

**T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BAZI AĞIR METALLERCE KİRLENMİŞ
TARIM TOPRAKLARININ ÇİM BİTKİSİ (*Lolium Perenne L.*)
KULLANILARAK FİTOREMEDİASYON YÖNTEMLERİYLE
DOĞAL ARITIMI**

**Tezi Hazırlayan
Eda Nur ARIKAN**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. M. Cüneyt BAĞDATLI**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Şubat 2021
NEVŞEHİR**

**T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BAZI AĞIR METALLERCE KİRLENMİŞ
TARIM TOPRAKLARININ ÇİM BİTKİSİ (*Lolium Perenne L.*)
KULLANILARAK FİTOREMEDİASYON YÖNTEMLERİYLE
DOĞAL ARITIMI**

**Tezi Hazırlayan
Eda Nur ARIKAN**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. M. Cüneyt BAĞDATLI**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Bu çalışma, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri
Birimi tarafından ABAP20F25 nolu proje ile desteklenmiştir.**

**Şubat 2021
NEVŞEHİR**

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim de ve tez çalışma aşamamın gerçekleşmesinde engin bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen, bu yolda beni aydınlatan, destekleyen, laboratuvar ve sonrası için yardımlarını esirgemeyen ve tezimin her aşamasında büyük emeği olan, kullandığı her kelimenin hayatıma kattığı önemini asla unutmayacağım saygıdeğer danışman hocam; Doç. Dr. M. Cüneyt BAĞDATLI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu çalışmaya teknik bilgi ve yardımlarıyla destek sağlayan Niğe Ömer Halisdemir Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi öğretim üyelerinden değerli hocam Doç. Dr. İlknur BAĞDATLI'ya şükranlarımı sunarım.

Çalışmam boyunca benden bir an olsun desteklerini esirgemeyen değerli arkadaşlarım Esra CAN, Yiğitcan BALLI ve Oğuzhan ARSLAN'a teşekkür ederim. Ayrıca çalışmamın bazı aşamalarında maddi ve manevi desteğini gördüğüm Teknoloji ve Tasarım Öğretmeni Serkan ŐEN hocama da teşekkürü bir borç bilirim.

Bugünlere gelmem de en büyük paya sahip olan ve bir an olsun desteklerini esirgemeyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

Bunun yanında çalışmanın finansmanını sağlayan ve ABAP20F25 nolu projesi ile araştırmayı destekleyen Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

Bazı Ağır Metallerce Kirlenmiş Tarım Topraklarının Çim Bitkisi (*Lolium Perenne L.*) Kullanılarak Fitoremediasyon Yöntemleriyle Doğal Arıtımı

(Yüksek Lisans Tezi)

Eda Nur ARIKAN

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Şubat 2021

ÖZET

Bu çalışmada farklı konsantrasyonlarda Cd ve Ni ağır metallerince kirlenmiş toprakların çim (*Lolium Perenne L.*) bitkisi ile doğal arıtımının sağlanması amaçlanmıştır. Araştırma sera koşullarında saksı denemeleri doğrultusunda yürütülmüştür. Her bir ağır metalden 25 kg'lık olacak şekilde hazırlanan saksılardaki topraklara 1000, 4000 ve 8000 ppm derişimlerinde Ni ve Cd uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Çalışmada hiç ağır metal uygulanmayan 0 (kontrol) grubu da oluşturulmuş ve her bir uygulamadan 3 tekerrür olacak şekilde deneme deseni kurulmuştur. Deneme esnasında açık arazi koşullarını temsil etmesi için tarla toprağı direkt kullanılmış (kum ve torf karışımı kullanılmaksızın) olup ağır metallerin topraktan alımını kolaylaştırmak amacı ile şelat vb. uygulamalar yapılmamıştır. Bu amaçla denemenin sera koşullarında kısmen de olsa çiftçi şartlarını temsil etmesi sağlanılmaya çalışılmıştır. Saksılarda fitoremediasyon amaçlı çim bitkisi yetiştirilmiştir. Çim boyları 10 cm uzunluğa ulaştığında 10'ar günlük aralıklarla 4 dönem boyunca vejetatif kısımlarından örnekler alınmıştır. Alınan bitki örneklerinde ağır metal birikimlerinin belirlenmesi amacıyla çözme işlemleri gerçekleştirilmiş ve ICP-MS cihazında ağır metal derişimleri ölçülmüştür. Dört dönem boyunca Ni 1000 ppm uygulaması yapılan topraklarda çim bitkisi tarafından absorbe edilen toplam Ni miktarı 3,180 ppm, 4000 ppm uygulamalarında 4,396 ppm ve 8000 ppm uygulamalarında ise 2,744 ppm Ni alımının gerçekleştiğı belirlenmiştir. Ağır metal olarak Cd uygulanan deneme konularında çim bitkisinin kökleri tarafından topraktan alınan ağır metal miktarları 1000 ppm uygulanan konularda dört dönemin sonunda toplamda 1,205 ppm Cd çim bitkisini kökleri yardımıyla topraktan alınmıştır.

4000 ppm Cd uygulanan konularda toplamda dört dönem boyunca 4,152 ppm ve 8000 ppm uygulanan konularda ise 2,782 ppm Cd'un topraktan absorbe edildiği görülmüştür. Sonuç olarak; Çim bitkisinin topraktan sürekli bir ağır metal absorbe ettiği ve bu miktarın giderek artan bir eğilim gösterdiği görülmüştür. Ancak Cd ağır metali uygulanan saksılardan çim bitkisi tarafından ağır metal alımlarında dönemsel olarak azalan bir yönde değişim olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen verilere bağlı olarak çim bitkisinin topraktan Cd ve Ni kirliliğinin uzaklaştırılması için doğal arıtım amacıyla kullanılabilen sonuçuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Ağır Metal Kirliliği, Çim (Lolium Perenne L.), Fitoremediasyon, Tarım Toprakları, Doğal Arıtım

Tez Danışmanı: Doç. Dr. M. Cüneyt BAĞDATLI
Sayfa Adedi: 86

**Phytoremediation Using Grass Plant (*Lolium Perenne L.*) of
Agricultural Soils Contaminated By Some Heavy Metals
Natural Treatment with Method
(M.Sc. Thesis)**

Eda Nur ARIKAN

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL of NATURAL and APPLIED SCIENCES**

February 2021

ABSTRACT

In this study, it was aimed to provide natural treatment of soils contaminated by Cd and Ni heavy metals in different concentrations with grass (*Lolium Perenne L.*) plant. The research was conducted in the direction of pot experiments in greenhouse conditions. Ni and Cd applications at concentrations of 1000, 4000 and 8000 ppm were applied to the soils in pots prepared with 25 kg of each heavy metal. In the study, 0 (control) group where no heavy metal was applied was also formed and a trial pattern was established with 3 repetitions for each application. During the trial, field soil was used directly to represent open field conditions (without using a mixture of sand and peat), and chelate, etc., to facilitate the removal of heavy metals from the soil. applications were not made. For this purpose, it was tried to be ensured that the experiment partially represented the conditions of the farmers in greenhouse conditions. Grass plants were grown in pots for phytoremediation. When the grass length reached 10 cm, samples were taken from the vegetative parts at 10-day intervals for 4 periods. Solving processes were carried out in order to determine the heavy metal accumulations in the plant samples taken and heavy metal concentrations were measured in the ICP-MS device. It was determined that the total amount of Ni absorbed by the turf plant in soils where Ni 1000 ppm was applied for four periods was 3,180 ppm, 4,396 ppm in 4000 ppm applications and 2,744 ppm in 8000 ppm applications. In the experimental subjects where Cd was applied as heavy metal, the heavy metal amounts taken from the soil by the roots of the grass plant were taken from the soil with the help of the roots of the grass plant, at the end of four periods, in the subjects where 1000 ppm was applied.

It was observed that in the subjects where 4000 ppm Cd was applied, 4,152 ppm Cd was absorbed from the soil during four periods in total and in the subjects where 8000 ppm was applied, 2,782 ppm Cd was absorbed. As a result; It has been observed that the grass plant constantly absorbs a heavy metal from the degradation and this amount shows an increasing trend. However, it has been concluded that there is a periodically decreasing change in heavy metal uptake by the grass plant from the pots where Cd heavy metal is applied. Based on the data obtained as a result of the study, it was concluded that grass plant can be used for natural treatment to remove Cd and Ni pollution from the soil.

Keywords: Heavy Metal Pollution, Grass (Lolium Perenne L.), Fitoremediation, Agriculture Soils, Natural Treatment

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Dr. M. Cüneyt BAĞDATLI
Page Number: 86

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY.....	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii
RESİMLER LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2	4
DOĞAL ARITIM.....	4
2.1. Fitoremediasyon Tipleri.....	5
2.1.1. Fitoekstraksiyon (Fitoakümülyasyon).....	5
2.1.2. Fitostabilizasyon	6
2.1.3. Fitovolatilizasyon	6
2.1.4. Fitodegradasyon.....	7
2.1.5. Rizofiltrasyon (Köklerle süzme).....	8
2.1.6. Rizodegradasyon (Köklerle bozunma).....	9
2.2. Fitoremediasyon Yöntemlerinin Kullanım Alanları.....	9
2.3. Fitoremediasyon Yöntemleriyle Ağır Metal Giderimleri.....	10
2.4. Fitoremediasyon Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları.....	10
BÖLÜM 3	12
AĞIR METALLER.....	12
3.1. Çalışmada Kullanılan Ağır Metaller.....	12
3.1.1. Kadmiyum (Cd).....	12

3.1.2. Kadmiyum kaynakları.....	13
3.1.3. Atmosferdeki süreçleri.....	13
3.1.4. Kadmiyumun sağlık açısından etkileri.....	14
3.1.5. Nikel (Ni).....	14
3.1.6. Nikel kaynakları.....	15
3.1.7. Atmosferdeki süreçleri.....	15
3.1.8. Nikelin sağlık açısından etkileri.....	15
3.2. Ağır Metal Kirliliği.....	15
3.3. Ağır Metal Kirliliğinin Çevre ve İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri.....	17
BÖLÜM 4	18
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	18
BÖLÜM 5	27
MATERYAL VE YÖNTEM.....	27
5.1. Materyal.....	27
5.1.1. Denemede kullanılan toprak.....	27
5.1.2. Yetiştirilen bitki.....	27
5.2. Metot.....	28
5.2.1. Denemenin kurulması ve yürütülmesi.....	28
5.2.2. Denemenin oluşturulması.....	29
5.2.3. Kirletici olarak uygulanan ağır metaller.....	30
5.2.4. Çim tohumunun saksılara ekilmesi.....	32
5.2.5. Sulama uygulamaları.....	32
5.2.6. Bitki ve toprak örneklerinin alınması.....	33
5.2.7. Bitkide ağır metal analizleri.....	35
5.2.8. Toprakta pH ve EC analizleri.....	36
5.2.9. Toprakta ağır metal analizleri.....	36
5.2.10. Sulama suyu analizleri.....	37
5.2.11. Sertifikalı referans madde analizleri.....	37
5.2.12. İstatistik analizleri.....	38

BÖLÜM 6.....	39
ARAŞTIRMA BULGULARI	39
6.1. Deneme Toprağının Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	39
6.2. Sulama Suyunun Kalite Özellikleri.....	40
6.3. Doğal Arıtımda pH ve EC Değişimleri.....	41
6.4. Bitkide Ölçülen Ni Miktarları.....	42
6.5. Bitkide Ölçülen Cd Miktarları.....	49
6.6. Uygulanan Analiz Yöntemlerinin Doğruluğunun Belirlenmesi.....	55
BÖLÜM 7	57
TARTIŞMA, SONUÇ ve ÖNERİLER	57
KAYNAKÇA	62
ÖZGEÇMİŞ	68

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Fitoremediasyon yöntemlerinin kirletici çeşitlerine göre sınıflandırılması.....	5
Tablo 2.2. Fitoremediasyon yöntemlerinin farklı kirletici ve ortamlarda kullanım alanları	9
Tablo 3.1. Ağır metallerin özellikleri.....	12
Tablo 3.2. Topraktaki ağır metal kirliliğinin sınır değerleri.....	16
Tablo 5.1. Kullanılan ağır metallerin derişimleri.....	31
Tablo 5.2. Toprak ve bitki için sertifikalı referans madde değerleri.....	38
Tablo 6.1. Denemede kullanılan toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	39
Tablo 6.2. Uygulanan sulama suyuna ilişkin bazı kimyasal özellikler.....	40
Tablo 6.3. Doğa arıtımda pH ve EC değışimleri.....	40
Tablo 6.4. Uygulanan farklı Ni derişimlerinin dönemler arasındaki değışimleri.....	47
Tablo 6.5. Bitkide dönemsel olarak Ni ölçümlerinin uygulanan derişimler arası ilişkisi.....	48
Tablo 6.6. Bitkide Ni ölçümlerinin örneklem dönemleri arası korelasyonu	48
Tablo 6.7. Bitkide Ni ölçümlerinin uygulanan derişimler arası korelasyonu.....	49
Tablo 6.8. Uygulanan farklı Cd derişimlerinin dönemler arasındaki değışimleri....	53
Tablo 6.9. Bitkide dönemsel olarak Cd ölçümlerinin uygulanan derişimler arası ilişkisi.....	54
Tablo 6.10. Bitkide Cd ölçümlerinin örneklem dönemleri arası korelasyonu.....	54
Tablo 6.11. Bitkide Cd ölçümlerinin uygulanan derişimler arası korelasyonu.....	55
Tablo 6.12. Uygulanan ağır metal çözme yönteminin doğruluğunun belirlenmesi ve geri kazanım değerleri (%)......	56

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Fitoremediasyon yöntemleri.....	4
Şekil 2.2. Fitoekstraksiyon yöntemi.....	5
Şekil 2.3. Fitostabilizasyon yöntemi.....	6
Şekil 2.4. Fitovolatizasyon yöntemi.....	7
Şekil 2.5. Fitodegradasyon yöntemi.....	8
Şekil 2.6. Rizofiltrasyon yöntemi.....	8
Şekil 5.1. Çim bitkisinin sıcak ve serin iklim koşullarındaki büyüme evreleri.....	28
Şekil 5.2. Kullanılan saksının boyutları.....	29
Şekil 5.3. Deneme deseni.....	30
Şekil 5.4. Ni ve Cd ağır metallerinin tuz formları.....	31
Şekil 5.5. Bitki örneklerinin alındığı dönemler.....	34
Şekil 6.1. 1000 ppm Ni derişimi uygulamalarında farklı dönemlerde alınan bitki örneklerindeki Ni miktarlarının dönemsel dağılımı.....	43
Şekil 6.2. 4000 ppm Ni derişimi uygulamalarında farklı dönemlerde alınan bitki örneklerindeki Ni miktarlarının dönemsel dağılımı	44
Şekil 6.3. 8000 ppm Ni derişimi uygulamalarında farklı dönemlerde alınan bitki örneklerindeki Ni miktarlarının dönemsel dağılımı	44
Şekil 6.4. Kontrol (0 ppm) grubunda topraktan absorbe edilen Ni miktarlarının dönemsel dağılımı.....	45
Şekil 6.5. Uygulanan farklı Ni derişimlerinde tüm biçim dönemleri çim bitkisi tarafından alınan Ni miktarları.....	46
Şekil 6.6. 1000 ppm Cd derişimi uygulamalarında farklı dönemlerde alınan bitki örneklerindeki Cd miktarlarının dönemsel dağılımı.....	49
Şekil 6.7. 4000 ppm Cd derişimi uygulamalarında farklı dönemlerde alınan bitki örneklerindeki Cd miktarlarının dönemsel dağılımı.....	50
Şekil 6.8. 8000 ppm Cd derişimi uygulamalarında farklı dönemlerde alınan bitki örneklerindeki Cd miktarlarının dönemsel dağılımı.....	51
Şekil 6.9. Kontrol (0 ppm) grubunda topraktan absorbe edilen Cd miktarlarının dönemsel dağılımı.....	51
Şekil 6.10. Uygulanan farklı Cd derişimlerinde tüm biçim dönemleri çim bitkisi tarafından alınan Cd miktarları.....	52

RESİMLER LİSTESİ

Resim 3.1. Kadmiyum elementi.....	14
Resim 5.1. Denemenin yürütüldüğü sera alanı.....	29
Resim 5.2. Ağır metallerin toprağa uygulanması.....	31
Resim 5.3. Çim tohumu tartım ve ekimi.....	32
Resim 5.4. Sulama uygulamaları.....	33
Resim 5.5. Bitki örneklerinin alınması.....	34
Resim 5.6. Toprak örneklerinin alınması.....	35
Resim 5.7. Bitki örneklerinde ağır metal analizleri için yapılan ön çözme işlemleri.....	36
Resim 5.8. Toprak örneklerine uygulanan işlemler.....	37
Resim 6.1. Toprak örneklerinin pH ve EC ölçümleri.....	42

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Ag	:Gümüş
Al	:Alüminyum
As	:Arsenik
Ba	:Baryum
Cd	:Kadmiyum
Co	:Kobalt
Cr	:Krom
Fe	:Demir
Hg	:Civa
Hs	:Hassiyum
Mn	:Magnezyum
Mo	:Molibden
Ni	:Nikel
Pb	:Kurşun
Se	:Selenyum
Sr	:Stronsiyum
Zn	:Çinko
CdCl ₂	:Kadmiyum Klorür
Cd(NO ₃) ₂	:Kadmiyum Nitrat
CO ₂	:Karbondioksit
CrO ₃	:Krom Trioksit
HCL	:Hidroklorik asit
H ₂ O ₂	:Hidrojen Peroksit
H ₃ BO ₃	:Borik Asit
HNO ₃	:Nitrik Asit
cm	:Santimetre
cm ³	:Santimetreküp
g	:Gram
kg	:Kilogram
L	:Litre
metre	:Metre

m ³	:Metreküp
mg	:Miligram
µg	:Mikrogram
mL	:Mililitre
µmhos/cm	:mikromhos/santimetre
%	:Yüzde
\$:Dolar
°C	:Derece Santigrad
EDTA	:Etilen diamin tetra asetik asit
EDDHA	:Etilen diamin dihidroksifenil asetik asit
DTPA	:Dietilen triamine penta asetik asit
ICP-MS	:Endüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi
ICP-OES	:İndüktif Eşleşmiş Plazma Atomik Emisyon Spektroskopisi
WHO	:Dünya Sağlık Örgütü
TS	:Türk Standartları
TSP	:Toplam Çözüm Sağlayıcı
DAP	:Doğu Anadolu Projesi
DNA	:Deoksiribo nükleik asit
US EPA	:Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
SRM	:Sertifikalı Referans Madde
EOM	:Ekstra Organik Madde
SAR	:Sodyum Adsorbsiyon Oranı
Kd	:Toprak-su bölme katsayısı
pH	:Asitlik ve baziklik ölçüsü
EC	:Elektriksel İletkenlik
ppm	:mg/kg (miligram/kilogram), mg/L (miligram/Litre)
ppb	:µg/kg (mikrogram / kilogram), µg/L (mikrogram/Litre)
Ni(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	:Nikel (II) Nitrat
Pb(NO ₃) ₂	:Kurşun (II) Nitrat

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Hızla artan Dünya nüfusunun yanı sıra araç kullanımının artışı ve sanayileşme de zamanla artan bir eğilim göstermektedir. Sanayileşme, ekonominin tarım ve hizmet alanlarında meydana gelebilir. Tarım alanında gelişmiş teknoloji ve mekanizasyon ile yönetimi sanayileşmeyi ileri seviyeye ulaştırmıştır. Günümüz de gelişen ekonominin eş zamanda sanayileşmiş ülkeler olmaları, ekonomik gelişme ve sanayileşme arasında çok benzer bir ilişkinin olduğunun göstergesidir. Bir ülke gelişmesi demek o ülkenin sanayileşmesi anlamına gelmektedir. Gelişen ve paralelinde artış gösteren sanayileşme çevre kirliliğine sebep olurken insan sağlığı için tehlike teşkil etmektedir [1].

Günümüzdeki çevre sorunları, insan yaşamının doğal dengesini bozmaktadır. Bu bozunum sadece yaşamın yoğun olduğu bölgelerde oldukça hızlı, yerleşimin ve yaşamın olduğu alanlarda ise daha yavaş olmaktadır. Bozunuma uğrayan bu doğal yaşam, çevre üzerinde yaşayan bütün canlıların yaşamlarını olumsuz etkilemektedir. İnsanlar daha ferah ve rahat bir yaşam sürebilmek için çevreye zarar vermektedirler [2].

Toprak kirliliği, insanların tutumlarından kaynaklanan, toprağın biyolojik, kimyasal, fiziksel ve jeolojik yapısının bozulmasıdır. Tarım tekniklerinin yanlış kullanılması, aşırı ve yanlış gübreleme uygulamaları, tehlikeli ve zehirli maddelerin toprakta birikmesi sonucu toprak kirliliğini ortaya çıkartmaktadır. Toprakların ve suların kirlenmesinde büyük payı olan birçok kimyasal madde içeren pestisitler mevcuttur. Kentleşmenin sık olduğu bölgelerde toprak niteliği belirgin ölçüde bozulmaktadır. Bu bozunumda inşaat tekniklerinin kirliliği, arazinin kötü kullanılması, kanalizasyonların ve alt yapı yetersizliklerinden kaynaklanan kirli suların toprağa karışması büyük rol oynamaktadır [2].

Şehir çevresinde toprak kirliliğine sebep olan bir diğer konu da hava kirliliğidir. Şehrin ısınması esnasında bacalardan çıkan zehirli gazlar ve taşıtlardan kaynaklanan egzoz gazları yoğunlaşarak toprakla birleşmekte ve topraktaki canlı yaşamını öldürmektedir. Toprak kirliliğine neden olan en önemli etkenlerden biri de fosseptik yöntemiyle şehir atıklarının toprakta biriktirilmesidir. Bundan dolayı biriken kirlilik, toprak derinliklerine sızarak yer altı sularını da kirletmektedir [2].

Tarım alanında yoğun şekilde kimyasal gübre kullanılması, potasyum, azot, fosfor ve besin maddelerinin toprağa alınmasını sağlayarak, toprakların olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır. Bununla birlikte kimyasal gübrenin üretim esnasında ortaya çıkan atık maddelerin çevreye vereceği zararlı etmenlerin de araştırılması gerekmektedir. Dünyanın birçok bölgesinde bulunan fosfat kayaları, çeşitli kimyasal maddeler tarafından işlenerek kimyevi gübreler haline dönüştürülmektedir [3].

Topraklarda ağır metaller yüzeyde veya yüzeye yakın derinliklerde birikmektedir. Ağır metallerin neredeyse tümü topraktaki organik bileşiklerle organomineral bileşikler oluşturarak kararlı forma dönüşmekte ya da toprakta kil mineralleri üzerinde adsorbe olmaktadır [4].

Toprak, canlıların yaşamlarını doğrudan sürdürdükleri bir ortamdır. Fakat toprakta meydana gelen çeşitli etkileşimler ve olaylar, hava ve su ortamında meydana gelen etkileşimler gibi kısa zamanda fark edilemez. Bunun sebebi ise toprağın tampon gücünün toksik etkili bileşenlere göstermiş olduğu direnci kimyasal yollarla meydana gelebilecek kirlenici parametrelerinin belirlenmesini zorlaştırabilmektedir. Toprağın doğal yapısı, endüstriyel ve tarımsal faaliyetler sonucunda tamamen veya kısmen yabancı maddeler yardımıyla kirlenir. Bu yabancı maddelerin birçoğu toprağın yapısında belirli oranda ve genellikle az miktarda bulunur. Dolayısıyla kimyasal kirlilik denince akla gelen ilk kirleniciler ağır metallerdir [5].

