kirlenmiş topraklarda hiperakümülatör bitki olarak kullanılabileceği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Ağır metal, Fitoremediasyon, Hiperakümülatör bitkiler, Nane, Tıbbi ve aromatik bitkiler.

ABSTRACT

DETERMINATION OF CADMIUM, LEAD TOLERANCE AND PHYTOREMEDIATION POTENTIAL OF MINT (*Mentha multimentha* L.)

BAKAR, Eda

M. Sc. Thesis, Soil Science and Plant Nutrition

Supervisor: Prof. Dr. Füsün GÜLSER

November 2020, 49 pages

In this study, it was aimed to determine the growth of mint in cadmium, lead tolerance and phytoremediation potential of mint (*Mentha multimentha* L.). The experiment was carried out according to completely randomized experimental design with three replication in 30 plastic pot having 3 kg soil on the chamber room belong Soil Science and Plant Nutrition Department under controlled conditions. *Mentha piperita* L. was used as experimental plant cadmium (0, 2.5, 5, 10, 20 mg kg⁻¹) and lead (0, 30, 60, 90, 120 mg kg⁻¹) were used in cadmium nitrate (Cd(NO₃)₂) and lead nitrate Pb(NO₃)₂) forms. The experiment was ended after eight week following planting seedling. At the end of harvest plant length stem diameter, plant fresh and dry weight, leaf and branch number, leaf surface area, root length, root diameter, root fresh and dry weight were determined. The transfer of cadmium and lead from soil to plant were investigated in harvested plants.

In this research increasing Cd and Pb doses have no negative effects on plant and root growth criteria. The highest plant Cd(116.7) and Pb (50.66) uptaking means were determined in Cd₄ and Pb₁ applications respectively. The highest root Cd(0.621) and Pb(0.637) means were found in Cd₄ and Pb₄ applications respectively. The lowest Cd and Pb content and uptakings means were obtained in control for plant and root. As a result it was determined that mint (*Mentha piperita* L.) is a hyperaccumulator plant and it can be used as hyperaccumulator plant in Cd and Pb contaminated soils.

Keywords: Heavy metals, Hyperaccumulator plants, Medicinal and aromatic plants, Mint, Phytoremediation.



ÖN SÖZ

Günümüzde tıbbi ve aromatik bitkilerin değişik sanayi ve bilim dallarındaki kullanım alanları giderek artmaktadır. Fitoremediasyon yeteneklerinin de yüksek olduğu belirlenen bu bitkilerin topraklarda ağır metal kirliliğinin giderilmesi amacıyla kullanılmasına ilişkin araştırmalar giderek yaygınlaşmaktadır.

Lamiaceae (ballıbabagiller) familyası *Mentha* cinsini oluşturan nane, insan beslenmesi ve sağlığında önemli yer tutan ve sevilerek tüketilen bir tıbbi ve aromatik bitkidir. Bu çalışmada fitoremediasyon amaçlı kullanılacak tıbbi ve aromatik bitki olarak nanenin bu onarım sürecindeki katkıları incelenmiştir.

Günümüzde, ekosistemlerin toprak, su ve hava gibi ortamlarında yaygın bir şekilde birikmeye başlayan ağır metaller, dünya yüzeyindeki tüm organizmaların yaşamını tehdit eden önemli bir çevre sorunu haline almıştır. Ağır metallerden biri olan kadmiyum ve kurşun çeşitli kullanım alanları ile ve çevre kirliliğindeki önemli rolü ile gündeme gelmiş oldukça toksik bir metaldir. Ağır metallerle kirlenmiş toprakların iyileştirilmesi için, kirlenmiş toprakların uzaklaştırılması arazi doldurma ve fitoremediasyon gibi yöntemler kullanılmaktadır. Bu çalışmada, kadmiyum ve kurşun bulaştırılmış ortamda nane (*Mentha multimentha* L.) bitkisinde bitki gelişimi ve nanenin fitoremediasyon potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgileriyle beni yönlendiren, bu tez konusunun belirlenmesi, planlanması, yürütülmesi ve deneme bitkisinin temininde ve çalışmalarımın her aşamasında ilgi ve desteğiyle her zaman yanımda olan, kıymetli tecrübelerinden faydalanırken sabrını ve hoş görüsünü eksik etmeyen, kendisiyle çalışmaktan büyük onur duyduğum değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Füsün GÜLSER'e,

Tez çalışmamın yürütülmesi sırasında bölüm olanaklarından yararlanmamı sağlayan Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölüm Başkanlığı'na ve değerli öğretim üyelerine,

Tüm hayatım boyunca olduğu gibi bu süreçte de benden destek ve yardımlarını esirgemeyen ve her zaman yanımda olan çok kıymetli aileme,

8231 No'lu proje kapsamında maddi desteklerinden dolayı Van Yüzücü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne,

Çalışmam süresince ilgi, sabır, manevi desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarıma teşekkür ederim.

2020
Eda BAKAR



İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|--|-------|
| ÖZET | i |
| ABSTRACT | iii |
| ÖN SÖZ..... | v |
| İÇİNDEKİLER..... | vii |
| ÇİZELGELER LİSTESİ | ix |
| ŞEKİLLER LİSTESİ..... | xi |
| SİMGELER VE KISALTMALAR | xiii |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 1.1. Fitoremediasyon ve Uygulamaları..... | 9 |
| 1.1.1. Fitoremediasyon tipleri | 10 |
| 1.1.1.1. Fitoekstraksiyon (bitkisel özümleme)..... | 10 |
| 1.1.1.2. Rizofiltrasyon (köklerle süzme)..... | 11 |
| 1.1.1.3. Fitostabilizasyon (köklerle sabitleme)..... | 11 |
| 1.1.1.4. Fitovolatilizasyon (bitkisel buharlaştırma) | 11 |
| 1.1.1.5. Fitotransformasyon-fitodegradasyon (bitkilerde bozunum) | 12 |
| 1.1.1.6. Rizodegradasyon (köklerle bozunum)..... | 12 |
| 1.1.1.7. Hidrolik kontrol | 12 |
| 1.1.1.8. Vegetatif örtü sistemleri..... | 13 |
| 1.1.1.9. Kıyı tampon şeritleri | 13 |
| 1.1.2. Fitoremediasyon tekniklerinde artık bitkisel malzemenin nihai giderim yolları | 14 |
| 2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ | 15 |
| 3. MATERYAL YÖNTEM..... | 19 |
| 3.1. Materyal | 19 |
| 3.2. Yöntem..... | 19 |
| 3.2.1. Deneme planı | 19 |
| 3.2.2. Bitki örneklerindeki fiziksel ölçümler | 23 |
| 3.2.2.1. Bitki boyu ve çapının belirlenmesi | 23 |
| 3.2.2.2. Bitki yaş ve kuru ağırlıkların belirlenmesi | 23 |
| 3.2.2.3. Yaprak alanının belirlenmesi | 23 |
| 3.2.2.4. Yaprak ve dal sayısı belirlenmesi | 23 |

| | Sayfa |
|---|--------------|
| 3.2.2.5. Kök yaş ve kuru ağırlıkların belirlenmesi..... | 23 |
| 3.2.2.6. Kök boyu ve çapının belirlenmesi | 23 |
| 3.2.3. Bitki örneklerinde kimyasal analizler | 24 |
| 3.2.3.1. Kadmiyum ve kurşun içeriğinin belirlenmesi..... | 24 |
| 3.2.4. Toprak örneklerindeki fiziksel ve kimyasal analizler | 24 |
| 3.2.4.1. Toprak tekstürü | 24 |
| 3.2.4.2. Toprak reaksiyonu | 24 |
| 3.2.4.3. Tuz içeriği | 24 |
| 3.2.4.4. Organik madde içeriği | 24 |
| 3.2.4.5. Kireç içeriği | 24 |
| 3.2.4.6. Yarayışlı fosfor | 25 |
| 3.2.4.7. Değişebilir katyonlar..... | 25 |
| 3.3. İstatistiksel Analizler | 25 |
| 4. BULGULAR VE TARTIŞMA..... | 27 |
| 5. SONUÇ..... | 39 |
| KAYNAKLAR..... | 41 |
| ÖZ GEÇMİŞ..... | 49 |

ÇİZELGELER LİSTESİ

| Çizelge | Sayfa |
|---|-------|
| Çizelge 1.1. Önemli Ağır Metallerin Ekolojik Sınıflaması..... | 4 |
| Çizelge 1.2. Yaygın ağır metallerin insan sağlığı üzerindeki etkileri | 6 |
| Çizelge 3.1. Denemede kadmiyum ve kurşun 4 farklı dozda uygulanması..... | 20 |
| Çizelge 4.1. Deneme toprağına ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri | 27 |
| Çizelge 4.2. Farklı dozlarda kadmiyum uygulamalarının bitki boyuna, bitki yaş ve kuru ağırlığına, gövde çapına etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları..... | 27 |
| Çizelge 4.3. Farklı dozlarda kadmiyum uygulamalarının bitki gelişim kriterlerine etkisi..... | 27 |
| Çizelge 4.4. Farklı dozlarda kadmiyum uygulamalarının kök boyuna, kök yaş ve kuru ağırlığına, kök çapına etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları | 28 |
| Çizelge 4.5. Farklı dozlarda kadmiyum uygulamalarının kök gelişim kriterlerine etkisi..... | 29 |
| Çizelge 4.6. Farklı dozlarda kadmiyum uygulamalarının yaprak sayısı, dal sayısı ve yaprak yüzey alanına etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları..... | 30 |
| Çizelge 4.7. Farklı dozlarda Cd uygulamalarının dal sayısı, yaprak sayısı ve yaprak yüzey alanına etkileri | 30 |
| Çizelge 4.8. Farklı uygulamaların bitki de Cd içeriğı ve alımı, kök de Cd içeriğı ve alımına etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları..... | 31 |
| Çizelge 4.9. Farklı dozlarda Cd uygulamaların bitkide ve kökte kadmiyum içerik ve alımına etkileri | 31 |
| Çizelge 4.10. Farklı dozlarda kurşun uygulamalarının bitki boyuna, bitki yaş ve kuru ağırlığına, gövde çapına etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları..... | 32 |
| Çizelge 4.11. Farklı dozlarda kurşun uygulamalarının bitki gelişim kriterlerine etkisi..... | 32 |
| Çizelge 4.12. Farklı dozlarda kurşun uygulamalarının kök boyuna, kök yaş ve kuru ağırlığına, kök çapına etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları..... | 33 |
| Çizelge 4.13. Farklı dozlarda Pb uygulamalarının kök gelişim kriterlerine etkisi..... | 33 |

| Çizelge | Sayfa |
|--|--------------|
| Çizelge 4.14. Farklı dozlarda kurşun uygulamalarının yaprak sayısı, dal sayısı ve yaprak yüzey alanına etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları | 34 |
| Çizelge 4.15. Farklı dozlarda kurşun uygulamalarının dal sayısı, yaprak sayısı ve yaprak yüzey alanına etkisi..... | 34 |
| Çizelge 4.16. Farklı uygulamaların bitki de Pb içerik ve alımı, kök Pb içerik ve alımına etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları | 35 |
| Çizelge 4.17. Farklı dozlarda Pb uygulamalarının bitkide ve kökte kurşun içerik ve alımına etkileri | 35 |



ŞEKİLLER LİSTESİ

| Şekil | | Sayfa |
|------------|---|-------|
| Şekil 3.1. | Deneme fidelerinin dikildiği günden genel bir görünüm..... | 20 |
| Şekil 3.2. | Deneme deseninin hasattan önce genel bir görünümü | 20 |
| Şekil 3.3. | Kadmiyum uygulanan bitkilerin genel görünümü | 21 |
| Şekil 3.4. | Kurşun uygulanan bitkilerin genel görünümü..... | 21 |
| Şekil 3.5. | Kontrol ve kadmiyum dozlarının genel görünümü | 22 |
| Şekil 3.6. | Kontrol ve kurşun dozlarının genel görünümü | 22 |
| Şekil 4.1. | Farklı Cd ve Pb dozlarının bitki gelişim kriterlerine etkisi..... | 28 |
| Şekil 4.2. | Farklı Cd ve Pb dozlarının kök gelişim kriterlerine etkisi. | 29 |
| Şekil 4.3. | Farklı Cd ve Pb dozlarının yaprak sayısı, dal sayısı ve yaprak alanına etkisi. | 30 |
| Şekil 4.4. | Farklı Cd ve Pb uygulamalarında sürgün ve köklerin Cd ile Pb içeriği ve alımı..... | 32 |



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklama

%

Yüzde

°C

Santigrad Derece

$\mu\text{g g}^{-1}$

Milyonda bir kısım

μg

Mikrogram

μM

Mikromolar

cm

Santimetre

g

Gram

g L^{-1}

Binde bir kısım

kg

Kilogram

mg

Miligram

mg kg^{-1}

Milyonda bir kısım

mm

Milimetre

Ppm

Milyonda bir kısım

Kısaltmalar

Açıklama

Ag

Gümüş

Ca

Kalsiyum

Cd

Kadmiyum

Co

Kobalt

Cu

Bakır

EPA

United States Environmental Protection Agency

Fe

Demir

Hg

Cıva

Kısaltmalar**Açıklama**

| | |
|-----------|-----------|
| K | Potasyum |
| Mg | Magnezyum |
| Mn | Mangan |
| Mo | Molibden |
| N | Azot |
| Ni | Nikel |
| P | Fosfor |
| Pt | Platin |
| Sn | Kalay |
| Ti | Titanyum |
| Tl | Talyum |
| V | Vanadyum |
| W | Tungsten |
| Zn | Çinko |

1. GİRİŞ

Son yıllarda nüfusun giderek artması sanayinin hızlanması ve modern tarıma geçilmesi tüm ekolojik dengeleri etkilemekte ve buna bağlı çevresel sorunlar ortaya çıkmaktadır. Toprak, hava, su önemli çere bileşenlerindedir. Toprak kirliliği, yirminci yüzyılın başlarından itibaren gelişmiş ve gelişmekte olan ülke toplumlarının üzerinde odaklandığı önemli bir çevre sorunudur.

Tarımsal faaliyetler sonucunda elde edilecek ürünün miktarının artırılması amacıyla aşırı miktarda kimyasal gübreler, pestisitler, hormonlar, toprak düzenleyiciler, arıtma çamurları ve sulama suyu olarak atık sular kullanılmaya başlanmıştır. Bu uygulamalar ile belirli miktarlarda ağır metallerde toprağa ilave edilmektedir. Ayrıca maden yatakları ve endüstriyel fabrika ürünleri doğrudan ya da dolaylı olarak topraklara ağır metal yüklemekte ve toprakları kirletmektedir.

Son yıllarda gelişmekte olan ülkelerde tarım alanında çok büyük ilerlemeler olmasına rağmen, dünyada iyi beslenme sınırı altında kalan insanların sayısı gün geçtikçe artmaktadır.

Topraktaki hareketleri sınırlı olan ağır elementler zaman içinde toprakta birikerek tarım arazilerinin verimli ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılabilirliklerini daraltmaktadır.

Topraklarda yüksek konsantrasyonlar da bulunan ağır metaller toprağın fiziksel ve kimyasal yapısının bozulmasına, yetiştirilen ürününün verim ve kalitesinin düşmesine neden olarak (Long ve ark., 2002) insanların ve diğer canlıların olumsuz olarak etkilenmesine sebep olmaktadır (Blaylock ve Huang, 2000).

Artan dünya nüfusunun ihtiyaçlarını gidermek amacı ile besin üretimindeki temel artış, beslenmenin devam ettirilebilirliği bakımından tüm ülkelerin temel hedefi haline gelmiştir. Dünyadaki tarım arazilerin sınırlı olması ve giderek tarım dışı kullanımlarla azalması sebebi ile ağır metaller ile kirlenmiş arazilerin ıslah edilerek tarıma tekrar kazandırılması oldukça önemlidir.

Ağır metaller topraklarda kendi kendilerine yıkıma uğrayamazlar, bu sebep ile de kirlenmiş bir araziden ancak bu amaç ile geliştirilmiş özel yöntemler kullanılarak uzaklaştırılabilirler.

Ağır metallerin topraktaki yoğun konsantrasyonları toksik etki yapmaktadır. Kirliliğe maruz toprakların arındırılmasın da birçok fiziksel, kimyasal, termal ve biyolojik süreçlerin bulunduğu metotlar kullanılmaktadır. Bu metotları genel olarak, mekanik ayırma, elektrokinetik immobilizasyon, su/sıvı ile yıkama, pirometalurjik, izolasyon ve fitoremediasyon teknolojileridir.

