

**TOPRAKLARDA KROM AĞIR
METALİNİN MISIR (*Zea mays* L.)
BİTKİSİ KULLANILARAK
FİTOREMEDİASYON TEKNİĞİ İLE
GİDERİLMESİ**

Merve GÖKER
Yüksek Lisans Tezi

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Sevinç ADILOĞLU

2019

T.C.

TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TOPRAKLARDA KROM AĞIR METALİNİN MISIR (*Zea mays* L.) BİTKİSİ
KULLANILARAK FİTOREMEDİASYON TEKNİĞİ İLE GİDERİLMESİ**

MERVE GÖKER

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Doç. Dr. SEVİNÇ ADILOĞLU

TEKİRDAĞ-2019

Her hakkı saklıdır

Doç. Dr. Sevinç ADİLOĞLU danışmanlığı' nda Merve GÖKER' in hazırlamış olduğu, "Topraklarda Krom Ağır Metalinin Mısır (*Zea mays* L.) Bitkisi Kullanılarak Fitoremediasyon Tekniği İle Giderilmesi" isimli çalışma aşağıda isimleri bulunan jüri tarafından Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Prof.Dr. Hamit ALTAY

İmza:

Üye: Prof.Dr. Aydın ADİLOĞLU

İmza:

Üye: Doç.Dr. Sevinç ADİLOĞLU (Danışman)

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Doç. Dr. Bahar UYMAZ

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TOPRAKLARDA KROM AĞIR METALİNİN MISIR (*Zea mays* L.) BİTKİSİ KULLANILARAK FİTOREMEDİASYON TEKNİĞİ İLE GİDERİLMESİ

Merve GÖKER

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Sevinç ADILOĞLU

Kirletilmiş toprakların fiziksel ve kimyasal yöntemlerle kirliliklerinin giderilmesi, ekonomik olarak yüksek maliyetlere neden olduğundan bunlara alternatif daha doğal ve ekonomik uygulamalar vardır. Çevredeki canlıların hayatlarına önemli boyutlarda toksik etki oluşturan ağır metaller, en birincil ve tehlikeli maddelerden birini oluşturmaktadır. Ağır metal toksisitesinin temizlenmesinde ve kirli toprakların kirliliğinin gideriminde fitoremediasyon tekniği uygulanmaktadır. Bu çalışma Cr ağır metali ile kirletilmiş toprakların fitoremediasyon tekniği ile temizlenmesinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Fitoremediasyon yöntemi kullanılarak krom ağır metali ile kirletilmiş topraklarda mısır bitkisinin hiperakümülatör bitki olup olmadığı incelenmiştir. Krom ağır metalinin çözünürlüğünü artırmak amacıyla topraklara farklı miktarlarda şelat verilerek, mısır bitkisinin Cr elementini temizleme başarısı değerlendirilmiştir. Deneme 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 durum istatistiksel olarak % 5 düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir. Bitkinin kök aksamında krom içeriği ise kontrolde 18,57 mg/kg olarak tespit edilirken en yüksek şelat uygulanan dozda ise 34,95 mg/kg olarak 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.

Anahtar kelimeler: Fitoremediasyon, ağır metal, krom, EDTA, mısır (*Zea mays* L.), kirlilik

2019, 61 sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

HEAVY METAL IN SOILS OF CHROMIUM USING CORN (*Zea mays* L.) PLANT REMOVAL OF PHYTOMEDIATION

Merve GÖKER

Tekirdağ Namık Kemal University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Soil Science and Plant Nutrition

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Sevinç ADILOĞLU

Removal of contaminated soils by physical and chemical methods, as they cause high costs. There is more natural and economic applications alternative to these. One of the most primary and dangerous substances create, significant dimensions to the lives of living beings heavy metals forming toxic effects. Phytoremediation technique is used to cleaning of heavy metal toxicity and removes the pollution of polluted soils. This study was carried out the usability with the phytomeditation technique of the soil contaminated with Cr metal. Using the phytoremediation method, it is investigated whether corn plant are hyperaccumulator plants in soils contaminated with chromium heavy metal. In order to increase the solubility of the chromium heavy metal, chelate is given to the soil in different amounts and the success of cleaning the Cr element of corn plant has been evaluated. Cr element was given to soil and phytoremediation were determined using corn plant. In order to increase the content of phytoremediation, chelate is given to soil in different amounts and the success of cleaning the Cr element of corn plant has been examined. Trial random blocks according to the trial plan, the experiment was carried out in 18 pots with 3 replicates and 5 chelate doses (0, 10, 20, 40, 80 mmol/kg) in controlled conditions according to the trial plan according to full chance. 30 ppm CrO₃ was given to the soil in pots and incubated for 30 days. 150 mg/kg N, 100 mg/kg P, 125 mg/kg K is added to the pots corn seeds are applied together with the planting according to the needs of the irrigation has been made. In the growth process of the plants by harvesting, respectively the chromium content of the stem and root parts was 2,81 mg/kg, while 80 mmol/kg of EDTA chelate was 31,46 mg/kg. This was statistically significant at 5 % level. The chromium content of the plant was determined as 18,57 mg/kg in the control, whereas the highest chelate was 34,95 mg/kg. In this research, it has been shown that corn plant is a hyper accumulative plant in phytoremediation method which is an economical and applicable method for cleaning soil contaminated with Cr(VI).

Keywords: Phytoremediation, heavy element, chrome, EDTA, corn (*Zea mays* L.), pollution

2019, 61 pages

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÇİZELGE DİZİNİ	vii
ŞEKİL DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
TEŞEKKÜR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Fitoremediasyon Nedir?	3
1.2. Metal Kirleticilerin Gideriminde Kullanılan Fitoremediasyon Yöntemleri	3
1.2.1. Fitoekstraksiyon (Bitkisel özümleme).....	3
1.2.2. Rizofiltrasyon (Köklerle süzme)	4
1.2.3. Fitostabilizasyon (Köklerle sabitleme).....	4
1.3. Organik Kirleticilerin Gideriminde Kullanılan Fitoremediasyon Yöntemleri	4
1.3.1. Fitodegradasyon (Bitkisel bozunum)	4
1.3.2. Rizodegradasyon (Köklerle bozunum).....	5
1.3.3. Fitovolatilizasyon (Bitkisel buharlaşma).....	5
2. LİTERATÜR ÖZETİ	6
2.1. Fitoremediasyon Yöntemiyle Yapılan Kirlilik Giderim Araştırmaları	6
2.2. Fitoremediasyon Yoluyla Bazı Bitkiler Üzerinde Yapılan Çalışmalar	10
2.3. Ağır Metallerin Bitkiler İle Olan İlişkisi	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM	16
3.1. Materyal.....	16
3.1.1. Birinci denemenin kurulması ve yürütülmesi.....	16
3.1.2. İkinci denemenin yürütülmesi	18
3.1.3. Üçüncü denemenin yürütülmesi	20
3.1.4. Denemede uygulanan şelat ve özellikleri	22
3.1.5. Denemede kullanılan bitki ve özellikleri.....	23
3.1.5.1. Mısır (<i>Zea mays</i> L.)	23
3.1.6. Denemede kirleticisi olarak kullanılan ağır metal.....	23
3.2. Yöntem	24

3.2.1. Kuru madde miktarı.....	24
3.2.2. Bitki analizleri	24
3.2.3. Toprak analizleri.....	25
3.2.4. İstatiksel analiz	25
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	26
4.1. Araştırmada Kullanılan Toprak Örneklerinin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Değerleri	26
4.2. Krom Ağır Metalinin Deneme Süresindeki Topraktaki Değişimi.....	27
4.2.1. Krom ağır metali ile kirletilmiş ve EDTA şelatı uygulanan mısır bitkisinin yaş ağırlığı ve kuru madde miktarı üzerine etkisi	28
4.2.2. Artan dozlarda EDTA uygulanan saksılarda mısır bitkisinin gövde aksamındaki krom elementi içerikleri	30
4.2.3. Artan dozlarda EDTA uygulanan saksılarda mısır bitkisinin kök aksamındaki krom elementi içerikleri	32
4.3. Toprak Örneklerinin Hasat Sonrasındaki Ağır Metal Değerleri	34
4.4. Krom ile Kirletilmiş ve EDTA Şelatı Uygulanan Toprakların Makro Bitki Besin Elementi İçerikleri Üzerine Etkisi.....	35
4.4.1.Fosfor içeriği	36
4.4.2.Potasyum içeriği	36
4.4.3.Kalsiyum içeriği	36
4.4.4.Magnezyum içeriği	36
4.4.5.Kükürt içeriği.....	37
4.5. Krom ile Kirletilmiş ve EDTA Şelatı Uygulanan Toprakların Mikro Bitki Besin İçerikleri Üzerine Etkisi	37
4.5.1.Demir içeriği.....	38
4.5.2.Bakır içeriği	38
4.5.3.Çinko içeriği	39
4.5.4.Mangan içeriği.....	39
4.7. Krom ile Kirletilmiş ve EDTA Şelatı Uygulanan Saksılarda Yetiştirilen Mısır Bitkisinin Gövde Aksamında Makro Bitki Besin Elementi İçerikleri Üzerine Etkisi	40
4.7.1. Fosfor içeriği	41
4.7.2. Potasyum içeriği	42
4.7.3. Kalsiyum içeriği	42
4.7.4. Magnezyum içeriği.....	42
4.7.5. Kükürt içeriği.....	43

4.8. Krom ile Kirletilmiş ve EDTA Şelatı Uygulanan Saksılarda Yetiştirilen Mısır Bitkisinin Gövde Aksamında Mikro Bitki Besin Elementi İçerikleri Üzerine Etkisi	44
4.8.1. Demir içeriği.....	45
4.8.2. Bakır içeriği	45
4.8.3. Çinko içeriği	45
4.8.4. Mangan içeriği.....	46
4.9. Krom ile Kirletilmiş ve EDTA Şelatı Uygulanan Saksılarda Yetiştirilen Mısır Bitkisinin Kök Aksamında Makro Bitki Besin Elementi İçerikleri Üzerine Etkisi	47
4.9.1. Fosfor içeriği	48
4.9.2. Potasyum içeriği	48
4.9.3. Kalsiyum içeriği	48
4.9.4. Magnezyum içeriği.....	49
4.9.5. Kükürt içeriği.....	49
4.10. Krom ile Kirletilmiş ve EDTA Şelatı Uygulanan Saksılarda Yetiştirilen Mısır Bitkisinin Kök Aksamında Mikro Bitki Besin Elementi İçerikleri Üzerine Etkisi.....	50
4.10.1. Demir içeriği.....	51
4.10.2. Bakır içeriği	51
4.10.3. Çinko içeriği	52
4.10.4. Mangan içeriği.....	52
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	54
6. KAYNAKLAR.....	56
ÖZGEÇMİŞ	61

ÇİZELGE DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Bitkilerde toksik etki oluşturan bazı ağır metaller (Tok 1997, Turan ve Horuz 2012).....	2
Çizelge 4.1. Araştırmadaki toprak örneğinin kimyasal ve fiziksel analiz değerleri.....	26
Çizelge 4.2. Denemede kullanılan topraklarda inkübasyon öncesi ve sonrası Cr değerleri, mg/kg.....	27
Çizelge 4.3. Krom ağır metali ile kirlenmiş ve EDTA şelatı uygulanan mısır bitkisinin kuru ve yaş madde miktarı üzerine etkisi, gr, *,**.....	29
Çizelge 4.4. Krom ağır metali ile kirlenmiş saksılarda mısır bitkisinin gövde aksamında krom elementi içerikleri, mg/kg, *, **.....	31
Çizelge 4.5. Artan dozlarda şelat uygulamalarının mısır bitkisinin kök aksamındaki krom elementi içerikleri, mg/kg, *, **, ***.....	33
Çizelge 4.6. Mısır bitkisinin yetiştirildiği saksılardan hasat sonrası alınan toprak örneklerinin Cr değerleri, mg/kg.....	34
Çizelge 4.7. Krom ile kirlenmiş ve EDTA şelatı uygulanan topraklardaki makro bitki besin elementi içeriklerinin ortalama değerleri (%) ve önemlilik grupları, *, **, ***.....	35
Çizelge 4.8. Krom ile kirlenmiş ve EDTA şelatı uygulanan topraklardaki mikro bitki besin elementi içeriklerinin ortalama değerleri (mg/kg) ve önemlilik grupları, *, **, ***.....	38
Çizelge 4.9. EDTA şelatı ve kirleticinin bitkinin gövde aksamlarına ait makro besin elementi içeriklerinin ortalama değerleri (%) ve önemlilik grupları, *, **, ***.....	41
Çizelge 4.10. EDTA şelatı ve kirleticinin bitkinin gövde aksamlarına ait mikro besin elementi içeriklerinin ortalama değerleri (mg/kg) ve önemlilik grupları, *, **, ***.....	44
Çizelge 4.11. EDTA şelatı ve kirleticinin uygulandığı saksılardaki bitkinin kök aksamlarına ait makro besin elementi içeriklerinin ortalama değerleri (%) ve önemlilik grupları, *, **, ***.....	47
Çizelge 4.12. EDTA şelatı ve kirleticinin uygulandığı saksılardaki bitkinin kök aksamlarına ait mikro besin elementi içeriklerinin ortalama değerleri (mg/kg) ve önemlilik grupları, *, **, ***.....	51

ŞEKİL DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Saksılara 150 mg/kg krom kirleticisinin uygulanması (orijinal).....	16
Şekil 3.2. Denemede kullanılan mısır (<i>Zea mays</i> L.) tohumu (orijinal).....	17
Şekil 3.3. Mısır tohumunun saksılara ekilmesi (orijinal)	17
Şekil 3.4. 150 mg/kg krom kirleticisi uygulanan saksılardaki mısır bitkisi görünümü (orijinal)	18
Şekil 3.5. 100 mg/kg krom kirleticisi uygulanan saksılardaki mısır bitkisinin görünümü (orijinal)	19
Şekil 3.6. Denemede kullanılan saksılara verilen krom çözeltisi (orijinal).....	19
Şekil 3.7. Krom ve EDTA uygulamalarının mısır bitkisi üzerine etkisinin görünümü (orijinal)	21
Şekil 3.8. Krom kirleticisi (30 mg/kg) verilen saksılardaki ayçiçeği bitkisinin görünümü (orijinal)	21
Şekil 3.9. Cr(VI) kirleticisi (30 mg/kg) uygulanan saksılardaki mısır bitkisinin görüntüsü (orijinal)	22
Şekil 3.10. Mısır bitkisini tarladaki görüntüsü (orijinal).....	23
Şekil 4.1. Mısır bitkisinin yetiştirildiği saksılardan deneme toprağı, inkübasyon sonrası toprak ve bitki hasat sonrası alınan toprak örneklerinin Cr değerleri	28
Şekil 4.2. Farklı EDTA uygulamasının ve krom kirleticisinin mısır bitkisinin kök ve gövde aksamlarındaki kuru madde miktarı üzerine etkisi	30
Şekil 4.3. Artan dozlarda şelat uygulamasının mısır bitkisinin gövde aksamında krom elementi içerikleri, mg/kg	32
Şekil 4.4. Artan dozlarda şelat uygulamasının mısır bitkisinin kök aksamında krom element içerikleri, mg/kg.....	33
Şekil 4.5. Mısır bitkisinin hasatından sonra saksılardan alınan toprak örneklerinde EDTA uygulamalarının krom içeriğine etkisi	34
Şekil 4.6. Topraklardaki makro besin elementleri içerikleri	37
Şekil 4.7. Topraklardaki mikro besin elementleri içerikleri.....	40
Şekil 4.8. EDTA dozlarının mısır bitkisinin gövde aksamının bazı makro besin elementlerine etkisi.....	43
Şekil 4.9. EDTA dozlarının mısır bitkisinin gövde aksamının bazı mikro besin elementlerine etkisi.....	46
Şekil 4.10. EDTA dozlarının mısır bitkisinin kök aksamında makro besin elementlerine etkisi	50
Şekil 4.11. EDTA dozlarının mısır bitkisinin kök aksamında mikro besin elementlerine etkisi	53

SİMGELER VE KISALTMALAR

%	:Yüzde Oranı
°C	:Santigrat Derece
µg	:Mikrogram
AAS	:Atomik Absorbsiyon Spektroskopisi
ABD	:Amerika Birleşik Devletleri
Ark.	:Arkadaşları
As	:Arsenik
Ca	:Kalsiyum
Cd	:Kadmiyum
Co	:Kobalt
Cr	:Krom
Cu	:Bakır
Dk	:Dakika
DTPA	:Dietilen Triamin Penta Asetik Asit
EDTA	:Etilendiamin Tetraasetik Asit
EPA	:Environmental Protection Agency
FAO	:Food and Agriculture Organization
Fe	:Demir
G	:Gram
Hg	:Civa
ICP	:İndüktif Eşleşmiş Plazma
ICP-OES	:Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry
K	:Potasyum
kg	:Kilogram
km	:Kilometre
km ²	:Kilometrekare
m	:Metre
Mg	:Magnezyum
mg	:Miligram
mmol	:Milimol
mm	:Milimetre
Mn	:Mangan
Na	:Sodyum
NH ₄	:Amonyum
Ni	:Nikel
P	:Fosfor
Pb	:Kurşun
pH	:Asitlik Alkalilik Derecesi
ppm	:Milyonda bir kısım
S	:Kükürt
Sn	:Siyanür
Zn	:Çinko

TEŞEKKÜR

Tez konumun belirlenmesinden yazım aşamasına kadar değerli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, kendisine her zaman danışabildiğim, bana önemli zamanını ayırıp büyük bir sabır ve fedakarlıkla elinden gelenin fazlasını yapan, güler yüzü ve samimiyetiyle devamlı yanımda olan, kişilik olarak da bana birçok şey katan ve ileriki meslek hayatımda da bana kattığı önemli bilgilerinden faydalanacağımı düşündüğüm danışman hoca statüsünü sonuna kadar hakkıyla yerine getiren çok değerli ve kıymetli hocam Doç. Dr. Sevinç ADILOĞLU' na teşekkürlerimi sunuyorum.

Tezimin yazımında benden biran olsun desteğini esirgemeyen; kaynak, tecrübe ve yönlendirmelerinden fazlasıyla yararlandığım çok değerli bölüm başkanımız Prof. Dr. Aydın ADILOĞLU' na teşekkür ve şükranlarımı sunuyorum.

Tez araştırmamda laboratuvar çalışmalarını yaptığım ve bana yardımcı olarak tüm olanaklarından yararlanmamı sağlayan Atatürk Toprak, Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü personeline teşekkür ediyorum.

Teşekkürlerin az kalacağı, benim bu günlere gelmemde büyük emek sahibi olan, desteklerini esirgemeyerek her zaman arkamda olduklarını hissettiğim, bu hayatta en büyük şansım olan annem Necibe ÇETİNTAŞ' a, babam Zeki ÇETİNTAŞ' a, ablam Meryem ÇETİNTAŞ FIRAT' a ve canım evladım Zehra GÖKER' e teşekkürlerimi sunuyorum.

Yazım kuralları denetimi konusunda yardımını esirgemeyen, gerekli tüm kolaylıkları gösteren Özge MUTLU ve Cem MUTLU'ya çok teşekkür ederim.

Son olarak literatür araştırmamda ve yazım kurallarında emeği geçen sevgili arkadaşım aynı zamanda meslektaşım olan Öğr. Gör. İlkay ÇOKA' ya teşekkürü borç bilirim.

Mayıs 2019

Merve GÖKER

Ziraat Mühendisi

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun 1950’de % 30’ u şehirlerde yaşamını sürdürürken bu durumun 2010’ da % 50’yi aştığı tespit edilmektedir. 21. yüzyılda gelişmekte olan ülkeler başlıca olmak üzere şehir nüfusu ve dünya nüfusunda yüksek bir artış olmuştur (Danış 2016). Ülkemizdeki nüfus artışının dünyadakiyle aynı oranda olduğu belirtilmektedir.

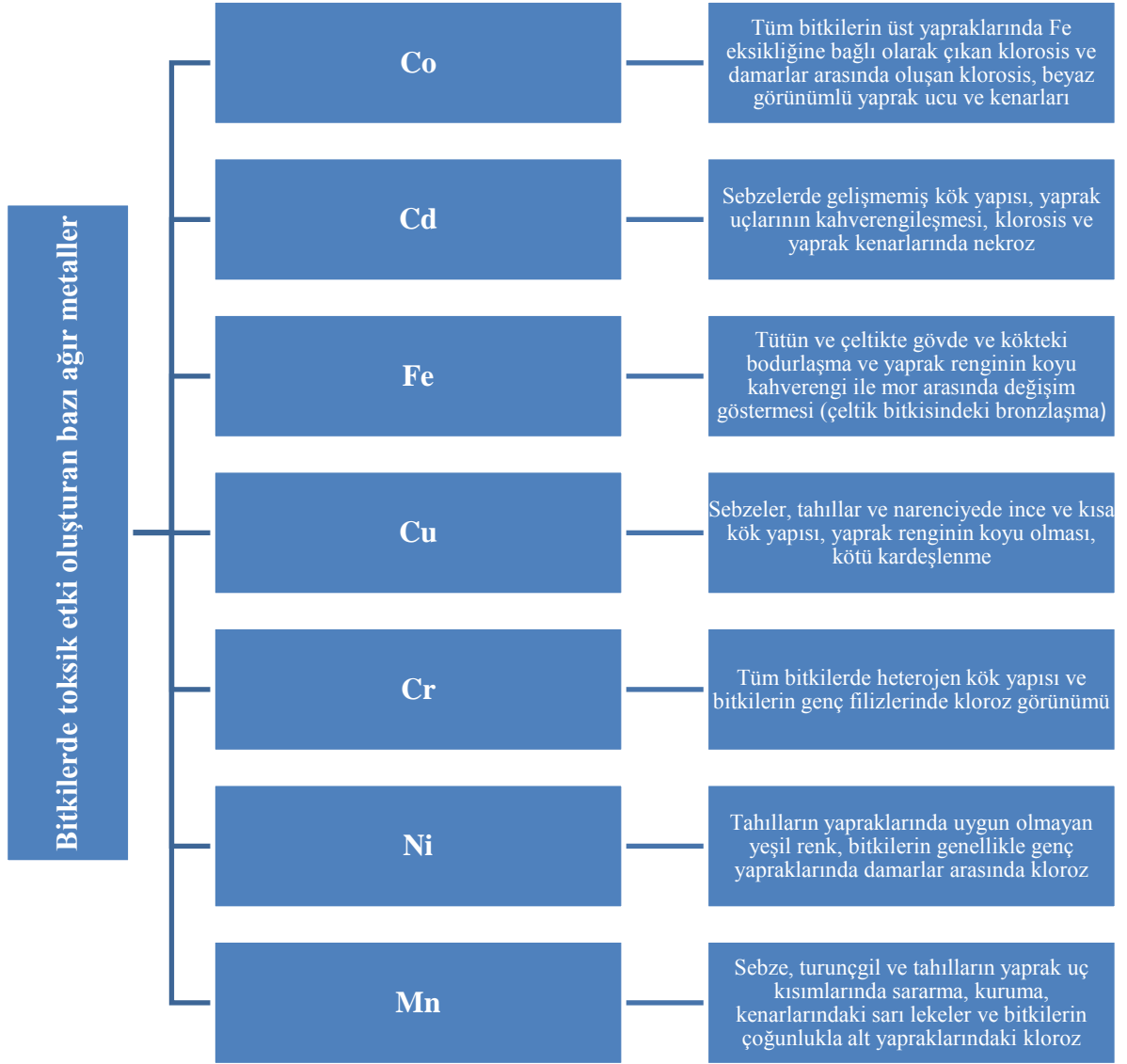
Toprak kirliliğine neden olan ağır metaller dünyanın incelediği ve birçok çalışmanın yapıldığı bir konu olmuştur. Ağır metallerin çevre ve insan sağlığına etkileri, kirli alanların incelenmesi ve kirliliğin giderilmesi amaçlı ağır metal kaynaklarını ve tekniklerini belirleyip değerlendirilmesine önem verilmiştir.