Periyodik tablonun 2A grubundan 6A grubuna kadar olan elementler ağır metallerdir. Yoğunluğu 5 g/cm^3 'den fazla olan metaller ağır metal grubuna girmektedir. Bu grupta Co, Pb, Fe, Cd, Ni, Cr, Zn, Hg ve Cu başta olmak üzere 60'tan fazla metal bulunmaktadır. Bu elementler Dünyamızda genellikle silikat, karbonat, oksit ve sülfür halinde stabil bileşik veya silikatlar ile kompleks oluşturmuş şekilde bulunurlar [6].

Ağır metallerin topraktaki hareketi bitki ve taban suları için büyük önem taşımaktadır. Ağır metallerin toprak içerisinde taban suyuna doğru olan hareketinde toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri etkilidir. Kimyasal özellikler arasında toprağın pH değeri, redoks potansiyeli, katyon değişim kapasitesi, organik maddenin miktar ve çeşidinin önemli ölçüde etkili olduğu bilinmektedir [7].

Ağır metal kirlilik düzeyleri ile karşılaşılan topraklarda ağır metallerin uzaklaştırılması için kullanılan izolasyon ve immobilizasyon teknolojileri, mekanik ayırma teknolojileri ve biyokimyasal teknolojiler gibi bazı yöntemler bulunmaktadır. Bunlardan camlaştırma işlemi ile ağır metallerin giderilmesi işleminde 75 - 425 \$/ton bir maliyet oluşurken, toprağın taşınarak başka bir atık alana götürülerek gömülmesi işleminde 100-500 \$/ton ve kimyasal uygulamalar yapılarak ağır metallerin topraktan uzaklaştırılması işleminde ise 100 - 500 \$/ton'luk bir maliyet oluşmaktadır [8].

Daha bu ve buna benzer birçok yöntemde ciddi arıtım maliyetleri ortaya çıkmakta bu da yapılan için fizibil olarak ortaya çıkmamasına ortam hazırlamaktadır. Gelişmiş ülkelerde maliyetler de dikkate alınarak bitkisel ışlah sistemleri oluşturulmuş ve doğal arıtım sistemleri planlanmıştır. Kirlenmiş alanların bitkilerle ışlahı veya iyileştirilmesi kirlilik düzeylerinin minimize edilmesi, uygulamanın doğal yollarla ve ekonomik olarak minimum düzeyde sağlanabilmesi gibi nedenlerden ötürü giderek artmasına neden olmaktadır. Bu sistemlerden olan fitoremediasyon yöntemi diğer yöntemlerin çok fazla maliyet gerektirmesi sebebiyle ağır metaller ile kirlenmiş tarımsal üretim alanlarının kullanılmasını sağlar. Maliyetin düşük olması bu yöntemlerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Fitoremediasyon yöntemiyle toprak taşınmadan bulunduğu yerde arıtılarak bitkiler yardımıyla topraktaki ağır metallerin giderimi sağlanmaktadır [9].

Fitoremediasyon yönteminde kullanılacak bitkilerin doğal yollarla arıtımının sağlanması için ağır metali bünyesinde biriktirebilmesi, dayanıklılığa sahip olması gerekmektedir. Tarım retiminde hayvansal yem olarak kullanılan çim bitkisi, gelişimi kolay, maliyeti ucuz ve çok yıllık olması sebebiyle Nevşehir ili işlenmemiş tarım alanlarında fitoremediasyon yönteminde kullanılacak bitkiler arasındadır. Nevşehir ilinde gelişmiş olan ve sıklıkla kullanılan tarım alanlarının yanı sıra uzun süreli işlenmemiş tarım arazilerinin ifti şartlarına uygun, işlenmesi kolay, tarımsal üretimi sağlayacak alanlar haline getirmek için kullanılan bu yöntem hiçbir kimyasal madde kullanılmadan doğal yollarla uygulanma imknı sağlamaktadır [9].

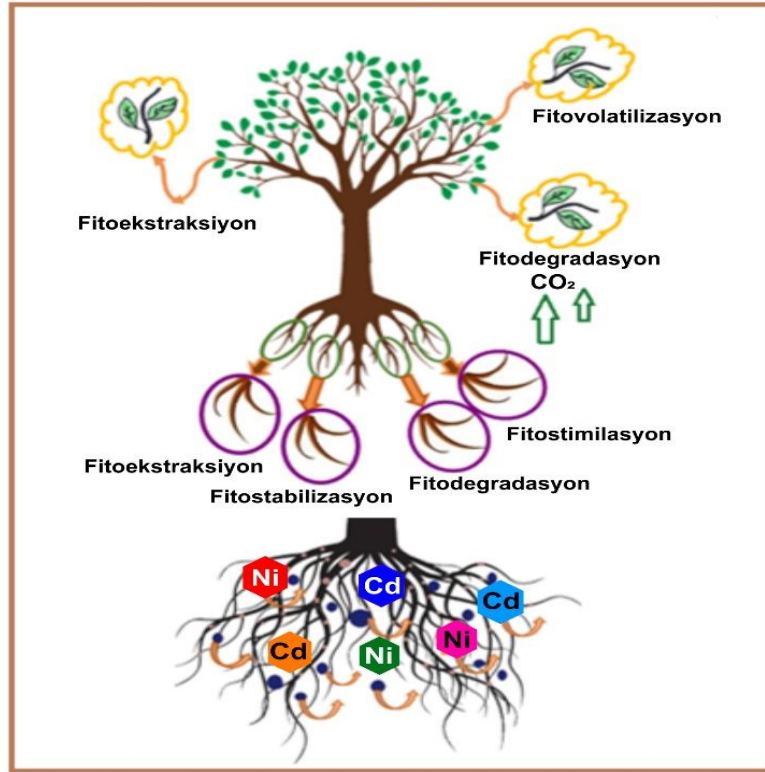
Bu çalışmada farklı Ni ve Cd konsantrasyonlarıyla (1000, 4000 ve 8000 ppm) kirlenmiş toprakların çim bitkisi kullanarak fitoremediasyon yöntemleriyle doğal arıtımının gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

BÖLÜM 2

DOĞAL ARITIM

Yeşil ıslah (bitkisel ıslah) olarak da bilinen fitoremediasyon 1991’ de terminolojide yerini almış ve tarım alanlarında biriken ağır metal kirliliğinin bitkiler aracılığı ile giderilmesinde kullanılan bir yöntem olarak ortaya çıkmıştır. Fitoremediasyon (yeşil ıslah) ekolojik ve ekonomik bir yöntem olduğundan ve kullanılma durumunda maliyet gerektirmediğinden dolayı kullanılan alanlarda tekrardan uygulanabilir bir özelliğe sahiptir. İklimsel değişiklikler ve bitki kökünün derinliği fitoremediasyon yönteminin uygulanmasında büyük öneme sahiptir [10].

Fitoremediasyon yönteminde çevresel kirleticiler niteliğinde ağır metalleri absorbe edebilen, dokularında yüksek seviyede ağır metal biriktirip çeşitli süreçlerden geçtikten sonra etkisiz hale getirebilen hiperakümülatör bitkiler kullanılmaktadır. Son zamanlarda birçok ülkede yaygın bir şekilde kullanılan fito-ıslah, ağır metallerle kirlenmiş toprakların temizlenmesinde edilgen bir teknolojidir [11]. Altı sınıftan oluşan fitoremediasyon yöntem aşamaları Şekil 2.1’de detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 2.1. Fitoremediasyon yöntemleri

2.1. Fitoremediasyon Tipleri

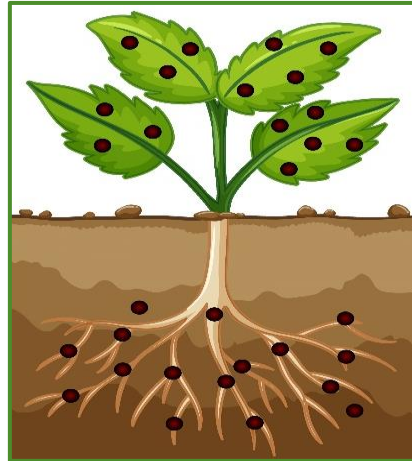
Fitoremediasyon yöntemleri kirlenici türlerine göre sınıflandırılmıştır. Bu kirleniciler metal içerikli ise; fitostabilizasyon, fitoekstraksiyon ve rizofiltrasyon, organik kirleniciler ise; fitovolatilizasyon, rizodegradasyon ve fitodegradasyon olmak üzere altı ayrı sınıfa ayrılmıştır. Fitoremediasyon yöntemlerinin kirlenici türlerine göre sınıflandırılması Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Fitoremediasyon yöntemlerinin kirlenici çeşitlerine göre sınıflandırılması [11].

Metal Kirlenicilerde Kullanılan Yöntemler	Organik Kirlenicilerde Kullanılan Yöntemler
Fitoekestraksiyon	Fitodegradasyon
Rizofiltrasyon	Rizodegradasyon
Fitostabilizasyon	Fitovolatilizasyon

2.1.1. Fitoekstraksiyon (Fitoakümülyasyon)

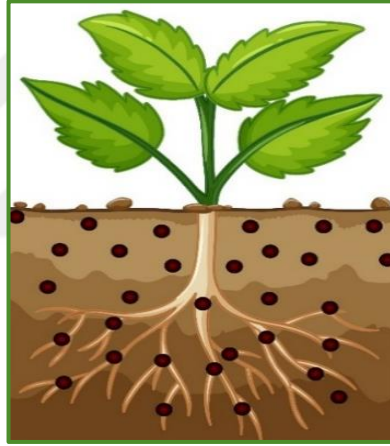
Toprağın kirlenmesine neden olan metal kirlenicilerin, bitki kökleri yardımıyla alınması yöntemine fitoekstraksiyon denir. Toprakta bulunan zararlı maddeleri bünyelerine alan bitkiler bünyelerine alma konusunda çeşitli özellikler gösterirler. Bu sebeple kirlenicilerin yüksek seviyelerine direnç gösteren bitkiler kullanılmalıdır. Bu durum kirlilik oranı oldukça yüksek olan yerlerde büyük önem taşımaktadır. Fitoekstraksiyon yöntemi değerli metallerin işlenmesinden ayrı tutulur [11]. Fitoekstraksiyon yöntemine ilişkin görsel Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2. Fitoekstraksiyon yöntemi

2.1.2. Fitostabilizasyon (Köklerle Sabitleme)

Bu yöntemde, erozyonun önlenmesi, yeraltı sularına kirleticilerin sızmasının azaltılması ve toprakla doğrudan temasın engellenmesi için toprak yüzeyi bitkiler ile örtülmektedir [12]. Bu teknikte bitki kökleri kimyasal ve fiziksel olarak kirleticileri immobilize etmektedir [13]. Bu yöntem, kirlenmiş topraklarda büyüeyebilen ve toksik metalleri daha az toksik formlara dönüştürmek için toprağın fizyolojik, biyolojik ve kimyasal özelliklerini değiştirebilen bitkilere ihtiyaç duymaktadır. Köklerle Sabitleme için yüksek konsantrasyonlardaki metallerin varlığında yüksek oranda biyokütle üretebilmeli, kullanılacak bitkiler geniş bir kök sistemine sahip olmalı ve metalleri gövdeye en az seviyede transloke etmelidir [14]. Fitostabilizasyon yöntemine ilişkin görsel Şekil 2.3’de verilmiştir.



Şekil 2.3. Fitostabilizasyon yöntemi

2.1.3. Fitovolatilizasyon

Ağır metal ve organik kirletici içeren suların büyük miktarını kökler yardımıyla bitkinin yapısına alan ağaçlarda meydana gelen olay bitkisel buharlaştırmadır. Fitovolatilizasyon tekniği ile bitkiler tarafından absorbe edilen kirleticiler, daha az uçucu formlara dönüştürülerek transpirasyon yoluyla doğaya salınmaktadır. Su, köklerden alınarak gövde ve yapraklara iletilirler. Böylelikle kirleticiler, bitkiyi çevreleyen havaya, terleme ve gaz formuna dönüşerek karışır [11]. Fitovolatilizasyon yöntemine ilişkin görsel Şekil 2.4’te verilmiştir.

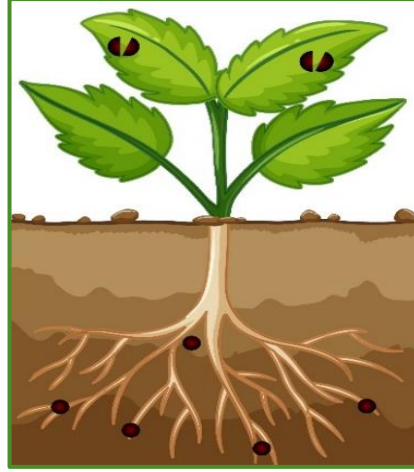


Şekil 2.4. Fitovolatilizasyon yöntemi

2.1.4. Fitodegradasyon

Bir diğer ismi bitkisel bozunum olan fitodegradasyon inorganik bileşiklerin ya da organik maddelerin bitki bünyesine alınarak metabolizma işlemleri esnasında parçalanarak bünyesinin değiştirilmesidir. Fitodegradasyon işleminde bitkinin organik bileşikleri bünyesine alması gerekir. Bu işlem çoğunlukla kök bölgesiyle ya da en uç kök kısımlarıyla sınırlıdır [15].

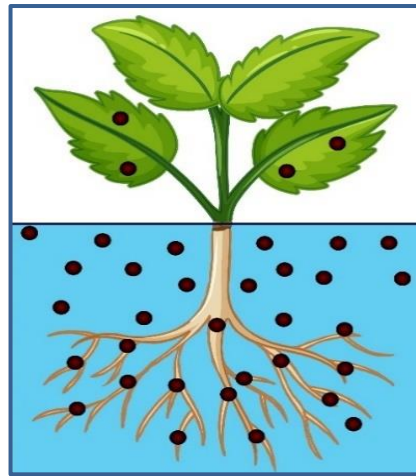
Bu yöntemde temel mekanizma kirleticinin bitkiler aracılığıyla alınması ve bitki yapısında metabolize olmasıdır. Organik bileşiklerin bitki yapısına alınabilmesi için bitki türü, eriyebilirliği kirlilik etkeninin eskiliği veya toprakta kalma süresiyle toprağın 24 kimyasal ve fiziksel yapısına bağlıdır. Hemen eriyebilen bileşenlerin bitki tarafından alınması güçtür. Fitodegradasyon, çamur, tortu (sediment), yeraltı sularının ıslahında kullanılmaktadır. Fitodegradasyon, yüzey sularının iyileştirilmesinde de kullanılabilir. Yöntemin en önemli avantajı bozulmanın veya indirgenme fizyolojik olaylar yönünde bitki içinde olması ve mikroorganizmalara bağlı olmamasıdır. Yöntemin dezavantajı ise bozulma esnasında zehirli ara ve son ürünlerin oluşabilmesi ve bunların oldukça zor olan tespitidir [16]. Fitodegradasyon yöntemine ilişkin görsel Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.5. Fitodegradasyon yöntemi

2.1.5. Rizofiltrasyon (Köklerle süzme)

Köklerle abiyotik, biyotik ve süzme işlemlerine bağlı olarak kirleticilerin köklerin yapısına alınması ya da bitki köklerin üzerinde tutunup kalmasıdır. Bu işlemlerin oluşumu esnasında kirleticiler bitkiye alınabilir ve 24 saat taşınabilir. Kirleticiler daha sonra farklı yollarla bitkiden alınabilir. Bu yöntem atık sularda, yüzey suları ve yer altı suları da uygulanmaktadır. Sucul ve karasal bitkilerin kullanılmasına imkân sağlanması yöntemin avantajıdır. Ayrıca yöntemin doğal ortamlarda uygulanabilirliğinin yanı sıra gölet, havuz, tank gibi yapay alanlarda da uygulanabilir. Suda bulunan kirleticilerin bitki tarafından alınmasına olanak tanıyacak pH'a getirilmesi, bitkilerin belirli aralıklarla yenilenmesi ve su akış hızının kontrol altına alınması için iyi bir mühendislik sistemi gerektirir [15]. Rizofiltrasyon yöntemine ilişkin görsel Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6. Rizofiltrasyon yöntemi

2.1.6. Rizodegradasyon (Köklerle Bozunum)

Degradasyon oluşumu, mikroorganizmalar tarafından ya da bitki köklerinin etkisiyle meydana geliyor ise bu oluşum rizodegradasyon olarak tanımlanır. Köklerle bozunum, topraktaki kök kısmında, organik kirleticilerin mikroorganizma hareketleri sonucu ayrışmasıdır. Kök etrafında mikrobiyal aktiviteleri etkileyen ve köklerden bırakılan şeker, sterol, aminoasit, nükleotid, organik asit, büyüme etmenleri, yağ asitleri, enzimler ve flavanon bulunur. Kirlilik oluşturan organik bileşikler de bu alandadır. Kökle bozunumun en önemli faydası kirleticilerin doğal ortamda yok olmasıdır. Fakat bu kirlilik, bitki veya atmosfere az da olsa taşınmaktadır [16].

2.2. Fitoremediasyon Yönteminin Kullanım Alanları

Son zamanlarda kullanımı yaygınlaşan yeşil ıslah (fitoremediasyon) çalışmaları organik kirleticiler ve çok farklı metaller için birçok farklı ülkede test edilmiştir. Başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Aşağıdaki Tablo 2.2’de farklı ülkelerde uygulanmış fitoremediasyon tekniklerinin sınıflarına göre kirleticilerin bulunduğu ortamlar ve kullanılan bitki çeşitleri verilmiştir.

Tablo 2.2. Fitoremediasyon yöntemlerinin farklı kirletici ve ortamlarda kullanım alanları [11].

Mekanizma	Ortam	Süreç Hedefi	Kirleticiler	Bitkiler
Fitoelektrokinetik	Toprak, sediment ve çamur	Kirletici alma ve uzaklaştırma	Metaller, metalloidler ve radyonükleidler	Hindistan hardalı, alyssum, ay çiçeği, hibrit kavaklar
Rizofiltrasyon	Yüzey ve yer altı suyu	Kirletici alma ve uzaklaştırma	Metaller, radyonükleidler	Hindistan hardalı, ay çiçeği, su sümbülü
Fitostabilizasyon	Toprak, sediment ve çamur	Kirletici etkisizleştirme	As, Cd, Cr, Cu, Hs, Pb, Zn	Hindistan hardalı, hibrit kavaklar ve çimler
Rizodegradasyon	Toprak, yer altı suyu	Kirletici giderme	Organik bileşikler	Kırmızı dut, çimler
Fitodegradasyon	Toprak, sediment ve çamur, yüzey suyu, yer altı suyu	Kirletici giderme	Organik bileşikler, klorinat çözücüler, herbisitler, fenoller	Alg, hibrit kavaklar, siyah söğüt, servi
Fitovolatilizasyon	Toprak, sediment ve çamur, yer altı suyu	Kirleticiyi bulaştırma	Klorinat çözücüler ve bazı inorganikler (Se, Hg, As)	Kavaklar, Yonca, Hindistan hardalı

Fitoekstraksiyon, fitostabilizasyon toprak ve sediment, çamur ortamları olurken rizofiltrasyon da ortam yüzey ve yeraltı suyudur. Fitodegradasyon sediment, toprak ve çamur, yeraltı suyu, yüzey suyu ortamları varken fitovolatilizasyon da sediment, toprak ve çamur, yeraltı suyu kullanılır. Bu yöntemlerde ki hedefler kirleticileri uzaklaştırma, azaltma, giderme ve buharlaştırmadır. Kirleticiler metaller, organik ve inorganikler, bazı elementlerdir. Yöntemlerde kullanılan bitkiler Hindistan hardalı, ay çiçeği, kavaklar, yonca ve sümbül gibi bitkilerdir.

2.3. Fitoremediasyon Yöntemiyle Ağır Metal Giderimi

Fitoremediasyon tekniğiyle hiperakümülatör bitkiler tarafından topraktan alınabilme potansiyeline sahip olan kirleticiler; metaller (Ag, Cu, Pb, Cd, Cr, Hg, Mn, Mo, Ni, Zn, Co), metalloidler (As, Se), radionükleidler (^{90}Sr , ^{234}U , ^{137}Cs , ^{239}Pu , ^{238}U), ametaller (B) ve diğer organik bileşikler (Pestisitler, TPH, PAHs, PCBs) olmak üzere pek çok maddeyi içermektedir [11].

Organik kirleticilerin veya ağır metallerin topraktan bitkiler tarafından alınabilmesi için ilk olarak ekolojik koşulların bitkiler için en uygun seviyede olması gerekmektedir. Bununla birlikte diğer biyotik ve edafik faktörlerin de uygun olması gerekir. Bir diğer yandan topraktaki ağır metalleri alma gücü fazla olan bitkilerin, çoğunlukla yerel olarak yayılış gösterdikleri ve kendilerine özgü bir yaşam şartlarının olduğu belirlenmiştir. Lakin çok geniş bölgelerde yayılış gösterebilen ve fitoremediasyon yönteminde kullanılabilen bitkiler de mevcuttur [11].

Bitki kökleri topraktaki suyu alırken suda çözülmüş ağır metalleri absorbe ederek biriktirmektedir. Absorbe edilen bitkiler 10 cm boyuna geldiğinde biçilerek ağır metaller uzaklaştırılmaktadır.

2.4. Fitoremediasyon Yönteminin Avantajları ve Dezavantajları

Fitoremediasyon tekniği ile kirleticilerin iyileştirilmesi yeni bir teknoloji olmanın yanı sıra pek çok avantajı ve dezavantajı bulunmaktadır. Çevresel ıslah adı altında diğer ıslah yöntemleriyle karşılaştırıldığında bu etmenler daha da anlaşılır hale gelecektir [11].

Fitoremediasyon yöntemlerinin avantajları;

- Diğer ıslah teknolojilerine göre daha ekonomiktir,
- Sahaya yayılmada yeni bir bitki topluğuna ihtiyaç duyulmaz,
- Atık dökümü için ek olarak bir sahaya gerek duyulmaz,
- Diğer metotlarla karşılaştırıldığında halk tarafından da kabul gören estetik bir görünüm meydana gelir ve memnun edicidir,
- Yerinde ıslah özelliği ile kirlenmiş bölgenin başka bir yere taşınmasına ihtiyaç duyulmadan kirleticilerin yayılması önlenmiş olur,
- Aynı tür kirleticinin dışında pek çok kirleticiyle aynı zamanda mücadele edilerek bölgenin ıslahı sağlanabilir.

Kullanılan Fitoremediasyon yöntemlerinin dezavantajları;

- Başarıyı elde etme hızı bölgede kullanılacak bitkilerin, bölgenin edafik ve biyotik etmenlerine uyum sağlamasıyla birlikte bitkinin kirleticiye gösterdiği dirence bağlıdır,
- Yapraklarda biriken kirleticiler sonbaharda yaprak dökümüyle birlikte tekrar toprağa karışabilir,
- Yakacak odun olarak kullanılan bitkilerin yapılarında kirletici birikebilir,
- Diğer ıslah metotlarıyla karşılaştırıldığında ıslah zamanı daha uzun sürebilir,
- Kirleticilerin çözünerek yıkanma sonucu toprağa karışma olasılığı artabilir [11].

