



T.C.

MARDİN ARTUKLU ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

TARLA BİTKİLERİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**NİKEL İLE KİRLENMİŞ TOPRAKLARDA LAVANTA
(*LAVANDULA LATİFOLİA*) BİTKİSİ KULLANILARAK
TEMİZLENME OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI**

Merve CAN

TARLA BİTKİLERİ ANABİLİM DALI MARDİN

MARDİN-2023

T.C.
MARDİN ARTUKLU ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
TARLA BİTKİLERİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NİKEL İLE KİRLENMİŞ TOPRAKLARDA LAVANTA
(*LAVANDULA LATİFOLİA*) BİTKİSİ KULLANILARAK
TEMİZLENME OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

Merve CAN

Tez Danışmanı
Doç. Dr. Abdullah EREN

MAÜ. BAP. 21. KMY. 030

MARDİN-2023

T.C .
MARDİN ARTUKLU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
TEZ ONAYI

Enstitümüzün Tarla Bitkileri Ana Bilim Dalı 20203002 numaralı öğrencisi Merve CAN'ın hazırladığı “**Nikel ile Kirlenmiş Topraklarda Lavanta (*Lavandula latifolia*) Bitkisi Kullanılarak Temizlenme Olanaklarının Araştırılması**” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezi ile ilgili TEZ SAVUNMA SINAVI, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği uyarınca ../../2023 saat yapılmış, tezin onayına OY BİRLİĞİYLE karar verilmiştir.

Başkan_____

Doç. Dr. Abdullah EREN (Danışman)

Üye_____

Dr. Öğr. Üyesi

Üye_____

Dr. Öğr. Üyesi

ONAY

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu’nun..... tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır./...../20.....

Enstitü Müdürü
(Unvanı, Adı Soyadı)

ETİK BEYAN

Mardin Artuklu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgileri etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tez çalışmasının hazırlık, bilgi, belge, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarda bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun davrandığımı,
- Tez çalışmasında kullanılan tüm eserlere eksiksiz atıf yaptığımı ve kullanılan tüm eserlere kaynaklar/kaynakçada yer verdiğimi,
- Tez çalışmasının özgün olduğunu,
- Tez çalışmasının Mardin Artuklu Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı” ile tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabullendiğimi bildiririm.

İmza
Merve CAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

NİKEL İLE KİRLENMİŞ TOPRAKLARDA LAVANTA (*LAVANDULA LATİFOLIA*) BİTKİSİ KULLANILARAK TEMİZLENME OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

Merve CAN

Mardin Artuklu Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Tarla Bitkileri Anabilim Dalı

2023: 44 Sayfa

Bu çalışma, nikel ile kirlenmiş toprakların temizlenmesi için Lavanta bitkisinin kullanılabilirliğini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Lavanta bitkisi, fitoekstraksiyon olarak adlandırılan bir yöntemle topraktaki kirleticileri absorbe ederek temizleme potansiyeline sahiptir. Araştırmada, kontrollü koşullarda nikel ile kirlenmiş topraklar hazırlanmış ve Lavanta bitkileri bu topraklarda yetiştirilmiştir. Bitkilerin büyüme ve gelişim süreci izlenmiş ve topraktan nikel elementinin bitki tarafından alınıp alınmadığı, bitki üzerinde birikim gösterip göstermediği incelenmiştir. Böylece, Lavanta bitkisinin nikelin fitoremediasyonunda etkili olup olmadığı değerlendirilmiştir. Artan dozlarda nikel (0-200-400-600-800 mg kg⁻¹) çözelti formunda verilerek ve tarla kapasitesinin % 60-65'ine getirilerek 1 hafta süreyle inkübasyona bırakılmıştır. Daha sonra, torf ortamında çelik halinde olan fideler saksılara aktarılmıştır ve saksılarda 6 hafta boyunca kontrollü yetiştirilmiştir. Bitkilerde yaş ve kuru ağırlık ile boy miktarları, kontrol gruplarına göre 200 ve 400 mg Ni kg⁻¹ uygulamalarının artış gösterdiği, 600 ve 800 mg Ni kg⁻¹ uygulamalarının ise bitkide azalma olduğu belirlenmiştir. Nikel uygulamalarının, bitkilerde Ni konsantrasyonlarının 2.58-63.6 mg Ni kg⁻¹ arasında değişim gösterdiği, en düşük değer uygulama yapılmayan 0 mg Ni kg⁻¹ (kontrol) grubunda olduğu, en yüksek değer ise 800 mg Ni kg⁻¹ uygulamasında olduğu belirlenmiştir. Farklı dozlarda Ni uygulamalarının, bitkilerde Ni içeriğinin en düşük 9.04 µg bitki⁻¹ değer ile uygulama yapılmayan kontrol grubunda olduğu, en yüksek 150 µg bitki⁻¹ değer ise 800 mg Ni kg⁻¹ uygulamasında olduğu belirlenmiştir. Araştırma sonuçları, Lavanta bitkisinin Ni elementinin topraktan alınmasında etkili olduğunu ve bitki üzerinde birikim gösterdiği belirlenmiştir. Bu durum, Lavanta bitkisinin nikel ile kirlenmiş toprakların temizlenmesinde kullanılabileceğini göstermektedir. Ancak, temizlik sürecinin etkinliği, nikel konsantrasyonuna, toprak özelliklerine ve bitki yetiştirme koşullarına bağlı olarak değişebilir.

Anahtar Kelimeler: Ağır Metaller, Lavanta (*Lavandula latifolia*), Nikel, Toprak Kirliliği

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF CLEANING POSSIBILITIES BY USING LAVENDER (*LAVANDULA LATIFOLIA*) PLANT IN NICKEL CONTAMINATED SOILS

Merve CAN

Mardin Artuklu University

Institute of Graduate Education

Department of Field Crops

2023: 44 Pages

This study was carried out to evaluate the usability of Lavender plant for cleaning nickel-contaminated soils. The lavender plant has the potential to absorb and clean up the soil diverters in an ongoing environment as phytoextraction. In the study, soils contaminated with nickel were prepared under controlled conditions and Lavender plants were grown in these soils. The growth and development process of the plants was monitored, and whether the nickel element was taken up by the plant from the soil and accumulated on the plant or not was examined. Thus, whether the Lavender plant is effective in the phytoremediation of nickel was evaluated. Increasing doses of nickel (0-200-400-600-800 mg kg⁻¹) were given in solution form and brought to 60-65% of the field capacity and incubated for 1 week. Then, the cuttings in peat medium were transferred to pots and grown in pots for 6 weeks under control. It was determined that 200 and 400 mg Ni kg⁻¹ applications showed an increase in fresh and dry weight and height amounts of plants compared to the control groups, while 600 and 800 mg Ni kg⁻¹ applications showed a decrease in the plant. It was determined that Ni concentrations in plants of nickel applications varied between 2.58-63.6 mg Ni kg⁻¹, the lowest value was in the untreated 0 mg Ni kg⁻¹ (control) group, and the highest value was in the 800 mg Ni kg⁻¹ application. It was determined that Ni applications at different doses had the lowest Ni content in plants with 9.04 µg plant⁻¹ value in the control group, and the highest 150 µg plant⁻¹ value was 800 mg Ni kg⁻¹ application. The results of the research showed that the lavender plant is effective in taking the Ni element from the soil and it accumulates on the plant. This indicates that the Lavender plant can be used for cleaning nickel-contaminated soils. However, the effectiveness of the cleaning process may vary depending on nickel concentration, soil properties and plant growing conditions.

Keywords: Heavy Metals, Lavender (*Lavandula latifolia*), Nickel, Soil Pollution

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tezi çalışmamda, tez danışmanlığı üstlenerek araştırmamın seçiminde ve yürütülmesinde bana yol gösteren, her konuda beni destekleyip, bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen, kendisiyle çalıştığım için her zaman kıvanç duyacağım saygıdeğer Doç. Dr. Abdullah EREN hocama ve her zaman olduğu gibi yüksek lisans eğitimim boyunca da beni destekleyen aileme sonsuz teşekkür ederim.

Çalışmaya MAÜ. BAP. 21. KMY. 030 nolu proje ile destek veren Mardin Artuklu Üniversitesi BAP Koordinasyon Birimine teşekkür ederim.

28/08/2023

Merve CAN

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN	vi
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
RESİMLER DİZİNİ	xi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xii
GİRİŞ	1
Ağır Metaller.....	4
Nikel (Ni).....	5
Ağır metallerle kirlenmiş alanları temizleme yöntemleri	9
Fiziksel yöntemler.....	9
Kimyasal yöntemler	9
Biyolojik yöntemler	10
Fitoremediasyon.....	11
Fitostabilizasyon	12
Rizofiltrasyon.....	12
Fitoekstraksiyon.....	12
BİRİNCİ BÖLÜM	14
1. KAYNAK ARAŞTIRMASI	14
İKİNCİ BÖLÜM	19
2. MATERYAL VE METOT	19
2.1. Materyal	19
2.1.1. Bitki Materyali	19
2.1.2. Toprak Hazırlığı.....	19
2.1.3. Araştırmada Kullanılan Toprak Özellikleri	20
2.2. Metot	20
2.2.1. Toprağın Yapay Olarak Kirlenmesi İşlemi	20
2.2.2. Saksı Denemesinin Kurulması	21

2.2.3. Bitki örneklerinin hazırlanması ve analizi	21
2.2.4. İstatiksel Analizler	22
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM	24
3. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	24
3.1. Farklı dozlarda Ni uygulamalarının <i>Lavandula latifolia</i> bitkisinde yaş, kuru ağırlık ve bitki boyları üzerine etkisi	24
3.2. Farklı dozlarda Ni uygulamalarının <i>Lavandula latifolia</i> bitkisinde N, P ve K üzerine etkisi	26
3.3. Farklı dozlarda Ni uygulamalarının <i>Lavandula latifolia</i> bitkisinde Cu, Fe, Mn ve Zn üzerine etkisi.....	28
3.4. Farklı dozlarda Ni uygulamalarının bitkideki Ni (mg kg^{-1}) konsantrasyonu ve Ni ($\mu\text{g bitki}^{-1}$) içeriği üzerine etkisi	30
SONUÇ.....	33
KAYNAKLAR	35
ÖZGEÇMİŞ.....	44

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. Toprak ve bitkilerde ağır metal sınır değerleri	8
Tablo 2.1. Deneme alanının bazı kimyasal ile fiziksel özellikleri	20
Tablo 3.1.1. Lavanta bitkisinde farklı dozlarda Ni uygulamalarının bitkide yaş ağırlık, kuru ağırlık ve boy miktarlarına ait varyans analiz sonuçları	24
Tablo 3.1.2. Lavanta bitkisinde farklı dozlarda Ni uygulamalarının bitkide yaş ağırlık, kuru ağırlık ve boy üzerine etkisi	26
Tablo 3.2.1. Lavanta bitkisinde farklı dozlarda Ni uygulamalarının N, P ve K konsantrasyonlarına ait varyans analiz sonuçları	26
Tablo 3.2.2. Lavanta bitkisinde farklı dozlarda Ni uygulamalarının N, P ve K konsantrasyonları üzerine etkisi	27
Tablo 3.3.1. Lavanta bitkisinde farklı dozlarda Ni uygulamalarının Cu, Fe, Mn ve Zn konsantrasyonlarına ait varyans analiz sonuçları	28
Tablo 3.3.2. Lavanta bitkisinde farklı dozlarda Ni uygulamalarının Cu, Fe, Mn ve Zn konsantrasyonları üzerine etkisi	29
Tablo 3.4.1. Lavanta bitkisinde farklı dozlarda Ni uygulamalarının bitkideki Ni konsantrasyonu ve Ni içeriğine ait varyans analiz sonuçları	30
Tablo 3.4.2. Lavanta bitkisinde farklı dozlarda Ni uygulamalarının bitkideki Ni (mg kg^{-1}) konsantrasyonu ve Ni ($\mu\text{g bitki}^{-1}$) içeriği üzerine etkisi	31

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3.4.1. Lavanta bitkisinde farklı dozlarda Ni uygulamalarının bitkideki Ni (mg kg^{-1}) konsantrasyonu ve Ni ($\mu\text{g bitki}^{-1}$) içeriği üzerine etkisi.....	32
---	----



RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa No
Resim 2.1. Deneme saksılarından bir görünüm.....	23
Resim 2.2. Bitkilerin boy ölçümlerinin alınma işlemi.....	23
Resim 2.3. Bitkilerin hasat işlemi.....	24
Resim 2.4. Hasat edilen bitkilerin tartımı.....	24



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Ag	: Gümüş
Cd	: Kadmiyum
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
Hg	: Civa
K	: Potasyum
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
N	: Azot
Ni	: Nikel
P	: Fosfor
Pb	: Kurşun
Zn	: Çinko

Kısaltmalar

DAP	: Diamonyum Fosfat
H ₂ O ₂	: Hidrojen peroksit
NO ₃ ⁻	: Nitrat
KDK	: Katyon değiştirme kapasitesi
MDA	: Malondialdehyde
mg kg ⁻¹	: Miligram kiloğram ⁻¹
mg l ⁻¹	: Miligram litre ⁻¹
TSP	: Triple Süperfosfat

GİRİŞ

Toprak, genel bir tanımla organik maddelerin ve kayaçların çeşitli ayrışmalar sonucunda oluşan ve içerisinde çeşitli canlıları, hava ve suyu içeren bir maddedir (Ergene, 1993). Toprak, canlıların yaşamını devam ettirmesi için gerekli olan hava ve su gibi vazgeçilmez bir maddedir. Çünkü toprak canlıların yaşam başlangıcında, oluşumunda ve sürdürülebilmesinde çok önemli bir etkindir (Keleş, 2015).

İnsanların yaptıkları çeşitli faaliyetler sonucunda toprağın fiziksel, kimyasal, jeolojik ve biyolojik olarak yapılarının değişmesi ve bozulmasına toprak kirliliği denir (Karaca ve Turgay, 2012).

Günümüz teknolojisiyle beslenmemizi sağlayan topraklarımız gün geçtikçe kirlenmekte ve bu kirliliğin artmasıyla tarımsal faaliyetlerin yapıldığı alanlarda gittikçe azalmalara yol açmaktadır (Syed, 2005).

Nüfus yoğunluğunun artmasıyla tarım topraklarına uygulanan teknolojik yöntemlerle daha fazla verim alma düşüncesiyle yüksek miktarda ağır metal içeren pestisit, hormon ve gübrelerin kullanılması kirliliğin artmasına neden olmaktadır (Aydın ve Bedük, 2013).

Çoğunlukla kötü hijyen alışkanlıkları, fazla tarımsal ilaçların kullanılması, katı ve sıvı atıkların yok edilmesi ile ilgili yetersiz yöntemler, vahşi depolama ile atıkların bertarafı, plansız şekilde kentleşme, hayvancılık faaliyetleri sonucu oluşan atıklar, sanayi ve madencilik atıkları, arıtılmamış kirli suların tarım arazilerinde sulama amacıyla kullanılıyor olması, radyoaktif kirlilik ve hava kirliliği gibi birçok nedenden dolayı topraklarda kirlilik oluşmaktadır (TÇMO, 2018; Güler ve Çobanoğlu, 1997).

Çevresel kirleticiler toprağın flora ve faunasını etkileyebilen kimyasal, fiziksel ve biyolojik süreçlerdir. Bu kirliliğe neden olan maddelerin oluşması, birikmesi ve taşınması başta toprağın kirlenmesine ve buna bağlı olarak ağır metal kirliliğine, yer altı sularının kirlenmesine, sediment kirliliğine, akarsu, nehir göl kirliliğine ve sonuç olarakta denizlerin kirlenmesine neden olmaktadır (Jack, 2001).

Günümüzde toprak kirliliği küresel bir sorun haline gelmektedir. Başlıca toprak kirleticileri içinde ağır metaller bulunmaktadır ve giderek büyük bir sorun haline geldiği bildirilmektedir (Doelsche ve ark., 2005a; Doelsche ve ark., 2005b).