İnsanların daha iyi yaşam şartlarına ulaşmak amacıyla doğal kaynaklara farkında olmadan verdiği zarar olarak tanımlanan çevre kirliliği günümüzde önemli sorunlardan olmuştur. Sanayileşme ve kentleşmenin artması ile endüstri alanlarında kullanılan içeriğinde ağır metal bulunan yakıtlar, ağır metal kirliliğinin çevredeki varlıklarının artmasıyla birlikte ciddi sorun oluşturmaktadır. Bunlar sadece organizmada birikmeyip besin zinciri aracılığı ile de ekosistemde yüksek içeriklerde varlıklarını sürdürürler. Ağır metallerin ekosistemdeki zarar durumlarına ve yayılımlarına bakıldığında insan kaynaklı olduğu anlayışı vardır. Devamlı olarak ve insandan kaynaklı olan bu kirlenme ekosistemdeki bitkileri ve bunlardaki ürünlere olumsuz etki ederek tehlikeli boyutlara ulaşmaktadır (Okçu ve ark. 2009).

Genelde ekosistemdeki farklı sıkıntılar sonucu ortaya çıkan ağır metal tanımı düşük içeriklerde bile toksik etkisi bulunan ve yüksek yoğunluklardaki metal olarak tanımlanabilmektedir. Yoğunluğu 5 g/cm³’ten yüksek olan metalleri kapsamaktadırlar. Cr, Cd, Pb, Co, Fe, Cu, Hg, Ni, Zn başta olmak üzere ağır metaller grubunu 60’ tan fazla metal oluşturmaktadır. Yeryüzünde silikat, karbonat ve sülfür şeklinde silikatlarda bağlı ya da stabil bileşik halinde bu elementler bulunmaktadır (Kahvecioğlu ve ark. 2007).

Toprakta birikerek bitkilere bulaşan ağır metaller gıda zinciri yoluyla insanlara geçmektedir. Toprakta bulunan ağır metallerin morfolojik özellikleri bakımından incelendiğinde bitkiler üzerinde önemli farklılıklar vardır. Co, Cd, Fe, Cu, Cr, Ni, Mn gibi ağır metallerin Çizelge 1.1.’ de bitkiler üzerindeki morfolojik toksisite belirtileri ayrıntılı bir şekilde görülmektedir (Tok 1997, Turan ve Horuz 2012).

Çizelge 1.1. Bitkilerde toksik etki oluşturan bazı ağır metaller (Tok 1997, Turan ve Horuz 2012)



Bu araştırmanın amacı, kirletilmiş veya bulaşma yolu ile topraklardaki krom (Cr^{+6}) ağır metalinin Mısır (*Zea mays* L.) bitkisi ile fitoremediasyon yöntemi kullanılarak giderilmesidir. Bu amaçla yetiştirilen mısır bitkisi örneklerinin krom (Cr^{+6}) içerikleri, yapılan kimyasal analizlerle belirlenmiş ve bu bitkilerin krom fitoremediasyonunda kullanılıp kullanılmayacağı ortaya konulmuştur. Araştırma sonucunda Mısır (*Zea mays* L.) bitkisinin Cr^{+6} kirleticisi karşısında hiperakümülatör bitki olarak görev yaptığı belirlenmiştir.

1.1. Fitoremediasyon Nedir?

Bitkisel ıslah (yeşil ıslah) olarak da bilinen fitoremediasyon 1991' de terminolojide yerini alarak kirlilik bulunan tarım alanlarında bitkiler aracılığı ile kirliliğin giderilmesinde kullanılan bir uygulama olmuştur. Fitoremediasyon (yeşil ıslah) ekolojik ve ekonomik bir yöntem olduğundan kullanılma durumunda ekstra bir masraf gerektirmemesinden kaynaklı ve kullanılan alanlarda tekrardan uygulanabilir olan özellikleri mevcuttur. İklimsel farklılıklar ve kökün derinliği fitoremediasyon yönteminin kullanılabilirliğinde önemlidir. Toprak özelliklerinin toprakların şartlarına uygun olması bitkilerin kirleticiyi topraktan almasında etkin olmaktadır. Topraktaki pH düzeyi 5,8-6,5 aralığında olması besin elementlerinin bitkiler tarafından alınmasında önemli olmaktadır (Vanlı 2007).

1.2. Metal Kirleticilerin Gideriminde Kullanılan Fitoremediasyon Yöntemleri

1.2.1. Fitoekstraksiyon (Bitkisel özümleme)

İnorganik ya da organik kirleticileri kök ya da gövdelerine alan bazı bitkiler ağır metal kirliliği bulunan toprakların kirliliklerinin giderilmesinde fitoekstraksiyon yöntemini uygulamaktadır. Kirli bölgede yetiştirilen hiperakümülatör bitkinin toprak üstü aksamının hasat edilmesi veya kökünden sökülerek bu etmenleri bölgeden uzaklaştırıp farklı alanlarda bulunan kirlilik etmenlerinin giderilmesinde de geçerli bir uygulama olmaktadır. Bitkilerin toprak üstü ve toprak altı aksamlarının tekrardan kullanılması yapılarında diğer bitkilere göre yüz kat fazla kirlilik oluşturan etmeni tutabilmektedirler. Budanan ve biçilen bu aksamardan tekrardan ağır metal olarak elde edilebildiği gibi gübre olarak da kullanımı yapılmaktadır. Nikel ve altının bu şekilde ABD' de geri kazanımı yapılmaktadır (Sutherson 1999, EPA 2000, Pivetz 2001)

1.2.2. Rizofiltrasyon (Köklerle süzme)

İyi gelişmiş kök yapısı olan bitkiler rizofiltrasyon yöntemi için gereklidir. Toprağın kirlenmesinden daha fazla ağır metallerin sudaki alanlardan uzaklaştırılması nedeni ile rizofiltrasyon yöntemi kullanılmaktadır. Kökler yardımıyla kirleticiler absorbe edilerek bitkinin diğer kısımlarına taşınır ya da bitkilerin kök kısımlarında emilimi gerçekleşmektedir. Bu yöntem için uygulanacak hiperakümülatör bitkiler ekimi yapılmadan önce başka bir yerde kirleticiye uyumuna bakılmaktadır. Temiz bir suda bitkilerin kökleri bekletilerek yeterince gelişmesi sağlanmaktadır. Gelişmiş kök yapısına sahip bu bitkiler kirli su kaynağına konularak uyum sağlamasına bakılmaktadır. Adaptasyon sorunu giderildiğinde kirli bölgeye dikim yapılarak rizofiltrasyon uygulaması yapılmaktadır. Kökler hasat edilerek imha işlemi yapılmaktadır (EPA 1995).

1.2.3. Fitostabilizasyon (Köklerle sabitleme)

Erozyonun olduğu alanlarda genellikle erozyonu engellemek sebebiyle, kirleticilerin yeraltı sularına karışmasını önleyerek toprakla birebir temasını engellemek amacıyla fitostabilizasyon kullanılmaktadır. Bu bölgeye uygun olan hiperakümülatör bitkiler ile toprak alanı bu yöntem için kaplanmalıdır (Bert ve ark. 2005). Fitostabilizasyonun önemli avantajlarından birisi toprak taşınmasını sağlamamasıdır. Bu yöntemin önemli dezavantajlarından birisi ise kirlilik etkenlerinin yıkanarak yeraltı suyuna karışması ya da bölgede uzun zaman kalarak birtakım değişikliklerle taşınabilmesidir (Pivetz 2001).

1.3. Organik Kirleticilerin Gideriminde Kullanılan Fitoremediasyon Yöntemleri

1.3.1. Fitodegradasyon (Bitkisel bozunum)

Bitki yapısına alınan kirletici etmenleri metabolik işlemler esnasında değiştirilmesi olarak tanımlanmaktadır. Kirletici etmeni fitodegradasyon da yapısında bulundurması gerekir. Kökün uç kısımları ve kök civarı ile bu işlem sınırlıdır. Bitki yapısına alınabilen organik formdaki bileşiklerin bitki türü, toprakta kirlilik etmeninin ne kadar süre kalabileceği ve

eriyebilirliği ile fiziksel ve kimyasal yapısına bağlıdır. Bitki tarafında alınan bileşiklerin eriyebilir olması sıkıntıdır. Toprak, çamur ve yeraltı sularında fitodegradasyon kullanılabilir. Bu yöntemin önemli avantajı indirgenme ya da bozulmanın mikroorganizmalara bağlı olmadan bitki içinde gerçekleşmesidir. Zehirli ara ve son ürünler oluşarak bunların zor tespit edilmesi bu yöntemin dezavantajını oluşturmaktadır. Taban suyundaki nitratı uzun kökleri ile alan kavak bir bölümünü atmosfere gaz olarak bırakıp ve azot bulunduran bileşiklerin içeriğine de girmektedir (Pivetz 2001).

1.3.2. Rizodegradasyon (Köklerle bozunum)

Kök çevresindeki organik kirleticilerin mikroorganizmaların çalışması sonucu ayrışması rizodegradasyon olarak tanımlanmaktadır. Toprak mikroorganizmaları ile bitkilerin beraber çalışması sonucu organik kirleticilerin etkinliğini düşürmesi bu yöntemin amacını kapsamaktadır. Mikroorganizmalar organizmaların enerji ihtiyaçlarını sağlamak amacıyla gereksindiği besinleri üreterek, kirlilik etkenlerinin kimyasal yapılarında kök sistemiyle değişim oluşturmaktadır. Yaşamsal faaliyetlerini sağlamak amacıyla bu beraberlik toksik etmenleri devamlı parçalayarak mikroorganizmaları optimal seviyede tutmaktadır. Organik kirleticileri topraktaki mikroorganizmalar ayrıştırarak yapılarında biriktirmektedirler. Kirleticilerin doğal alanlarda yok edilmeleri rizodegradasyonun önemli özelliğidir. Atmosfer veya bitkiye düşük seviyede de olsa taşınmaları olumsuz özelliğini göstermektedir (Söğüt ve ark. 2004).

1.3.3. Fitovolatilizasyon (Bitkisel buharlaşma)

Kökler aracılığı ile ağır metal bulunduran suyu ve organik kirleticileri yapısına alan ağaçlarda, bitkisel buharlaştırma oluşumu gerçekleşmektedir. Bitkilerde biriktirilen kirleticiler fitovolatilizasyon kullanılarak transpirasyon ile doğaya bırakılmaktadırlar. Köklerden alınan su, gövde ve yapraklara taşınmaktadır. Terleme ve gaz haline dönüşerek kirleticiler bitkideki havaya karışmaktadır. Kavak ağaçlarında uygulanan bu çalışma başarılı sonuçlara ulaşıldığı bilinmektedir (Ghosh ve Singh 2004). Fitovolatilizasyon çok zehirli olan bileşikleri daha az zehirli hale dönüştürerek bu yöntemin önemli avantajlarından birini oluşturmaktadır. Ancak çok zehirli olan bu bileşiklerin atmosfere salınması da yöntemin dezavantajı olarak karşımıza çıkmaktadır. Yeraltı suları, çamur, toprak gibi alanlarda da bu yöntem uygulanabilmektedir (EPA 2000).

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. Fitoremediasyon Yöntemiyle Yapılan Kirlilik Giderim Araştırmaları

Eski zamanlardan bu yana insan aktiviteleri sonucu ağır metaller toprak ve atmosferde dağılarak etki göstermişlerdir. Hava ve su kirlilik etkenleri endüstri çalışmaları sonucunda kimyasal yollarla toprağa girmektedirler. Ağır metal kirliliği endüstrileşme ile birlikte giderek artarak önemli seviyelere gelmiştir. Farklı yollarla atmosfere bırakılan ağır metaller yaş ve kuru birikme ile sulara ve yeraltı sularına girerek çevresel dengeyi olumsuz etkilemektedirler (Seven ve ark. 2018).

Dünyada ve ülkemizde ağır metal kirliliği toprak kirliliği bakımından ilk sıralara girmiştir. Tekirdağ'da otoban çevresindeki tarım arazilerinden kobalt ağır metal kirliliğine incelenmiştir. Tarım arazilerinden yolun iki kenarından da 25 tane olacak şekilde 50 toprak numunesi alınarak Co miktarlarına bakılmıştır. Çalışma sonucu Co miktarı 0,008-0,587 mg/kg düzeyinde tespit edilmiştir. Sınır değerlerine bakıldığında kobalt kirliliğinin olduğu saptanmıştır. Bu topraklarında kobalt kirliliğinin temizlenmesi amacıyla fitoremediasyon uygulanması gerektiği önerilmiştir (Adiloğlu ve Sağlam 2015).

Sanayi ve kentleşmenin giderek artması insan kaynaklı ağır metal kullanımını artırmıştır. Ağır metallerin toprak ve suya karışması besin zinciri üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır. Son zamanlarda kirlenmiş toprak ve suyun düzeltilmesi amacıyla farklı yöntemler oluşturulmuştur. Bu sebeple fitoremediasyon ile ilgili yapılan araştırmalar kaynaklarda önemli yere sahiptir. Fitoremediasyon yönteminde Vetiver çimi (*Vetiveria zizanioides* (Linn.) Nash) metal kirliliğinin giderilmesi amaçlı kullanılmış ve çeşitli solucanların biyoremediasyon da ağır metal kirliliğinin giderilme durumu araştırılmıştır. Yapılan araştırmalara bakıldığında Vetiver çimi kökleri ağır metal giderimin de faydalı olduğu ve kirlenmenin farklı bölgelere yayılmasını engelleyerek ekonomik ve ucuz bir yöntem olarak saptanmıştır. Solucanlar ile yapılan araştırmalarda da ağır metali parçalayarak yok ettiği saptanmıştır (Cındık Akıncı ve ark. 2016).

Polat ve ark. (2016)'nın yaptığı bir araştırmada Tekirdağ ili, Muratlı, Çorlu ve Çerkezköy ilçelerinde bulunan birçok fabrika çevresindeki bölgelerden 28 toprak örneği olarak bazı fizikokimyasal analizleri ve ağır metal konsantrasyonları incelenmiştir. Toprak

örneklerinde tekstür, pH, tuzluluk, kireç, organik madde analizlerinin yanı sıra P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Fe, Mn, Mo, Cd, Ni, Pb, Co, Al ve Cr elementlerin analizleri yapılarak sonuçlar istatistiksel olarak yorumlanmıştır. Toprakların pH değerine bakıldığında; hafif asit (5,66-5,92), toprak bünye yapısı tın-killi tın sınıfında, tuzluluk ortalama % 0,023 olarak bulunmuştur. Kireç içerikleri (ortalama % 0,21) değerinde sorun olmayıp 6 toprak örneğinde kireç içeriği az olarak belirlenmiştir. Çalışma yapılan alanlarda ki topraklarda organik madde miktarı % 0,1 < - < % 1,5 değerleri aralığında bulunmuştur. Toplam N < % 0,09 olup az azotlu sınıfında yer almıştır. Ortalama değişebilir potasyum miktarı 140-370 ppm olup yeterli olduğu gözlenmiştir. Toprakların yarayışlı Fe miktarına bakıldığında 44,21 ppm (fazla) grubuna girdiği incelenmiştir. İlçedeki toprakların yarayışlı Cu içerikleri < 0,2 (yeterli) seviyede olduğu bulunmuştur. Araştırma topraklarının yapılan B, Fe, Mn ve Cu içerikleri yeterli Zn değerinin yetersiz olduğu görülmüştür. Ağır metal analizlerinde Ni kirliliği saptanmamıştır. Pb, Cd, Mo değerleri ölçülebilir düzeyde değildir. Tarım arazileri çevresinde bulunan fabrikalar insan ve hayvan sağlığını besin zinciri yoluyla etkileyip aynı zamanda ağır metallerin bitki aksamalarında tutunmasına sebebiyet vermektedir. Bu çalışma sonucunda topraktaki ağır metal kirliliğinin giderilmesinde ve yine insan sağlığına yararlı ürünler yetiştirilmesi için fitoremediasyon (bitkisel iyileştirme) yönteminin uygulanabileceği bildirilmiştir.

Tekirdağ ilinde trafiğin fazla seyrettiği alanlardaki tarım arazilerinden alınan toprakların özellikleri ve istatistiksel oranları üzerine çalışılmıştır. Otoban çevresindeki tarım alanlarından 50 toprak örneği alınarak Cr ve Ni seviyeleri belirlenmiştir. Toprak örneklerindeki Cr seviyesi en az 0,034 mg/kg en fazla 0,390 mg/kg olduğu bulunmuştur. En yüksek Ni içeriğine bakıldığında 7,410 mg/kg en düşük Ni miktarı ise 1,623 mg/kg değerinde tespit edilmiştir. Krom ve nikel miktarlarına bakıldığında bu toprakların üzerinde yetiştirilen bitkilerde zehir etkisi oluşturacak seviyelerde olmadığı bulunmuştur. İstatistiksel olarak kil, pH, kireç Cr ve Ni miktarları % 5 düzeyinde önemli olduğu gözlenmiştir. Cr ağır metali organik madde bakımından önemli olmadığı, Ni ise % 5 seviyesinde önemli olduğu belirtilmiştir (Adiloğlu ve Sağlam 2015a).

Benzer başka bir çalışma da TEM Otoyolu çevresindeki tarım arazilerinin ağır metal içeriğini saptamak amaçlı yapılmıştır. Toprak örneklerinin organik madde miktarlarına bakıldığında ortalama % 1,19, kireç miktarı % 0,00 ile % 31,61 değerlerinde, 7,49 pH ortalaması, değişebilir potasyum içeriği % 97,5 yeterli, % 2,5 fazla olarak bulunmuştur.

Yarayışlı fosfor bakımından % 25'i çok az, % 67,5 yeterli, % 7,5' i fazla, azot oranı % 87,5'inin az % 12,5'i eksik olarak tespit edilmiştir. Mikro elementler ise yarayışlı demir oranı % 90'ı yüksek, mangan içeriği % 72,5'inin az, çinko durumu % 62,5'inde az, bakır bakımından yeterli, kadmiyum, kurşun ve bakır içeriğinin izin verilebilir seviyede, kobalt % 25 kirlilik, kromda ise % 5 kirlilik saptanmıştır (Daşdemir 2015).

Yurdakul (2015)'un yaptığı araştırmada kirlenmiş toprakları hiperakümülatör bitkiler aracılığı ile ıslah yöntemlerini fitoremediasyon olarak tanımlamaktadır. Bitkiler aracılığıyla kirlenmiş alanların giderilmesi ekonomik, çevreye uygun ve insanlar tarafından kullanılabilir bir uygulamadır. Yapılan araştırmada toprak ve sulardaki kirliliğin giderilmesi ve bitki kullanarak kirliliği uzaklaştırmak amaçlı fitoremediasyon yöntemine bağlı kalınmıştır.

Topraklardaki ağır metal kirliliği çevresel kirlilikte en başta karşımıza çıkmaktadır. Tekirdağ ili otoban çevresindeki tarım arazilerinden 50 tane toprak örneği alınarak kobalt, kurşun, nikel, kadmiyum, krom ağır metal miktarları üzerine çalışılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda kurşun 1,346-6,546 mg/kg; kobalt 0,008-0,587 mg/kg; kadmiyum 0,034-0,390 mg/kg; krom 0,012-0,048 mg/kg; nikel 1,623-7,410 mg/kg olduğu tespit edilmiştir. Tespit edilen bu değerlerin sınır değerleri incelendiğinde çalışılan bölgelerde kurşun ve kobalt toksisitesi olduğu bulunmuştur. Kurşunda % 60, kobaltta ise % 52 oranında kirlilik saptanmıştır. Fitoremediasyon (bitkisel iyileştirme) ile bu alanlardaki ağır metal kirliliğinin topraklardan temizlenmesi önerilmiştir (Adiloğlu 2013).

Liang ve ark. (2011)'nın toprakların ağır metal miktarlarının etkilerine ilişkin bir araştırmada 270 tane toprak örneği alınarak ağır metal analizleri saptanmıştır. Bulunan veriler incelendiğinde toprakların Cr miktarı ortalama 28,249 mg/kg, Cd miktarı 1,247 mg/kg, Pb miktarı ise 37,468 mg/kg değerinde bulunmuştur. Çalışma alanındaki ağır metal kirliliği $Cd > Cr > Pb$ şeklinde belirlenmiştir. Belirlenen bu sıralama çalışma alanındaki krom kirliliğinin önemli miktarda olduğunu göstermiştir.

Endüstri alanlardaki krom elementinin fazlaca kullanılması, krom içeriğine karşı çevrenin korkusuna sebebiyet vermiştir. Bitkideki zehir etkisi ve bu elementin alınması kromun oksidasyonuna bağlıdır. Kromun hegzavalent Cr(VI) ve trivalent Cr(III) formunda fitotoksiktir fakat Cr(VI) daha zehirlidir. Kromun meydana getirdiği fitotoksosite tohumun çimlenmesi ve fidenin gelişmesini azaltarak besin-su dengesini etkilemekte aynı zamanda

metabolit birikimine neden olmaktadır. Krom elementi fotosentez ve solunumu olumsuz etkilemektedir (Yıldız ve ark. 2011).

Ağır metal kirliliği çevre ve insan sağlığını etkileyen olumsuz çevre sorunlarından biridir. Toksik elementlerin giderilmesi amaçlı fitoremediasyon yöntemi belirlenmiştir. Ağır metallerin giderilmesi amacıyla oluşturulan fitoremediasyon yöntemi ekonomik ve çevre için zararı olmayan bir tekniktir. Hiperakümülatör olan bitkiler yapılarında yüksek içeriklerde ağır metalleri biriktirmektedir. Bitkilerdeki ağır metal alınımı ve içeriğini moleküler genetik teknolojileri ile daha iyi saptamaya sebep olmuştur. Bitkilerdeki ağır metal alınımı ile ilgili genetik mühendisliğinin kullanılması fitoremediasyonun daha etkin hale getirerek farklı yollar oluşturmaktadır. Ağır metal alınımı hiperakümülatör bitkilerce daha etkin olması üzerine fitoremediasyon özelliklerine benzer bitkilerin oluşturulmasına neden olmuştur (Terzi ve Yıldız 2011).