BÖLÜM 3

AĞIR METALLER

Oldukça yüksek yoğunluğa sahip ve düşük konsantrasyonlarda bile zehirleyici veya toksik olarak bilinen metallere, ağır metal olarak adlandırılır. Temelde ağır metaller, fiziksel özellik bakımından yoğunluğu 5 g/cm^3 'den daha fazla olan metaller için kullanılır. Bu grupta demir (Fe), bakır (Cu), kurşun (Pb), civa (Hg), nikel (Ni), krom (Cr), kobalt (Co), çinko (Zn) ve kadmiyum (Cd) olmak üzere 60'tan fazla metal yer almaktadır. Bu elementler doğaları gereği dünyamızda genellikle sülfür, silikat ve karbonat halinde kararlı bileşik olarak veya silikatlar içinde bağlı olarak bulunurlar [17].

3.1. Çalışmada Kullanılan Ağır Metaller

Bu çalışmada Cd ve Ni ağır metalleri kullanılmıştır. Araştırma kapsamında topraklarda ağır metal kirleticisi olarak kullanılan ağır metallerin bazı özellikleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Ağır metallerin özellikleri [18]

Ağır Metaller	Grubu	Atom Numarası	Atom Ağırlığı (g/mol)	Özgül Ağırlığı (g/cm ³)	Erime Noktası (°C)
Ni	8B	28	58,693	8,90	1455
Cd	2B	48	112,44	8,65	321

Çalışma da belirtilen ağır metallerin tuz formları için; Cd için; $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ ve Ni için ise $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ kullanılmıştır. Çalışma kapsamında ağır metal olarak kullanılan Kadmiyum (Cd) 2B grubunda bulunmakta ve 48 atom numarasıyla 112,44 g/mol atom ağırlığına sahiptir. Özgül ağırlığı $8,65 \text{ g/cm}^3$ olan kadmiyumun erime noktası $321 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir. Nikel (Ni) ise 8B grubunda bulunmakta ve 28 atom numarasıyla 58,693 g/mol atom ağırlığına sahiptir. Özgül ağırlığı ise $8,90 \text{ g/cm}^3$ olan Nikelin erime noktası $1455 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir.

3.1.1. Kadmiyum (Cd)

Kadmiyum atom numarası 48, yoğunluğu $8,7 \text{ g/cm}^3$ ve atom ağırlığı 112,44 gr/mol olan bir geçiş elementidir. Oda koşullarında katı halde bulunup mavimsi simli gri bir renge sahip olan kadmiyum doğada tek başına bulunmaz [20].

Kadmiyum genellikle çinko ile bileşikler oluşturur. Kadmiyum toprakta mobilitesi oldukça yüksek bir metaldir. Hayvan ve bitkiler için nadir miktarda da olsa toksik bir elementtir. En tehlikeli ağır metaller arasında yer alan kadmiyumun, çevre kirliliğindeki etkisi ve günümüzde ki çeşitli kullanım alanlarıyla gündeme gelmesi de yadsınamaz [19]. Gümüş beyazlığında, işlenebilir, oldukça elektropozitif ve yumuşak bir metal olan kadmiyum birçok özelliğiyle de çinkoyla benzerlik göstermektedir. Kadmiyum ve bileşikleri yüksek seviyede zehirli maddedir. Kadmiyum elementinin doğada tek başına bulunduğu minerali yoktur [20].

3.1.2. Kadmiyum kaynakları

Kadmiyumun doğada yıllık 25000 – 30000 ton miktarda bulunmakta ve bunun 4000 – 13000 tonu insan hareketlerine bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. İnsan hayatını etkileyen önemli kadmiyum kaynakları, rafine edilmiş yiyecek maddeleri, sigara dumanı, su boruları, çay, kahve, kömür yakılması, kabuklu deniz ürünleri, tohum aşamasında kullanılan gübreler ve endüstriyel üretim aşamalarında meydana gelen baca gazlarıdır. Kadmiyum özellikle alaşımlarda ve tekrar şarj edilebilen bataryalarda kullanılmaktadır [20].

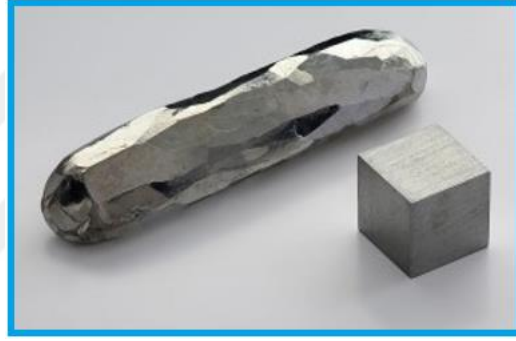
3.1.3. Atmosferdeki süreçleri

Kadmiyum havada hızla kadmiyum okside dönüşmektedir. Kadmiyum nitrat, kadmiyum sülfat, kadmiyum klorür gibi inorganik tuzları suda çözünmektedir. Havadaki kadmiyum yoğunluğu 1 mg/m³ sınırını aştığında solunumdaki akut etkileri gözlenmektedir. Kadmiyumun vücuttan atılımının az miktarda olması ve birikim yapması sebebi ile sağlık bakımından olumsuz etkileri zamanla gözlenmektedir. Endüstriyel olarak kadmiyum zehirlenmesi kaynak yapımı sırasında kullanılan alaşım bileşimleri, kadmiyumlu piller, kadmiyum içeren boyalar ve elektrokimyasal kaplamalar ile olmaktadır [20].

3.1.4. Kadmiyumun sağlık açısından etkileri

Dünya Sağlık Örgütü değerlerine göre yerleşim bölgelerindeki atmosferin ortalama 0,001 g/m³ seviyesinde kadmiyum ile kirlendiği gözlemlenmiştir. Bu bağlamda insanların solunum yoluyla günlük 0,02-2 mg kadmiyum aldıkları saptanmıştır.

Kadmiyum oksidin duman biçiminde yüksek miktarda solunması akciğer ödemi, pnömönisitisi, akut ve öldürücü etkiler yaptığı ortaya çıkmıştır. Yüksek miktarda dumana uzun süre maruz kalınmasından en çok etkilenen organ böbrektir. Böbrekte meydana gelen bu hasarın giderimi mümkün değildir [20]. Kadmiyum elementleri Resim 3.1’de verilmiştir.



Resim 3.1. Kadmiyum elementi [21]

3.1.5. Nikel (Ni)

Periyodik tabloda 8B grubu elementlerinden, atom numarası 28 olup 1455 °C’de erimekte ve sert bir madde formundadır. Parlak olması nedeni ile metal kaplamada kullanılır. Nikelin korozyona karşı güçlü bir metal olarak en çok göze çarpan özelliklerinden biri de alüminyumun tersine alkalilerin etkisine karşın tam bir dirence sahip olması ve yüksek sıcaklıklarda kırılğan hale gelmemesidir [9].

Nikel, doğada çok az miktarda bulunan bir elementtir. Gümüşümsü, parlak ve sert bir ferromanyetik yapıya sahip olan nikel metali nitrik asitte çözünebilirken, sülfürik asit ve seyreltik hidroklorikte düşük oranda çözünebilmektedir. Amonyak veya sıcak-soğuk su da ise hiç çözünememektedir. Çalışma alanlarında toz olarak havada müsaade edilen değerler; nikel bazında 0,015 mg/m³ iken nikelkarbonil için bu değer 0,007 mg/m³’tür. Besin olarak toplam nikel alınımı, bitkilerin tükettikleri miktarlara veya hayvan yiyeceklerine bağlıdır [20].

3.1.6. Nikel kaynakları

Nikelin temel kullanım alanı bakır-nikel alaşımları, paslanmaz çelik ve diğer korozyona direnç gösteren alaşım üretimleridir. Saf halde bulunan nikel kimyasal katalizör olarak elektrolitik kaplamada ve alkali pillerde, madeni para, elektrik fişlerinde, pigmentler, kaynak ürünleri, makine parçaları, elektrotlarda, mıknatıslar ve tıbbi protezlerde kullanılmaktadır [20].

3.1.7. Atmosferdeki süreçleri

Havada bulunan ve uzun süre maruz kalınan nikel insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Madencilik, kentsel atıkların yakılması ve nikel yakıtların yanmasıyla atmosfere yayılmaktadır. Bunun yanında sigarada (0 - 0,51 µg/sigara) ve lağım çamuru karışmış toprakta bulunmaktadır. Bitkiler ve topraktaki bitkiler nikeli absorbe ederek bünyelerine almaktadır. Ekolojik döngüyle meyve ve sebzelerden canlıların vücutlarına nikel alımı yüksektir. Nikelle kirlenen su veya toprağın deriyle teması sonucu nikel maruz kalınabilir [20].

3.1.8. Nikelin sağlık açısından etkileri

Havadaki nikel bileşenlerinin solunmasıyla solunum savunma sistemi ile ilgili olarak anormal işlevler meydana gelir. Solunum sistemi kanserinin oluşma riski nikel maruz kalınmasıdır. Nikel ile çalışan kişilerde astım gibi sağlık sorunlarının yanı sıra, gırtlak kanserleri ve burun da olabilmektedir. Alerjik deri hastalıklarının ortaya çıkmasının sebebi deri absorpsiyonudur. Derideki etkileşim ise nikel içeren takı kullanımında ortaya çıkabilmektedir [20].

3.2. Ağır Metal Kirliliği

Toprağın doğal yapısı, topraktaki endüstriyel ve tarımsal faaliyetler sonucunda yabancı maddeler tarafından kirletilmektedir. Bu maddelerin birçoğu toprağın yapısında belirli oranlarda ve genellikle nadir miktarlarda bulunmaktadır. Bu sebeple kimyasal kirlilik denildiğinde akla ilk gelen kirleticiler ağır metallerdir [20].

Tarımda verimlilik oranını yükseltmek amacıyla topraklara uygulanan TSP, DAP ve diğer fosforlu gübrelerin çok miktarda ve kontrolsüz kullanılmasıyla toprakların yüzey kısımlarında başta Cd olmak üzere bazı ağır metallerin aşırı miktarda birikimi gözlenmektedir. Ağır metaller toprakta ki mineralizasyonu, organik maddenin solunum aktivitesini, enzim aktivitesi olaylarını ve nitrifikasyonu başta olmak üzere biyokimyasal tepkimeleri doğrudan etkilemektedir [20].

Toprakta ki pH değerinin azalmasıyla genellikle artan ağır metal aktivitesi topraktaki organik bileşiklerin immobilizasyon hareketiyle önlenmektedir. Bu durum Cd, Zn, Ni ve Mn'nın yararlılığını azaltabilmektedir. Ağır metal kirliliğinin giderimi için bazı iyileştirme yöntemleri vardır. Bunlar; Kirleticiyi olduğu haliyle bırakmak, o alanın kullanımını yasaklamak, Kirleticiyi alan içinde immobilize etmek ve bölgeyi sürekli gözlemleyerek diğer bölgelere transferi kontrol altında tutmak, kirlenmiş toprağı uzaklaştırarak özel bir bertaraf sahasında depolamak ve Toprağı bölge içinde veya bölge dışında temizlemek. Topraktaki kirliticilerin topraktan ayrılması özellikle bölgenin yeniden kullanılmasının önemli olduğu varsayıldığında ekonomik bir seçenek olabilmektedir [20]. Topraktaki ağır metal kirliliği sınır değerleri Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Topraktaki ağır metal kirliliğinin sınır değerleri [22, 23, 24]

Elementler	Dünya Sağlık Örgütü (WHO) (mg/kg)	Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği pH>6 (mg/kg)	Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı (US EPA) (mg/kg)
Be	-	-	-
Cr	100	100	3000
Mn	2000	-	-
Co	50	20	-
Ni	50	75	75
Cu	100	140	4300
Zn	300	300	7500
As	20	20	75
Se	-	5	100
Sr	-	-	-
Ag	-	-	-
Cd	3	3	85
Ba	-	200	-
Tl	-	1	-
Pb	100	300	420
U	-	5	-

3.3. Ağır Metal Kirliliğinin Çevre ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri

Toprakta biriken ağır metaller sonucu toprak kirliliği, dolayısıyla hava ve su kirliliğine sebep olurken çevreyi etkilediği gibi insan sağlığını da etkilemektedir. Ağır metaller organizmaya; solunum, ağız ve deri yoluyla alınabilmektedir. Organizmaya ender oranlarda girmeleri bile metabolizmadan dışarı oldukça yavaş atılmaları olduğundan dolayı zamanla organizmada birikerek tehlikeli miktara ulaşmaktadırlar.

Alındıkları yol, birikim yaptıkları yapının türünü etkilemekle birlikte toksik etkilerinin yarattığı etmenleri de yönlendirmektedir. Ağır metallerin vücutta meydana getireceği etkiler, metal iyonunun yapısına bağlı olmanın yanı sıra, ağır metalin derişimine, kimyasal yapısına, çözünürlük değerine, kompleks ve redoks oluşturma yeteneğine, vücuda alınış biçimine ve çevrede bulunma çokluğuna bağlıdır.

Vücutta meydana gelen toksik etkinin temel sebebi, hücre içi metabolik süreçlerde meydana gelen bozukluklardır. Söz konusu olan bu bozukluklar; DNA hasarı, oksidatif stresin artışına bağlı olarak oksidatif protein yıkımı, romatizma, mitokondri hasarı ve apoptozisin indüklenmesi vb.) organik hastalıklar (böbrek hastalığı, alerji, egzama, astım, vb.), otoimmün hastalıklar (ülseratif kolit, crohn hastalığı ve nörolojik bozuklukları sayılabilir (depresyon, migren, Parkinson hastalığı, Alzheimer hastalığı). Ağır metallerin meydana getirdiği bu sağlık sorunlarının çoğu ileri seviyede tanı ve tedavi olanakları gerektiren kronik hastalıklar ya da kanserlerdir. Genellikle de tedavi imkânları kısıtlı olup çoğunlukla ölüm gözlenebilmektedir [25].

BÖLÜM 4

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Topraklardan ağır metallerin kolay alımının sağlanması amacıyla farklı miktarlarda EDTA (0,5, 2,5 ve 5,0 mmol/kg toprak) uygulamalarının yapıldığı bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Araştırma saksı denemesi olarak yürütülmüş ve fitoremediasyon yöntemleri ile topraktan ağır metallerin uzaklaştırılması için vetiver çimi yetiştirilmiştir. Farklı EDTA uygulamaları yapılan saksılardaki vetiver çimi fidelerinde, on dört gün boyunca solma, renk değiştirme ve nekroz gibi olumsuz etkiler gözlemlenmemiştir. Araştırma sonucunda Vetiver' çiminin EDTA uygulamasından sonra bile yüksek derecede kirlenmiş toprakta yetişebildiğini sonucuna varılmıştır [26].

Kadmiyumca kirlenmiş kırmızı topraklarda yetiştirilen pirinç, çin lahanası ve buğday alanlarında topraktan Cd alımının araştırıldığı bir saksı denemesi kurulmuştur. Denemede kalsiyum karbonat, çelik çamuru ve fırın cürufu kullanılarak topraktan Cd'un kolay bir şekilde alımı amaçlanmıştır. Bu amaçla fitoremediasyon amaçlı saksılarda vetiver çim bitkisi yetiştirilmiştir. 0,33 mg Cd/kg toprak uygulamasında vetiver çimi sürgünlerinde kadmiyum birikimi 218 g Cd/ha olduğunu gözlemlemişlerdir [27].

B, Cd ve Pb, elementleri ile kirlenmiş toprakların fitoremediasyon yöntemi ile doğal arıtımı araştırılmıştır. Pb, Cd ve B elementleri uygulanmış topraklara, ayçiçeği, kanola ve mısır bitkileri kullanılarak, fitoremediasyonları incelenmiştir. Ek olarak fitoremediasyon kapasitesini arttırmak için topraklara farklı dozlarda kompleks yapıcı şelat ilave edilmiş ve bitkilerin element giderim performanslarındaki değişim seyri gözlenmiştir. Bu çalışma kapsamında, toprağa CdCl₂, Pb (NO₃)₂ ve H₃BO₃ ilave edilmesinden sonra mısır, ayçiçeği ve kanola bitki tohumlarının ekimleri yapılarak ihtiyaç duyulan uygun zaman aralıklarıyla sulamalar yapılarak büyüme gözlenmiştir. Bitki hasat edilmeden 7 gün önce toprağa EDTA eklenmiş ve sonrasında bitkiler hasat edilmiştir. Bitkinin kök ve toprağın yüzeyinden aldıkları elementlerin belirlenmesi amacıyla saksılarda tek tek kesilerek çözünürlükleri yapılmıştır. ICP ve AAS cihazlarıyla element içerikleri saptanmıştır. Elde edilen sonuçlar neticesinde bitkilerin kg kuru ağırlıkları başına aldıkları element dozları tespit edilmiştir [10].

Çok yıllık bir otsu bitki ile yapılan çalışmada hasır otu (*Typha latifolia*) bitkisinin kökleri yardımıyla sudan aldıkları (Cu, Ni, Zn) ağır metal birikimleri incelenmiştir. Dört farklı grupta uygulanan ağır metal derişimleri ile hazırlanan çözeltiler iki haftada bir sulama suyu ile birlikte uygulanmış toplam 10. hafta sonunda bitki numuneleri toplanarak kurutulmuş ve ağır metal analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda uygulanan çözelti konsantrasyonları ile bitkide biriken miktarları arasında doğrusal bir ilişkinini olduğu ortaya konulmuştur [28].

Yonca bitkisinde farklı ağır metallerin alımı üzerine laboratuvar ortamında bir çalışma yürütülmüştür. Her biri 0, 5, 10, 20 ve 40 ppm derişimlerin de 3 tekerrürlü olarak Cr, Zn, Cu ve Ni ağır metalleri yonca bitkisi için oluşturulan bir besi yerinde tohumlara uygulanmış ve tohumdan çıkış sağlandıktan 2 hafta sonrada bitkiler besi yerinden alınarak toplanmıştır. Bitkide yapılan analizlerde Cd alımının uygulanan dozla birlikte artış gösterdiği 5 ppm uygulamalarında 6122 mg/kg, 20 ppm'de 6710 mg/kg olarak tespit etmişlerdir. Ni miktarlarına bakıldığında ise 5 ppm uygulanan derişimlerden elde edilen yonca bitkisinin yeşil aksamalarında 740 mg/kg alım olduğu, 40 ppm uygulamaların da ise bu oranın 4036 mg/kg'a yükseldiği görülmüştür [29].

Farklı konsantrasyonlarda Ni, Pb, Sb ve Cd ağır metalleri tarafından kirletilmiş toprakların yonca bitkisi kullanılarak doğal arıtımını sağlanılmasına yönelik bir araştırma gerçekleştirilmiştir. 1000, 2000, 4000 ve 8000 ppm olarak uyguladıkları topraklardan alınan numunelerin analizi sonucu farklı derişimler de Cd uygulanan saksılardan yonca bitkisinin kökleri yardımıyla aldığı ağır metal miktarı toplam 4 biçim dönemi sonunda incelenmiştir. 1000 ppm Cd uygulanan konularda Cd ağır metalinin %26,56'sı ve 265,563 ppm, 2000 ppm uygulanan saksılardan %15,92'si, 4000 ppm'den %8,03'ü, 8000 ppm ve 344,224 ppm olan uygulanan saksılardaki Cd miktarının %4,30'u yonca bitkisinin kökleri yardımıyla uzaklaştırıldığı görülmüştür. Ni uygulanan saksılarda ise 1000 ppm için Ni alımı %21,38'i ve 213,817 ppm, 8000 ppm uygulamaların da ise %3,44'ü ve 275,354 ppm olduğu görülmüştür. Elde ettikleri sonuçlar neticesinde yonca bitkisinin Sb, Cd, Pb ve Ni ağır metallerinin topraklarda hiçbir şelatör kullanılmadan doğal yollarla arıtımının gerçekleştiğini gözlemlemişlerdir [9].

İtalya'da gerçekleştirilen bir çalışmada, endüstriyel bir alana yakın olan bir kasabada kadmiyum (Cd), arsenik (As), kurşun (Pb) ve çinko (Zn) elementlerinin günlük alım miktarları araştırılmıştır. İki ayrı dönemde (Temmuz 2009 - Mart 2010) 35 farklı sebze ve meyve olmak üzere toplamda 255 örnek alınmıştır. Yapılan araştırma sonucunda en yüksek konsantrasyonların otlar ve baharatlarda bulunduğu; diğer gıdalar için ise en yüksek konsantrasyon olarak yapraklı sebzelerde Cd (0,147 mg/kg), baklagillerde As (0,142 mg/kg) meyvelerde Pb (0,294 mg/kg) ve yine baklagillerde Zn (13,03 mg/kg) olduğunu tespit etmişlerdir [30].

Üç ayrı Cd (10, 30 ve 50 mg/kg) dozunda yetiştirilen mısır, tütün ve buğday bitkilerinin tarafından fitoremediasyona yönelik olarak yapılan bir çalışmada buğday, tütün ve mısır bitkilerinin kök ve gövde yapısında bulunan kadmiyum konsantrasyonları maruz bırakıldıkları kadmiyum konsantrasyonlarıyla orantılı olarak artmıştır. Tütün hariç kadmiyum konsantrasyonu gövdeye oranla köklerde daha yüksek bulunmuştur [31].

Sera ve tarla koşullarında kolza (*Brassica napus*) bitkisinin Cr, Cu, Pb ve Zn metalleri bünyesinde biriktirme ve tolere edebilme özellikleri üzerine bir araştırma yürütülmüştür. Araştırmada kolza bitkisinin sera şartlarında yüksek oranda metalleri bünyesinde biriktirdiği, tarla koşullarında ise bitkinin gelişiminin ve metal birikiminin daha zayıf ve bitki aksamalarında metallerin birikme sırasının Cr>Zn>Cu>Pb şeklinde olduğu belirlenmiştir [32].

Ham petrol ile kirlenmiş toprağın fitoremediasyonuna yönelik olarak bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Araştırmada fitoremediasyon amacıyla kullanılan ayçiçeği tohumlarının çimlenme oranı, Siberian Light (SBL)'nin artan konsantrasyonları ile ters orantılı olarak azalma göstermiştir. Karotenoid ve klorofil miktarları 15. günde konsantrasyona paralel olarak artış gösterirken 30. günde zıt bir biçimde kontrol grubunun da altına düşerek azaldığı görülmüştür. Kök ve gövde dokularında ekstrakte organik madde (EOM) miktarları çok net olmasa da toprak örneklerinde petrol konsantrasyonu arttıkça yükseliş göstermektedir [33].

Bitkilerin, su ve toprak remediasyonu için, biokimyasal ve fizyolojik özellikleri, benzersiz genetik sebebiyle ideal araçlar olduğunu belirten araştırmacılar, hiperakümülatör bitkilerin, ağır metallere kirlenmiş alanların fitoremediasyonu için son yıllarda oldukça fazla kullanıldığını gözlemlemişlerdir. Süs bitkilerinin ise Türkiye tarım alanının gizli potansiyelini oluşturduğunu söylemektedirler. Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü'nün, TÜBİTAK desteği alarak 8 üniversite, 7 araştırma enstitüsü ve 19 özel sektör şirketiyle beraber yürüttüğü ve 2009 yılında tamamladığı “bazı doğal bitkilerin kültüre alınması, yeni tür ve çeşitlerin süs bitkileri sektörüne kazandırılması” isimli projenin pek çok alanda örnek olacağını ve özellikle kentsel alanlarda, süs bitkilerinin çevreyi güzelleştirmesinin yanı sıra ağır metal kirliliğini giderebilmede de oldukça yüksek potansiyel gösterdiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar tarafından verilen bulgulara göre süs bitkileri fitoremediasyon yönteminde kullanılabilir bitki olarak belirlenmiştir [34].