Ülkemizde son dönemlerde, Avrupa Birliği uyum sürecinde çevre kirliliğine karşı alınan önlemler artırılmıştır. Günümüzde kullanılan arıtım teknolojileri ülkemiz gibi gelişmekte olan ülkelerde fazla miktarda kurulum ve işletim maliyetleri gerektirmektedir. Fitoremediasyon yöntemi ise diğer yöntemlere göre daha ucuz oluşu ve ekolojik uygunluğu açılardan umut verici bir teknolojidir.

Bazı bitkilerin metal elementlerini bünyelerinde biriktirme özelliklerinin bulunduğu 1980'li yılların başında keşfedilmiştir. Bu bitkilerin ağır metallere kirlenmiş toprak ve su arıtımında kullanılabilirliğinin mümkün olduğunun anlaşılması ile bitkilerle uzaklaştırma hızla gelişen bir teknoloji olmuştur.

Fitoremediasyon teknolojisinde, genel olarak toprakta bulunan metal iyonlarını, hasat edilebilen kısımlarına köklerine veya gövdelerine taşıyabilen ve bu kısımlarına depo edebilen hiperakümülatör bitkiler kullanılmaktadır.

Toprak üstü aksamalarında topraktaki metal konsantrasyonundan 50-500 kat daha fazla metal biriktirebilen bitkilerdir (Clemens, 2006). Hiperakümülatör bitkiler ağır metalleri herhangi bir toksisite semptomu göstermeksizin toprak üstü organlarında diğer bitki türlerine göre 100-1000 kat daha fazla biriktirebilmektedir (Brooks, 1998). Yaklaşık 450 bitki türü (angiospermlerin sadece %0,2'si) hiperakümülatör olarak tanımlanmıştır (Reeves, 2006). Asteraceae, Brassicaceae, Fabaceae, Lamiaceae, Scrophulariaceae, Euphorbiaceae bu özelliğe sahip familyalardan sadece birkaçıdır (Assuncao ve ark., 2003).

Hiperakümülatör bitkiler ağır metalleri hücre zarlarındaki taşıyıcı proteinler yoluyla alırlar. Bu taşıyıcı proteinler, bitkilerin mineralleri kökleri yoluyla içeri almasını sağlarlar.

Ağır metallere dirençli bitkilerde, ağır metallere bitki içinde küçük peptidlere bağlanıp kofullarda depo edilirler ve bu şekilde bitkiye zarar vermezler (Işık, 2004). Ağır metallerin bitkilerde birikimi ve organlarda dağılımı bitkinin ve elementin türüne, kimyasal ve biyolojik aktiviteye, oksidasyon-redüksiyon potansiyeline, pH değerine,

katyon değişim kapasitesine, oksijenin çözümlenmesine, ısıya ve köklerin salgı yeteneğine bağlıdır (Sharma ve ark., 2005).

Amaç bu araştırmada hiperakümülatör bitki olarak tıbbi ve aromatik bitki arasında yer alan nane (*mentha multimentha* L.)'nin akimülasyon potansiyeli ve fitoremediasyon yeteneğinin belirlenmesidir.

Takım: Tubiflorales

Familya: Lamiaceae

Mentha multimentha L. (Bahçe nanesi, tıbbi nane)

Nane (*Mentha multimentha* L), Güney Avrupa kökenli çok yıllık otsu, 30-100 cm boylanabilen, tüyüz ve karşılıklı dalları birbirine dik bir bitkidir. İklim ve toprak istekleriyle seçici olmayan nane bitkisi Lamiaceae (Ballıbabagiller) familyasına ait bir türdür. Çiçekli dalları ve yapraklarından elde edilen uçucu esansiyel yağı ilaç, gıda ve kozmetik sanayinde kullanılmaktadır (Tanker ve Tanker, 1976; Özgüven ve Kırıcı, 1999). Yapılan birçok araştırmalar sonucunda (Zheljavkov ve Nielsen, 1993) şiddetli toprak ve hava kirliliğinin olduğu bölgelerde esansiyel yağ bitkileri, verimin çok düşmemesi kaydı ile yetiştirilebildiği bildirilmiştir.

Ağır metaller, periyodik cetvelin geçiş elementleri grubunda bulunurlar. Bu gruba kurşun, kadmiyum, krom, demir, kobalt, bakır, nikel, çinko, molibden, vanadyum, alüminyum, arsenik, kalay ve mangan olmak üzere 60'dan fazla metal dâhildir.

Endüstrinin gelişmesi çevreye ve canlı ekosistemlere ağır metal salınımını artırmış, canlılar üzerinde olumsuz etkiler bırakmıştır.

Yoğunluğu 5 g/cm³'ten büyük olan veya atom ağırlığı 50 ve daha büyük olan elementlerdir. Bakır (Cu), Demir (Fe), Çinko (Zn), Kurşun (Pb), Civa (Hg), Kobalt (Co), Krom (Cr), Nikel (Ni) ve Kadmiyum (Cd) ve Antimon (Sb) ağır metallere örnek olarak verilebilir (Özdemir 1981), ağır metaller yer kabuğunda doğal olarak bulunan bileşiklerdir, bozulmazlar ve yok edilemezler. Yüksek konsantrasyonlarda toksik olabilirler ve zehirlenme etkisi gösterebilirler. Ağır metaller biyobirikime yol açtığından oldukça tehlikeli maddelerdir (Anonim, 2018).

Bu elementler, doğaları gereği yer kürede genellikle kararlı bileşikleri olan karbonatları, oksitleri, silikatları ve sülfürleri şeklinde veya silikatlar içerisine hapsedilmiş halde bulunurlar. Bu metallerin yoğunluk değerleri kullanılarak ekolojik

sistem üzerindeki etkileri tahmin edilemeye çalışılmış fakat, metallerin yoğunluk değerleri ile biyolojik etkileri arasında tam bir korelasyon bulunamamıştır (Yücel, 2010).

Ağır metaller biyolojik sistemlerdeki işlevlerine göre, gerekli olanlar ve gereksiz olanlar olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Canlıların yaşamlarını devam ettirebilmeleri için belirli düzeylerde ihtiyaç duydukları ağır metallere, gerekli ağır metaller denir. Canlıların yaşamlarını devam ettirebilmeleri için ihtiyaç duymadıkları ağır metallere ise, gereksiz ağır metaller denir. Gerekli ve gereksiz olan bazı önemli ağır metaller Çizelge 1.1’de sınıflandırılmıştır (Gohre ve Paszkowski, 2006; Sanchez-Chardi ve ark., 2009).

Çizelge 1.1. Önemli Ağır Metallerin Ekolojik Sınıflaması (Çay 2014)

| Element | Özgül Ağırlık(gcm ⁻³) | Canlı için gereklilik | Kirletici olup olmadığı | Element | Özgül Ağırlık(gcm ⁻³) | Canlı için gereklilik | Kirletici olup olmadığı |
|---------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Ag | 10,5 | - | K | Mo | 10,2 | G | K |
| Cd | 8,7 | - | K | Ni | 8,9 | G | K |
| Ct | 7,2 | G | K | Pt | 21,5 | - | - |
| Co | 9,0 | G | K | Tl | 11,9 | - | K |
| Cu | 8,9 | G | K | Sn | 7,3 | - | K |
| Fe | 7,9 | G | K | U | 19,1 | G | K |
| Hg | 13,6 | - | K | V | 6,1 | G | K |
| Mn | 7,4 | G | - | W | 19,3 | G | K |
| Pb | 11,3 | - | K | Zn | 7,1 | G | K |

G: Gerekli, K: Kirletici

Endüstrinin gelişmesi çevreye ve canlı ekosistemlere ağır metal salınımını artırmış, canlılar üzerinde olumsuz etkiler bırakmıştır. Ağır metaller biyobirikime yol açtığından oldukça tehlikeli maddelerdir. Bu kirleticilerin topraktaki ve canlı organizmadaki birikiminin etkileri (akut) hemen görülmeyebilir. Bu yüzden ağır metal birikiminin yakından takip edilmesi gerekmektedir. Birçok endüstrileşmiş ülkede bu takip çok sayıda farklı izleme programları kullanılarak yapılmaktadır. Son yıllarda, daha ekonomik olan ve geniş alanlarda ağır metal kirliliğinin düzeyi hakkında bilgi veren biyomonitör canlıların kullanıldığı alternatif araştırmalara hız verilmiştir. Biyobirikim, zaman içerisinde organizmalardaki kimyasal konsantrasyonun o kimyasalın doğadaki konsantrasyonu ile karşılaştırıldığında artması demektir (Anonim, 2018).

Ağır metaller, bitkilerde depolanmakta ve enzimler ile beraber birçok yaşamsal faaliyetleri düzenlemektedirler. Ağır metallerin toksik ve dolayısı ile zehirleyici etkilerine ekosistemi kirletmekte ve insan sağlığını da tehlikeye sokmaktadır. Doğada bulunan ağır metallerin besin zincirine katılan canlıların bünyelerinde biyolojik olarak birikme eğiliminde olmaları ve zehirlilik etkilerinden dolayı bitki, hayvan ve insan yaşamı açısından büyük bir tehdit haline gelmektedir (Horsfall ark., 2005).

Ağır metaller çevreye yayıldıkça, ortamdaki derişimlerine bağlı olarak bitkilerde, hayvanlarda ve insanlarda şiddetli rahatsızlıklara neden olurlar. Ağır metallerin ve metal içeren bileşiklerin (metaloid) birçoğu zehirlidir, bu nedenle de çok küçük derişimler de dahi istenmeyen etkilere ve sorunlara neden olabilirler (Kara, 2005; Arora ve ark., 2008). Bu kirleticilerin topraktaki ve canlı organizmalardaki birikiminin etkileri hemen (akut) görülemeyebilir. Bu yüzden ağır metal birikiminin yakından takip edilmesi gerekmektedir. Birçok endüstrileşmiş ülkede bu takip çok sayıda farklı izleme programları kullanılarak yapılmaktadır. Son yıllarda, daha ekonomik olan ve geniş alanlarda ağır metal kirliliğinin düzeyi hakkında bilgi veren biyomonitör canlıların kullanıldığı alternatif araştırmalara hız verilmiştir.

Ağır metaller serbest radikal formlarıyla da oksidadif strese neden olabilirler (Mudipalli, 2008). Serbest radikaller (reaktif oksijen türleri) kararsız bir yapıdadırlar ve kararlı hale geçmek için hücelere saldırarak hasar oluştururlar (Krystofova ve ark., 2009). Daha ileri safhalarda, pigmentlerdeki ve enzimlerdeki temel elementlerin yerine geçerek, bu maddelerin biyolojik görevlerini yapmalarını engellerler. Çevrede yaygın olarak bulunan ağır metaller ve insan sağlığı üzerindeki olası zararlı etkileri (kronik) izelge 1.2'de verilmiştir (Ali ve ark., 2013).

Çizelge 1.2. Yaygın ağır metallerin insan sağlığı üzerindeki etkileri (Çay 2014)

| Ağır Metaller | Zararlı Etkileri | Kaynaklar |
|---------------|--|--------------------------------|
| Cu | Belirli seviyelerin üzerinde, karaciğerde tahribat yapar. Ayrıca; beyin ve böbrek hasarına, mide ve bağırsak ağrısına, böbrek rahatsızlıklarına ve anemiye neden olabilir. | Cay ve ark. (2004) |
| Zn | Yüksek dozlarda baş dönmesi ve yorgunluğa neden olabilir. | Hess ve Schmid (2002) |
| Cd | Kanserojen, mutajenik ve teratojenik etki gösterir. Hormonal dengeyi bozar. Biyolojik sistemlerde kalsiyum dengesine müdahale ederek, böbrek yetmezliğine ve kronik anemiye neden olur. | Awofolu (2005) |
| Ni | Nikel kaşıntısı olarak bilinen alerjik rahatsızlığa, burun, sinüslerde, boğaz ve midede kansere, saç dökülmesine neden olabilir. Hematotoksik, immunotoksik, nörotoksik, genotoksik, nefrotoksik ve hepatotoksik özelliindedir. | Duda-Chodak ve Baszczyk (2008) |
| Pb | Özellikle çocuklarda gelişim bozukluklarına, zeka geriliğine, kısa dönem hafıza kaybına, koordinasyon problemlerine neden olur. Böbrek yetmezliği, kardiyovasküler hastalıklar için risk oluşturmaktadır. | Iqbal (2012) |
| As | Genellikle arsenat formunda, oksidatif fosforilasyon ve ATP sentezi gibi hücrenin yaşamsal süreçlerini olumsuz etkiler. | Tripathi ve ark. (2007) |
| Hg | Denge problemi, depresyon, kaygı, yorgunluk, saç dökülmesi, uykusuzluk, sinirlilik, hafıza kaybı, görme bozuklukları, ülser, beyin hasarları, böbrek ve akciğer rahatsızlıklarına neden olur. | Ainza ve ark. (2010) |
| Cr | Burun kanaması ve yaraları, akciğer hasarı ve kanser dışındaki akciğer hastalıklarında artışa neden olabilir. Sindirim yoluyla yüksek düzeylerde alınırsa mide şikâyetlerine ve ülser, böbrek ve karaciğer hastalıklarına, hatta ölüme neden olabilir. Saç dökülmesine neden olur. | Kalve ve ark. (2011) |

Kadmiyum atom numarası 48, atom ağırlığı 112,411 g ve periyodik tabloda IIB grubu elementidir. Kadmiyum nispeten nadir bir elementtir ve doğada saf olarak bulunmaz. Önemli bir kirletici olmasının nedeni, çok düşük dozlarda bile toksik olması ve biyolojik yarı ömrünün uzun olmasıdır (Goyer, 1991; Lyons ve ark., 1996). Kadmiyum (Cd) gümüş beyazı renginde bir metaldir. Havada hızla kadmiyum oksite dönüşür. Kadmiyum suda çözünme özelliği en yüksek olan elementtir. Kadmiyum sülfat, kadmiyum nitrat, kadmiyum klorür gibi inorganik tuzları suda çözünür. Kadmiyum ilk kez 1817'de Almanya'da çinkonun saflaştırılması sırasında elde edilen bir metaldir. Çinko üretimi sürecinde doğaya salıncaya kadar havaya, yiyeceklere ve suya doğal yollardan önemli miktarlarda karışmamaktadır. Ancak günümüzde kadmiyum da çevre kirliliğine sebep olan ağır metaller arasında yerini almıştır.

Kadmiyum bileşikleri; metallerin kaplanması, bakır gibi diğer metal alaşımlarında, alkali bataryalarında, plastiklerde stabilizer veya pigment olarak kullanılmaktadır. Kadmiyum kirliliğinin başlıca kaynakları lastik aşınması ve dizel

yağlardır. Kadmiyum empürite olarak fosfatlı gübrelerde, deterjanlarda ve rafine petrol türevlerinde bulunmaktadır. Bunların çok yaygın kullanımı sonucunda da önemli miktarda kadmiyum kirliliği ortaya çıkmaktadır. Kadmiyum içeren madde veya eşyaların çevreye atılması ve kadmiyumun kullanımı sırasında yapılan aktiviteler de atmosferik kadmiyum kirliliğini meydana getirir (EPA, 1987). Kadmiyum bitki yaşamında daha çok toksik etkileri ile bilinen bir elementtir (Jiang ve Li 1989; Çatak ve ark., 2000). Bitki yaşamını etkileyen en önemli kadmiyum kaynakları; su boruları, fosil yakıt kullanımı, kullanılan gübreler ve endüstriyel üretim aşamalarında oluşan baca gazlarıdır (Kahvecioğlu ve ark., 2007).

Kadmiyumun tarım topraklarına girişi ve yayılması endüstriyel faaliyetler, fosforlu gübreler, lağım atıkları ve atmosferik depositler yoluyla olmaktadır (Haktanır, 1987). Kadmiyum, toprakta bulunan organik maddelere karşı duyarlı ve toprağın oluşumunun ileri kademelerinde topraktaki miktarı artmaktadır. Toprakta 3 mg kg^{-1} , bitki kuru maddesinde ise 1 mg kg^{-1} 'dan fazla kadmiyum toksik etkilidir (Özbek ve ark., 1995). Bitkilerde en fazla yaprakta en az kökte birikim gösterir (Benavides vd., 2005). Bitki ve topraklara ulaşan kadmiyumun büyük kısmı kadmiyum içeren toz zerreciklerinin havadan çökmesi yolu ile olmaktadır. Trafiğin yoğun olduğu alanlardaki yol kenarlarındaki topraklarda toz çökmesi ile yılda m^2 'ye $0.2\text{-}1.0 \text{ mg}$ kadmiyum ilavesinin olduğu ölçülmüştür (Haktanır, 1987).