Son yıllarda ağır metallerin sebep olduğu toprak kirliliği tüm dünyanın dikkatini çekmektedir. Topraklardaki kirlilik, endüstri ve madencilik faaliyetlerinin gelişmesi ve atık sularla yapılan sulamalar ve arıtma çamuru uygulamalarının yaygınlaşmasıyla küresel bir sorun haline gelmiştir. Ağır metallerin topraklardaki birikimi toprağın verimliliğine ve ekosistemin fonksiyonlarına önemli oranda etkisi vardır (Durak, 2005; Köseoğlu, 2007).

Tarımsal faaliyetler için kullanılan bazı kimyasal gübreler, zararlılarla mücadelede kullanılan yok edici ilaçlar, toprakların kirlenmesine sebep olmaktadır. Topraktaki iz elementlerin miktarlarını serpintiler, toprağı oluşturan ana kayanın cinsi, kimyasal gübreler, tarım ilaçları ve yapılan ilaçlamalarda püskürtülen maddeler etkileyebilmektedir. Civa (Hg), kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), selenyum (Se) ve nikel (Ni) gibi ağır metaller topraklardan hayvansal ve bitkisel gıdalara geçmektedir. Bu maddeler oldukça tehlikeli ve zehirlidirler (Güler ve Çobanoğlu, 1997).

Tarımsal faaliyetler için kullanılan topraklarda verimin artması için kullanılan fosforlu gübreler Diamonyum Fosfat (DAP), Triple Süperfosfat (TSP) ve kompoze gübrelerin gereğinden fazla ve bilinçsizce toprağı uygulanması, toprakların özellikle üst kısımlarındaki zehirleyici metal yoğunluğunun artmasına neden olmaktadır (Dağdeviren, 2007). Bir bitki besin elementi olan Ni, bitkiler tarafından topraktan iyon formunda alınabilmektedir. Az miktarda veya çok miktarda bütün topraklarda Ni bulunmakta ve Ni'nin topraklarda bulunmasının kaynaklarının başında, P'li gübreler ile volkanik kökenli kayaçların yapısında bulunan minerallerdir (Brohi ve ark., 1995).

İçeriğinde ağır metal bulunan gübrelerin az bir kısmı amacına yönelik kullanılmakta ve diğer miktarıysa meteorolojik etkenlerle topraklara karışmaktadır. Kirliliğe maruz kalmış bir ekosistemde topraklarda bulunan ağır metaller hem bitkisel hem de hayvansal gıdalara geçmekte ve besin zinciri yoluyla insanlara ulaşmaktadır (Clay, 2011; Yu ve ark., 2012).

Bitkiler toprakta bulunan ağır metalleri hem kök kısmında hem de yeşil aksamında biriktirebilmektedirler (Başçı, 2009). Ayrıca topraktaki ağır metaller önce bitkilere sonra da besin zinciriyle insan ve hayvanlara geçebilmektedir (Durak, 2005; Köseoğlu, 2007).

Toprakta yüksek konsantrasyonlarda ağır metallerin varlığı, bitkilerin gereksinim duyduğu besin elementlerinin topraktan alınamamasına neden olmaktadır. Ağır metallere maruz kalan bitkilerde, temel besin maddelerinin eksikliklerinden kaynaklı kök ve gövde boylarının olması gerekenden kısa, yaprak sayılarının daha az ve yaprak alanının daha küçük olmasına sebep olmaktadır (Mengoni ve ark., 2009; Jayakumar ve ark., 2007).

Toprakta oluşan biyokimyasal tepkimeler ağır metallerden direkt etkilenebilirler. En önemli olanları ise; organik maddelerin mineralizasyonları, solunum aktiviteleri, enzim aktiviteleri ve nitrifikasyondur. Toprağın içerisindeki mikroorganizmalar tarafından CO₂ üretimi, topraktaki enzim aktivitelerini ve nitrifikasyon olayı gibi bazı biyokimyasal tepkimeler dizisi ağır metallerin toprak ve bitkideki toksik etkilerini inceleyebilmek için birer indikatör olarak kabul edilmektedir. Ağır metallerin biyokimyasal tepkimeler üzerindeki toksik etkileri, onların hareketlilikleri ve topraktaki konsantrasyonları ana materyalin kimyasal bileşimi ile ilişkilidir (Dağdeviren, 2007).

Topraklarda oluşan ağır metal kirliliğini iyileştirebilmek için birçok farklı yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler temel olarak ikiye ayrılmaktadır, kirlenmiş toprağın yerinde iyileştirilmesi (in-situ) veya taşınıp başka bir yerde iyileştirilmesi (ex-situ) yöntemidir (Gomes ve ark., 2013). Topraklardaki metal kirliliğinin iyileştirilmesi için yöntem seçiminde, alanın özellikleri, temizlenecek kirleticinin türüne, konsantrasyonuna ve kirlenen alanın en son kullanılmış olan halini göz önünde bulundurularak yapılmalıdır (Bhandari ve ark., 2007).

Endüstriyel faaliyetler sonucu çevrede meydana gelmiş olan bozulmaların giderilebilmesi için çeşitli yöntemlerin bulunduğu ve bu yöntemlerin çoğunda ileri teknolojiler kullanıldığı, kullanılan teknolojilerinse oldukça maliyetli, büyük alanlarda uygulanabilirliklerinin zor olduğunu öngörülmüştür. Bu yüzden fitoekstraksiyon yönteminin, topraklarda ağır metal kirliliği mücadelesinde en fazla tercih edilen yöntemlerden olup, estetik, sürdürülebilir olması ve çevreye dost bir yöntem olarak tıbbi ve aromatik bitkilerin kullanımının ideal bir seçenek olduğu belirtilmiştir (Yıldıztekin ve ark., 2019).

Ağır Metaller

Ağır metaller periyodik cetvelin 3 ve daha yüksek periyodlarında bulunan, fiziksel özellikleri yönünden yoğunluğu 5 g cm^{-3} 'ten daha yüksek, atom numarası ise 20'den büyük, zehirleyici etkisi olan ve kirliliğe sebep olan metaller olarak tanımlanmaktadır. Başta nikel (Ni), kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), krom (Cr), demir (Fe), kobalt (Co), bakır (Cu) ve çinko (Zn) metalleri olmak üzere 60'tan fazla metal bu gruba dahildir. Bu metaller doğaları gereği dünyada genellikle karbonat, silikat ve sülfür halinde stabil bileşik veya silikatlara bağlı olarak bulunmaktadırlar (Kahvecioğlu ve ark., 2004; Apaydın, 2005).

Ağır metaller, yüksek yoğunlukta olmaları nedeniyle düşük konsantrasyonlarda da zehirleyici ve toksik etkiye sahiptirler. Bu nedenden dolayı ABD Çevre Koruma Ajansı ağır metalleri, 650 toksik ve kirliliğe sebep olan kimyasalların listesinde 129 adet öncelikli çevre kirleticilerinin arasında göstermiştir (Batır, 2004).

Ağır metaller insanlar tarafından yok edilebilir veya oluşturulabilir olmadıkları için diğer toksik metallerden ayrılmaktadırlar. Bu sebeple topraklarda, çözeltilerde, temiz su kaynakları ve deniz sularında birikime eğilim göstermektedirler (Karaçağıl, 2013).

Ağır metaller, atmosfere doğal yollardan veya atmosferik kaynaklardan yayılabilmektedirler. Doğal yollardan krom (Cr), mangan (Mn), vanadyum (V) ve daha az oranda Cu, Mo, Ni ve Zn emisyonları toz halinde yere çökerek yayılırlar. Fosil yakıtların yakılmasıyla ve motorlu araçların emisyonlarında şehirlerdeki en önemli antropojenik kaynaklı havadaki partikül maddede Cu, Ni ve Zn bulunmaktadır (Bem ve ark., 2003).

Ağır metallerin etrafa yayılmasındaki en önemli faktörler, endüstriyel faaliyetler, çimento üretimi, demir-çelik sanayi, termik santraller, cam üretimi, çöp ve atık çamur yakma tesisleridir. Havaya bırakılmış olan metaller sonunda toprağa ulaşır, hayvanlar ve insanlara havadan aerosol olarak veya toz halinde solunarak ulaşmaktadır (Kahvecioğlu ve ark., 2003; Durak, 2005; Köseoğlu, 2007).

Ağır metaller bitkiler için stres kaynağıdır, bitkilerin türü, stres faktörü, maruz kaldıkları süreler göre değişmekte olup (Gür ve ark., 2004), maruz kaldığı metale, etkilediği organizmaya göre de etkisi değişmektedir. Bitkilerin ağır metallerden etkilenme oranı ve bünyelerine almış oldukları metaller, toprak pH'sı, toprağın katyon değiştirme kapasitesi (KDK), toprakta bulunan diğer metallerin miktar ve dağılımı,

iklim faktörleri, bitkinin kimyasal seçiciliği ve bitki türü gibi birçok faktörden kaynaklı değişebilmektedir (Çağlarırnak ve Hepçimen, 2010).

Bazı bitkiler yüksek orandaki ağır metal yoğunluğuna toleranslı ve metal bulaşmış alanlarda yetiştirebiliyorlar, bazılarının ise ağır metallere toleransı yoktur ve bu alanlarda yetişememektedirler. Cd, Ni, Hg ve Pb gibi ağır metaller bitkiler tarafından Cu, Mn, Fe ve Zn ile alınabilmektedirler. Bu metaller yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu bitkilerde ciddi oranda zehirleyici olabilmekte ve bitkide verimi olumsuz etkilemektedir (Altınbaş ve ark., 2008). Genellikle ağır metallerin konsantrasyonları bitkilerin sürgünlerine oranla köklerinde daha çok olmaktadır. Bitki kısımlarında ağır metalleri biriktirebilme konsantrasyonu sırasıyla kök, sap, yaprak ve meyve/tohum şeklinde olmaktadır (Müller ve ark., 2003).

Ağır metaller bitkilerin transpirasyon, stoma hareketleri, su alımı, fotosentez, çimlenme, hormonal denge gibi özelliklerini etkilemektedir (Kılıç ve ark., 2014). Ağır metallere maruz kalan bitkilerde DNA yapısında mutasyon benzeri değişimler, çözünür protein ve şeker miktarlarını azaltmaktadır (İbrahim ve ark., 2013).

Ağır metaller bitkilerde kloroplast yapısının değişmesine sebep olmaktadır ve klorofil miktarlarında azalmalar olmaktadır. Ağır metallere maruz kalan bitkilerin stoma iletkenliği etkilenecek, fotosentezin devamlılığı engellenmekte ve bitkinin su tüketiminde azalmalar olmakta bu da verim ve kaliteyi indirgemektedir. Artan ağır metal toksisitesiyle toprakta su bulursa bile bitkiler su alamaz duruma gelmektedir. Yapraklardaki suyun azalmasıyla stomalar kapanır, artan yaprak sıcaklığıyla da membran sistemleri zarar görür ve hücre ölümleri gerçekleşir (Tunç ve Sahin, 2015).

Nikel (Ni)

Nikel volkanik kayaların yapılarında serbest veya Fe ile kompleks oluşturarak bulunmaktadır. Yerkabuğundaki en fazla bulunan elementlerden 22. sıradadır (Sunderman ve Oskarsson, 1991). Nikel elementini kimyacı Ronstadt 1971 yılında keşfetmiştir. Sembolü Ni, atom numarası 28, atom ağırlığı 58.69, gümüş renginde olup yoğunluğu ise 8.908 g cm^{-3} olan bir geçiş elementidir. Nikel, +2 formunda toprakta geniş pH aralığında, redoks koşullarında stabil durumda bulunmaktadır (Özdemir, 2006; McGrath, 1995).

Nikel ile kirlenmiş topraklarda Ni oranı $26.000 \text{ mg kg}^{-1}$, yüzey sularındaysa 0.2 mg kg^{-1} oranında görülmektedir (McGrath, 1995; Alloway, 1995; Astros ve Bjorklund,

1996; Zwolsman ve Bokhoven, 2007). Bu oranlar kirlilik olmayan topraklara kıyasla 20-30 kat daha fazladır (Kozlow, 2005).

Nikelin topraklarda ve yüzey sularında ki doğal konsantrasyonu çoğunlukla 0.005-100 mg kg⁻¹ arasında bulunmaktadır (McGrath, 1995). Ayrıca fosil yakıtlarının, araç emisyonlarının, evlerin atıklarının doğaya salınması, madencilik faaliyetleri ve tarım için kullanılan gübreler, kömür, petrol, boya, elektronik, bakır ve çelik sanayisinde, fosil yakıt kullanımında karşımıza çıkan bir ağır metaldir (Alloway, 1995; Salt ve ark., 2000; Sharma, 2005; Seven ve ark., 2008).

Nikel günümüzde birçok kullanım alanına sahiptir. Alaşım yoluyla elde edilen birçok malzemenin imalatında kullanılmaktadır. Nikel alaşımı 3000'den fazla endüstri ürünü ve tarımda kullanılmaktadır (Sigel ve Sigel, 1994). Örneğin endüstriyel faaliyetlerde birçok kullanım alanına sahip olan Ni; Ni-asetat tekstil sanayisinde boya sabitleme, bitkisel yağların üreminde hidrojenasyon katalizatörü ve kaplamada çokça kullanılmakta, pil üretiminde ve renkli cam üretiminde kullanılmaktadır. Fakat bu faaliyetler sonucunda belirli oranda Ni doğaya bulaşmaktadır (Dennis ve Such, 1993; Cempel, 2006).

Nikelin asıl kullanım alanları paslanmaz çelik, Cu-Ni alaşımı ve diğer korozyona dayanıklı alaşım üretimleridir. Saf Ni ise kimyasal katalizör olarak elektrolitik kaplamada, alkali pillerde, pigmentlerde, madeni paralarda, kaynak ürünlerinde, mıknatıslarda, elektrotlarda, elektrik fişlerinde, makine parçaları ve tıbbi protezler'dir (Özkan, 2009).

Nikel, çöplerin yakılması sonucu ve güç santralleriyle doğaya karışmaktadır. Bu faaliyetler sonucundaysa Ni atmosfere karışmaktadır (Hilgenkamp, 2005). Atmosfere karışan Ni'nin uzaklaştırılması da zor ve oldukça zaman almaktadır (Nriagu, 1989). Atmosferde biriken Ni, çökelti olarak veya yağışla toprağa karışmaktadır (Galloway ve ark., 1982).

Toprakların pH oranı Ni'nin alınmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bitkiler topraklarda mevcut halde bulunan Ni'yi alır ve kolaylıkla bünyesine aldıktan sonra, yüksek konsantrasyonlarda Ni zehir etkisi yaratmaktadır. Uzun süreli Ni maruziyeti bitkide büyümeyi yavaşlatıcı etki yaratmaktadır (Dartan ve Toröz, 2013).

Nikel bir bitki besin elementi olsa da bitkiler için gerekliliği tam olarak açıklanmış değildir. Fakat Ni bitkilerde üreaz ve hidrogenaz gibi enzimlerin yapı maddesini oluşturduğu için Ni'nin eksikliğinde üre formunda olan gübrelerden yararlanamadıkları belirlenmiştir (Kacar ve Katkat, 2007). Yapılan bir çalışmada, bazı

bitkilerin besin çözültisine Ni uygulanmıştır, uygulamanın yapıldığı bitkilerde yaprak yanıklığının az, üreaz aktivitesinin yüksek olduğu, uygulama yapılmayan bitkilerde ise üreaz aktivitesinin daha düşük olduğu belirlenmiştir (Krogmeier ve ark., 1991). Nikel toksisitesinin neden olduğu bitkide görülen semptomlar çoğunlukla 100 mg kg⁻¹ konsantrasyonunun üzerinde olduğu seviyelerde ortaya çıkmaktadır. Bitkilerde Ni stresi, besin dengesizliğine, bitkide kök ve yaprak elektronit sızıntılara, malondialdehyde (MDA) ve hidrojen peroksit (H₂O₂) seviyesinin artmasına neden olmaktadır (Khaliq ve ark., 2016).