Yapılan bir çalışmada toksik endüstriyel atıklar sıvı gübrelerle karıştırılarak tarım arazilerine yayıldığını belirtmişlerdir. Endüstriyel faaliyetler sonucunda çevrede meydana gelen bozulmaların giderilmesine karşı çeşitli yöntemler olduğunu ve bu yöntemlerin birçoğunda ileri teknolojiler kullanıldığını, kullanılan teknolojilerin ise çok pahalı, geniş alanlara uygulanabilirliğinin de çok zor olduğunu ön görmüşlerdir. Buna karşılık fitoremediasyon yönteminin, metal kirliliği sorunuyla mücadelede en çok tercih edilen seçeneklerden biri olup, estetik, sürdürülebilir ve çevre dostu bir yöntem olarak tıbbi ve aromatik bitkilerin kullanılması ideal bir aday olduğunu ortaya koymuşlardır [35].

Kadmiyum (Cd) ile kirlenmiş topraklarda pıtrak (*Xanthium strumarium* L.) bitkisi 6 hafta boyunca kontrollü şartlarda yetiştirilerek Cd metalinin topraklardan uzaklaştırılabilme olanakları araştırılmıştır. Çalışmada, bitkilerin kontrole göre; klorofil düzeyleri (alt yaprak:29,1-25,4 SPAD birimi ve üst yaprak:31,6-27,3 SPAD birimi), biyokütle üretimi (56,3-37,2 g bitki⁻¹), ağır metal alımı (0,08-74,9 µg bitki⁻¹), indirgenmiş glutatyon (GSH) (235-283 µg mL⁻¹), kalsiyum (Ca), fosfor (P), potasyum (K), makro [azot (N) ve magnezyum (Mg)] ve mikro [demir (Fe), mangan (Mn), bakır (Cu) ve çinko (Zn)] besin elementi konsantrasyonları düşüş gösterdiğini gözlemlemiştir [36].

Yapılan çalışmada, pıtrak (*X. Strumarium* L.) bitkisinin Cd ile kirlenmiş toprakların temizlenmesinde kullanılabileceğini ve fitoremediasyon yöntemi için uygun olduğu sonucuna varmıştır [36].

Topraktaki Cu, Pb, Zn ağır metallerinin darı ve ayçiçeği bitkileri kullanılarak fitoremediasyon ile uzaklaştırılması araştırılmıştır. Verilerini, 2011 ve 2012 yıllarında ekim yapmış oldukları Kilis toprağından almışlardır. Veri sonuçlarının gözlem verileriyle uyum içerisinde olduğunu gözlemlemişlerdir. Kd değeri Cu, Zn ve Pb için sırasıyla 3,47 L/kg, 3,05 L/kg ve 2,42 L/kg olarak bulmuşlardır. Ayçiçeğinin kirletici alım oranının darının kinden daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır [37].

Yapılan bir diğer çalışmada, kontamine topraktan ağır metalin (Cu) uzaklaştırılması incelenmiştir. Topraktaki ağır metal konsantrasyonları 100, 500, ve 1000 ppm'dir. Fitoremediasyon çalışması için, Türkiye'deki tarım alanlarında yaygın olarak üretilen iki tür ticari mahsul olan sorgum ve ayçiçeği bitkileri konak bitki olarak kullanılmıştır. Sonuçlara göre kullanılan sorgun ve ayçiçeği bitkilerinin glomalin seviyelerinde ciddi artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Kullanılan bitkilerin topraktaki ağır metalleri uzaklaştırmada etkili olduğunu tespit etmişlerdir [38].

Saksı topraklarda yapılan bir çalışmada aynısefa bitkisinde çinko toksisitesinin etkileri ve bitkinin fitoremediasyon potansiyeli araştırılmıştır. Çalışma beş farklı çinko konsantrasyonu (0, 250, 500, 750 ve 1000 ppm) kullanılarak, tohum çimlenme ve bitki gelişimi olmak üzere iki aşamada yürütülmüştür. Tohum çimlenmesi ve fidecik gelişimi incelenmiştir. Deneme sonunda her iki çeşitte de çinko uygulamalarının önleyici etkisi çimlenme aşamasından ziyade fidecik gelişim aşamasında görülmüştür. Diğer bölümde ise çalışmalar, Zn uygulanmış saksı topraklarında yürütülmüştür. Çinko içeriğindeki değişim ise aynısefa bitkisinin fitoremediasyon kapasitesini ortaya koymuştur. Uygulama düzeyi artışı ile bitkilerin topraktan kaldırdığı Zn miktarı artmıştır. En yüksek çinko düzeyinde (1000 ppm), kontrole göre, sürgünlerde 5 kat ve köklerde 7 kat daha fazla Zn'de olduğunu tespit etmişlerdir [39].

Yapılan bir çalışmada, Adana ili Aladağ ilçesi sınırlarında bulunan krom maden sahaları floristik açıdan değerlendirmiştir. Bitki türleri dominant, sık, seyrek ve nadir olarak gruplandırılmıştır. Göreceli bulunuşları dominant ve sık olan 9 tür (*Aethionema spicatum*, *Alyssum alyssoides*, *Alssum oxycarpum*, *Alyssum floribundum*, *Thlaspi oxyceras*, *Convolvulus compactus*, *Fumana arabica*, *Onosma cappadocicum* ve *Salvia cryptantha*) remediasyon özelliklerinin değerlendirilmesi için seçilmiştir. Bu bitkilerin fitoremediasyon potansiyellerini değerlendirmek amacıyla bitkilerin kök, gövde, yaprak ve kök bölgesi topraklarında metal analizleri (Cr, Ni, Co, Pb, Zn, Mn, Cu ve Fe) gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda Cr için *Convolvulus compactus* ve *Onosma cappadocicum*; Co için *Aethionema spicatum*; Zn için *Thlaspi oxyceras*; Mn için *Aethionema spicatum* fitoekstraksiyon potansiyeli olan türler olarak tanımlanmıştır. Nikel için *Salvia cryptantha*; Cu için *Onosma cappadocicum* fitostabilizasyon potansiyeli olan türler olarak nitelendirilmiştir. *Aethionema spicatum*, *Alyssum oxycarpum*, *Alyssum floribundum* ve *Thlaspi oxyceras* türlerinin ise Ni metali için hiperakümülatör oldukları saptanmıştır [40].

Şelat ve mikrobiyal gübre ilave edilerek kanola, kiona ve soğan türleri kullanılarak sentetik olarak kirletilmiş topraktan ve doğal kirlilik içeren arıtma çamurundan Pb elementinin fitoremediasyon yöntemi ile arıtımı araştırılmıştır. Ağır metal gideriminin de şelat olarak EDTA, nitro, piridin, 1-10 fenantrolin ve hümik asit kullanılmıştır. Tolerans İndeks değerleri incelendiğinde şelat ilavesinin bitkilerin büyümesi ve kuru ağırlık miktarlarında değişikliğe sebep olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada bitkilerin kök, gövde ve yapraklarında ağır metal biriktirme oranları incelenmiş ve türlerin köklerinde biriktirmenin daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Özellikle hümik asit, nitro şelatı ve EDTA kullanıldığı deneme saksılarında ağır metal biriktirme oranı daha yüksek bulunmuştur. Türlerin Pb elementini kök bünyesinde biriktirme ve üst organlara taşınmasının şelat ekleme ile arttığı tespit edilmiştir. Buna göre, ağır metal alımını artırmak amacıyla hümik asit, nitro şelatı ve EDTA kullanılabilceğini tespit etmişlerdir [41].

Süs lahanasının Bor (B) temizliğinde kullanılabilirliğinin ortaya konması amacıyla yürütülen bir çalışmada 4 ayrı Bor dozu (0, 10 mg/kg, 25 mg/kg ve 50 mg/kg B) ile 2 ayrı toprak türü (Gölbaşı*Alkali ve Çarşamba*Asidik) kullanılmıştır. Bitkilerde toksik belirtiler 50 mg/kg B dozunda ortaya çıkmıştır. Alkali toprakta bitki bünyesine bor alımı, asidik yapılu toprağa göre daha az, bitki gelişimi ise daha olumlu bulunmuştur. İkinci aşamada ise 50 mg/kg B dozu ile birlikte şelat ve hümik asit ilavesinin alkali toprakta yetişen bitkilerdeki etkisi incelenmiştir. Şelat ve hümik asit ilavesinin süs lahanasında gövde yaş/kuru ağırlığı ile kök yaş/kuru ağırlıklarında olumlu yönde fayda sağlamadığı tespit edilmiştir. Süs lahanasını bitkisinin, bor elementinin fitoremediasyon yöntemi ile topraktan önemli bir potansiyel taşıdığı tespit edilmiştir [42].

Cr ağır metali ile kirletilmiş toprakların fitoremediasyon tekniği ile temizlenmesinde kullanılabilirliğine yönelik olarak yürütülen bir çalışmada fitoremediasyon tekniği kullanılarak krom ağır metali ile kirletilmiş topraklarda mısır bitkisinin hiperakümülatör bitki olup olmadığı incelenmiştir. Krom ağır metalinin çözünürlüğünü artırmak için topraklara farklı miktarlarda şelat verilerek, mısır bitkisinin Cr elementini temizleme başarısı değerlendirilmiştir. Tesadüf blokları deneme planına göre kontrollü şartlarda 3 tekrarlı, 3 kontrol saksısı ve 5 şelat dozunda (0, 10, 20, 40, 80 mmol/kg) 18 saksıda yürütülmüştür. Saksılardaki topraklara 30 mg/kg CrO₃ verilerek 30 gün inkübasyona bırakılmıştır. Saksılara 150 mg/kg N, 100 mg/kg P, 125 mg/kg K ilavesi mısır tohumlarının ekimleri ile beraber uygulanarak ihtiyacına göre sulamaları yapıp gelişimlerine bakılmıştır. Bitkilerin büyüme sürecinde hasat yapılarak gövde ve kök aksamında krom içeriği sırasıyla kontrol 2,81 mg/kg iken 80 mmol/kg EDTA şelatı uygulanan dozda 31,46 mg/kg bulunmuştur. Bu araştırma ile Cr(VI) ile kirletilmiş toprakların temizlenmesinde ekonomik ve uygulanabilir bir yöntem olan fitoremediasyon yönteminde mısır bitkisinin hiperakümülatör bitki olduğu ortaya konulmuştur [43].

Kurşun (Pb), kadmiyum (Cd) ve bu iki ağır metalin karışımlarına maruz bırakılan, yüksek üreme kapasitesine sahip, kolay kültüre alınabilen, hasatı kolay ve laboratuvar ortamına rahatlıkla uyum sağlayabilen *Pistia stratiotes* sucul bitkisinin arıtım potansiyeli araştırılmıştır. Ağır metal konsantrasyonları kurşun için 1, 5 ve 25 ppm, kadmiyum için ise 1, 2,5 ve 5 ppm olarak belirlenmiştir. Karışım denemelerinde her bir ağır metalin düşük, orta ve yüksek konsantrasyonlarının yarısı alınarak birlikte uygulanmıştır. Deney süresi toplam 7 gün olarak tasarlanmış olup, 1, 4 ve 7. günlerde bitki örnekleri alınmıştır ve bitki dokularındaki ağır metal konsantrasyonu ICP-MS cihazı kullanılarak tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçların istatistiksel olarak değerlendirilmesi amacıyla tek yönlü varyans analizi (One-way ANOVA) kullanılmıştır. Kurşunun 1 ve 25 ppm, kadmiyumun ise 1 ve 5 ppm'lik konsantrasyonlarına maruz bırakılan bitkilerin dokularındaki ağır metal miktarı süre bakımından önemli bir farklılık göstermediği tespit edilmiştir. Karışım denemelerinde bitkilerde biriken Pb miktarının 4 ve 7 gün sonunda önemli bir artış gösterdiği belirlenmiştir. Kadmiyum miktarında ise genel olarak tüm deneme gruplarında doz artışına bağlı olacak bir artış gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde *P. stratiotes* bitkisinin Pb, Cd ve bu ağır metallerin karışımları için remediasyon açısından başarı ile kullanılabileceği gösterilmiştir [44].

Noccaea caerulescens, *Eriophorum vaginatum* ve *Eriophorum scheuchzeri* bitkilerinin çimlendirilmesi, geliştirilmesi, ağır metal uygulanması ve metal birikim potansiyellerinin belirlenmesine yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Tohumlar Norveç Røros Bakır Madeni alanından toplanmış ve çimlendirilen bitkiler fitotron koşullarında 24 hafta süreyle büyütülmüşlerdir. Hidroponik kültürlerde 10 gün boyunca farklı Zn, Cu ve Cd konsantrasyonları uygulanmış, bitki organlarındaki metal birikimleri ICP-OES ile ölçülmüştür. Farklı metallerin, terk edilmiş maden alanındaki doğal bitkiler üzerinde toksik etkilerini izleyebilmek amacıyla total fenolikler ve klorofil miktarları da belirlenmiştir. Araştırılan bitki türleri çoğunlukla kök akümülatörü özelliği göstermiş olsa da toprak üstü bitki bölümlerindeki yüksek Zn birikimi nedeniyle (TF>1) *E. vaginatum* Zn hiperakümülatörü olarak değerlendirilebilir. Çalışılan bitkilerin gerek fitoekstraksiyon ve gerekse fitostabilizasyon amaçlı kullanılabileceği ve metallerle kirlenmiş alanların temizlenmesinde etkin yer alabileceği düşünülmektedir [45].

EDTA'nın Pb, Co ve Cd emilimi üzerine etkisi ve kanolanın Co, Pb, Cd ile kirlenmiş topraklardaki fitoremediasyon yeteneği araştırılmıştır Deneme kontrollü koşullarda tam şansa bağlı deneme desenine göre; 3 şelat dozu (0, 5, 10 mmol/kg) ve 3 tekerrür olarak toplam 27 saksıda yürütülmüştür. Her saksıya 100 mg kg⁻¹Pb, Co ve Cd ağır metalleri uygulanmıştır. Saksılar bir ay süreyle inkübasyona bırakılmıştır. Tohumların ekiminden 30 gün sonra EDTA 3 doz (0, 5, 10 mm/kg) şeklinde saksılara uygulanmıştır. 75 günlük gelişme periyodunun sonunda bitkiler hasat edilerek kök ve gövde aksamında kimyasal analizler yapılmıştır. Bu bağlamda, toprağa uygulanan EDTA (0, 5 10 mmol/kg) dozları kanola bitkisinin Pb, Cd, Co içeriklerini kontrole göre 5 ve 10 mmolkg⁻¹dozları için sırasıyla, kök aksamı için %34,59- %60,03; %119,38- %235,82; %47- %64,80 gövde aksamı için %80,12- %136,33; %77,28- %264,88; %40,81 -%9,79 oranlarında tespit edilmiştir [46].

BÖLÜM 5

MATERYAL VE METOT

5.1. Materyal

Bu araştırma Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Bilim Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde yer alan cam bir serada saksı denemesi şeklinde yürütülmüştür. Çalışmada toprak materyali olarak kampüs peyzaj alanlarında kullanılan Killi-tınlı toprak, doğal arıtım amaçlı çim bitkisi, sulama suyu olarak şebeke suyu ve kirletici olarak ise Ni ve Cd ağır metalleri kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan tüm materyaller detaylı bir şekilde alt başlıklarda aşağıda anlatılmıştır.

5.1.1. Denemede kullanılan toprak

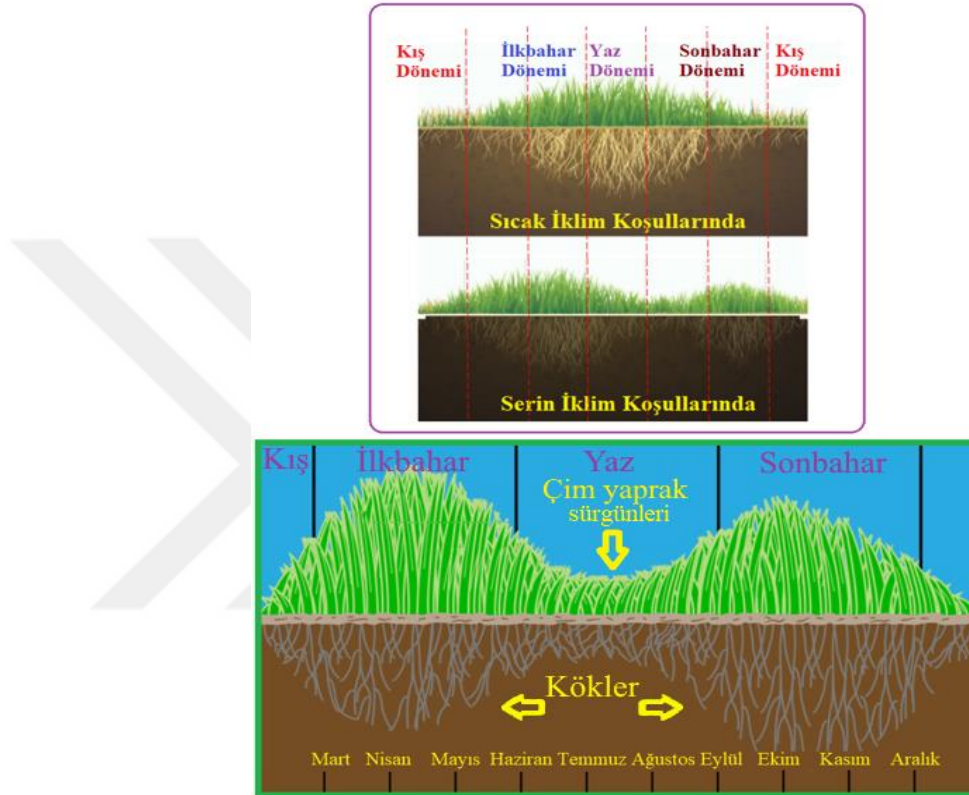
Araştırmada kampüs peyzaj alanlarında kullanılan Killi-tınlı ve hacim ağırlığı $1,58 \text{ g/cm}^3$ olan toprak kullanılmıştır. Denemede kullanılan toprağa torf, kum gibi karışımlar gerçek tarla koşullarını temsil etmesi açısından ilave edilmemiştir. Çalışmada kullanılan toprak kaba materyalleri temizlenmiş ve elekten geçirilerek kullanılmıştır.

5.1.2. Yetiştirilen bitki

Araştırma kapsamında fitoremediasyon amaçlı %100 saf karışımsız çim (*Lolium Perenne L.*) bitkisi kullanılmıştır. Çim, 50-100 cm boylarında dik gövde yapısına sahip çok yıllık bir bitki olup kısa ömürlü, çok yıllık buğdaygil yem bitkisidir. Yıllık 450-650 mm yağışın olduğu alanlarda sulanmadan yetişebilmektedir. Farklı tür topraklarda yetişebilir, ancak en iyi gelişimini verimli, drenajı iyi ve nem tutabilen topraklarda yapmaktadır [47]. Çim bitkisi, kış aylarının sert olmadığı ve yaz aylarının serin ve nemli olduğu bölgelere adapte olmuştur. Sıcaklığa dayanıksızdır [48].

Su birikimi oluşan topraklarda büyük zarar görür. Kuvvetli yumakları ve bol yapraklı çok yıllık olan çim, park ve bahçeler, spor alanları, karayolları ve değişik amaçlı çim alanlarının yapımında kullanılır [49]. Çok kardeşlenen ve orta boylu olan çim bitkisi ideal bakımları yapıldığında üniformluluğunu korur [50].

Çim bitkisi kısa süren bir kış uykusu dönemi yaşamaktadır. Donlara karşı hassaslık gösterdiği için sert iklimlerde gelişmemektedir. Kurağa dayanıklı değildir [51, 52]. Çim bitkisi, 6-7°C sıcaklıkta gelişim gösterirken, 30°C’de büyümesi durmaktadır [53]. Çim bitkisinin sıcak ve serin iklim koşullarındaki gelişim durumları Şekil 5.1’de, verilmiştir.



Şekil 5.1. Çim bitkisinin sıcak ve serin iklim koşullarındaki büyüme evreleri

5.2. Metot

Yapılan çalışmada denemenin kurulması ve yürütülmesi, deneme deseninin oluşturulması, ağır metal uygulamaları, bitki ve toprak örneklerinin alınması, ağır metal analizleri gibi aşamalar uygulanmıştır. Yürütülen çalışmanın metotları detaylı bir şekilde başlıklar halinde aşağıda sunulmuştur.

5.2.1. Denemenin kurulması ve yürütülmesi

Deneme Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Bilim Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi çatısında yer alan 25 m² büyüklüğünde bir cam sera içerisinde yürütülmüş olup araştırmanın yürütüldüğü sera alanı Resim 5.1’de sunulmuştur.



Resim 5.1. Denemenin yürütüldüğü sera alanı

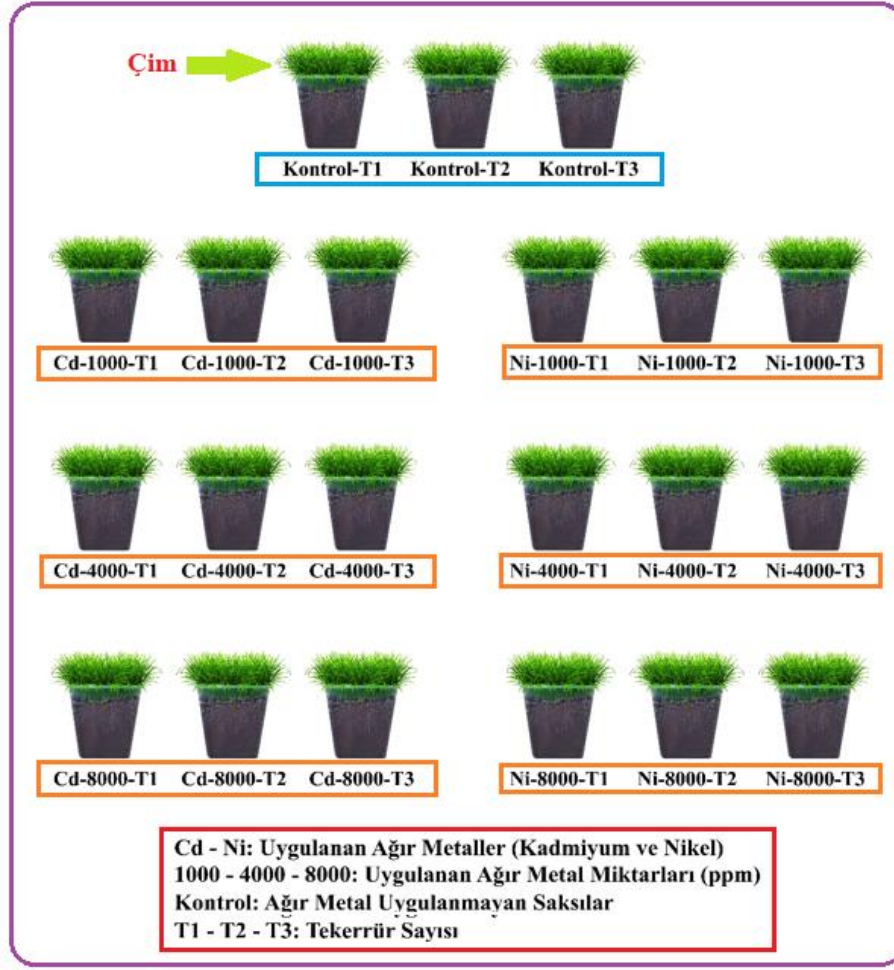
Yetiştirme ortamı olarak kullanılan deneme alanında çim bitkisinin dayanıklılığı göz önüne alınarak elekten geçirilmiş topraklar 50 cm yüksekliğinde, 40 cm çapında saksılara aktarılarak her bir saksının 25 kg toprak doldurulması ile bitki yetiştirme ortamı sağlanmıştır. Denemede kullanılan saksının boyutları Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2. Kullanılan saksının boyutları

5.2.2. Denemenin oluşturulması

Cd ve Ni ağır metalleri 1000 ppm, 4000 ppm, 8000 ppm olmak üzere 3 tekrerr şeklinde saksılara uygulanmıştır. Kontrol grubu ise ağır metal uygulanmadan 3 tekrerr şeklinde deneme kurulmuştur. Deneme Şekil 5.3’te gösterildiği gibi kurulmuştur.