Kadmiyumun doğada yayınımlı yüksektir ve insan yaşamı için gerekli elementlerden değildir. İnsan vücudundaki Cd seviyesi ilerleyen yaşlarla beraber artış gösterir ve genellikle 50'li yaşlarda maksimum seviyesine ulaştıktan sonra azalmaya başlar. Kadmiyum içeriği $0,01 \text{ mg/m}^3$ havanın 14 günden daha fazla solunması durumunda kronik akciğer rahatsızlıkları ve böbrek yetmezliği ortaya çıkar. Kısa süreli olarak $0,05 \text{ mg kg}^{-1}$ kadmiyum alınımı mide rahatsızlıklarına neden olurken, uzun süreli (>14 gün) $0,005 \text{ mg/kg/gün}$ dozu böbrek ve kemiklerde önemli problemlere neden olmaktadır (EPA).

Kurşun atom numarası 82, atom ağırlığı $207,2 \text{ g}$ ve periyodik cetvelde IVA elementidir. Günümüzde topraktaki en önemli kurşun kaynağı petrol ürünleridir. Topraklarda kurşun, kalsiyum iyonları ile yer değiştirerek kurşunun toprakta tutulmasına yol açmaktadır. İnorganik kurşun tohum ve köklerde çok fazla birikmeye neden

olmamaktadır. Organik kurşun ise bitkiler tarafından hızla alınmaktadır (Kabata-Pendias ve Mukherjee, 2007).

Kurşun toprak organik maddesine sıkıca bağlanmaktadır. Genellikle kurşun toprağın üst katmanlarında bulunmaktadır. Bu nedenle bitkiler tarafından kolaylıkla alınabilir. Ağaçlarda ve dikenli-tüylü yapraklı, otsu bitkilerde diğer bitkilerden daha fazla birikim göstermektedir. En çok köklerde birikim gösterir. Bunu yaprak, gövde ve meyve izlemektedir (EPA, 1987; Sharma ve Dubey 2005; Peng vd., 2005).

Kurşun, endüstriyel ve tarımsal faaliyetlerde yaygın olarak kullanılması nedeniyle çevrede sık rastlanılan bir elementtir. Otomobil endüstrisi, batarya ve benzin katkısı olarak tetraetil ve tetrametil olarak kullanılmasının yanı sıra kurşun içeren pestisidlerin kullanılmasıyla da topraklara ulaşabilmektedir. Kurşun elementi bitkiler için mutlak gerekli olmayıp, toprakta 15-40 mg kg⁻¹ dozunda bulunabilmekte ve topraktaki kurşun konsantrasyonu 150 mg kg⁻¹'i geçmediği sürece insan ve bitki sağlığı açısından tehlike oluşturmamaktadır. Ancak 300 mg kg⁻¹'i aştığında potansiyel olarak insan sağlığı açısından tehlikelidir (Dürüst ve ark., 2004).

Kurşun elementi, hücre turgoru ve hücre duvarı stabilitesini olumsuz etkilemesi, stoma hareketlerini ve yaprak alanını azaltması nedeniyle bitki su rejimini etkilemektedir. Aynı zamanda kökler tarafından tutulması ve kök gelişimini azaltması nedeniyle bitkilerin katyon ve anyon alımını azaltmakta dolayısıyla besin alımını etkilemektedir (Sharma ve Dubey, 2005).

Ağır Metal-Bitki İlişkileri:

Bitkiler, ağır metallere olan tepkileri bakımından üç ana grupta toplanabilir (Baker ve ark., 1990):

a. Metal dışlayıcılar: Toprak üstü kısımlarına metal almayan fakat yüksek miktarlarda köklerinde biriktirebilen bitkilerdir.

b. Metal indikatörleri: Toprak üstü kısımlarında topraktaki ağır metal seviyesi kadarını bünyesine alan indikatör bitkilerdir.

c. Akümülatörler: Toprak üstü kısımlarında topraktaki metal seviyesinden daha fazlasını biriktiren dolayısı ile ağır metal kirliliğinin temizlenmesinde (fitoremediasyon) kullanılan hiperakümülatör bitkilerdir.

Toprak üstü aksamalarında topraktaki metal konsantrasyonundan 50-500 kat daha fazla metal biriktirebilen bitkiler hiperakümülatör olarak adlandırılmaktadır (Clemens,

2006). Diğer bir ifadeyle, hiperakümülatör bitkiler ağır metalleri herhangi bir toksisite semptomu göstermeksizin toprak üstü organlarında diğer bitki türlerine göre 100-1000 kat daha fazla biriktirebilmektedir (Brooks, 1998). Yaklaşık 450 bitki türü (angiospermelerin sadece %0.2'si) hiperakümülatör olarak tanımlanmıştır (Reeves, 2006). Asteraceae, Brassicaceae, Fabaceae, Lamiaceae, Scrophulariaceae, Euphorbiaceae bu özelliğe sahip familyalardan sadece birkaçıdır (Assuncao ve ark., 2003).

Ağır metallere dirençli bitkilerde, ağır metaller bitki içinde küçük peptidlere bağlanıp kofullarda depo edilirler ve bu şekilde bitkiye zarar vermezler (Işık, 2004). Ağır metallerin bitkilerde birikimi ve organlarda dağılımı bitkinin ve elementin türüne, kimyasal ve biyolojik aktiviteye, oksidasyon-redüksiyon potansiyeline, pH değerine, kation değişim kapasitesine, oksijenin çözülmesine, ısıya ve köklerin salgı yeteneğine bağlıdır (Sharma ve ark., 2005).

Hiperakümülatör bitkiler ağır metalleri hücre zarlarındaki taşıyıcı proteinler yoluyla alırlar. Bu taşıyıcı proteinler, bitkilerin mineralleri kökleri yoluyla içeri almasını sağlayan ya da mineral iyonlarını kofullarda biriktiren taşıyıcılara benzerler. Bu bitkilerdeki taşıyıcı proteinler ağır metallerin taşınımını gerçekleştirecek şekilde, diğer bitkilere göre değişikliğe uğramışlardır. Değişikliğe uğramış taşıyıcı proteinleri kullanarak *Thlaspi caerulescens* bitkisi, kuru ağırlığının %3'ü oranında çinkoyu, hiçbir zehirlenme belirtisi göstermeksizin depolayabilir. Bir eğrelti türü (*Pteris vittata*), toprakta bulunanın 100 katı kadar arseniği, kendi dokuları içinde biriktirebilir. Metal depolayan bitkiler hasat edilerek metaller geri kazanılabilir ya da böyle bitkiler görevlerini yaptıktan sonra toksik atıklar için ayrılmış depolama alanlarına gömülebilirler (Işık, 2004).

1.1. Fitoremediasyon ve Uygulamaları

Çevre kirliliği tarım ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etki yaratan önemli bir çevre sorundur. Toksik elementlerin uzaklaştırılması ve parçalanması için kullanılan tekniklerden biri olan fitoremediasyon teknolojisinin gün geçtikçe popülaritesi artmaktadır. Bazı bitkiler metal detoksifikasyonu ile ilgili bazı mekanizmalara sahip olup, metal stresi altında bile canlılığını sürdürebilmektedir. Hiperakümülatör bitkiler yüksek konsantrasyonlarda metal iyonlarını bünyelerinde barındırmakta ve detoksifiye

edebilmektedir. Son zamanlarda kullanılan fizikokimyasal arıtma tekniklerinin çoğu aşırı derecede kirlenmiş suların yerinde veya başka bir yerde gerçekleştirilen arıtımlarında yararlanılan ana yöntemler olup, düşük kirletici içeriğine sahip ve kirleticilerin yapay ve dağınık olarak bulunduğu geniş kirletilmiş alanların iyileştirilmesi için yeterince uygun olmayan tekniklerdir (Rulkens ve ark., 1998). Bitki ile iyileştirme çalışmalarında kontamine olmuş alanların genişliği veya dağınıklığı dezavantaj oluşturmamaktadır. Bu durumda diğer yöntemlere kıyasla bitki ile iyileştirme ucuz bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır. Yeşil ıslahın (Fitoremediasyon) geleneksel fiziksel ve kimyasal arıtma yöntemlerinden daha ekonomik, teknik ve çevresel avantajları daha fazla olduğu düşünülmektedir (Mcintyre, 2003). Ancak iyileştirme süresinin uzun olduğu belirtilmektedir (Rulkens ve ark., 1998). Moleküler biyoloji ve genetik alanındaki teknolojik çalışmalar metal toleransı ve birikimiyle ilgili mekanizmaların anlaşılmasında yardımcı olmaktadır. Hiperakümülatör bitkilerde metallerin alınması ve taşınması fitoremediasyon özelliklerine sahip yeni transgenik bitkilerin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır (Patmavathiamma ve ark., 2007).

1.1.1. Fitoremediasyon tipleri

Fitoremediasyon, kirleticilerin bitkiler kullanılarak giderilmesi teknolojisine genel olarak verilen bir isimdir. Bu isim altında birçok farklı teknoloji yer almaktadır. Bu teknolojileri fitoekstraksiyon, fitostabilizasyon, fitodegradasyon, fitovolatilizasyon, hidrolik kontrol, vejetatif örtü sistemleri ve kıyı tampon şeritleri olarak sınıflandırmak mümkündür. Bu teknolojilerin her biri farklı ortamlarda farklı amaçlar için kullanılabilir.

1.1.1.1. Fitoekstraksiyon (bitkisel özümleme)

Bitki kökleri tarafından kirleticilerin alınımını ve sonrasında toprak üstü organlarda biriktirilmesini ve daha sonra bitkilerin hasat edilerek yok edilmesini içermektedir. Bu teknik Cu ve Zn gibi aktif olarak alınan besin elementleri ve Cd, Ni ve Pb gibi besin elementi olmayan ağır metallerin uzaklaştırılmasında kullanılmaktadır. Fitoekstraksiyon teknolojisi sadece metal kirliliğinin düşük veya orta seviyede olduğu alanlar için uygulanmaktadır. Bunun nedeni çok fazla kirlenmiş alanlarda bitki büyümesi

sürdürülemezdir (Padmavathiamma ve ark., 2007). Bu teknolojiye doğal hiperakümülatör bitkiler kullanılmaktadır (Baker ve ark., 1994).

1.1.1.2. Rizofiltrasyon (köklerle süzme)

Bitki kökleri tarafından sıvı büyüme ortamlarından fazla miktardaki besin elementlerinin veya metal kirleticilerin alınımını içermektedir. *Brassica juncea*, *Phaseolus vulgaris* ve *Helianthus annuus* gibi hidroponik (topraksız bitki yetiştirme) ortamda büyütülen birçok bitki türünün kökleri Cu, Cd, Cr, Ni, Pb, Zn ve U gibi toksik metallerin sıvı çözeltilerinden uzaklaştırılmasında kullanılabilir (Dushenkov ve ark., 2000, Lee ve ark., 2010).

1.1.1.3. Fitostabilizasyon (köklerle sabitleme)

Bu teknikte, erozyonun önlenmesi, yer altı sularına kirleticilerin sızmasının azaltılması ve toprakla doğrudan temasın önlenmesi için toprak yüzeyi bitkiler ile örtülmektedir (Bert ve ark., 2005). Bu yöntemde bitki kökleri fiziksel ve kimyasal olarak kirleticileri immobilize etmektedir (Berti ve ark., 2000). Bu teknik, kirlenmiş topraklarda büyüeyebilen ve toksik metalleri daha az toksik formlara dönüştürmek için toprağın fizyolojik, kimyasal ve biyolojik özelliklerini değiştirebilen bitkilere gereksinim duymaktadır.

1.1.1.4. Fitovolatilizasyon (bitkisel buharlaştırma)

Toprakta belirli miktarda olan metallerin ayrımı ve bunların atmosfere verilmesi için bitkilerin kullanılması yöntemidir. Bu teknolojiye, bitkiler tarafından absorbe edilen metaller daha az uçucu formlara dönüştürülerek transpirasyon ile atmosfere verilmektedir. Doğal olarak oluşan veya genetiği değiştirilmiş *Brassica juncea* ve *Arabidopsis thaliana* gibi bazı bitkilerin ağır metalleri absorbe ettikleri ve gaz formuna dönüştürerek atmosfere verebildikleri bildirilmiştir selenyum daha az toksik olan dimetil selenit gazına dönüştürülerek atmosfere salınmıştır.

1.1.1.5. Fitotransformasyon-fitodegradasyon (bitkilerde bozunum)

Fitotransformasyon olarak da bilinen fitodegradasyon, bitki dokuları içerisinde kirleticilerin metabolize edilmesidir. Bu metotta, bitkilerdeki metabolik işlevler ve toprak mikroorganizmaları arasındaki rizosferik birliktelikle (kök sistemine yapışık halde bulunan sarsılmış ve gevşek topraktan oluşmuş ince bir tabaka) organik kirleticiler parçalanmaktadır.

Fitodegradasyon yöntemiyle giderilebilen kirleticiler; klorlu bileşikler, pestisitler, askeri kimyasal maddeler ve fenollerdir (EPA, 2000).

1.1.1.6. Rizodegradasyon (köklerle bozunum)

Degradasyon, mikroorganizmalar tarafından veya bitki köklerinin etkisi ile oluşuyorsa bu olay rizodegradasyon olarak isimlendirilir. Rizodegradasyon topraktaki kök bölgesinde, organik kirleticilerin mikroorganizma faaliyetleri sonucu ayrışmasıdır. Kök çevresinde mikrobiyal aktiviteleri etkileyen ve köklerden bırakılan şeker, aminoasit, organik asit, yağ asitleri, sterol, büyüme etmenleri, nükleotid, flavanon ve enzimler bulunur. Kirlilik yaratan organik bileşikler de bu çevrededir. Kökle bozunumun en önemli yararı kirleticilerin doğal ortamda yok olmasıdır. Ancak bunlar bitki veya atmosfere az da olsa taşınır (Söğüt ve ark., 2004).

Rizodegradasyon amacıyla kullanılan bitkiler arasında ise kırmızı dut (*Morus rubra* L.), nane (*Mentha spicata*), yonca (*Medicago sativa*) ve su kamışı (*Typha latifolia*) bitkileri sayılabilmektedir (EPA, 2000).

1.1.1.7. Hidrolik kontrol

Fitohidrolik kontrol veya hidrolik kök kontrolü olarak da bilinen hidrolik kontrol, bitki kullanılarak yer altı sularında kirlilik etmenlerinin birikmesini ve taşınmasını engellemek veya kontrol altında tutmaktır. Bu işlem yer altı ve yüzey sularına uygulanabilir. Bu sistemde daha önce bahsedilen yeşil ıslah kategorilerinin birden fazlası bir aradadır. En önemli avantajı herhangi bir yapay sistem kurulmasına gerek olmaması ve köklerin pompalardan daha fazla alana yayılması nedeniyle ıslah etki alanının çok

genişlemesidir. En önemli dezavantajı ise mevsim ve iklime bağlı olarak bitkinin su alımının değişmesidir. Yaprak döken ağaçlar kış boyunca istenilen görevi yapamazlar.

1.1.1.8. Vegetatif örtü sistemleri

Vejetatif örtü, kirleticilerin toprak yüzeyindeki uzun süreli ve kendiliğinden yetişen bitki sistemi ile kontrol altına alınması yöntemidir. Bu yöntem toprak, sediment ve çamurda uygulanabilir. Bu amaçla ticari olarak kavak ağaçları kullanılmaktadır (EPA, 2000, Söğüt ve ark., 2004).

1.1.1.9. Kıyı tampon şeritleri

Kıyı tampon şeritleri, genellikle akarsulara doğru akan yer altı veya yüzeysel sular içerisindeki kirleticilerin giderilmesi amacıyla akıntı boyunca, akarsuların kıyılarına, şeritler halinde uygun bitkilerin ekilmesi işlemidir. Bu ıslah, kirliliğin çevreye yayılmaması, taban suyuna karışmaması gibi görevler üstlenir. Sistem erozyonu da kontrol eder ve sedimenti azaltır. Kavak bu amaçla en sık kullanılan bitkilerden biridir (EPA, 2000). Bitkiler tarafından topraklardan alınma potansiyeline sahip kirleticiler;

- metaller (Ag, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn),
- metalloidler (As, Se),
- radionükleidler (90Sr, 137Cs, 239Pu, 238U, 234U),
- ametaller (B) ve diğer organik bileşikler (TPH, PAHs, Pestisitler, PCBs)

Ancak bitkilerce bir kirleticinin topraktan alınabilmesi için, öncelikle toprak şartlarının bitkinin isteklerine uygun olması gerekmektedir. Toprak pH'sı bu konuda en önemli parametrelerden biri olarak öne çıkmaktadır. Diğer taraftan topraktan kirleticileri alma performansı yüksek olan bitkilerin, genel olarak özel coğrafik alanlarda yetiştikleri ve buna bağlı olarak özel gelişme şartları geliştirdikleri belirlenmiştir. Ancak çok yaygın alanlarda gelişebilen ve fitoremediasyon amacıyla başarılı bir şekilde kullanılan bitkilere de rastlanılmaktadır (Rizzi ve ark., 2004). Bitkiler tarafından alınan bir kısım metallere, bitki bünyesindeki enzimler aracılığıyla bozunmakta ve kimyasal formları değişikliğe uğramaktadır. Çoğu metallere ise herhangi bir bozunmaya uğramadan bitkinin yaprak ve saplarında birikerek, bitkinin hasadıyla ortamdan uzaklaşmaktadırlar (Anonim, 2006). Topraktaki metallere bitki kökleri tarafından alınabilecek forma gelmesi,

fitoremediasyon verimini etkileyen faktörlerin başında gelmektedir (Martens ve ark., 1994).