Wei ve Yang (2010)'ın trafikteki araçların tarımsal alanlardaki ağır metallerin içeriğinin araştırıldığı bir çalışmada toprak örneklerinde Ni, Cr, Pb, Cd, Cu analizlerine bakılmıştır. Yolun boylarından uzaklaştıkça ağır metal kaynaklı kirliliğinde azaldığı sonucuna varılmıştır. Araç trafiğinin fazla görüldüğü yol boylarındaki toprak alanlarında Ni içeriği 27,53 mg/kg, Cr içeriği 58,87 mg/kg, Pb içeriği 37,55 mg/kg, Cd içeriği 0,43 mg/kg, Cu içeriği 31,71 mg/kg düzeyinde bulunmuştur. Yapılan bu çalışma da bulunan değerlerin yüksek olduğu ve insan sağlığına olumsuz etkilerin olabileceği anlaşılmıştır.

Toprakların ağır metal miktarlarına Nijerya' da ki bir araştırmada 32 adet toprak örneği alınarak krom özellikli olarak kurşun, kadmiyum, demir, bakırın içerikleri incelenmiştir. Çalışılan alanlardaki analiz verilerine göre ağır metal içerikleri 0,28 mg/kg ile 10,371 mg/kg değerleri aralığında belirlenmiştir. Alandaki ağır metal kirliliğinin yüksek olduğu ve gereken tedbirlerin alınması çalışma sonucuna göre ulaşılmıştır (Fagbote ve Olanipekun 2010).

Hindistan' da tarımsal alanlarda atık suların kullanılabilirliği ile ilgili bir çalışma yapılmıştır. Araştırma toprağının ve atık suyun içeriğindeki krom seviyesi izin verilebilir düzeyde olduğu saptanmıştır. Araştırmada hayvan pancarı bitkisi kullanılarak uygulama sonucu; atık sular ile sulama yapıldığında toprağın Cr miktarı ve bitkinin Cr miktarı daha çok yaz aylarında olmak üzere zehir etkisinin yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Hayvan

pancarı bitkisinin yenilebilir aksamalarının insan sağlığına olumsuz etkileri olabileceği belirtilmiştir (Sharma ve ark. 2007).

Kurşun, bor ve kadmiyum kirliliği bulunan toprakların Vanlı (2007)'nin yaptığı bir çalışmada fitoremediasyon yöntemi kullanılarak giderilmesi amaçlanmıştır. Mısır, kanola ve ayçiçeği bitkileri ile kurşun, kadmiyum, bor elementleri topraklara ilave edilerek fitoremediasyon yöntemi uygulanmıştır. Şelat verilerek fitoremediasyon etkinliğini yükseltip bitkilerin elementleri temizleme oranları incelenmiştir. Toprağa kg başına 400 mg CdCl₂, 250 mg Pb(NO₃)₂, 100 mg H₃BO₃ verilerek mısır, kanola, ayçiçeği tohum ekimi ve sulamaları yapılarak büyümeleri incelenmiştir. EDTA bitki hasat edilmeden 1 hafta öncesinde toprağa verilmiştir. Gövde ve kökteki bitkilerin bünyesine aldıkları elementlerin tespit edilmesi amacıyla ICP ve AAS cihazları kullanılmıştır. Bitkilerin aldıkları element içerikleri okunan sonuçlara göre belirlenmiştir. Uygulanan Pb, Cd, B kirletici elementlerinin mısır, ayçiçeği ve kanola bitkileri kullanılarak topraktan uzaklaşabileceği anlaşılmıştır. Diğer bir sonuçta bu araştırmada bitkiler karşılaştırıldığında kanola en etkili bitki olduğu ortaya konulmuştur.

2.2. Fitoremediasyon Yoluyla Bazı Bitkiler Üzerinde Yapılan Çalışmalar

Fitoremediasyon yöntemi ağır metallerin topraktan temizlenmesinde pratik ve ekonomik olan bir yöntemdir. Yapılan araştırmada bakır (Cu) elementi ile kirletilmiş toprağın *Xanthium strumarium* L. (pıtrak) bitkisiyle fitoekstraksiyon durumunu saptamak amaçlı yapılmıştır. 0, 100, 200, 400, 800 mg/kg Cu verilen toprakta 45 gün süresince sera şartlarında pıtrak bitkisi yetiştirilmeye çalışılmıştır. Bitkilerin bakır içeriği başta olarak makro ve mikro besin elementi içeriklerine bakılmıştır. Bakır (Cu) verilen bitkiler kontrol ile karşılaştırma yapılarak makro ve mikro elementlerde düşüş olduğu incelenmiştir. Bakır ile kirletilen toprakların temizlenmesinde pıtrak bitkisinin elverişli olduğu tespit edilmiştir (Eren 2018).

Karcık (2017) tarafından organik sertifikalı olan ceviz, badem, fındık, antepfıstığı, ayçekirdeği, kayısı çekirdeği, mısır, kabak çekirdeği kuru yemiş türlerinin bazı ağır metal içeriklerini belirlemek amacıyla bir araştırma yapılmıştır. 120 tane örnek kuruyemiş çeşitlerinden alınarak asit ile beraber yaş yakma yapılarak ICP- OES cihazında Cd, Pb, Ni, Cu, Cr, Zn, Fe, Hg, As ve Sn elementlerinin seviyeleri tespit edilmiştir. Tespit edilen bu değerler istatistiksel olarak kuruyemiş çeşitlerinde P< 0,01 farklılık oluşturmuştur. Tespit edilen

Hg, Sn ve Pb değerleri kuruyemiş çeşitlerinde incelenebilir seviyede olmadığı saptanmıştır. Cd 5,53- 123,78 ppb, Ni 0,24- 1,26 ppm, Cu 8,22- 16,62 ppm, Zn 15,03- 46,37 ppm, Fe 22,06- 67,42 ppm, Cr 444,1- 810,6 ppb, As 1,24- 3,14 ppb aralığında olduğu grlmştr. Bu element düzeyleri literatür verileri ile karşılaştırılarak organik sertifikalı kuruyemişlerdeki ulusal ve uluslararası kodeks içerikleri ile ağır metal seviyeleri incelenip potansiyel kaynaklar değerlendirilmiştir.

Özyürek (2016)'nın yaptığı bir alışma Nevşehir ilinde sulanan bölgelerdeki su kaynaklarının sebze, toprak ve sudaki ağır metallerin toplanması ve evre kirliliğinin saptanması sebebiyle yapılmıştır. Farklı bitkilerin yetiştirildiği tarımsal alanlarda domates (*Lycopersicon esculentum*), biber (*Capsicum annuum*), fasulye (*Phaseolus vulgaris*), soğan (*Allium cepa*) ve araştırma alanındaki sulardan ve bu bitkilerin yetiştirildiği topraklardan 2012-2013 yılları arasında örnekler alınmıştır. Zn, Fe, Cu, Pb, Ni, Cd, Cr miktarları alınan örneklerde ICP- OES cihazı ile belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre Sulusaray bölgesinde *Lycopersicon esculentum* yaprağında Ni içeriği $5,3583 \mu\text{g}^{-1}$ bulunmuştur. Avanos bölgesindeki *Allium cepa*'nın toprak örneğinde $4,7427 \mu\text{g}^{-1}$ ve $4,0840 \mu\text{g}^{-1}$ Zn bulunmuştur. Nar bölgesindeki atık subaşından alınan soğan yaprağı örneğinde $0,0297 \mu\text{g}^{-1}$ Cd ve Avanos biber kök örneğinde ise $0,0287 \mu\text{g}^{-1}$ Cd saptanmıştır. Sebzelerin bazılarında Fe' in sınır değerlerinin üzerinde olduğu Dünya Sağlık rgt bilgilerine göre belirlenmiştir. Kızılırmak suyu ile sulanan Avanos lokasyonunda ağır metallerin yüksek seviyede olduğu, Kavak lokasyonundaki kuyu suyu ile sulanan örneklerde ise ağır metal içeriğinin düşük seviyede olduğu araştırma sonucunda anlaşılmıştır.

zkan ve ark. (2015)'nin yaptıkları bir araştırmada kadmiyumun topraktaki stabilizasyonunu sürdürmek amacıyla piroliz ve fitoremediasyon yöntemleri art arda kullanılmıştır. Mısır, ayçiçeği ve kanola bitkilerinde Cd kirliliği oluşan topraklarda 0, 5, 10 mmol/kg EDTA dozları verilerek fitoremediasyon yöntemi kullanılmıştır. Uygulanan fitoremediasyon yöntemi sonucunda % 89,6-93,5 değerlerinde giderim verimlerine ulaşılmıştır. Cd kirliliği olan bitkiler hasta edildikten sonra 240 cm^3 paslanmaz sabit yatak bir reaktörde $35 \text{ }^\circ\text{C/dk}$ ısıtma hızı ve $500 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de piroliz işlemi sağlanmıştır. Katı ve sıvı örneklerin metal düzeyi piroliz işlemi sonucunda bulunmuştur. Kadmiyumun kirli bitkilerde katı üründe stabilize edildiği piroliz işlemi sonucunda tespit edilmiştir.

Özay ve Mammadov (2013)' un yaptığı bir çalışmada son zamanlarda meydana gelen hızlı nüfus artışı, sanayileşme, evsel ve çevresel alanlarda meydana gelen zararlı atıkların artması sonucu ekosferde ciddi boyutlarda olumsuzluklar meydana getirmiştir. Ağır metallerin toprakta yüksek seviyelerde olması sonucu toprağın elverişliliği ve ekosistemin işlevlerini olumsuz etkileyip aynı zamanda insan ve hayvan sağlığı üzerinde de etkileri olmuştur. Hiperakümülatör bitkilerin ağır metaller ile kirlenmiş toprakların temizlenmesinde önemli etkileri vardır. Bitkilerdeki ağır metallerden kaynaklı meydana gelen toksisite bitki ve element çeşidine, bitkinin ne kadar süre bu etkiye maruz kaldığına, ayrıca bitkinin yapısına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu çalışmada ağır metal kirliliğinin süs bitkileriyle temizlenmesi üzerine çalışılmıştır.

Mücevher (2010)' in yaptığı bir çalışmada su ve toprak içerisindeki ağır metallerin bitkiler ile giderilmesini araştırmıştır. Yapılan çalışmanın birinci aşaması Aslım Mevkii Konya Çöp Depolama Sahası'ndan bitki örnekleri, bitkilerin bulunduğu yerlerdeki toprak örnekleri ve bu bölgede oluşan sızıntı su örnekleri alınmıştır. Konya Merkez Karatay İlçesi Çatal Hüyük Mahallesi Kaş Mevki DSİ çevresinde bitki örnekleri, toprak örnekleri ve kuyu suyundan örnekler alınmıştır. Alınan bu örnekler üzerinde Cd, Pb, Cr, Cu, Ni, Fe, Mn ve Zn ağır metallerin analizleri olmuştur. Araştırmanın ikinci aşaması olarak kromun temizlenmesi amacıyla Gındıra/ Hasır Otu (*Juncus acutus*), Tere (*Lepidium latifolium* L.), Sirken (*Chenopodium album* L.), Kursalık (*Suaeda carnosissima* post) ve Japon Şemsiyesi (*Cyperus alternifolius* L.) bitkileri başta arazide sonrasında sera şartlarında kontrollü olarak yetiştirilmişlerdir. Bu bitkiler Cr₂O₃'ten hazırlanan Cr⁺³ karışımıyla sulanarak krom ağır metalinin bitkiler tarafından alındığı saptanmıştır.

Tarım alanlarındaki ağır metallerin saksı uygulamasında labada bitkisi yetiştirilerek fitoremediasyon uygulaması ile giderilmesi üzerine çalışılmıştır. Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölüm laboratuvarında saksı uygulaması yapılmıştır. 100 mg/kg kirletici Cr(NO₃)₃, Cd(NO₃)₃, Pb(NO₃)₂ saksılara verilmiştir. Labada bitkisinin uygulanan kirleticiyi alımını arttırmak için EDTA şelatı 0, 5, 10, 15 mmol/kg olarak verilmiştir. 60 günlük büyüme süreci sonunda hasat edilerek, labada bitkisinde EDTA şelatının artan dozları kök ve gövde de Cr, Pb, Cd miktarını yükselttiği gözlenmiştir. İstatistiksel yönden % 1 değerinde önemli olduğu tespit edilmiştir. Bu araştırma Tekirdağ'daki tarım alanlarının ağır metal kirliliğinin fitoremediasyon ile giderilebileceği öngörülmüştür (Adiloğlu ve ark. 2015).

Kanola bitkisi kullanılarak Pb, Cd ve Co ile kirletilmiş toprakların fitoremediasyon yöntemi ile giderilmesi amaçlanmıştır. Şansa bağlı tam bloklar desenine göre EDTA şelatı 0, 5, 10 mmol/kg⁻¹ dozlarında 3 tekerrürle 27 saksı üzerinde kurulmuştur. Pb, Cd ve Co ağır metalleri 100 mg/kg⁻¹ konsantrasyonunda saksılara verilerek 30 gün süresince inkübasyona bırakılmıştır. EDTA şelatı tohumların ekiminden bir ay sonra 0, 5 ve 10 mmol/kg dozunda saksılara verilmiştir. 75 gün yetiştirme süreci sonrasında bitkiler hasat yapılarak kök ve gövde kısımlarında analizleri yapılmıştır. Kök ve gövde kısımları için kanola bitkisinin Pb, Cd, Co miktarını uygulanan EDTA şelatı dozunun arttırdığı incelenmiştir (Karakaş 2013).

Pakistan'da yapılan çalışmada buğday bitkisi ile kurşun ağır metalinin topraklardan giderilmesi araştırılmıştır. Sera şartlarında yapılan çalışmada topraktaki kurşun kirliliğinin buğday tarafından alınımını artırmak amacıyla EDTA verilmiştir. Artan dozlarda verilen EDTA şelatının 60 gün sonunda buğday bitkisinin kurşun alımını arttırdığı tespit edilmiştir. Fitoekstraksiyon kullanarak buğday bitkisi ile kurşun kirliliğinin temizlenebildiği saptanmıştır (Saifullah ve Quadir 2009).

Fitoremediasyon uygulaması ile kirli toprakların arıtılması sebebiyle Marchiol ve ark. (2004)'nin turp ve kanola bitkileriyle yaptığı bir çalışmada turp bitkisinin Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn ağır metallerinin temizlenmesinde daha etkili olduğunu saptamışlardır. 0 ve 10 mmol/kg EDTA şelatı verilerek kanola ve turp bitkisinin köklerindeki ağır metal içeriğinin gövde aksamındakinden fazla olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

2.3. Ağır Metallerin Bitkiler İle Olan İlişkisi

Aybar ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada endüstriyel çalışmalardan kaynaklı çevre kirleticilerinin temizlenmesi sebebiyle farklı yöntemler kullanılmaktadır. Hızlı nüfus artışı, kentleşme, sanayileşmeden kaynaklı çevresel kirlilikler insan sağlığını önemli derecede etkilemektedir. Bazı ülkeler son zamanlardaki olumsuz şartlara bakarak daha doğal bir temizleme yöntemi olan fitoremediasyon yaygınlaştırmışlardır. Fitoremediasyon ile var olan kirleticilerinin giderilmesi amaçlı farklı bitkilerin kullanılması olarak tanımlanmıştır. Diğer kirleticiler giderme yöntemlerine göre fitoremediasyon yerinde temizleme sağlayarak daha ucuz maliyetli olması gibi olumlu özellikleri vardır. *Brassica juncea* (Hardal), *Festuca rubra*

(Kırmızı Yumak), *Taraxacum officinale* (Karahindiba) gibi yapılarında ağır metalleri biriktiren bu hiperakümülatör bitkiler gaz halinde çevreye bıraktıkları bilinmektedir. Bu araştırmada ağır metal kirliliğinin topraktan temizlenmesi sebebiyle bu bitki çeşitleri ile fitoremediasyon yöntemi bakımından kullanılabilirliği ortaya konulmuştur.

Birçok ağır metalin artışı suda ve bu bölgelerde yaşayan canlılar öncelikli olarak ekosistemde de tehlike yaratmaktadır. Sanayi faaliyetleri sonucu çıkan materyallerin ve içerisinde bakır bulunan pestisitlerin tarımda kullanılması Cu'nun sucul alanlarda toplanmasına sebep olur. Bakırın bu alanlarda yüksek seviyede bulunması özellikle suda yaşayan canlıları ve Cu metalini bünyelerinde biriktiren canlılarda zehir etkisi oluşmasına neden olmaktadır. Bitkisel iyileştirme olarak tanımlanan fitoremediasyon toksik etki oluşturan durumlarda ve ağır metallerin arıtılmasında kullanılan basit, ekonomik ve doğada fayda sağlayan bir uygulamadır. Laboratuvar şartlarında ve çevre koşullarında birçok fitoremediasyon uygulaması olan su mercimeği (*Lemna minor*) bünyesinde yüksek metal tutma içeriği olan bir çeşittir. Önemli seviyede zehir etkisi bulunan bakırın su mercimeği bitkisi ile kirliliğin giderilmesi amaçlı çalışmalar toparlanarak derlenmiştir (Ustaoglu 2015).

Fitoremediasyon kirli alanların giderilmesi amacıyla hem ucuz hem de çevreye verdiği zarara bakıldığında diğer yöntemlerden daha az olmasından dolayı çalışmalarda tercih edilmektedir. Yapılan bu araştırmada fitoremediasyon yönteminden faydalanarak sulak yerlerdeki bitki bünyesindeki ağır metal alınımı ve bu bölgenin kendini yenilemesine katkı sağlamak istenmiştir. Deneme Küçükçekmece Lagünü'nün Sazlıdere akarsuyunda yapılmıştır. Araştırmada bitkinin bulunduğu yerden su ve sediment örnekleri alarak fitoremediasyonun bu bölgedeki önemlilik seviyesinin bulunması amaçlanmıştır. Uygulamada bu bölgedeki ağır metaller incelenerek çevreye zarar vermeyeceği tahmin edilen *Cryptocoryne undulata* ve *Echinodorus amazonicus* bitkileriyle temizlenmenin sağlanması amaçlanmıştır (Ca, Fe, Cr, Mn, Mg, Ni, Cu, Cd, Pb ve Zn) elementlerinde su, sediment ve bitki örneklerindeki seviyeleri incelenmiştir (Aliyeva 2014).

Doğanın kirlenmesine neden olan ağır metallerin sadece bitkileri değil aynı zamanda ekosistemde hayatını sürdüren diğer canlıları da etkilemektedir. Yıllarca insanlar ağır metallerin zararlı etkilerini bilmeden çeşitli dallarda kullanmışlardır. Kentleşme, sanayileşmeyle birlikte ağır metal içeriğine sahip olan yakacakların kullanılması, trafik yoğunluğunun artarak arabaların egzozlarından çıkan gazlar, birçok farklı kirleticinin artması gibi ağır metallerinde artış göstererek ciddi boyutlara ulaşmıştır. Ağır metaller besin zincirini

dolaşarak ekosistemde yüksek miktarda uzun zaman kalabilmektedirler. Ağır metallerin doğada varlıklarına bakıldığında çevredeki zarar vermesine ve bunların yayılmasına insanların neden olduğu düşüncesi vardır. Ağır metallerin fazlaca bulunması bitkileri ve elde edilen ürünleri etkileyerek tehlike içermektedir. Bu araştırmada ağır metaller ve bitkilerin birbiri ile ilişkisi incelenmiştir (Okçu ve ark. 2009).

Toprakların temizlenmesinde kullanılan birçok yöntemin maliyetli olması sebebi ile yeni yöntemler geliştirilmiştir. Doğadaki kirleticilerin bitkileri kullanarak giderilmesine fitoremediasyon denir. İnorganik kirleticilerin arıtımında sık sık kullanılan fitoremediasyon organik maddeleri de bileşenlerine ayırmada olumlu etkileri olduğunu göstermiştir. Bu araştırmada fitoremediasyon uygulaması ile temizlenebilen organik bileşenler ve temizlemeyi sağlayan *Populus sp*, *Hordeum vulgar*, *Catharanthus roseus*, *Lolium perenne*, *L. italicum*, *Myriophyllum aquaticum*, *Solanum nigrum*, *Populus deltoides*, *Koeleria cristata*, *Glycine max*, *Myriophyllum spicatum*, *Elodea canadensis* bitki çeşitleri tespit edilmiştir. Fitoremediasyon uygulamasındaki yararlı ve zararlı yönleri ortaya çıkarılmıştır. Bulunduğu alanda temizleme sağlanması fitoremediasyon yönteminin en önemli avantajlarından biridir. Fitoremediasyon yönteminin toprak, su ve sediment alanlarının sığ yerlerinde temizleme imkanı sağlamaktadır. Mekanik temizleme yöntemine göre yavaştır (Alyüz ve ark. 2008).

Ayhan ve ark. (2006) yüksek içeriklerdeki ağır metallerden etkilenen bitkilerde görsel ve yapısal olarak farklılıklar oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Metallerin moleküllere bağlanması sonucu ve serbest oluşum durumunu arttırmasından kaynaklı ağır metal zararı oluşmaktadır. Bu zarardan korunma amaçlı metal alınımını engelleme, direnç gösterme ve birikme gibi çeşitli yollarla olmuştur. Ağır metalden etkilenme boyutu bitkinin çeşidine, sebep olan ağır metal türüne ve içeriğine bağlı değişkenlik gösterdiği incelenmiştir. İnsan faaliyetleri sonucu başta kadmiyum ve civa olmak üzere bu tür metaller çok düşük içeriklerde bile canlıları olumsuz etkileyerek ölümlerle bile sonuçlanabilmektedir. Bu sebeple özellikle metal biriktiren bitkiler kullanılarak çevredeki kirliliğin giderilmesi, bitkilerde metal dayanıklılığı olan çeşitlerin belirlenmesi, insanlardan kaynaklı kirliliğin daha ileri seviyelere ulaşmadan tüm canlılar için önlenmesinde önemli bir yer alacaktır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Birinci denemenin kurulması ve yürütülmesi

Araştırma Atatürk Toprak, Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma Müdürlüğüne ait deneme arazilerinden 0-30 cm derinliğinden alınan toprak örnekleriyle 3 tekrarlamalı olarak 'Tam Şansa Bağlı' deneme planına göre yapılmıştır. Deneme Atatürk Toprak, Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma Müdürlüğü'nün seralarında Nisan-Haziran 2016 tarihleri arasında kurulmuştur. Bitki materyali olarak ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) ve mısır (*Zea mays* L.) bitkisi, toprak kirleticisi olarak da krom ağır metali denemede kullanılmıştır. Uygulanan kirletici 150 mg/kg Cr olacak şekilde (CrO_3) saksılara verilmiştir. Daha sonra kirletici parametresinin toprakta emiliminin sağlanması amacıyla 30 gün süreyle inkübasyona bırakılarak, kirleticinin uygulandığı saksılardaki topraklardan örnek alınarak ekstrakte edilebilir Cr analizi yapılmıştır. Saksılara bitki tohumları 10 adet olacak şekilde ekimi yapılmıştır. Ancak ayçiçeği bitkisinde krom ağır metalini tolere edememesinden kaynaklı çimlenme gözlenmemiştir (Şekil 3.1., Şekil 3.2., Şekil 3.3., Şekil 3.4.).