Şekil 5.3. Deneme deseni

5.2.3. Kirletici olarak uygulanan ağır metaller

Uygulamalar, 25 kg ve 50 cm yüksekliğinde ki saksı toprağına çözeltilerin Ni ve Cd olmak üzere ağır metallerin 1000 ppm, 4000 ppm ve 8000 ppm derişimleri sağlanarak toprağına uygulanmıştır. Ağır metaller (Ni, Cd), bitkinin toprağına ekiminden 15 gün önce 1 L sulama suyu ile her bir saksıya uygulanmıştır. Toprak Cd ve Ni ağır metalleriyle 15 günlük inkübasyona bırakılmıştır. Çalışmada Ni ve Cd ağır metalleri için farklı tuz formları kullanılmıştır. Ni ağır metali için $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ve Cd ağır metali için ise $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ tuzu kullanılmıştır.

Uygulanan tuz formları Şekil 5.4'te ve araştırmaya konu olan derişimlere (1000, 4000, 8000 ppm) göre uygulanan miktarları ise Tablo 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.4. Ni ve Cd ağır metallerinin tuzları

Tablo 5.1. Kullanılan ağır metallerin derişimleri [9]

Eklenen Ağır Metallerin Derişimleri (25mg/kg)	Cd(NO ₃) ₂	Ni(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O
1000 ppm derişim için	2,7443 g	4,9548 g
4000 ppm derişim için	10,9772 g	19,8532 g
8000 ppm derişim için	21,9544 g	39,7064 g

1000 ppm Cd derişimi sağlamak için Cd(NO₃)₂ tuzundan; 2,7443 g, 1000 ppm Ni derişimi sağlamak için ise Ni(NO₃)₂·6H₂O tuzundan; 4,9548 g kullanılmıştır. 4000 ppm Cd derişimi sağlamak için Cd(NO₃)₂ tuzundan; 10,9772 g ve 4000 ppm Ni derişimi sağlamak için ise Ni(NO₃)₂·6H₂O tuzundan; 19,8532 g kullanılmıştır. Ayrıca 8000 ppm Cd derişimi sağlamak için Cd(NO₃)₂ tuzundan; 21,9544 g, yine 8000 ppm Ni derişimi sağlamak için ise Ni(NO₃)₂·6H₂O tuzundan; 39,7064 g kullanılmıştır. Uygulanan ağır metallere ilişkin bazı görseller Resim 5.2’de verilmiştir.



Resim 5.2. Ağır metallerin toprağa uygulanması

5.2.4. im tohumunun saksılara ekilmesi

Bitki tohumlarının ekim yapılacağı toprağın hafif nemli olması için her bir saksıya 1 L sulama suyu uygulanmış 1 gün bekletilerek toprak neminin tohum ekimine uygun hale gelmesi sağlanmıştır. Bitki tohumları her bir saksıya 25 gr olacak şekilde hassas terazide tartılarak çim tohumu ekimi yapılmış ve deneme kurulmuştur. Tohum tartımları ve ekimi ile ilgili uygulamalar Resim 5.3'te sunulmuştur.



Resim 5.3. im tohumu tartım ve ekimi

5.2.5. Sulama uygulamaları

Saksılara uygulanan ağır metallerin çözünmesini ve bitkiler tarafından alınmasının sağlanmasıyla birlikte bitkilerin yaşamlarını devam ettirebilmeleri için kontrollü bir şekilde belli aralıklarla sulama yapılmıştır. im bitkisinin ekiminden itibaren gün aşırı her bir saksıya 0,5 ml şebeke suyu uygulanmıştır. im bitkisinin sulama uygulaması için fiskiye başlıklı hortum kullanılmış olup debisi ayarlanmıştır. Sulama uygulamaları Resim 5.4'te gösterilmiştir.



Resim 5.4. Sulama uygulamaları

5.2.6. Bitki ve toprak örneklerinin alınması

Bitki örnekleri ilk tohum ekildiği tarihten itibaren 10 cm boyuna ulaştığında bir makas yardımıyla biçilerek alınmıştır. Gruplar arası ağır metal bulaşıklılığı olmaması için 1:1 oranında saf su ve %37'lik HCl asit içerisinde kullanılan makas 5 dakika bekletilmiştir.

Kullanılan makas her bir gruptaki bitki örneği alınmadan önce belirtilen derişim içerisinde bekletilerek kullanılmıştır. İlk etapta alınan bitki numuneleri etiketleri yazılan kilitli poşetlere doldurulup toplanmıştır. Daha sonra bitki örnekleri 105 ± 5 °C'de etüvde 24 saat kurutulmuştur.

Çim bitkisinin topraktan çıkarak 10 cm boyuna geldiğinde ilk numune kullanılmamış sadece biçim yapılarak bitki köklerinin güçlenmesi sağlanmıştır. Bunun için 30.08.2020 tarihinde alınan ilk bitki numunesinden sonra çim bitkisinin büyüme hızına göre 4 dönem şeklinde bitki örnekleri alınmıştır.

Bitki örneklerinin alınmasına ilişkin uygulamalar Şekil 5.5'te ve bitki örneklerinin alınma tarihleri ise Resim 5.5'te detaylı bir şekilde verilmiştir.



Şekil 5.5. Bitki örneklerinin alındığı dönemler



Resim 5.5. Bitki örneklerinin alınması

Ağır metal uygulanmadan önce alınan toprak ile ağır metal uygulandıktan sonra alınan toprakta ki mevcut ağır metal miktarı arasındaki farkı araştırmak için bitkileri biçme işlemi biten saksılardaki topraklardan üst tabaka, orta tabaka ve alt tabaka olmak üzere 3 katmandan toprak örnekleri alınıp harmanlanarak elek yardımıyla elenmiştir. Elenen toprak karışımları laboratuvar ortamında 105⁰C'de 48 saat kurutulup etiketleri yapıştırılmış kilitli poşetlere doldurulmuştur. Toprak örneklerinin alınma işlemine ilişkin uygulamalar Resim 5.6'da verilmiştir.



Resim 5.6. Toprak örneklerinin alınması

5.2.7. Bitkide ağır metal analizleri

Cd ve Ni ağır metalleri ile kirletilmiş deneme topraklarında ağır metallerin topraktan uzaklaştırılması için fitoremediasyon amaçlı yetiştirilen çim bitkisi toplamda 4 dönem şeklinde biçilmiştir. Biçilen çim bitkileri, önceden hazırlanıp etiketlenmiş poşetlere aktarılmıştır. Çim örneklerinde ağır metal birikimlerinin belirlenmesi için alınan bitki örnekleri 24 saat etüvde 105 ± 5 °C'de kurutulularak hassas terazide 1,0 g olacak şekilde tartılmıştır. Kurutulan bitki örnekleri behere alındıktan sonra üzerine 10 ml %65'lik Nitrik asit (HNO_3) eklenmiş ve ısıtıcı tabla üzerinde yaklaşık 100 °C'de buharlaştırılmıştır. Buharlaştırma işlemi tamamlanan her bir çim numunesinin üzerine 10 ml %65'lik HNO_3 ve 5 ml %35'lik hidrojen peroksit (H_2O_2) ilave edilmiş olup ısıtıcı tabla üzerinde yaklaşık 100°C'de tekrar buharlaştırılmıştır. Buharlaşma işlemi tamamlanan her bir numune ise 0,45 μm süzgeç kâğıdından geçirilerek 25 ml'ye ultra saf su ile tamamlanmıştır. Plastik tüpler içerisine süzülmesi sağlanan numunelerin bitki içerisindeki ağır metallerin çözelti ortamına yıkanması sağlanmıştır. Elde edilen çim bitkisi çözeltisi ICP-MS cihazında ölçülerek ağır metal içerikleri belirlenmiştir [9].

Ayrıca sertifikalı referans madde (SRM) olarak NIST SRM 1570a Ispanak Yaprağı kullanılmış ve aynı yöntemle çözme işlemi uygulanarak yapılan çözme işleminin doğruluğu test edilmiştir. Bitki örneklerinde ağır metal birikimlerinin belirlenmesi için ICP-MS okumaları öncesi laboratuvar ortamında yapılan bazı işlemlere yönelik görseller Resim 5.7'de verilmiştir.



Resim 5.7. Bitki örneklerinde ağır metal analizleri için yapılan ön çözme işlemleri

5.2.8. Toprakta pH ve EC analizleri

Toprakların pH ve elektriksel iletkenlik (EC) değerlerini belirlenmesi amacıyla her bir uygulama grubundan ağır metal uygulaması öncesi ve ağır metal uygulaması ile birlikte denemenin tamamlanması sonucunda 20 gr toprak örnekleri tartılmıştır. Tartılan toprak örneklerine 50 ml saf su eklenerek karıştırılıp toprağın çökmesi beklenmiştir. Çökelen toprak örneklerinin pH ve EC değerleri laboratuvar ortamında 1:2,5 oranında cam elektrotlu, dijital göstergeli pH ve EC metre ile saturasyon ekstraktında ölçümler gerçekleştirilmiştir [54, 55, 56].

5.2.9. Toprakta ağır metal analizleri

Deneme öncesi ağır metal uygulaması yapılmamış topraklardan örnekler alınmış ve toprağın mevcut yapısından kaynaklı ağır metal miktarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Alınan toprak örnekleri içinden 1 g toprak örneği tartılarak kral suyu ile (3 ml HNO₃ + 9 ml HCl asit) çözülmüş 0,45 µm süzgeç kâğıdından geçirilip 25 ml'ye saf su ile tamamlanarak toprak içerisindeki ağır metallerin çözelti ortamına alınması sağlanmıştır. Elde edilen toprak çözeltisi ICP-MS cihazında okutulurak ağır metal uygulanmadan önceki topraktaki ağır metal içerikleri belirlenmiştir [30].

Ayrıca sertifikalı referans madde (SRM) olarak NIM-GBW07309 numaralı toprak örneği kullanılmış ve aynı yöntemle çözme işlemi uygulanarak yapılan çözme işleminin doğruluğu hesaplanmıştır. Laboratuvar ortamında toprak numunelerine yapılan işlemlere ilişkin görsel Resim 5.8’de verilmiştir.



Resim 5.8. Toprak örneklerine uygulanan işlemler

5.2.10. Sulama suyu analizleri

Çalışmada bitkilere içme suyu uygulanmıştır. Kullanılan içme suyunda ICP-MS cihazında ağır metal analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca suyun pH’sı ve EC laboratuvar ortamında EC ve pH metre ölçerler kullanılarak belirlenmiştir. Sulama suyu kalite sınıfının belirlenmesinde sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) değeri ile EC değerinden faydalanılarak sulama suyu sınıfı belirlenmiştir [54, 57].

5.2.11. Sertifikalı referans madde analizleri

Araştırma kapsamında bitki ve toprak örneklerinde yapılan analizlerin doğruluğunun belirlenmesi işlemlerinde hem bitki hem de toprak için SRM analizleri yapılmıştır.

Laboratuvar ortamında SRM için yapılan ağır metal çözme işlemleri sonucunda elde edilen Cd ve Ni miktarlarının ayrı ayrı hem bitki hem de toprak için SRM’nin katalog değeri ile karşılaştırılarak uygulanan yöntemin doğruluğu belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan SRM’nin referans değerleri Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2. Toprak ve bitki için sertifikalı referans madde değerleri

Sertifikalı Toprak Referans Maddesi (Sertifika Kodu: GBW07309)		
Ağır Metal	Değeri	Birimi
Cd²⁺	1,04	ppb
Ni²⁺	128	ppb

Sertifikalı Bitki Referans Maddesi (Sertifika Kodu: NIST 1570a)		
Ağır Metal	Değeri	Birimi
Cd²⁺	2,876	ppb
Ni²⁺	2,142	ppb

5.2.12. İstatistik analizleri

Elde edilen tüm değerlerde güvenilirlik analizleri ile birlikte korelasyon değerleri hesaplanmış olup ayrıca tüm elde edilen değerler %95 ($P < 0,05$) güven seviyesinde varyans analizine tabi tutularak elde edilen ortalama değerlere Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır. Bu amaçla tüm istatistik analizlerin gerçekleştirilebilmesi için SPSS istatistik yazılımından faydalanılmıştır.

BÖLÜM 6

ARAŞTIRMA BULGULARI

6.1. Deneme Toprağının Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Denemede Üniversite kampüs alanında peyzaj alanlarında kullanılan toprak kullanılmıştır. Deneme toprağına bitki kök gelişiminin rahat bir şekilde sağlanabilmesi için torf ve kum eklenmemiş olup denemenin gerçek toprak ve çiftçi koşullarını temsil etmesi amaçlanmıştır. Denemede çim bitkisinin yetiştirilmesi için kullanılan toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 6.1’de detaylı olarak sunulmuştur.

Tablo 6.1. Deneme kullanılan toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Parametre	Birimi	Ölçülen Değer
pH		7,3
EC	(μ mhos/cm)	390
Cd ²⁺	ppb	280,35
Ni ²⁺		2600,38
As ³⁺		165,12
Ba ²⁺		2694,32
Cr ²⁺		569,41
Mn ²⁺		8970,36
Cu ⁺		254,96
Hg ²⁺		0,69
Hacim Ağırlığı		g/cm ³
Tekstür Sınıfı		Killi Tın
Organik Madde		%0,379

Bitki yetiştirme ortamı olarak kullanılan toprağın pH değerinin 7,3 ve nötr değere yakın olduğu EC değerinin ise 390 μ mhos/cm olduğu belirlenmiştir. Toprağın hacim ağırlığı 1,58 g/cm³ olarak tekstür sınıfının killi tın ve toprağın %0,379 düşük bir organik madde içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir. Özellikle araştırma kapsamında kullanılan toprağın ağır metal uygulanmadan önceki toprağın kendi yapısından kaynaklı Ni içeriğinin 2600,38 ppb ve Cd içeriğinin ise 280,35 ppb olduğu görülmüştür.

Ayrıca yapılan analizler sonucunda As değerinin 165,12 ppb, Ba'un 2694,32 ppb, Cr'un 569,41 ppb, Mn'nin 8970,36 ppb, Cu'un 254,96 ppb ve Hg'nin ise 0,69 ppb olduğu belirlenmiştir.

6.2. Sulama Suyunun Kalite Özellikleri

Denemede bitkilerin gelişiminin sağlanabilmesi için içilebilir su kalitesindeki şebeke suyu kullanılmıştır. Sulama yapılmadan önce şebeke suyundan alınan su numunesinde yapılan laboratuvar analizlerinde belirlenen bazı kimyasal özellikler Tablo 6.2'de özetlenerek sunulmuştur.

Tablo 6.2. Uygulanan sulama suyuna ilişkin bazı kimyasal özellikler

pH	EC(μ hos/cm)	Ca ²⁺ (ppb)	Mg ²⁺ (ppb)	Al ³⁺ (ppb)
6,7	390	55,604	18,560	4,23
As ³⁺ (ppb)	Pb ²⁺ (ppb)	Sb ³⁺ (ppb)	Cd ²⁺ (ppb)	Ni ²⁺ (ppb)
21,296	0,103	0,156	0,026	4,238
Na ⁺ (ppb)	K ⁺ (ppb)	Se ²⁺ (ppb)	Cr ²⁺ (ppb)	Mn ²⁺ (ppb)
45,269	4,598	1,023	0,149	0,325

Bitki gelişimi için sulama suyu olarak kullanılan suda yapılan analizler sonucunda suyun pH değerinin 6,7 olarak nötr değerine yakın olduğu bulunmuştur. Suyun Ni içeriğinin 4,238 ppb, Cd'un ise 0,026 ppb olduğu görülmüştür. Ayrıca Pb'nin 0,103 ppb, Sb'nin 0,156 ppb, Na değerinin 45,269 ppb, Ca'un 55,604 ppb ve Mg miktarının ise 18,560 ppb olduğu belirlenmiştir.

EC miktarına bakıldığında ise 390 μ hos/cm olduğu görülmüş bu bağlamda da SAR ve EC değerleri dikkate alındığında sulama amaçlı kullanılan suyun ABD Tuzluluk Laboratuvarının sulama suyu sınıflandırılmasına göre C₂S₁ sınıfına girdiği belirlenmiştir. Sulama suyu bakımından incelendiğinde araştırmada bitki yetiştirilmesi için kullanılan suyun Nevşehir şebeke suyu ve içilebilir özellikte olduğu ve rahatlıkla sulamada kullanılabilmesi görülmüştür. Ancak arsenik (As) miktarı bakımından Dünya Sağlık Örgütü'nün önerdiği içilebilir sulara 10 ppb değerinin üzerinde bulunan şebeke içme suyu, As bakımından 21,296 ppb olarak ölçülmüş olup araştırma kapsamında As ile ilgili herhangi bir uygulama ve değerlendirme yapılmadığından bu değer dikkate alınmamıştır.

6.3. Doğal Arıtımda pH ve EC Değişimleri

Suyun asitlik ve bazlık durumunu gösteren ölçü skalası pH'dır. 0-7 skalası asidikken 7 nötr, 7-14 skalası ise bazik olarak ifade edilmektedir. Suyun veya çözeltinin elektrik akımını iletme kapasitesi ve elektrik akımını geçirmeye karşı göstermiş olduğu direnç elektriksel iletkenlik (EC) olarak ifade edilmektedir. Denemede kullanılan toprağın ağır metal uygulanmadan önce ve ağır metal uygulandıktan sonra, deneme tamamlandıktan sonra ki pH ve EC değerleri analiz edilmiştir.

Araştırmada deneme deseni oluşturulduktan sonra ağır metal uygulaması yapılmadan tüm saksılardan toprak örnekleri alınmış ve toprak örneklerinde pH ve EC ölçümleri yapılmıştır. Ağır metal uygulanmadan önceki Cd 1000 ppm grubundan alınan toprak örneğinde pH 7,2 ve EC 1580 $\mu\text{mhos/cm}$ olarak belirlenmiştir. Ancak Cd 1000 ppm uygulanan saksılarda ağır metal uygulaması ve denemenin tamamlanmasından sonra alınan toprak örneklerinde pH 6,7 ve EC 1070 $\mu\text{mhos/cm}$ olarak ölçülmüştür. Ağır metal uygulanmadan önceki pH ve EC değerleri ile ağır metal uygulandıktan ve deneme tamamlandıktan sonraki pH ve EC değerlerinde bir azalmanın olduğu görülmüştür.

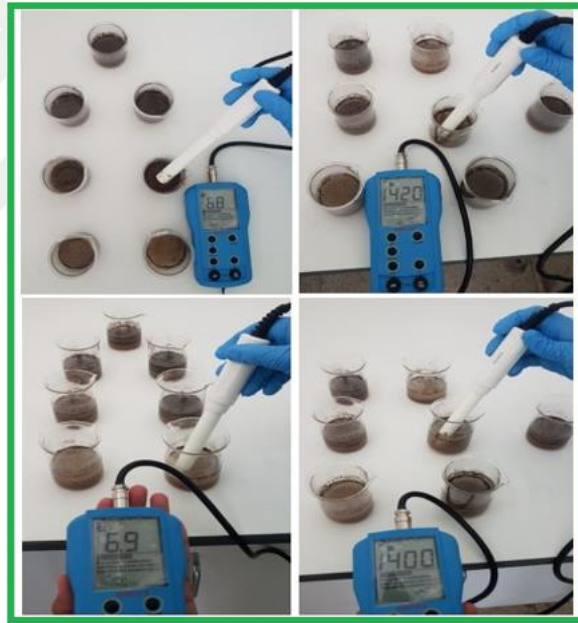
Cd 4000 ppm konusundaki ağır metal uygulama öncesinde saksılardan alınan toprak örneklerinde pH 7,1 ve EC 1560 $\mu\text{mhos/cm}$ bulunmuştur. Deneme tamamlandıktan sonra ise pH 6,1'e düştüğü fakat EC'nin ise 1620 $\mu\text{mhos/cm}$ 'ye yükseldiği gözlemlenmiştir.

Yine Cd 8000 ppm konusunda ağır metal uygulamaları öncesinden bahse konu olan saksıdan alınan toprak örneklerinde pH 7,1 ve EC 1670 $\mu\text{mhos/cm}$ olarak bulunmuşken ağır metal uygulaması yapıldıktan ve deneme tamamlandıktan sonraki pH değeri 6,6'ya ve EC değeri ise 910 $\mu\text{mhos/cm}$ 'e gerilemiştir.

Ni 1000 ppm konusundaki saksılarda ağır metal uygulamaları öncesinde alınan toprak örneklerinde pH 7,2 ve EC 1290 $\mu\text{mhos/cm}$ iken ağır metal uygulandıktan ve deneme tamamlandıktan sonra alınan toprak örneklerinde pH 6,8'e ve EC ise 890 $\mu\text{mhos/cm}$ 'a düşmüştür. Bu değerler Ni 4000 ppm konusunda için ağır metal uygulama öncesinde pH 7,3 ve EC'si 1600 $\mu\text{mhos/cm}$ olarak tespit edilmişken ağır metal uygulamaları sonrasında pH 6,4 ve EC 1120 $\mu\text{mhos/cm}$ 'e olarak azalan bir eğilim göstermiştir.

Ni 8000 ppm konusunda ağır metal uygulaması öncesinde alınan toprak örneklerinde pH 7,2 ve EC 990 $\mu\text{mhos/cm}$ olarak bulunmuşken ağır metal uygulamaları sonucunda ve deneme tamamlandıktan sonra alınan toprak örneklerinde pH 7,0'a EC ise 640 $\mu\text{mhos/cm}$ 'ye düşmüştür. İncelenen sonuçlarda ağır metal tuzlarının uygulanmış olduğu saksılar sulandıkça saksıya uygulanan $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ tuzundaki Cd toprağın bir tarafında nitrat bir tarafında ortamda iyonik halde kalır. Bileşiklerin içerisindeki NO_3 ise pH'ın düşmesine sebep olmaktadır.

Saksılara uygulanan diğer bir ağır metal ise $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ tuzu ve uygulanmış olduğu saksılar sulandıkça saksıya uygulanan nitratta nitrik asit oluşmaktadır. Bileşiğin oluşturduğu nitrik asit ise pH'nın düşmesine sebep olmaktadır. Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen pH ve EC ölçümlerine ilişkin görseller Resim 6.1'de verilmiştir.