Nikel, killi ve mineral maddece zengin topraklarda fazla bulunurken, peat ve organik topraklardaysa az miktarlarda bulunmaktadır (Kacar, 2009). Yapılan bir çalışmada, kimyasal gübre uygulanan topraklarda yetiştirilen bitkilerin bünyesinde bulunan Ni miktarı, kimyasal gübrelerin kullanılmadığı topraklara oranla daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Kara ve ark., 2004). Bu durumun sebebi kimyasal gübrelerin, toprakları asitleştirmesi sonucunda, topraklarda Ni'nin çözünürlüğü artmakta ve bitkiler tarafından alınabilirliğinde artış olmaktadır (Brohi ve ark., 1995).

Nikel insanlara solunum ve sindirim yoluyla geçer fakat insan vücudundan ne şekilde atıldığına dair net bilgiler bulunmamaktadır. Nikelin insan sağlığı üstüne en yaygın olan belirtilerinden kontakt dermatitistir ve insan vücudunda fazla bulunması sonucu akciğer fibrozisi, böbrek, kalp ve damar hastalıklarına sebep olduğu, karsinogenik aktiviteyle büyük oranda bağlantısı bilinmektedir. Maden ocaklarında, haddehanesinde ve rafinerisinde çalışan işçilerle yapılmış olan epidemiyolojik çalışmalar sonucu burun ve akciğer kanserine yakalanma oranlarının yüksek olduğu belirlenmiştir. Farklı hayvan modelleri üstünde uygulanan Ni bileşikleriyle oluşan tümörlerle yapılmış çalışmanın sonuçlarına dayanarak Ni'nin kanserojen olduğu belirlenmiştir (WHO/IPCS., 1993).

Nikel miktarının yüksek olması toksik etkiye sebep olup, bitkilerin fizyolojik ve biyokimyasal süreçlerini olumsuz etkilemektedir. Nikel toksisitesi bitkide krolofil sentezini ve yağ metabolizmasını engeller, total pigmentleri, karotenoidleri, krolofil a ve b'nin eksilmesi, besin eksikliği ve beslenme bozukluğuna neden olur (Zengin ve Munzuroglu, 2005). Toprak ve bitkilerde, bazı ağır metallerin kritik sınır değerleri Tablo 1.'de verilmiştir.

Tablo 1. Toprak ve bitkilerde ağır metal sınır değerleri

Element	Toprakta		Bitkilerde		
	Normal Aralık*	Kritik Toplam Kons. (mg kg ⁻¹)	Normal Aralık*	Kritik Konsantrasyon	
				a	b
Ag	0.01–8	2	0.1–8	–	1–4
As	0.1–40	20–50	0.02–7	5–20	1–20
Au	0.001–0.02	–	0.0017	–	<1
Cd	0.01–2.0	3–8	0.1–2.4	5–30	4–200
Co	0.5–65	25–50	0.02–1	15–50	4–40
Cr	5–1500	75–100	0.03–14	5–30	2–18
Cu	2–250	60–125	5–20	20–100	5–64
Hg	0.01–0.5	0.3–5	0.005–0.17	1–3	1–8
Mn	20–10000	1500–3000	20–1000	300–500	100–7000
Mo	0.1–40	2–10	0.03–5	10–50	–
Ni	2–750	100	0.02–5	10–100	8–220
Pb	2–300	100–400	0.2–20	30–300	–
Sb	0.2–10	5–10	0.0001–0.2	–	1–2
Se	0.1–5	5–10	0.001–2	5–30	3–40
Sn	1–200	50	0.2–6.8	60	63
TI	0.1–0.8	1	0.03–3	20	–
U	0.7–9	–	0.005–0.06	–	–
V	3–500	50–100	0.001–1.5	5–10	1–13
W	0.5–83	–	0.005–0.15	–	–
Zn	1–900	70–400	1–400	100–400	100–900

* Bowen, 1979; a: Kabata-Pendias and pendias, 1992a-b; b: Mc Nichol, R.D. And Beckett, P.H.T., 1985

İnsanlarda Ni'nin eşik değerden fazla alınması sonucu, ishal, kusma, nefes darlığı, karaciğer ve böbreklerde hasar oluşur. Ayrıca kronik Ni zehirlenmesiyle alerjik reaksiyonlarda ortaya çıkabilmektedir (Çağlarırnak ve Hepçimen, 2010).

Nikel bileşikleri Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'nın IARC kuruluşu tarafınca “Grup 1 - insanlarda kanserojen” ve Ni-metalik alaşımları da “Grup 2B - insanlarda olasılıkla kanserojen” şeklinde sınıflandırmıştır (Bingöldağ, 2017).

Ağır metallerle kirlenmiş alanları temizleme yöntemleri

Ağır metaller zor ayrıştıkları için ortamdan temizlenmeleri de oldukça zordur (Tripathi ve Ranjan, 2015). Ağır metal kirliliğinin giderilmesi için fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler kullanılmaktadır (Fu ve Wang, 2011). Filtrasyon ve çökelme gibi fiziksel temizleme yöntemleri ya tek başına ya da ters ozmoz, iyon değişimi veya adsorbsiyon gibi kimyasal yöntemlerle birlikte kullanılabilir. Fakat her iki şekilde de işletimi ve bakımı fazla masraflıdır ve sadece belirli metallerin arıtılmasında kullanılabilir (Mishra ve Tripathi, 2008). Kimyasal yöntemlerse canlılar açısından risk oluşturmaktadır ve yüksek derecede kirlenen ortamların temizlenmesinde tercih edilmektedir (Fu ve Wang, 2011). Diğer bir yöntem olan bitkilerin kullanıldığı fitoremediasyon yöntemi gibi biyolojik yöntemler çevreye dost olarak kabul edilmektedir ve işletim, bakım maliyeti diğer yöntemlere kıyasla daha azdır ve umut vadeci bir yöntem olarak değerlendirilmektedir (Miretzky ark., 2004; Doni ark., 2015).

Fiziksel yöntemler

Toprakların değişimi, izolasyonu, çevreleme yöntemi ve ısıtma işlemleri de dahil olmak üzere fiziksel teknolojiler kullanılarak topraktaki hasarları giderme veya durdurma süreçlerini kapsayan yöntemlerdir (Yao ve ark., 2012).

Toprağı değiştirme yönteminde, yüzeyi kaplayabilmek için yüksek miktarda kirliliğe maruz kalmamış toprak kullanılır. Bu yöntemde ağır iş yükünün olması ve yüksek maliyetle yapılıyor olması sebebiyle dar alanlarda daha çok tercih edilmektedir. Toprak izolasyon yöntemi, kirlenen toprakların çevreye taşınmasının önüne geçebilmek için bariyer olacak şekilde duvarlarla kaplanmasıyla gerçekleştirilmektedir. Bu bariyerler çelikten, çimentodan, bentonitten ve harç gibi geçirimsiz malzemelerden yapılarak, dikey ve yatay koruma için kullanılmaktadır. Toprakların izolasyonu veya çevrelenmesi doğrudan kirliliği iyileştirme yöntemlerinin içinde yer almamaktadır (Jankaite ve Vasarevičius, 2005). Isıtma işlemlerinde toprağın ısıtılmasıyla iyileştirilebilmesi kirliliğin uçuculuğu ile gerçekleşmektedir (Song ve ark., 2017).

Kimyasal yöntemler

Kirlenmiş alanlardaki kirleniciyi çıkartmak veya stabil hale getirebilmek için kimyasalların kullanıldığı yöntemlerdir. Toprak yıkama ve immobilizasyon teknikleri

de (katılaştırma/stabilizasyon, vitrifikasyon ve elektrokinetik yöntem) dahil olmak üzere birçok kimyasal iyileştirme yöntemlerini içermektedir. Toprakta yıkama yöntemleri, kirlenmiş olan toprağı temiz suyla, reaktiflerle ve diğer sıvılarla topraktan kirleticileri süzerek toprağın yıkanmasıyla olmaktadır (Derakhshan ve ark., 2018). Ağır metallerin temizlenmesi için su (Dermont ve ark., 2008), saponin (Maity ve ark., 2013), organik asit (Kim ve ark., 2013), şelatlayıcı maddeler (Jiang ve ark., 2011) yüzey aktif maddeler (Sun ve ark., 2011) ve düşük moleküler ağırlıklı organik asitler (Almaroai ve ark., 2012) gibi maddelerin topraklardaki kirleticilerin desorpsiyonunu etkilediğı bildirilmiştir.

Biyolojik yöntemler

Biyolojik iyileştirme yöntemleri, kirlenen alanın çevre dostu bir şekilde bitkilerle ve organizmaların kullanılmasıdır (Dindar ve ark., 2017). Biyoremediasyon işlemlerinde, kirlenen alanlardaki kirleticileri uzaklaştırarak, tamamen giderilmesi veya stabil hale getirilmesi amaçlanarak bitkiler ve mikroorganizmalarla biyolojik mekanizmaları kullanılmaktadır (Ayangbenro ve Babalola, 2017). Biyoremediasyon teknikleri diğer fiziksel ve kimyasal yöntemlere kıyasla büyük alanlarda kullanıldığında daha az maliyeti olan ve çevreye dost bir yöntemdir (Blaylock ve ark., 1997). Biyoremediasyon teknikleri sıcaklık, pH, nem, oksijen gibi unsurlardan etkilenebilmektedir (Dandan ve ark., 2007; Yao ve ark., 2012).

Kirliliğe maruz kalmış alanların temizlenmesinde yararlanılan mikroorganizmalar toprağın içerisindeki ağır metalleri ayrıştırıp parçalayamaz fakat birçok fiziksel ve kimyasal formlarına dönüştürerek bünyelerine alabilmektedirler (Bosecker, 1999). Kirlenen topraklardan ağır metallerin uzaklaştırılmasında çoğunlukla bakteriler ve mantarlar kullanılmakta, ayrıca maya ve algler de uzaklaştırılmada kullanılabilmektedir (Coelho ve ark., 2015). Bitki ve mikroorganizmalar kirliliğın olduğu alanlarda birlikte kullanılırsa daha etkili ve hızlı sonuçlar elde edilebilmektedir (Vangronsveld ve ark., 2009).

Topraklardaki ağır metal kirleticilerinin temizlenebilmesinde, rizofiltrasyon, fitostabilizasyon, fitoekstraksiyon teknikleri kullanılmaktadır (Aybar ve ark., 2015). Akümülatör bitkiler, topraktaki ağır metal varlığına oranla toprak üstü aksamlarında daha fazla metal biriktiren ve topraktaki metallerin temizlenmesinde kullanılabilen bitkilerdir (Baker ve Walker, 1990). Hiperakümülatör bitkiler, topraklarda bulunan ağır metal oranınının 50-500 kat daha fazla toprak üstü aksamında metal biriktirebilen bitkiler olarak tanımlanmaktadır (Clemens, 2006).

Fitoremediasyon

Fitoremediasyon; biyolojik temizleme yöntemi içerisinde yer alan, organik ve inorganik kirleticilerin bitki kökleri vasıtasıyla topraktan ve sudan uzaklaştırılması ve yeşil aksamla taşıması veya nötralize edilmesi anlamına gelmektedir. Bu yöntem, kirleticilerin doğal bitkiler tarafından temizlenmesini sağlayarak çevre kirliliğini azaltmak için kullanılmaktadır (Dağhan ve Öztürk, 2015; Eren ve Mert, 2017).

Reeves ve ark. (1983) tarafından, yapılmış çalışmalarda fitoremediasyon yöntemiyle topraklardan kirleticilerin uzaklaştırılabilmesi için kullanılabilecek çok sayıda bitki belirlenmiştir. Bu çalışmalar sonucunda bünyesinde ağır metal biriktirebilecek 45 adet bitki familyası saptanmıştır. Bu familyalardaki bitkiler Co, Cu, Mn, Se, Zn ve Ni gibi metalleri bünyelerinde biriktirebilmektedirler.

Fitoremediasyon yönteminde kullanılabilecek bitkinin özellikleri

Bitki seçimi; farklı fitoteknolojiler için farklı bitki özelliklerinden yararlanmayı amaçlar.

- Hızlı büyüme yeteneği; hızlı büyüme potansiyeline sahip bitkiler tercih edilir.
- Rekabetçi; bitkilerin diğer bitki türleriyle rekabet edebilme yetenekleri önemlidir.
- Dayanıklı ve kirliliğe toleranslı; kirlilik kaynaklarına dayanabilen ve tolerans gösterebilen bitkiler tercih edilir.
- Yüksek metal düzeylerinde yaşayabilme; yüksek metal konsantrasyonlarına maruz kalan bitkilerin yaşayabilme yetenekleri önemlidir.
- Kolay hasat edilebilir; bitkilerin kolayca hasat edilebilir olması tercih edilir.
- Yüksek metal toplama yeteneği; bitkilerin hasat edilebilen kısımlarında yüksek miktarda metal biriktirme potansiyelleri önemlidir.
- Güçlü ve zengin kök sistemi; bitkilerin güçlü ve zengin bir kök sistemiyle arazide yüksek miktarda biyokütle üretebilme potansiyelleri tercih edilir.
- Kolay üreme ve biriktirme yeteneği; bitkilerin kolay üreyebilme ve hedeflenen metali biriktirebilme yetenekleri önemlidir.

Fitoekstraksiyon için önemli unsurlar; bitkilerin inorganik maddeleri alabilme, taşıyabilme ve hasat edilebilir dokularda biriktirme yetenekleri fitoekstraksiyon için önemlidir. Bu özelliklere sahip bitkiler, fitoremediasyon uygulamalarında tercih edilen bitkilerdir.

Fitoremediasyon teknolojileri içerisinde fitoekstraksiyon, rizofiltrasyon, fitostabilizasyon, fitovolatilizasyon ve fitodegradasyon yer almaktadır (Kong ve Glick, 2017).

Fitostabilizasyon

Bu yöntem çevrede bulunan kirleticilerin hareketliliklerini ve biyoyararlanımlarını azaltmaya yöneliktir (Radziemska ve ark., 2018). Çoğunlukla erozyonun olduğu sahalarda kirliliğin görüldüğü ve kirleticinin toprakla temasını önleyerek, yeraltı sularına karışmasını engellemek için yapılmaktadır (Bert ve ark., 2009). Fitostabilizasyon yönteminde genel olarak bitkiler kökleriyle kirleticiyi fiziksel ve kimyasal olarak sabitleyebilmektedirler (Jabeen ve ark., 2009).

Rizofiltrasyon

Karasal ve sucul ekosistemdeki bitkiler, kökleriyle kirleticileri emerek, yoğunlaştırması ve biriktirmesi amacıyla kullanılan yöntemdir (Jadia ve Fulekar, 2009). Kara bitkileri lifli ve uzun kök sistemlerine sahiptirler, bu yönleriyle sucul bitkilere kıyasla daha fazla toksik metalleri temizleyebildikleri için daha fazla tercih edilmektedirler (Ghori ve ark., 2015).

Fitoekstraksiyon

Ortamda bulunan kirleticilerin uzaklaştırılması ve toprakların uzun süreyle temizlenebilmesini sağlamak amacıyla bitkilerin kökleriyle topraktaki kirleticilerin alınması ve alınan kirleticinin bitkinin sürgünlerine veya hasat edilebilecek aksamalarına taşınması olarak tanımlanmaktadır (Bhargava ve ark., 2012). Hiperakümülatör bitkiler, kirleticileri bünyelerinde biriktirme potansiyeline sahip oldukları için, fitoekstraksiyon da kullanılabilen bitki türleri olarak kullanılmaları avantaj sağlamaktadır (Cristaldi ve ark., 2017).

Fitoremediasyon kapasitesi ile ilgili mevcut araştırmalar ağırlıklı olarak tek bir metalle kirlenmiş toprak örneklerinde laboratuvar ortamında gerçekleştirilmektedir. Laboratuvar ortamı dışındaki gerçek hayatta durum farklıdır ve toprak, birden fazla ağır metalle kontamine olabilmektedir. Bu durumda arıtımın sağlanabilmesi için birden fazla metali biriktirebilen bitkilerin (hiperakümülatörler) kullanılması gerekmektedir ve bunların sayısı oldukça sınırlıdır. Bu araştırmada endüstriyel açıdan değerli, sulama ve gübre gibi kültürel ihtiyaçları az, verim kapasitesi fazla, tohumlu/daneli ve

tohumunda/danesinde yağ içeriği yüksek bitkilerden Lavanta (*Lavandula latifolia*) bitkisi seşilmiştir.