Şekil 3.1. Saksılara 150 mg/kg krom kirleticisinin uygulanması (orijinal)



Şekil 3.2. Denemede kullanılan mısır (*Zea mays L.*) tohumu (orijinal)



Şekil 3.3. Mısır tohumunun saksılara ekilmesi (orijinal)



Şekil 3.4. 150 mg/kg krom kirleticisi uygulanan saksılardaki mısır bitkisi görünümü (orijinal)

3.1.2. İkinci denemenin yürütülmesi

Araştırma Atatürk Toprak, Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü' ne ait deneme arazilerinden 0-30 cm derinliğinden alınan toprak örnekleriyle 3 tekrarlamalı olarak 'Tesadüf Blokları' deneme planına göre yapılmıştır. Deneme Temmuz-Ağustos 2016 tarihleri arasında Atatürk Toprak, Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma Müdürlüğü' nde laboratuvar koşullarında kurulmuştur. Bitki materyali olarak ayçiçeği ve mısır bitkisi, toprak kirleticisi olarak da krom ağır metali denemede kullanılmıştır. Uygulanan kirletici 100 mg/kg Cr olacak şekilde (CrO_3) saksılara verilmiştir. Daha sonra kirletici parametresinin toprak emiliminin sağlanması amacıyla 30 gün süreyle inkübasyona bırakılarak, kirleticinin uygulandığı saksılardaki topraklardan örnek alınarak ekstrakte edilebilir Cr analizi yapılmıştır. Saksılara bitki tohumları 10 adet olacak şekilde ekimi yapılmıştır. Ancak ayçiçeği bitkisinde krom ağır metalini tolere edememesinden kaynaklı çimlenme gözlenmemiştir. Ayrıca denemede kullanılması için hazırlanan Cr çözeltisi de Şekil 3.6' da verilmiştir.



Şekil 3.5. 100 mg/kg krom kirleticisi uygulanan saksılardaki mısır bitkisinin görünümü (orijinal)



Şekil 3.6. Denemede kullanılan saksılara verilen krom çözeltisi (orijinal)

3.1.3. Üçüncü denemenin yürütülmesi

Araştırma Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesine ait deneme arazilerinden 0-20 cm derinliğinden alınan toprak örnekleriyle yürütülmüştür. Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölüm Laboratuvarında Eylül- Ekim 2016 tarihleri arasında ‘Şansa Bağlı Tam Bloklar’ deneme planına göre 3 tekrarlamalı olarak yapılmıştır. Araştırmada 2 bitki x 3 tekerrür x 5 farklı doz EDTA (0, 10, 20, 40, 80 mmol/kg): 30 adet saksı yer almıştır. Uygulanan kirletici olarak 30 mg/kg Cr olacak şekilde (CrO_3) verilmiştir. Daha sonra kirletici parametresi doğal şartlarda toprakta kirlilik etmenleri oluşması ve topraktaki kirleticinin emilimi için 30 gün inkübasyon sonrası kirleticinin uygulandığı alandan toprak örneği alınarak Cr analizi ekstrakte edilebilir şekilde yapılmıştır. EDTA uygulaması bir aylık gelişim periyodundan sonra yapılarak ekimden önce bitkilerde olması gereken N, P ve K ihtiyaçları toprakta bulunan yarayıklı miktarları da dikkate alınarak; azot ihtiyacı için amonyum nitrat gübresinden (150 mg/kg N), fosfor ihtiyacı için triplesüperfosfat gübresinden 100 mg/kg (P_2O_5) ve potasyum ihtiyacını karşılamak için ise potasyum sülfat gübresi (125 mg/kg K_2O) olarak saksılara uygulanmıştır. Bu araştırmada; bitki materyali mısır (*Zea mays* L.) ve ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) olarak kullanılmıştır. Bitki tohumları 10 adet olarak direkt saksılara ekimi yapılmıştır. Ancak ayçiçeği bitkisi krom ağır metalini tolere edememesinden kaynaklı çimlenme gözlenmemiştir. Mısır bitkisinin çimlenmesinden sonra seyreltilmesi her saksıda 4 tane bitki bırakılacak şekilde yapılmıştır. Mısır bitkisi 60 günlük büyüme süresi sonunda hasat işlemi gerçekleştirilerek saksılardaki bitkilerin yaş ve kuru ağırlıkları tespit edilmiştir. Bitki örnekleri kuru ağırlıkları belirlendikten sonra öğütülerek, Cr(VI) ağır metali analizi, makro besin elementi (Ca, P, K, S, Mg) ve mikro besin elementi (Zn, Fe, Mn, Cu) analizleri yapılmıştır (Şekil 3.7., Şekil 3.8., Şekil 3.9.).



Şekil 3.7. Krom ve EDTA uygulamalarının mısır bitkisi üzerine etkisinin görünümü (orijinal)



Şekil 3.8. Krom kirleticisi (30 mg/kg) verilen saksılardaki ayçiçeği bitkisinin görünümü (orijinal)



Şekil 3.9. Cr(VI) kirleticisi (30 mg/kg) uygulanan saksılardaki mısır bitkisinin görüntüsü (orjinal)

3.1.4. Denemede uygulanan şelat ve özellikleri

Topraktaki kirliliğin çözünürlüğünü artırmak ve bitki tarafından daha fazla alınmasını sağlamak amacıyla şelatların kullanılabileceği belirtilmiştir. EDTA şelatı fitoekstraksiyon denemelerinde kullanılmaktadır. Şelatların bir diğer özelliği de topraktaki metalleri ayırarak ya da çökelmiş olan metalleri daha fazla çözünür hale getirerek topraktaki metal iyonlarının bitkiler tarafından alınımını artırmaktadır (Prasad 2003).

3.1.5. Denemede kullanılan bitki ve özellikleri

3.1.5.1. Mısır (*Zea mays* L.)

Mısır (*Zea mays* L.) tek yıllık bitkilerdendir. Su tutma kapasitesi yüksek topraklardan iyi verim elde edilmektedir. Organik maddesi fazla saçak köklü bir bitki çeşididir. Kök uzunlukları yatayda 122 cm dikeyde ise 249 cm' e kadar bulunabilmektedir (Kacar 1989). Mısır bitkisi sıcak ve nemli yerleri seven ayrıca ülkemizde de en fazla Karadeniz ve Akdeniz bölgesi başta olmak üzere Anadolu' da da ekimi yapılmaktadır (Şekil 3.10.).



Şekil 3.10. Mısır bitkisini tarladaki görüntüsü (orijinal)

3.1.6. Denemede kirletici olarak kullanılan ağır metal

Denemede 30 mg/kg Cr (VI) kirletici olarak saksılara uygulanmıştır. Krom ağır metali fotosentez ve solunumu olumsuz etkileyerek tohumun çimlenmesini ve fidenin büyümesini engelleyip besin-su dengesini de bozmaktadır. Toprakta Cr(III) ve Cr(VI) halinde bulunan krom ağır metali toksik durumlarına ve kimyasal yapılarına göre sınıflandırılmaktadır. Cr(III) çok fazla toksik etkisi bulunmayan fonksiyonel elementlerden (Karaman 2012) olup Cr(VI)

oldukça toksik etkisi bulunan bir metaldir. Yüksek içeriklerdeki Cr(VI)' un mikrobiyal hücre yapısında zararlı olduğu ve mikrobiyal nüfusta da değişimlere sebep olduğu anlaşılmaktadır (Asri ve Sönmez 2006).

Hekzavalent Cr(VI) ve trivalent Cr(III) şeklinde isimlendirilen kromun iki farklı fitotoksik formu bulunmaktadır. En fazla toksik etkisi bulunan Cr(VI) olup genellikle (CrO_4^{-2}) kromat ve $(Cr_2O_7^{-2})$ dikromat olarak O^{-2} ile ilgili oluşmaktadır. Yüksek toksik etkisi bulunan krom ağır metali metabolik zararlara, büyümede gerilemeye ve organellerde yapısal bozunumlara sebebiyet vermektedir (Shanker ve ark. 2005).

Hekzavalent krom Cr(VI), civa (Hg), kadmiyum (Cd), kurşun (Pb) fazla toksik etkiye sahip ağır metallere aittir. Nikel (Ni) canlıların gelişimine etki eden ağır metal olup, bakır (Cu), demir (Fe), çinko (Zn) gibi ağır metaller canlıların gelişimi için mutlak gereklidir. Bu ağır metaller yüksek seviyelerde görüldüğünde toksik etkileri mevcuttur. Çevrede ciddi boyutlarda olan ve son 50 yılda kullanımlarının artması sebebiyle endişe oluşturmaktadırlar (Lothe ve ark. 2016).

3.2. Yöntem

3.2.1. Kuru madde miktarı

Denemede bitkiler hasat edildikten sonra kuru madde miktarlarını belirlemek amacıyla, 70 °C'de 2 gün kurutulma süresinden sonra ağırlıkları tartılarak bulunmuştur (Kacar ve İnal 2010).

3.2.2. Bitki analizleri

Hasat edilen kurtulup öğütülen mısır bitkisi örneklerinde bazı makro bitki besin elementleri ile (P, K, Ca, Mg, S) ile bazı mikro bitki besin elementleri (Fe, Cu, Zn, Mn) analizleri ve Cr ağır metali içeriklerini belirlemek için nitrik perklorik asit karışımı ilave edilerek yaş yakma yapıldıktan sonra (Kacar ve İnal 2010) ICP-OES cihazında belirlenmiştir.

3.2.3. Toprak analizleri

Denemedeki toprak örneğinin pH içeriği toprak-su 1-2,5 oranına göre pH metre ile belirlenmiştir (Sağlam 2012). Toprakların tuz içerikleri elektriksel iletkenlik ölçer cihazı ile tespit edilmiştir (U.S. Soil Survey Staff 1951). Denemede kullanılan toprak örneklerinin tekstürleri Bouyoucos'un önerdiği yönteme göre saptanmıştır (Tuncay 1994). Topraktaki kireç içerikleri Scheibler kalsimetresi ile volümetrik olarak tespit edilmiştir (Sağlam 2012). Denemede kullanılan toprak örneklerinin organik madde içerikleri Smith-Weldon yöntemiyle bulunmuştur (Sağlam 2012). Bitkiye yarayışlı fosfor değerleri Olsen yöntemine göre oluşturulan çözeltiler (Sağlam 2012) ICP-OES' de okunarak fosfor değerleri saptanmıştır (Olsen ve Summers 1982). Toprak örnekleri amonyum asetatla çalkalanıp ekstrakte edilerek (Sağlam 2012) ICP-OES cihazında okunan değişebilir K, Ca, Mg içerikleri bulunmuştur. Lindsay ve Norvell'in (1978) önerdiği DTPA ekstraksiyonu ile çözeltideki ekstrakte Fe, Cu, Zn, Mn, S içerikleri ICP-OES cihazında okunmuştur. Lindsay ve Norvell'in (1978) önerdiği DTPA yöntemiyle toprakların çözeltiyeye geçen Cr içerikleri ICP-OES cihazında belirlenmiştir.

3.2.4. İstatiksel analiz

Denemeden elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktarılmış ve verilere ilişkin analizler PASW® Statistics 18 for Windows istatistik paket programı kullanılarak yapılmıştır. Gruplar arasındaki farklılığı ölçmek için veriler varyans analizine (ANOVA) tabi tutulmuş, önemli görülen ortalamalara ait verilere Duncan Multiple Range testi uygulanmıştır. Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.3., Çizelge 4.4., Çizelge 4.5., Çizelge 4.7., Çizelge 4.8., Çizelge 4.9., Çizelge 4.10., Çizelge 4.11. ve Çizelge 4.12' de verilmiştir. Sonuçları verilen bulgular için, istatistiksel olarak $p < 0,05$ altında olan değerler anlamlı kabul edilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Araştırmada Kullanılan Toprak Örneklerinin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Değerleri

Araştırmadaki toprak örneğinin kimyasal ve fiziksel analizleri yapılarak aşağıda Çizelge 4.1. de verilen sonuçlar bulunmuştur.

Çizelge 4.1. Araştırmadaki toprak örneğinin kimyasal ve fiziksel analiz değerleri

Parametre	Sonuç	Birim	Değerlendirme
pH	7,72	-	Hafif Alkalin
Tuz	0,08	%	Düşük
Kireç	0,70	%	Az
Kum	33,33	%	Killi-Tın
Silt	32,13	%	
Kil	34,53	%	
Organik Madde	0,58	%	Yetersiz
Yarayışlı Fosfor (P)	20,42	mg/kg	Yeterli
Değişebilir Potasyum (K)	50,98	mg/kg	Az
Değişebilir Kalsiyum (Ca)	170,3	mg/kg	Çok az
Değişebilir Magnezyum (Mg)	60,1	mg/kg	Yeterli
Yarayışlı Kükürt (S)	0,04	mg/kg	Yetersiz
Yarayışlı Bakır (Cu)	0,58	mg/kg	Yeterli
Yarayışlı Demir (Fe)	2,61	mg/kg	Orta
Yarayış. Mangan(Mn)	5,60	mg/kg	Yeterli
Yarayışlı Çinko (Zn)	3,25	mg/kg	Yeterli
Çözünebilir Krom (Cr)	0,80	mg/kg	Toksik değil

Çizelge 4.1.'de görüldüğü üzere toprak örneklerinin tekstür sınıfı killi tın olarak bulunmuştur. Denemede kullanılan toprak örneğinin pH'sı hafif alkalin, organik maddesi yetersiz, kireç miktarı az, tuzluluk tehlikesi görülmeyen bir topraktır. Yarayışlı fosfor miktarı yeterli ve değişebilir potasyum içeriği ise az düzeydedir. Değişebilir Ca miktarı çok az, değişebilir Mg bakımından yeterli, yarayışlı Fe içeriği orta, yarayışlı Mn, Zn, Cu miktarları

yeterli ve yararlılık kükürt içeriği ise yetersiz sınıfta yer almaktadır (Anonymous 1980, FAO 1990, TOVEP, 1991).

4.2. Krom Ağır Metalinin Deneme Süresindeki Topraktaki Değişimi

Saksılara verilen ağır metalin emilimi gerçekleşmek üzere kontrollü koşullarda yürütülen denemeleri saksılara krom ağır metali uygulanmadan önce topraklarda ekstrakte edilebilir Cr içeriği belirlenmiştir. Daha sonra 30 mg/kg Cr uygulamasından sonra 30 gün inkübasyon süresi tanınmıştır. 30 gün inkübasyon süresi bitiminde her bir saksıdan toprak örneği alınarak ağır metal analizleri saptanmıştır. Bulunan sonuçlar Çizelge 4. 2.'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Denemede kullanılan topraklarda inkübasyon öncesi ve sonrası Cr değerleri, mg/kg

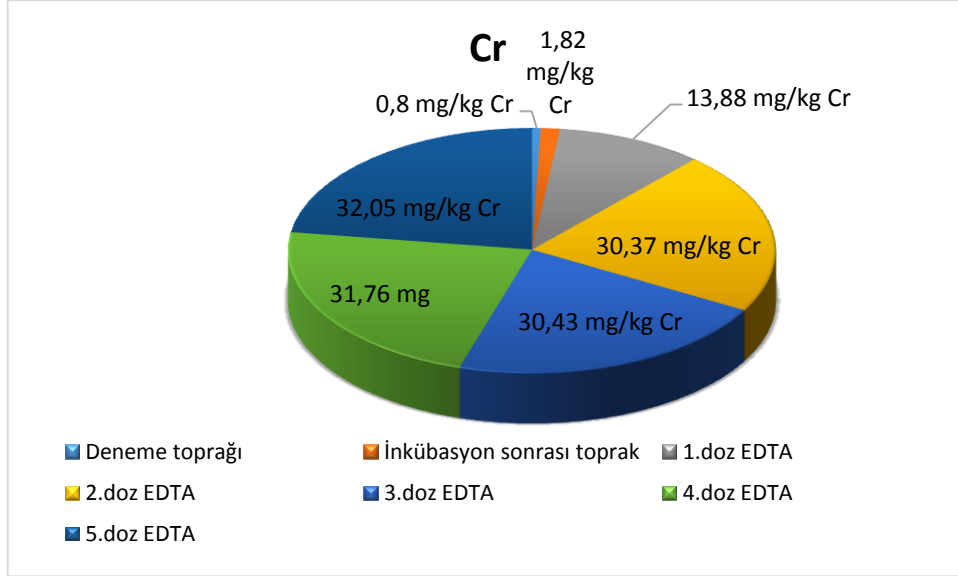
Ağır Metal	İnkübasyon Öncesi	İnkübasyon Sonrası
Cr	0,8	1,82

Çizelge 4.2.'den de görüldüğü üzere inkübasyon öncesi topraktaki değeri düşük olan Cr'un ekstrakte edilebilir değeri 30 günlük inkübasyon sürecinde değişiklik göstererek yükselmiştir. Cr ağır metalinin sınır değerine baktığımızda toksik etki oluşturabileceği görülmektedir. Çünkü krom ağır metalinin topraktaki izin verilen ekstrakte edilebilir miktarı 1 mg/kg'ı geçmemesi gereklidir (Bowen 1966).

Son zamanlarda hızla gelişen sanayi ve kentleşme beraberinde ağır metal toksisitesinin de artmasına ve ekoloji içinde risk faktörü haline gelmiştir. Sanayinin pek çok kolunda krom, nikel, uranyum, kurşun, civa, kobalt, kadmiyum, bakır gibi ağır metallerin seviyeleri artmış ve doğal ortamlara verilmektedir. Sanayi ürünlerinin çıktılarının oluşumu sonucunda işlenmemiş atıkların ekolojiye ciddi negatif etkileri bulunmaktadır (Gavrilescu 2004).

Bryan (1980)'a göre ağır metal toksisitesi potansiyel kirlilik kaynağı ve zehirdir. Araştırmacı ağır metallerin zehirlilik sırasının Hg, Ag, Cu, Cd, Zn, Pb, Cr, Ni, Co şeklinde olduğunu belirtmektedir.

Şekil 4.1.'de mısır bitkisinin yetiştirildiği saksılardan hasat sonrası alınan toprak örneklerinin Cr değerleri gösterilmiştir. Verilen kirleticinin toksik olduğu görülmektedir.



Şekil 4.1. Mısır bitkisinin yetiştirildiği saksılardan deneme toprağı, inkübasyon sonrası toprak ve bitki hasat sonrası alınan toprak örneklerinin Cr değerleri

Farklı dozlarda saksılara uygulanan EDTA'nın gövdedeki ortalama krom içeriği % 13,88 olarak bulunmuştur. Şekil 4.1.'de de görüldüğü üzere topraktaki Cr miktarı EDTA dozundaki artışa paralel olarak artış olmuştur. Krom içeriği ortalama olarak en yüksek 80 mmol/kg EDTA dozunda 32,05 mg/kg olarak bulunmuş bunu takiben 40 mmol/kg EDTA dozunda 31,76 mg/kg, 20 mmol/kg EDTA dozunda 30,43 mg/kg krom, 10 mmol/kg EDTA da 30,37 mg/kg, en düşük krom içeriği ise gövdenin 0 mmol/kg EDTA dozunda 13,88 mg/kg ile tespit edilmiştir (Şekil 4.1.).

4.2.1. Krom ağır metali ile kirletilmiş ve EDTA şelatı uygulanan mısır bitkisinin yaş ağırlığı ve kuru madde miktarı üzerine etkisi

Araştırmada 30 mg/kg CrO₃ ağır metali ile kirletilen topraklarda yetiştirilen mısır bitkisinin kök ve gövde kuru madde ve yaş ağırlığı üzerindeki farklı dozlarda (0, 10, 20, 40, 80 mmol/kg) uygulanan EDTA'nın etkileri istatistiksel olarak % 5 düzeyinde önemli olduğu

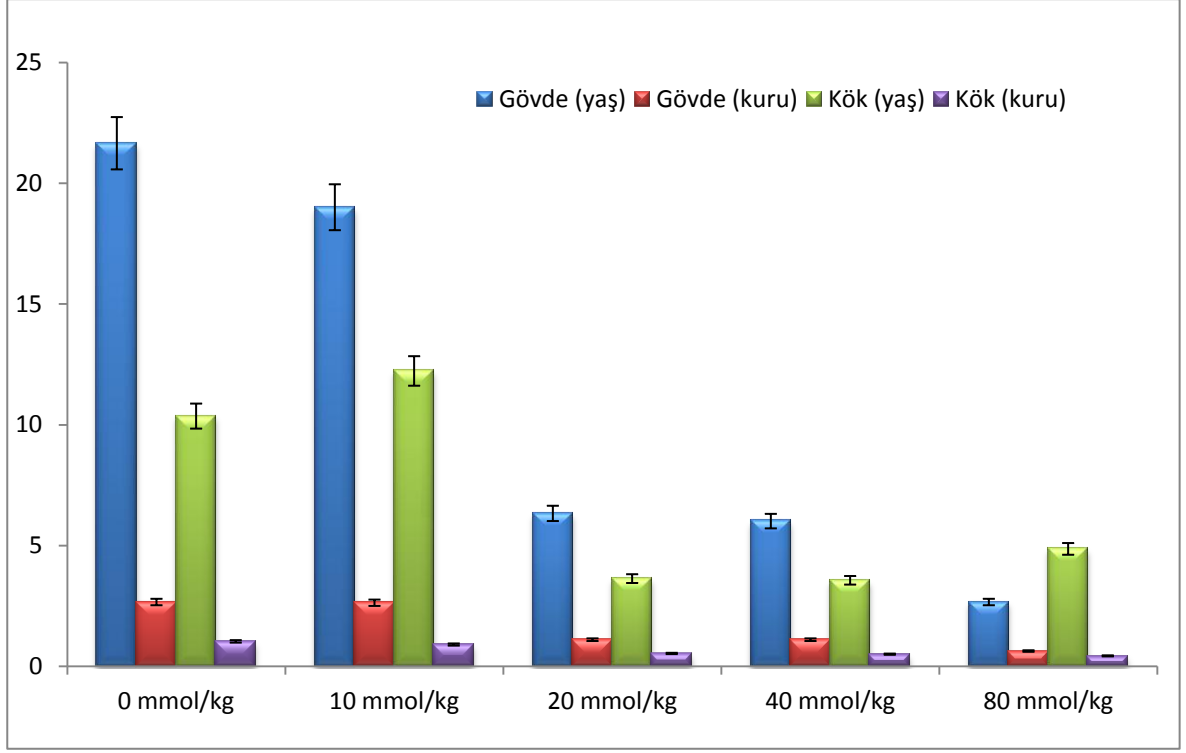
görülmüştür. Mısır bitkisinin yetiştirildiği topraklara uygulanan EDTA dozu arttıkça kök ve gövde kuru madde miktarında azalma meydana gelmiştir (Çizelge 4.3.)