1.1.2. Fitoremediasyon tekniklerinde artık bitkisel malzemenin nihai giderim yolları

Bitkiler kullanılarak topraktan metal alma işleminde amaç, toprak tarafından tutulmuş halde bulunan ağır metallerin daha kontrol edilebilir ve taşınabilir forma dönüştürülmesidir. Bu nedenle fitoremediasyon yöntemi, nihai bir uzaklaştırma veya giderme yöntemi olarak düşünülmemektedir. Nihai uzaklaştırma veya giderim, fitoremediasyon sonucunda ortaya çıkan bitkilerin yakılarak veya uygun bir depolama alanında depolanarak gerçekleştirilebilmektedir. Bitkide biriken selenyum gibi bazı metallerin hayvan beslenmesinde yararlı olması nedeniyle bu tür bitkilerin, hayvan yemi olarak değerlendirilmesi de mümkündür.

2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

Hamutoğlu ve ark. (2012) bu yöntemdeki amacın toprakta bulunan ağır metallerin daha kontrol edilebilir ve taşınabilir forma dönüştürülmesi olduğunu bildirmişlerdir. Böylelikle, biyolojik materyaller (bakteri, mantar, liken ve bitki) kullanılarak maliyeti düşük ve yapılabilmesi kolay olan fitoremediasyon yöntemleri sayesinde ağır metal kirliliğinin giderilmesi sağlanmış olacaktır.

Özbek (2015) yapmış olduğu çalışmada sanayileşmiş ülkelerde ağır metallerce kirlenmiş alanların temizlenmesinde hiperakümülatör bitkilerin büyük öneme sahip olduğunu belirtmiştir. Bu alanların temizlenmesinde en önemli metotlardan birisi de yeşil ıslah yani fitoremediasyondur.

McIntyre (2003), fitaremediasyonun ağır metallerce kirlenmiş alanların çevresel kirleticileri ele almak için yenilikçi ve uygun maliyetli bir seçenek sunduğunu belirtmiştir. Bitkilerin fito-kimyasallaştırma olarak bilinen kirlenmiş alanları eski durumuna getirmek veya stabilize etmek için kullanılan bir yöntemdir.

Yazılan (2010), yapmış olduğu çalışmada Dilovası Organize Sanayi Bölgesi'ndeki ağır metal kirliliğinin saptanması amaçlanmıştır, bu doğrultuda fitoremediasyon uygulanabilirliğini araştırmıştır. Belirlenen 4 farklı istasyondan ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde, bitki ve toprak örnekleri alınmıştır. Çalışma alanından toplanan bitki ve toprak örneklerinde ağır metal analizleri yapılmıştır. İncelenen ağır metaller Cd, Pb, Cu, Ni ve Cr' dur. Ayrıca bitki örneklerinde klorofil ve prolin içeriği, toprak örneklerinde zenginleştirme faktörü belirlenmiştir. Toprak örneklerinde Cr elementinin 4. bölgede, Ni elementinin 1. ve 3. Bölgede fitotoksik düzeylerde birikim yaptığı saptanmıştır. ZF sonuçlarına göre birçok bölgedeki kirlenmenin antropojenik kökenli olduğu belirlenmiştir. Bitki örneklerinden *Ficus carica* L., *Robinia pseudoacacia* L. ve *Rubus canescens* DC. türlerinin özellikle Ni ve Cr ağır metalini fitotoksik düzeylerde biriktirdiği tespit edilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda bu türlerin toleranslı ve biyomonitör özellikte olabileceği ve kirlenmiş alanların ekorestorasyonunda kullanılabileceği düşüncesine varılmıştır.

Okçu ve ark. (2009) doğayı kirleten faktörlerden biri olan ağır metallerin, bitkilerin vejetatif organlarını makroskobik, mikroskobik ve fizyolojik olarak

etkilendiğini bildirmişlerdir. Bu olumsuz durumdan sadece bitkiler değil, doğada yaşamlarını sürdüren bütün canlılar etkilenmektedir. Sanayileşme ile birlikte ağır metal içeren kömür kullanımı ile endüstri bölgelerinde ve trafik yoğunluğunun gün geçtikçe arttığı dünyamız ve ülkemizde birçok kirleticiyle beraber ağır metallerin de çevredeki miktarlarının artması sonucunda ağır metal kirliliği aşırı boyutlara ulaşmıştır. Sürekli ve kullanıma bağlı kirlenme, çevrede oldukça fazla ağır metal içeriğine ve yoğunluğuna neden olmaktadır. Bu yoğunluk neticesinde doğada bulunan bitkiler olumsuz yönde etkilenmekte ve elde edilen ürünler sağlık açısından son derece tehlike arz etmektedir.

Alkaya ve ark. (2015) yapmış oldukları araştırmada adaçayı, biberiye, sarı kantaron, ıhlamur, nane, kekik, papatya, rezene, yeşil çay, yaban mersini gibi aktarlardan alınan çaylardaki kurşun ve kadmiyum metallerin konsantrasyonlarını belirlemişlerdir. Bitki çayları Türkiye’de oldukça fazla miktarda tüketilmektedir. Çaylar pek çok faydalarının yanı sıra yapılarında ağır metalleri de barındırırlar ve çevre kirliliği arttıkça çaylardaki ağır metal kirliliği de artmaktadır. Sonuçlar çaylardaki kadmiyum ve kurşun konsantrasyonlarının sınır değerleri içinde olduğu bulunmuştur.

Evangelou ve ark. (2007) Kuzey ve güney Pennines Dağları metalik bölgelerinden gelen Metallofit *Thlaspi caerulescens* (çobandağarcığı) beş İngiliz popülasyonunda ağır metal alımını, birikimini ve toleransını araştırmışlardır. Saha örneklerinin Zn, Pb ve Cd konsantrasyonları sırasıyla 21000, 660 ve 164 / zMug g-1 olarak belirlenmiştir. Zn, Cd, Co, Mn ve Ni çekime kolayca nakledildiği Al, Cr Cu, Fe ve Pb esas olarak köklerde immobilize edildiği bildirilmiştir. Bu veriler ile bu türdeki çeşitli metallerin emilim ve aktarım mekanizmalarını ortaya koyulmuştur.

Vanlı (2007), yapmış olduğu çalışmada Pb, Cd ve B elementleri ile kirlenmiş toprakların fitoremediasyon yöntemi ile temizlenmesini araştırmıştır. Bu amaçla Pb, Cd ve B elementleri eklenmiş topraklara, mısır, ayçiçeği ve kanola bitkileri kullanılarak, fitoremediasyonları incelenmiştir. Kanolanın hipertoplayıcı olduğu doğrulanmıştır.

Asri ve Sönmez (2006) günümüzde toprakta ağır metal kirliliği önemli çevresel problemlerden birisidir. Ağır metallerin toprakta birikmesinin sadece toprak verimliliği ve ekosistem fonksiyonları üzerinde değil aynı zamanda besin zinciri yoluyla havyan ve insan sağlığı üzerinde de önemli zararları olduğunu bildirmişlerdir.

Bağdat ve Akan (2015) bazı tıbbi ve aromatik bitkilerin (nane, kantaron, lavanta, kenevir, labada, kimyon, sarımsak, at kestanesi gibi) aynı ortamlarda yetiştirilen diğer

bazı kültür bitkilerine kıyasla kök, sürgün ve yumrularında toksik etkiye sahip birçok ağır metali ve organik bileşenleri depolama ve biriktirme yeteneğine sahip olduğunu saptamışlardır.

Yaldız ve ark. (2012)'nin yapıları çalışmaları doğrultusunda çeşitli tıbbi ve aromatik bitkilerin (nane, lavanta, kekik, kantaron, kenevir, portakal nergisi, gül hatmi, labada, it üzümü vs.) ağır metal ve çeşitli kirlilik etmenlerine aynı şartlarda yetiştirilen diğer bazı kültür bitkilerine kıyasla çok daha dayanıklı olduklarını belirlemişlerdir

Zheljazkov ve ark. (2006) bu çalışmada bazı esansiyel yağ bitkilerinin, ağır metalle zenginleştirilmiş topraklarda yenilebilir ürünlere alternatif olarak yetiştirilebileceğini bildirmişlerdir. Cd, Pb ve Cu'nun nane, fesleğen ve dereotu esansiyel yağları üzerindeki verim ve esans üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla araştırmalar yapmışlardır. Ayrıca bitki kısımlarında, bitki materyali ve damıtmadan sonra suda ve esansiyel yağlarda Cd, Pb ve Cu birikimi de belirlemişlerdir. Nane, fesleğen ve dereotu, Cd, Pb ve Cu ortamı ile zenginleştirilmiş topraklarda, yağlara metal geçiş riski olmadan ve pazarlanabilirliği bozabilecek önemli yağ bileşimi olmadan değişiklik gösterebileceğini belirtmişlerdir. Sonuç olarak aromatik bitkilerin Cd, Pb ve Cu ile zenginleştirilmiş topraklar için alternatif ürünler olarak kullanılmasının desteklenebileceğini bildirmişlerdir.

Amırmoradı ve ark. (2012) çalışmada ağır metallerin aromatik ürünler (nane, lavanta, *Hypericum perforatum* L. ve *Achillea millefolium* L.) üzerindeki etkisini gözden geçirmiş ve araştırmışlardır. Sanayi bölgesinde yenilebilir mahsullerin kontamine olduğunu ve yenilebilir ürünler yetiştirmek yerine, nihai ürünün ağır metallere arındırıldığı bazı aromatik türlerin yetiştirilmesinin mümkün olduğunu bildirmişlerdir.



3. MATERYAL YÖNTEM

3.1. Materyal

Araştırma Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesinde Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü laboratuvarına ait iklim odasında yürütülmüştür. Deneme bitkisi olarak nane (*mentha mltimentha* L.) bitkisinin kullanılmıştır ve araştırma faktöriyel deneme desenine göre üç tekrarlamalı olarak 30 saksıda yürütülmüştür. Denemede 3 kg kapasiteli saksılara 2 adet fide dikilmiştir. Temel gübreleme olarak 100 mg kg⁻¹ P₂O₅, 150 mg kg⁻¹ K₂O ve 250 mg kg⁻¹ N olacak şekilde sırasıyla Triple Süper Fosfat [Ca(H₂PO₄)₂.H₂O], Potasyum Sülfat (K₂SO₄) ve Amonyum Sülfat [(NH₄)₂SO₄] gübrelere uygulanmıştır. Yetiştirme ortamı olarak bahçe toprağı kullanılmıştır.

Kadmiyum (Cd) için 0, 2.5, 5, 10, 20 mg kg⁻¹ olacak şekilde ve kurşun (Pb) için 0, 30, 60, 90, 120 mg kg⁻¹ olacak şekilde sırasıyla kadmiyum nitrat (Cd(NO₃)₂.4H₂O) ve kurşun nitrat formunda uygulanmıştır.

Hasat 8 hafta sonra yapılmış ve alınan bitki örneklerinin verim kriterleri kaydedildikten sonra örnekler yıkanıp sabit ağırlığa gelinceye kadar 65 °C'de kurutulmuştur.

3.2. Yöntem

3.2.1. Deneme planı

Araştırma 3 tekrarlamalı olarak 30 saksıda tesadüf parselleri deneme desenine göre yürütülmüştür. Deneme 3 kg kapasiteli saksılarda yürütülmüştür ve deneme için 2 adet fide dikilmiştir. Kadmiyum, 4 farklı dozda (0-2,5-5-10-20 mg kg⁻¹) ve kurşun, 4 farklı dozda (0-30-60-90-120 mg kg⁻¹) olacak şekilde uygulanmıştır (Gülser ve ark., 2016). Kadmiyum ve kurşun fide dikiminden 1 hafta sonra uygulanmıştır.

Çizelge 3.1. Denemede kadmiyum ve kurşun 4 farklı dozda uygulanması

| | Kadmiyum nitrat | Kurşun nitrat |
|---|-----------------|-----------------|
| 0 | Cd ₀ | Pb ₀ |
| 1 | Cd ₁ | Pb ₁ |
| 2 | Cd ₂ | Pb ₂ |
| 3 | Cd ₃ | Pb ₃ |
| 4 | Cd ₄ | Pb ₄ |



Şekil 3.1. Deneme fidelerinin dikildiği günden genel bir görünüm (Tarih 05.12.2018).



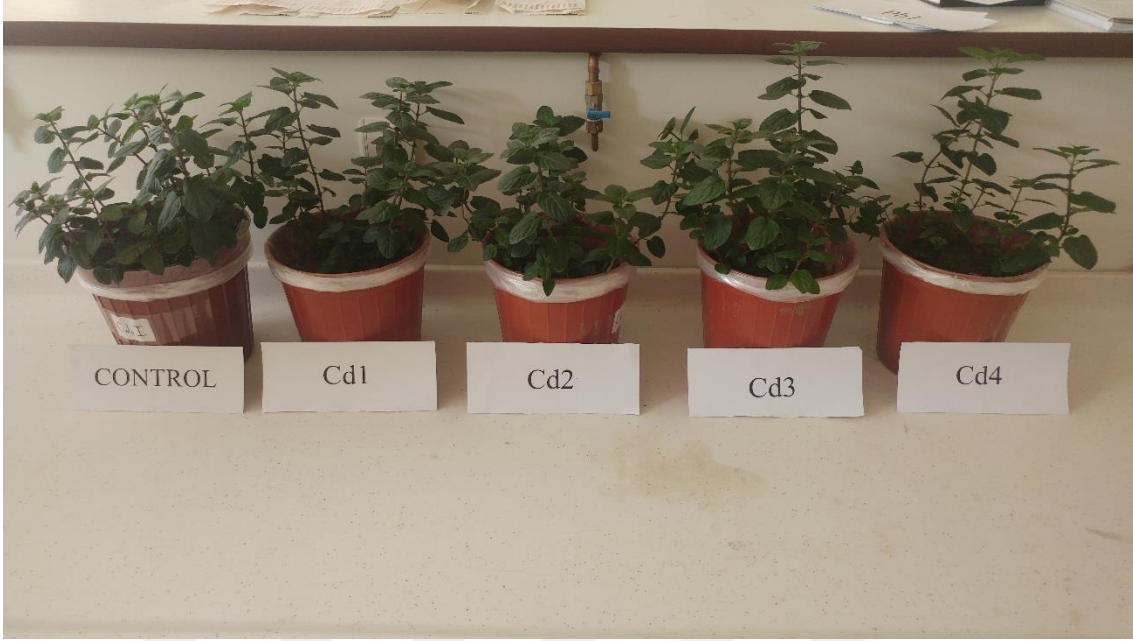
Şekil 3.2. Deneme deseninin hasattan önce genel bir görünümü (Tarih 18.01.2019).



Şekil 3.3. Kadmiyum uygulanan bitkilerin genel görünümü (Tarih 18.01.2019).



Şekil 3.4. Kurşun uygulanan bitkilerin genel görünümü (Tarih 18.01.2019).



Şekil 3.5. Kontrol ve kadmiyum dozlarının genel görünümü (Tarih 18.01.2019).



Şekil 3.6. Kontrol ve kurşun dozlarının genel görünümü (Tarih 18.01.2019).

3.2.2. Bitki örneklerindeki fiziksel ölçümler

3.2.2.1. Bitki boyu ve çapının belirlenmesi

Bitkide kök boğazından büyüme ucuna kadar olan bölge cm (± 0.5) cinsinden metre ile ölçülmüştür. Gövde çapı sayısal kumpast yardımı ile mm (± 0.1) olarak belirlenmiştir.

3.2.2.2. Bitki yaş ve kuru ağırlıkların belirlenmesi

Uygulamalar sonucunda hasat edilen bitkilerden tesadüfi olarak seçilen bitki hassas terazide tartılarak yaş ağırlıkları belirlenmiştir; daha sonra aynı örnekler 65 °C etüvde 48 saat süreyle kurutulduktan sonra kuru ağırlıkları da alınmıştır.

3.2.2.3. Yaprak alanın belirlenmesi

Yaprak alanı ise yaprak alan ölçer aleti kullanılarak cm² bitki-1 olarak belirlenmiştir.

3.2.2.4. Yaprak ve dal sayısı belirlenmesi

Deneme sonunda hasat edilen nane bitkilerinde yaprak ve dal sayısı bitkin üzerindeki tüm yaprakların ve dalların sayılması ile adet/bitki olarak belirlenmiştir.