Lavanta bitkisi, Ni bulaştırılan toprakta yetiştirilerek ve hasat edildikten sonra bu topraklardaki arıtımı için hiperakümülatör bitkiler grubuna dâhil olabilme kapasitesi belirlenmiştir. Yapay olarak kirletilmiş toprağın fitoekstraksiyon kapasitesini ortaya koymak amacıyla bitkinin toprak üştü aksamında Ni birikimi ve bitkilerdeki bazı elementlere (N, P, K, Cu, Fe, Mn ve Zn) etkisi belirlenmiştir.



BİRİNCİ BÖLÜM

1. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Patel ve Wallace (1980) yaptıkları bir çalışmada, artan Cd, Zn ve Ni oranlarıyla tilki bromu bitkisinde çimlenmenin olumsuz etkilendiğini, Zn için 5300, Ni için 3000 mg kg⁻¹ üstündeki konsantrasyonlarda çimlenmenin hiç olmadığını belirtmişlerdir.

Mattigod ve Page (1983), doğal olarak bulunan ya da kirlilik yoluyla oluşan yüksek konsantrasyonlardaki ağır metaller, bitkileri ve bitkileri besin kaynağı olarak kullanan insanlar ve hayvanları olumsuz açıdan etkilemektedirler. Cr, Ni ve Pb toprakta 10-100 ppm aralığında, Cd ise 1 mg kg⁻¹ altında bulunduğu takdirde bu oranlar normal olarak kabul edilebilmekte olduğu belirtilmiştir.

Harada ve Murata (1990) yaptıkları bir çalışmada, kılçıksız brom bitkisinde toprakta bulunan Ni oranı arttıkça bitki veriminde azalmalar olduğu ve bitkide bulunan nitrat (NO₃⁻) oranıyla topraktaki Ni oranı arasındaysa olumsuz ilişki bulunduğunu belirtmişlerdir.

Zheljazkov ve ark. (1996), tıbbi ve aromatik bitkilerin ağır metallere verdikleri tepkileri belirleyebilmek amacıyla Bulgaristan'da yapmış oldukları bir çalışmada, ağır metal kirliliği olan sahalardan 400 m uzaklıktaki alanlarda nane ve lavanta bitkileri ekilmiştir ve kirliliğin olduğu alandan 400 m uzaklıktaki nane taze yaprak veriminde ortalama olarak %9-16 arasında azalmalar olduğu, lavantada ise taze herba veriminde ve uçucu yağ oranında herhangi bir azalma görülmediği belirlenmiştir.

Brune ve Deitz (1995) tarafından, yüksek konsantrasyonlarda olan Ni, arpa bitkisinde kök ve yapraklarında Ca, Fe, K, Mg, Mn, P ve Zn eksikliklerine sebep olduğu belirtilmiştir. Nikel, bitkiler için zararlı bir ağır metaldir ve aşırı miktarda varlığı bitkilerin besin elementlerini olumsuz etkileyebileceğini belirtmişlerdir.

Anderson ve ark. (1999), *Alyssum bertolonii* bitkisi, hiperakümülatör bitkiler arasında yer alır ve Ni gibi ağır metalleri bünyesinde yüksek oranda biriktirebildiği, *Alyssum bertolonii* bitkisinin kuru materyallerinde ortalama 10.000 mg kg⁻¹ (%1) Ni olduğu belirlenmiştir.

Mulligan ve ark. (2001) tarafından yapılan çalışma, *Thlaspi*, *Urtica*, *Chenopodium*, *Polygonum sachalase* ve *Allyssim* gibi bitkiler Ni gibi ağır metalleri bünyelerinde biriktirme yeteneklerine sahip olduğu belirtilmiştir. Bu bitkiler hiperakümülatör bitkiler olarak adlandırılır ve kirlenen toprakların temizlenmesinde kullanılabilecek bir indirekt yöntem olarak değerlendirilmiştir.

Peralta ve ark. (2001), laboratuvar ortamında yaptıkları bir çalışmada, yonca bitkisinin farklı ağır metalleri alımını belirlemişlerdir. Bu çalışmada her biri 0, 5, 10, 20 ve 40 mg kg⁻¹ derişimlerinde 3 tekerrür olacak şekilde Cr, Cu, Zn ve Ni ağır metalleriyle yonca bitkisi için oluşturulmuş olan besi yerinde tohumlarına uygulanmıştır ve tohumdan çıkış olduktan 2 hafta sonrasında besi yerinden alınıp toplanmıştır. Bitkilere yapılan analizler sonucunda Ni miktarları incelendiğinde 5 mg kg⁻¹ uygulanmış olan derişimlerden elde edilmiş olan yonca bitkilerinin yeşil aksamalarında 740 mg kg⁻¹ alım olduğu ve 40 mg kg⁻¹ uygulananlarda ise bu miktarın 4036 mg kg⁻¹'a kadar arttığı tespit edilmiştir.

Souza-Santos ve ark. (2001), ağır metaller bitkilerin kök uzunlukları üstüne olumsuz etki yaratması, oksidatif hasarla hücrelerin membran yapılarını bozması ve kök yüzeyini oluşturan epidermal hücrelerin zarar görmesi (Soudek ve ark., 2010) sonucunda bitki kök hücrelerinde bölünme ve çoğalmanın engellenmesinden kaynaklanmaktadır.

Pandey ve Sharma (2002), Ni ve Cd ağır metallerinin lahana bitkisinin gelişimine ve metabolizmasına etkilerinin incelendiği çalışmalarında, kontrol bitkisine oranla; 500 µM uygulamalarında yaprakların ve gövdenin kuru ağırlığında azalma ve metabolizmasıyla ilgili özelliklerinin de negatif yönde etkilendiğini belirtmişlerdir.

Axtell ve ark. (2003) tarafından, su mercimeği bitkisini laboratuvar ortamında yetiştirerek, çözünür formdaki Pb ve Ni'yi giderme yeteneğini incelemişlerdir. Deneyde başlangıç Pb konsantrasyonları 0.0, 5.0 ve 10.0 mg l⁻¹ ve Ni konsantrasyonları 0.0, 2.5 ve 5.0 mg l⁻¹ uygulamaları sonucunda, Su mercimeği bitkisinin Pb'yi %76 ve Ni'yi %82 oranında kaldırdığı bildirilmiştir.

Manios ve ark. (2003) tarafından, çok yıllık otsu *Typha latifolia* bitkisiyle yapmış oldukları çalışmada, bitki kökleriyle alınan Pb, Cd, Cu, Zn ve Ni ağır metallerin birikimi

incelenmiş ve elde edilen sonuçlara göre çözelti konsantrasyonlarıyla bitkide biriken miktar arasında doğrusal ilişki olduğunu belirtmişlerdir.

Basmakov ve ark. (2005) yapmış oldukları bir çalışmada, farklı ağır metal (Ni, Pb, Cu, Zn) konsantrasyonlarında mısır bitkisinin (*Zea mays* L.) çimlenebilme ve ilk fide gelişimleri üstüne etkilerini belirlemişlerdir. Bu amaçla yaptıkları kontrol (0), 10 µM, 50 µM, 0.1 mM, 1 mM, 5 mM ve 10 mM olmak üzere 6 adet ağır metal dozu belirlemişler ve sonuç olarak bütün metallerde dozlar arttıkça, bitkide çimlenme, kök uzunluğu ve sap uzunluğunda azalmalar tespit edilmiştir.

Seyrek ve ark. (2005) yaptıkları bir çalışmada, Harran Ovası'nda yüksek taban suyu etkisiyle bazı toprak serileriyle olan araştırmalarında topraklardaki kil ve kireç oranının yüksek olduğu, organik madde içeriğinin ise düşük olduğu ve tuz oranının ise hafif veya orta seviyede olduğunu bildirmişlerdir. Toprak derinliği olarak 0-20, 20-40 ve 40-60 cm aralığından alınan örneklerle Mo ve Sr hariç, toprakta bulunan diğer ağır metallerin üst topraklarda daha fazla miktarda tespit etmişlerdir. Toprakta alınan örneklerin Pb, Zn, Cu, Mn, As, Zr, Ba ve V oranlarının normal olduğu, fakat Ni ve Cr oranlarının yüksek ve kirlilik sınırının üzerinde olduğunu bildirmişlerdir.

Zengin ve Munzuroğlu (2005), fasulyede artan dozlarda bulunan Ni (0.1, 0.3 ve 0.5 mM) klorofil a, klorofil b, karotenoidler, total pigment I ve total pigment II miktarlarını azalttığını bildirmişlerdir.

Köleli ve ark. (2006) yaptıkları bir çalışmada, tarımsal faaliyetlerin topraklarda önemli miktarda toksik element bırakabildiğini bildirmişlerdir. Nikelin de bu toksik elementler arasında önemli bir yere sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Alam ve ark. (2007), hint hardalı bitkisine Ni uygulaması sonucu, bitkinin kuru ağırlığının azalmasına sebep olduğunu belirtmişlerdir.

Mohanpuria ve ark. (2007) tarafından, ağır metallere maruz kalmış bitkilerin kök yüzeylerinde, su oranını sınırlayıcı özellikte olan ve suberin olarak adlandırılan bileşiğin artmasıyla bitkilerin köklerinde kahverengileşme, bitki-su ilişkisinde bozulmalar ve bitkilerin gelişimlerinde eksiklikler görüldüğünü belirtmişler.

El-Rjoob ve ark. (2008), yaptıkları bir çalışmada Ürdün'de yetiştirilmiş biberiye bitkisinin çeşitli kısımlarında Ni, Pb, Zn, Cu, Fe ve Cd ağır metallerinin konsantrasyonlarını incelemişlerdir. Farklı alanlardan alınmış olan biberiye bitkisi ve toprak örneklerindeki Pb, Zn, Cu, Cd, Ni ve Fe içerikleri incelenmiştir. Sonuç olarak biberiye bitkisinin üst aksamlarında Pb, Ni ve Fe metallerinin akülüme olduğunu belirtmişlerdir.

Kacar ve İnal (2008), Ni çeşitli yollarla kirlenmiş topraklarda yüksek seviyelere ulaşabilir ve bitkiler tarafından alınabilir. Bu durumda, bitkilerin bünyesinde biriken Ni, canlılar için zehirleyici etkiler gösterebilir. Nikel fazlalığı, insan sağlığı üzerinde çeşitli olumsuz etkilere neden olabilir. Nikelin fazla miktarda alınması durumunda insanlarda akciğer kanseri, cilt hastalıkları, astım ve merkezi sinir sistemi bozuklukları gibi olumsuz belirtilerin görülebileceğini bildirmiştir. Akciğer kanseri, özellikle Ni-sülfür bileşikleriyle maruz kalındığında ortaya çıkabilir. Nikel, solunum yoluyla alındığında akciğerlere yerleşebilir ve zamanla kanser oluşumuna katkıda bulunabilir. Cilt hastalıkları da Ni maruziyetiyle ilişkilendirilebilir. Nikel, cilt teması yoluyla alındığında alerjik reaksiyonlara ve kontakt dermatite (temas dermatiti) yol açabilir. Nikelin solunum yoluyla veya yiyecekler aracılığıyla alınması, astımı tetikleyebilir veya mevcut astım semptomlarını şiddetlendirebilir. Merkezi sinir sistemi bozuklukları da Ni fazlalığı ile ilişkilendirilmiştir. Nikel, sinir sistemine zarar verebilir ve sinir iletimi üzerinde olumsuz etkiler yapabilir.

Okçu ve ark. (2009), ağır metaller bitkilere serbest iyonlar halinde geçip dâhil oldukları zaman, hücrede plazma sertleşmesi, protein çökmesi, solunum intensitesine ve dolaylı olarak O₂ tüketimininde azalmalara sebep olduğunu belirtmişlerdir.

Siskos ve ark. (2010) bitkilerde, özellikle *Alyssum* türleri, yapraklarında 1280-29.400 µg g⁻¹ (kuru ağırlık) Ni²⁺'i biriktirebildiğini bildirmiştir.

Yıldız ve ark. (2011), ağır metaller toksik etkiye neden olduğu için bitkilerde çimlenme, gelişme, stoma hareketleri, su alımı ve taşınımı, transpirasyon, protein sentezi, bitki doku ve organlarında olumsuz etkilere neden olarak bitkilerin fizyolojilerini bozmaktadırlar. Ağır metal toksisitesiyle tohumların alfa ve beta amilaz aktivitelerinde azalmalar olması, embriyonun gelişebilmesi için gerekli olan şeker aktivitesi sağlayamamaktadırlar ve bu durum sonucunda tohumlarında çimlenmeler engellenmiş olmaktadır.

Dağhan ve Koleli (2012) tarafından yapılan bir araştırma, transgenik ve transgenik olmayan tütün bitkilerine farklı Ni dozlarının uygulanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Artan dozlarda Ni uygulamaları karşısında kuru madde üretimi, Ni birikimi, klorofil düzeyi ve glutatyon içeriği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Artan Ni uygulamasıyla birlikte hem transgenik hem de transgenik olmayan tütün bitkilerinde Ni birikimi, klorofil düzeyi ve -SH (indirgenmiş glutatyon) konsantrasyonunda artış gözlemlenmiştir. Transgenik tütün bitkisinin gövdesinde 10 mg L⁻¹ Ni dozunda daha yüksek bir Ni birikimi (128 mg kg⁻¹)

olduğu bildirilmiştir. Bu değer, transgenik olmayan tütün bitkisinden (87 mg kg^{-1}) yaklaşık 1.47 kat daha fazla Ni birikimi olduğunu göstermektedir.

Eren ve Mert (2017) tarafından yapılan çalışmada, fener otu bitkisinin Ni ile kirlenmiş toprakların temizlenmesinde potansiyeli olduğu belirtilmektedir. Çalışma, farklı Ni dozlarının ($0-50-100-200-400 \text{ mg kg}^{-1}$) fener otu bitkisine uygulanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Araştırmada elde edilen bulgulara göre, $400 \text{ mg Ni kg}^{-1}$ dozunda en yüksek Ni içeriği $253 \text{ } \mu\text{g bitki}^{-1}$ olduğu bildirilmiştir. Bu sonuç, bitkinin yüksek Ni konsantrasyonlarında dahi yüksek miktarlarda Ni birikimi yapabildiğini göstermiştir.

Bağdatlı (2019), Ni, Pb, Sb ve Cd metalleri farklı konsantrasyonlarda kirliliğe maruz kalmış topraklarda yonca bitkisiyle doğal arıtım sağlamak amacıyla araştırma yapılmıştır. Ni uygulanmış olan saksılardaysa 1000 mg kg^{-1} için Ni alımı %21.38'i ve $213.817 \text{ mg kg}^{-1}$; 8000 mg kg^{-1} uygulamalarında ise %3.44'ü ve $275.354 \text{ mg kg}^{-1}$ olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre yonca bitkisi Sb, Cd, Pb ve Ni ağır metallerini topraklarda hiçbir şelatör kullanılmadan doğal yollarla arıtmada kullanılabileceği belirlenmiştir.

İKİNCİ BÖLÜM

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

2.1.1. Bitki Materyali

Araştırmada bitki materyali olarak lavanta bitkisi kullanılmıştır. Lavanta (*Lavandula latifolia*) bitkisi özellikle saçak köklü olması nedeniyle tercih edilmiştir. Toprak yönünden ise çok seçici olmayan bir bitkidir, kuru, hafif ve kireç açısından zengin toprakları tercih etmektedir (Gülşen, 2017). Toprak pH'sı 6.4-8.2 arasında gelişim gösterebilen, Lavanta bitkisi yazın sıcak, kışın ise serin olan iklimlerde yetişmektedir. Su ihtiyaçları orta seviyededir ve kısa süreli oluşabilecek kuraklığa dirençlidirler (Mason, 2014).