Çizelge 4.3. Krom ağır metali ile kirletilmiş ve EDTA şelatı uygulanan mısır bitkisinin kuru ve yaş madde miktarı üzerine etkisi, gr, *,**

EDTA Uygulamaları	Gövde (yaş)	Gövde (kuru)	Kök (yaş)	Kök (kuru)
Kontrol	59,01±13,45b	7,53±1,73b	20,66±1,76c	1,40±0,32b
0 mmol/kg	21,66±2,02b	2,66±0,16b	10,36±1,79c	1,03±0,26b
10 mmol/kg	19,01±3,21b	2,63±0,46b	12,23±0,94c	0,9±0,18b
20 mmol/kg	6,33±1,33b	1,10±0,11b	3,63±0,26b	0,53±0,01ab
40 mmol/kg	6,01±1,01b	1,10±0,15b	3,56±0,60b	0,50±0,06ab
80 mmol/kg	2,66±0,66a	0,63±0,08a	4,86±0,71a	0,43±0,06a

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

Çizelge 4.3' e göre mısır bitkisinin gövde aksamındaki kuru madde miktarının köke ait kuru madde miktarından yüksek olduğu belirlenmiştir. Bitkinin kök ve gövde aksamında da 0 mmol/kg EDTA dozunun uygulandığı topraklarda en yüksek değerler bulunmuştur. EDTA dozunun artan uygulamaları ile birlikte mısır bitkisinin kuru madde miktarında önemli sayılabilecek miktarda azalma olduğu incelenmiştir. EDTA dozundaki artmadan kaynaklı meydana gelen azalmalar, ağır metal ve mikro elementlerin alınabilirlik miktarının artmasına bağlı olarak besin elementlerinin alımı arasındaki dengenin bozulmasının sonucu olarak kabul edilmektedir. Şekil 4.2.'de kök ve gövde aksamlarındaki kuru madde miktarı verilmiştir.



Şekil 4.2. Farklı EDTA uygulamasının ve krom kirleticisinin mısır bitkisinin kök ve gövde aksamlarındaki kuru madde miktarı üzerine etkisi

Fizyolojik olarak ağır metal (Cr) kirliliğinde ilk etkilerin görülmesi bitkinin çimlenmesi olduğu ifade edilmektedir. Krom ağır metali bitkide amilaz enzim aktivitesini ile birlikte şeker taşınımını da olumsuz etkileyerek bitkinin fizyolojik olaylarından en önemli faaliyetlerinden olan çimlenmeyi durdurmaktadır. Diğer yandan krom ağır metali bitkinin köklerinde bölünme, uzama gibi parametrelerine etki ederek kök gelişimini negatif olarak etkilemektedir. İyi bir kök gelişimi sağlayamayan bitkiler toprak çözeltilisinden yeterince bitki besin maddesi ve su alamayarak bitki gelişimini etkilemektedir. Bu durum bitkilerde kalite ve verim azalmasına yol açmaktadır (Khan ve ark. 2000, Jain ve ark. 2000).

4.2.2. Artan dozlarda EDTA uygulanan saksılarda mısır bitkisinin gövde aksamındaki krom elementi içerikleri

Denemede, kirlenmiş topraklara uygulanan EDTA şelatının mısır bitkisinin toprak üstü aksamındaki Cr^{+6} içerikleri Çizelge 4.4. de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Krom ağır metali ile kirletilmiş saksılarda mısır bitkisinin gövde aksamında krom elementi içerikleri, mg/kg, *, **

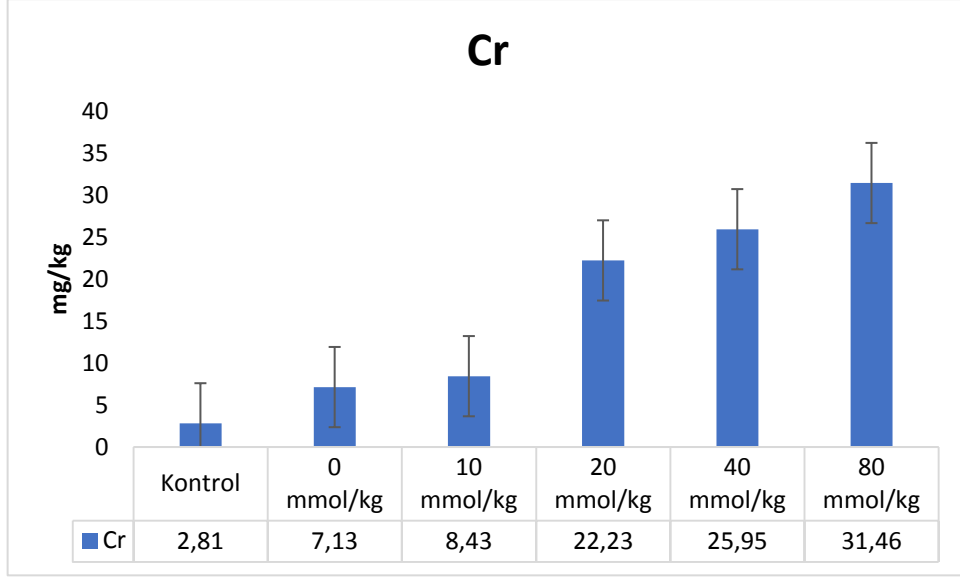
EDTA Uygulamaları Gövde	Cr
Kontrol	2,81±1,05b
0 mmol/kg	7,13±0,29b
10 mmol/kg	8,43±1,86b
20 mmol/kg	22,23±8,26a
40 mmol/kg	25,95±2,42a
80 mmol/kg	31,46±4,01a

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

Farklı dozlarda saksılara uygulanan EDTA'nın gövdedeki ortalama krom içeriği 2,81 mg/kg olarak bulunmuştur. Çizelge 4.4.'te de görüldüğü üzere mısır bitkisinin gövde kısmındaki Cr miktarı EDTA dozundaki artışa paralel olarak artış olmuştur. Krom içeriği ortalama olarak en yüksek 80 mmol/kg EDTA dozunda 31,46 mg/kg olarak bulunmuş bunu takiben 40 mmol/kg EDTA dozunda 25,95 mg/kg iken 20 mmol/kg EDTA dozunda 22,23 mg/kg krom, 10 mmol/kg EDTA da uygulamasında 8,43 mg/kg iken en düşük krom içeriği ise gövdenin 0 mmol/kg EDTA dozunda 7,13 mg/kg ile tespit edilmiştir (Çizelge 4.4.). Bu durum kirletilmiş topraktaki EDTA uygulamalarının alınabilir Cr içeriğini artırdığını ve bitki tarafından da yüksek miktarda alındığı belirlenmiştir. Bu bulgular istatistiksel olarak % 5 düzeyinde önemli bulunmuştur. Bu sonuç benzer çalışmalar ile paralellik göstermektedir (Adiloğlu ve ark. 2015a).

Wallace ve ark. (1976)'a göre Cr ağır metali açısından hiperakümülatör olan bitkiler bünyelerine yüksek miktarda krom almaktadır. Araştırmacıya göre krom toksisitesi görülen bitkilerde Cr içeriği 1 ile 4 mg/kg arasında olduğu bitki kök bölgesinde bu miktarın daha fazlasının bulunduğu belirlenmiştir.

Şekil 4.3 de artan dozlarda şelat uygulamasının mısır bitkisinin gövde aksamındaki krom içerikleri ve standart sapmaları verilmiştir.



Şekil 4.3. Artan dozlarda şelat uygulamasının mısır bitkisinin gövde aksamında krom elementi içerikleri, mg/kg

4.2.3. Artan dozlarda EDTA uygulanan saksılarda mısır bitkisinin kök aksamındaki krom elementi içerikleri

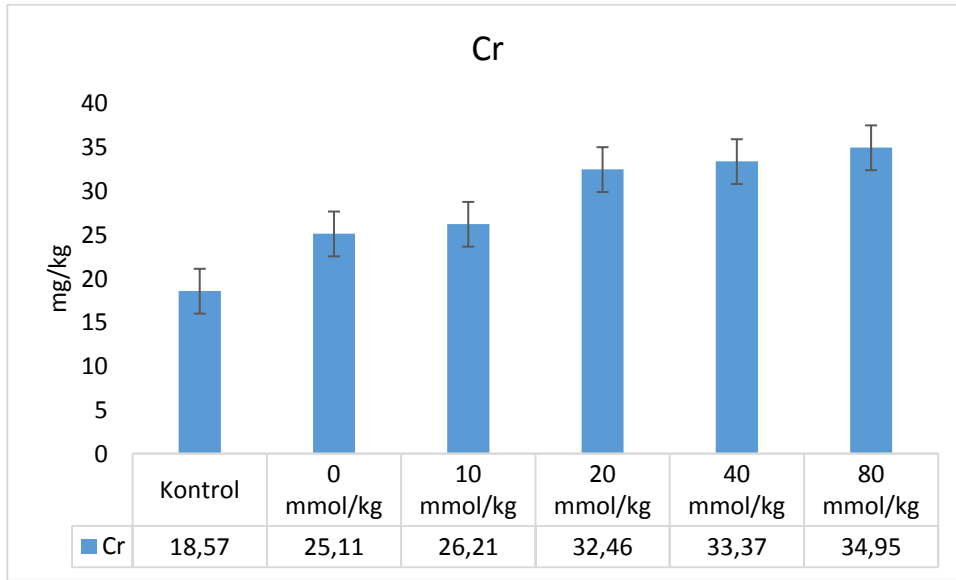
Şelat (EDTA) uygulamalarının Cr^{+6} ile kirlenilen saksılarda yetiştirilen mısır bitkisinin kök aksamındaki krom ağır metal içerikleri Çizelge 4.5.' de verilmiştir. Sonuçlarda da görüldüğü üzere kökün ortalama Cr miktarı kontrolde 18,57 mg/kg olarak bulunmuştur. EDTA dozlarına bakıldığında dozdaki artış paralel olarak fark edilir derecede bitkinin krom miktarının arttığı görülmektedir. En yüksek krom 80 mmol/kg EDTA dozu ile 34,95 mg/kg olarak bulunmuş bunu 40 mmol/kg EDTA dozunda 33,37 mg/kg, 20 mmol/kg EDTA dozunda 32,46 mg/kg, 10 mmol/kg EDTA'da 26,21 mg/kg krom izlemiştir. 0 mmol/kg EDTA dozunda 25,11 mg/kg en düşük krom içeriği olarak bulunmuştur (Çizelge 4. 5.). Bu durum benzer çalışmalar ile paralellik göstermektedir (Adiloğlu ve ark. 2015a). Ancak söz konusu bu sonuçlar istatistiksel olarak önemli bulunamamıştır.

Çizelge 4.5. Artan dozlarda şelat uygulamalarının mısır bitkisinin kök aksamındaki krom elementi içerikleri, mg/kg, *, **, ***

EDTA Uygulamaları Kök	Cr
Kontrol	18,57±3,49 öd
0 mmol/kg	25,11±2,39 öd
10 mmol/kg	26,21±2,28 öd
20 mmol/kg	32,46±9,07 öd
40 mmol/kg	33,37±16,98 öd
80 mmol/kg	34,95±6,33öd

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

Şekil 4.4’de artan dozlarda şelat uygulamasının mısır bitkisinde toprak altı aksamındaki krom içerikleri ve standart sapmaları verilmiştir.



Şekil 4.4. Artan dozlarda şelat uygulamasının mısır bitkisinin kök aksamında krom elementi içerikleri, mg/kg

Gardea-Torresdey ve ark. (2000) tarafından yapılan bir çalışmada bir tür yulaf olan *Avena monida* ile Cr(VI) iyonlarının giderimi araştırılmıştır. Araştırmada çeşitli sıcaklıklar ve çeşitli zaman aralıklarında denemeler yapılmıştır. Sonuç olarak zaman ve sıcaklık azaldıkça yulaf biyomasına Cr(VI) iyonlarının bağlanması da düşmüştür. Krom (VI) iyonlarının bağlanması önce Cr(III)’e indirgenmesi ile oluşmuştur.

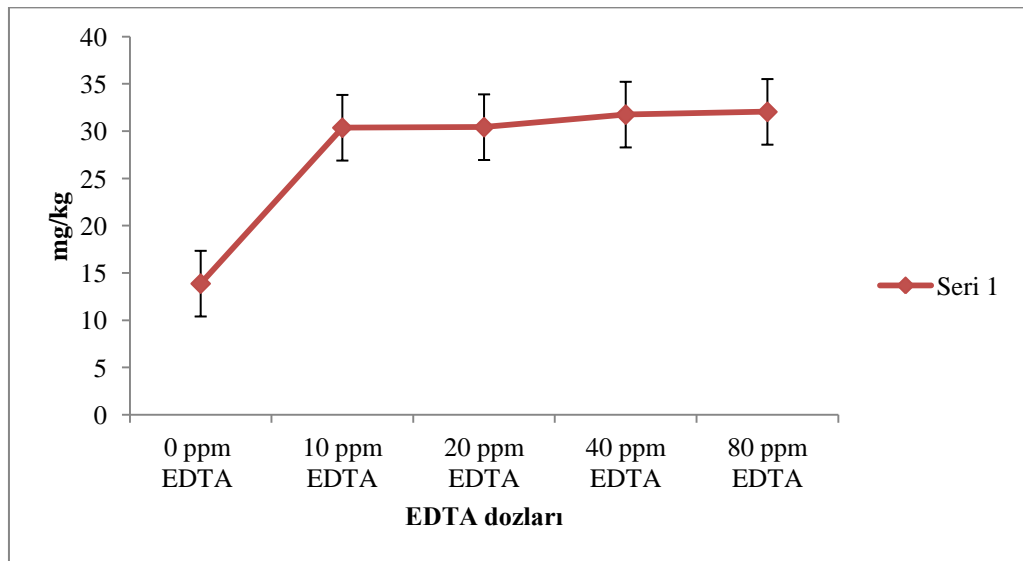
4.3. Toprak Örneklerinin Hasat Sonrasındaki Ağır Metal Değerleri

Deneme sonrasında saksılardan alınan toprak örneklerinin ekstrakte edilebilir Cr analizi sonuçları Çizelge 4.6'da gösterilmiştir. Çizelge 4.6.'daki verilere göre EDTA dozlarının artmasıyla birlikte Cr'un topraktaki çözünürlüğünün de arttığı görülmüştür. Linger ve ark (2002) tarafından kenevir bitkisi ile yapılan bir fitoremediasyon çalışmasında EDTA uygulamaları ile birlikte bitkinin topraktan uzaklaştırdığı ağır metal sırası bu araştırma bulguları ile paralellik göstermiş ve sıralama Ni>Pb>Cr şeklinde gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.6. Mısır bitkisinin yetiştirildiği saksılardan hasat sonrası alınan toprak örneklerinin Cr değerleri, mg/kg

EDTA Dozları					
Kirletici, mg/kg	0 mmolkg ⁻¹	10 mmolkg ⁻¹	20 mmolkg ⁻¹	40 mmolkg ⁻¹	80 mmolkg ⁻¹
Krom(Cr)	13,88	30,37	30,43	31,76	32,05

Toprak analiz sonuçları incelendiğinde EDTA dozunun topraktaki alınabilir Cr değeri üzerine etkili olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.6). Verilen EDTA dozu arttıkça Cr ağır metalinin çözünürlüğü artarak kontrole göre en büyük artışın da 80 mmol kg⁻¹ dozunda olduğu görülmüştür (Şekil 4.5.).



Şekil 4.5. Mısır bitkisinin hasatından sonra saksılardan alınan toprak örneklerinde EDTA uygulamalarının krom içeriğine etkisi

Çiftçi sağlığı yönüyle değerlendirildiğinde tarımsal faaliyetler sırasında cildin kirlenmiş topraklarla teması, havada asılı bulunan kirli partiküllerin solunması, buharlaşma ile Hg, Cr, Pb vb. gibi toksik maddelerin solunması tüm boyutları ve sebep olduğu zararlar halk sağlığı yönüyle araştırılması gereken birçok sağlık sorunu bulunmaktadır (Adiloğlu 2013). Chen ve Cutright (2001) Cd ve Ni kirliliğinin mısır bitkisi yetiştirerek fitoremediasyon tekniği ile uzaklaştırmak istedikleri çalışmalarında 0,5 g/kg EDTA uygulamasının bitkinin Cd içeriğini 34 mg/kg'dan 115 mg/kg', Ni içeriğini ise 15 mg/kg'dan 117 mg/kg çıkardığını belirlemişler. Araştırmacılar sonuçta topraktaki Cd ve Ni kirliliğinin fitoremediasyon yöntemi ile giderilebileceğini ortaya koymuşlardır.

4.4. Krom ile Kirletilmiş ve EDTA Şelatı Uygulanan Toprakların Makro Bitki Besin Elementi İçerikleri Üzerine Etkisi

Krom ağır metali ile kirletilmiş ve EDTA şelatı uygulanan topraklardaki makro bitki besin elementi içerikleri ve önemlilik grupları Çizelge 4.7.'de verilmiştir. Ayrıca mısır bitkisindeki makro besin elementlerinin EDTA dozlarıyla birlikte etkisi aşağıdaki Şekil 4.6.'da görülmektedir.

Çizelge 4.7. Krom ile kirletilmiş ve EDTA şelatı uygulanan topraklardaki makro bitki besin elementi içeriklerinin ortalama değerleri (%) ve önemlilik grupları, *, **, ***

EDTA Uygulamaları	P	K	Ca	Mg	S
0 mmol/kg	0,19±0,52b	1,04±0,02öd	2,45±0,22öd	1,27±0,04öd	0,04±0,01öd
10 mmol/kg	0,13±0,01b	0,95±0,02öd	2,39±0,18öd	1,23±0,03öd	0,03±0,01öd
20 mmol/kg	0,13±0,01b	0,94±0,03öd	2,09±0,25öd	1,23±0,01öd	0,03±0,01öd
40 mmol/kg	0,11±0,01ab	0,91±0,06öd	1,99±0,06öd	1,21±0,03öd	0,02±0,01öd
80 mmol/kg	0,11±0,01a	0,90±0,07öd	1,24±0,37öd	1,17±0,01öd	0,02±,01öd

*: değerler üç tekerrür ortalamasıdır. **: % 5 düzeyinde önemli. *** öd: önemli değil.

4.4.1.Fosfor içeriği

Araştırmamızda topraktaki yarayışlı fosfor içeriğinin azaldığı grlmştr. Krom kirliliği ve artan dozlarda EDTA uygulanan saksılarda yarayışlı P miktarının giderek azaldığı görülmektedir. 0 mmol/kg EDTA dozunda % 0,19 en yüksek fosfor miktarı görülmüş, bunu sırası ile 10 mmol/kg EDTA dozunda % 0,13 fosfor, 20 mmol/kg EDTA dozunda % 0,13 fosfor, 40 mmol/kg EDTA dozunda % 0,11 iken en düşük fosfor 80 mmol/kg EDTA dozunda % 0,11 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.7.). Bu sonuçlar % 5 düzeyinde önemli bulunmuştur.

4.4.2.Potasyum içeriği

EDTA dozları dikkate alındığında dozdaki yükselişe paralel olarak potasyum miktarının giderek azaldığı belirlenmiştir. En yüksek potasyum miktarı 0 mmol/kg EDTA dozunda 1,04 mg/kg olduğu görülmüş, 10 mmol/kg EDTA dozunda % 0,95 potasyum, 20 mmol/kg EDTA dozunda % 0,94 potasyum, 40 mmol/kg EDTA dozunda % 0,91, en düşük potasyum 80 mmol/kg EDTA dozunda % 0,90 olduğu grlmştr. Söz konusu bu değerler istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur(Çizelge 4.7).

4.4.3.Kalsiyum içeriği

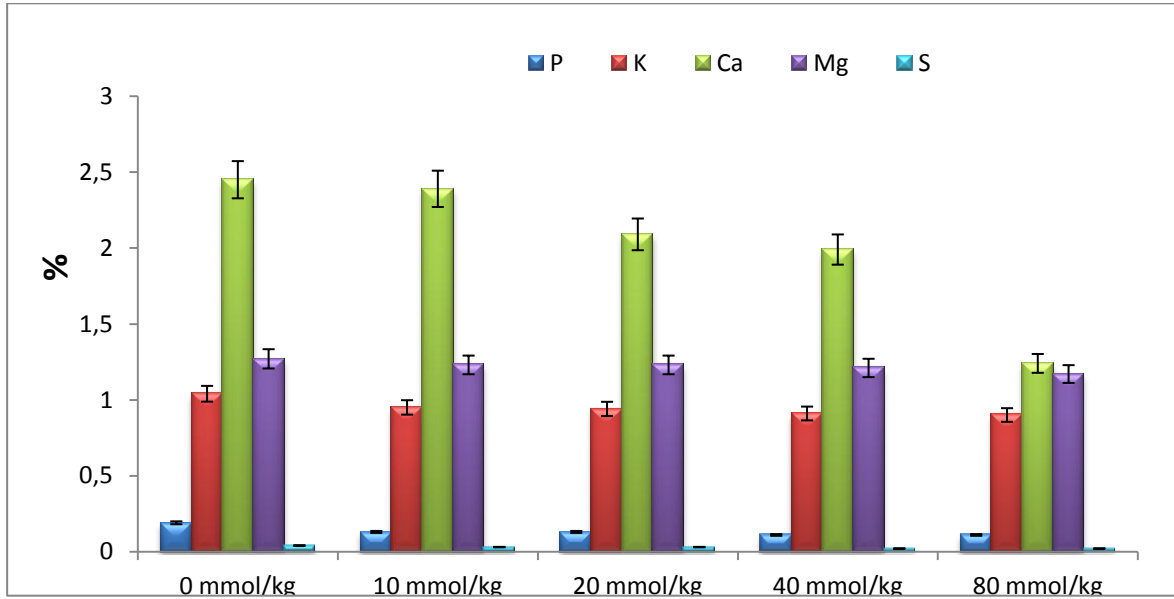
EDTA dozlarına göre dozdaki yükselişe paralel olarak kalsiyum miktarında azalma olduğu fark edilmiştir. En yüksek kalsiyum miktarı 0 mmol/kg EDTA dozunda % 2,45 olduğu görülmüş, 10 mmol/kg EDTA dozunda % 2,39, 20 mmol/kg EDTA dozunda % 2,09 kalsiyum, 40 mmol/kg EDTA dozunda % 1,99 en düşük kalsiyum 80 mmol/kg EDTA dozunda % 1,24 olduğu grlmştr (Çizelge 4.7.).

4.4.4.Magnezyum içeriği

EDTA dozları incelendiğinde dozdaki yükselişe paralel olarak magnezyum miktarında azalma olduğu fark edilmiştir. En yüksek değişebilir magnezyum miktarı 0 mmol/kg EDTA dozunda % 1,27 olduğu görülmüş, 10 mmol/kg EDTA dozunda % 1,23, 20 mmol/kg EDTA dozunda % 1,23, 40 mmol/kg EDTA dozunda % 1,21; 80 mmol/kg EDTA dozunda % 1,17 olduğu grlmştr (Çizelge 4.7.).

4.4.5.Kükürt içeriği

EDTA dozlarına göre dozdaki yükselişe paralel olarak kükürt miktarında azalma olduğu tespit edilmiştir. En yüksek kükürt miktarı 0 mmol/kg EDTA dozunda % 0,04 olduğu görülmüş, 10 mmol/kg EDTA dozunda % 0,03, 20 mmol/kg EDTA dozunda % 0,03 kükürt, 40 mmol/kg EDTA dozunda % 0,02, en düşük kükürt 80 mmol/kg EDTA dozunda % 0,02 olduğu görülmüştür (Çizelge 4.7).