3.2.2.5. Kök yaş ve kuru ağırlıkların belirlenmesi

Uygulamalar sonucunda hasat edilen bitkilerden tesadüfi olarak seçilen bitki kökü hassas terazide tartılarak yaş ağırlıkları belirlenmiştir; daha sonra aynı örnekler 65 °C etüvde 48 saat süreyle kurutulduktan sonra kuru ağırlıkları da alınmıştır.

3.2.2.6. Kök boyu ve çapının belirlenmesi

Bitkide kök boğazından kök ucuna kadar olan bölge cm (± 0.5) cinsinden metre ile ölçülecektir. Kök çapı sayısal kumpast yardımı ile mm (± 0.1) olarak belirlenecektir.

3.2.3. Bitki örneklerinde kimyasal analizler

3.2.3.1. Kadmiyum ve kurşun içeriğinin belirlenmesi

Bitki örnekleri, çift asit ekstraksiyon yöntemi kullanılarak nitrik ve perklorik asit karışımı (3:1 oranında) ile muamele edildikten sonra, Cd ve Pb içerikleri atomik absorpsiyon spektrofotometresi (Thermo ICE 3000 series) ile analiz edilmiştir (Kacar, 1984).

3.2.4. Toprak örneklerindeki fiziksel ve kimyasal analizler

3.2.4.1. Toprak tekstürü

Toprak tekstürü, hidrometre yöntemine göre yapılmıştır (Bouyoucous, 1951).

3.2.4.2. Toprak reaksiyonu

Toprak reaksiyonu, cam elektrotlu pH-metre ile 1:2.5'lük toprak-su karışımında belirlenmiştir (Jackson, 1964).

3.2.4.3. Tuz içeriği

Toprak tuzluluğu 1:2.5'lük toprak-su karışımında kondaktivite aleti kullanılarak elektriksel iletkenliğin ölçülmesi ile belirlenmiştir (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954).

3.2.4.4. Organik madde içeriği

Organik madde analizi, Walkley-Black yaş yakma metoduna (Jackson, 1964) göre titrimetrik yöntem ile yapılmıştır.

3.2.4.5. Kireç içeriği

Kireç içeriği, Scheibler kalsimetre (Çağlar, 1949) yöntemine göre belirlenmiştir.

3.2.4.6. Yarayışlı fosfor

Olsen yöntemine göre, ekstrakt çözeltilisine geçen fosfor, molibdofosforik mavi renk yöntemine göre belirlenmiştir (Olsen ve Watanable, 1957).

3.2.4.7. Değişebilir katyonlar

Örneklerin değişebilir, K, Ca, Mg değerleri 1 N Amonyum asetat yöntemine göre, pH değeri 7 olan 1 N Amonyum asetat (NH₄OAc) ile çalkalanarak elde edilen süzükler atomik absorpsiyon spektrofotometresinde (Themo ICE 3000 series) tayin edilmiştir (Pratt, 1965).

3.3. İstatistiksel Analizler

Elde edilen bulguların istatistik analizleri SPSS paket programı kullanılarak varyans analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar Duncan çoklu karşılaştırma testine göre gruplandırılmıştır (SPSS, 2018).



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Denemede kullanılan toprağa ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deneme toprağına ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

| pH | Tekstür | EC | Kireç | OM | P |
|------|-----------|-------|-------|------|---------------------|
| | | ds/m | % | % | Mg kg ⁻¹ |
| 8,30 | Killi-tın | 0.280 | 8.24 | 1.68 | 2.5 |

Deneme toprağı hafif alkali reaksiyonlu, killi-tınlı bünyeli, tuzsuz, orta seviyede kireçli, organik madde ve fosfor içeriğı düşük bulunmuştur.

Çizelge 4.2. Farklı dozlarda kadmiyum uygulamalarının bitki boyuna, bitki yaş ve kuru ağırlığına, gövde çapına etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları

| VK | Sd | Bitki boyu | | Bitki ağırlığı yaş | | Bitki ağırlığı kuru | | Gövde çapı | |
|--------|----|------------|--------|--------------------|---------|---------------------|---------|------------|--------|
| | | KO | F | KO | F | KO | F | KO | F |
| Dozlar | 4 | 0.003 | 8.30** | 0.001 | 13.03** | 0.00 | 26.64** | 0.57 | 0.70öd |

** ile gösterilen F değeri %1 düzeyinde önemlidir (p<0.01).

* ile gösterilen F değeri %5 düzeyinde önemlidir (p<0.05).

Çizelge 4.2 incelendiğinde kadmiyum uygulamasının bitki boyuna, bitki yaş ağırlığına, bitki kuru ağırlığına %1 düzeyin de önemli bulunmuştur. Gövde çapına etkisi ise istatistiksel anlamda önemli bulunmamıştır.

Çizelge 4.3. Farklı dozlarda kadmiyum uygulamalarının bitki gelişim kriterlerine etkisi

| Cd Dozları (mg kg ⁻¹) | Bitki boyu (cm) | Bitki yaş ağırlığı (g) | Bitki kuru ağırlığı (g) | Gövde çapı (mm) |
|-----------------------------------|-----------------|------------------------|-------------------------|-----------------|
| 0 | 40.17a | 29.44a | 5.82a | 2.47 |
| 2,5 | 31.00b | 17.45c | 3.11c | 2.48 |
| 5 | 28.33b | 16.84c | 2.76c | 2.42 |
| 10 | 31.17b | 15.57c | 3.21c | 2.27 |
| 20 | 29.17b | 22.73b | 4.89b | 2.03 |

a, b, c: Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark kendi satırında ve sütununda önemlidir.

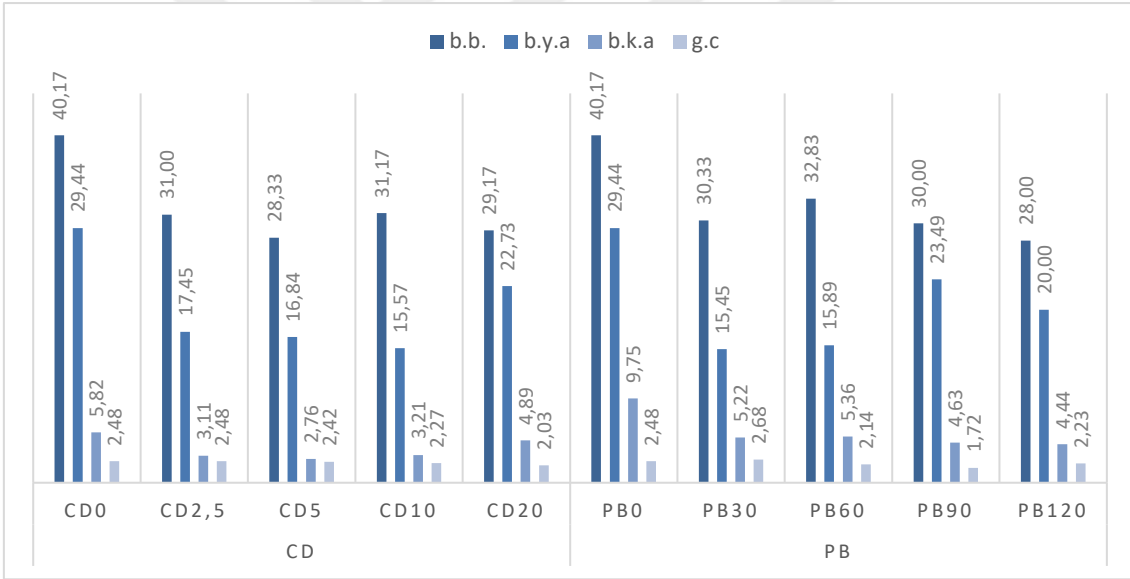
Çizelge 4.3 izlendiğinde, en yüksek bitki boyu ortalaması Cd₁ ve Cd₃ uygulamalarında 31.00 cm ve 31.17 cm olarak elde edilmiştir. En yüksek bitki yaş ve kuru ağırlığı ortalaması Cd₄ ve Cd₀ uygulamalarında 22.73 g ve 29.44 g olarak elde

edilmiştir. En yüksek gövde çapı ortalaması Cd₁ ve Cd₂ uygulamalarında 2.48 ve 2.42 olarak elde edilmiştir.

Peyvadi ve ark., 2016 nane bitkisinde 0, 100, 500 ve 1000 mikromol Cd uygulamasında nanenin esansiyel yağ içeriğinde herhangi bir değişimin olmadığını bildirmişlerdir.

Bütün Cd dozlarında bitki gelişim kriterlerinin çok minimal düzeyde etkilendiğini ve Cd içeren topraklarda nanenin yetiştirilebileceğini, artan Cd dozlarında bitki yaprak dokularında Cd konsantrasyonunun artmasına rağmen çok az etkilendiğini bildirmişlerdir.

Scora ve Chang (1997) 0,12-0,61 mg kg⁻¹ kadmiyum bulaşmış topraklarda nane (*mentha piperita* L.) nin biyokütlesinin değişmediğini bildirmişlerdir.



Şekil 4.1. Farklı Cd ve Pb dozlarının bitki gelişim kriterlerine etkisi.

Çizelge 4.4. Farklı dozlarda kadmiyum uygulamalarının kök boyuna, kök yaş ve kuru ağırlığına, kök çapına etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları

| VK | Sd | Kök boyu | | Kök ağırlığı yaş | | Kök ağırlığı kuru | | Kök çapı | |
|--------|----|----------|---------|------------------|---------|-------------------|--------|----------|---------|
| | | KO | F | KO | F | KO | F | KO | F |
| Dozlar | 4 | 133.2 | 0.000** | 43.93 | 0.000** | 6.206 | 0.000* | 0.49 | 0.032öd |

** ile gösterilen F değeri %1 düzeyinde önemlidir (p<0.01).

* ile gösterilen F değeri %5 düzeyinde önemlidir (p<0.05).

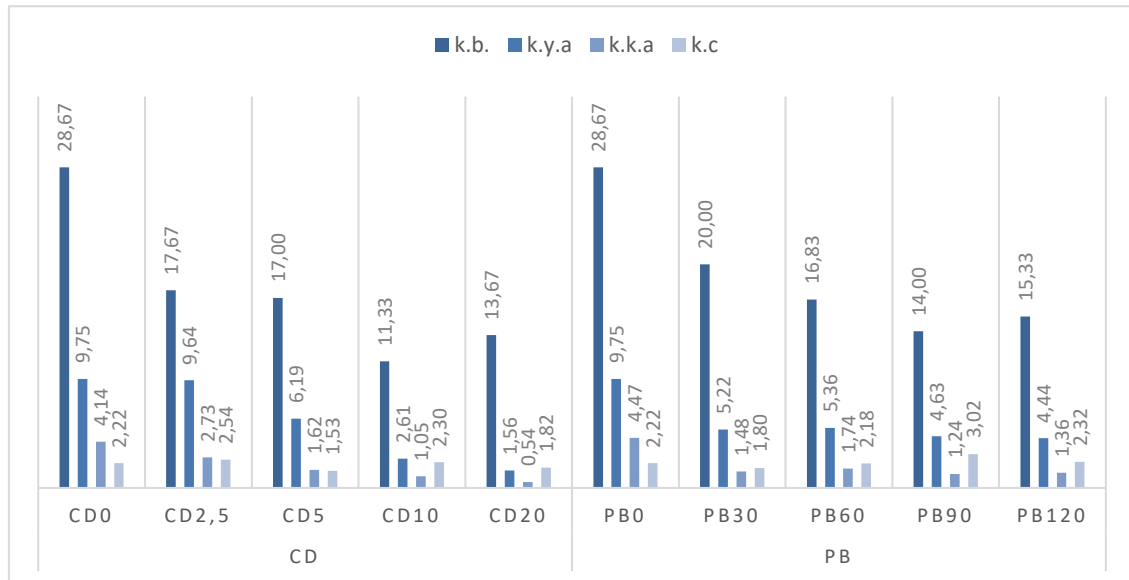
Çizelge 4.4 incelendiğinde, kadmiyum uygulamasının kök boyuna, kök yaş ağırlığına ve kök kuru ağırlığına etkisi istatistiksel anlamda %5 düzeyinde önemli bulunurken kök çapına etkisi istatistiksel anlamda önemli bulunmamıştır.

Çizelge 4.5. Farklı dozlarda kadmiyum uygulamalarının kök gelişim kriterlerine etkisi

| Cd Dozları (mg kg ⁻¹) | Kök boyu (cm) | Kök yaş ağırlığı (g) | Kök kuru ağırlığı (g) | Kök çapı (cm) |
|-----------------------------------|---------------|----------------------|-----------------------|---------------|
| 0 | 28.67a | 9.75a | 4.14a | 2.22ab |
| 2,5 | 17.67b | 9.64a | 2.73b | 2.54a |
| 5 | 17.00b | 6.19b | 1.62c | 1.53c |
| 10 | 11.33b | 2.61c | 1.05cd | 2.30ab |
| 20 | 13.67bc | 1.56c | 0.54d | 1.82bc |

a, b, c: Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark kendi satırında ve sütununda önemlidir.

En yüksek kök boyu ve kök kuru ağırlığı ortalamaları sırasıyla Cd₀ uygulamasında 28.67 cm ve 3.33 olarak elde edilmişlerdir. En yüksek kök yaş ağırlığı ve kök çapı ortalamaları ise Cd₁ uygulamasında sırası ile 9.64 g ve 2.54 cm olarak bulunmuştur (Çizelge 4.5). Kök boyu, kök yaş ağırlığı, kök kuru ağırlığı ortalamaları artan Cd dozları ile azalmıştır ve Duncan çoklu karşılaştırma testine göre kontrol ile farklı gruplarda yer almışlardır.



Şekil 4.2. Farklı Cd ve Pb dozlarının kök gelişim kriterlerine etkisi.

Çizelge 4.6. Farklı dozlarda kadmiyum uygulamalarının yaprak sayısı, dal sayısı ve yaprak yüzey alanına etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları

| VK | Sd | Yaprak sayısı | | Dal sayısı | | Yaprak alanı yüzey | |
|--------|----|---------------|---------|------------|---------|--------------------|---------|
| | | KO | F | KO | F | KO | F |
| Dozlar | 4 | 1360.2 | 0.3736d | 59.43 | 0.000** | 36.48 | 0.000** |

** ile gösterilen F değeri %1 düzeyinde önemlidir (p<0.01).

* ile gösterilen F değeri %5 düzeyinde önemlidir (p<0.05).

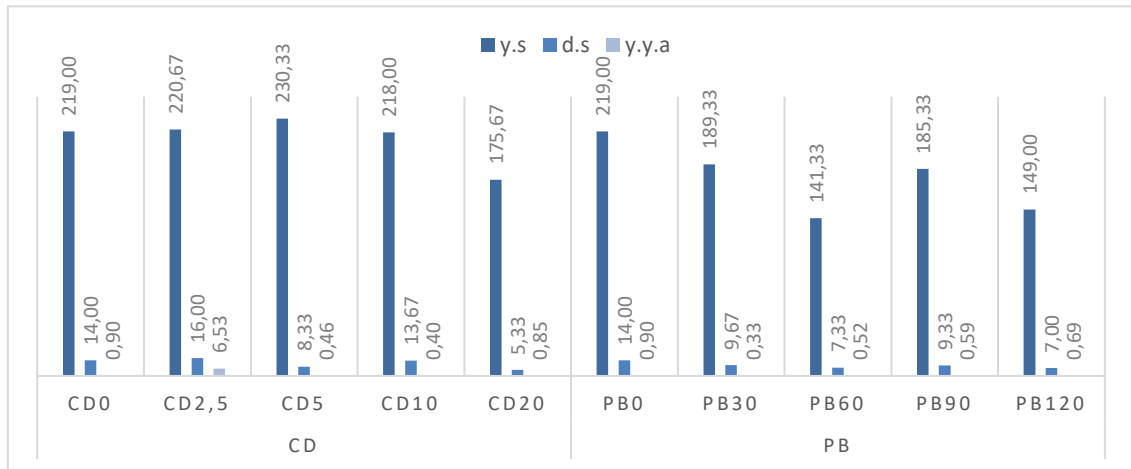
Çizelge 4.6 incelendiğinde kadmiyum uygulamasının yaprak sayısına etkisi önemli bulunmamış, dal sayısına etkisi % 1 düzeyinde, yaprak yüzey alanına etkisi ise % 1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.7. Farklı dozlarda Cd uygulamalarının dal sayısı, yaprak sayısı ve yaprak yüzey alanına etkileri

| Cd Dozları (mg kg ⁻¹) | Dal sayısı (adet) | Yaprak sayısı (adet) | Yaprak yüzey alanı (cm ²) |
|-----------------------------------|-------------------|----------------------|---------------------------------------|
| 0 | 14.00b | 219.00 | 0.90b |
| 2,5 | 16.00a | 220.67 | 6.53a |
| 5 | 8.33c | 230.33 | 0.46b |
| 10 | 13.67b | 218.00 | 0.40b |
| 20 | 5.33d | 175.67 | 0.85b |

a, b, c: Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark kendi satırında ve sütununda önemlidir.

En yüksek dal sayısı ortalaması Cd₁ ve Cd₀ uygulamalarında 16.00 ve 14.00 olarak bulunmuştur. En yüksek yaprak yüzey alanı ortalaması Cd₁ uygulaması 6.53 olarak elde edilmiştir. Dal sayısı, yaprak sayısı ve yaprak yüzey alanı ortalamaları artan Cd dozları ile genel olarak azalmıştır (Çizelge 4.7).



Şekil 4.3. Farklı Cd ve Pb dozlarının yaprak sayısı, dal sayısı ve yaprak alanına etkisi.

Çizelge 4.8. Farklı uygulamaların bitki de Cd içeriği ve alımı, kök de Cd içeriği ve alımına etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları

| VK | Sd | CdBi | | CdBa | | CdKi | | CdKa | |
|--------|----|-------|---------|--------|---------|-------|---------|--------|---------|
| | | KO | F | KO | F | KO | F | KO | F |
| Dozlar | 4 | 0.008 | 0.000** | 7651.6 | 0.000** | 0.222 | 0.000** | 3831.2 | 0.000** |

** ile gösterilen F değeri %1 düzeyinde önemlidir (p<0.01).

* ile gösterilen F değeri %5 düzeyinde önemlidir (p<0.05).

Çizelge 4.8 incelendiğinde, kadmiyum uygulamasının bitki Cd içeriğine ve alımına, kök Cd içeriğine ve alımına etkisi istatistiksel anlamda %1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

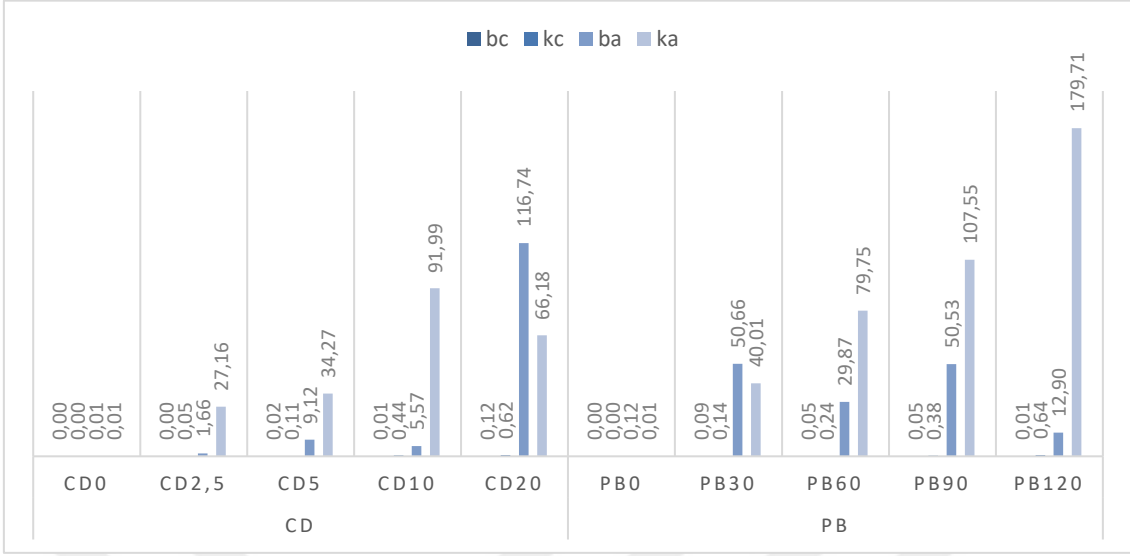
Çizelge 4.9. Farklı dozlarda Cd uygulamaların bitkide ve kökte kadmiyum içerik ve alımına etkileri

| Cd Dozları (mg kg ⁻¹) | Bitki Cd içeriği | Bitki Cd alımı | Kök Cd içeriği | Kök Cd alımı |
|-----------------------------------|------------------|----------------|----------------|--------------|
| 0 | 0.001d | 0.012d | 0.001b | 0.008c |
| 2,5 | 0.026d | 1.660bc | 0.486b | 27.160c |
| 5 | 0.016b | 9.123b | 0.114b | 34.273bc |
| 10 | 0.089c | 5.574bc | 0.444a | 91.990a |
| 20 | 0.119a | 116.7a | 0.621a | 66.177ab |

a, b, c: Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark kendi satırında ve sütununda önemlidir.

Çizelge 4.9 incelendiğinde, en yüksek bitki Cd içeriği ve bitki Cd alımı ortalamaları sırasıyla 0.119 mg ve 116.2 mg olarak Cd₄ uygulamasından elde edilmiştir. En yüksek kök Cd içeriği ve kök Cd alımı ortalamaları sırasıyla 0.621 – 0.444 ve 91.990 – 66.177 Cd₃ ve Cd₄ uygulamalarında bulunmuşlardır.

Artan Cd dozları bitki ve kökte Cd içerik ve alımını arttırmıştır. Kök Cd içeriği bitkidekinden daha yüksek bulunurken, kök Cd alımının bitki Cd alımından daha düşük olduğu belirlenmiştir. Ancak Cd içerik ve alımların en yüksek ortalamalarına bakıldığında Duncan çoklu karşılaştırma testine aynı grupta yer almışlardır.



Şekil 4.4. Farklı Cd ve Pb uygulamalarında sürgün ve köklerin Cd ile Pb içeriği ve alımı.

Çizelge 4.10. Farklı dozlarda kurşun uygulamalarının bitki boyuna, bitki yaş ve kuru ağırlığına, gövde çapına etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları

| VK | Sd | Bitki boyu | | Bitki ağırlığı yaş | | Bitki ağırlığı kuru | | Gövde çapı | |
|--------|----|------------|-------|--------------------|-------|---------------------|---------|------------|--------|
| | | KO | F | KO | F | KO | F | KO | F |
| Dozlar | 4 | 67.4 | 5.22* | 101.5 | 4.72* | 5.67 | 13.65** | 0.39 | 1.61öd |

** ile gösterilen F değeri %1 düzeyinde önemlidir (p<0.01).

* ile gösterilen F değeri %5 düzeyinde önemlidir (p<0.05).

Çizelge 4.10 incelendiğinde kurşun uygulamasının bitki boyuna ve bitki yaş ağırlığına etkisi istatistiksel anlamda %5 önemli bulunurken, bitki kuru ağırlığına ise %1 düzeyinde önemli bulunmuş ve gövde çapına etkisi istatistiksel anlamda önemli bulunmamıştır.

Çizelge 4.11. Farklı dozlarda kurşun uygulamalarının bitki gelişim kriterlerine etkisi

| Pb Dozları | Bitki boyu (cm) | Bitki yaş ağırlığı (g) | Bitki kuru ağırlığı (g) | Gövde çapı (mm) |
|------------|-----------------|------------------------|-------------------------|-----------------|
| 0 | 40.17a | 29.44a | 5.82a | 2.48 |
| 30 | 30.33b | 15.45b | 2.86b | 2.68 |
| 60 | 32.83b | 15.89b | 3.05b | 2.14 |
| 90 | 30.00b | 23.49ab | 5.54a | 1.72 |
| 120 | 28.00b | 20.00b | 4.63a | 2.23 |

a, b, c: Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark kendi satırında ve sütununda önemlidir.

Çizelge 4.11 incelendiğinde, en yüksek bitki boyu ortalaması Pb₄ uygulamasında 40.17 cm olarak elde edilirken, en yüksek bitki yaş ağırlığı ortalaması Pb₄ uygulamasında

26.67 g olarak elde edilmiştir. En yüksek bitki kuru ağırlığı ortalaması ise Pb₄ ve Pb₃ uygulamalarında 5.82 g ve 5.54 g olarak elde edilmiştir. En yüksek gövde çapı ortalaması Pb₁ uygulamasında 2.68 mm olarak elde edilmiştir. Bitki kuru ağırlığı Pb dozlarında kontrole kıyasla artmıştır, ancak Duncan çoklu karşılaştırma testine göre kontrol ile aynı grupta yer almıştır.

Çizelge 4.12. Farklı dozlarda kurşun uygulamalarının kök boyuna, kök yaş ve kuru ağırlığına, kök çapına etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları

| VK | Sd | Kök boyu | | Kök ağırlığı yaş | | Kök ağırlığı kuru | | Kök çapı | |
|--------|----|----------|--------|------------------|--------|-------------------|--------|----------|--------|
| | | KO | F | KO | F | KO | F | KO | F |
| Dozlar | 4 | 103.2 | 11.9** | 14.5 | 24.2** | 5.56 | 3.19öd | 0.60 | 6.32** |

** ile gösterilen F değeri %1 düzeyinde önemlidir (p<0.01).

* ile gösterilen F değeri %5 düzeyinde önemlidir (p<0.05).

Çizelge 4.12 incelendiğinde kurşun uygulamasının kök boyuna, kök yaş ağırlığına ve kök çapına etkisi istatistiksel anlamda %1 düzeyinde önemli bulunurken kök kuru ağırlığına etkisi istatistiksel anlamda önemli bulunmamıştır.

Çizelge 4.13. Farklı dozlarda Pb uygulamalarının kök gelişim kriterlerine etkisi

| Pb Dozları (mg kg ⁻¹) | Kök boyu (cm) | Kök yaş ağırlığı (g) | Kök kuru ağırlığı (g) | Kök çapı (mm) |
|-----------------------------------|---------------|----------------------|-----------------------|---------------|
| 0 | 28.67a | 9.75a | 4.47a | 2.22b |
| 30 | 20.00b | 5.22b | 1.48b | 1.80b |
| 60 | 16.83bc | 5.36b | 1.74b | 2.18b |
| 90 | 14.00c | 4.63b | 1.24c | 3.02a |
| 120 | 15.33bc | 4.44b | 1.36b | 2.32b |

a, b, c: Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark kendi satırında ve sütununda önemlidir.

Çizelge 4.13'te en yüksek kök boyu ortalaması Pb₀ uygulamasında 28.67 cm olarak elde edilmiştir. En yüksek kök yaş ağırlığı ortalaması Pb₁ uygulamasında 9.75 g olarak belirlenmiştir. En yüksek kök kuru ağırlığı ortalaması Pb₀ uygulamasında 4.47 g olarak elde edilmiştir. En yüksek kök çapı ortalaması ise Pb₃ uygulamasında 3.02 mm olarak bulunmuştur. Kök boyu, kök yaş ağırlığı, kök kuru ağırlığı ve kök çapı kontrole kıyasla genel olarak azalmıştır ve en düşük ortalamalara bakıldığında aynı grupta yer almışlardır.

Arias ve ark., 2010 Pb stresinde kök uzamasının azaldığını ve Singh ve ark., 2010 Pb stresinde bitki biyokütlesinin azaldığını bildirmişlerdir.

Daha ileri Pb stresinde ise (İslam ve ark., 2008) gözle görülür semptomlarla (seyrek, daha küçük, daha az sayıda ve daha kırılğan yapraklar, koyu morumsu yaprak yüzeyi) birlikte büyümenin gerilediğini bildirmişlerdir.

Çizelge 4.14. Farklı dozlarda kurşun uygulamalarının yaprak sayısı, dal sayısı ve yaprak yüzey alanına etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları

| VK | Sd | Dal sayısı | | Yaprak sayısı | | Yaprak yüzey alanı | |
|--------|----|------------|-------|---------------|--------|--------------------|--------|
| | | KO | F | KO | F | KO | F |
| Dozlar | 4 | 23.43 | 5.32* | 3031.1 | 0.96öd | 0.134 | 2.49öd |

** ile gösterilen F değeri %1 düzeyinde önemlidir (p<0.01).

* ile gösterilen F değeri %5 düzeyinde önemlidir (p<0.05).

Çizelge 4.14 incelendiğinde kurşun uygulamasının dal sayısına etkisi %5 düzeyinde önemli bulunur iken; yaprak sayısına ve yaprak yüzey alanına etkisi önemli bulunmamıştır.

Çizelge 4.15. Farklı dozlarda kurşun uygulamalarının dal sayısı, yaprak sayısı ve yaprak yüzey alanına etkisi

| Pb Dozları (mg kg ⁻¹) | Dal sayısı (Adet) | Yaprak sayısı (Adet) | Yaprak yüzey alanı(cm ²) |
|-----------------------------------|-------------------|----------------------|--------------------------------------|
| 0 | 14.0a | 219.0 | 0.90a |
| 30 | 9.67b | 189.3 | 0.33b |
| 60 | 7.33b | 141.3 | 0.52ab |
| 90 | 9.33b | 185.3 | 0.59ab |
| 120 | 7.00b | 149.0 | 0.69ab |

a, b, c: Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark kendi satırında ve sütununda önemlidir.

Çizelge 4.15'te en yüksek dal sayısı ortalaması Pb₀ uygulamasında 14.00 olarak elde edilmiştir. Artan Pb uygulamaları ile dal sayısı, yaprak sayısı ve yaprak yüzey alanında genel olarak azalma belirlenmiştir.

Elzbieta ve ark., (2005) yüksek kurşun dozlarında nane (*mentha piperita* L.) nin yaprak yüzey alanının azaldığını bildirmişlerdir.

Barcelo ve ark., (1988) kurşun dozlarının artması yaprak alanında azalma muhtemelen kanbiyum hücrelerinin farklılaşmasıyla hücre bölünmesindeki azalmaya bağlı olduğunu bildirmişlerdir.

Çizelge 4.16. Farklı uygulamaların bitki de Pb içerik ve alımı, kök Pb içerik ve alımına etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları

| VK | Sd | PbBc | | PbBa | | PbKc | | PbKa | |
|--------|----|-------|---------|--------|---------|-------|--------|---------|--------|
| | | KO | F | KO | F | KO | F | KO | F |
| Dozlar | 4 | 0.004 | 14.90** | 1520.0 | 26.84** | 0.178 | 8.70** | 14016.3 | 3.00öd |

** ile gösterilen F değeri %1 düzeyinde önemlidir (p<0.01).

* ile gösterilen F değeri %5 düzeyinde önemlidir (p<0.05).

Çizelge 4.16 incelendiğinde kurşun uygulamanın bitki de Pb içeriği ve alımına, kök Pb içeriğine etkileri istatistiksel anlamda %1 düzeyinde önemli bulunurken, kök Pb alımına etkisi önemli bulunmamıştır.

Çizelge 4.17. Farklı dozlarda Pb uygulamalarının bitkide ve kökte kurşun içerik ve alımına etkileri

| Pb Dozları (mg kg ⁻¹) | Bitki Pb içeriği | Bitki Pb alımı | Kök Pb içeriği | Kök Pb alımı |
|-----------------------------------|------------------|----------------|----------------|--------------|
| 0 | 0.0001c | 0.116c | 0.001c | 0.0089b |
| 30 | 0.095a | 50.66a | 0.140bc | 40.01b |
| 60 | 0.049b | 29.87b | 0.241bc | 79.74ab |
| 90 | 0.045b | 50.53a | 0.379ab | 107.5ab |
| 120 | 0.145c | 12.90c | 0.637a | 179.7a |

a, b, c: Farklı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark kendi satırında ve sütununda önemlidir.

Çizelge 4.17 izlendiğinde en yüksek bitki Pb içeriği ortalaması Pb₁ uygulamasında 0.095 olarak elde edilir iken, En yüksek bitki Pb alımı ortalaması Pb₃ ve Pb₁ uygulamalarında 50.53 ve 50.66 olarak belirlenmiştir. En yüksek kök Pb içeriği ve kök Pb alımı ortalaması sırasıyla 0.637 ve 179.7 olarak Pb₄ uygulamasında elde edilmişlerdir. Kök Pb içeriği ve alımı kontrole kıyasla kurşunun artan dozlarında artar iken, bitki Pb içeriği ve alımında genel olarak azalmıştır.

Kurşun elementi bitki köklerinde sürgünlere göre daha fazla birikmektedir (Verma ve ark., 2003).

Ghani ve ark. (2010) Pb stresi altında mısır varyetelerinde yüksek Pb dozlarında köklerin sürgünlere kıyasla daha fazla etkilendiklerini bildirmişlerdir.

Absorbe edilen kurşunun köklerde sürgünden fazla olduğunu bulmuşlardır

Bazı tıbbi ve aromatik bitkiler (nane, lavanta, labada kantaron, kenevir, sarımsak, kimyon, at kestanesi vb.) aynı ortamlarda yetiştirilen diğer bazı kültür bitkilerine göre kök, sürgün ve yumrularında toksik etkiye neden olabilmekte ve birçok ağır metali

depolamaktadırlar. Endüstrileşmenin sonucu olarak birçok alanda ortaya çıkan toprak kirliliği ıslahında ve bozulan ekolojinin tamirinde yeşil ıslah bitkilerinin kullanılması (Phytoremediation), günümüzde diğer teknolojilere göre daha ekonomik, temiz, tesirli ve çevreye en az zarar veren pratik bir uygulama olarak öne çıkmaktadır (Krämer, 2005).

Yapılan bir araştırmaya göre, toprak ve hava kirliliği yüksek olan bölgelerde uçucu yağ bitkileri yetiştirilmiştir ve kirleticilerin bitki verimi üzerine etkisi önemli bulunmamıştır (Zheljazkov ve Nielsen, 1993).

Siddhu ve ark. (2012) düşük doz kadmiyum ve kurşun konsantrasyonlarında nane (*mentha piperita* L.) bitkisinin tolerans gösterdiğini bildirmişlerdir.

Scavroni ve ark. (2005) kirlenmiş topraklarda nane (*mentha piperita* L.) nin dokusunda bu kirletici metallerin birikimi olmaksızın nane (*mentha piperita* L.) nin gelişme yeteneği olduğu için iyi bir fitoremediyatör olarak yetişeceğini bildirmişlerdir.

Azalmanın görülmemesi dozların düşüklüğüne bağlanmıştır (Siddhu ve ark., 2012). Yetiştirme ortamında 40 ppm'den yüksek kadmiyum ve 1200 ppm'den yüksek kurşun dozlarının bitki gelişim kriterlerin de azalma meydana getirdiğini bildirmişlerdir. Fakat gelişim kriterlerinin en yüksek değerlerini kontrolde belirlemişlerdir.

Valcho ve ark. (1995) lamiaceae familyasına ait nane (*mentha piperita* L.) ve lavanta ağır metallerin yüksek konsantrasyonlarına tolerans göstermeleri çok iyi gelişmiş kök sistemine sahip olmaları ile ilişkili olduğunu bildirmişlerdir.

Zheljazkov ve ark. (2006) kadmiyum kurşun ve bakır ın 10-100 ppm'e kadar olan konsantrasyonlarında nane (*mentha piperita* L.) nin kuru madde içeriğini etkilemediğini söylemişlerdir.

Farooqı ve ark. 2009; 10, 30, 50, 70 ve 90 µmol/L Pb ve Cd uygulamasından *Albizia Lebbeck* (L.) bitkisinde sürgün, kök gelişimi, kuru biyokütle etkisini arttırmıştır. Kontrole kıyasla bütün dozların bitki gelişimini etkilediğini belirlemişlerdir. Artan Pb ve Cd dozlarında kuru biyokütlenin azaldığını belirlemişlerdir.

Ağır metallerle kontamine olmuş topraklarda yetiştirilebilen bazı tıbbi bitkiler vejetasyon döneminin sonuna kadar herhangi bir zararlanma belirtisi göstermezler (İslam ve ark., 2008).

Bu çalışmada Cd içeriği köklerde yapraktan daha çok bulunmuştur (Bokori, 1994).

Benzer şekilde Valcho ve ark. 1996 Kurşunun köklerde yapraklarda daha çok bulunduğunu bildirmişlerdir.

Bu araştırmada ağır metallere karşı dirençli olduğu düşünülen nane bitkisinin gelişimine ağır metallerin olumsuz etkileri olmadığı belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarının nane bitkisinin ağır metallerce kirli topraklarda da yetişebileceği gibi hipekümülatör bitki olarak da kullanılabilceği diğer benzer konulu çalışmalar için kaynak teşkil edebileceği düşünülmüştür.





5. SONUÇ

Farklı dozlarda kadmiyum ve kurşun uygulamalarının nane (*Mentha Multimentha* L.) bitkisinde bitki gelişimi, verim parametreleri, bitkide ve kökte kadmiyum ile kurşun alımı ve içeriği üzerine etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Farklı kadmiyum (Cd) dozlarının bitki boyu, bitki yaş ağırlığı, bitki kuru ağırlığı, kök boyu, kök yaş ağırlığı, dal sayısı ve yaprak yüzey alanı, bitki kadmiyum içeriği, bitki kadmiyum alımı, kök kadmiyum içeriği, kök kadmiyum alımı ($p<0.01$), kök kuru ağırlığı ($p<0.05$), üzerine etkileri önemli bulunmuştur. Benzer şekilde kurşun (Pb) dozlarının bitki kuru ağırlığı, kök boyu, kök yaş ağırlığı, kök çapı, dal sayısı, bitki kurşun içeriği, bitki kurşun alımı, kök kurşun içeriği ($p<0.01$), bitki boyu, bitki yaş ağırlığı ($p<0.05$) üzerine etkilerinin önemli olduğu belirlenmiştir.

İnteraksiyonlar dikkate alındığında, en yüksek bitki boyu ortalaması 40.17 cm olarak Cd₀, 40.17 cm olarak Pb₀ uygulamasında elde edilmiştir. Bitki boyuna ilişkin en düşük ortalamaları ise 28.33 cm olarak Cd₂ ve 28.00 cm Pb₄ uygulamasında bulunmuştur.

Bitki yaş ağırlığı incelendiğinde, en yüksek ortalama 29.44 g olarak Cd₀ ve 29.44 g olarak Pb₀ uygulamasında bulunmuştur. En düşük bitki yaş ağırlığı ortalamaları ise 15.57 g olarak Cd₃ ve 15.45 Pb₁ uygulamasında elde edilmiştir.

Bitki kuru ağırlığında en yüksek ortalama 5.82 g olarak Cd₀, 5.82 g olarak ve Pb₀ uygulamasında bulunmuştur. En düşük bitki kuru ağırlığı ortalamaları ise 2.76 g olarak Cd₂ uygulamasında, 2.86 g olarak ise Pb₁ uygulamasında elde edilmiştir.

Kök boyu dikkate alındığında, en yüksek ortalama 28.67 cm olarak Cd₀ ve 28.67 cm olarak Pb₀ uygulamasında bulunmuştur. En düşük kök boyu ortalamaları ise 11.33 cm olarak Cd₃ 14.00 cm olarak Pb₃ uygulamalarında elde edilmiştir.

Kök yaş ağırlığında en yüksek ortalama 9.75 g olarak Cd₀ ve 9.75 g olarak Pb₀ uygulamasında bulunmuştur. En düşük kök yaş ağırlığı ortalamaları ise 1.56 g olarak Cd₄ ve 4.44 g olarak Pb₄ uygulamalarında elde edilmiştir.

En yüksek kök kuru ağırlığı ortalamaları 1.14 g olarak Cd₀ ve 4.47 g olarak Pb₀ uygulamasında bulunmuştur. En düşük kök kuru ağırlığı ortalamaları ise 0.54 g olarak Cd₄ ve 1.24 g olarak Pb₃ uygulamalarında elde edilmiştir.

Kök çapı dikkate alındığında en yüksek ortalamalar 2.54 mm ve 3.02 mm olarak sırası ile Cd₁ ve Pb₃ uygulamalarında bulunmuştur. Kök çapına ilişkin düşük ortalamalar 1.53 mm olarak Cd₃ uygulamasında ve 1.80 mm olarak Pb₁ uygulamasında bulunmuştur.

En yüksek dal sayısı ortalamaları 16.00 adet olarak Cd₁ ve 14.00 adet olarak Pb₀ uygulamalarında elde edilmiştir. Dal sayısına ilişkin en düşük ortalamalar ise 8.33 adet olarak Cd₂ ve 7.00 adet olarak Pb₄ uygulamalarında bulunmuştur.

Yaprak yüzey alanında en yüksek ortalama 6.53 cm² olarak Cd₁ ve 0.90 cm² olarak Pb₀ uygulamalarında elde edilmişken, en düşük ortalamalar ise 0.40 cm² olarak Cd₃ ve 0.33 cm² olarak Pb₁ uygulamalarında bulunmuştur.

Bitki Cd ve Pb içeriği incelendiğinde, en yüksek ortalamalar 0.119 mg kg⁻¹ olarak Cd₄ ve 0.145 mg kg⁻¹ olarak Pb₄ uygulamalarında elde edilmiştir. En düşük ortalamalar ise 0.001 mg kg⁻¹ olarak Cd₀ ve 0.001 mg kg⁻¹ olarak Pb₀ uygulamalarında bulunmuştur.

Bitki Cd ve Pb alımında en yüksek ortalamalar 116.7 mg kg⁻¹ olarak Cd₄ ve 50.66 mg kg⁻¹ olarak Pb₁ uygulamalarında bulunmuştur. En düşük ortalamalar ise 0.012 mg kg⁻¹ olarak Cd₀ ve 12.90 mg kg⁻¹ olarak Pb₄ uygulamalarında elde edilmiştir.

Kök Cd ve Pb içeriğinde en yüksek ortalamalar 0.621 mg kg⁻¹ olarak Cd₄ ve 0.637 mg kg⁻¹ olarak Pb₄ uygulamalarında bulunmuştur. En düşük ortalamalar ise 0.001 mg kg⁻¹ olarak Cd₀ uygulamasında ve 0.001 mg kg⁻¹ olarak Pb₀ uygulamasında elde edilmiştir.

Kök Cd ve Pb alımı dikkate alındığında, en yüksek ortalamalar 91.990 mg kg⁻¹ olarak Cd₃ ile 179.7 mg kg⁻¹ olarak Pb₄ uygulamalarında bulunmuştur. En düşük ortalamalar ise 0.008 mg kg⁻¹ olarak Cd₀ ile 0.0089 mg kg⁻¹ olarak Pb₁ uygulamalarında bulunmuştur.

Araştırma elde edilen bulgular ışığında, nane bitkisinin kadmiyum ve kurşun akümülyasyon yeteneğinin olduğu, kadmiyum ve kurşun ile kirlenmiş topraklarda hiperakümülatör bitki olarak kullanılabilceği belirlenmiştir. Ayrıca yetiştirme ortamındaki yüksek dozlarda kadmiyum ve kurşunun nane bitkisinin gelişim parametrelerinde azalmaya yol açtığı ortaya konulmuştur.

Araştırma sonuçlarının tıbbi bitki ve gıda olarak tüketimi yaygın olan nane bitkisinin kullanımında ağır metal içeriğinin dikkate alınması konusunda farkındalık oluşturması bakımından da faydalı olacağı kanaatine varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Ainza, C., Trevors J., Saier M., 2010. Environmental mercury rising. *Water Air and Soil Pollution*, **205**: 47-48.
- Ali, H., Khan E., Sajad M. A., 2013. Phytoremediation of heavy metals-Concepts and applications. *Chemosphere*, **91**: 869-881.
- Amırmoradı, S., Moghaddam, P. R., Koochekı1, A., Danesh, S., Fotovat, A., 2012. Effect of cadmium and lead on quantitative and essential oil traits of peppermint (*Mentha piperita* L.). Print ISSN 2067-3205; Electronic 2067-3264, *Not Sci Biol*, **4**(4): 101-109.
- Anonymous. <http://www.food-info.net/tr/metal/intro.html> (Erişim tarihi: 02.08.2018).
- Anonim. https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/7759/mod_resource/content/0/NANE-13.%20hafta.pdf (Erişim tarihi: 02.08.2018).
- Arias, J. A., Peralta-Videa J. R., Ellzey, J. T. et al. 2010. Effects of *Glomus deserticola* inoculation on *Prosopis*: enhancing chromium and lead uptake and translocation as confirmed by X ray mapping, ICP-OES and TEM techniques. *Environ Exp Bot*. **68**(2): 139-148.
- Arora, M., Kiran B., Rani S., Rani A., Kaur B., Mittal N., 2008. Heavy metal accumulation in vegetables irrigated with water from different sources. *Food Chemistry*, **111**: 811-815.
- Asri, F. ve Sönmez, S., 2006. Ağır metal toksisitesinin bitki metabolizması üzerine etkileri. *Dergipark*, **23**: 36-45.
- Assuncao, A. G. L., Schat, H., Aarts, M. G. M., 2003. *Thlaspi caerulescens*, an attractive model species to study heavy metal hyperaccumulation plants, *New Phytologist*, **159**(2): 351-360.
- Avcil, N., 2018. *Bitlis Katı Atık Tesisi Çevresindeki Bazı Hiperakümülatör Bitkilerin Ağır Metal İçeriklerinin Belirlenmesi* (yüksek lisans tezi). Bitlis Eren Üniversitesi ve Fırat üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitlis, Elazığ.
- Awofolu, O., 2005. A survey of trace metals in vegetation, soil and lower animal along some selected major roads in metropolitan city of Lagos. *Environmental Monitoring and Assessment*, **105**: 431-447.
- Bağdat, R., Akan, K., 2015. *Bozulmuş Ekolojik Dengenin Bitkilerle Onarılması (Fitoremediasyon) ve Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Bu Onarım Sürecindeki Rollerini*. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü, Ankara.
- Baranowska, I., Srogi, K., Wlochowicz, A., Szczepanik, K., 2002. Determination of heavy metal contents in samples of medicinal herbs. *Polish J. Of Environ. Studies*, **11**: 467-471.
- Baker, A. J. M., Walker, P. L., 1990. Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants, heavy metal tolerance in Plants. In. *Shaw A.J. Evolutionary Aspects*. CRC Pres, Boca Raton. **5**: 155-177.
- Baker, A. J. M., Revees, R. D., Hajar, A. S. M., 1994. Heavy metal accumulation and tolerance in British populations of the metallophyte *Thlaspi caerulescens* J. & C. Presl. (Brassicaceae). *New Phytol*, **127**: 61-8.
- Başer, K. H. C., 1993. Essential oils of Anatolian labiateae: a profile. *Acta Horticulturae*, **333**: 217-237.

- Baydar, H., 2005. *Tıbbi, Aromatik ve Keyf Bitkileri Bilimi ve Teknolojisi*. SDÜ Yayın No: 51, Isparta, 216.
- Baytop, T., 1992. *Türkçe Bitki Adları Sözlüğü*. Türk Dil Kurumu, Ankara.
- Barcelo, J., Vazquez, M., Poschenrieder, Ch., 1988. Cadmium-induced structural and ultrastructural changes in the vascular system of bush bean stems. *Botanica Acta* **101**: 254-261.
- Bert, V., Girondelot, B., Quatannens, V., Laboudigue, A., 2005. A phytostabilisation of a metal polluted dredged sediment deposit—Mesocosm experiment and field trial. *In: Uhlmann O, Annokée GJ, Arendt F. eds. Proceedings of the 9th International FZK/TNO Conference on soil–water systems, remediation concepts and Technologies*. Bordeaux, 1544-50.
- Berti, W. R., Cunningham, SD., 2000. Phytostabilization of metals. In: Raskin I, Ensley B. D. eds. *Phytoremediation of toxic metals: Using plants to clean-up the environment*. New York: Wiley, 2000: 71-88.
- Blaylock, M. J., Huang, J. W., 2000. *Phytoextraction of Metals*. In: Raskin I, Ensley B. D. eds. *Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean-up th the Environment*. New York: Wiley, 53-70.
- Bouyoucous, G. D., 1951. A Recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of the soil. *Agronomy J.*, **43**: 434-438.
- Brooks, R. R., 1998. *General Introduction*. In: Brooks, R. R. (ed.). *Plants That Hyperaccumulate Heavy Metals: Their role in phytoremediation, microbiology, archaeology, mineral exploration and phytomining*. CAB International, New York, pp. 1-14.
- Cay, S., Uyanik, A., Ozasik, A., 2004. Single and binary component adsorption of copper (II) and cadmium (II) from aqueous solution using tea-industry waste. *Separation Purification Technology*, **38**: 273-280.
- Clemens, S., 2006. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants, *Biochimie*, **88**: 1707-1719.
- Çağlar, K. Ö., 1949. Toprak bilgisi. *A. Ü. Zir. Fak.* **10**: 230.
- Çay, S., 2014. *Ağır Metal İyonlarıyla Kirletilmiş Toprakların Karadeniz Bölgesinde Yetişen Bazı Süs Bitkileri Kullanılarak Temizlenebilirliğinin Araştırılması* (doktora tezi). Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Çatak, E., Güler, Ç., Süleyman, T. ve Orhan, B., 2000. Bazı domates ve tütün genotiplerinde kadmiyum etkilerini inceleyen istatistiksel bir çalışma. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **2**(1): 121.
- Dang, R., Das, K., Hegde, L., 2000. Assessment of heavy metals in dried stevia leaves by atomic absorption spectrophotometer grown under various soil conditions. *Medicinal and Aromatic Plants in Generating of New Values in 21st Century*. Volume 18.
- Davis, P. H., 1982. *Flora of Turkey and the East Aegean Island*, Vol. 7, Edinburg Univ. Press, Edinburg, p. 384-394.
- Duda-Chodak, A., Baszczyk, U., 2008. The impact of nickel on human health. *Journal of Elementology*, **13**: 685–696.
- Dushenkov, V., Kumar PBAN, Motto H., Raskin I., 1995. Rhizofiltration: The use of plants to remove heavy metals from aqueous streams. *Environ Sci Technol*, **29**: 1239-45.

- Dushenkov, V., Kapulnik, Y., 2000. *Phytofiltration of Metals*. In: Raskin I, Ensley BD. eds. *Phytoremediation of Toxic Metals - Using Plants to Clean-up the Environment*. New York: Wiley, 89-106.
- Dürüst, N., Dürüst, Y., Tuğrul, D. and Zengin, M., 2004. *Heavy Metal Contents of Pinus Radiata Trees of İzmit (Turkey)*. *Asian Journal of Chemistry*, Vol. 16, No. 2, 1129-1134.
- Esringü, A., 2012. *Toprakta Kurşun (Pb), Kadmiyum (Cd) ve Bor (B) Elementlerinin Şelatör Desteğiyle Kolza (Brassica napus L.) Bitkisi Kullanılarak Fitoremediasyon Yöntemiyle Giderilmesi* (doktora tezi). Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Eke, M., 2010. *Nikel Hiperakümülatörü Thlaspi Elegans Boiss'den Nikelin Asitle Ekstraksiyonu ve Elektrokimyasal Yolla Metal Olarak Geri Kazanımının Araştırılması* (yüksek lisans tezi). Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- Ekmekyapar, F., Aslan, A., Bayhan, YK., Çakıcı, A., 2010. Biosorption of Pb(II) by non living lichen biomass of Cladonia rangiformis Hoffm. *Int J Environ Res*, 6(2): 417-24.
- Ellialtıoğlu, Ş., Sevengör, Ş., Sezik, E., 2007. Şanlıurfa'da nane tarımının geliştirilmesi üzerinde çalışmalar. *Şanlıurfa GAP GİDEM Bilgilendirme Toplantısı*. 8-9 Nisan, pp. 1-16.
- Elzbieta, W. C., Chwil, M., 2005. Lead-induced histological and ultra structural changes in the leaves of soybean (Glycine max (L) Mee.). *Soil Sci Plant Nut*, 51: 203-212.
- EPA, 2000. *Environmental Protection Agency, Introduction of Phytoremediation*. epa/600/R-99/107, Cincinnati, Ohio, U.S.A., 72.
- EPA, 1987. *EPA Indoor Air Quality Implementation Plan*. Washington, s:1-32.
- Evangelou, MWH, Ebel, M., Schaeffer, A., 2007. Chelate assisted phytoextraction of heavy metals from soil: Effect, mechanism, toxicity and fate of chelating agents. *Chemosphere*, 68: 989-1003.
- Ghani, A., 2010. Effect of cadmium toxicity on the growth and yield components of mungbean [Vigna radiata (L.) Wilczek]. *World Appl Sci (Special Issue of Biotech and Genetic Engin)*, 8: 26-29.
- Ghosh, M., Singh, S. P., 2005. A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its by products. *Appl. Ecol Environ Res*, 3: 1-18.
- Gohre, V., Paszkowski, U., 2006. Contribution of the arbuscular mycorrhizal symbiosis to heavy metal phytoremediation. *Planta*, 223: 1115-1122.
- Goyer, R. A., 1991. *Toxic effects of metals*. In: Caserett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons (Eds. Amdur M. O., Doull, J., Klaassen, C. D.) Pergamon Press, New York, 1032.
- Gülser, F., Çığ, A., Gökkaya, T. H., 2016. Effects of lead contamination on nutrient contents hyacinin (Hyacinthus orientalis L. c v. "Blue Star"). *Journal International Environmental Application & Science*, 2: 213-215.
- Haktanır, K., 1987. Çevre Kirliliği. A.Ü. Ziraat Fakültesi Ders Notu, Teksir No:140.
- Hamutoğlu, R. ve ark., 2012. Biyosorpsiyon, adsorpsiyon ve fitoremediasyon yöntemleri ve uygulamaları. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*: 2012; 69(4): 235 – 253.
- Hess, R., Schmid, B., 2002. Zinc supplement overdose can have toxic effects. *Journal Of Pediatric Hematology Oncology*, 24: 582–584.

- Horsfall, M. J., Spiff, A. I., 2005. Effects of temperature on the sorption of Pb+2 and Cd+2 from aqueous solution by *Caladium bicolor* (Wild Cocoyam) biomass. *Electron J Biotechn*, **8**: 143–50.
- Isık, K., 2004. *Bitki Biyolojisi*. Palme Yayıncılık, Ankara.
- Iqbal, M. P., 2012. Lead pollution—a risk factor for cardiovascular disease in Asian developing countries. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*, **25**: 289–294.
- Jackson, M. L., 1964. *Chemical composition of soils*. In F.E. Bear (ed.) Chemistry of the soil, 2nd edition. Reinhold Publ. Corp, **4**: 71-141, New York.
- Jackson, M. L., 1962. *Soil Chemical Analysis*. Prentice Hall Inc. Eng. Cliffs. N. I., USA.
- Jiang, W. Z. and Li, J. L., 1989. Effects of cadmium on photosynthetic characteristics of Tobacco. *Plant Physiology Communications*, **6**: 27-31.
- Kabata-Pendias, A., Mukherjee, A. B., 2007. *Trace Elements from Soil to Human*. Springer. Berlin.
- Kacar, B., 1984. *Bitki Belseme Uygulama Klavuzu*. A.Ü. Z.F. Yayınları: 900, Uygulama Klavuzu: **214**, Ankara, 104.
- Kacar, B., 1994. *Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri: III, Toprak Analizleri*. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Eğitim, Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları, No: 3, Ankara.
- Kahraman, A., Celep, F., Doğan, M., 2009. Morphology, Anatomy and Palynology of *Salvia indica* L. (Labiatae), *World Applied Sciences Journal*, **6**(2), 289-296.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal G., Güven, A. and Timur, S., 2007. Metallerin Çevresel Etkileri –I. www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136_4753.pdf. Erişim tarihi: 13.05.2007).
- Kalve, S., Sarangi, B. K., Pandey, R. A., Chakrabarti, T., 2011. Arsenic and chromium hyperaccumulation by an ecotype of *Pteris vittata*-prospective for phytoextraction from contaminated water and soil. *Current Science*, **100**: 888–894.
- Kara, Y., 2005. Bioaccumulation of Cu, Zn and Ni from the wastewater by treated *Nasturtium officinale*. *International Journal of Environmental Science and Technology*, **2**: 63-67.
- Karakaplan, N., 2017. *Nane (Mentha spicata) Bitkisinden Uçucu Yağ Eldesi İçin Optimum Koşulların Araştırılması*. İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Malatya.
- Krystofova, O., Shestivska, V., Galiova, M., Novotny, K., Kaiser, J., Zehnalek, J., Babula P., Opatrilova, R., Adam, V., Kizek, R., 2009. Sunflower plants as bioindicators of environmental pollution with lead (II) ions. *Sensors*, **9**: 5040-5058.
- Lee, M., Yang, M., 2010. Rhizofiltration using sunflower (*Helianthus annuus* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L. var. *vulgaris*) to remediate uranium contaminated groundwater. *J Hazard Mat*, **173**: 589-96.
- Lindsay, W. L., Norvell, W. A., 1978. Development of a DTPA soil test for Zn, Fe, Mn and Cd. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **42**: 421-428.
- Long, X. X., Yang, X. E., Ni, W. Z., 2002. Current Status and Perspective on Phytoremediation of Heavy Metal Polluted Soils. *J App Eco.*, **13**: 757–762.
- Lyons-Alcantara, M., Tarazona, J.V. and Mothersill, C., 1996. The differential effect of cadmium exposure on the growth and survival of primary and established cells from fish and mammals. *Cell Biol. and Toxicol.*, **12**: 29-38.

- Martens, S. N., R. S. Boyd, 1994. The ecological significance of nickel hyperaccumulation: A plant chemical defense. *Oecologia*, **98**: 379–84.
- Meers, E., Ruttens, A., Hopgood, M.J., Samson, D., Tack, F.M., 2005. Comparison of EDTA and EDDS as potential soil amendments for enhanced phytoextraction of heavy metals. *Chemosphere*, **58**: 1011-22.
- Memon, A. R., Aktopraklıgil, D., Özdemir, A., Vertii, A., 2000. *Heavy Metal Accumulation and Detoxification Mechanisms in Plants*. Tübitak MAM, Institute for Genetic Engineering and Biotechnology, Kocaeli- Turkey.
- McIntyre, T., 2003. Phytoremediation of heavy metals from soils. *Advan Biochem Eng/Biotech*, **78**: 97–123.
- Mudipalli, A., 2008. Metals (micro nutrients or toxicants) and global health. *Indian Journal of Medical Research*, **128**: 331–334.
- Okcu, M., Tozlu, E., Kumlay, A. M., Pehlivan, M., 2009. Ağır metallerin bitkiler üzerine etkileri. *Alinteri Zirai Bilimler Dergisi*, **17**(2), 14-26.
- Olsen, S. R., C. V. Cole, F. S. Watanabe, and Dean, L. A., 1954. *Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction With Sodium Bicarbonate*. U. S. Dept. of Agric. Cir. 939, Washington D. C.
- Olsen, S. R., Watanabe, F. S., 1957. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soil as measured by the Langmuir isotherm. *Soil Science Society American Proceedings*, **21**: 144-149.
- Özay, C., Mammadov, R., 2013. Ağır metaller ve süst bitkilerinin fitoremediasyonda kullanılabilirliği. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **15**(1): 68-77.
- Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M. ve Kaptan, H., 1995. *Toprak Bilimi*. 12. Baskı P. Schachtschabel H.-P. Blume, G. Brümmer, K.-H. Hartge, U. Schwerthmann'dan Çeviri, Çukurova. Üniv. Zir. Fak. Genel Yay No: 73, Ders Kitapları Yayın No: 16.
- Özbek, K., 2015. Hiperakümülayon ve türkiye florasındaki hiperakümülatör türler *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, **3**(1): 37-43
- Özdemir, H. İ., 1981. *Genel Anorganik ve Teknik Kimya*. Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.
- Padmavathiamma, P. K., Loretta, Y. L., 2007. Phytoremediation technology: Hyperaccumulation metals in plants. *Water Air Soil Pollut*, **184**: 105-26.
- Peng, K. J., Li, X. D., Luo, C. L., Shen, Z. G., 2005. Vegetation composition and heavy metal uptake by wild plants at three contaminated sites in xiangxi area, *China. J Env Sci and Health.*, **41**: 65-76.
- Pierzynski, G. M., Schnoor, J. L., Banks, M. K., Tracy, J. C., Licht, L. A., Erickson, L. E., 1994. Vegetative remediation at superfund sites. *Mining and its environ Impact Royal Soc. Chem. Issues in Environ Sci Technol*, **1**: 49-69.
- Pierzynski, G. M., Schwab, A. P., 1992. Reducing heavy metal availability to soybeans grown on a metal contaminated soil. In: Erickson, L. E., Grant, S. C., McDonalds J. P. eds. *Proceedings of the Conference on Hazardous Waste Research*, June 1-2, Boulder, CO. Engineering Extension, Kansas State University, Manhattan, K. S., 543-53.
- Pratt, D. E., 1965. Antioxidants in vegetable tissue. *J. Food Sci.*, **30**(5): 737-741.

- Reeves, R. D., 2006. *Hyperaccumulation of Trace Elements by Plants*. In: Morel, J.L., Echevarria, G. ve Goncharova, N. (Eds.). *Phytoremediation of Metal-Contaminated Soils*, NATO Science Series: IV: Earth and Environmental Sciences, Springer, NY, pp. 1-25.
- Rizzi, L., Petruzzelli, G., Poggio, G., Vigna G. G., 2004. Soil physical changes and plant availability of Zn and Pb in a treatability test of phytostabilization. *Chemosphere*, **57**: 1039-46.
- Rulkens, W. H., Tichy, R., Grotenhuis J. T. C., 1998. Remediation of polluted soil and sediment: Perspectives and Failures. *Water Sci. Technol*, **37**: 27–35.
- Sanchez-Chardi, A., Ribeiro, C. A. O., Nadal, J., 2009. Metals in liver and kidneys and the effects of chronic exposure to pyrite mine pollution in the shrew *Crocidura russula* inhabiting the protected wetland of Donana. *Chemosphere*, **76**: 387-394.
- Scavroni, J., Sivia, F. B. C., Ortiz, M. M. M., Cesar, F. L., 2005. Yield and composition of the essential oil of *Mentha piperita* L. (Lamiaceae) grown with biosolid. *Braz J Plant Physiol*, **17**(4): 345-352.
- Scora, R. W., Chang, A. C., 1997. Essential oil quality and heavy metal concentrations of peppermint grown on a municipal sludge-amended soil. *J of Environ Qual*, **26**(4): 975-979.
- Sharma, P. and Dubey, R. S., 2005. Lead toxicity in plants. *Braz. J. Plant Physiol.*, **17**(1): 35-52.
- Siddhu, G., Ali Khan, M. A., 2012. Effects of cadmium on growth and metabolism of *Phaseolus mungo*. *J of Environ Biol*, **33**: 173-179.
- Singh, R., Tripathi, R. D., Dwivedi, S. et al. 2010. Lead bioaccumulation potential of an aquatic macrophyte *Najas indica* are related to antioxidant system. *Bioresour Technol*, **101**(9): 3025–3032.
- Söğüt, Z., Zaimoğlu, Z., Erdoğan, R. K., Doğan, S., 2004. *Su Kalitesinin Arttırılmasında Bitki Kullanımı (Yeşil Islah-Phytoremediation)*. Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Vanlı, Ö. 2007. *Pb, Cd, B Elementlerinin Topraklardan Şelat Destekli Fitoremediasyon Yöntemiyle Giderilmesi* (yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Verma, S. ve Dubey, R. S., 2003. Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants. *Plant Sci.*, **164**:645-655.
- Yaldız, G. ve Şekeroğlu, N., 2013. Tıbbi ve aromatik bitkilerin bazı ağır metallerle tepkisi. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, **6**(1): 80-84, 2013.
- Tripathi, R. D., Srivastava, S., Mishra, S., Singh, N., Tuli, R., Gupta, D. K., Maathuis, F. J. M., 2007. Arsenic hazards: strategies for tolerance and remediation by plants. *Trends in Biotechnology*, **25**: 158–165.
- www.cevrehkim.org (2006). (Erişim tarihi: 11.08.2018).
- Zengin, F. ve Munzuroğlu, Ö., 2003. Fasulye fidelerinin (*Phaseolus vulgaris* L.) kök, gövde ve yaprak büyümesi üzerine kadmiyum (Cd⁺⁺) ve Civa (Hg⁺⁺)'nın etkileri. *Fen Bilimleri Dergisi*, **24**(1): 64-75
- Zheljzakov, V. D., Craker, L. E., Xing, B., 2006. Effects of Cd, Pb, and Cu on growth and essential oil contents in dill, peppermint, and basil. *Environ and Exp Bot*, **58**: 9-16.

Zheljazkov, V. D., Nielsen, N. E., 1993. Studies on the effect of heavy metals (Cd, Pb, Cu, Mn, Zn And Fe) upon the growth, productivity and quality of lavender (Lavandula Vera D. C.) production. *A Paper Presented At the 24th International Symposium On Essential Oils*, July 20-23, Berlin.J. Essential Oil Res.





ÖZ GEÇMİŞ

1992 yılında Kahramanmaraş'ta doğdu. İlk ve orta öğrenimini Arslanbey İlköğretim Okulu'nda, lise öğrenimini Hoca Ahmet Yesevi Lisesi'nde tamamladı. 2011-2015 yılları arasında, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü'nde lisans eğitimini tamamlayıp, Ziraat Mühendisi unvanıyla mezun oldu. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine 2017 yılında başladı.



T.C
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 06/09/2020

Tez Başlığı / Konusu: Nane (*mentha mutimentha L.*)'nin Kadmiyum, Kurşun Toleransı ve Fitoremediasyon Potansiyelinin Belirlenmesi

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 71 sayfalık kısmına ilişkin, 05/09/2020 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından TURNİNTİN intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 10 (yüzde on) dur.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:

- Kabul ve onay sayfası hariç,
- Teşekkür hariç,
- İçindekiler hariç,
- Simge ve kısaltmalar hariç,
- Gereç ve yöntemler hariç,
- Kaynakça hariç,
- Alıntılar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimededen daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit inatch size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Eda Bakar

Öğrenci No: 17910001080

Anabilim Dalı: Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı

Programı: Toprak Bilimi ve Bitki Besleme

Statüsü: Y. Lisans Doktora

DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR

ENSTİTÜ ONAYI
UYGUNDUR

(Unvan, Ad Soyad, İmza)

(Unvan, Ad Soyad, İmza)