2.1.2. Toprak Hazırlığı

Toprağın Ni içeriği, Risser ve Baker (1990) tarafından açıklandığı gibi, 10 g toprağın 20 mL DTPA'ya oranıyla 0,05 M DTPA (pH=7.3) yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Toprak örneklerde ağır metal analizi ve mikro elementler için ICP-MS (Endüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi) kullanılmıştır. Toplam N, Kjeldahl yöntemi (Bremner, 1965) kullanılarak belirlenmiştir. Fosfor içeriği Olsen yöntemine göre belirlenmiştir (Olsen, 1954). Potasyum analiz, Kacar (1995) tarafından bildirilen, 1 N amonyum asetat (pH:7) yöntemi kullanılarak yapılmıştır.

Bouyoucos hidrometre yöntemi (Bouyoucos, 1952) kullanılarak toprak dokusu belirlenmiştir. pH, CaCl₂ yöntemi kullanılarak ölçülmüştür. CaCO₃ içeriği, Loeppert ve ark. (1996) tarafından açıklanan hacimsel yöntem kullanılarak belirlenmiştir. Organik madde içeriği, Kacar (1995) tarafından özetlenen prosedür izlenerek analiz edilmiştir.

2.1.3. Araştırmada Kullanılan Toprak Özellikleri

Deneme kullanılan toprağın bazı fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları Tablo 2.1’de verilmiştir. Tabloda görüleceğı gibi araştırmada kullanılan toprak killi-tınlı bir bünyeye sahiptir. Deneme toprağının kireç içeriğı yaklaşık %12.3 değerle orta kireçli, pH ise 7.48 ile hafif alkalidir. Tuzluluk yönünden herhangi bir sorun bulunmamaktadır. Organik madde oranı ise %1.47 ile düşük olduğı belirlenmiştir. Toprakta bulunan N miktarı %0.21 ile orta seviyededir. Topraktaki P miktarı ise %8.13 değeriyle orta seviyededir.

Tablo 2.1. Deneme alanının bazı kimyasal ile fiziksel özellikleri

Özellik	Deneme Toprağı
Bünye	Killi-Tınlı
pH	7.48
Tuz (%)	0.15
Kireç (%)	12.3
Org. Madde (%)	1.47
N (%)	0.21
P (kg P ₂ O ₅ da ⁻¹)	8.13
K (kg K ₂ O da ⁻¹)	56.8
Fe (mg kg ⁻¹)	34.8
Cu (mg kg ⁻¹)	2.05
Mn (mg kg ⁻¹)	38.6
Zn (mg kg ⁻¹)	1.48
Ni (mg kg ⁻¹)	0.13

2.2. Metot

2.2.1. Toprağın Yapay Olarak Kirlenmesi İşlemi

Toprağın homojen bir Ni dağılımı sağlamak için:

Nikel dozlarının hazırlanması: Farklı Ni dozlarının hazırlanması için NiSO₄.6H₂O formunda çözelti kullanılmıştır. Bu dozlar arasında sıfır (0 mg kg⁻¹), 200 mg kg⁻¹, 400 mg kg⁻¹, 600 mg kg⁻¹ ve 800 mg kg⁻¹ olmak üzere artan dozlarda Ni hazırlanmıştır.

Çözelti uygulanması: Her bir saksının toprağına, belirlenen Ni dozlarının çözeltisi uygulandı. Bu uygulama toprağın homojen bir şekilde Ni ile zenginleşmesini sağlamaktır.

Tarla kapasitesinin ayarlanması: Uygulanan çözelti miktarı, toprağın su tutma kapasitesinin %60-65'ine getirilmiştir. Bu, toprağın nem düzeyini kontrol etmek ve uygun bir inkübasyon ortamı sağlamak için önemlidir.

İnkübasyon süresi: İşlem tamamlandıktan sonra saksılar kontrollü koşullarda 1 hafta boyunca inkübasyona bırakıldı. Bu süre boyunca toprak, homojen bir şekilde Ni ile etkileşime girer ve dağılım sağlanmış olmaktadır.

Bu adımlar, topraktaki Ni elementinin homojen bir şekilde dağılmasını sağlamak ve deneyin sonuçlarını etkileyen diğer faktörleri kontrol altına almak için uygulanır.

2.2.2. Saksı Denemesinin Kurulması

Saksı denemesinin nasıl yapıldığını ve deneme süresince uygulanacak işlem adımları aşağıda özetlenmiştir:

Saksıların hazırlanması: Temiz ve yapay olarak kirletilmiş hava kuru toprak örnekleri kullanılarak 3 L'lik saksılar hazırlanmıştır. Her bir saksıya 3 kg hava kuru toprak doldurulmuştur.

Deneme kurulumu: Deneme, 3 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Her bir saksı bağımsız bir deneme olarak kabul edilmiştir.

Tarla kapasitesinin ayarlanması: Sulama işlemi için toprağın su tutma kapasitesinin %60-65'i hedeflenir. Günlük olarak deiyonize su kullanılarak saksılar sulanmıştır.

Fide ekimi: Lavanta bitkisi yetiştirmek için önceden torf ortamında çelik halindeki fideler hazırlanmıştır. Bu fideler, saksılara aktarıldı ve saksılarda yaklaşık 6 hafta boyunca kontrollü koşullarda yetiştirilmiştir.

Denemenin sonunda, bitkilerin büyüme ve gelişme durumları gözlemlenerek, toprak ve besin elementlerinin etkisi değerlendirilmiştir

2.2.3. Bitki örneklerinin hazırlanması ve analizi

Bitkilerin hasat edilmesi: Saksı denemelerinden elde edilen bitki örnekleri, yeşil aksamıyla birlikte hasat edilmiştir.

Yıkama işlemi: Bitki örnekleri saf suyla yıkanmıştır. Bu adım, bitkilerin üzerinde bulunan toz, kir veya diğer kirleticilerin temizlenmesini sağlar.

Kurutma işlemi: Yıkanmış bitki örnekleri kurutma dolabında 65°C’de sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Bu işlem, bitkilerin su içeriğinin uzaklaştırılmasını ve kuru ağırlıklarının belirlenmesini sağlamaktadır.

Kuru ağırlığın ölçülmesi: Kurutulmuş bitki örneklerinin kuru ağırlıkları ölçülmüştür. Bu ağırlık, bitkinin su içeriği çıkarıldıktan sonra geriye kalan ağırlığı temsil etmektedir.

Bitki öğütme: Bitki örnekleri bitki öğütme değirmeninde öğütülmüştür. Bu adım, bitkilerin daha sonra yapılacak analizler için kullanılmak üzere ince bir toz haline getirilmesini sağlar. Öğütülmüş bitki örnekleri daha sonra çeşitli analizler için kullanılabilir, örneğin besin elementleri, toksinler veya diğer bileşenlerin içeriklerinin belirlenmesi gibi.

2.2.4. İstatiksel Analizler

Elde edilen sonuçların varyans analizi (ANOVA) kullanılarak ortalamalar arasındaki farkların önem derecesini belirlemek için SPSS istatistik paket programı kullanılmıştır.

Walker-Duncan testi, ANOVA sonuçlarının post-hoc analizinde kullanılan bir yöntemdir. Bu test, gruplar arasındaki farkları belirlemek için tek tek karşılaştırmalar yapar ve grupları istatistiksel olarak anlamlı alt gruplara ayırır. Bu şekilde, hangi grupların birbirinden istatistiksel olarak farklı olduğu belirlenebilir. SPSS istatistik paketi, ANOVA analizi ve post-hoc testleri gibi istatistiksel analizlerin yapılmasına olanak sağlayan yaygın bir yazılımdır. Bu program, araştırmalarda verilerin istatistiksel olarak analiz edilmesi ve sonuçların değerlendirilmesi için sıklıkla kullanılan bir araçtır. Walker-Duncan testi, ANOVA sonuçlarına dayanarak grupları istatistiksel olarak anlamlı alt gruplara ayırırken, aynı zamanda *P*-değerleri kullanır. *P*-değeri, iki grup arasındaki istatistiksel farkın anlamlılığını belirlemek için kullanılan bir ölçüdür. $P \leq 0.01$ ve $P \leq 0.05$ genellikle istatistiksel olarak anlamlı kabul edilen bir sınır değerdir.



Resim 2.1. Deneme saksılarından bir görünüm



Resim 2.2. Bitkilerin boy ölçümlerinin alınma işlemi



Resim 2.3. Bitkilerin hasat işlemi



Resim 2.4. Hasat edilen bitkilerin tartımı

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

3.1. Farklı dozlarda Ni uygulamalarının *Lavandula latifolia* bitkisinde yaş, kuru ağırlık ve bitki boyları üzerine etkisi

Farklı dozlarda Ni uygulamalarının *Lavandula latifolia* bitkisinde yaş ve kuru (g bitki⁻¹) ağırlık miktarlarına ait varyans analiz sonuçlarına göre istatistiksel olarak $P \leq 0.01$ düzeyinde önemli olduğu, boy (cm) miktarlarına göre $P \leq 0.05$ düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir (Tablo 3.1.1). Bu sonuçlar, yapılan farklı dozlarda Ni uygulamalarının bitkinin büyüme ve ağırlık gelişimi üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 3.1.1. Lavanta bitkisinde farklı dozlarda Ni uygulamalarının bitkide yaş ağırlık, kuru ağırlık ve boy miktarlarına ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Yaş Ağırlık (g bitki ⁻¹)	Kuru Ağırlık (g bitki ⁻¹)	Boy (cm)
Dozlar	K.T.	74.1	4.90
	S.D.	4	
	K.O.	18.5	1.23
	F	6.41**	15.3**
Hata	K.T.	28.85	0.80
	S.D.	10	
	K.O.	2.88	0.08
Toplam	K.T.	102.9	5.70
	S.D.	14	

(**) $P \leq 0.01$ düzeyinde, (*) $P \leq 0.05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı

Lavanta bitkisinde farklı dozlarda Ni uygulamalarının bitkide yaş ağırlık, kuru ağırlık ve boy üzerine etkisinin ortalamaları ve çoklu karşılaştırma yöntemi olarak Walker-Duncan testi uygulanarak gruplandırma yapılarak harflendirilmiştir (Tablo 3.1.2).

Nikel uygulamalarının, bitkilerde yaş ağırlıklarının 10.5-16.7 g bitki⁻¹ arasında değişim gösterdiği, en düşük (10.5 g bitki⁻¹) 800 mg Ni kg⁻¹ uygulamasında, en yüksek ise (16.7 g bitki⁻¹) 200 mg Ni kg⁻¹ uygulamasında olduğu belirlenmiştir (Tablo 3.1.2).

Ağır metal (Cd, Pb ve Ni) kontaminasyonu, normal kontaminasyon olmayan toprağa göre bitki boyunu, bitki başına taze ve kuru ağırlığı, bitki başına çiçek ve meyve sayısını ve meyve verimini önemli ölçüde azaltmaktadır (Zeeshan ve ark., 2020).

Ni uygulamasının (10, 50, 100, 200 ve 400 mg kg⁻¹) nohut bitkisinde yaş ve kuru ağırlığında azalmalar olduğu bildirilmiştir (Khan ve Khan, 2010).

Bitkilerde kuru ağırlıklarının 2.36-3.97 g bitki⁻¹ arasında değişim gösterdiği, en düşük (2.36 g bitki⁻¹) 800 mg Ni kg⁻¹ uygulamasında, en yüksek ise (3.97 g bitki⁻¹) 200 mg Ni kg⁻¹ uygulamasında olduğu belirlenmiştir (Tablo 3.1.2).

Farklı dozlarda Ni Nikel uygulamalarının, bitkilerde boy üzerine 26.0-29.7 cm arasında değişim gösterdiği, en düşük (26.0 cm) 600 mg Ni kg⁻¹ uygulamasında en yüksek (29.7 cm) ise 200 mg Ni kg⁻¹ uygulamasında olduğu belirlenmiştir (Tablo 3.1.2).

Bitkilerde yaş ve kuru ağırlık ile boy miktarları, kontrol gruplarına göre 200 ve 400 mg Ni kg⁻¹ uygulamalarının artış gösterdiği, 600 ve 800 mg Ni kg⁻¹ uygulamalarında ise bitkide azalma olduğu belirlenmiştir.

Nikel toksisitesi, birçok bitki türünde gövdenin yeşil aksam, kuru madde birikimi ve boyunu azaltmaktadır. Ayrıca, çeşitli bitki türlerinde Ni toksisitesinin çiçek ve meyve sayısını azalttığı rapor edilmiştir (Balaguer ve ark., 1993; Singh ve Nayyar, 2001; Mizuno ve ark., 2003; Doğru ve ark., 2021). Bu etkiler, yüksek Ni konsantrasyonlarının bitkilerin büyümesi, gelişimi ve üreme yetenekleri üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Nikel toksisitesi, bitkilerin normal fizyolojik süreçlerini bozarak bitki sağlığını ve verimini olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

Elde edilen sonuçlar, farklı dozlarda Ni uygulamalarının bitkilerde yaş, kuru ağırlıklar ve boy miktarları üzerine doza bağlı olarak farklı etkilerin olduğunu göstermektedir. Daha düşük dozlarda artışa neden olurken, daha yüksek dozlarda azalmaya yol açmaktadır.

Tablo 3.1.2. Lavanta bitkisinde farklı dozlarda Ni uygulamalarının bitkide yaş ağırlık, kuru ağırlık ve boy üzerine etkisi

Dozlar (Ni)	Yaş Ağırlık (g bitki ⁻¹)	Kuru Ağırlık (g bitki ⁻¹)	Boy (cm)
0 mg kg ⁻¹	14.7 a	3.52 bc	28.3 a
200 mg kg ⁻¹	16.7 a	3.97 a	29.7 a
400 mg kg ⁻¹	16.3 a	3.84 a	28.7 a
600 mg kg ⁻¹	13.7 ab	3.23 b	26.0 b
800 mg kg ⁻¹	10.5 b	2.36 c	27.7 ab

3.2. Farklı dozlarda Ni uygulamalarının *Lavandula latifolia* bitkisinde N, P ve K üzerine etkisi

Tablo 3.2.1. Lavanta bitkisinde farklı dozlarda Ni uygulamalarının N, P ve K konsantrasyonlarına ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı	N (%)	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)
Dozlar			
K.T.	1.0968	2.1929	0.3717
S.D.		4	
K.O.	0.274	0.548	0.093
F	29.9**	168**	2.42 ^{O.D.}
Hata			
K.T.	0.09	0.03	0.38
S.D.		10	
K.O.	0.009	0.0033	0.0383
Toplam			
K.T.	1.19	2.23	0.76
S.D.		14	

(**) $P \leq 0.01$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı, (Ö.D.) istatistiksel olarak önemli değil

Farklı dozlarda Ni uygulamalarının *Lavandula latifolia* bitkisinde N ve P konsantrasyonlarına ait varyans analiz sonuçlarına göre istatistiksel olarak $P \leq 0.01$ düzeyinde önemli olduğu, K konsantrasyonu ise istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlenmiştir (Tablo 3.2.1). Yapılan analiz sonucunda, Ni uygulamalarının bitkideki N ve P konsantrasyonları üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğunu, ancak K konsantrasyonunu etkilemediğini göstermektedir.

Lavanta bitkisinde farklı dozlarda Ni uygulamalarının bitkideki N, P ve K konsantrasyonları üzerine etkisinin ortalamaları ve çoklu karşılaştırma yöntemi olarak Walker-Duncan testi uygulanarak gruplandırma yapılarak harflendirilmiştir (Tablo 3.2.2).