Şekil 4.6. Topraklardaki makro besin elementleri içerikleri

4.5. Krom ile Kirletilmiş ve EDTA Şelatı Uygulanan Toprakların Mikro Bitki Besin İçerikleri Üzerine Etkisi

Bitkilerde ağır metal toleransı fizyolojik ve moleküler mekanizmalar tarafından belirlenmektedir. Hiperbiriktiriciler, metal ya da metalloidler gibi zehirli maddeleri yüksek miktarlarda alıp, normal büyümeleri ve çoğalmaları esnasında gövdelerinde tutabilirler.

Çizelge 4.8.'de krom ağır metali ile kirletilmiş ve EDTA şelatı uygulanan topraklardaki mikro bitki besin elementi içeriklerine bakılarak Şekil 4.7.de EDTA dozlarının topraklardaki mikro besin elementlerine etkisi verilmiştir.

Çizelge 4.8. Krom ile kirletilmiş ve EDTA şelatı uygulanan topraklardaki mikro bitki besin elementi içeriklerinin ortalama değerleri (mg/kg) ve önemlilik grupları, *,**,***

EDTA Uygulamaları	Fe	Cu	Zn	Mn
0 mmol/kg	0,50±0,02öd	38,21±2,44öd	10,21±5,80öd	12,07±0,31öd
10 mmol/kg	0,51±0,01öd	39,18±1,61öd	12,68±3,14öd	12,11±0,47öd
20 mmol/kg	0,53±0,01öd	40,18±0,81öd	17,66±0,47öd	12,15±0,56öd
40 mmol/kg	0,53±0,02öd	41,05±1,78öd	20,53±5,83öd	12,63±0,84öd
80 mmol/kg	0,55±0,01öd	41,46±0,23öd	28,15±0,73öd	13,01±0,26öd

*: değerler üç tekerrür ortalamasıdır. **: % 5 düzeyinde önemli. *** öd: önemli değil.

4.5.1. Demir içeriği

Toprakta yarayışlı demir mikro besin elementi sınır değerleri <2,5 mg/kg noksan, 2,6-4,5 mg/kg kritik, >4,5 mg/kg yeterli olduğu belirlenmiştir. Araştırmamızda bitkideki demir içerikleri noksan olduğu görülmüştür (Lindsay ve Norwell,1978). Elde edilen Fe miktarlarına bakıldığında EDTA dozundaki artışa paralel bir artış olduğu görülmüştür. Toprağın ortalama en yüksek demir içeriği 0,55 mg/kg ile 80 mmol/kg EDTA dozunda incelenmiş bunu 0,53 mg/kg ile 40 mmol/kg EDTA dozu, 0,53 mg/kg ile 20 mmol/kg EDTA dozu 0,51 mg/kg ile 10 mmol/kg EDTA dozu ve son olarak en düşük Fe içeriği 0,50 mg/kg ile 0 mmol/kg EDTA dozu takip etmiştir (Çizelge 4.8.). Bu sonuçlar istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

4.5.2. Bakır içeriği

Toprakta yarayışlı bakır mikro besin elementi sınır değerleri <0,2 mg/kg noksan, 0,2 mg/kg kritik, >0,2 mg/kg yeterli olduğu belirlenmiştir. Araştırmamızda topraktaki bakır içerikleri yeterli olduğu görülmüştür (Lindsay ve Norwell,1978). Elde edilen bakır miktarları

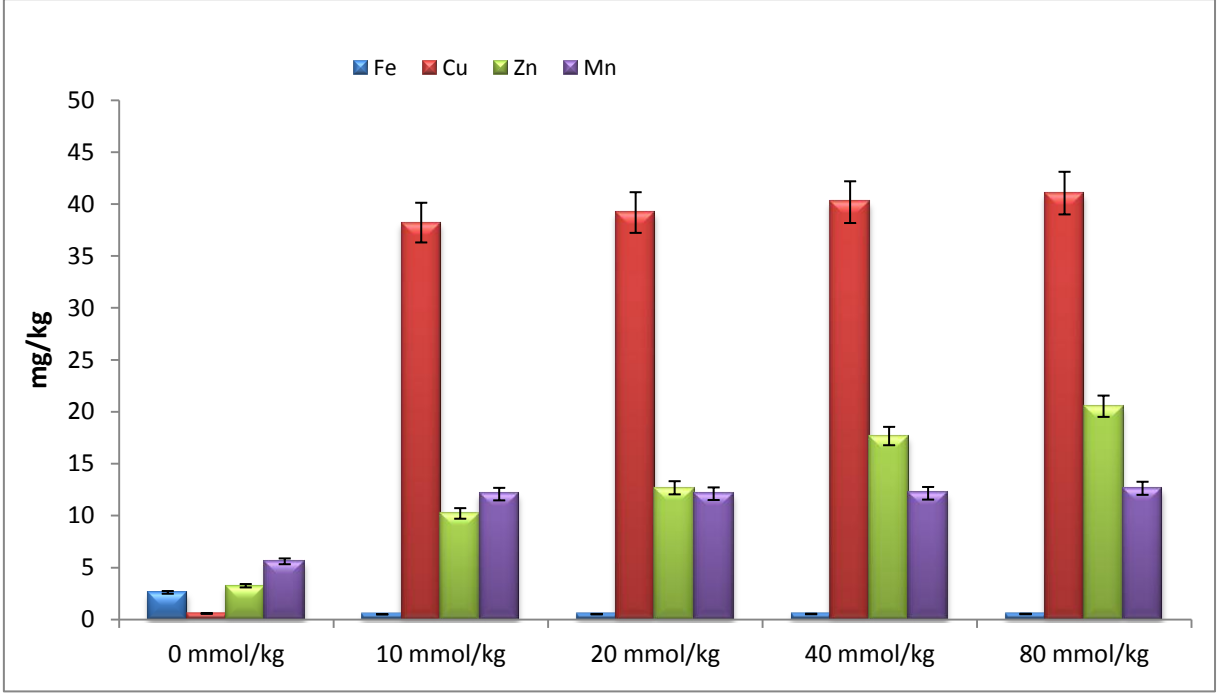
incelendiğinde EDTA dozundaki artışa paralel bir artış olduğu görülmüştür. Toprağın ortalama en yüksek yarayırlı bakır içeriği 41,46 mg/kg ile 80 mmol/kg EDTA dozunda incelenmiş bunu 41,05 mg/kg ile 40 mmol/kg EDTA dozu, 40,18 mg/kg ile 20 mmol/kg EDTA dozu, 39,18 mg/kg ile 10 mmol/kg EDTA dozu ve son olarak en dūřuk bakır içeriği 38,21 mg/kg ile 0 mmol/kg EDTA dozu takip etmiştir (Çizelge 4.8.).

4.5.3.Çinko içeriği

Toprakta yarayırlı çinko mikro besin elementi sınır değerleri 0,7-2,4 mg/kg yeterli olduğu belirlenmiştir. Araştırmamızda topraktaki çinko içerikleri yeterli olduğu görülmüştür (Lindsay ve Norwell 1978). Elde edilen yarayırlı çinko miktarları incelendiğinde EDTA dozundaki artışa paralel bir artış olduğu görülmüştür. Toprağın ortalama en yüksek yarayırlı çinko içeriği 28,15 mg/kg ile 80 mmol/kg EDTA dozunda incelenmiş bunu 20,53 mg/kg ile 40 mmol/kg EDTA dozu, 17,66 mg/kg ile 20 mmol/kg EDTA dozu 12,68 mg/kg ile 10 mmol/kg EDTA dozu ve son olarak en dūřuk çinko içeriği 10,21 mg/kg ile 0 mmol/kg EDTA dozu takip etmiştir (Çizelge 4.8.).

4.5.4.Mangan içeriği

Toprakta yarayırlı mangan mikro besin elementi sınır değerleri 4 mg/kg yeterli olduğu belirlenmiştir. Araştırmamızda topraktaki mangan içerikleri yeterli olduğu görülmüştür (Lindsay ve Norwell 1978). Elde edilen mangan miktarları incelendiğinde EDTA dozundaki artışa paralel bir artış olduğu görülmüştür. Toprağın ortalama en yüksek mangan içeriği 13,01 mg/kg ile 80 mmol/kg EDTA dozunda incelenmiş bunu 12,63 mg/kg ile 40 mmol/kg EDTA dozu, 12,15 mg/kg ile 20 mmol/kg EDTA dozu 12,11 mg/kg ile 10 mmol/kg EDTA dozu ve son olarak en dūřuk mangan içeriği 12,07 mg/kg ile 0 mmol/kg EDTA dozu takip etmiştir. Bu sonuçlar istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.8.).



Şekil 4.7. Topraklardaki mikro besin elementleri içerikleri

4.7. Krom ile Kirletilmiş ve EDTA Şelatı Uygulanan Saksılarda Yetiştirilen Mısır Bitkisinin Gövde Aksamında Makro Bitki Besin Elementi İçerikleri Üzerine Etkisi

Fitoremediasyon yönteminde kullanılan hiperakümülatör bitkiler özelliklerinin başında; toksik düzeylerde kirlilik parametresi olmasına rağmen bundan etkilenmeyen, kuvvetli bir kök yapısı toprak üstü aksamında yüksek konsantrasyonda kirlilik biriktirebilen, çabuk büyüyen ve bol vejetatif aksam geliştirebilen bitkiler olduğu ifade edilmiştir. Hiper biriktiriciler pek çok bitkiye zarar verecek belirli elementlerin topraktaki çözünürlüklerinde büyüeyebilen bitkilerdir (Watanabe 1997, Reeves ve Baker 2000).

Çizelge 4.9.'da mısır bitkisine uygulanan EDTA şelatının bitkinin gövde aksamlarına ait bazı makro besin elementi içeriklerinin ortalama değerleri verilerek önemlilik grupları incelenmiştir. Şekil 4.8 'de de EDTA uygulamalarının bitkinin gövde aksamında bazı makro besin elementi içerikleri üzerindeki etkileri görülmektedir.

Çizelge 4.9. EDTA şelatı ve kirleticinin bitkinin gövde aksamalarına ait makro besin elementi içeriklerinin ortalama değerleri (%) ve önemlilik grupları, *,**,***

EDTA Uygulamaları	P	K	Ca	Mg	S
Kontrol	0,27±0,03b	3,05±0,19b	1,58±0,07d	0,36±0,01öd	0,15±0,01b
0 mmol/kg	0,27±0,02ab	2,80±0,10b	1,57±0,03c	0,36±0,01öd	0,14±0,01b
10 mmol/kg	0,25±0,02ab	2,70±0,10a	1,45±0,04bc	0,35±0,01öd	0,12±0,01b
20 mmol/kg	0,23±0,02a	2,21±0,04a	1,26±0,11ab	0,35±0,02öd	0,11±0,01ab
40 mmol/kg	0,21±0,01a	1,95±0,11a	1,21±0,04a	0,33±0,01öd	0,11±0,01ab
80 mmol/kg	0,20±0,01a	1,43±0,30a	0,72±0,09a	0,32±0,01öd	0,10±0,01a

*: değerler üç tekerrür ortalamasıdır. **: % 5 düzeyinde önemli. *** öd: önemli değil

Krom ağır metali ile kirlenilen topraklarda bu elementin alınabilirlik derecesini arttırmak amacıyla uygulanan EDTA'nın mısır bitkisinde makro besin elementi değerlerinin istatistiksel yönüyle önemli olduğu saptanmıştır. P, K, Ca, Mg, S makro elementlerinin EDTA dozundaki artma ile birlikte bir azalış gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 4.8.). Makro besin elementlerindeki bu azalma bitki kuru madde değerindeki azalma ile paralellik göstermektedir.

4.7.1. Fosfor içeriği

Uygulanan şelat dozları ile bitkinin fosfor içeriğindeki etkisin incelendiğinde gövdenin kontrolde ortalama % 0,27 P'a sahip olduğu anlaşılmıştır. Mısır bitkisinde fosfor makro besin elementi sınır değerleri % 0,25-0,50'dir. Araştırmamızdaki bitkideki sınır değerleri incelendiğinde fosfor içeriğinin yetersiz düzeyde olduğu görülmüştür (Jones ve ark. 1991). EDTA dozlarına bakıldığında dozdaki yükselişe paralel olarak P miktarının giderek azaldığı tespit edilmiştir. En yüksek fosfor miktarı 0 mmol/kg EDTA dozunda % 0,27 olduğu görülmüş, bunu sırası ile 10 mmol/kg EDTA dozunda % 0,25; 20 mmol/kg EDTA dozunda % 0,23 fosfor; 40 mmol/kg EDTA dozunda % 0,21; en düşük fosfor 80 mmol/kg EDTA

dozunda % 0,20 olduğu görülmüştür (Çizelge 4.9.). Bu sonuçlar % 5 düzeyinde önemli bulunmuştur.

4.7.2. Potasyum içeriği

Sonuçlar incelendiğinde bitkinin gövdesinde ortalama potasyum miktarı kontrolde % 3,05 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.9). Mısır bitkisinde potasyum makro besin elementi sınır değerleri % 1,70-3,00'dır. Bitkinin gövde aksamındaki potasyum değerleri incelendiğinde yeterli düzeyde olduğu tespit edilmiştir (Jones ve ark. 1991). EDTA dozları incelendiğinde dozdaki yükselişe paralel olarak potasyum miktarının giderek azaldığı görülmüştür. Potasyum içeriği en yüksek 0 mmol/kg EDTA dozu ile % 2,80 olarak bulunmuş bunun düşüşü sırası ile 10 mmol/kg EDTA dozunda % 2,70, 20 mmol/kg EDTA dozunda 2,21, 40 mmol/kg EDTA dozunda % 1,95 ve son olarak en düşük potasyum 80 mmol/kg EDTA dozunda % 1,43 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4. 9.). Bu sonuçlar % 5 düzeyinde önemli bulunmuştur.

4.7.3. Kalsiyum içeriği

Mısır bitkisinin gövde kısmındaki ortalama kalsiyum içeriği kontrolde % 1,58 olduğu saptanmıştır. Mısır bitkisinde kalsiyum makro besin elementi sınır değerleri % 0,21-1,00'dır. Bu sonuca göre kalsiyumun sınır değerlerinin üzerinde olduğu görülmüştür (Jones ve ark. 1991). EDTA dozlarına bakıldığında dozdaki yükselişe paralel olarak kalsiyum miktarının giderek azaldığı incelenmiştir. En yüksek kalsiyum miktarının % 1,57 ile 0 mmol/kg EDTA dozunda olduğu görülmüş bu azalışı takiben % 1,45 ile 10 mmol/kg EDTA dozunda, % 1,26 ile 20 mmol/kg EDTA dozunda, % 1,21 ile 40 mmol/kg EDTA dozunda ve son olarak mısır bitkisinin gövde aksamındaki en düşük kalsiyum % 0,72 ile 80 mmol/kg EDTA dozunda olduğu saptanmıştır (Çizelge 4. 9.). Bu sonuçlar % 5 düzeyinde önemli bulunmuştur.

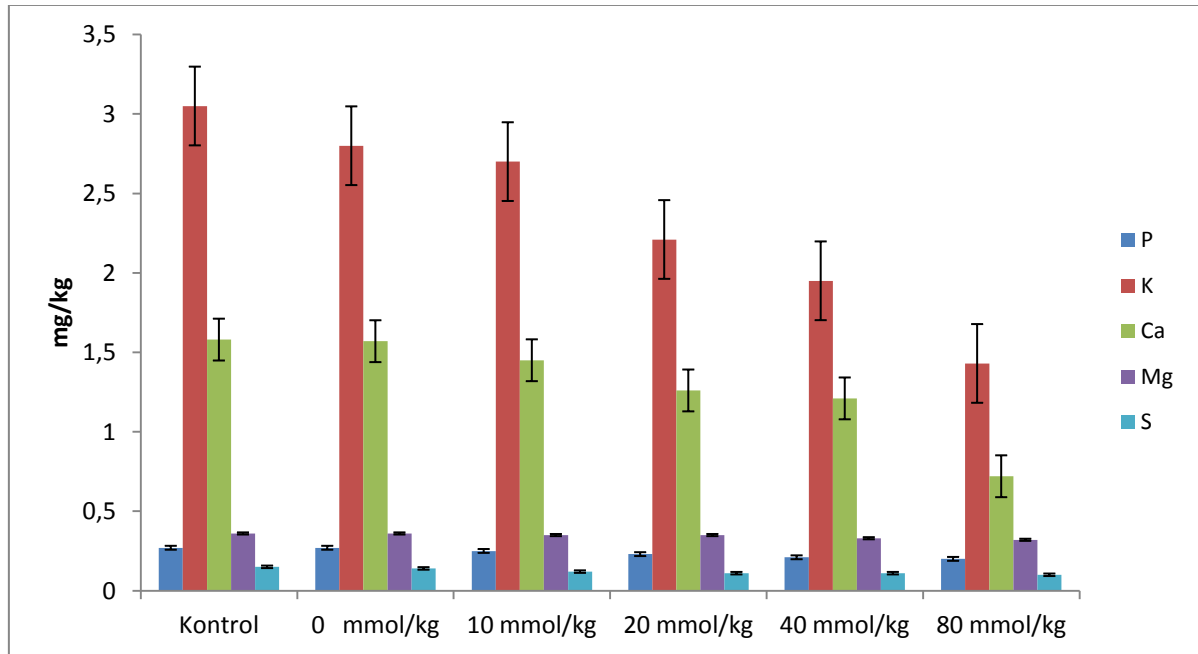
4.7.4. Magnezyum içeriği

Çizelge 4. 9.' a göre gövde aksamının ortalama magnezyum miktarı kontrolde % 0,36 olarak tespit edilmiştir. Mısır bitkisinde magnezyum makro besin elementi sınır değerleri % 0,20-1,00'dır. Araştırmamızda bitkideki sınır değerleri incelendiğinde magnezyum değerinin yeterli olduğu anlaşılmıştır (Jones ve ark. 1991). EDTA dozlarına göre ise, dozlar arasındaki

artışa göre magnezyum miktarında giderek azalma olduğu tespit edilmiştir. Magnezyum içeriği en yüksek 0 mmol/kg EDTA dozu ile % 0,36 olarak bulunmuş bu düşüşü sırası ile 10 mmol/kg EDTA dozunda % 0,35, 20 mmol/kg EDTA dozunda % 0,35, 40 mmol/kg EDTA dozunda % 0,33 ve son olarak en düşük potasyum 80 mmol/kg EDTA dozunda % 0,32 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.9.).

4.7.5. Kükürt içeriği

Çizelge 4.9.'da da görüldüğü üzere mısır bitkisinin gövde kısmının ortalama kükürt içeriği % 0,15 olarak bulunmuştur. Mısır bitkisinde kükürt makro besin elementi sınır değerleri % 0,21-0,50'dir. Araştırmamızda bitkideki sınır değerleri incelendiğinde kükürt içeriğinin yetersiz olduğu belirlenmiştir (Jones ve ark. 1991). EDTA dozlarına bakıldığında dozlar arasındaki artışa göre kükürt miktarında giderek azalma olduğu görülmüştür. Kükürt içeriği en yüksek 0 mmol/kg EDTA dozu ile % 0,14 olarak bulunmuş bu düşüşü sırası ile 10 mmol/kg EDTA dozunda % 0,12; 20 mmol/kg EDTA dozunda % 0,11; 40 mmol/kg EDTA dozunda % 0,11 ve son olarak en düşük potasyum 80 mmol/kg EDTA dozunda % 0,10 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.9.). söz konusu bu değerler % 5 düzeyinde önemli bulunmuştur.



Şekil 4.8. EDTA dozlarının mısır bitkisinin gövde kısmının bazı makro besin elementlerine etkisi

4.8. Krom ile Kirletilmiş ve EDTA Şelatı Uygulanan Saksılarda Yetiştirilen Mısır Bitkisinin Gövde Aksamında Mikro Bitki Besin Elementi İçerikleri Üzerine Etkisi

Bitkilerde ağır metal toleransı fizyolojik ve moleküler mekanizmalar tarafından belirlenmektedir. Hiperbiktiriciler, metal ya da metalloidler gibi zehirli maddeleri yüksek miktarlarda alıp, normal büyümeleri ve çoğalmaları esnasında gövdelerinde tutabilirler. Hiperakümülatör bitkilerin fitoremediasyon yöntemi sonucunda, hasat sonrası yetişen biyokütle çeşitli işlemlere tabi tutulmaktadır. Doğrudan depolama, yakma, kül haline getirme, sıvı ekstraksiyon, kompostlama, piroliz ve sıkıştırma olarak belirtilmektedir. Hasat edilen bitki aksamaları gübre olarak kullanılabilirdiği gibi, içindeki ağır metal geri kazanılabilmektedir (Bebek 2001).

Yüksek miktarda alınan krom bileşiklerinin tümü toksik olabilir. Toprak işleme gibi tarımsal faaliyetlerin sonucunda yüksek konsantrasyonlarda krom ağır metali solunması burun, akciğer, mide ve bağırsaklara zarar verebileceği ifade edilmiştir. Özellikle Cr alerjisi olan insanlarda astım krizlerine görülebilmektedir. Sürekli ve yüksek konsantrasyonlarda karşı karşıya kalınması durumunda ise burun kanaması, yaraları, akciğer hasarı gibi hastalıklarda artışa neden olabilmektedir (Esringü 2005).

Çizelge 4.10.'da krom ağır metali ile kirletilmiş saksılarda mısır bitkisinin gövde aksamında mikro besin elementleri üzerine etkisi incelenmiştir.

Çizelge 4.10. EDTA şelatı ve kirleticinin bitkinin gövde aksamalarına ait mikro besin elementi içeriklerinin ortalama değerleri (mg/kg) ve önemlilik grupları, *,**,***

EDTA Uygulamaları	Fe	Cu	Zn	Mn
Kontrol	8,98±0,23b	6,60±0,43öd	4,23±1,38c	47,01±5,40b
0 mmol/kg	9,15±0,08b	6,66±0,49öd	4,55±0,43bc	54,90±7,14ab
10 mmol/kg	9,19±0,07ab	7,50±0,50öd	5,85±0,71bc	66,16±2,89ab
20 mmol/kg	9,20±0,02ab	7,70±1,55öd	9,15±1,38abc	73,30±4,31a
40 mmol/kg	9,34±0,08ab	7,80±1,92öd	10,36±1,80ab	73,78±13,88a

80 mmol/kg	9,49±0,18a	8,20±1,25öd	14,80±3,41a	74,18±5,30a
------------	------------	-------------	-------------	-------------

*: değerler üç tekerrür ortalamasıdır. **: % 5 düzeyinde önemli. *** öd: önemli değil

Aynı saksılarda yetiştirilen mısır bitkisine uygulanan EDTA dozunun artışına paralel olarak bitkinin Fe, Cu, Zn, Mn mikro elementlerinde de artış olduğu bulunmuştur (Şekil 4.9.)

4.8.1. Demir içeriği

Farklı dozlarda saksılara uygulanan EDTA'nın gövdedeki ortalama demir içeriği kontrolde 8,98 mg/kg olduğu belirlenmiştir. Mısır bitkisinde demir mikro besin elementi sınır değerleri 20-250 mg/kg'dır. Araştırmamızda bitkideki demir içerikleri sınır değerlerinin altında olduğu görülmüştür (Jones ve ark. 1991). Elde edilen Fe miktarları incelendiğinde EDTA dozundaki artışa paralel bir artış olduğu görülmüştür. Gövdenin ortalama en yüksek demir içeriği 9,49 mg/kg ile 80 mg/kg EDTA dozunda belirlenmiş olup bunu 9,34 mg/kg ile 40 mg/kg EDTA dozu, 9,20 mg/kg ile 20 mg/kg EDTA dozu 9,19 mg/kg ile 10 mg/kg EDTA dozu ve son olarak en düşük Fe içeriği 9,15 mg/kg ile 0 mg/kg EDTA dozu takip etmiştir (Çizelge 4.10). Bu bulgular % 5 düzeyinde önemli bulunmuştur.