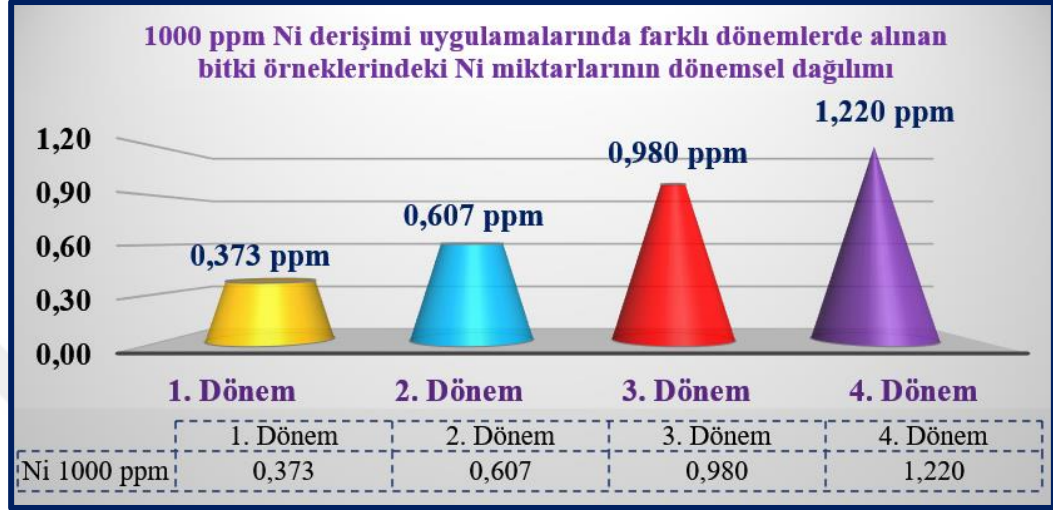


Resim 6.1. Toprak örneklerinde pH ve EC ölçümleri

6.4. Bitkide Ölçülen Ni Miktarları

Çim bitkisinin ekilmesi işleminden sonra bitkinin 10 cm'ye ulaştığında alınan bitki örneklerinde saptanan Ni elementi miktarlarının dağılımları aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.

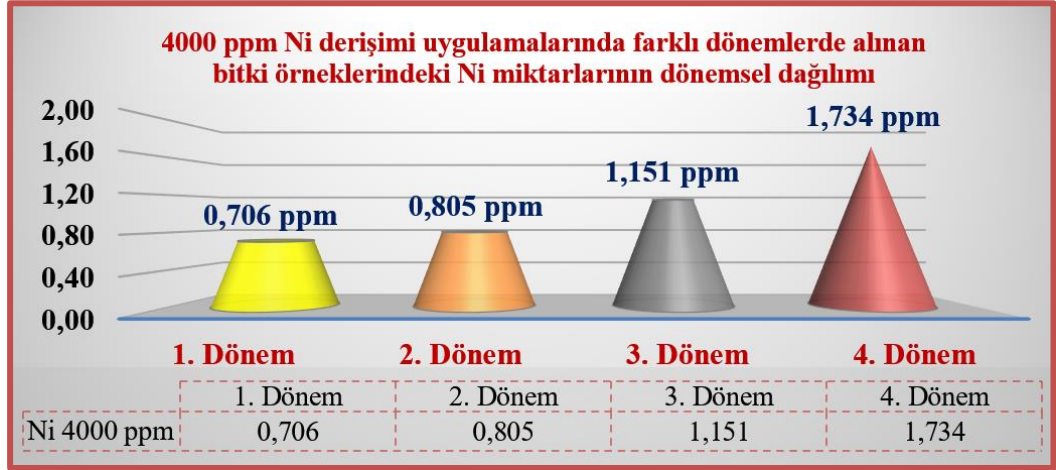
1000 ppm Ni derişimi uygulanan her bir saksıdan 10'ar günlük aralıklarla dört farklı dönemde bitki örnekleri alınmıştır. 1000 ppm Ni derişimi uygulanan saksılardan alınan örneklerde saptanan Ni miktarlarının dağılımı Şekil 6.1'de verilmiştir.



Şekil 6.1. 1000 ppm Ni derişimi uygulamalarında farklı dönemlerde alınan bitki örneklerindeki Ni miktarlarının dönemsel dağılımı

1000 ppm Ni derişimi ile kirletilen saksılardan dört farklı dönemde gerçekleştirilen biçme işleminde elde edilen çim bitkisi örneklerine bakıldığında, 1. dönemde 0,373 ppm Ni birikimi tespit edilmiştir. Bu değer 2. dönemde artış göstererek 0,607 ppm olarak kaydedilmiştir. 3. dönemde ise 0,980 ppm Ni tespit edilmiş olup 4. dönemde ise bu değer 1,220 ppm'e yükselmiştir. 40 günlük bir periyotta çim bitkisinin kökleri tarafından topraktan alınan toplam Ni miktarı 3,180 ppm olmuştur.

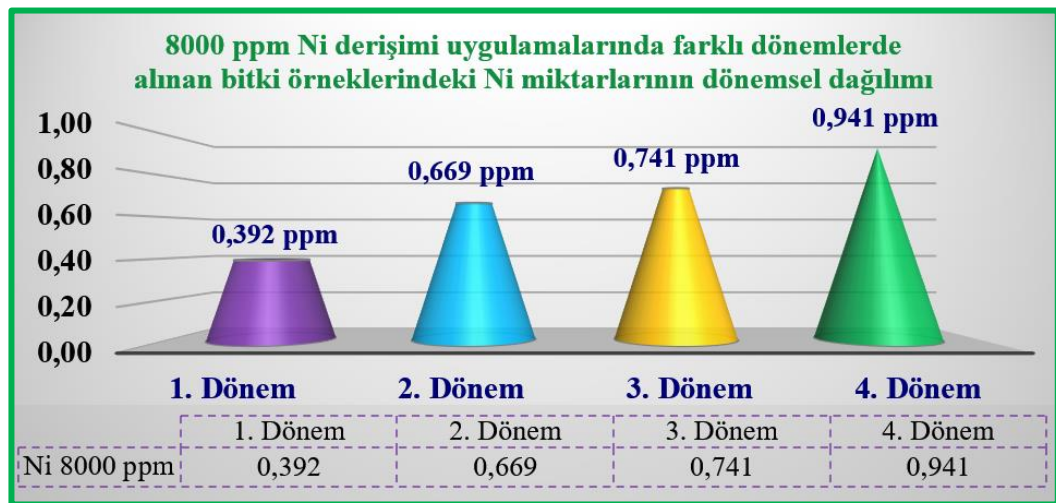
4000 ppm Ni derişimi uygulanan her bir saksıdan alınan çim bitkisinin dört farklı döneminde topraktan alınan ağır metal miktarlarının dönemsel dağılımı Şekil 6.2'de sunulan grafik üzerinde detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.2. 4000 ppm Ni derişimi uygulamalarında farklı dönemlerde alınan bitki örneklerindeki Ni miktarlarının dönemsel dağılımı

4000 ppm Ni derişimi uygulanan saksılarda dört dönemde alınan çim bitkisi örneklerine bakıldığında; çim bitkisinin kökleri yardımıyla 1. dönemde 0,706 ppm, 2. dönemde 0,805 ppm, 3. dönemde 1,151 ppm ve 4. dönemde ise 1,734 ppm Ni miktarı topraktan absorbe edilmiştir. 4000 ppm Ni derişimi uygulanan saksılarda çim bitkisi tarafından topraktan alınan Ni miktarları dönemsel olarak bir artış eğilimi göstermiş ve toplamda topraktan 4,396 ppm Ni uzaklaştırılmıştır.

8000 ppm Ni derişimi uygulanan her bir saksıdan dört farklı dönemde örnekler alınmıştır. Alınan çim bitkisi örneklerinde dönemsel olarak topraktan alınan Ni miktarlarının dağılım grafiği Şekil 6.3’de verilmiştir.

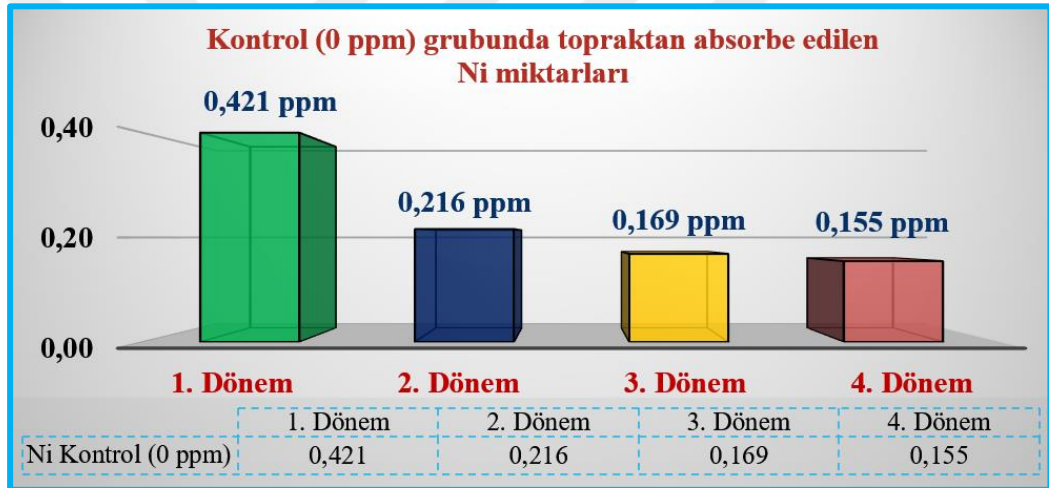


Şekil 6.3. 8000 ppm Ni derişimi uygulamalarında farklı dönemlerde alınan bitki örneklerindeki Ni miktarlarının dönemsel dağılımı

8000 ppm Ni derişimi uygulanan saksılardan alınan bitki örneklerinde Ni miktarı 1. dönemde 0,392 ppm'dir. Bu değer 2. dönemde 0,669 ppm'e 3. dönemde 0,741 ppm'e ve 4. dönemde ise 0,941 ppm'e yükselmiştir.

Çim bitkisinin tüm deneme boyunca 8000 ppm Ni uygulanan saksılardan topraktan aldığı toplam Ni miktarı 2,744 ppm olmuştur.

Ni derişimi uygulanmamış sadece toprağın kendi yapısından gelen kontrol grubu saksılarından dört dönem boyunca çim bitkisi örnekleri alınmıştır. Ni derişimlerinin tüm dönemler ve uygulanan derimler doğrultusunda topraktan alınan toplam Ni miktarlarının dağılımı Şekil 6.4'de sunulan grafik üzerinde detaylı olarak gösterilmiştir.



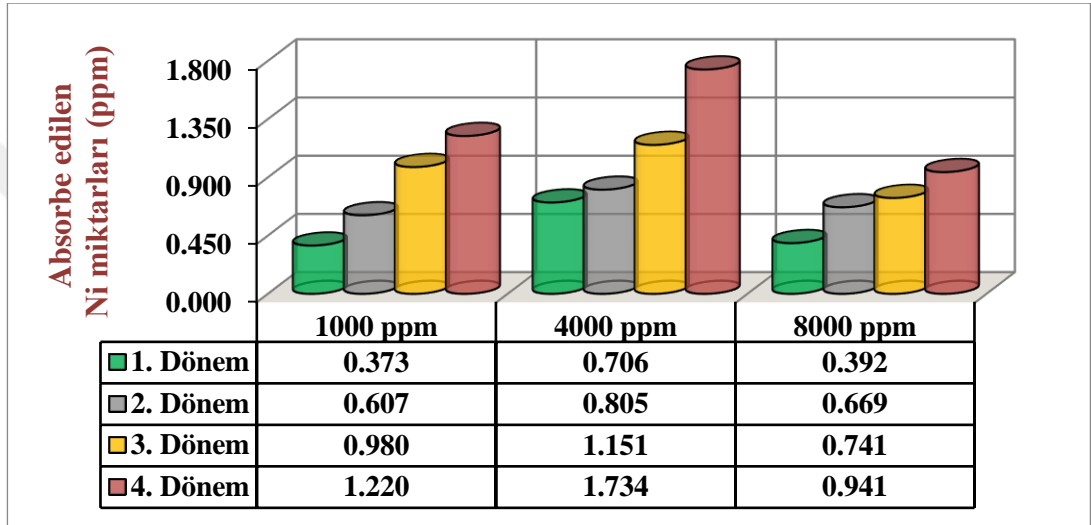
Şekil 6.4. Kontrol (0 ppm) grubunda topraktan absorbe edilen Ni miktarlarının dönemsel dağılımı

Kontrol grubunda Ni derişimleri hiç uygulanmayan kontrol grubunda toprağın kendi yapısından kaynaklı Ni miktarı mevcuttur. Bu bağlamda bitki kökleri yardımıyla topraktan Ni alımları olmuştur. Ni elementi uygulanmayan saksılardan alınan bitki örneklerinde 1. dönemde 0,421 ppm, 2. dönemde 0,216 ppm Ni absorbe edilmiştir.

Kontrol grubunda topraktan absorbe edilen Ni miktarı 3. dönemde 0,169 ppm olurken 4. dönemde ise 0,155 ppm alınmıştır. Kontrol grubu grafiklerine bakıldığında farklı derişimlerde uygulanan Ni derişimlerinin aksine kontrol grubunda giderek azalan bir eğilim söz konusu olmuştur.

Deneme kapsamında toprağa farklı Ni derişimleri uygulanmıştır. Uygulanan derişimlerde dört dönem boyunca alınan çim bitkisi örneklerinde topraktan bitki kökleri yardımıyla Ni miktarları absorbe edilmiştir.

Uygulanan farklı Ni derişimlerine bağı olarak farklı dönemlerde alınan çim bitkisi örneklerinde ki Ni miktarlarının dağılımı karşılaştırmalı olarak Şekil 6.5’de verilen grafik üzerinde detaylı olarak sunulmuştur.



Şekil 6.5. Uygulanan farklı Ni derişimlerinde tüm biçim dönemleri için çim bitkisi tarafından alınan Ni miktarları

Ni’in 1000 ppm uygulanan derişimlerinde çim bitkisi tarafından alınan toplam Ni miktarında giderek artan bir eğilim gözlemlenmiştir. Uygulanan bu derişimin 1. dönemi (0,373 ppm) ile 4. dönemi (1,220 ppm) arasında çim bitkisi tarafından topraktan alınan Ni miktarlarında %327 oranında bir artış söz konusu olmuştur.

4000 ppm Ni uygulamalarında çim bitkisi tarafından topraktan absorbe edilen Ni miktarında dönemsel olarak artan bir eğilim söz konusu olmuştur. Bu derişimin 1. döneminde alınan bitki örnekleri ile 4. döneminde alınan bitki örneklerindeki Ni miktarları arasında %245 oranında bir artış tespit edilerek topraktan alınan toplam Ni miktarının 0,706 ppm’den 1,734 ppm’e kadar yükseldiği görülmüştür.

Ni’in 8000 ppm uygulanan derişimlerinde ki konularında çim bitkisi tarafından topraktan alınan Ni miktarında da dönemsel olarak artan bir eğilim söz konusudur.

Bahse konu olan Ni derişimi uygulamasında çim bitkisi tarafından topraktan alınan Ni miktarı 1. dönemde 0,392 ppm tespit edilmiş olup bu miktar 2. dönemde, 1. döneme kıyasla %170 oranında bir artış kaydedilerek 0,669 ppm'e yükselmiştir. 3. dönemde ise 2. döneme kıyasla %110 oranında bir artış gözlemlenerek bu miktar 0,741 ppm'e yükselmiştir. Çim bitkisinin son örneklem dönemi olan 4. dönemde ise topraktan alınan Ni miktarı 1. döneme kıyasla %240 oranında artmış ve 0,941 ppm'e yükselmiştir.

Uygulanan farklı Ni derişimleri ile çim bitkisinin kökleri yardımıyla farklı örneklem dönemlerinde topraktan absorbe edilen Ni miktarlarının karşılaştırmalı grafiği dönemsel kıyaslanmanın uygulanan derişimleri ile karşılaştırmalı olarak yapılması açısından verilmiştir. Bu sonuçlar ışığında toprakta ki Ni miktarının artması ile birlikte çim bitkisi tarafından topraktan alınan Ni miktarları arasında artan bir eğilimin söz konusu olduğu sonucuna varılmıştır.

Farklı nikel (Ni) derişimleri uygulanan konulardan alınan bitki örneklerinde biriken Ni miktarları arasındaki istatistiksel fark Tablo 6.4'de verilmiştir.

Tablo 6.4. Uygulanan farklı Ni derişimlerinin dönemler arasındaki değişimleri

Toprağa Uygulanan Ni Derişimleri	Bitki Örneklem Dönemleri			
	1. dönem	2. dönem	3. dönem	4. dönem
1000 ppm	0,373 ± 0.04d	0,607 ± 0.04c	0,980 ± 0.01b	1,220 ± 0.03a
4000 ppm	0,706 ± 0.01d	0,805 ± 0.02c	1,151 ± 0.04b	1,734 ± 0.03a
8000 ppm	0,392 ± 0.01d	0,669 ± 0.01c	0,741 ± 0.01b	0,941 ± 0.01a

Aynı satırdaki harfler dönemler arası istatistiksel farkı göstermektedir (p<0.05)

Nikel uygulamasında tüm grupların bitki örneklem dönemleri arasında istatistiksel olarak önemli derecede (p<0.05) farklılıklar bulunmuştur. Farklı Ni derişimleri uygulanan diğer gruplar arasında dönemler boyunca istatistiksel fark olduğu gözlenmiştir.

Farklı örneklem dönemlerindeki Ni birikimlerinin uygulanan derişimler arasındaki ilişkisini gösteren istatistiki analiz sonuçları Tablo 6.5'de verilmiştir.

Tablo 6.5. Bitkide dönemsel olarak Ni ölçümlerinin uygulanan derişimler arası ilişkisi

Bitki Örnekleme Dönemleri	Toprağa Uygulanan Ni Derişimleri		
	1000 ppm	4000 ppm	8000 ppm
1. Dönem	0,373 ± 0.04d	0,706 ± 0.01d	0,392 ± 0.01d
2. Dönem	0,607 ± 0.04c	0,805 ± 0.02c	0,669 ± 0.01c
3. Dönem	0,980 ± 0.01b	1,151 ± 0.04b	0,741 ± 0.01b
4. Dönem	1,220 ± 0.03a	1,734 ± 0.03a	0,941 ± 0.01a

Aynı satırdaki harfler gruplar arası istatistiksel farkı göstermektedir (p<0.05)

Çim bitkisinin farklı dönemlerde alınan örneklerinde Ni birikim miktarlarının uygulanan Ni derişimlerine bağlı olarak gruplar arası istatistiksel farklılıklar (p<0.05) belirlenmiştir. Tüm örneklem dönemlerine bakıldığında 1000, 4000 ve 8000 ppm Ni uygulama grupları arasında önemli farklılıklar gözlenmemiştir.

Farklı bitki örneklem dönemleri arasında Ni miktarlarının dönemsel arası korelasyon dağılımı Tablo 6.6’da özetlenerek verilmiştir.

Tablo 6.6. Bitkide Ni ölçümlerinin örneklem dönemleri arası korelasyonu

Bitki Örnekleme Dönemleri	1. Dönem	2. Dönem	3. Dönem	4. Dönem
1. Dönem	1	0,518	0,504	0,638
2. Dönem	0,518	1	0,946	0,948
3. Dönem	0,504	0,946	1	0,986
4. Dönem	0,638	0,948	0,986	1

Örneklem dönemleri arasındaki dönemler arası korelasyona bakıldığında 2. dönemde alınan bitki örneklerindeki Ni miktarları ile 3. örneklem dönemindeki ölçülen Ni miktarı arasında %94,6 ve 3. örneklem dönemindeki Ni birikim miktarı arasında ise %94,8 ilişki bulunmuştur.

Yine 3. örneklem dönemi ile 2. örneklem dönemi arasındaki Ni birikim miktarları arasında %94,6 bağıntı olduğu tespit edilmiştir. 4. bitki örneklem döneminde biriken Ni miktarları ile 2. dönemde biriken Ni miktarı arasında %94,8 ve 3. örneklem dönemi arasında ise %98,6 olarak kuvvetli bir ilişki bulunmaktadır. Farklı Ni uygulamaları arasındaki konulardan alınan bitki örneklerinde biriken Ni miktarları arasındaki korelasyon ilişkisi ise Tablo 6.7’de özetlenerek sunulmuştur.

Tablo 6.7. Bitkide Ni ölçümlerinin uygulanan derişimler arası korelasyonu

Ni Uygulama Derişimleri	1000 ppm	4000 ppm	8000 ppm
1000 ppm	1	0,951	0,955
4000 ppm	0,951	1	0,902
8000 ppm	0,955	0,902	1

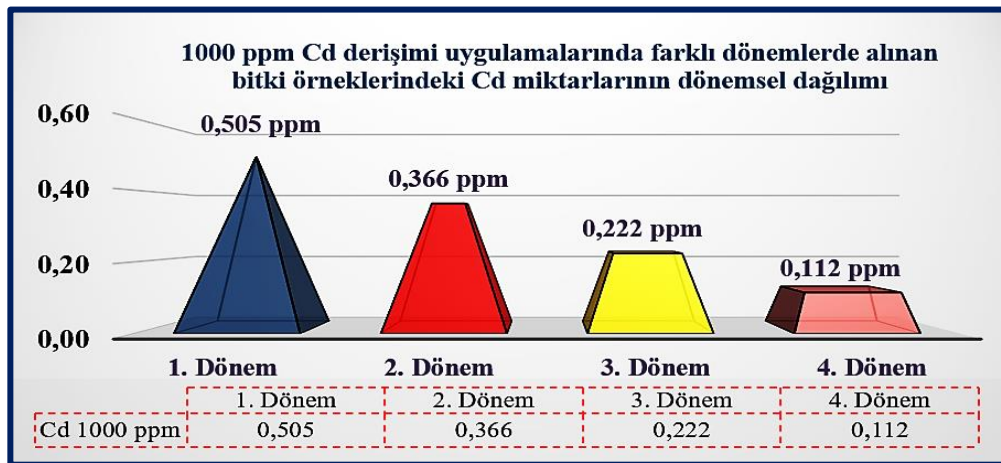
Uygulanan farklı Ni derişimleri arasında özellikle 1000 ppm ile 8000 ppm Ni derişimleri uygulamalarından alınan bitki örneklerindeki Ni birikimleri arasında %95,5 ilişki olduğu tespit edilmiştir.

4000 ppm ile 1000 ppm arasında %95,1 ve 8000 ppm ile 4000 ppm uygulamaları arasında %95,5 gibi kuvvetli bir ilişki bulunmuştur. Bununla beraber 8000 ppm ve 4000 ppm Ni uygulamalarındaki gruplardan alınan bitki örneklerindeki Ni birikimleri arasında ise %90,2 şeklinde kuvvetli bir ilişki bulunmuştur.

6.5. Bitkide Ölçülen Cd Miktarları

Çim bitkisinin ekilmesi işleminden sonra bitki boyu 10 cm'ye ulaştığında alınan bitki örneklerinde saptanan Cd elementi miktarlarının dağılımları aşağıdaki grafiklerde detaylı bir şekilde verilmiştir.

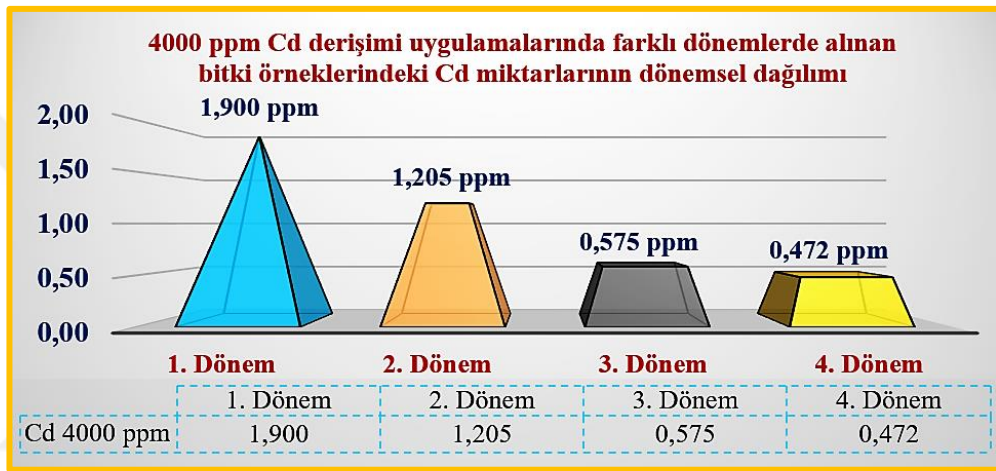
1000 ppm Cd derişimi uygulanan saksılardan dört farklı dönemde örnekler alınmıştır. Alınan çim bitkisi örneklerinde dönemsel olarak topraktan alınan Cd miktarlarının dağılım grafiği Şekil 6.6'da verilmiştir



Şekil 6.6. 1000 ppm Cd derişimi uygulamalarında farklı dönemlerde alınan bitki örneklerindeki Cd miktarlarının dönemsel dağılımı

1000 ppm Cd derişimi uygulanan saksılardan alınan bitki örneklerinde Cd miktarı 1. dönemde 0,505 ppm'dir. Bu değer 2. dönemde 0,366 ppm, 3. dönemde 0,222 ppm ve 4. dönemde ise 0,112 ppm'e düşmüştür. Çim bitkisinin tüm deneme boyunca topraktan aldığı toplam Cd miktarı 1,205 ppm olmuştur.

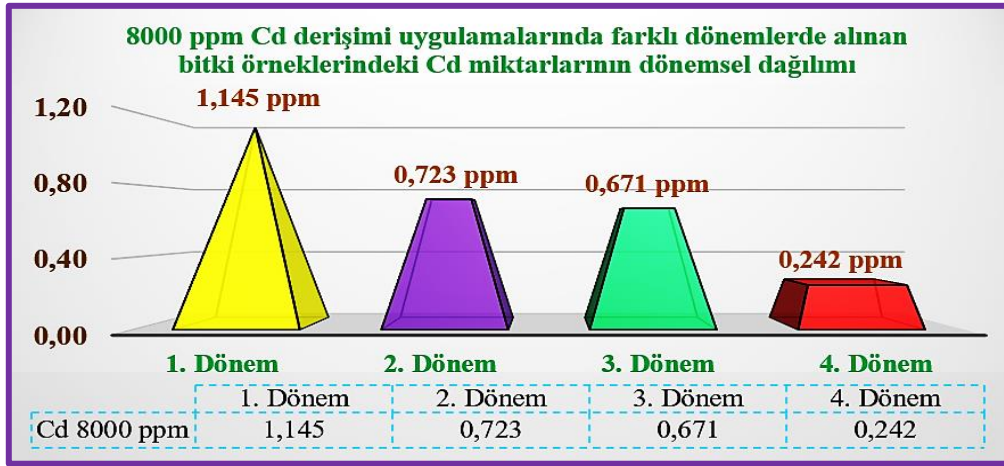
4000 ppm Cd derişimi uygulanan saksılardan 10'ar günlük aralıklarla dört farklı dönemde örnekler alınmıştır. 4000 ppm Cd derişimi uygulanan saksılardan alınan örneklerde saptanan Cd miktarlarının dağılım grafiği Şekil 6.7'de verilmiştir.



Şekil 6.7. 4000 ppm Cd derişimi uygulamalarında farklı dönemlerde alınan bitki örneklerindeki Cd miktarlarının dönemsel dağılımı

4000 ppm Cd derişimi ile kirletilen saksılardan dört farklı dönemde gerçekleştirilen biçme işleminde elde edilen sonuçlara bakıldığında, 1. dönemde 1,900 ppm Cd tespit edilmiştir. Bu değer 2. dönemde azalarak 1,205 ppm olarak kaydedilmiştir. 3. dönemde ise 0,575 ppm Cd tespit edilmiş olup 4. dönemde de 0,472 ppm olarak kaydedilmiştir. Saptanan sonuçlar neticesinde dönemler giderek azalmaktadır. Dört dönemlik zaman diliminde çim bitkisi tarafından topraktan alınan toplam Cd miktarı 4,152 ppm olmuştur.

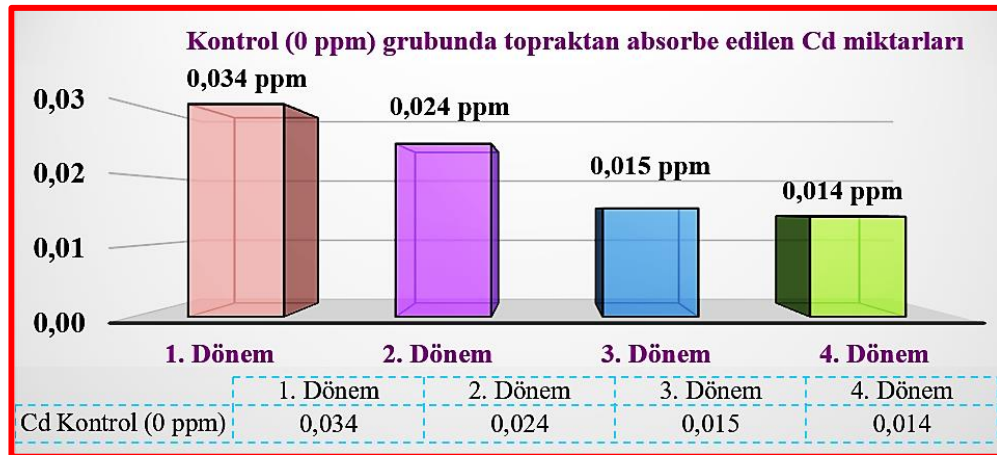
8000 ppm Cd derişimi uygulanan saksılardan alınan çim bitkisinin dört farklı döneminde topraktan alınan ağır metal miktarlarının dönemsel dağılımı Şekil 6.8'de detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 6.8. 8000 ppm Cd derişimi uygulamalarında farklı dönemlerde alınan bitki örneklerindeki Cd miktarlarının dönemsel dağılımı

8000 ppm Cd derişimi uygulanan saksılardan alınan çim bitkisi örneklerine bakıldığında, çim bitkisinin kökleri yardımıyla 1. dönemde 1,145 ppm, 2. dönemde 0,723 ppm, 3. dönemde 0,671 ppm ve 4. dönemde ise 0,242 ppm Cd miktarı topraktan absorbe edilmiştir. Tüm deneme sürecinde toplam 2,782 ppm olarak kaydedilen Cd miktarı dönemsel olarak azalış eğilimi göstermiştir.

Cd derişimi uygulanmamış sadece toprağın kendi yapısından gelen kontrol grubu saksılarından dört dönem boyunca çim bitkisi örnekleri alınmıştır. Cd derişimlerinin tüm dönemler ve Cd derişimi uygulanmayan saksılardan alınan örneklerde saptanan toplam Cd miktarlarının dağılım grafiği Şekil 6.9’da verilmiştir.



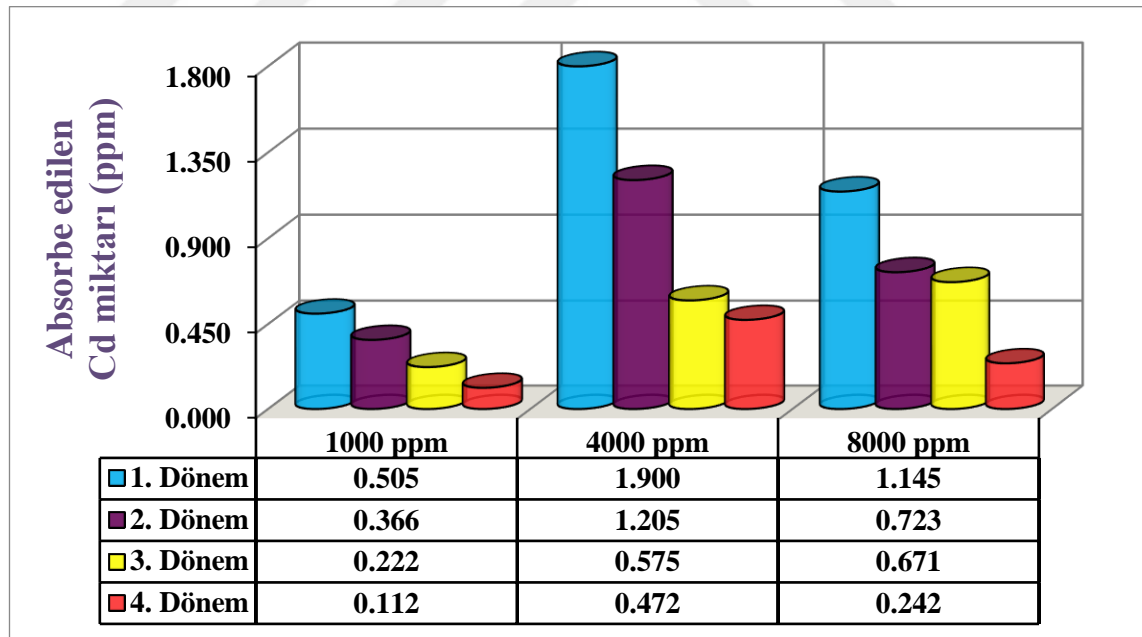
Şekil 6.9. Kontrol (0 ppm) grubunda topraktan absorbe edilen Cd miktarlarının dönemsel dağılımı

Cd derişimleri hiç uygulanmayan kontrol grubunda toprağın kendi yapısından kaynaklanan Cd miktarları mevcuttur. Bu bağlamda çim bitkisinin kökleri yardımıyla topraktan aldığı Cd miktarları kaydedilmiştir. Bu değerler 1. dönemde 0,034 ppm olarak kaydedilirken 2. dönemde 0,024 ppm olarak tespit edilmiştir.

3. dönemde ise 0,015 ppm ve 4. dönemde 0,014 ppm absorbe edilmiştir. Kontrol grubu grafiklerine bakıldığında farklı derişimlerde uygulanan Cd miktarları gibi kontrol grubunda da giderek azalan bir eğilim söz konusudur.

Deneme kapsamında toprağa farklı Cd derişimleri uygulanmıştır. Uygulanan derişimlerde çim bitkisinin kökleri yardımıyla topraktan aldığı Cd miktarlarının ne kadar absorbe edildiği gözlemlenmiştir.

Çim bitkisinin biçimlerinin gerçekleştirildiği ve bitki materyallerinin toplandığı dönemlerin ve derişimlerin tümündeki bitki vejetatif aksamındaki biriken Cd miktarlarını grafik Şekil 6.10'da verilmiştir.



Şekil 6.10. Uygulanan farklı Cd derişimlerinde tüm biçim dönemleri çim bitkisi tarafından alınan Cd miktarları

1000 ppm Cd derişimi uygulamalarında çim bitkisi tarafından 1. dönemde 0,505 ppm, 2. dönemde 0,366 ppm, 3. dönemde 0,222 ppm ve 4. dönemde 0,112 ppm topraktan Cd miktarı alınmıştır.

4000 ppm Cd derişimi uygulamalarında ise 1. dönemde 1,900 ppm Cd topraktan absorbe edilirken bu oran 4. dönem sonunda yaklaşık % 25'lik bir azalma göstererek 0,472 ppm'e gerilemiştir. 8000 ppm Ni derişimi uygulamalarında ise çim bitkisi tarafından topraktan alınan Cd miktarlarında da dönemsel olarak azalan bir eğilim söz konusu olmuş ve 1. dönemde absorbe edilen miktar ile 4. dönem absorbe edilen miktar arasında 0,903 ppm'lik bir fark oluşarak 4. dönemde 0,242 ppm'e gerilemiştir.

Sonuç olarak çim bitkisi tarafından Ni'in topraktan alınmasına kıyasla Cd elementinin artan derişimlerde çim bitkisinin kökleri tarafından topraktan alınması giderek azalan bir eğilim oluşturmuştur. Bu durumda topraktaki Cd derişimleri arttıkça çim bitkisinin dönemsel olarak Cd'u topraktan absorbe gücü azalmıştır. Burada çim bitkisinin Cd'u topraktan absorbe etme durumu sürekli olarak devam ederken Cd'a karşı topraktan absorbe etme gücü bitki fizyolojisi ve Cd'a karşı gösterdiği hassasiyete bağlı olarak zamanla azalış göstermiştir.

Farklı kadmiyum (Cd) derişimleri uygulanan konulardan alınan bitki örneklerinde biriken Cd miktarları arasındaki istatistiksel fark Tablo 6.8'de verilmiştir.

Tablo 6.8. Uygulanan farklı Cd derişimlerinin dönemler arasındaki değişimleri

Toprağa Uygulanan Cd Derişimleri	Bitki Hasat Dönemleri			
	1. Dönem	2. Dönem	3. Dönem	4. Dönem
1000 ppm	0,505 ± 0.01a	0,366 ± 0.01b	0,222 ± 0.02c	0,112 ± 0.02d
4000 ppm	1,900 ± 0.03a	1,205 ± 0.04b	0,575 ± 0.02c	0,472 ± 0.01d
8000 ppm	1,145 ± 0.01a	0,723 ± 0.01b	0,671 ± 0.04c	0,242 ± 0.02d

Aynı satırdaki harfler dönemler arası istatistiksel farkı göstermektedir (p<0.05)

Kadmiyum uygulamasında tüm grupların bitki örneklem dönemleri arasında istatistiksel olarak önemli derecede (p<0.05) farklılıklar bulunmuştur.

Farklı örneklem dönemlerindeki Cd birikimlerinin uygulanan derişimler arasındaki ilişkisini gösteren istatistiki analiz sonuçları Tablo 6.9'da verilmiştir.

Tablo 6.9. Bitkide dönemsel olarak Cd ölçümlerinin uygulanan derişimler arası ilişkisi

Bitki Örneklem Dönemleri	Toprağa Uygulanan Cd Miktarları		
	1000 ppm	4000 ppm	8000 ppm
1. Dönem	0,505 ± 0.01c	1,900 ± 0.03a	1,145 ± 0.01b
2. Dönem	0,366 ± 0.01c	1,205 ± 0.04a	0,723 ± 0.01b
3. Dönem	0,222 ± 0.02c	0,575 ± 0.02b	0,671 ± 0.04a
4. Dönem	0,112 ± 0.02c	0,472 ± 0.01a	0,242 ± 0.02b

Aynı satırdaki harfler gruplar arası istatistiksel farkı göstermektedir (p<0.05)

Çim bitkisinin farklı dönemlerde alınan örneklerinde Cd birikim miktarlarının uygulanan Cd derişimlerine bağı olarak gruplar arası istatistiksel farklılıklar (p<0.05) belirlenmiştir. Tüm örneklem dönemlerinde 1000, 4000 ve 8000 ppm Cd uygulama grupları arasında önemli farklılıklar gözlenmemiştir.

Farklı bitki örneklem dönemleri arasında Cd miktarlarının dönemsel arası korelasyon dağılımı Tablo 6.10’da özetlenerek verilmiştir.

Tablo 6.10. Bitkide Cd ölçümlerinin örneklem dönemleri arası korelasyonu

Bitki Örneklem Dönemleri	1.Dönem	2.Dönem	3.Dönem	4.Dönem
1.Dönem	1	0,999	0,868	0,994
2.Dönem	0,999	1	0,863	0,993
3.Dönem	0,868	0,863	1	0,811
4.Dönem	0,994	0,993	0,811	1

Örneklem dönemleri arasındaki dönemler arası korelasyona bakıldığında 1. dönemde alınan bitki örneklerindeki Cd miktarları ile 2. ve 4. örneklem döneminde ölçülen Cd miktarı arasında %99 gibi kuvvetli bir ilişki tespit edilmiştir. Yine 2. örneklem dönemi ile 1. ve 4. örneklem dönemleri arasındaki Cd birikim miktarları arasında %99 bağıntı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca 4. Bitki örneklem döneminde biriken Cd miktarları ile 1. ve 2. Örneklem dönemlerinde çim bitkisinde biriken Cd miktarları arasında %99 düzeyinde anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir.

Farklı Cd uygulamaları arasındaki konulardan alınan bitki örneklerinde biriken Cd miktarları arasındaki korelasyon ilişkisi ise Tablo 6.11’de özetlenerek sunulmuştur.

Tablo 6.11. Bitkide Cd ölçümlerinin uygulanan derişimler arası korelasyonu

Cd Uygulama Derişimleri	1000 ppm	4000 ppm	8000 ppm
1000 ppm	1	0,975	0,956
4000 ppm	0,975	1	0,903
8000 ppm	0,956	0,903	1

Uygulanan farklı Cd derişimleri arasında özellikle 1000 ppm ile 4000 ppm Cd derişimleri uygulamalarından alınan bitki örneklerindeki Cd birikimleri arasında %97,5 ilişki olduğu tespit edilmiş, 8000 ppm uygulaması ile %95,6 ilişki belirlenmiştir.

4000 ppm Cd uygulaması ile 1000 ve 8000 ppm uygulaması yapılan gruplardan alınan bitki örneklerindeki Cd miktarları arasında ise %90'ın üzerinde anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir.

8000 ppm Cd uygulamasının ise 1000 ppm uygulanan gruplardan alınan bitki örneklerindeki Cd miktarları arasında %95,6 ve 4000 ppm uygulaması arasında ise %90,3 bir ilişki belirlenmiştir.

6.6. Uygulanan Analiz Yöntemlerinin Doğruluğunun Belirlenmesi

Araştırma kapsamında bitki ve toprak örneklerinde yapılan analizlerin doğruluğunun belirlenmesi işlemlerinde hem bitki hem de toprak için SRM analizleri yapılmıştır.

Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen analizler SRM için yapılan ağır metal çözme işlemleri sonucunda elde edilen Cd ve Ni miktarlarının ayrı ayrı hem bitki hem de toprak için SRM'nin katalog değeri ile karşılaştırılarak uygulanan yöntemin doğruluğu belirlenmiştir.

Sertifikalı referans maddenin katalog değeri ile karşılaştırılarak uygulanan yöntemin hesaplanan değerlerinde % bağıl hatalar ve geri kazanımlara bakılmıştır. Yapılan tüm işlemlere ilişkin hesaplanan sonuçlar Tablo 6.12'de verilmiştir.

Tablo 6.12. Uygulanan ağır metal çözme yönteminin doğruluğunun belirlenmesi ve geri kazanım değerleri (%)

Sertifikalı Standart Madde (SRM): CRM GBW07309 Sediment, Toprak				
Ağır Metaller	SRM'nin Analiz Sonucu Bulunan Değeri (ppb)	SRM'nin Katalog Değeri (ppb)	Bağlı Hata (%)	Geri Kazanım (%)
Cd²⁺	1,094 ± 0,087	1,04	5,20	95,05
Ni²⁺	132,375 ± 5,679	128	3,42	96,70
Sertifikalı Standart Madde (SRM): NIST SRM 1570a Ispanak Yaprağı				
Ağır Metaller	SRM'nin Analiz Sonucu Bulunan Değeri (ppb)	SRM'nin Katalog Değeri (ppb)	% Bağlı Hata	Geri Kazanım (%)
Cd²⁺	2,949 ± 0,331	2,876	% 3,82	98,05
Ni²⁺	2,235 ± 0,2476	2,142	% 4,35	95,83

Bitki ve toprakta yapılan çözme işleminin doğruluğunun sonuçlarına bakıldığında toprak için geri kazanımlar genel olarak %95'in üzerinde olduğu en yüksek geri kazanım değerinin ise Ni'de % 96,70 olarak belirlendiği görülmüştür.

Bitki için yapılan çözme yönteminin doğruluğuna bakıldığında Cd'da % 98,05 oranında bir geri kazanımın olduğu, Ni'de ise % 95,83 oranında bir geri kazanımın sağlandığı hesaplanmıştır. Sonuçlara bakıldığında toprak ve bitki için yapılan geri kazanımların ve uygulanan yöntemin ortalama olarak %96 seviyesinin üzerinde ve yöntemin doğruluğunun güvenilir seviyede olduğu sonucuna varılmıştır.

BÖLÜM 7

TARTIŞMA, SONUÇ ve ÖNERİLER

Ağır metaller insan kaynaklı ve doğal olarak atmosfere yayılabilmektedir. Ağır metallerin en önemlisi insanlar tarafından kaynaklanan ağır metallerdir. Bunların başlıca sebebi, insanlar tarafından atmosfere ağır metal salınımının doğal salınıma oranla çok daha yüksek oranda olmasıdır [58]. Doğaya salınan ağır metaller topraklarda birikerek kirlilik oluşturmaktadırlar. Bu kirliliği gidermek için fitoremediasyon yöntemi kullanılmaktadır. Fitoremediasyon yöntemi, ağır metallerle kirlenmiş toprak ve su kaynaklarının iyileştirilmesi amacıyla kullanılan ve son zamanlarda oldukça tercih edilen bir yöntemdir [59].

Çim bitkisi ile topraktan ağır metal giderimine yönelik yapılan bu çalışmada, elde edilen veriler özellikle Ni ve Cd'ca kirlenmiş tarım topraklarının fitoremediasyon yöntemleri kullanılarak çim bitkisi yardımıyla doğal arıtımının sağlanılmasında ki performansın boyutları ortaya konulmuştur. Kullanılan bu yöntemin hiçbir şelatör desteği olmaksızın çim bitkisinin kökleri yardımıyla topraktaki Ni ve Cd ağır metallerini uzaklaştırmada başarılı olacağı sonucuna varılmıştır.

Yonca bitkisi kökleri yardımıyla topraktan ağır metal giderimine yönelik gerçekleştirilen diğer bir çalışmada; farklı derişimlerdeki Ni, Cd, Sb ve Pb miktarlarının topraktan uzaklaştırılması sağlanmıştır. Toprakta ağır metallerin alımını kolaylaştırıcı hümik asit, EDTA ve şelatör gibi uygulamalar yapılmamıştır. Çalışma sonucunda herhangi bir şelatör uygulaması yapılmadan da topraktan Ni, Cd, Pb ve Sb'un uzaklaştırılmasında önemli bir başarı sağlanabileceği ortaya konulmuştur [9]. Yonca bitkisi ile yapılan çalışmada hiçbir şelatör desteği olmadan topraktan ağır metal giderimini gerçekleştirmiştir. Çim bitkisi ile yapılan bu araştırmada ise topraktaki ağır metali bağlamak için kimyasal ve şelatör uygulaması yapılmadan topraktan ağır metal giderimi gerçekleştirmiş olup çim bitkisi ile yapılan bu araştırma ise diğer araştırmacıların yonca bitkisi ile yapmış olduğu çalışma ile benzerlik göstermiştir.

Fitoremediasyon yöntemleri ile topraktan ağır metal giderimine yönelik çalışmalarda genellikle EDTA, EDDHA, hümik asitler gibi şelatörler kullanılmaktadır. Bu durum ise maliyet bakımından pahalı olduğu gibi uygulama açısından da zorluklar gösterebilir. Çim bitkisi ile topraktan ağır metal giderimine yönelik yapılan bu çalışmada ise hiçbir şelatör kullanılmadan, maliyet açısından uygun ve uygulanabilirliği kolay olan çim bitkisi yetiştirilmiş ve topraktan kökler yardımıyla ağır metallerin absorbe edilmesi sağlanmıştır. Çalışma sonucunda çim bitkisinin topraktan Ni ve Cd ağır metallerini uzaklaştırmada önemli bir performans gösterdiği ortaya konulmuştur.

Fitoremediasyon yöntemleri ile topraktan ağır metal giderimi konusunda farklı bitkiler kullanıldığı görülmüştür. Bu bitkilerden biri olan kanola bitkisiyle yapılan bir çalışmada şelat ve mikrobiyal gübre ilave edilerek kanola, kiona ve soğan türleri kullanılarak sentetik olarak kirletilmiş topraktan ve doğal kirlilik içeren arıtma çamurundan Pb elementinin fitoremediasyon yöntemi ile arıtımı araştırılmıştır [41]. Ancak kanola bitkisi tek yıllık bir bitki olduğu için toprakta ki ağır metal giderimi için her defasında tekrar ekilmesi gerekmektedir. Yine buna benzer bir çalışma olan Süs lahanasının topraktan Bor miktarının uzaklaştırılmasında kullanılabilirliği araştırılmıştır [42]. Kullanılan bitki tek yıllık olduğu için toprakta ki ağır metal giderimi için her defasında tekrar ekilmesi gerekmektedir. Ancak çim bitkisiyle yapılan bu çalışmada ise çok yıllık olan çim bitkisi tercih edilmiştir.

Literatürde fitoremediasyon yöntemleri ile topraktan ağır metal giderimi konusunda hazırlanan deneme desenlerinde torf, kum ve toprak karışımlarının kullanıldığı görülmüştür. Ancak bu çalışmada ise çim bitkisiyle topraktan ağır metal giderimi çalışmasında killi tınlı toprak kullanılmıştır. Denemde kullanılan toprak mevcut arazi şartlarını birebir temsil etmesi bakımından herhangi bir torf ve kum karışımı yapılmadan direk olarak kullanılmıştır.

Yapılan farklı bir çalışmada ise farklı bünyeli topraklarda yetiştirilen ayçiçeği ve yonca bitkilerinin ağır metal absorpsiyonları incelenmiştir. Toprakta kalan Cd miktarlarına bakıldığında hiç Cd verilmeyen grupta kontrol (A0) şartlarına göre ortalama %65, killi tınlı bünyeli toprakta ise %54'den fazla olduğu sonucuna varılmıştır. Killi toprak uygulamasının kontrol (A0) saksılarında iz miktarda, A1 (2 mg/kg) ve A2 (4 mg/kg) doz uygulamalarında ise 0,40 mg/kg ve 0,64 mg/kg olarak belirlenmiştir [60].

Kontrol (A0) saksılarında bulunan Cd içerikleri ile uygulama öncesi topraklarda ölçülen toplam Cd içeriklerinin benzer olduğunu tespit etmiştir. Bu sonuçlara göre deneme bitkilerinin hasadı sonrasında toprakta kalan alınabilir haldeki Cd'un kontrol uygulamasına göre killi tınlı toprakta ise ortalama %18 daha fazla kaldığı saptanmıştır [60].

Çim bitkisi ile topraktan ağır metal giderimine yönelik yapılan bu çalışmada kullanılan toprağın pH değeri nötre yakındır. Bu bağlamda bitkinin yetiştiği toprak pH oranı ağır metal emilimini olumsuz yönde etkileyecek seviyede olmadığı için emilim kolaylıkla sağlanmıştır. Toprağın organik madde miktarına bakıldığında %0,364 seviyesinde olduğu görülmüştür. Buda toprağın organik madde içeriğinin çok düşük seviyede olduğunu göstermektedir. Topraktaki organik madde miktarı, bitki köklerinin topraktan besin elementi alımı ile topraktaki kirleticilerin absorpsiyonu ve toprak mikroorganizma aktivitesini ciddi oranda etkilemektedir [9].

Çim bitkisi ile topraktan ağır metal giderimine yönelik yapılan bu çalışmanın sonuçlarına bakıldığında üç farklı derişimde Ni uygulanan saksılardan 4 dönem biçilen çim bitkisinin kökleri yardımıyla aldığı ağır metal miktarı 1000 ppm uygulanan saksılardaki toplam Ni miktarının 3,180 ppm'i, 4000 ppm'den 4,396 ppm'i ve 8000 ppm uygulanan saksılardaki Ni miktarının 2,744 ppm'i uzaklaştırılmıştır.

Yine yapılan farklı bir çalışmada yonca bitkisinin farklı ağır metallerin alımı üzerine laboratuvar ortamında yürütmüşlerdir. Her biri 0, 5, 10, 20 ve 40 ppm derişimlerin de 3 tekkerrürlü olarak Cr, Zn, Cu ve Ni ağır metalleri yonca bitkisi için oluşturulan bir besi yerinde tohumlara uygulanmış ve tohumdan çıkış sağlandıktan 2 hafta sonrada bitkiler besi yerinden alınarak toplanmıştır. Yapmış oldukları bu çalışmada Ni miktarlarına bakıldığında 5 ppm uygulanan derişimlerden elde edilen yonca bitkisinin yeşil aksamlarında 740 mg/kg alım olduğu, 40 ppm uygulamaların da ise bu oranın 4036 mg/kg'a yükseldiği ve artış eğiliminde olduğu görülmüştür [29]. Ancak çim bitkisi ile topraktan ağır metal giderimine yönelik olarak yapılan bu araştırmada ise Ni miktarlarında büyüme dönemleri boyunca topraktan uzaklaştırılan Ni miktarlarında örneklem dönemleri boyunca artış sağlanmışken 8000 ppm uygulanan derişimde ise bitki fizyolojisine bağlı olarak diğer örneklem dönemlerine kıyasla bir düşüş gözlemlenmiştir.

Çim bitkisi ile farklı derişimlerde Cd uygulaması yapılan saksılardan Cd miktarlarının absorpsiyonuna bakıldığında ise Cd 1000 ppm uygulanan saksılardaki toplam Cd miktarının 1,205 ppm'i, 4000 ppm uygulamalarından 4,152 ppm'i ve 8000 ppm Cd uygulanan saksılardaki toplam Cd miktarının 2,782 ppm'i topraktan çim bitkisinin kökleri yardımıyla uzaklaştırılmıştır.

Literatürde topraktaki ağır metallerin fitoremediasyon yöntemiyle giderilmesi ile ilgili çalışmalara rastlanmıştır. Bu çalışmalarda ağır metallerle kirlenmiş toprakların kimyasal ve fiziksel yöntemlerle kirliliklerinin giderilmesinin maliyetinin yüksek olduğu ve buna alternatif olarak doğal ve ekonomik uygulama olan fitoremediasyon yöntemini kullanılması tavsiye edilmiştir. Topraklarda krom ağır metalinin mısır (*zea mays l.*) bitkisi kullanılarak topraktan fitoremediasyon tekniği ile giderilmesine yönelik çalışmaların olduğu görülmüştür [43].

Yine bir diğer çalışmada ağır metallerle kirlenmiş toprakların ıslahı için kullanım potansiyeline sahip yöntemler araştırılmıştır. Ağır metallerin topraktan uzaklaştırılması için bir sızma tekniği de *Aspergillus niger* mantarları tarafından sitrik ve glukonik asitlerin üretilmesini içermektedir. Bu asitler, ortamın pH'sını düşürmüş (pH 3,5) ve şelatlaştırıcı madde gibi davranarak metal giderimini sağladığı tespit edilmiştir. Ancak, prosesin yaygın kullanımının sağlanması için proses maliyetini azaltmak üzere ucuz karbon substratlarına gereksinim duyulduğu ve bu yöntemin maliyetli olduğu sonucuna varılmıştır [61].

Fitoremediasyon, çevre mühendisliği alanında kirlenmiş toprakların arıtımında da kullanılabilir bir yöntemdir. Hiçbir zararı olmamakla birlikte topraktaki ağır metallerin uzaklaştırmasında fayda sağlamaktadır. Çim bitkisi ile topraktan ağır metal giderimine yönelik yapılan bu çalışmada ise Cd ve Ni ağır metallerince kirlenmiş toprakların doğal arıtımı için çevre mühendisliği alanında da kullanılabilirliği sonucuna varılmıştır.

Çim bitkisi ile topraktan Ni ve Cd giderimine yönelik olarak yapılan bu çalışmada ise elde edilen çim bitkisi atıkları tehlikeli atık sınıfına girmektedir. Oluşan bu tehlikeli atıklar tehlikeli atıkların kontrolü yönetmeliğine tabi tutularak yakma işlemiyle bertaraf edilmelidir [62].

Tehlikeli atıklar yakma firmalarında döner fırın teknolojisi kullanılarak imha edilmektedir. Halihazırda piyasada bulunan firmalara göre bu işlemler karşılığında ortalama bir ücret olarak ton başına 2.500 TL talep edilmektedir.

Özellikle topraktan ağır metallerin bitki kökleri yardımıyla kolay alımını sağlayacak şelatörler (EDTA, hümik asit, EDDHA) kullanılmadan doğal arıtımın gerçekleştirilmesi çiftçi şartlarında uygulaması hem ekonomik hem de kolay bir yöntemdir. Bu çalışmanın çim bitkisi ile doğal arıtım amaçlı topraktan Ni ve Cd'un uzaklaştırılmasına yönelik yapılan fitoremediasyon uygulamaları bu tür ağır metallerce kirlenmiş tarım topraklarının doğal arıtımında kullanılabileceğine yol gösterici nitelikte olacağı düşünülmektedir.

Cd ve Ni kirliliği tespit edilen tarım topraklarının tarımsal üretime kazandırılması için ağır metallerden temizlenmesinde çim bitkisinin doğal arıtım amaçlı kullanılması tavsiye edilmektedir. Ancak bu çalışmanın ilerleyen aşamalarında farklı ağır metal ve çok daha fazla uygulama derişimlerinde de denenerek çim bitkisinin topraktan alacağı ağır metallerin maksimum durumu ortaya konulabilir. Çalışmanın bu ve buna benzer yapılacak araştırmalara öncülük edeceği ve sonuçların milli ekonomiye önemli katkılar sağlayacağı kaçınılmaz olacaktır.

Bu araştırma ise Ni ve Cd'ca kirlenmiş toprakların fitoremediasyon yöntemleri yardımıyla çim bitkisi yetiştirilerek doğal arıtımının yapılabilmesine ışık tutacak niteliktedir. Sanayi bölgelerine yakın tarım alanlarında karşılaşılan ağır metal kirliliğinden dolayı zamanla tarımsal faaliyetler giderek azaldığı ve bir kısım tarım alanlarında ise üretimin durduğu bilinmektedir. Bu tür alanlarda ağır metal kirliliğinin topraktan uzaklaştırılarak tarıma kazandırılması son derece önemlidir. Fitoremediasyon gibi doğal arıtım yöntemlerinin bu tür alanlarda kullanılması ekonomik açıdan ucuz ve uygulama kolaylığı bakımından tavsiye edilebilecek yöntemlerden biri niteliğindedir.

KAYNAKÇA

1. Şenel, E., Can, M., Kaya, K., “Dünyada ve Türkiye’de sanayileşme - strateji ve temel sanayileşme sorunları”, *Mühendis ve Makina* Cilt 59, Sayı 690, S. 1-26, 2018.
2. Karaca, A., Turgay, O., “Toprak kirliliği”, *Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 2012.
3. Dartan, G., Toröz, İ., “Marmara bölgesinde tarım topraklarında ağır metal kirliliğinin araştırılması”, *Fen Bilimleri Dergisi*, 25 (1), 2013.
4. Tok, H., “Çevre kirliliği”, *Anadolu Matbaacılık*, İstanbul, 1997.
5. Mater, B., “Toprak coğrafyası”, *Çantay Kitabevi*, İstanbul, 1998.
6. Haktanır, K., Arcak, S., “Çevre kirliliği”, *Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları*, Ankara, 1998.
7. Lodenius, M., “Heavy metals in the soil”, *Interaction and Long Term Changes*, In:, 1989.
8. Glass, D.J., “U.S. and international markets for phytoremediation”, 1999-2000. *Glass Associates, Needham, MA*, 1999.
9. Bağdatlı, M., C., “Pb, Cd, Sb ve Ni Kirliliğine maruz kalmış tarım topraklarının yonca (*Medicago Sativa L.*) bitkisi kullanılarak doğal arıtımı”, *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*, 2019.
10. Vanlı, Ö., “Pb, Cd, B Elementlerinin topraklardan şelat destekli fitoremediasyon yöntemiyle giderilmesi”, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul, 2007.
11. Aybar, M., Bilgin, A., Sağlam, B., “Fitoremediasyon yöntemi ile topraktaki ağır metallerin giderimi”, *Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 2015.
12. Bert, V., Girondelot, B., Quatannens, V., Laboudigue, A., “A phytostabilisation of a metal polluted dredged sediment deposit—mesocosm experiment and field trial”, In: Uhlmann O, Annokée GJ, Arendt F. Eds, *Proceedings of The 9th International FZK/TNO Conference On Soil–Water Systems, Remediation Concepts And Technologies*, Bordeaux, 2005.

13. Berti, WR, Cunningham, SD., “Phytostabilization of metals”, In: Raskin I, Ensley BD. Eds. Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants To Clean-Up The Environment, New York: Wiley, 2000.
14. Rizzi, L., Petruzzelli, G., Poggio, G., Vigna Guidi, G., “Soil physical changes and plant availability of zn and pb in a treatability test of phytostabilization”, Chemosphere, 2004.
15. Eke, M., “Nikel hiperakümülatörü thlaspi elegans boiss'den nikelin asitle ekstraksiyonu ve elektrokimyasal yolla metal olarak geri kazanımının araştırılması”, *Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*, 2010.
16. Söğüt, Z., Zaimoğlu, Z., Erdoğan, RK., Doğan, S., “Su kalitesinin artırılmasında bitki kullanımı yeşil ıslah-phytoremediation”, *Çukurova Üniversitesi, Adana*, 2004.
17. Okcu, M., Tozlu, E., Kumlay, A., Pehlivan, M., “Ağır metallerin bitkiler üzerine etkileri”, *Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Iğdır Üniversitesi Ziraat Fakültesi*, 2009.
18. Sezer, K., “Atıksulardaki kadmiyum (II) ve nikel (II) iyonlarının tekli ve ikili karışımlarının kitosana, kile ve kitosan-kil kompozitine adsorpsiyonunun kesikli ve sürekli sistemlerde incelenmesi”, *Hacettepe Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı*, 2015.
19. Yücel, E. S., “Arsenik, çinko ve kadmiyumun tohum çimlenmesi üzerine etkiler”, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı*, Samsun, 2019.
20. Can, B., Darende, B., Seven, T., Ocak., S., “Hava ve toprakta ağır metal kirliliği”, *Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, Sayı 1(2): 91, 28200, Giresun, 2018.
21. İnternet: Vikipedi, “Kadmiyum”, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Kadmiyum>.
22. Birleşmiş Milletler Çevre Koruma Ajansı (U.S. EPA.), “Clean Water” Act, sec. 503, vol. 58, no. 32. (U.S. Environmental Protection Agency Washington, D.C.), 1993.

23. Chiroma, T. M., Ebewele, R. O., Hymore, F.K., “Comparative Assessment of Heavy Metal Levels in Soil, Vegetables and Urban Grey Waste Water used for Irrigation in Yola and Kano”, *International Refereed Journal of Engineering and Science*, 3(2), p.1-9, 2014.
24. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, *Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği*, 2001.
25. Özbolet, G., Tuli, A., “Ağır metal toksisitesinin insan sağlığına etkileri”, *Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi, Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı, Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, 25(4):502-521 Doi:10.17827/Akt.253562, Adana, 2016.
26. Chena, Y., Shena, Z., Xiangdong, “College of life sciences”, *Nanjing Agricultural University*, Nanjing 210095, China Department of Civil And Structural Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, Kowloon, Hong Kong, 2004.
27. Chen, H.M., Zheng, C.R., Tu, C., Shen, G., “Chemical methods and phytoremediation of soil contaminated with heavy metals”, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Science, P.O. Box 821, Nanjing 210008, People's Republic of China, 2000.
28. Manios, T., Stentiford, E. I., Millner, P. A., “Removal of heavy metals from a metaliferous water solution by typha latifolia l. plants and sewage sludge compost”, *Chemosphere*, 53(5):487-494, 2003.
29. Peralta, J. R., Gardea-Torresdey, J. L., Tiemann, K. J., Gomez, E., Arteaga, S., Rascon, E., Parsons J. G., “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, 2001.
30. Beccaloni, E., Vanni, F., Beccaloni, M., Carere, M., “Concentrations of arsenic, cadmium, lead and zinc in homegrown vegetables and fruits: estimated intake by population in an industrialized area of sardinia, Italy”, *Microchemical Journal*, 107, 190-195, 2013.
31. Chitra, K., Sharavanan, S., Vijayaragavan, M., “Tobacco, corn and wheat for phytoremediation of cadmium polluted soil”, *Resent Research In Science Technology*, 3 (2): 148-151, 2011.

32. Brunetti, G., Farrag, K., Rovira, P.S., Nigro, F., Senesi, N., “Greenhouse and field studies on cr, cu, pb and zn phytoextraction by brassica napus from contaminated soils in the apulia region, Southern Italy”, *Geoderma*, 160, 517– 523, 2011.
33. Erol, Ç., Öz, Cevahir, G., Yüksel, B., “Petrol hidrokarbonları ile kirlenen toprakların ayçiçeği (*helianthus annuus l.*) kullanılarak fitoremediasyonu”, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bil. Enst. Botanik ABD, Doktora Tezi*, İstanbul, 2010.
34. Özay, C., Mammadov, R., “Ağır metaller ve süs bitkilerinin fitoremediasyonda kullanılabilirliği”, Pamukkale Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi Cilt 15(1) 68-77, Denizli, 2013.
35. Yıldıztekin, M., Ulusoy, H., Tuna, A.L., “Ağır metallerle kirlenmiş toprakların iyileştirilmesinde fitoremediasyon yöntemi: tıbbi ve aromatik bitkilerin uygunluğu”, *Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü*, Muğla, 2019.
36. Eren, A., “Kadmiyum uygulamalarının domuz pıtrağı bitkisinin gelişimi üzerindeki etkileri”, *Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi*, 2018.
37. Şan, T., “Ağır metallerin bitkilerle alımının modellenmesi: güney Türkiye'den bir fitoremediasyon çalışması”, *Boğaziçi Üniversitesi, Çevre Bilimleri Enstitüsü, Çevre Teknolojileri Anabilim Dalı*, 2019.
38. Tunalı, M., “Ağır metal ile kontamine olmuş toprakların fitoremediasyonun da bitki ve mikroorganizma etkileşimleri”, *Boğaziçi Üniversitesi, Çevre Bilimleri Enstitüsü, Çevre Teknolojileri Anabilim Dalı*, 2015.
39. Ansarı, B., “Çinko (Zn^{+2}) toksisitesi koşullarında aynısefa (*calendula officinalis*) bitkisinin morfolojik ve fizyolojik değişimlerinin ve fitoremediasyon potansiyelinin belirlenmesi”, *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı*, 2020.
40. Çeliksaş, V., “Adana ili Aladağ ilçesindeki krom maden yataklarında bulunan bitkilerin fitoremediasyon özelliklerinin belirlenmesi”, *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı*, 2020.
41. İpek, A., “Bazı tarım bitkileri kullanılarak kurşun kirliliğinin şelat destekli fitoremediasyon yöntemiyle giderilmesi”, *Amasya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı*, 2019.

42. Birceyudum, Ş., Gökseven, E., “Süs lahanasının (*brassica oleraceae* var. *capitata*) topraktaki bor elementinin giderilmesi amacıyla fitoremediasyonda hiper toplayıcı bitki olarak kullanılma potansiyelinin araştırılması”, *Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı*, 2019.
43. Göker, M., “Topraklarda krom ağır metalinin mısır (*zea mays* l.) bitkisi kullanılarak fitoremediasyon tekniği ile giderilmesi”, *Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Toprak Bilim Dalı*, 2019.
44. Nassouhi, D., “Kadmiyum, kurşun ve kadmiyum-kurşun karışımına maruz bırakılan *pistia stratiotes* l. sucul bitkisinin fitoremediasyon potansiyelinin araştırılması”, *Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı*, 2018.
45. Kürüm, N., “Norveç (*Røros*) bakır madenlerinde yetişen bazı bitkilerde metal birikimi ve fitoremediasyon potansiyelinin araştırılması”, *İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Botanik Bilim Dalı*, 2016.
46. Karakaş, Ö., “Bazı ağır metaller (pb, cd, co) ile kirlenmiş toprakların kanola (*brassica napus* l.) bitkisi kullanılarak bitkisel arıtım (fitoremediasyon) tekniği ile ıslahı”, *Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı*, 2013.
47. Polok, K., “Molecular evolution of genus *lolium* l. stoudio poligrafii komputerowej”, SQL, ISBN 978-83-88125-52-2, Olsztyn, 2007.
48. Avcıoğlu, R., “Çim tekniği yeşil alanların ekimi dikimi ve bakımı”, *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, Çayır-Mer'a ve Yem Bitkileri Anabilim Dalı Başkanlığı, Ege Üniversitesi Matbaası, Bornova/ İzmir*, 1997.
49. Açıkgöz, E., “Çim alanlar yapım ve bakım tekniği”, *Çevre Peyzaj Mimarlığı Yayınları*, Bursa, 1994.
50. Zorer Çelebi, Ş., Arvas, Ö., Çelebi, R., Yılmaz, İ. H., “Atıksu arıtma çamuru ile tesis edilen yeşil alanda İngiliz çimi (*lolium perenne* l.)'nin performansının belirlenmesi”, *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 7(3), 2010.
51. Tosun, F., “Baklagil ve buğdaygil yem bitkileri kültürü”, *Atatürk Üniversitesi Basımevi*, Erzurum, 213, 1974.
52. Gençkan, M., “Yem bitkileri tarımı”, *Ege Üniversitesi Matbaası*, Bornova, İzmir, 350, 1983.

53. Duthil, J., “La production fourrageres”, J.B. Baillrere et Fils, 19 rue Houtefeuille, Paris 6e. 46, 1967.
54. Richards, L.A., “Diagnosis and improvement of saline alkali soils”, *Dept. of Agriculture*, No. 60, U.S.A, 1954.
55. Oğuzer, V., “Drenaj ve arazi ıslahı”, *Ç.Ü. Ziraat Fakültesi, Genel Yayın No.106, Ders Kitapları Yayın No.26*, Adana, 1995.
56. Horneck, D. A., Hart, J. M., Topper, K., Koepsell, B., “Methods of soil analysis used in the soil testing laboratory at Oregon State University”. *Agr. Exp. Sta. Oregon*, p. 1-21, USA, 1989.
57. Ayyıldız, M., “Sulama suyu kalitesi ve sulamada tuzluluk problemleri”, *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, Ders Kitabı Yayın No: 636, No: 199, Ankara, 1976.
58. Shahid, M., Dumat, C., Khalida, S., Schreck, E., Xiong, T. & Nabeel N. K., “Foliarheavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: a comparison of foliar and root metal uptake”, *Journal of Hazardous Materials*, 325, 36-58, 2017.
59. Terzi, H., Yıldız, M., “Ağır metaller ve fitoremediasyon: fizyolojik ve moleküler mekanizmalar”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü*, 03200, Afyonkarahisar, akü-febid 11 (2011) 011001 (1-22), 2011.
60. Esetlili, B., “Farklı bünyeli topraklarda yetiştirilen ayçiçeği ve yonca bitkilerinin ağır metal absorpsiyonları”, *Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 53 (3):333-341 ISSN 1018 – 8851, 2016.
61. Kocaer, F., Başkaya, H., “Metallerle kirlenmiş toprakların temizlenmesinde uygulanan teknolojiler”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 8, Sayı 1, 2003.
62. İnternet: Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2005/03/20050314-1.htm>