Tablo 3.2.2. Lavanta bitkisinde farklı dozlarda Ni uygulamalarının N, P ve K konsantrasyonları üzerine etkisi

Dozlar (Ni)	N (%)	P (mg kg⁻¹)	K (mg kg⁻¹)
0 mg kg⁻¹	2.87 b	2.76 a	4.14
200 mg kg⁻¹	3.38 a	2.71 a	4.01
400 mg kg⁻¹	2.82 b	1.96 c	3.81
600 mg kg⁻¹	2.72 cb	2.37 b	3.83
800 mg kg⁻¹	2.59 c	1.82 d	3.69

Nikel uygulamalarının, bitkilerde % N konsantrasyonlarının %2.59-3.38 arasında değişim gösterdiği, en düşük (%2.59 N) 800 mg Ni kg⁻¹ uygulamasında, en yüksek ise (%3.38 N) 200 mg Ni kg⁻¹ uygulamasında olduğu belirlenmiştir. Bitkilerde P konsantrasyonlarının 1.82-2.76 mg kg⁻¹ arasında değişim gösterdiği, en düşük (1.82 mg P kg⁻¹) 800 mg Ni kg⁻¹ uygulamasında, en yüksek (2.76 mg P kg⁻¹) ise uygulama yapılmayan kontrol grubunda olduğu belirlenmiştir. Farklı dozlarda Ni uygulamalarının, bitkilerde K konsantrasyonları üzerine 3.69-4.14 mg K kg⁻¹ arasında değişim gösterdiği, en düşük (3.69 mg K kg⁻¹) 800 mg Ni kg⁻¹ uygulamasında en yüksek (4.14 mg K kg⁻¹) ise uygulama yapılmayan kontrol grubunda olduğu belirlenmiştir (Tablo 3.2.2). *Xanthium strumarium* L. bitkisinde farklı (50, 100, 200 ve 400) dozlarda Ni uygulamalarının bitkideki N, P ve K konsantrasyonlarının dozlara bağlı olarak azalma gösterdiği belirtilmiştir (Eren, 2019). Dağhan ve ark. (2013) tarafından, transgenik ve transgenik olmayan tütün bitkilerinde ağır metal uygulamalarının N, P ve K üzerine etkisinin Ni uygulamalarına bağlı olarak azaldığını belirtilmiştir.

Nikel uygulamalarının bitkilerin N, P ve K konsantrasyonlarını etkileyebileceği ve bu elementlerin bitki dokularında farklı konsantrasyonlarda birikim gösterebileceği sonucuna varılmaktadır.

3.3. Farklı dozlarda Ni uygulamalarının *Lavandula latifolia* bitkisinde Cu, Fe, Mn ve Zn üzerine etkisi

Tablo 3.3.1. Lavanta bitkisinde farklı dozlarda Ni uygulamalarının Cu, Fe, Mn ve Zn konsantrasyonlarına ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı		Cu	Fe	Mn	Zn
		(mg kg ⁻¹)			
Dozlar	K.T.	668	369392	21498	1244
	S.D.	4			
	K.O.	167	92348	5374	311
	F	8.72**	0.93 ^{Ö.D.}	1.49 ^{Ö.D.}	13.9**
Hata	K.T.	191	994969	36178	223
	S.D.	10			
	K.O.	19.1	99497	3618	22.3
Toplam	K.T.	859	1364362	57676	1467
	S.D.	14			

(**) $P \leq 0,01$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı, (Ö.D.) istatistiksel olarak önemli değil

Varyans analiz sonuçlarına göre, farklı dozlarda Ni uygulamalarının *Lavandula latifolia* bitkisinde Cu ve Zn konsantrasyonları üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Bu durum, $P \leq 0.01$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca, Fe ve Mn konsantrasyonları üzerinde yapılan varyans analizi sonuçlarına göre, Ni uygulamalarının bu elementlerin konsantrasyonları üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etkisi olmadığı belirlenmiştir (Tablo 3.3.1).

Lavanta bitkisinde farklı dozlarda Ni uygulamalarının bitkideki Cu, Fe, Mn ve Zn konsantrasyonlarının üzerine etkisinin ortalamaları ve çoklu karşılaştırma yöntemi olarak Walker-Duncan testi uygulanarak gruplandırma yapılarak harflendirilmiştir (Tablo 3.3.2).

Tablo 3.3.2. Lavanta bitkisinde farklı dozlarda Ni uygulamalarının Cu, Fe, Mn ve Zn konsantrasyonları üzerine etkisi

Dozlar (Ni)	(Cu)	(Fe)	(Mn)	(Zn)
	(mg kg ⁻¹)			
0 mg/kg	13.4 c	1368	173	40.3 cb
200 mg/kg	24.2 ba	1497	158	46.5 ba
400 mg/kg	27.6 a	1703	195	52.4 a
600 mg/kg	9.73 c	1484	134	31.0 dc
800 mg/kg	16.0 cb	1228	84.5	28.2 d

Nikel uygulamalarının, bitkilerde Cu konsantrasyonlarının 9.73-27.6 mg Cu kg⁻¹ arasında değişim gösterdiği, en düşük (9.73 mg Cu kg⁻¹) 600 mg Ni kg⁻¹ uygulamasında, en yüksek ise (27.6 mg Cu kg⁻¹) 400 mg Ni kg⁻¹ uygulamasında olduğu belirlenmiştir. Bitkilerde Fe konsantrasyonlarının 1228-1703 mg Fe kg⁻¹ arasında değişim gösterdiği, en düşük (1228 mg Fe kg⁻¹) 800 mg Ni kg⁻¹ uygulamasında, en yüksek (1703 mg Fe kg⁻¹) ise 400 mg Ni kg⁻¹ uygulamasında olduğu belirlenmiştir. Farklı dozlarda Ni uygulamalarının, bitkilerde Mn konsantrasyonlarını üzerine 84.5-195 mg Mn kg⁻¹ arasında değişim gösterdiği, en düşük (84.5 mg Mn kg⁻¹) 800 mg Ni kg⁻¹ uygulamasında en yüksek (195 mg Mn kg⁻¹) ise 400 mg Ni kg⁻¹ uygulamasında olduğu belirlenmiştir. Nikel dozlarının, bitkilerde Zn konsantrasyonu üzerine etkisi 28.2-52.4 mg Zn kg⁻¹ arasında değişim gösterdiği, en düşük (28.2 mg Zn kg⁻¹) 800 mg Ni kg⁻¹ uygulamasında en yüksek (52.4 mg Zn kg⁻¹) ise 400 mg Ni kg⁻¹ uygulamasında olduğu belirlenmiştir (Tablo 3.3.2).

Farklı seviyelerde Ni (10, 20, 30 ve 40 mg L⁻¹) uygulamalarının *Helianthus annuus* L. bitkisinde yaprak ve saplarında mikro besinlerin (Zn, Mn, Fe ve Cu) konsantrasyonlarını önemli ölçüde azaldığı Ahmad ve ark. (2011) tarafından bildirilmiştir.

Başka araştırmacılar tarafından, Ni uygulamalarının bitkilerde mikro elementlerde azalamaya neden olduğu belirtilmiştir (Turgut ve ark., 2004; Ali ve ark., 2009).

3.4. Farklı dozlarda Ni uygulamalarının bitkideki Ni (mg kg⁻¹) konsantrasyonu ve Ni (µg bitki⁻¹) içeriği üzerine etkisi

Farklı dozlarda Ni uygulamalarının *Lavandula latifolia* bitkisinde Ni (mg kg⁻¹) konsantrasyonu ile bitkideki Ni (µg bitki⁻¹) içeriği miktarlarına ait varyans analiz sonuçlarına göre istatistiksel olarak $P \leq 0.01$ düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir (Tablo 3.4.1). Bu sonuçlar, yapılan farklı dozlarda Ni uygulamalarının bitkinin Ni konsantrasyonu ile bitkideki Ni İçeriği üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 3.4.1. Lavanta bitkisinde farklı dozlarda Ni uygulamalarının bitkideki Ni konsantrasyonu ve Ni içeriğine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynağı		Ni (mg kg ⁻¹)	Ni İçeriği (µg bitki ⁻¹)
Dozlar	K.T.	6529	40979
	S.D.	4	
	K.O.	1632	10245
	F	294**	50,02**
Hata	K.T.	55,5	2048
	S.D.	10	
	K.O.	5,55	205
Toplam	K.T.	6585	43027
	S.D.	14	

(**) $P \leq 0,01$ düzeyinde, (*) $P \leq 0,05$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı

Lavanta bitkisinde farklı dozlarda Ni uygulamalarının bitkideki Ni (mg kg⁻¹) konsantrasyonu ve Ni (µg bitki⁻¹) içeriği üzerine etkisinin ortalamaları ve çoklu karşılaştırma yöntemi olarak Walker-Duncan testi uygulanarak gruplandırma yapılarak harflendirilmiştir (Tablo 3.4.2).

Nikel uygulamalarının, bitkilerde Ni konsantrasyonlarının 2.58-63.6 mg Ni kg⁻¹ arasında değişim gösterdiği, en düşük (2.58 mg Ni kg⁻¹) uygulama yapılmayan kontrol grubunda olduğu, en yüksek ise (63.6 mg Ni kg⁻¹) 800 mg Ni kg⁻¹ uygulamasında olduğu belirlenmiştir (Tablo 3.4.2). Kaviani ve ark. (2017), *Salicornia iranica* bitkisini kullanarak yaptığı bir araştırmada, toprakta Ni (0, 50, 250 ve 500 mg Ni kg⁻¹) dozlarının

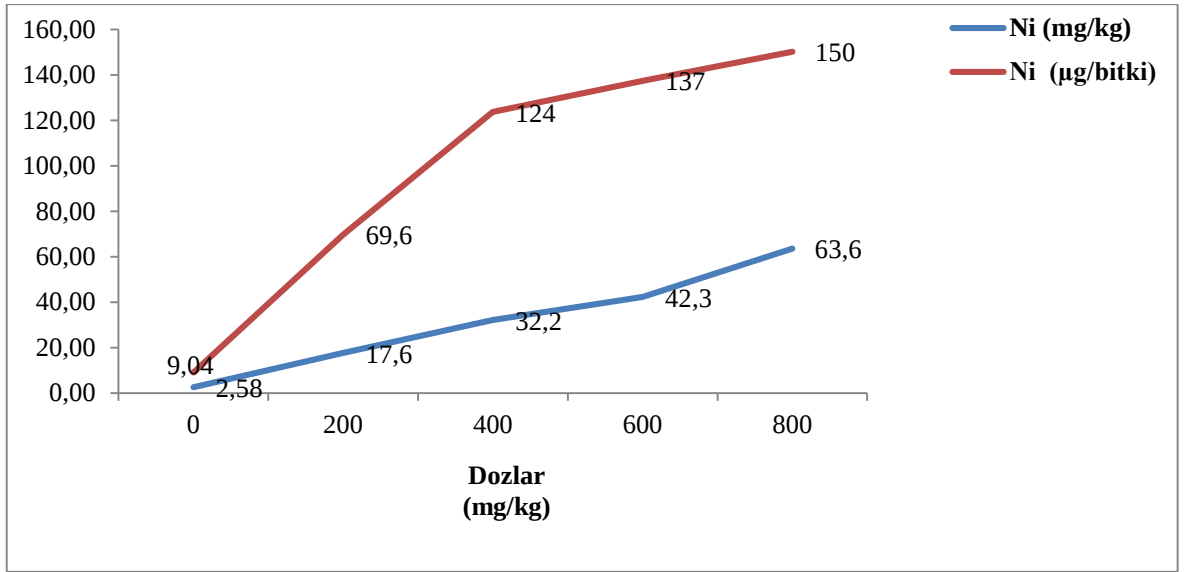
bitkilerde Ni konsantrasyonunun artmasına neden olduğunu bildirmiştir. Dağhan ve ark. (2013) tarafından, Ni uygulamalarına bağlı olarak transgenik ve transgenik olmayan tütün bitkilerinde ağır metal uygulamalarının bitkideki Ni konsantrasyonunda artış olduğunu bildirmiştir.

Farklı dozlarda Ni uygulamalarının, bitkilerde Ni içeriği 9.04-150 $\mu\text{g bitki}^{-1}$ arasında değişim gösterdiği, en düşük (9.04 $\mu\text{g bitki}^{-1}$) değer uygulama yapılmayan kontrol grubunda olduğu, en yüksek (150 $\mu\text{g bitki}^{-1}$) değer ise 800 mg Ni kg^{-1} uygulamasında olduğu belirlenmiştir (Tablo 3.4.2). Arttırılmış Ni uygulamasının (0, 10, 50, 100, 200 ve 400 mg kg^{-1}) nohut bitkisinin büyümesi ve verimi üzerine etkilerini araştıran Khan ve Khan (2010), Ni uygulamaları ile bitkilerin kök, gövde ve yapraklarındaki Ni içeriğinin arttığını bildirmiştirler. Nikelin kritik toksik düzeyi toprakta 100 mg kg^{-1} , duyarlı bitkilerde $> 10 \mu\text{g g}^{-1}$ kuru madde ve orta düzeyde duyarlı bitkilerde ise $> 50 \mu\text{g g}^{-1}$ kuru maddedir (Özbek ve ark., 1995).

Tablo 3.4.2. Lavanta bitkisinde farklı dozlarda Ni uygulamalarının bitkideki Ni (mg kg^{-1}) konsantrasyonu ve Ni ($\mu\text{g bitki}^{-1}$) içeriği üzerine etkisi

Dozlar (Ni)	Ni (mg kg^{-1})	Ni İçeriği ($\mu\text{g bitki}^{-1}$)
0 mg kg^{-1}	2,58 e	9,04 c
200 mg kg^{-1}	17,6 d	69,6 b
400 mg kg^{-1}	32,2 c	124 a
600 mg kg^{-1}	42,3 d	137 a
800 mg kg^{-1}	63,6 a	150 a

Lavanta bitkisinde farklı dozlarda Ni uygulamalarının bitkideki Ni (mg kg^{-1}) konsantrasyonu ve Ni ($\mu\text{g bitki}^{-1}$) içeriği üzerine etkisinin ortalamaları ve grafiği Şekil 3.4.1’de verilmiştir.



Şekil 3.4.1. Lavanta bitkisinde farklı dozlarda Ni uygulamalarının bitkideki Ni (mg kg^{-1}) konsantrasyonu ve Ni ($\mu\text{g bitki}^{-1}$) içeriği üzerine etkisi

SONUÇ

Nikelin çevredeki varlığı ve kullanımının artması, çevresel ve sağlık açısından endişe oluşturmaktadır. Araştırmalar, nikelin çevresel etkilerini ve insan sağlığı üzerindeki olası etkilerini daha iyi anlamak için yapılmaktadır. Nikel kaynakları, yayılımı, etkileri ve kontrol yöntemleri gibi konular, çevre koruması ve insan sağlığı açısından önemli bir araştırma alanı oluşturmaktadır. Nikel, yüksek konsantrasyonlarda canlıların gelişimine etki edebilen ağır metallerden biridir. Nikel, doğal olarak toprakta ve su kaynaklarında bulunur, ancak insan faaliyetleri sonucunda çevredeki Ni miktarı gün geçtikçe artmaktadır.

Bu tez çalışmasında, Lavanta bitkisi ile yapılan araştırma sonucunda; artan dozlarda Ni uygulamalarının, bitkilerde %N konsantrasyonlarının %2.59-3.38, P konsantrasyonlarının 1.82-2.76 mg kg⁻¹ ve K konsantrasyonlarının ise 3.69-4.14 mg kg⁻¹ arasında değişim gösterdiği, en düşük konsantrasyonların 800 mg Ni kg⁻¹ uygulamalarında, en yüksek değerler ise uygulama yapılmayan kontrol grubunda olduğu belirlenmiştir. Nikel uygulamalarının, bitkilerde %N konsantrasyonlarını üzerine etkisi kontrol grubuna göre 200 mg kg⁻¹ uygulamasında artış göstermiş olup, N, P ve K konsantrasyonları üzerine en düşük içeriğinin 800 mg kg⁻¹ Ni uygulamalarında olduğu belirlenmiştir.

Nikel uygulamalarının, bitkilerde mikro element konsantrasyonları üzerine etkisi; Fe: 1228-1703 mg kg⁻¹; Mn: 84.5-195 mg kg⁻¹ ve Zn konsantrasyonu üzerine etkisi ise 28.2-52.4 mg kg⁻¹ arasında değişim gösterdiği, en düşük konsantrasyonların 800 mg Ni kg⁻¹ uygulamalarında en yüksek ise 400 mg Ni kg⁻¹ uygulamalarında olduğu belirlenmiştir. Nikel uygulamalarının, bitkilerde Cu konsantrasyonlarının 9.73-27.6 mg Cu kg⁻¹ arasında değişim gösterdiği, en düşük 600 mg Ni kg⁻¹ uygulamasında, en yüksek ise 400 mg Ni kg⁻¹ uygulamasında olduğu belirlenmiştir.