4.8.2. Bakır içeriği

Çizelge 4.10. üzerindeki sonuçlara göre ortalama bakır miktarı kontrolde 6,60 mg/kg olarak bulunmuştur. Mısır bitkisinde bakır mikro besin elementi sınır değerleri 6-20 mg/kg'dır. Araştırmamızda bitkideki bakır içeriklerinin yeterli olduğu anlaşılmıştır (Jones ve ark. 1991). Sonuçlara göre bitkinin bakır içeriklerinde EDTA dozundaki artışa paralel bir artış olduğu incelenmiştir. En yüksek bakır miktarı 80 mg/kg EDTA dozunda 8,20 mg/kg olarak bulunmuştur. Bunu sırası ile 40 mmol/kg EDTA'da 7,80 mg/kg, 20 mmol/kg EDTA dozunda 7,70 mg/kg bakır, 10 mmol/kg EDTA dozunda 7,50 mg/kg ve 0 mmol/kg EDTA dozunda 6,66 mg/kg ile en düşük bakır içeriği takip etmiştir (Çizelge 4. 10.).

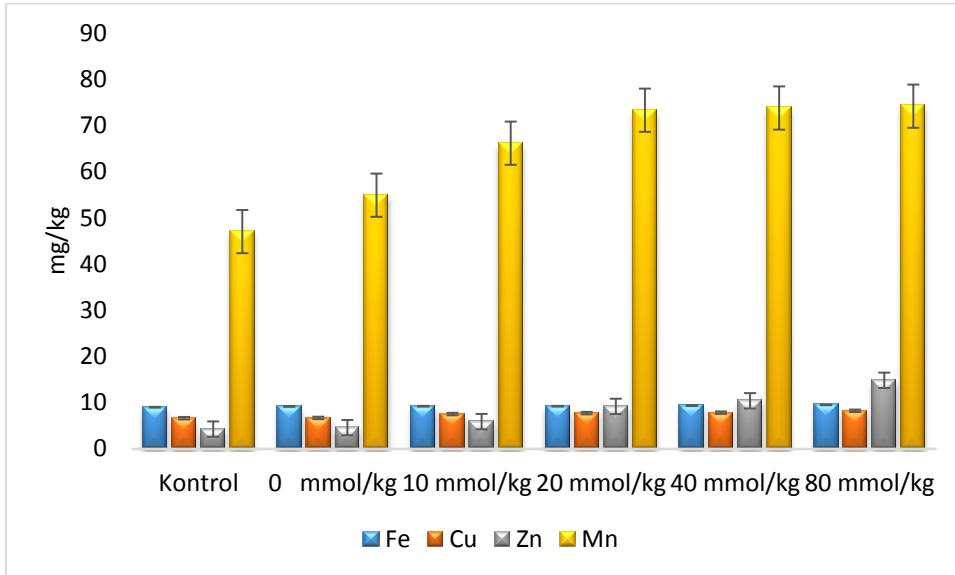
4.8.3. Çinko içeriği

Elde edilen verilere göre mısır bitkisinin ortalama çinko içeriği kontrolde 4,23 mg/kg olduğu tespit edilmiştir. Mısır bitkisinde çinko mikro besin elementi sınır değerleri 25-100

mg/kg'dır. Bitkinin gövde aksamının çinko içeriğine bakıldığında yetersiz düzeyde olduğu belirlenmiştir (Jones ve ark. 1991). EDTA dozları incelendiğinde dozdaki artışa paralel çinko içeriğinin de arttığı saptanmıştır. En yüksek çinko miktarı 80 mg/kg EDTA dozunda 14,80 mg/kg olarak bulunmuş bunu sırası ile 40 mmol/kg EDTA'da 10,36 mg/kg, 20 mmol/kg EDTA dozunda 9,15 mg/kg, 10 mmol/kg EDTA dozunda 5,85 mg/kg ve 0 mmol/kg EDTA dozunda 4,55 mg/kg ile en düşük çinko içeriği takip etmiştir (Çizelge 4. 10.). Söz konusu bu bulgular % 5 düzeyinde önemli bulunmuştur.

4.8.4. Mangane içeriği

Çizelge 4. 10.'da da görüldüğü gibi gövde aksamının ortalama mangane içeriği kontrolde 47,01 mg/kg olarak bulunmuştur. Mısır bitkisinde mangane mikro besin elementi sınır değerleri 20-200 mg/kg'dır. Araştırmamızda bitkideki mangane içerikleri sınır değerleri aralığında yeterli olduğu görülmüştür (Jones ve ark. 1991). Bitkinin gövde aksamına Mn içeriği uygulanan EDTA dozuna paralel bir artış olmuştur. En yüksek mangane içeriği 80 mmol/kg EDTA dozunda 74,18 mg/kg olarak bulunmuş bunu 40 mmol/kg EDTA dozunda 73,78 mg/kg, 20 mmol/kg EDTA dozunda 73,30 mg/kg mangane, 10 mmol/kg EDTA da 66,16 mg/kg ve 0 mmol/kg EDTA dozunda 54,90 mg/kg olarak takip etmiştir (Çizelge 4. 10.). Bu bulgular % 5 düzeyinde önemli bulunmuştur.



Şekil 4.9. EDTA dozlarının mısır bitkisinin gövde aksamının bazı mikro besin elementlerine etkisi

4.9. Krom ile Kirlenmiş ve EDTA Şelatı Uygulanan Saksılarda Yetiştirilen Mısır Bitkisinin Kök Aksamında Makro Bitki Besin Elementi İçerikleri Üzerine Etkisi

Bitkilerin toprakaltı aksamı olan kökler; toprak çözeltisinden su ve bitki besin maddesi alınımını sağlayan, bitkilerin toprağa tutunmasını sağlayan temel organıdır. Bitki kök ve kök tüycüklerinden oluşan kök sistemi toprak üstü aksam ile karşılaştırıldığında toprak üstü aksamın yüzey alanı ile eşit veya daha fazladır. Bitki kökleri rizosfer bölgesine verdikleri çeşitli salgılar ile birçok mikrobiyal faaliyette etkin görev alırlar. İyi bir kök sistemine sahip bitkiler daha geniş bir alana ulaşabileceği için fitoremediasyon yönteminde tercih sebebidir. Bununla birlikte bitki kök sisteminin gelişmesinde toprakların fiziksel özelliklerinden tekstür, strüktür, toprak havası ve toprak suyu etken parametrelerdir. Köklerin toprak içindeki dağılımı bitki besin maddelerinin alınabilirliği, kök etki alanı, kök yüzeyine ve apoplastik ve simplastik taşınımı daha ksilem ve floem borucuklarına iletilmesi ve mikrobiyal aktivite kök gelişimi için dikkate değer faktörlerdir (Karaman ve ark. 2012).

Çizelge 4.11.'de krom ağır metali ile kirlenmiş saksılarda mısır bitkisinin kök kısımlarındaki bazı makro besin elementi içeriklerine etkisi verilmiş ve Şekil 4.10.'da EDTA dozlarının mısır bitkisinde kök aksamının bazı makro besin elementlerine etkisi verilmiştir.

Çizelge 4.11. EDTA şelatı ve kirleticinin uygulandığı saksılardaki bitkinin kök aksamlarına ait makro besin elementi içeriklerinin ortalama değerleri (%) ve önemlilik grupları,*,**,***

EDTA Uygulamaları	P	K	Ca	Mg	S
Kontrol	1,26±0,03b	0,51±0,08c	1,01±0,05b	0,35±0,02c	0,36±0,01öd
0 mmol/kg	1,09±0,24ab	0,46±0,05bc	0,93±0,03ab	0,31±0,01bc	0,22±0,24öd
10 mmol/kg	0,90±0,05ab	0,40±0,02ab	0,86±0,07ab	0,29±0,02bc	0,10±0,01öd
20 mmol/kg	0,80±0,57ab	0,39±0,02ab	0,83±0,06ab	0,23±0,01ab	0,10±0,01öd
40 mmol/kg	0,63±0,01a	0,34±0,01ab	0,82±0,01ab	0,23±0,01ab	0,09±0,01öd
80 mmol/kg	0,16±0,16a	0,20±0,03a	0,74±0,13a	0,19±0,05a	0,08±0,01öd

*: değerler üç tekerrür ortalamasıdır. **: %1 veya 5 düzeyinde önemli. *** öd: önemli değil

4.9.1. Fosfor içeriği

Çizelge 4. 11.'deki verilere göre ortalama kökteki fosfor miktarı kontrolde % 1,26 olarak tespit edilmiştir. Mısır bitkisinde fosfor makro besin elementi sınır değerleri % 0,25-0,50'dir. Araştırmamızda bitkideki fosfor içerikleri sınır değerlerinden yüksek olduğu görülmüştür (Jones ve ark. 1991). EDTA dozlarına göre ise dozdaki artışa paralel olarak fosfor içeriğinin fark edilir derecede azaldığı saptanmıştır. Fosfor miktarı en yüksek 0 mmol/kg EDTA dozu ile % 1,09 olarak bulunmuştur. Bu dozu sırası ile 10 mmol/kg EDTA dozunda % 0,90; 20 mmol/kg EDTA dozunda % 0,80; 40 mmol/kg EDTA'da % 0,63 fosfor takip etmiştir. 80 mmol/kg EDTA dozunda % 0,16 en düşük fosfor içeriği olarak bulunmuştur (Çizelge 4. 11.). Söz konusu bu sonuçlar % 5 düzeyinde önemli bulunmuştur.

4.9.2. Potasyum içeriği

Mısır bitkisinin kök aksanının kontrol saksısındaki potasyum içeriği % 0,51 olduğu belirlenmiştir. Mısır bitkisinde potasyum makro besin elementi sınır değerleri % 1,70-3,00'dir. Araştırmamızda bitkideki potasyum içerikleri sınır değerlerinden düşük olduğu görülmüştür (Jones ve ark. 1991). Uygulanana EDTA dozlarına göre dozdaki artışa paralel olarak K miktarının önemli derecede azaldığı saptanmıştır. En yüksek potasyum 0 mmol/kg EDTA dozu ile % 0,46 olarak bulunmuş bunu 10 mmol/kg EDTA dozunda % 0,40; 20 mmol/kg EDTA dozunda % 0,39; 40 mmol/kg EDTA'da % 0,34 fosfor izlemiştir. 80 mmol/kg EDTA dozunda % 0,20 en düşük fosfor içeriği olarak bulunmuştur (Çizelge 4. 11.).

4.9.3. Kalsiyum içeriği

Elde edilen sonuçlara göre kökteki ortalama kalsiyum miktarı kontrolde % 1,01 olduğu görülmektedir (Çizelge 4. 11.). Mısır bitkisinde kalsiyum makro besin elementi sınır değerleri % 0,21-1,00'dir. Araştırmamızda bitkideki kalsiyum içerikleri sınır değerleri aralığında yeterli olduğu görülmüştür (Jones ve ark. 1991). EDTA dozları incelendiğinde dozdaki artışa paralel olarak Ca miktarının önemli derecede azaldığı belirlenmiştir. 0 mmol/kg EDTA dozu ile en yüksek kalsiyum içeriği % 0,93 olarak bulunmuş ve bunu 10 mmol/kg EDTA dozunda % 0,86; 20 mmol/kg EDTA dozunda % 0,83; 40 mmol/kg EDTA'da % 0,82 Ca izlemiştir. 80

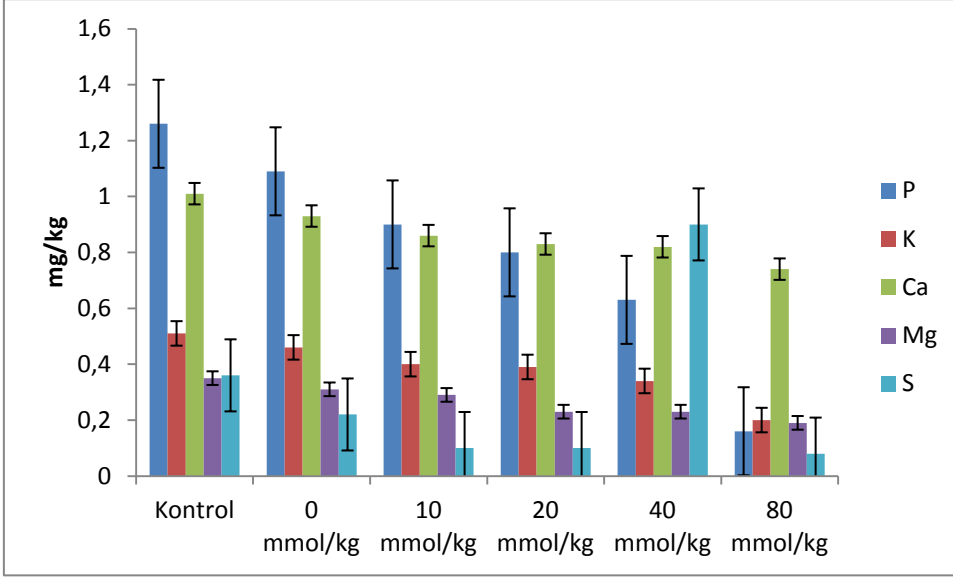
mmol/kg EDTA dozunda % 0,74 en düşük kalsiyum içeriği olarak bulunmuştur (Çizelge 4. 11.). Söz konusu bu sonuçlar % 5 düzeyinde önemli bulunmuştur.

4.9.4. Magnezyum içeriği

Çizelge 4. 11.'deki verilere göre kökteki kontrol saksısındaki magnezyum miktarı % 0,35 olarak tespit edilmiştir. Mısır bitkisinde magnezyum makro besin elementi sınır değerleri % 0,20-1,00'dır. Araştırmamızda bitkideki magnezyum içerikleri sınır değerlerinin üzerinde olduğu görülmüştür (Jones ve ark. 1991). EDTA dozlarına göre dozdaki artışa paralel olarak magnezyum içeriğinin fark edilir derecede azaldığı saptanmıştır. Magnezyum miktarı en yüksek 0 mmol/kg EDTA dozu ile % 0,31 olarak bulunmuş ve bunu sırası ile 10 mmol/kg EDTA dozunda % 0,29; 20 mmol/kg EDTA dozunda % 0,23; 40 mmol/kg EDTA'da % 0,23 magnezyum takip etmiştir. 80 mmol/kg EDTA dozunda % 0,19 en düşük Mg içeriği olarak bulunmuştur (Çizelge 4. 11.). Söz konusu bu sonuçlar % 5 düzeyinde önemli bulunmuştur.

4.9.5. Kükürt içeriği

Bitki kökünün denemenin kontrol saksısındaki kükürt içeriği % 0,36 olduğu bulunmuştur. Mısır bitkisinde kükürt makro besin elementi sınır değerleri % 0,21-0,50'dir. Araştırmamızda bitkideki kükürt içerikleri sınır değerlerinin üzerinde olduğu görülmüştür (Jones ve ark. 1991). EDTA dozlarına göre dozdaki artışa paralel olarak kükürt miktarının önemli derecede azaldığı belirlenmiştir. En yüksek kükürt 0 mmol/kg EDTA dozu ile % 0,22 olarak bulunmuş ve bunu 10 mmol/kg EDTA dozunda % 0,10; 20 mmol/kg EDTA dozunda % 0,10; 40 mmol/kg EDTA'da % 0,09 kükürt izlemiştir. 80 mmol/kg EDTA dozunda % 0,08 en düşük kükürt içeriği olarak bulunmuştur (Çizelge 4. 11.).



Şekil 4.10. EDTA dozlarının mısır bitkisinin kök aksamında makro besin elementlerine etkisi

4.10. Krom ile Kirletilmiş ve EDTA Şelatı Uygulanan Saksılarda Yetiştirilen Mısır Bitkisinin Kök Aksamında Mikro Bitki Besin Elementi İçerikleri Üzerine Etkisi

Bitki köklerinde besin elementi alımı üç temel aşamada gerçekleşir; *: Karbonik asit kuramı, kontak değişim kuramı ile rizosfer bölgesine ve kitle akışı ve difüzyon ile de kök yüzeyine, *: Bitki besin elementleri apoplastik ve simplastik yol ile kök içine, *: Kök içine giren besin elementleri floem ve ksilem borucukları ile gerekli yerlere taşınımı. Bitki besin elementlerinin toprağın katı fazından kök yüzeyine taşınmasında Kesişme ve Temas Değişimi (Kontak Değişim) ile 'Karbonik Asit Kuramı olmak üzere iki temel kuram görev almaktadır. Kesişme ve temas kuramı; besin elementinin kök bölgesine taşınmasından ziyade, köklerin besin elementi ile temas alanı oluşturması esasına dayanmaktadır. Buna göre kation değişimi için gerekli H^+ iyonu kaynağının kök yüzeyleri olduğu kabul edilmektedir. Kıl yüzeyinde adsorbe edilmiş kationlar (K^+ , NH_4^+ gibi) tutulma gücüne bağlı olarak belli bir titreşim içerisinde hareket halindedir. Kıl kolloidlerince adsorbe edilmiş kationlar ile kök yüzeyinde adsorbe edilmiş kationların titreşim alanlarının kısmen çakıştığı bölgede doğrudan kation değişimi olmaktadır. Aynı yöntem anyon değişimi ve çözeltideki anyonların kök yüzeyinde tutulmaları için de geçerlidir (Karaman ve ark. 2012).

Çizelge 4.12.'de krom ağır metali ile kirletilmiş saksılarda mısır bitkisinin kök kısımlarındaki Fe, Cu, Zn, Mn elementleri üzerine etkisine bakılarak Şekil 4.11.'de de EDTA dozlarının mısır bitkisindeki mikro besin element içeriği verilmiştir.

Çizelge 4.12. EDTA şelatı ve kirleticinin uygulandığı saksılardaki bitkinin kök aksamalarına ait mikro besin elementi içeriklerinin ortalama değerleri (mg/kg) ve önemlilik grupları, *, **, ***

EDTA Uygulamaları	Fe	Cu	Zn	Mn
Kontrol	0,56±0,17öd	8,50±0,84b	19,57±2,79öd	19,99±36,98öd
0 mmol/kg	0,58±0,06öd	9,43±1,34b	20,40±5,28öd	23,76±46,60öd
10 mmol/kg	0,66±0,10öd	11,30±0,67ab	20,93±1,61öd	27,97±34,88öd
20 mmol/kg	0,87±0,07öd	12,03±0,90ab	22,30±0,72öd	31,72±28,41öd
40 mmol/kg	0,89±0,03öd	13,75±0,14a	23,45±1,82öd	32,64±106,63öd
80 mmol/kg	1,01±0,24öd	14,66±2,14a	27,60±4,07öd	37,76±79,16öd

*: değerler üç tekerrür ortalamasıdır. **: % 5 düzeyinde önemli. *** öd: önemli değil

4.10.1. Demir içeriği

Çizelge 4.12.'de de görüldüğü üzere kökün ortalama demir içeriği kontrolde 0,56 mg/kg olarak bulunmuştur. Mısır bitkisinde demir mikro besin elementi sınır değerleri 20-250 mg/kg'dır. Araştırmamızda bitkideki demir içerikleri sınır değerleri altında ve yetersiz olduğu görülmüştür (Jones ve ark. 1991). EDTA dozlarına göre, dozdaki artış paralel olarak fark edilir derecede demir miktarının arttığı belirlenmiştir. En yüksek demir 80 mmol/kg EDTA dozu ile 1,01 mg/kg olarak bulunmuş olup bunu 40 mmol/kg EDTA dozunda 0,89 mg/kg, 20 mmol/kg EDTA dozunda 0,87 mg/kg, 10 mmol/kg EDTA'da 0,66 mg/kg demir izlemiştir. 0 mmol/kg EDTA dozunda 0,58 mg/kg en düşük demir içeriği olarak bulunmuştur (Çizelge 4. 13.).

4.10.2. Bakır içeriği

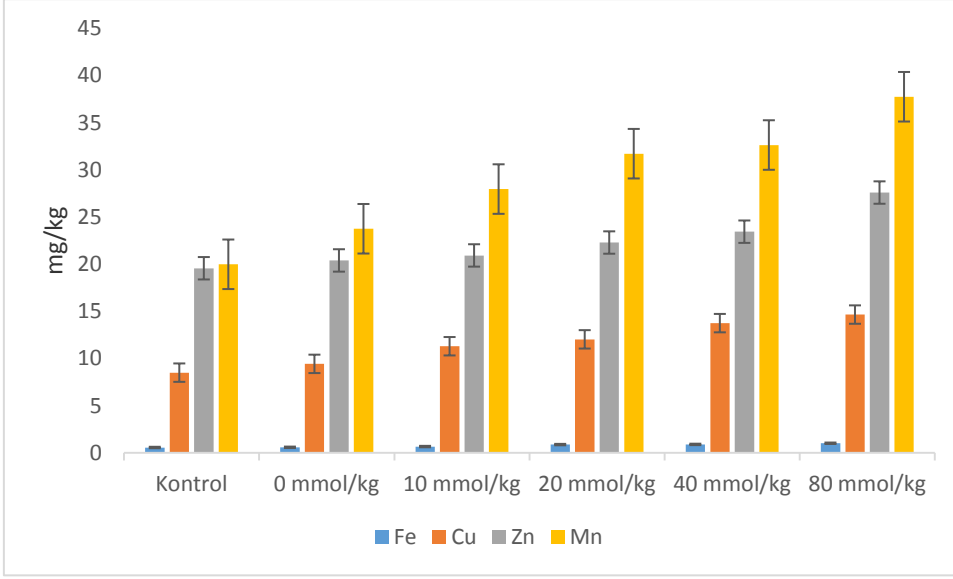
Bitki kök aksamının ortalama bakır içeriği kontrolde 8,50 mg/kg olduğu belirlenmiştir. Mısır bitkisinde bakır mikro besin elementi sınır değerleri 6-20 mg/kg'dır. Araştırmamızda bitkideki bakır içerikleri sınır değerleri aralığında olduğu görölmüştür (Jones ve ark. 1991). EDTA dozlarına göre dozdaki artış paralel olarak bitkinin kök aksamının bakır miktarının arttığı görölmüştür. En yüksek bakır 80 mmol/kg EDTA dozu ile 14,66 mg/kg olarak bulunmuştur. Bu sonucu 40 mmol/kg EDTA dozunda 13,75 mg/kg, 20 mmol/kg EDTA dozunda 12,03 mg/kg, 10 mmol/kg EDTA'da 11,30 mg/kg bakır izlemiştir. 0 mmol/kg EDTA dozunda 20,40 mg/kg en düşük bakır içeriği olarak bulunmuştur (Çizelge 4. 12.). Söz konusu bu sonuçlar % 5 düzeyinde önemli bulunmuştur.

4.10.3. Çinko içeriği

Bitki kök aksamının ortalama çinko içeriği kontrolde 19,57 mg/kg olduğu belirlenmiştir(Çizelge 4. 12.). Mısır bitkisinde çinko mikro besin elementi sınır değerleri 25-100 mg/kg'dır. Araştırmamızda bitkideki çinko içerikleri sınır değerleri altında olduğu görölmüştür (Jones ve ark. 1991). EDTA dozlarına göre dozdaki artış paralel olarak fark edilir derecede çinko miktarının arttığı belirlenmiştir. En yüksek çinko 80 mmol/kg EDTA dozu ile 27,60 mg/kg olarak bulunmuş bunu 40 mmol/kg EDTA dozunda 23,45 mg/kg, 20 mmol/kg EDTA dozunda 22,30 mg/kg, 10 mmol/kg EDTA'da 20,93 mg/kg izlemiştir. 0 mmol/kg EDTA dozunda 9,43 mg/kg en düşük çinko içeriği olarak bulunmuştur (Çizelge 4. 12.).

4.10.4. Mangan içeriği

Mısır bitkisinin kök aksamının kontrol saksısının mangan miktarı 199,96 mg/kg olduğu bulunmuştur. Mısır bitkisinde mangan mikro besin elementi sınır değerleri 20-200 mg/kg'dır (Jones ve ark. 1991). Araştırmamızda bitkideki mangan içerikleri sınır değerleri üzerinde olduğu görölmüştür. EDTA dozlarına bakıldığında dozdaki artış paralel olarak fark edilir derecede mangan miktarının arttığı belirlenmiştir. En yüksek mangan 80 mmol/kg EDTA dozu ile 377,66 mg/kg olarak bulunmuş olup, bunu 40 mmol/kg EDTA dozunda 326,43 mg/kg, 20 mmol/kg EDTA dozunda 317,23 mg/kg, 10 mmol/kg EDTA'da 279,71 mg/kg izlemiştir. 0 mmol/kg EDTA dozunda 237,66 mg/kg en düşük mangan içeriği olarak bulunmuştur (Çizelge 4. 12.).



Şekil 4.11. EDTA dozlarının mısır bitkisinin kök aksamında mikro besin elementlerine etkisi

Günümüzde doğal bir yöntem olarak kullanımı artan fito-ıslah, toprak ıslahına ait pasif bir teknolojidir. Yeşil ıslah yöntemi ile ekolojik parametrelerdeki kirlilik giderimi veya bu parametrelerin yeşil bitkilerin kullanımı ile etkisizleştirimek olarak ifade edilmektedir (Raskın ve ark. 1997).

Salt ve ark. (1998)'e göre fitoremediasyon teknikleri fitoekstraksiyon, fitodegradasyon, rizofiltrasyon, fitostabilizasyon, fitovolatilizasyon ve rizodegradasyon olarak alt gruplara ayrılmıştır. Bu yöntemler özellikle düşük ve orta düzeyde kirlilik olan alanların gideriminde kullanılan, uygulanabilirliği ilgili paydaşlar tarafından kabul gören tekniklerdendir. Fitoremediasyon yöntemi ve alt grupları diğer giderim yöntemleri ile birlikte uygulanabilmektedir (Türkoğlu 2006).

Mulligan ve ark. (2001)'e göre, ağır metallere kirlenmiş tarım alanların gideriminde fitoremediasyon tekniklerinin seçiminde bölge, toprak özellikleri, tosisite düzeyi gibi birçok faktöre dikkat edilerek belirlenmesi gerektiğine vurgu yapılmıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde endüstri ve sanayi faaliyetlerinin artması, kentleşme, karayolu trafiğinin artışı ve insanların oluşturduğu çeşitli aktiviteler ağır metal artışıyla doğada ve topraklarda kirlilik oluşturmaktadır. Ayrıca tarımdaki ürün ve kalite artışını sağlamak amacıyla çeşitli pestisit ve kimyasal gübrelerin kullanılması da bu topraklara ağır metal karışmasına neden olmaktadır. Ağır metallerin toprakta kirliliğe neden olarak gıda zinciri yoluyla canlılara ulaşarak insan, hayvan ve bitki yaşamını olumsuz etkilemektedir.

En önemli toprak kirleticilerini oluşturan ağır metallerin gideriminde kullanılan kimyasal ve fiziksel yöntemlerin ekonomik olmaması ve daha uzun süreli sonuç elde edilmesinden kaynaklı çok fazla kullanılmamaktadır. Ağır metaller ile kirletilmiş toprakların temizlenmesi amacıyla kullanılan yeşil ıslah olarak da bilinen fitoremediasyon yöntemi; hiperakümülatör bitkiler aracılığıyla toprakta kirliliğe neden olan elementlerin uzaklaştırılmasını esas alan ucuz, ekolojik ve uygulanması kolay olduğundan daha fazla tercih edilen bir yöntemdir. Fitoremediasyon yönteminden daha başarılı sonuç elde etmek amacıyla hiperakümülatör olarak kullanılan bitkilerin, çeşitli aksamlarında biriken ağır metal kirliliğinin ortadan kaldırılması sebebiyle uygun bir alanda depolanması, yakılması ya da zararlı etkisi yok ise hayvanlara besin olarak kullanılması önerilebilir.

Bu çalışmada Cr(VI) ağır metali ile kirletilmiş toprakların hiperakümülatör bir bitki olan mısır bitkisi ile temizlenmesinde EDTA şelatının verilmesi bitkinin Cr alımını arttırdığı ve bunun istatistiksel açıdan elde edilen sonuçlara göre önemli olduğu saptanmıştır. EDTA dozundaki artış ile birlikte bitkinin bazı makro besin elementlerinde (P, K, Ca, Mg, S) azalma olduğu, bazı mikro besin elementi miktarlarında ise EDTA dozunun artışıyla paralel bir artış gösterdiği belirlenmiştir. Bitkinin gövde ve kök kısımlarındaki bu değişimler istatistiksel açıdan önemli olduğu dikkat çekmektedir. Topraklara uygulanan 30 mg/kg Cr(VI)' un EDTA dozundaki artış ile birlikte kontrol grubuyla karşılaştırıldığında kök ve gövde aksamında alınan krom miktarında giderek artış olduğu gözlenmiştir.

Fitoremediasyon yöntemi ile topraklardaki ağır metal kirliliğinin bitkiler aracılığıyla giderimi amacıyla çok fazla çalışma yapılmasına gerek vardır. Bundan sonraki yapılacak araştırmalarda ağır metal kirliliğinin önlenmesi amacı ile uygulanan fitoremediasyon

teknikinin kurulan saksı denemesinin faydalı olacağı sonucu öngörülmektedir. Bu deneme sonucunda elde edilen veriler sonucunda hiperakümülatör bitkiler kullanılarak kirletilmiş toprakların temizlenmesi fitoremediasyon tekniği ile başarılı sonuçlara ulaşılabileceği ortaya konulmuştur. Ülkemizde en verimli topraklarının bulunduğu Trakya Bölgesi' nde en yüksek tarımsal sonuçlara da ulaşan bir bölge olmasının yanında önemli sanayi ve endüstriyel faaliyetler de yine bu bölgede kurulmuştur. Fitoremediasyon tekniğinin Trakya Bölgesi' nde kullanımını arttırmak amacıyla çeşitli panel, sunum, konferans vb. çalışmalar insanları bilgilendirmek ve bilinçlendirmek için yapılmalıdır. Yoksa ağır metallerden kaynaklı kirlilik bölgede gün geçtikçe artarak devam edecek ve ekolojiyi de çok önemli seviyelerde etkileyecektir.

6. KAYNAKLAR

- Adiloğlu S (2013). Tekirdağ İlinde Otoban Kenarlarında Bulunan Tarım Arazilerinde Bazı Ağır Metallerin Kirliliğinin Araştırılması. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Tekirdağ.
- Adiloğlu S, Adiloğlu A, Eryılmaz Açıkgöz F, Yeniaras T, Solmaz Y (2015). Labada Bitkisinin Fitoremediasyonda Kullanım Kapasitesinin Araştırılması. Namık Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, NKUBAP.00.24.AR.14.03. Nolu Proje Araştırma Projesi 154.
- Adiloğlu S, Sağlam MT (2015). Karayolu Kenarlarındaki Tarım Arazilerindeki Topraklarda Ekstrakte Edilebilir Kobalt (Co) İçerikleri. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15: 24-29.
- Adiloğlu S, Sağlam MT (2015a). Tekirdağ İli Topraklarının Krom ve Nikel İerikleriyle Bazı Fizikokimyasal Olayları Arasındaki İstatiksel İlişkiler. Tekirdağ Ziraat Fakóltesi Dergisi, 12 (2): 1-10.
- Adiloğlu S, Sağlam MT, Sümer A (2015a). Chrome (Cr) Pollution in Agricultural Areas Improvement by Phytoremediation Method with Canola (*Brassica napus* L.) Plant Growing, Journal of Essential Oil Bearing Plants, 18: 1180-1186.
- Aliyeva G (2014). Fitoremediasyon Yöntemi (Bitki) ile Sucul Sistemlerin İyileştirilmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı Çevre Mühendisliği Programı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Alyüz B, Çetin ř, Ayberk S (2008). Organik Kirleticilerin Arıtımında Fitoremediasyon Yönteminin Uygulanabilirliği. Çevre Sorunları Sempozyumu, 14- 18 Mayıs, Bildiriler Kitabı s: 1569- 1574, Kocaeli.
- Anonymous (1980). Soil Testing and Plant Analysis. Bull. 38/1. Food Agriculture Organization, Rome- Italy.
- Asrı Öktüren F, Sönmez S (2006). Ağır Metal Toksisitesinin Bitki Metabolizması Üzerine Etkileri. Derim Dergisi, 23 (2): 36- 45.
- Aybar M, Bilgin A, Sağlam B (2015). Fitoremediasyon Yöntemi ile Topraktaki Ağır Metallerin Giderimi. Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 1 (1-2): 59-65.
- Ayhan B, Ekmekçi Y, Tanyolaç D (2006). Bitkilerde Ağır Metal Zararlıları ve Korunma Mekanizmaları. Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 7 (1): 1-16.
- Bebek MT (2001). Ulubat Gölü ve Gölü Besleyen Su Kaynaklarında Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara
- Bert V, Girondelot B, Quatannens V, Laboudigue A (2005). A Phytostabilisation of a Metal Polluted Dredged Sediment Deposit-Mesocosm Experiment and Field Trial. Proceedings of the 9th International FZK/TNO Conference on Soil-Water Systems Remediation Concepts and Technologies. (Uhlmann O, Annokée GJ, Arendt F eds), Bordeaux, 1544-1550.
- Bowen HJM (1966). Trace Element in Biochemistry. Academic Press, London, 241 p.
- Bryan G (1980). Recent Trends in Research on Heavy-Metal Contamination in the Sea. Helgoländer Meeresuntersuchungen, 33: 6-25.

- Chen H, Cutright T (2001). EDTA and HEDTA Effects on Cd, Cr and Ni Uptake by *Heliantus annuus*. Chemosphere, 45:21-28.
- Cındık Akıncı Y, Yüksek T, Demirel Ö (2016). Ağır Metaller ile Kirlenmiş Toprağın İyileşmesinde Vetiver Grass (*Vetiveria zizanioides* (Linn.) Nash) ve Solucanların Kullanılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Mimarlık Bilimleri ve Uygulamaları Dergisi, 1 (1): 1-11.
- Daşdemir A (2015). İstanbul Avrupa Yakası Otopan Kenarlarındaki Tarım Arazilerinde Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ.
- EPA (1995). Contaminants and Remedial Options at Select Metals-Contaminated Sites, EPA/540/R-95/512.6
- EPA (2000). (Environmental Protection Agency), Introduction to Phytoremediation, EPA/600/R-99/107, Cincinnati, Ohio, U.S.A, p 72, <http://www.clu-in.org> (Erişim tarihi: 13.03.2019).
- Eren A (2018). Bakırla Kirlenmiş Toprakların *Xanthium strumarium* L. Bitkisi Kullanılarak Fitoremediasyonu. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 5 (2): 152-157.
- Esringü A (2005). Toprakta Kirliliğe Sebep Olan Bazı Ağır Metallerin Kanola (*Brassica nopus*) ve Hardal (*Brassica juncea*) Bitkileri ile Uzaklaştırılması. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enst. Toprak Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Fagbote EO, Olanipekun EO (2010). Evaluation of the Status of Heavy Metal Pollution of Soil and Plant (*Chromolaena odorata*) of Agbabu Bitumen Deposit Area. American-Eurasian Journal of Scientific Research 5 (4): 241-248, Nigeria.
- FAO (1990). Micronutrient, Assesment and the Country Level: An International Study. FAO Soils Bulletin 63, Rome, Italy.
- Gardea- Torresdey JL, Tiemann KJ, Armendariz V, Bess- Oberto L, Chianelli RR, Rios J, Parsons J. G, Gamez G (2000). Characterization of Cr(VI) Binding and Reduction to Cr(III) by the Agricultural by Products of *Avena monida* (Oat) Biomass. Journal of Hazardous Materials, 80: 175-188.
- Gavrilescu M (2004). Removal of Heavy Metals from Environment by Biosorption. Eng. Life Sci. 3: 219-232.
- Ghosh M, Singh SP (2005). A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its by products. Applied Ecology and Environmental Research, (3): 1-18.
- Jain R, Srivastava S, Madan VK (2000). Influence of Chromium on Growth and Cell Division of Sugarcane. Indian J. Plant Physiol, 5: 228-31.
- Jones DL, Kochian LV (1997). Aluminum interaction with plasma membrane lipids and enzyme metal binding sites and its potential rote in Al cytotoxicity, FEEBS Lett. 400, 51-57.
- Kacar B (1989). Bitki Fizyolojisi, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları Ders Kitabı sayfa 88. Ankara.
- Kacar B, İnal A (2008). Bitki Analizleri, Nobel Yayınları No:1241.
- Kahvecioğlu Ö, Kartal G, Güven A, Timur S (2007). Metallerin Çevresel Etkileri –I. (www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136_4753.pdf, Erişim tarihi: 13.05.2007).

- Karakaş Ö (2013). Bazı Ağır Metaller (Pb, Cd, Co) ile Kirlenmiş Toprakların Kanola Bitkisi Kullanılarak Bitkisel Arıtım (Fitoremediasyon) Tekniği ile Islahı. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ.
- Karaman MR, Adiloğlu A, Brohi R, Güneş A, İnal A, Kaplan M, Katkat V, Korkmaz A, Okur N, Ortaş İ, Saltalı K, Taban S, Turan M, Tüfenkçi Ş, Eraslan F, Zengin M (2012). Bitki Besleme. ISBN 978-605-87103-2-0 Dumat Ofset, Matbacılık San. Tic. Ltd. Şti., Ankara.
- Karcık H (2017). Çeşitli Organik Kuruyemişlerin Ağır Metal İçeriklerine Yönelik Bir Araştırma. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ.
- Khan AG, Kuek C, Chaudhry TM, Khoo CS, Hayes WJ (2000). Role of Plants, Mycorrhizae and Phytochelators in Heavy Metal Contaminated Land Remediation. *Chemosphere* 41: 197-207.
- Liang J, Chen C, Song X, Han Y, Liang Z (2011). Assessment of Heavy Metal Pollution in Soil and Plants from Dunhua Sewage Irrigation Area. *International Journal Electrochemical Science*, 6: 5314- 5324.
- Lindsay WL, Norvell WA (1978). Development of a DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese and Copper. *Soil Scienc Society America Journal*, 42: 421- 428.
- Linger P, Müssing J, Fischer H, Kobert J, (2002). Industrial Hemp (*Cannabis sativa* L.) Growing on Heavy Metal Contaminated Soil: Fibre Quality and Phytoremediation Potential. *Industrial Crops and Products*, 16: 33-42.
- Lothe AG, Hansda A, Kumar V (2016). Phytoremediation of Copper-Contaminated Soil Using *Helianthus annuus*, *Brassica nigra* and *Lycopersicon esculentum* Mill.: A Pot Scale Study. *Environmental Quality Management*, 25 (4): 63-70.
- Marchiol L, Assolari S, Sacco P, Zerbi G (2004). Phytoextraction of Heavy Metals by Canola (*Brassica napus*) and Radish (*Raphanus sativus*) Grown on Multicontaminated Soil. *Environ Pollut*, 132: 21-27.
- Mulligan CN, Yong RN, Gibbs BF (2001). Remediation Technologies for Metal Contaminated Soils and Groundwater: An Evaluation. *Engineering Geology*, 60: 193–207.
- Mücevher O (2010). Doğal Yollarla Konya Çöp Depo Sahasında Yetişen Çeşitli Baskın Bitki Türlerinde, Krom Birikiminin ve Bitki Büyümesindeki Etkilerinin Araştırılması. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Okçu M, Tozlu E, Kumlay AM, Pehlivan M (2009). Ağır Metallerin Bitkiler Üzerine Etkileri. *Alinteri*, 17 (B): 14-26.
- Olsen SR, Sommers LE (1982). Phosphorus. *Methods of Soil Analysis Part 2. Chemical and Microbiological Properties. (Second Edition)*. *Agronomy*, No: 9, Part 2, p: 403-427.
- Özay C, Mammadov R (2013). Ağır Metaller ve Süs Bitkilerinin Fitoremediasyonda Kullanılabilirliği. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15 (1): 68-77.
- Özkan A, Banar M, Günkaya Z, Kulaç A, Yalçın G, Taşpınar K, Altay A (2015). Fitoremediasyon ve Piroliz İşlemlerinin Ardışık Uygulanmasıyla Kadmiyum Stabilizasyonu. *Pamukkale Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22 (6): 497-502.

- Özyürek F (2016). Nevşehir’de Farklı Su Kaynaklarıyla Sulanan Sebzelerde Ağır Metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn) Birikimi. Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir.
- Pivetz BE (2001). Phytoremediation of Contaminated Soil and Ground Water at Hazardous Waste Sites. United States Environmental Protection Agency EPA, 540/S-01/500, 36p.
- Polat S, Bellitürk K, Metinoğlu M (2016). Tekirdağ İlindeki Fabrikaların Yakınındaki Tarım Alanlarında Oluşturduğu Toprak Kirliliği ve Bu Kirliliğin İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkisi. Namık Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, Tekirdağ.
- Prasad MNV (2005). Toxic metals in plants. Nickel ophilous plants and their significance in phytotechnologies. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17(1): 113-128.
- Raskin I. Smith, RD, Salt DE (1997). Phytoremediation of Metals using Plants to Remove Pollutants from the Environment. *Curr. Opin. Birstechnol*, 8: 221 – 226
- Reeves RD, Baker AJM (2000). Metal–Accumulating Plants. (In: Raskin I. and Ensley BD Eds.) *Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean–Up the Environment*. New York, John Wiley and Sons, p. 193–230.
- Sağlam MT (2012). Toprak ve Suyun Kimyasal Analiz Yöntemleri. Namık Kemal Üniversitesi, Yayın No: 2, Tekirdağ.
- Saifullah AG, Quadir M (2009). Lead Phytoextraction by Wheat in Response to the EDTA Application Method. *International Journal of Phytoremediation*, 11: 268-282.
- Seven T, Can B, Darende B, Ocak S (2018). Hava ve Toprakta Ağır Metal Kirliliği. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1 (2): 91-103.
- Shanker AK, Cervantes C, Loza-Tavera H, Avudainayagam S (2005). Chromium Toxicity in Plants. *Environment International*, 31: 739–753.
- Sharma RK, Agrawala M, Marshall F (2007). Heavy Metal Contamination of Soil and Vegetables in Suburban Areas of Varanasi, India. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 66: 258– 266.
- Söğüt Z, Zaimoğlu BZ, Erdoğan R, Doğan S (2004). Su Kalitesinin Artırılmasında Bitki Kullanımı (Yeşil Islah- Phytoremediation). Türkiye’nin Kıyı ve Deniz Alanları IV. Ulusal Konferansı, 5-8 Kasım, Dokuz Eylül Üniversitesi, Bildiriler Kitabı. II. Cilt, s: 1007-1016, İzmir.
- Sutherson SS (1999). *Phytoremediation Remediation Engineering: Design Concepts*. (Sutherson SS, Ed.). CRC Press LLC, Boca Raton.
- Terzi H, Yıldız M (2011). Ağır Metaller ve Fitoremediasyon: Fizyolojik ve Moleküler Mekanizmalar. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11 (2011) 011001: (1-22).
- Tok HH (1997). Çevre Kirliliği. Anadolu Matbaacılık, İstanbul.
- TOVEP (1991). Türkiye Toprakları Verimlilik Envanteri. T.C. Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü.
- Tuncay H (1994). Toprak Fiziği Uygulama Kılavuzu. E.Ü. Ziraat Fakültesi, Teksir No: 29, İzmir.
- Turan H, Horuz A (2012). Bitki Besleme (Ed: MR Karaman). Bölüm: 3, Bitki Beslemenin Temel İlkeleri. Dumat Ofset, Matbaacılık San. Tic. Ltd. Şti., 1080 s, Ankara.

- Türkoğlu B (2006). Toprak Kirlenmesi ve Kirlenmiş Toprakların Islahı. ukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi Toprak Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi. Adana.
- U.S. Soil Survey Staff (1951). Soil Survey Manuel. U.S. Department Agriculture Handbook 18 U.S. Government Printing Office. Washington D.C. USA.
- Ustaoğlu D, Terzioğlu K, Tre H, Yılmaz E, Tunca E (2015). Sucul Ortamlardaki Bakırın (Cu), Su Mercimeği (*Lemna minor* Linneaus 1753) ile Fitoremediasyonu. Ordu Üniversitesi Bilim Teknoloji Dergisi, 5 (2): 10-22.
- Vanlı  (2007). Pb, Cd, B Elementlerinin Topraklardan şelat Destekli Fitoremediasyon Yöntemiyle Giderilmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, vre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Wallace A, Soufi SM, Cha JW, Romney EM (1976). Some Effects of Chromium Toxicity on Bush Bean Plants Grown in Soil. Plant Soil 44: 471-473.
- Watanabe ME (1997). Phtoremediation on the Brink of Commercialization. Environmental Science and Technology, 31: 182-186.
- Wei B, Yang L (2010). A Review of Heavy Metal Contaminations in Urban Soils, Urban Road Dusts and Agricultural Soils from China. Microchemical Journal 94: 99-107.
- Yıldız M, Terzi H, Uruşak B (2011). Bitkilerde Krom Toksisitesi ve Hcresel Cevaplar. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 27 (2): 163-176.
- Yurdakul İ (2015). Kirlenmiş Topraklarda ve Sularda Bitkisel İyileştirme Teknikleri ve nemi. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 2: 55-62.

ÖZGEÇMİŞ

Kırklareli' nde 1991 yılında doğdu. İlköğretim ve ortaöğretimini Kırklareli' nde tamamladı. 2009 yılında Edirne-Uzunköprü Hüseyin Çorum Sağlık Meslek Lisesini bitirdi. 2010 yılında başladığı Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü' nü 2014 yılında bitirdi. 2014 yılında Kırklareli Atatürk Toprak, Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü' nde çalışmaya başlayarak 2016 yılında ayrıldı. Namık Kemal Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine devam etmektedir.