Nikel uygulamalarının, bitkilerde Ni konsantrasyonlarının 2.58-63.6 mg Ni kg⁻¹ arasında değişim gösterdiği, en düşük Ni uygulaması yapılmayan kontrol grubunda olduğu, en yüksek ise 800 mg Ni kg⁻¹ uygulamasında olduğu belirlenmiştir.

Bitkilerde yaş ve kuru ağırlık ile boy miktarları, kontrol gruplarına göre 200 ve 400 mg Ni kg⁻¹ uygulamalarının artış gösterdiği, 600 ve 800 mg Ni kg⁻¹ uygulamalarında ise

bitkide azalma olduğu belirlenmiştir. Farklı dozlarda Ni uygulamalarının, bitkilerde Ni içeriğinin en düşük 9.04 µg bitki⁻¹ değeri ile uygulama yapılmayan kontrol grubunda olduğu, en yüksek 150 µg bitki⁻¹ değeri ile 800 mg Ni kg⁻¹ uygulamasında olduğu belirlenmiştir.

Ağır metallerin kontrollü bir şekilde kullanılması, ürünlerin ve tarım faaliyetlerinin izlenmesi ve düzenlemelerin yapılması önemlidir. Ayrıca, bilinçli tüketici davranışları ve çevresel koruma önlemleri, ağır metallerin etkilerini minimize etmede önemli bir rol oynamaktadır.

Bitkilerin fitoekstraksiyon yeteneği, topraktan zararlı veya kirletici maddeleri emme ve tutma yeteneği anlamına gelir. Nikel gibi bazı metallerin fitoekstraksiyon potansiyeline sahip bitkiler arasında lavanta da yer alabilir. Ancak, fitoekstraksiyon yeteneği bitkinin türüne, büyüme koşullarına ve uygulanan kirletici maddeye bağılı olarak değışebilir.

Bu nedenle, lavanta bitkisinin fitoremediasyon yeteneğini değlendirmek için daha fazla araştırma yapılması ve özellikle lavanta bitkisinin Ni tutma ve giderme kapasitesini belirlemek için detaylı çalışmalar yürütölmesi gerekmektedir.

Bu tür araştırmalar, ağır metal kirliliği ile mücadelede bitkilerin fitoremediasyon yeteneklerini anlamak ve kullanmak için önemlidir. Lavanta gibi bitkiler, toprakların kirliliğinin azaltılmasında doğal ve sürdürülebilir bir yöntem olarak potansiyel taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Ahmad, M.S.A., Ashraf, M., Hussain, M. (2011). Phytotoxic effects of nickel on yield and concentration of macro-and micro-nutrients in sunflower (*Helianthus annuus* L.) achenes. *Journal of Hazardous Materials*, 185(2-3): 1295-1303.
- Alam, M.M., Hayat, S., Ali, B., Ahmad, A., (2007). Effect of 28-homobrassinolide treatment on nickel toxicity in Brassica Juncea. *Photosynthetica*, 45(1): 139- 142.
- Ali, M.A., Ashraf, M., Athar, H.R. (2009). Influence of nickel stress on growth and some important physiological/biochemical attributes in some diverse canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Journal of hazardous materials*, 172(2-3): 964-969.
- Alloway, B.J. (1995). Soil processes and the behaviour of metals. *Heavy metals in soils*, 13: 3488.
- Almaroai, Y.A., Usman, A.R.A., Ahmad, M., Kim, K.R., Moon, D.H., Lee, S.S., Ok, Y.S. (2012). Effects of synthetic chelators and low-molecular-weight organic acids on chromium, copper, and arsenic uptake and translocation in Maize (*Zea mays* L.). *Soil Science*, 177: 655-663.
- Altınbaş, Ü., Çengel, M., Uysal, H., Okur, B., Okur, N., Kurucu, Y., Delibacak, S. (2008). *Toprak Bilimi, Üçüncü Baskı, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No.557, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir.*
- Anderson, C.W.N., Brooks, R.R., Chiarucci, A., LaCoste, C.J., Leblanc, M., Robinson, B.H., Stewart, R.B. (1999). Phytomining for nickel, thallium and gold. *Journal of Geochemical Exploration*, 67(1-3): 407-415.
- Astros, M., Bjorklund, A. (1996). Hydrogeochemistry of a stream draining sulfide bearing postglacial sediments in Finland. *Water Air Soil Pollut*, 89: 233-246.
- Axtell, N.R., Sternberg, S.P., Claussen, K. (2003). Lead and nickel removal using *Microspora* and *Lemna minor*. *Bioresource technology*, 89(1): 41-48.
- Ayangbenro, A.S., Babalola, O.O. (2017). A new strategy for heavy metal polluted environments: A review of microbial biosorbents. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(1): 94.
- Aybar, M., Bilgin, A., Sağlam, B. (2015). Fitoremediasyon yöntemi ile topraktaki ağır metallerin giderimi, Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 1(1-2): 59-65.
- Aydın, M.E., Bedük, F. (2013). “Çevre ve sağlıklı beslenme ilişkisi”. *Uluslararası 2. Helal ve Sağlıklı Gıda Kongresi, Konya, Türkiye, 7-10 Kasım.*
- Bağdatlı, M.C. (2019). “Pb, Cd, Sb ve Ni Kirliliğine maruz kalmış tarım topraklarının yonca (*Medicago Sativa* L.) bitkisi kullanılarak doğal arıtımı”, Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı. 104s.

- Baker, A.J.M., Walker, P.L. (1990). Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants, in: Shaw A.J. (Ed.), Heavy metal tolerance in plants: Evolutionary Aspects, CRC Press, Boca Raton, 2: 155-165.
- Balaguer, J., Almendro, M.B., Gomez, I., Navarro Pedreño, J., Mataix, J. (1993). Tomato growth and yield affected by nickel presented in the nutrient solution. In International Symposium on Water Quality & Quantity-Greenhouse 458: 269-272.
- Basmakov, D.I., Lukatkin, A.S., Revin, V.V., Duchovskis, P., Brazaitytė, A., Baranauskis, K. (2005). Growth of maize seedlings affected by different concentrations of heavy metals. Ekologija, 3: 22-27.
- Başcı, N. (2009). Cr (VI) İyonunun Süs Bitkileri Kullanılarak Toprakdan Gideriminin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana. 97s.
- Batır, M.B. (2014). Kurşun (Pb) ve Bakır (Cu) Ağır Metal Stresi Uygulanan Enginar (*Cynara scolymus* L.) Tohumlarının Fidelerinde Oluşan DNA Değişikliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir. 68s.
- Bem, H., Gallorini, M., Rizzio, E., Krzeminska, M. (2003). Comparative Studies On The Concentrations Of Some Elements In The Urban Air Particulate Matter In Lodz City Of Poland And In Milan, Italy, Environ. Int., 29: 423-428.
- Bert, V., Seuntjens, P., Dejonghe, W., Lacherez, S., Thuy, H.T.T., Vandecasteele, B., (2009). Phytoremediation as a management option for contaminated sediments in tidal marshes, flood control areas and dredged sediment landfill sites. Environmental Science and Pollution Research, 16: 745-764.
- Bhandari, A., Surampalli, R.Y., Champagne, P., Ong, S.K., Tyagi, R.D., Lo, I.M.C. (2007). Remediation technologies for soils and groundwater. Remediat. Remediation Technologies for Soils and Groundwater, 60: 1-449.
- Bhargava, A., Carmona, F.F., Bhargava, M., Srivastava, S. (2012). Approaches for enhanced phytoextraction of heavy metals. Journal of Environmental Management, 105: 103-120.
- Bingöldağ, N. (2017). Nevşehir İlinin Toprak, Su ve Tarım Ürünlerinde Doğal Radyoaktivitenin ve Ağır Metallerin Belirlenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul, 451s.
- Blaylock, M.J., Salt, D.E., Dushenkov, S., Zakharova, O., Gussman, C., Kapulnik, Y., Ensley, B.D., Raskin, I. (1997). Enhanced accumulation of Pb in Indian mustard by soil-applied chelating agents. Environmental Science & Technology, 31: 860-865.
- Bosecker, K. (1999). Microbial leaching in environmental clean-up programmes. Process Metall, 9: 533-536.
- Bouyoucus, G.J. (1952). A recalibration of hydrometer for making mechanical analysis of soils. Agronomy Journal, 43: 434-438.
- Bremner, J.M. (1965). Total nitrogen. In: C.A. Black ve ark (ed). Methods of Soil Analysis. Am. Soc. of Agron., Inc. Madison, Wisconsin, USA. Part 2. Agronomy, 9:1149-1178

- Brohi, A.R., Aydeniz, A., Karaman, M.R. (1995). Toprak Verimliliği. G.O.P. Üniv., Zir. Fak. Yay: 5 Kitaplar Serisi: 5, Tokat.
- Brune, A., Deitz, K.J.A. (1995). Comparative analysis of element composition of roots and leaves of barley seedlings grown in the presence of toxic cadmium, molybdenum, nickel and zinc concentrations. *J Plant Nutr*, 18: 853-868.
- Cempel, M. (2006). Nickel A review of its sources and environmental toxicology. *Polish J Environ Stud*, 15: 375-382.
- Clay, J. (2011). "Freeze the footprint of food". *Nature*, 475(7356): 287-289.
- Clemens, S. (2006). Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. *Biochimie*, 88(11): 1707-1719.
- Coelho, M., Luciene, M., Rezende, H.C., Coelho Luciana, M., de Sousa, P.A.R., Melo, D.F.O., Coelho, N.M.M. (2015). Bioremediation of polluted waters using microorganisms. *Adv. Bioremediation Wastewater Polluted Soil*, 1-22.
- Cristaldi, A., Conti, G., Jho, E.H., Zuccarello, P., Grasso, A., Copat, C., Ferrante, M. (2017). Phytoremediation of contaminated soils by heavy metals and PAHs. A brief review. *Environmental Technology & Innovation*, 8: 309-326.
- Çağlarırnak, N., Hepçimen, A.Z. (2010). Ağır Metal Toprak Kirliliğinin Gıda Zinciri ve İnsan Sağlığına Etkisi. *Akademik Gıda*, 8(2): 31-35.
- Dağdeviren, Ş. (2007). Çorlu Ve Civarındaki Topraklarda Ağır Metal Konsantrasyonunun Belirlenmesi Ve Sonuçlarının Yapay Sinir Ağları İle Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 119s.
- Dağhan, H., Köleli, N., Uygur, V., Arslan, M., Önder, D., Göksun, V., Ağca, N. (2012). Kadmiyum ile kirlenmiş toprakların fitoekstraksiyonla arıtımında transgenik tütün bitkisinin kullanımının araştırılması. *Toprak ve Su Dergisi*, 1(1): 1-6.
- Dağhan, H., Uygur, V., Köleli, N., Arslan, M., Eren, A. (2013). The effect of heavy metal treatments on uptake of nitrogen, phosphorus and potassium in transgenic and non-transgenic tobacco plants. *Journal of Agricultural Sciences*, 19(2): 129-139.
- Dağhan, H., Öztürk, M. (2015). Soil pollution in Turkey and remediation methods. In: K.R. Hakeem, M. Sabir, M. Ozturk, A. Mermut (Eds), *Soil Remediation and Plants: Prospects and Challenges*, September 2015, Academic Press., Elsevier, New York, pp. 287-312.
- Dandan, W., Huixin, L., Feng, H., Xia, W. (2007). Role of earthworm-straw interactions on phytoremediation of Cu contaminated soil by ryegrass. *Acta Ecologica Sinica*, 27: 1292-1298.
- Dartan, G., Toröz, İ. (2013). Güney Marmara Bölgesinde Tarım Topraklarında Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması. *Marmara Üniversitesi. Fen Bilimleri Dergisi*, 25(1): 24-40.
- Dennis, J.K., Such, T.E. (1993). *Nickel and Chromium Plating*, 3rd edition, Cambridge, UK: Woodhead Publishing Ltd.
- Derakhshan, N.Z., Jung, M.C., Kim, K.H. (2018). Remediation of soils contaminated with heavy metals with an emphasis on immobilization technology. *Environmental Geochemistry and Health*, 40: 927-953.

- Dermont, G., Bergeron, M., Mercier, G., Richer-Lafleche, M. (2008). Soil washing for metal removal: a review of physical/chemical technologies and field applications. Elsevier, 152(1): 1-31.
- Dindar, E., Şen, C.N., Topaç, Ş.F.O., Başkaya, H.S. (2017). Topraklarda organik azot fraksiyonlarının belirlenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32: 767-775.
- Doelsche, E., Saint Macary, H., Van Kerchove, V. (2005a). Sources of very heavy metal content in soils of volcanic island (La Reunion). Journal of Geochemical Exploration, in press, corrected prof, available on line 7 Nov.
- Doelsche, E., Van de Kerchove, V., Saint Macary H. (2005b). Heavy metal content in soils of Reunion (Indian Ocean). Geoderma, in press, corrected prof. Available online 24 October.
- Doğru, A., Altundağ, H., Dündar, M.Ş. (2021). Gelişmiş Bitkilerde Nikel Elementinin Fizyolojik Fonksiyonları ve Nikel Toksisitesi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 33(1): 1-19.
- Doni, S., Macci, C., Peruzzi, E., Iannelli, R., Masciandaro, G. (2015). Heavy metal distribution in a sediment phytoremediation system at pilot scale. Ecological Engineering, 81: 146-157.
- Durak, Z. (2005). Adana Sofulu Düzensiz Çöp Depolama Alanında Oluşan Çöp Sızıntı Sularının Bitki Yetiştirilmesinde Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 83s.
- El-Rjoob, A.W.O., Massadeh, A.M., Omari, M.N. (2008). Evaluation of Pb, Cu, Zn, Cd, Ni and Fe levels in *Rosmarinus officinalis labiatae* (Rosemary) medicinal plant and soils in selected zones in Jordan. Environmental Monitoring And Assessment, 140(1): 61-68.
- Eren, A., Mert, M. (2017). Ağır metal (Ni, Cd ve Cu) uygulamalarının Andız Otu, Fener Otu ve Sığırkuyruğu bitkilerinin büyüme ve gelişmesi üzerine etkisi. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 4(1): 50-58.
- Eren, A. (2019). The effects of nickel applications on the growth of cocklebur (*Xanthium strumarium* L.) plant. Applied Ecology and Environmental Research, 17(2): 2005-2013.
- Fu, F., Wang, Q. (2011). Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. Journal of Environmental Management, 92: 407-418.
- Galloway, J.N, Thornton, J.D, Norton, S.A, Volchok, H.L, McClean, H.L. (1982). Trace metals in atmospheric deposition: A review and assessment. Atmo Environ; 16: 1677-1700.
- Ghori, Z., Iftikhar, H., Bhatti, M.F., Nasar, U.M., Sharma, I., Kazi, A.G., Ahmad, P., (2015). Phytoextraction: The use of plants to remove heavy metals from soil. Plant Metal Interaction: Emerging Remediation Techniques, 29: 361-384.
- Gomes, H.I., Dias, F.C., Ribeiro, A.B. (2013). Overview of in situ and ex situ remediation technologies for PCB-contaminated soils and sediments and obstacles for full-scale application. Science of The Total Environment, 237-260.
- Güler, Ç., Çobanoğlu, Z. (1997). Toprak kirliliği. TC Sağlık Bakanlığı Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi, 40.

- Gülşen, O. (2017). Yozgat İli Çayıralan İlçesinde Lavanta Yetiştiriciliğini Geliştirme Projesi Sonuç Raporu. Orta Anadolu Kalkınma Ajansı. Kayseri. 31s.
- Gür, N., Topdemir, A., Munzuroğlu, Ö., Çobanoğlu, D. (2004). Ağır Metal İyonlarının (Cu, Pb, Hg, Cd) *Clivia* sp. Bitkisi Polenlerinin Çimlenmesi ve Tüp Büyümesi Üzerine Etkileri. Fırat Üniversitesi Fen ve Matematik Bilimleri Dergisi, 16(2): 177-182.
- Harada, I., Murata, H. (1990). The absorption characteristics of nickel chloride applied to alfalfa and smooth brome grass. Journal of Rakuno Gakuen University, 15(1-2): 139-146.
- Hilgenkamp, K., Environmental, Health. (2005). Ecological Perspectives. Jones and Bartlett Publishers.
- Jabeen, R., Ahmad, A., Iqbal, M. (2009). Phytoremediation of heavy metals: Physiological and molecular mechanisms. The Botanical Review, 75: 339-364.
- Jack, T. Trevors, (2001). Water, Air and Soil Pollution. An International Journal of Environmental Pollution. Volume 128, Issue 3-4.
- Jadia, C.D., Fulekar, M.H. (2009). Phytoremediation of heavy metals: Recent techniques. African Journal of Biotechnology, 8: 921-928.
- Jankaite, A., Vasarevičius, S. (2005). Remediation technologies for soils contaminated with heavy metals. Journal of Environmental Engineering and Landscape Management, 13: 109-113
- Jayakumar, K., Jaleel, C.A., Vijayarangan, P. (2007). Changes in growth, biochemical constituents, and antioxidant potentials in radish (*Raphanus sativus* L.) under cobalt stress. Turkish Journal of Biology, 31(3): 127-136.
- Jiang, W., Tao, T., Liao, Z.M. (2011). Removal of heavy metal from contaminated soil with chelating agents. Open Journal of Soil Science, 01: 70-76.
- Kacar, B. (2009). Toprak Analizleri. 2. Baskı. Nobel Yayınları, Ankara, No:1387.
- Kacar, B., İnal, A. (2008). Bitki Analizleri, Nobel Yayınları No: 1241.
- Kacar, B. (1995). Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri, III. Toprak Analizleri. A.Ü. Ziraat Fak. Eğitim, Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları No:3, Ankara, 704 s.
- Kacar, B., Katkat, A.V. (2007). Gübreler ve Gübreleme Tekniği. 1. Baskı. Nobel Yayınları. Ankara. No: 1119.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S. (2003). Metallerin Çevresel Etkileri, TMMOB Metalürji Mühendisleri Odası Dergisi, 136: 47-53.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S. (2004). Metallerin Çevresel Etkileri-I, İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Kara, E.E., Pırlak, U., Özdilek, H.G. (2004). Evaluation of Heavy Metals (Cd, Cu, Ni, Pb and Zn) Distribution in Sowing Regions of Potatofields in the Province of Niğde, Turkey. Water, Air and Soil Pollution, 153: 173-186
- Karaca, A., Turgay, O.C. (2012). Toprak Kirliliği. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi, 1(1): 13-19.
- Karaçagıl, D. (2013). İstanbul'da Belirlenmiş Sahil Şeritlerinde Toprak Kalitesi ve Ağır Metal Kirliliği, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 71s.

- Kaviani, E., Niazi, A., Moghadam, A., Taherishirazi, M., Heydarian, Z. (2017). Phytoremediation of Ni-contaminated soil by *Salicornia iranica*. – Environmental Technology, 16: 1-12
- Keleş, Ruşen. (2015). 100 Soruda Çevre, Çevre Sorunları ve Çevre Politikası, İzmir. Yakın Kitabevi.
- Khalıq, A., Ali, S., Hameed, A., Farooq, M.A., Farid, M., Shakoor, M.B., Mahmood, K., Ishaque, W., Rizwan, M. (2016). Silicon alleviates nickel toxicity in cotton seedlings through enhancing growth, photosynthesis, and suppressing Ni uptake and oxidative stress. Archives of Agronomy & Soil Science, 62(5): 633-647.
- Khan, M.R., Khan, M.M. (2010). Effect of varying concentration of nickel and cobalt on the plant growth and yield of chickpea. – Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 4: 1036-1046
- Kılıç, M., Ay, G., Koçbaş, F., Mungan, F., Kula, İ., Karabaş, M. (2014). “Ayvalık tuzlasında yayılış gösteren Suaeda Prostrata Subsp. Prostrata Pall. alttürünün ağır metal birikimi”. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 4(4): 9-18.
- Kim, J.O., Lee, Y.W., Chung, J. (2013). The role of organic acids in the mobilization of heavy metals from soil. KSCE Journal of Civil and Environmental Engineering Research, 17: 1596-1602.
- Kong, Z., Glick, B.R. (2017). The role of plant growth-promoting bacteria in metal phytoremediation. Advances in microbial physiology, 71: 97-132.
- Kozlow, M.V. (2005). Pollution resistance of mountain birch, *Betula pubescens* subsp. *czerepanovii*, near the copper-nickel smelter: natural selection or phenotypic acclimation? Chemosphere; 59: 189-197.
- Köleli, N., Kantar, C., Cuvalci, U., Yilmaz, H. (2006). Movement and adsorption of methamidophos in clay loam and sandy loam soils. International Journal of Environmental and Analytical Chemistry, 86(15): 1127-1134.
- Köseoğlu, C. (2007). Atık Çamurun İyileştirilebilmesi İçin Bitkisel Arıtımın (Fitoremediyasyon) Kullanım Olanaklarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 90s.
- Krogmeier, M.J., Mccarty, G.W., Shogren, D.R., Bremner, J.M., (1991). Effect of nickel deficiency in soybeans on the phototoxicity of foliar applied urea. Plant and Soil, 135: 283-286.
- Loeppert, R.H., Suarez, D.L. (1996). Carbonate and gypsum. In: D.L. Sparks (Ed), Methods of Soil Analysis Part 3-Chemical Methods, Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA, pp. 437-474.
- Maity, J.P., Huang, Y.M., Fan C.W., Chen, C.C., Li, C.Y., Hsu, C.M., Chang, Y.F., Wu, C.I., Chen, C.Y., Jean, J.S. (2013). Evaluation of remediation process with soapberry derived saponin for removal of heavy metals from contaminated soils in Hai-Pu, Taiwan. Journal of Environmental Sciences, 25: 1180-1185.
- Manios, T., Stentiford, E.I., Millner, P.A. (2003). The effect of heavy metals accumulation on the chlorophyll concentration of *Typha latifolia* plants, growing in a substrate containing sewage sludge compost and watered with metaliferous water. Ecological Engineering, 20(1): 65-74.

- Mason, J. (2014). Growing and knowing lavender. ACS Distance Education.
- Mattigod, S.V., Page, A.L. (1983). Assessment of metal pollution in soils. Applied environmental geochemistry, 1.
- Mc Nichol, R.D., Beckett, P.H.T. (1985). Critical tissue concentrations of potentially toxic elements, Plant Soil. 85: 107-129.
- McGrath, S.P. (1995). Heavy metals in soils. London, England: Blackie Academic and Professional.
- Mengoni, A., Gonnelli, C., Galardi, F., Gabbriellini, R., Bazzicalupo, M. (2009). Genetic diversity and heavy metal tolerance in populations of *Silene paradoxa* L. (Caryophyllaceae): a random amplified polymorphic DNA analysis. Molecular Ecology, 1319-1324.
- Miretzky, P., Saralegui, A., Cirelli, A.F. (2004). Aquatic macrophytes potential for the simultaneous removal of heavy metals. Chemosphere, 57: 997-1005.
- Mishra, V.K., Tripathi, B.D. (2008). Concurrent removal and accumulation of heavy metals by the three aquatic macrophytes. Bioresource Technology, 99(15): 7091-7097.
- Mizuno, N., Nosaka, S., Mizuno, T., Horie, K., Obata, H. (2003). Distribution of Ni and Zn in the leaves of *Thlaspi japonicum* growing on ultramafic soil. Soil Science and Plant Nutrition, 49(1): 93-97.
- Mohanpuria, P., Rana, N.K., Yadav, S.K. (2007). Cadmium induced oxidative stress influence on glutathione metabolic genes of *Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze. Environmental Toxicology: An International Journal, 22(4): 368-374.
- Mulligan, C.N., Yong, R.N., Gibbs, B.F. (2001). Remediation technologies for metal-contaminated soils and groundwater: an evaluation. Engineering geology, 60(1-4): 193-207.
- Müller, H.W., Harazim, B., Krone, F., Utermann, J., Teschner, M., Abdelgawad, G., Arslan, A., Ghaibeh, A., Abdullah, A., Katlan, B., Darwich, T., Khawlie, M. (2003). Management, Protection And Sustainable Use Of Groundwater And Soil Resources In The Arab Region, Volume 9, Guideline For Soil Protection- Concepts For The Assessment Of The Soil Pollution, Technical Cooperation Project No: 1996.2189.7, December
- Nriagu, J.O. (1989). A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals. Nature, 338: 47-49.
- Okçu, M., Tozlu, E., metin K., A., Pehlivan, M. (2009). Ağır metallerin bitkiler üzerine etkileri. Alinteri Journal of Agriculture Science, 17(2): 14-26.
- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., Dean, L.A. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. US Dept. of Agric. Cric. 939.
- Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M., Kaptan, H. (1995). Toprak Bilimi. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fak. Genel Yayın No:73 Ders Kitapları Yayın No:16, ADANA.
- Özdemir, V. (2006). Hydrometallurgical extraction of nickel and cobalt from Çaldağ lateritic ore (Master thesis, Middle East Technical University). 39p.

- Özkan, G. (2009). Endüstriyel Bölge Komşuluğunda Kıyısal Kırsal Alandaki Hava Kalitesi; Muallimköy’de Partikül Maddede ve Topraktaki Ağır Metal Kirliliği, Yüksek Lisans Tezi, GYTE Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, 9: 12-22.
- Pandey, N., Sharma, C.P. (2002). Effect of heavy metals Co^{2+} , Ni^{2+} and Cd^{2+} on growth and metabolism of cabbage. *Plant Science*, 163(4): 753-758.
- Patel, P.M., Wallace, A. (1980). Effect of trace metal applications on emergence of *Bromus rubens* in desert soil. *Journal of Plant Nutrition*, 2(1-2): 65-66.
- Peralta, J.R., Gardea-Torresdey, J.L., Tiemann, K.J., Gomez, E., Arteaga, S., Rascon, E., Parsons J.G. (2001). “Uptake and effects of five heavy metals on seed germination and plant growth in alfalfa (*medicago satival.*)”, *Bulletin Environmental Contamination and Toxicology*, 66: 727–734.
- Radziemska, M., Koda, E., Bilgin, A., Vaverková, M.D. (2018). Concept of aided phytostabilization of contaminated soils in postindustrial areas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(24).
- Reeves, R.D., Brooks, R.R. (1983). Hyperaccumulation of lead and zinc by two metallaphytes from a mine area in Central Europe. *Environmental Pollution Series A*, 31: 275-283.
- Risser, J.A., Baker, D.E. (1990). Testing soils for toxic metals. *Soil testing and plant analysis*, 3: 275-298.
- Salt, D.E., Kato, N., Kramer, U., Smith, R.D., Raskin, I. (2000) *The role of root exudates in nickel hyperaccumulation and tolerance in accumulator and nonaccumulator species of Thlaspi*. London, England: CRC Press.
- Seven, T., Can, B., Darende, B.N., Oca, S. (2008). Hava ve Toprakta Ağır Metal Kirliliği. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1(2): 91-103.
- Seyrek, A., Aydemir, S., İnce, F. (2005). Harran ovasında tuzlulaşma eğilimi gösteren toprakların kil mineralojisi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 36(2): 137-144.
- Sharma, P.D. (2005). *Environmental Biology and Toxicology*. Rastogi Publications.
- Sigel, H., Sigel, A. (1994). *Handbook on Metals in Clinical and Analytical Chemistry*. CRC Press.
- Singh, P., Nayyar, K. (2001). Influence of lime on nickel availability to plants and its toxic level in cowpea. *J Res Punjab Agri Univ*, 38: 10-13.
- Siskos, A., Yupsani, A., Symeonidis, L., Yupsanis, T. (2010). Similarities and differences in the properties of multiple NDP-kinase isoforms of *Alyssum murale*, Ni^{2+} -accumulator species. *Journal of plant physiology*, 167(9): 675-682.
- Song, B., Zeng, G., Gong, J., Liang, J., Xu, P., Liu, Z., Zhang, Y., Zhang, C., Cheng, M., Liu, Y., Ye, S., Yi, H., Ren, X. (2017). Evaluation methods for assessing effectiveness of in situ remediation of soil and sediment contaminated with organic pollutants and heavy metals. *Environment International*, 105: 43-55.
- Sun, H., Wang, H., Qi, J., Shen, L., Lian, X. (2011). Study on surfactants remediation in heavy metals contaminated soils. *ISWREP 2011- Proc. 2011 Int. Symp. Water Resources Environmental Protection*, 3: 1862-1865.
- Sunderman, F.W., Oskarsson, A. (1991). *Metals and their compounds in the environment*. Weinheim, Germany: VCH Verlag.

- Syed, I.B. (2005). Pollution. Islamic Research Foundation International, Inc. 7102 W. Shefford Lane Louisville, KY 40242- 6462.
- TÇMO. (2018). Hava Kirliliği Raporu 2018.
- Tripathi, A., Ranjan, M.R. (2015). Heavy metal removal from wastewater using low cost adsorbents. *J Bioremed Biodeg*, 6: 315
- Turgut, C., Pepe, M.K., Cutright, T.J. (2004). The effect of EDTA and citric acid on phytoremediation of Cd, Cr, and Ni from soil using *Helianthus annuus*. *Environmental pollution*, 131(1): 147-154.
- Vangronsveld, J., Herzig, R., Weyens, N., Boulet, J., Adriaensen, K., Ruttens, A., Thewys, T., Vassilev, A., Meers, E., Nehnevajova, E., Lelie, D. and Mench, M., (2009). Phytoremediation of contaminated soils and groundwater: Lessons from the field. *Environmental Science and Pollution Research*, 16: 765-794.
- WHO/IPCS., (1993). Principles for Evaluating Chemical Effects on the Aged Population, *Enviromental Health Criteria Document 144*. IPCS, WHO, Genova
- Yao, Z., Li, J., Xie, H., Yu, C. (2012). Review on remediation technologies of soil contaminated by heavy metals. *Procedia Environmental Sciences*, 16: 722-729.
- Yıldız, M., Terzi, H., Uruşak, B. (2011). Bitkilerde krom toksisitesi ve hücrel cevaplar. *Erciyes Üni. Fen Bilimleri Ens. Fen Bilimleri Dergisi*, 27(2): 163-176.
- Yıldıztekin, M., Ulusoy, H., Tuna, A.L. (2019). Ağır Metallerle Kirlenmiş Toprakların İyileştirilmesinde Fitoremediasyon Yöntemi: Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Uygunluğu, *ISAS WINTER-2019, Samsun*, 4(6): 477-480.
- Yu, Q., Wu, W., Yang, P., Li, Z., Xiong, W., Tang, H. (2012) “Proposing an Interdisciplinary and Cross-scale Framework for Global Change and Food Security Researches”. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 156: 57-71.
- Zeeshan, M., Ahmad, W., Hussain, F., Ahamd, W., Numan, M., Shah, M., Ahmad, I. (2020). Phytostabalization of the heavy metals in the soil with biochar applications, the impact on chlorophyll, carotene, soil fertility and tomato crop yield. *Journal of Cleaner Production*, 255: 120-318.
- Zengin, F.K, Munzuroglu, O. (2005). Effects of some heavy metals on content of chlorophyll, proline and some antioxidant chemicals in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*, 47(2): 157-164.
- Zheljazkov, V. D., Nielsen, N. E. (1996). Studies on the effect of heavy metals (Cd, Pb, Cu, Mn, Zn and Fe) upon the growth, productivity and quality of lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) production. *Journal of essential oil research*, 8(3):
- Zwolsman, J.J.G., Van Bokhoven, A.J. (2007). Impact of summer droughts on water quality of the Rhine River-a preview of climate change. *Water Sci Technol*, 56: 45-55.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :

Uyruğu :

Doğum Yeri ve Tarihi :

Telefon :

E-posta adresi :

EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
--------	-----	------	----	--------------

Lise

Üniversite

Yüksek Lisans

YABANCI DİL: