

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FİTOEKSTRAKSİYON İLE AĞIR METALLERİN
TOPRAKTAN ALINIŞI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Müh. Pınar İŞÇİOĞLU

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Mehmet İŞLEYEN

Mayıs 2007

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FİTOEKSTRAKSİYON İLE AĞIR METALLERİN
TOPRAKTAN ALINIŞI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Müh. Pınar İŞÇİOĞLU

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 31 / 05 /2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Yrd. Doç. Dr.
Mehmet İŞLEYEN
Jüri Başkanı**

**Yrd. Doç. Dr.
Mehmet KOBYA
Üye**

**Yrd. Doç. Dr.
Asude ATEŞ
Üye**

TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince her türlü teşvik ve fedakârlığı gösteren, bilgi ve tecrübelerinden istifade ettiğim çok değerli Hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet İŞLEYEN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında bana yardımcı olan, laboratuvar imkânlarından faydalanmamı sağlayan ve her türlü desteği esirgemeyen ADASU Gen. Müd. Yrd. Sayın Muzaffer İŞCİOĞLU, Yatırım ve Planlama Daire Başkanı Sayın Atilla TOPRAK'a Laboratuvar da bana her konuda yardım eden değerli Kimyager arkadaşım Sayın Fatih KABUKÇU'ya, bilgilerinden istifade ettiğim sevgili hocam Sayın Prof. Dr. Saim ÖZDEMİR'e ve teknik eleman arkadaşlarım Sayın Murat HAYKIR, Çevre Mühendisi Hatice ÇAKIR, Çevre Mühendisi S. Şeyma CANBOLAT, Kimya Yüksek Mühendisi Yılmaz Kurtulmuş'a ve Çevre Yüksek Mühendisi Nusret NUHOĞLU'na teşekkür ederim.

Ayrıca Yüksek Lisans eğitimim sırasında değerli katkıları ve yardımlarını esirgemeyen Sevgili Aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Pınar İŞCİOĞLU

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY.....	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Fitoremidasyon.....	3
2.1.1. Fitoekstraksiyon.....	5
2.2.Önceki Çalışmalar.....	5
BÖLÜM 3.	
MATERYAL METOD	10
3.1. Toprak.....	10
3.2. Metaller.....	10
3.3. Bitki.....	11
3.4. Analizler.....	14
3.4.1. Toprak numunesini analize hazırlamak.....	14
3.4.2. Bitki numunesini analize hazırlamak	15
3.5. Hesaplamalar.....	16

BÖLÜM 4.	
BULGULAR VE TARTIŞMALAR.....	17
4.1. Kullanılan Toprağın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	17
4.1.1. İlk topraktaki ağır metal miktarı.....	17
4.1.2. Kullanılan toprağın pH ve EC değerleri.....	17
4.2. Bitkilerde yapılan analiz sonuçları.....	20
4.2.1. Ağır Metallerin ve EDTA'nın Kök Üzerine Etkileri.....	20
4.2.2. Ağır Metallerin ve EDTA'nın Gövde Üzerine Etkileri.....	24
4.2.3. Ağır Metallerin ve EDTA'nın Yaprak Üzerine Etkileri.....	29
KAYNAKLAR.....	35
ÖZGEÇMİŞ.....	38

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

° C	: Santigrad derece
Cd	: Kadmiyum
cm	: Santimetre
cm ³	: santimetre küp
Cu	: Bakır
EDTA	: Ethylenediaminetetraacetic Acid
g	: gram
ICP-OES	: Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer
kg	: Kilogram
L	: Litre
mg	: Miligram
mL	: Mililitre
mm	: Milimetre
Ni	: Nikel
Pb	: Kurşun
ppm	: Milyonda bir kısım
T ° C	: Ulaşılacak sıcaklık
Ta (min)	: İstenilen sıcaklığa çıkılacak Minimum süre
Time (min)	: İstenilen sıcaklıkta beklenecek minimum süre
Zn	: Çinko
µg	: Mikrogram

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. A.Metal ve A.Metal+EDTA eklenen ve Mısır yetiştirilen saksılar	12
Şekil 3.2. A.Metal ve A.Metal+EDTA eklenen ve Fasulye yetiştirilen saksılar.....	12
Şekil 3.3. A.Metal ve A.Metal+EDTA eklenen ve Turp yetiştirilen saksılar.....	13
Şekil 3.4. A.Metal ve A.Metal+EDTA eklenen ve Kabak yetiştirilen saksılar.....	13
Şekil 3.5. A.Metal ve A.Metal+EDTA eklenen ve Marul yetiştirilen saksılar.....	14
Şekil 4.1. Fasulye bitkisinin yetiştirildiği topraklardaki pH ve EC değerlerinin karşılaştırılması.....	18
Şekil 4.2. Kabak bitkisinin yetiştirildiği topraklardaki pH ve EC değerlerinin karşılaştırılması.....	18
Şekil 4.3. Mısır bitkisinin yetiştirildiği topraklardaki pH ve EC değerlerinin karşılaştırılması.....	18
Şekil 4.4. Marul bitkisinin yetiştirildiği topraklardaki pH ve EC değerlerinin karşılaştırılması.....	19
Şekil 4.5. Turp bitkisinin yetiştirildiği topraklardaki pH ve EC değerlerinin karşılaştırılması.....	19
Şekil 4.6. Analiz edilen bitkilerin kökündeki bakır miktarının karşılaştırılması.....	20
Şekil 4.7. Analiz edilen bitkilerin kökündeki çinko miktarının karşılaştırılması.....	21
Şekil 4.8. Analiz edilen bitkilerin kökündeki kadmiyum miktarının karşılaştırılması.....	22

Şekil 4.9. Analiz edilen bitkilerin kökündeki kurşun miktarının karşılaştırılması.....	23
Şekil 4.10. Analiz edilen bitkilerin kökündeki nikel miktarının karşılaştırılması.....	24
Şekil 4.11. Analiz edilen bitkilerin gövdesindeki bakır miktarının karşılaştırılması.....	25
Şekil 4.12. Analiz edilen bitkilerin gövdesindeki çinko miktarının karşılaştırılması.....	26
Şekil 4.13. Analiz edilen bitkilerin gövdesindeki kadmiyum miktarının karşılaştırılması.....	27
Şekil 4.14. Analiz edilen bitkilerin gövdesindeki kurşun miktarının karşılaştırılması.....	28
Şekil 4.15. Analiz edilen bitkilerin gövdesindeki nikel miktarının karşılaştırılması.....	29
Şekil 4.16. Analiz edilen bitkilerin yaprağındaki bakır miktarının karşılaştırılması.....	30
Şekil 4.17. Analiz edilen bitkilerin yaprağındaki çinko miktarının karşılaştırılması.....	31
Şekil 4.18. Analiz edilen bitkilerin yaprağındaki kadmiyum miktarının karşılaştırılması	32
Şekil 4.19. Analiz edilen bitkilerin yaprağındaki kurşun miktarının karşılaştırılması.....	33
Şekil 4.20. Analiz edilen bitkilerin yaprağındaki nikel miktarının karşılaştırılması.....	33

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	Farklı Fitoremidasyon Teknikleri ve kullanıldıkları ortamlar.....	4
Tablo 3.1.	Kullanılan kimyasal tuzları.....	10
Tablo 3.2.	Bitkilerin büyüme süreleri.....	11
Tablo 3.3.	Mikrodalga programı.....	15
Tablo 3.4.	Mikrodalga programı.....	16
Tablo 4.1.	Bitkilerin yetiştirileceği ağır metal ile kirletilmemiş ilk topraktaki ağır metal miktarı ortalaması.....	17

ÖZET

Anahtar kelimeler: Ağır Metal, Fitoekstraksiyon, EDTA

Bu çalışmada topraktaki ağır metal kirliliğinin bitki gelişimine etkisi ve ağır metallerin bitkilerin kök, gövde, yaprak kısımlarındaki birikme oranları araştırıldı. Yapısında 75 ppm Kadmilyum, 124 ppm Nikel, 79 ppm Bakır, 60 ppm Çinko ve 248 ppm Kurşun ağır metalleri bulunan topraklarda yetiştirilen Mısır, Fasulye, Kabak, Turp ve Marulun fiziksel gelişimini ve bu ağır metallerin bitkilerin yapısında birikimini incelemek için deneyler yapıldı. Ağır metalsiz topraklarda yetiştirilen bitkilerle karşılaştırıldığında, deneyde kullanılan ağır metal konsantrasyonlarının bitkilerin kök gövde ve yapraklarında azalışlara neden olduğu ve yüksek oranlarda bünyelerinde biriktirdikleri bulundu.

HEAVY METALS REMOVE FROM SOIL WITH PHYTOEXTRACTION

SUMMARY

Key Words: Heavy Metal, phytoextraction, EDTA

In this experiment was designed to analyse the effect of heavy metal pollution on plant growth and rate of accumulation on plant's leaf, root and shoot. Physical improvement of zeamays, bean, marrow squash, radish and lettuce on soil that including heavy metals as 75ppm Cd, 124ppm Ni, 79ppm Cu, 60ppm Zn, 248ppm Pb and accumulation of these heavy metals in plants were tested. Concentration of heavy metals that were used in tests on the lettuce, radish, bean, corn and squash.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğine göre toprak kirliliği, özellikle insan etkinlikleri sonucu oluşan çeşitli bileşikler tarafından bulaştırılmasını takiben, toprakta yaşayan canlılar ile yetişen ve yetiştirilen bitkilere veya bu bitkilerle beslenen canlılara toksik etkide bulunacak ve zarar verecek düzeyde anormal fonksiyonda bulunmasını, toprağa eklenen kimyasal materyalin toprağın özümleme kapasitesinin üzerine çıkması, toprağın verim kapasitesinin düşmesini ifade eder [1].

Özellikle sanayinin gelişimi, tarımsal üretimde kontrolsüz aşırı gübre ve pestisit kullanımı, atmosferik çökmeler gibi birçok olay sonucu ortaya çıkan toprak kirliliği içerisinde ağır metal kirliliği konusunun son zamanlarda oldukça önem kazandığı ve ilk sırada yer almaya başladığı görülmektedir.

Toprağa karışan ve bikrim gösteren ağır metaller, toprak verimliliğinde azalma, biyolojik hayatı etkileme, ürünlerde verim azalması, besin zinciri ile diğer canlı bünyesinde birikim gösterme gibi toprak ve canlı üzerindeki birçok aktiviteyi etkilemektedir. Ağır metallerin toprağa bitkinin alabileceği formdan farklı bileşikler halinde gelmeleri, toprakta diğer kimyasal bileşiklere dönüşecek şekilde reaksiyona girmeleri ve işlevleri nedeniyle ağır metallerin topraktaki etkileri konusunda bir yargıya ulaşmak güçtür. Topraktaki ağır metallerin en tehlikeli yanı, bitkilerin yapılarına girmeleri, hareketli hale geçtiklerinde (serbest iyon hali) taban suyuna karışarak suyun kalitesini bozmaları, mikroorganizmalara zarar vermeleri ve besin zinciri olarak tanımlanan olay sonucunda zincirin üst halkasını oluşturan insan bünyesine ulaşmalarıdır.

Sanayinin çok olduğu bölgelerde çeşitli sanayilerden kaynaklanan Hava kirliliği, Su Kirliliği ve Toprak kirliliği tarımı ve tarımsal ürünleri etkilediği görülmüştür. Sakarya bölgesine Sanayi açısından baktığımızda ise oldukça yoğun sanayileşmenin

olduğu görülmektedir. Otomotiv sanayi, lastik sanayi, tekstil sanayi, çeşitli metal sanayi, kimya sanayi gibi ağır metal kaynağı olan birçok sanayi vardır. Bölgede tarım da çok yoğun bir Şekilde yapılmaktadır. Ortalama 958.185 da bir alanda tarım yapılmaktadır. Tarımcılık oldukça gelişmiştir ve senede 3 yâda 4 kez ürün alınan tarlalara rastlanmaktadır. Tarımda ve meyve bahçelerinde tarım ilaçları kullanılmakta ve bu ilaçlar gereğinde fazla kullanılmaktadır. Ayrıca Sanayinin çok yoğun olduğu Kocaeli iline de yakınlığı göz önüne alındığında bu bölgede toprak kirliliği oldukça yoğundur [2].

Tarımsal alanların sulandığı Sakarya nehrine deşarj eden veya hava ve yeraltı suları ile nehre ulaşan birçok kirlilikleri de düşündüğümüzde tarımsal ürünlerin organik veya inorganik kirleticilerle kirlenmiş olma ihtimali çok yüksektir.

Görüldüğü gibi birçok sebepten dolayı kirlenen topraktaki yetişen tarım ürünleri de bu kirlilikten etkilenmektedir. Belirli ağır metallere kirlenmiş toprakta yetişen ürünlerin ne kadar etkilendiği, bu ağır metallerin bitki bünyesinde ki birikimi ve çözümleri amaçlanmıştır.

BÖLÜM 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Kirlenmiş toprakları fiziksel ve kimyasal yöntemler ile temizlenme metotlarına bakıldığında ekonomik ve teknolojik açıdan oldukça yüksek maliyetli yatırımlara ihtiyaç olduğu görülmektedir. Bunun yerine hem daha ucuz hem de ekolojik yöntem olan fitoremediasyona başvurulmaktadır.

2.1.Fitoremediasyon

Kısaca bitkiler kullanılarak topraktan organik ve metal kirleticilerin giderimi olarak tarif edilebilir. Fitoremediasyon kirlenmiş toprak, sediment ve suyun yerinde temizlenmesinde kullanılır. Organik, nutrient veya metal kirleticiler tarafından kirlenmiş sığ yerlerde en iyi en iyi uygulama olarak kullanılır. Fitoremediasyonda kullanılan beş temel teknik vardır:

- a. Fitotransformasyon,
- b. Rizosfer Biyoremediasyon,
- c. Fitositabilizasyon,
- d. Fitoekstraksiyon,
- e. Rizofiltrasyon.

Fitodegradasyonun estetik avantajları, uzun vadeliği ve etkililiği ile ortaya çıkan bir teknolojidir. Büyük tarlalarda oldukça elverişlidir. Bu metot kullanıldığında çok pahalıya mal olmaz ve pratiktir [3].

Tablo 2.1. Farklı Fitoremidasyon Teknikleri ve kullandıkları ortamlar [3]

UYGULAMA	ORTAM	KİRLETİCİLER	BİTKİLER
Fitotransformasyon	Toprak, Yeraltı suyu, Atıksuların karadaki uygulamaları	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Herbisitler ◆ Aromatikler (BTEX) ◆ TCE ◆ Nütrientler (NO_3^-, NH_4^+, PO_4^{3-}) ◆ TNT, RDX 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Ağaçlar (Kavak, Söğüt, Toz Ağacı...) ◆ Çim ◆ Baklagiller
Rizosfer Biyoremidasyon	Toprak, Sediment, Atıksuların karadaki uygulamaları	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Organik Kirleticiler (Pestisitler, Aromatikler, [PAHs]) 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Dut, Elma, Portakal Ağaçları... ◆ 0-3 ft derindeki kirleticiler için fiber köklü bitkiler ◆ Sediment için aqua bitkiler
Fitostabilizasyon	Toprak, Sediment	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Metaller (Pb, Cd, Zn...) ◆ Hidrofobik Organikler (PAHs, PCBs, DDT...) 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Büyük su kütleleri için hidrolik kontrol sağlayan phreatophyte ağaçları ◆ 0-3 ft derinlikteki konsantrasyonlar için fiber köklü çimler
Fitoekstraksiyon	Toprak, Sediment, Tarlalar	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Metaller ile EDTA yardımıyla Pb Se...v.b... 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Ayçiçeği ◆ Hindistan hardalı ◆ Kanola ◆ Arpa, Şerbetçi otu
Rizofiltrasyon	Yeraltı suyu, Su ve Atıksu Lagünleri, Sulak alanlar	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Metaller ◆ Radyoaktifler (^{137}Cs, ^{90}Sr, U) ◆ Hidrofobik Organikler 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Sucul Bitkiler

2.1.1. Fitoekstraksiyon

Fitoekstraksiyon bitkiler yardımıyla kirlenmiş ortamdan metal toplamak için kullanılır. Topraktan alınan metal köklerde ve yukarı taşınarak yaprak ve gövdede biriktirilir. Fitoekstraksiyon Phytotech tarafından tarladaki Kadmiyum kirlenmesini düzeltmek için etkili olarak kullanılmıştır. Karışık kirlilik olan yerlerde de önerilen bir metottur. Fitoekstraksiyonun bir önemi de metallerin bitki dokusunda ekonomik bir şekilde toplanabilirliğidir. Tasarım kriterleri biriktirme faktörü (bitki dokusunda ve topraktaki metal oranı) ve bitki üretkenliğidir (her mevsim biçilebilir kuru bitkinin miktarı).

Alternatiflerin kullanışlı olabilmeleri için [> kuru 3 ton bitki miktarı / ha-yr] ve kolayca biçilebilen, kuvvetli büyüyen bitkiler olmalıdır. Hangi kısımda daha çok metal biriktirdiği de önemlidir.

Fitoekstraksiyon için genel bir kural; bitki bünyesine alınması için biyolojik olarak uygun olan metaller kadmiyum, nikel, çinko, arsenik, selenyum ve bakırdır. Kurşun, krom ve uranyum çok uygun olmamakla birlikte kobalt, manganez ve demir biraz daha uygundur. Kurşun toprağa katılan EDTA ile bitki bünyesine alınması uygun hale gelebilir. Kurşun, krom ve uranyum toprağa bağlı olabilir ve rizofiltrasyon yoluyla köklerle çıkabilir.

Fitoekstraksiyonun performansına bakarsak; Trenton'da kurşunla kirlenmiş topraklarda yerinde yapılan çalışmada etkililiği kanıtlanmıştır. Yaklaşık kurşunun %50'si toprakta *Brassica Juncea* kullanılarak bir yılda temizlenmiştir. EDTA eklenmesi Pb'un alımını artırmıştır. Ama Pb ilerleyişine yeraltı suyunun etkisi, suyun hareketinin matematiksel modellenmesi de göz önüne alınması gerekir. Bu olaylar Pb miktarında değişime neden olabilir [3].

2.2. Önceki Çalışmalar

LUO, SHEN, LOU ve LI'nin (2006) yaptıkları bir çalışmada 18 farklı bitki üzerinde EDTA'nın etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarında ağır metal olarak Pb, Zn, Cd ve Cu kullanmışlardır. Deneyde 5 adet Tek çenekli, 13 adette Çift çenekli bitki kullanmışlardır. Toprağa 530 mg/kg Pb, 517 mg/kg Cu, 457 mg/kg Zn ve 3 mg/kg Cd eklenmiştir. Bitkilere büyüdükten sonra 3 mmol/kg EDTA eklemişler ve 7 gün sonra hasat etmişlerdir. Bitkinin gövdesindeki ağır metal miktarlarını ölçmüşlerdir. Ağır metal miktarları karşılaştırıldığında EDTA eklenen topraklarda yetişen bitkilerde ağır metal miktarının arttığı görülmüştür. Sonuçlar karşılaştırıldığında ise tek çenekli bitki türlerinin çift çenekli bitki türlerine göre daha toleranslı olduğu ve gövdelerinde daha az biriktirdikleri görülmüştür.

Ayrıca aynı çalışmalarında 575 mg/kg Pb ve 480 mg/kg Cu içeren toprakta yetişen *Zea Mays L.* (mısır) ve *Chrysanthemum Coronarium L.* (kasımpatı) bitkilerinde EDDS ve EDTA'nın etkileri incelenmiştir. (*Chrysanthemum Coronarium L.* Çift çenekli, *Zea Mays L.* Tek çenekli bir bitkidir.) EDTA ve EDDS'den 0 – 0,5 – 1,0 – 1,5 – 3,0 – 5,0 mmol/kg eklenip ağır metalin toprak ve bitki gövdelerindeki değişimleri izlenmiştir. EDDS ve EDTA miktarları arttıkça bitki büyümesinde de yavaşlama olduğu görülmüştür. *Chrysanthemum Coronarium L.*'de EDDS, *Zea Mays L.*'de ise EDTA'nın daha çok etkilendiği görülmüştür. Bitkilerin gövdelerindeki Cu ve Pb miktarlarına bakıldığında *Chrysanthemum Coronarium L.*'de de *Zea Mays L.*'de de EDDS, Cu alımını EDTA'ya göre daha çok artırdığı görülmüştür. EDDS'li toprakta yetişen *Chrysanthemum Coronarium L.*'de Pb miktarı daha çok bulunurken, *Zea Mays L.*'de EDTA'lı toprakta daha fazla bulunmuştur.

MARCİHOL, ASSOLARI, SACCO ve ZERBI'nin (2004) *Brassica napus* (Kanola) ve *Raphanus sativus* (Turp) bitkileri üzerine yaptıkları bir çalışmada; bitkileri içerisinde 38,6 mg/kg Cd, 165 mg/kg Cr, 286 mg/kg Cu, 46,9 mg/kg Ni, 884 mg/kg Pb ve 6685 mg/kg Zn bulunan kirlenmiş substratta yetiştirmişlerdir. Bitkiler laboratuarda günde 12 saat 500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ fotosentetik aktif radyasyon yayan bir lamba aydınlığına bırakarak büyütmüşlerdir. Çalışmada ayrıca CO_2 – ışık – sıcaklık

sürekli kontrol altına alınarak verilen ışıktaki CO₂ miktarındaki değişimde incelenmiştir. Fotosentezde kullanılan Mg yerine Klorofildeki Hg, Cu, Cd, Ni, Zn, ve Pb geçerek, bitkinin büyümesinin yavaşlamasına neden olduğunu hatırlatarak, kendi çalışmalarında da ağır metalin bitkinin terlemesine bir etkisi olmadığı fakat bitkinin büyümesine etkili olduğunu söylemişlerdir. Ayrıca her iki bitkinin kök ve gövdelerinde yaptıkları deneyler sonucunda, ağır metal ile kirlenmiş substratta yetişen Turp ve Kanola'da kontrol topraklarında yetişenlere oranla daha fazla biriktirdikleri, Turp ise Kanolaya göre daha fazla bünyesinde biriktirdiği görülmüştür. Bitkilerin kök ve gövdeleri karşılaştırıldığında ise her iki bitkininde kök kısmında daha fazla biriktirdiği görülmüştür.

JORDÃO, FIALHO, NEVES, CECON, MENDONÇA ve FONTES (2007) tarafından vermicompost ve marul üzerine yaptıkları bir çalışmada; Cu, Zn ve Ni ile zenginleştirilmiş vermicomposta yetişen marulun kök ve yaprağındaki metal değişimlerini izlemişlerdir. Vermicompostun pH'sı değiştirilerek metal konsantrasyonundaki değişime bakılmış ve pH düşüşünde metal konsantrasyonunda da düşüş görülmüştür. Zenginleştirilmiş gübrede yetişen marulun kökünde daha fazla ağır metale rastlanmıştır. Marulun yaprağında da yapılan deneylerde Cu, Ni ve Zn miktarına ağır metal ile zenginleştirilmiş ortamda büyüyenlerde daha fazla rastlanmıştır. Cu ve Ni kökte daha fazla bulunurken, kirlenmiş gübrede yetişen marul yapraklarında Zn daha fazla bulunmuştur.

TUNA ve GİRĞİN (2005) tarafından Termik santral uçucu küllerinin mısır bitkisinin büyüme, mineral beslenme ve ağır metal bakımından etkileri incelenmiştir. Asıl kaynağı kömür olan Termik santral uçucu küllerinin mineral bakımından zengin olması sebebiyle bitki beslenme ve gelişmesine katkıda bulunacağı düşünülerek deneyler yapılmıştır. % 6,25, 12,50, 18,75 ve 25,00 oranlarında mısır yetiştirilen topraklara kül karıştırılmıştır. Bitkilerde bir kalite kriteri olarak kabul edilen kuru madde miktarında kül oranı arttıkça bir düşüş gözlenmiş, fakat en yüksek uygulamada tekrar arttığı görülmüştür. Mısırın gövde çapı ve yaprak genişliği ve toplam klorofil düzeyinde en düşük kül oranında, gövde boyu ise üçüncü düzey kül uygulamasında en yüksek düzeylere ulaşmıştır. Uçucu kül içinde bulunan ağır metallerin mısır yaprak ve köküne olan etkisi incelendiğinde; kül uygulama

düzeylelerine göre farklılıklar göstermiştir. Cr, Ni ve Co elementlerinde kontrol bitkisine göre azalma, Cd'da ise artış gözlenmiştir. Bu eğilim Pb için önemli olacak kadar değildir.

ZENGİN ve MUNZUROĞLU'nun (2004) cıva ve kadmiyumun fasulye fidelerinin büyümesi üzerine yaptıkları çalışmada; bir haftalık fasulye fidelerini 10 gün boyunca farklı konsantrasyonlarda hazırlanmış ağır metal tuzu çözeltilerine maruz bırakmışlardır. Cıva ve kadmiyum konsantrasyonlarındaki artış fasulyenin yaprak, gövde ve kök büyümesi yavaşlattığı görülmüştür. Ayrıca fidelerin ağır metal solüsyonlarına maruz kalma süreleri arttıkça da büyümede yavaşlama görülmüştür. Çalışmada kök büyümesinin daha duyarlı olduğu görülmüştür. Bu iki elementten cıvanın kadmiyuma göre daha toksik olduğu belirlenmiştir.

LUO, SHEN ve Li (2004) tarafından yapılan bir çalışmada ağır metallerin mısır ve fasulye tarafından bünyelerine alınımı incelenmiştir. Ayrıca EDTA, EDDS ve Sitrik asidin bitki üzerinde ki etkilerine de bakılmıştır. Ağır metal olarak toprağa kg başına 26,7 mg Cu, 44,2 mg Pb, 131 mg Zn ve 0,45 mg Cd eklenmiştir. 2 hafta filizlenmesi beklenen bitkilere daha sonra 5 mmol EDTA, EDDS ve sitrik asit eklenerek her birinin etkisi ayrı ayrı incelenmiştir. Kuru ağırlık bakımından incelenen bitkilerin gövde ve köklerin büyümesini en çok EDDS etkilemiştir. EDTA, EDDS ve Sitrik asit eklendik 7 ve 14 gün sonra topraktaki metal konsantrasyonuna bakılmıştır. 14 gün sonra mısır ve fasulyenin gövde ve kök kısmındaki ağır metal miktarı kontrol bitkileri ile karşılaştırıldığında Cu, Zn ve Cd EDDS eklenen, Pb ise EDTA eklenen saksılarda bitki bünyesinde daha fazla rastlanmıştır.

CHEN, LI ve SHEN (2004) tarafından yapılan bir başka 6'sı çift çenekli ve 4'ü tek çenekli olan 10 çeşit bitkinin bir saksı deneyinde kirli topraktaki EDTA değeri artırılmış fitoekstraksiyon Pb'si araştırılmıştır. Mung bean ve buckwheat'ın topraklardaki EDTA davranışına yüksek hassasiyetleri olduğu bulunmuştur. 2,5 ve 5,0 mmol / kglik EDTA eklenmiştir. 6 çeşit çift çenekli filizlerindeki Pb konsantrasyonunun tek çenekli çeşitlerinden daha fazla olduğu ölçülmüş. En yüksek Pb miktarı Ayçiçeklerinde rastlanmış ve bunu mısır ve şeftalinin izlediği görülmüştür. Ayrıca toprağa 5.0 mmol / kg'lik EDTA uygulaması yapıldıktan sonra

sırasıyla toprağa %3.5 Pb, %15.8 Cu, %13.7 Zn ve %20.6 Cd eklenmiştir. Ayçiçeği yetiştirilmesi sırasında toprakta küçük bir miktar metal salınımı olmuştur. Kısa bir sürede metallerin bitkiler ve bitki kökleri sayesinde toprağın fazla derin olmayan katlarından alındığı görülmüştür.

LUO, SHEN, LI ve BAK (2005) tarafından mısır üzerinde yapılan bir çalışmada EDTA ve EDDS'nin bitki üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ağır metal olarak Cu, Zn, Pb ve Cd kullanılmıştır. Ağır metal ile kirlenmiş toprakta yetiştirilen bitkilere EDTA, EDDS, 1EDTA:1EDDS, 1EDTA:2EDDS ve 2EDTA:1EDDS oranlarında eklenmiştir. Birleşik EDTA ve EDDS uygulamalarının önemli bir şekilde Pb'nin köklerden filizlere doğru geçişine neden olmuştur. Kontrol bitkileri ile karşılaştırmalarda EDTA ve EDDS'nin ağır metal alınımı artırdığı görülmüştür. EDTA + EDDS'nin birlikte uygulanması çok önemli bir şekilde konsantrasyon artışını ve mısır filizlerindeki Cu, Zn, Pb ve Cd alınımı tek bir (EDTA veya EDDS) uygulanmasından daha etkili olduğunu ve bu özelliklere bağlı olarak Pb alınımının daha fazla olduğu görülmüştür. Bu metod çeşitli ağır metallerin toprak kirlenmesine olan etkilerini geliştirebildiği ve EDDS, Cu ve Zn tarafında kirlenen toprağı ıslah etmede daha etkili ve daha iyi bir yöntem olduğu sonucunu varılmıştır.

BÖLÜM 3. MATERYAL METOD:

3.1.Toprak

Araştırmalarımızda kullanılacak toprak Sakarya Nehri kenarında ki verimli topraklardan getirilmiştir. Getirilen toprak Ağustos 2006 da daha homojen bir yapıda olması için elekler yardımıyla elenmiştir. Her bir bitki türü için 3 adet kontrol amaçlı ham toprakta, 8 adette ağır metal eklenmiş toprakta olmak üzere 11 adet bitkilerin ekileceği, 3 adette toprağın kontrol edileceği 1 tanesi ham toprak 2 tanesi ağır metalli toprak olmak üzere toplam 14 adet saksı hazırlanmıştır. Hazırlanan saksıların etiketlenmesi yapıldıktan sonra elenen topraktan her saksıya ilk başta 6 kg tartılmış toprak konulmuştur.

3.2.Metaller

Ağır metal olarak Kadmiyum (Cd), Nikel (Ni), Bakır (Cu), Çinko (Zn) ve Kurşun (Pb) kullanılmıştır.

Tablo3.1. Kullanılan kimyasal tuzları

Ağır Metal	%	Tuzu	Her bir saksı başına ilave edilen miktar
Kadmiyum (Cd)	%98'lik	$Cd(CH_3COO)_2 \cdot 2 H_2O$	0,4522 g Cd
Nikel (Ni)	%98'lik	$Ni(NO_3)_2 \cdot 6 H_2O$	0,6750 g Ni
Bakır (Cu)	%98'lik	$CuSO_4 \cdot 5 H_2O$	0,4756 g Cu
Çinko (Zn)	%98'lik	$ZnSO_4 \cdot 7 H_2O$	0,3627 g Zn
Kurşun (Pb)	%98'lik	$Pb(CH_3COO)_2 \cdot 3 H_2O$	1,4976 g Pb

Ağır metaller toprak numunelerine iki gün ara ile iki seferde eklenmiştir. Katılacak kimyasallar hassas terazide tartıldıktan sonra 500mL saf suda çözülmüş ve her

saksıya 8,20 mL çözelti ilave edilmiştir. Saksılar bolca sulanmıştır. Tohumlara toksik etki yaratmaması için ise her saksıya metaller eklendikten sonra 500 g daha toprak eklenmiştir.

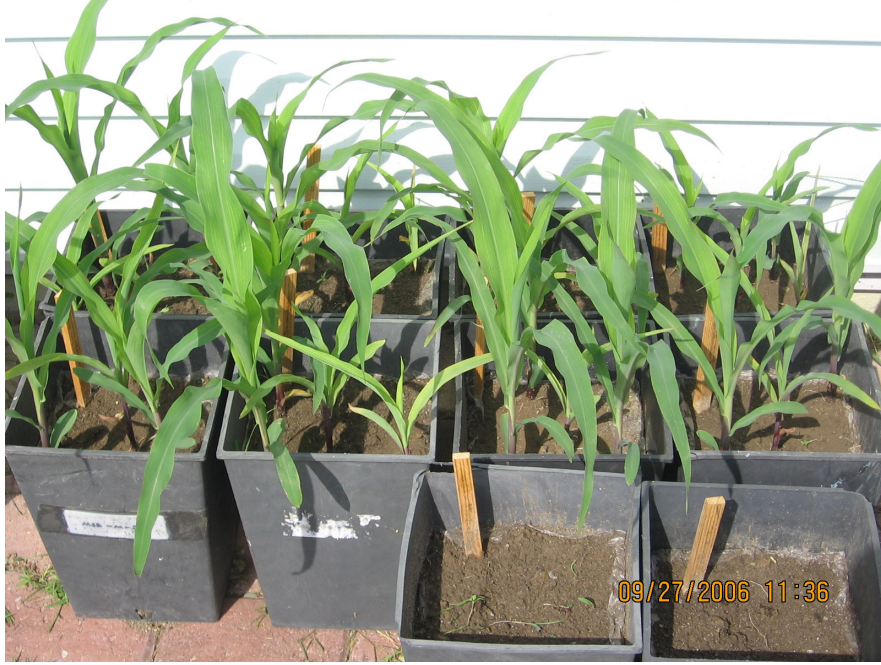
3.3.Bitki

Yaptığımız çalışmalarda ki bitkiler yörede yetiştirilebilen bitkilerden seçilmiştir. Marul (*L.actuva Sativa Var. Longifolia*), fasulye (*Phaseolus vulgaris*), yazlık kabak (*Cucurbita Pepo*), mısır (*Zea mays*) ve turp (*Raphantus sativus var. Radicula*) olmak üzere toplam 5 adet bitki seçilmiştir. Bitki tohumları Ziraat odasından temin edilmiştir. Saksılara her tohumun çıkmama riski göz önüne alınarak mısır, fasulye ve kabaktan her aksıya 6 adet 2-3 cm derinliğe, turp ve maruldan ise bir tutam toprak üzerine ekilmiştir ve saksılara 500 mL su eklenmiştir. Bitki numuneleri doğal hava şartlarında büyümeye bırakılmıştır. Büyümeye bırakılan bitkiler ve her bitki için 3 adet tohum ekilmemiş saksılar, cinsine, büyüklüğüne, havanın durumuna ve yağmur miktarına göre sulanmıştır.

Yeterli büyüklüğe gelen bitkiler hasat edilmeden 10 gün önce ağır metal ile kirletilmiş toprak konan 8 adet saksıdan 4 tanesine Ethylenediaminetetraacetic Acid (EDTA) eklenmiştir. Saksı başına 30 mmol EDTA katılmıştır. (EDTA:C₁₀H₁₄N₂Na₂O₈ · 2H₂O) [12]

Tablo 3.2. Bitkilerin büyüme süreleri

BİTKİ	BÜYÜME SÜRESİ (gün)
MISIR	38 gün
FASULYE	58 gün
KABAK	59 gün
TURP	68 gün
MARUL	82 gün



Şekil 3.1. A.Metal ve A.Metal+EDTA eklenen ve Mısır yetiştirilen saksılar



Şekil 3.2. A.Metal ve A.Metal+EDTA eklenen ve Fasulye yetiştirilen saksılar



Şekil 3.3. A.Metal ve A.Metal+EDTA eklenen ve Turp yetiştirilen saksılar



Şekil 3.4. A.Metal ve A.Metal+EDTA eklenen ve Kabak yetiştirilen saksılar



Şekil 3.5. A.Metal ve A.Metal+EDTA eklenen ve Marul yetiştirilen saksılar

3.4.Analizler

3.4.1. Toprak numunesini analize hazırlama

Ham toprak elenip saksılara konulduktan sonra, her bir bitkiye ayrılan saksılardan eşit miktarda toprak numunesi alınıp karıştırılmıştır. Her bitki için ayrı alınan topraklardan numuneler alınarak daha önceden 105 °C 'de 2 saat etüvde ardından da 2 saat desikatörde bekletilmiş numune kaplarına konmuştur. Tartılıp etüve konan numuneler 105 °C 'de 2 saat bekletildikten sonra 2 saatte desikatörde bekletilmiştir. Desikatörden çıkan numuneler tartıldıktan sonra nem miktarları hesaplanmıştır.

Topraktaki ağır metal miktarına bak için alınan numuneler 105 °C 'de 2 saat etüvde ardından da 2 saat desikatörde bekletilmiştir. Ağır metal analizi için 0,5–1 g arası numuneler alınmıştır ve mikrodalganın teflon hücrelerine konmuştur. Üzerine 2,5 mL HNO₃ ve 7,5 mL HCl eklenmiştir. 10 dakika beklendikten sonra mikrodalgada (BERGHOF MVS–3 Speed Wave) aşağıdaki tabloda belirtilen programda yakılmıştır.

Tablo 3.3. Mikrodalga programı

Step	1	2	3
T °C	140	160	175
Ta (min)	5	3	3
Time (min)	5	5	20

Mikrodalgadan çıkan numune süzölmüş ve 50mL'ye seyreltilmiştir. Daha sonrada ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer) (Perkinelmer Optima 2100 DV) 'de ağır metal tayini yapılmıştır.

3.4.2. Bitki numunelerini analize hazırlama

Yeterli büyüklüğe gelen bitkiler toprağa yakın bir kısmından kesilmiştir. Daha sonra gövde ve yapraklar birbirinden ayrılmıştır. Birbirinden ayrılan yaprak ve gövdeler zaman kaybetmeden tek tek hassas terazide tartılmıştır. Bütün bitkiler gövde ve yaprakları kesilip tartım işlemi bittikten sonra kök kısmını topraktan çıkarılmıştır. Kök kısmını komple topraktan çıkarabilmek için saksıdan çıkarılan toprak geniş bir kaba alınmıştır. Belli bir miktar su dökülerek toprağın yumuşaması sağlanmıştır. Yumuşamış topraktan çıkarılan kökün içinde kalan toprakları temizlemek için kök bol temiz içme suyunda yıkanmıştır. Yıkanan kökün suyu alındıktan sonra kökler hassas terazide tartılmıştır. Sulu toprak ise içindeki metal miktarının değişmesini engellemek için naylon torbalar içine konup tekrar saksılara konulup kurumaya bırakılmıştır. Tartılıp not alınan mısır bitkisine ait gövde ve yapraklar daha küçük parçalara ayrılmış ve alüminyum folyo kaplara konulmuş numuneler kurumaları için etüvde 105 °C 'de 1 gün bekletilmiştir.

Bütün bitkilerin hasatları bittikten sonra etüvde kuruttuğumuz kök, gövde ve yapraklarından ortalama 0,1500 g ağırlığında numuneler alınarak hassas terazide tartılmıştır. Tartım sonuçları not edilmiştir.

Yaklaşık 0,1500 g ağırlığındaki numuneler MVS-3 Def 60S teflon yakma hücresine konulmuş ve üzerine 2 mL Nitrit asit (HNO₃) ile 3 mL Hidrojen peroksit (H₂O₂)

eklenmiştir. Teflon kaplar mikrodalgaya konulup aşağıdaki program kullanılarak yakılmıştır.

Tablo 3.4. Mikrodalga programı

Step	1	2	3	4
T °C	145	180	100	100
Ta (min)	10	5	5	5
Time (min)	5	10	10	0

Mikrodalgada elde edilen çözelti % 0,03'lük HNO₃ çözeltisi ile 50 mL'ye seyreltilerek ICP'de bakmak için numuneler hazırlanmıştır.

ICP'nin kalibrasyonu için 1 mg/L'lik ana standart hazırlanmıştır. Bu standartı hazırlamak için sertifikalı (Inorganic Ventures/IV Labs is an ISO Guide 34–2000 Certified Reference Material (CRM) Manufacturer: Certificate #883–02) standartlar kullanılmıştır.

Bu standartların her birinden 0,1 mL alınarak bir kaba konmuş ve % 0,03'lük HNO₃ çözeltisi ile 100 mL'ye seyreltilerek 1,000 mg/L çözelti hazırlanmıştır. Hazırlanan bu karışık standarttan 0,003, 0,010, 0,030, 0,060 ve 0,100 mg/L'lik çözeltiler hazırlanmıştır. Daha sonra bu 6 standart ile ICP'nin kalibrasyonu yapılmıştır. Kalibrasyonu yapılan ICP'de daha önceden hazırlanan numunelere bakılmıştır.

3.5.Hesaplamalar

mg/L cinsinden çıkan sonuçlar mg/kg cinsine çevrilmesi için aşağıdaki denklem kullanılmıştır.

$$\text{Metal Konsantrasyonu (mg / kg)} = \frac{A \times B}{g \text{ sample}}$$

A: Çözelti içindeki metal konsantrasyonu, (mg/mL)

B: Hazırlanmış Çözeltinin son hacmi, (mL)

g sample: Alınan numune miktarı, (gram)

BÖLÜM 4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR:

3.6.Kullanılan Toprağın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

3.6.1. İlk topraktaki ağır metal miktarı

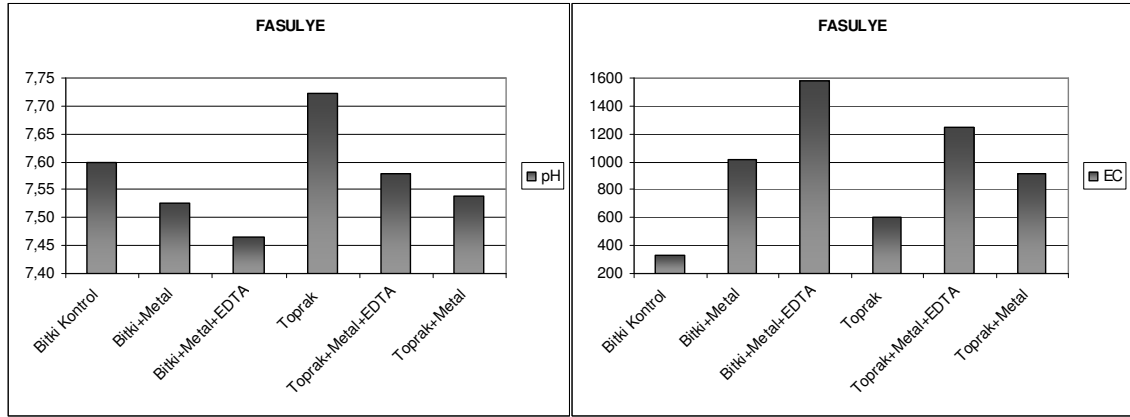
Her bitki için kullanılan topraktan ağır metal eklenmeden önce numune alınmış ve ayrı ayrı analiz yapılarak Pb, Ni, Cu, Zn ve Cd miktarlarına bakılmıştır. Aşağıda bakılan 5 adet numunenin ortalaması verilmiştir. (Tablo 4.1)

Tablo 4.1. Bitkilerin yetiştirileceği ağır metal ile kirletilmemiş ilk topraktaki ağır metal miktarı ortalaması

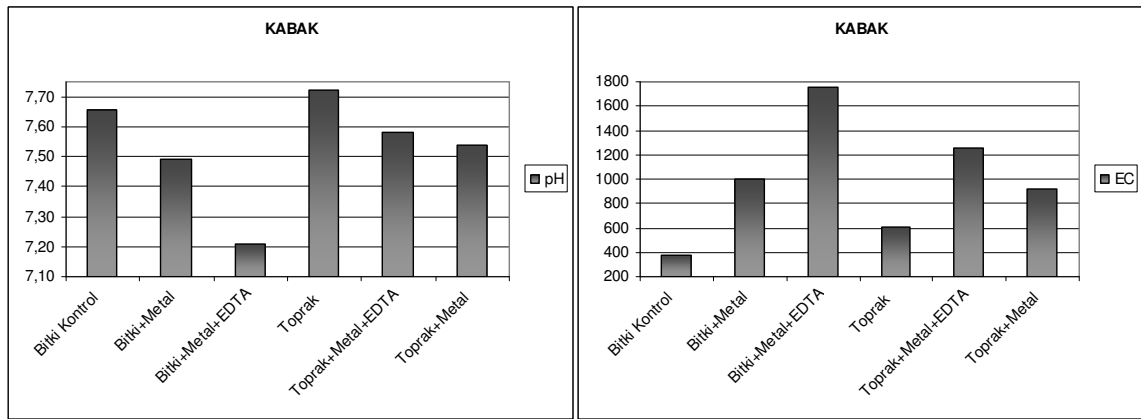
Ağır Metal	Analiz Sonucu (mg/Kg)
Kurşun (Pb)	10,24 ± 0,53
Nikel (Ni)	63,59 ± 0,52
Bakır (Cu)	27,48 ± 1,38
Çinko (Zn)	47,01 ± 2,00
Kadmiyum (Cd)	0,2 ± 0,10

3.6.2. Kullanılan toprağın pH ve EC değerleri

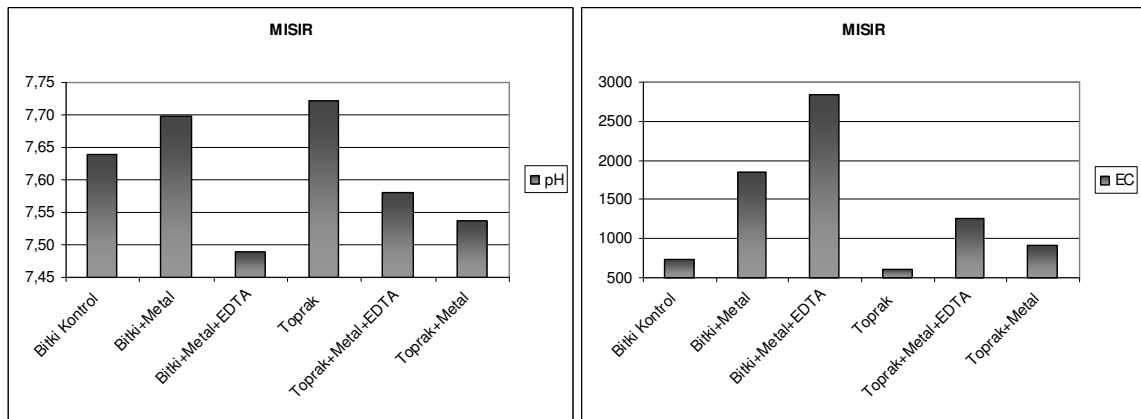
Bitkileri hasat ederken bitki yetiştirilen, ağır metal - EDTA eklenen ve bitki ekilmemiş ağır metal – EDTA eklenen topraklardaki ölçülen pH ve EC değerlerinin hiçbir işlem görmemiş sade toprakta ölçülen değere göre karşılaştırılmış ve aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir. Grafiklerde görünen pH ve EC değerleri aynı bitkinin aynı işlem görmüş saksılarındaki topraklarının ortalamasıdır.



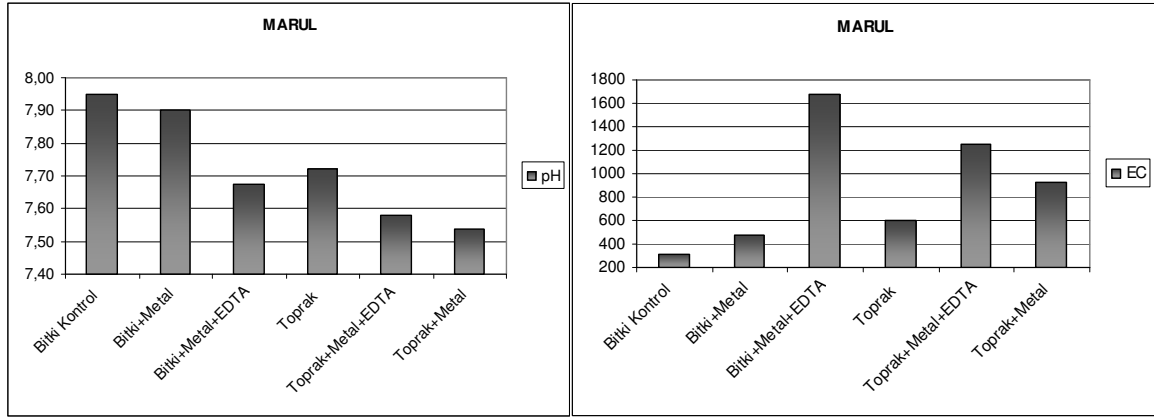
Şekil 4.1. Fasulye bitkisinin yetiştirildiği topraklardaki pH ve EC değerlerinin karşılaştırılması



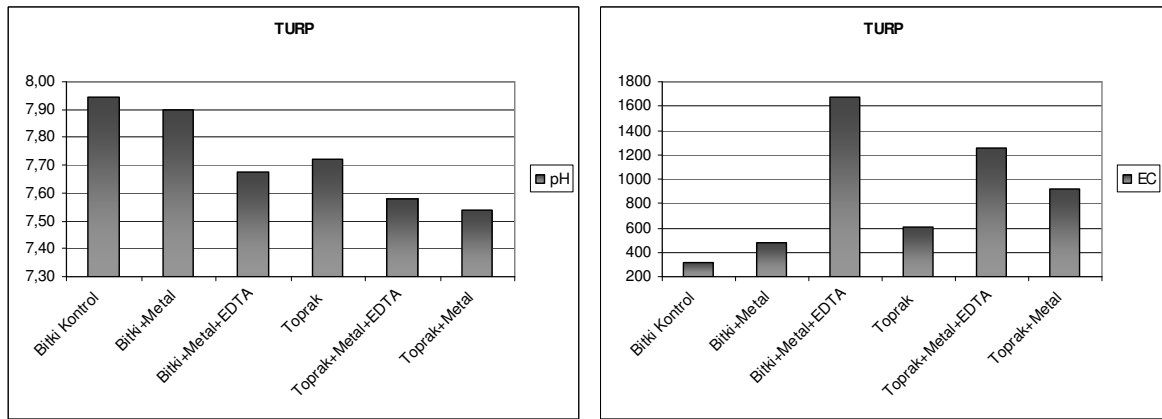
Şekil 4.2. Kabak bitkisinin yetiştirildiği topraklardaki pH ve EC değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.3. Mısır bitkisinin yetiştirildiği topraklardaki pH ve EC değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.4. Marul bitkisinin yetiştirildiği topraklardaki pH ve EC değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.5. Turp bitkisinin yetiştirildiği topraklardaki pH ve EC değerlerinin karşılaştırılması

Grafiklerde de görüldüğü gibi bitki yetişen topraklarda pH değeri daha fazladır. Ağır metal eklenen topraklarda pH miktarı kontrol saksılarına göre daha düşük, EDTA eklenen saksıların pH'sı ise diğer saksılarla karşılaştırıldığında daha da düşüktür. Ancak bu durum Mısır da biraz farklılık göstererek kontrol saksında metal eklenmiş saksılara oranlara düşük çıkmıştır.

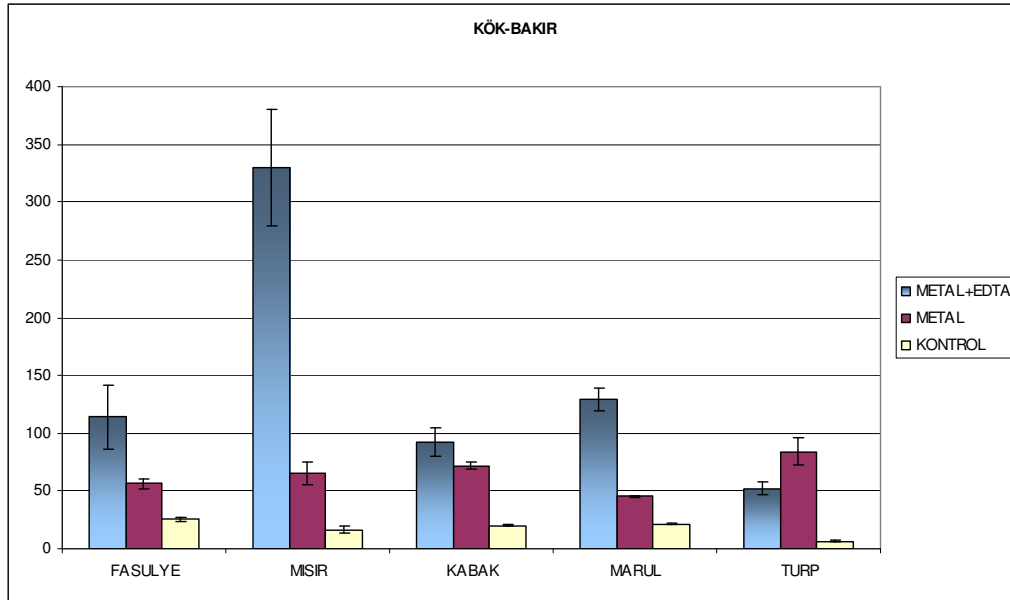
EC değerlerine bakıldığında bütün bitkilerde EDTA'dan dolayı kontrol saksılarına göre bitki yetişen ve EDTA eklenen saksıda EC değerinin daha fazla olduğu görülmüştür. Sadece toprak ve bitki olan saksılarda EC değeri diğer saksılara göre oldukça düşük çıkmıştır.

3.7.Bitkilerde Yapılan Analiz Sonuçları

3.7.1. Ağır metallerin ve EDTA'nın kök üzerine etkileri

Aşağıdaki şekillerde de görüldüğü gibi ağır metal ile kirlenmiş toprakta yetişen bitkilerde ağır metal miktarı daha fazla bulunmuştur. (Şekil: 4.6–4.10) LUO, LI ve diğerlerinin yayınlarında da görüldüğü gibi EDTA eklenmiş toprakta ise çoğu bitkilerde ağır metal miktarında ki artış daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca kontrol bitkilerinin köklerine oranla ağır metalli toprakta yetişen bitkilerin köklerinin daha az geliştiği görülmüştür. [11, 12, 13].

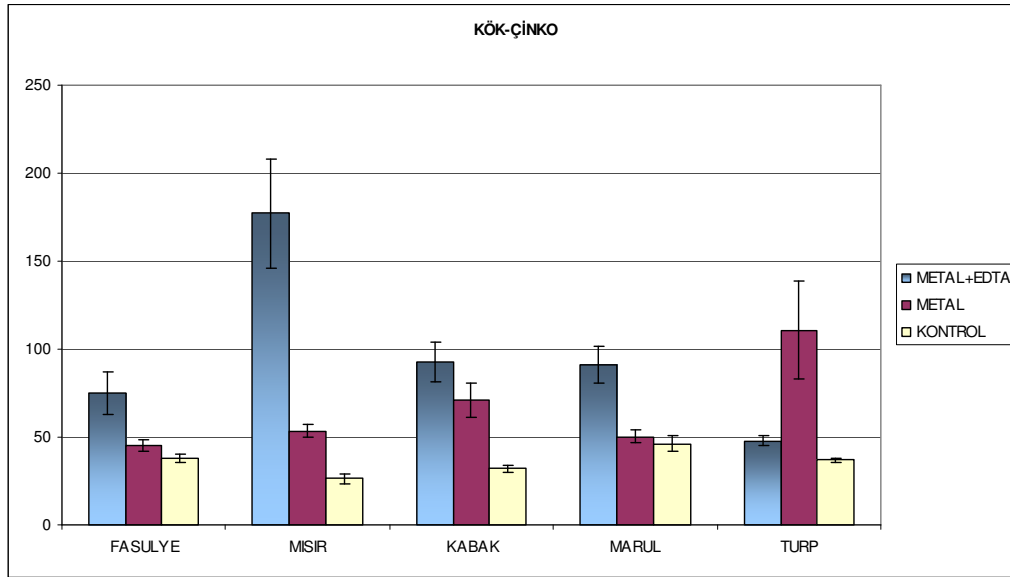
Fitoremidasyonun bir başka tekniği olan Rizofiltrasyon; kirliliğin bitkinin kök kısmında birikmesi veya tutulması olayıdır. Bu sebeple kök kısmında ağır metal miktarının daha çok çıkması rizofiltrasyondan dolayı veya kök kısmının çok iyi yıkanmamasından dolayı olabilmektedir.



Şekil 4.6. Analiz edilen bitkilerin kökündeki bakır miktarının karşılaştırılması

Kontrol bitkilerin köklerindeki bakır miktarı ile ağır metalle kirlenmiş topraklarda yetişen bitkilerin kökleri karşılaştırıldığında, ağır metalle kirlenmiş toprakta yetişen

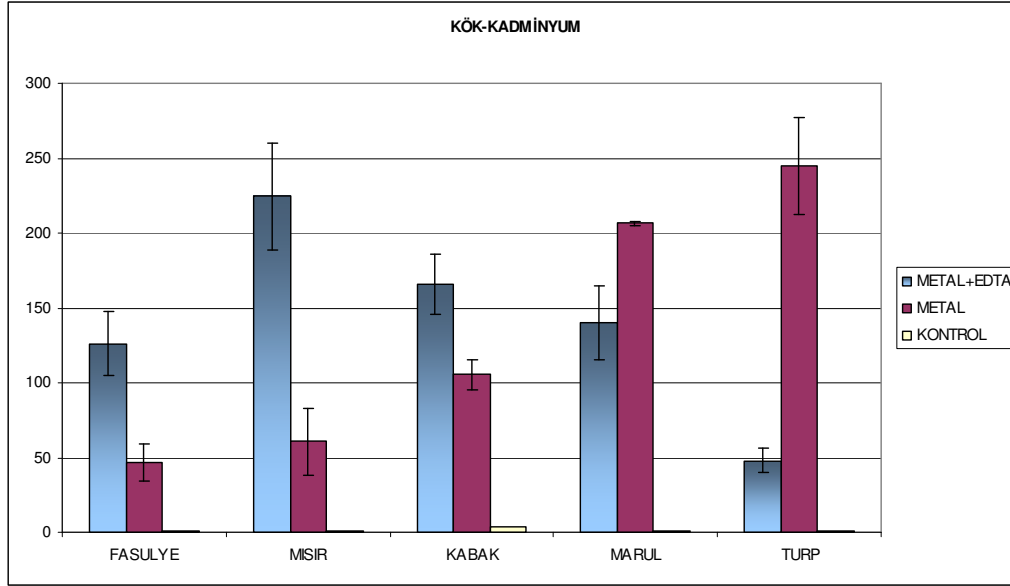
bitkinin kökünde bakır miktarının fazla olduğu görülmüştür. LUO, C., ve diğerleri, CHEN, Y., ve diğerleri, Lİ, H. Ve diğerlerinin yaptıkları çalışmalarda görüldüğü gibi bizim çalışmamızda da EDTA eklenen topraklarda yetişen bitkilerin genelinde ise bu oran daha fazla artmıştır. Fakat EDTA eklenen topraklarda yetişen turp'ta ağır metal miktarının EDTA eklenmemiş topraklardakine oranla daha az olduğu görülmüştür. EDTA'nın en çok mısırın kökü etkilediği ve mısır kökünde bakırın daha çok birikim yaptığı görülmüştür.



Şekil 4.7. Analiz edilen bitkilerin kökündeki çinko miktarının karşılaştırılması

Kontrol bitkilerin köklerindeki çinko miktarı ile ağır metalle kirletilmiş topraklarda yetişen bitkilerin kökleri karşılaştırıldığında, ağır metalle kirlenmiş toprakta yetişen bitkinin kökünde bakırda olduğu gibi çinkoda da miktarının fazla olduğu görülmüştür. Çinko bitki gelişimde önemli bir metaldir. Bitkinin yeşermesi ve büyümesi için belli bir miktar gerekmektedir. Ayrıca ham toprağımızda da çinko miktarı diğer metallere oranla fazla olduğunda dolayı kontrol bitkilerinde de çinko miktarı diğer metallere göre daha fazla çıkmıştır. LUO, C., ve diğerleri, CHEN, Y., ve diğerleri, Lİ, H., ve diğerleri gibi yapılan birçok çalışmalarda görüldüğü gibi bizim çalışmamızda da EDTA eklenen topraklarda yetişen bitkilerin genelinde ise bu oran daha fazla artmıştır. Fakat EDTA eklenen topraklarda yetişen turp'ta ağır metal miktarının EDTA eklenmemiş topraklardakine oranla daha az olduğu görülmüştür.

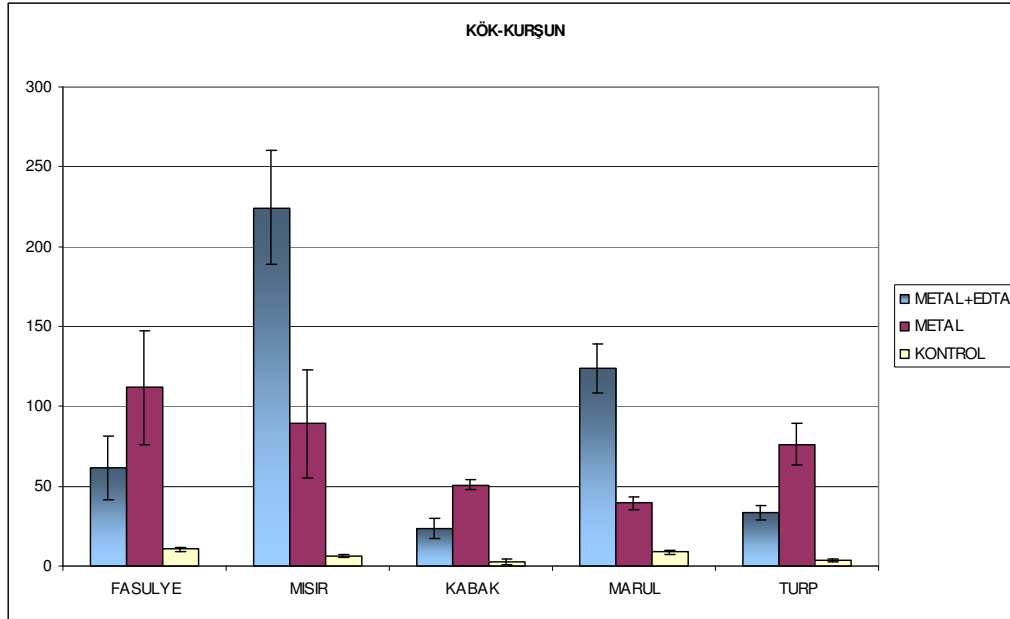
EDTA'nın en çok mısırın kökü etkilediği ve mısır kökünde çinkonun daha çok birikim yaptığı görülmüştür.



Şekil 4.8. Analiz edilen bitkilerin kökündeki kadmiyum miktarının karşılaştırılması

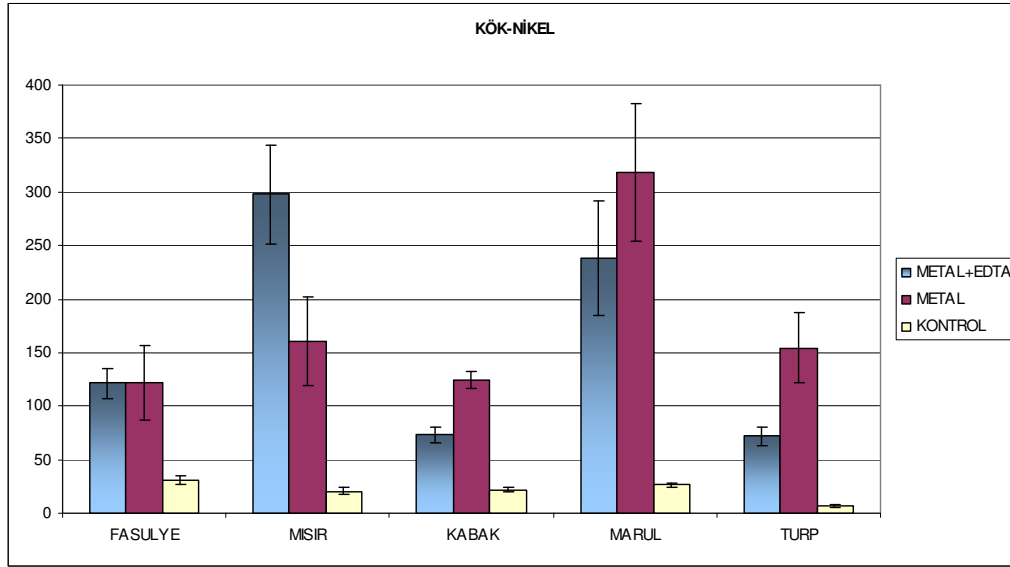
Kontrol bitkilerin köklerindeki kadmiyum miktarı ile ağır metalle kirlenmiş topraklarda yetişen bitkilerin kökleri karşılaştırıldığında, ağır metalle kirlenmiş toprakta yetişen bitkinin kökünde Kadmiyum miktarının diğer ağır metallere oranlara çok daha fazla biriktiği görülmüştür. Kadmiyum bitkinin yetişmesinde önemli bir element olmadığından ve ham toprağımızda Kadmiyum çok az miktarda bulunduğu için kontrol bitkilerimizde Kadmiyum miktarı önemsenemeyecek derecede azdır. Literatürde incelenen birçok çalışmaya bakıldığında ağır metal bitkinin bünyesinde birikme gösterdiği için bizim çalışmamızda ki gibi ağır metal ile kirlenmiş toprakta yetişen bitkide Kadmiyum miktarının arttığı görülmektedir. EDTA eklenen topraklarda yetişen bitkilerin genelinde ise bu oran daha fazla artmıştır. Ancak EDTA eklenen topraklarda yetişen marul ve turp'ta ağır metal miktarının EDTA eklenmemiş topraklardakine oranla daha az olduğu görülmüştür.

EDTA'nın en çok mısırın kökü etkilediği ve mısır kökünde kadmiyum daha çok birikim yaptığı görülmüştür.



Şekil 4.9. Analiz edilen bitkilerin kökündeki kurşun miktarının karşılaştırılması

Analiz edilen bitki köklerinde kurşun miktarları karşılaştırıldığında kontrol bitkilerine göre ağır metal eklenen saksılarda yetişen bitkilerde kurşun miktarı daha fazla bulunmuştur. Fasulye de bu oran diğer bitkilere göre daha fazla bulunmuştur. EDTA eklenen saksılarda yetişen mısır ve marul da ağır metal miktarı çok daha fazla artış göstermiştir. Fakat EDTA eklenen saksılarda yetişen fasulye, kabak ve turpta yapılan birçok çalışmaya göre bizim çalışmamızda ağır metal oranına daha az rastlanmıştır. Kurşun çalıştığımız bitkilerden en fazla mısırı etkileyerek, en çok mısır bünyesinde birikme göstermiştir.



Şekil 4.10. Analiz edilen bitkilerin kökündeki nikel miktarının karşılaştırılması

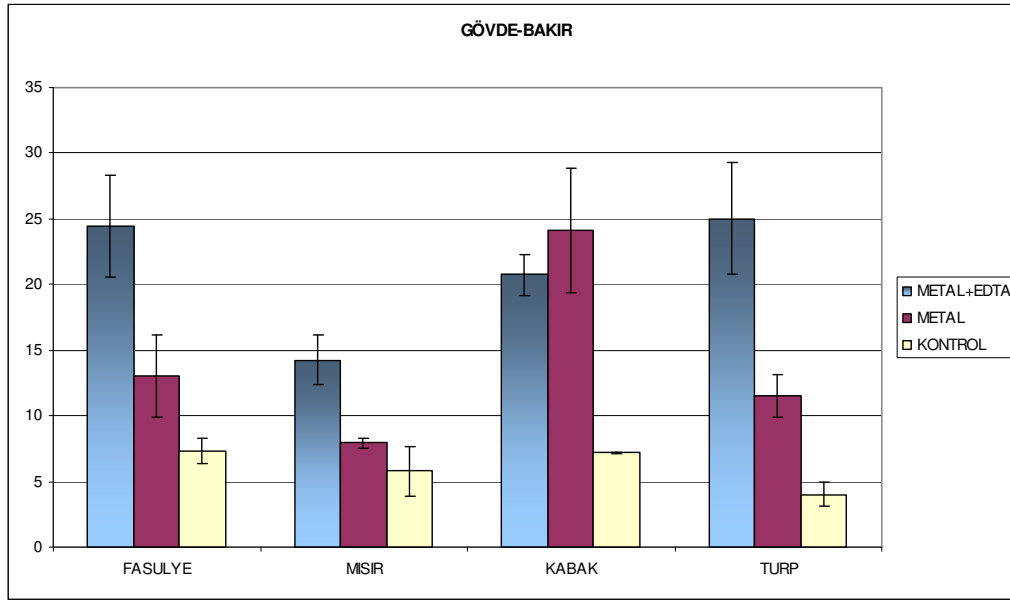
Kontrol bitkilerin köklerindeki nikel miktarı ile ağır metalle kirletilmiş topraklarda yetişen bitkilerin köklerindeki nikel miktarı karşılaştırıldığında, ağır metalle kirlenmiş toprakta yetişen bitkinin kökünde diğer ağır metallerde olduğu gibi miktarının fazla olduğu görülmüştür. LUO, C., ve diğerleri, CHEN, Y., ve diğerleri, Lİ, H., ve diğerleri gibi yapılan birçok çalışmalarda görüldüğü gibi bizim çalışmamızda EDTA eklenen topraklarda yetişen mısır hariç diğer bitkilerin köklerinde miktar artmamıştır. Bizim çalışmamızda EDTA eklenen topraklarda yetişen kabak, marul ve turp'ta ağır metal miktarının EDTA eklenmemiş topraklardakine oranla daha az olduğu, fasulyede ise bu oranın aynı kaldığı görülmüştür. EDTA'nın en çok mısırın kökü etkilediği ve mısır kökünde nikel daha çok birikim yaptığı görülmüştür.

3.7.2. Ağır metallerin ve EDTA'nın gövde üzerine etkileri

Aşağıdaki şekillerde de görüldüğü gibi bitkilerin kök kısmında görülen kirlenmiş toprakta daha az gelişme ve EDTA'lı toprakta ağır metali daha fazla bünyeye alma, bitkinin gövdesinde de görülmüştür. (Şekil: 4.11–4.15) LUO, LI ve diğerleri, MARCİHOL, ASSOLARI ve diğerleri, JORDÃO, FIALHO ve diğerlerinin yayınlarında da görüldüğü gibi ağır metal ile kirlenmiş toprakta yetişen bitki gövdelerinde daha fazla ağır metal miktarına rastlanmış, EDTA eklenmiş toprakta ise

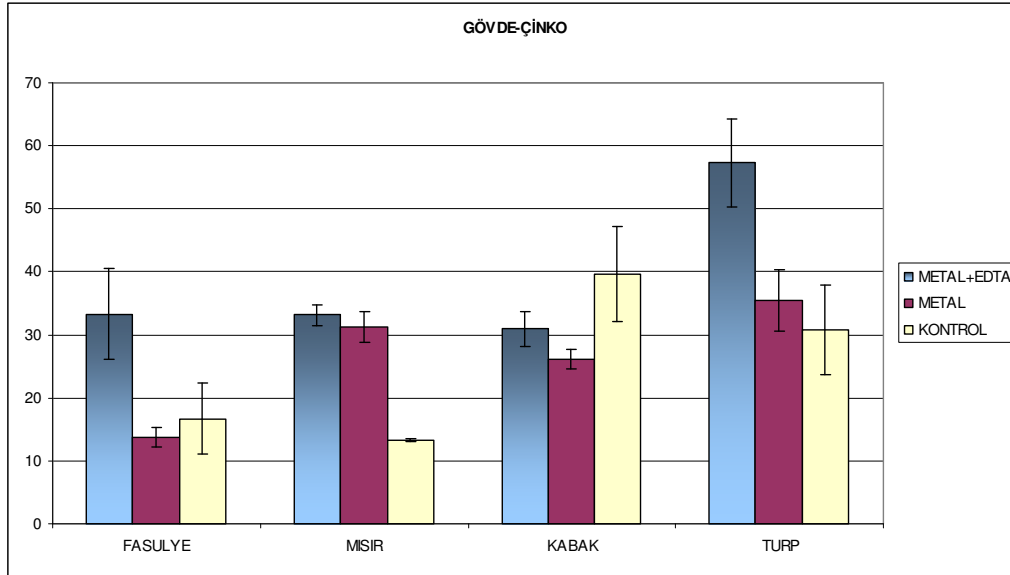
çoğu bitkilerde ağır metal miktarında ki artış daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca kontrol bitkilerinin köklerine oranla ağır metalli toprakta yetişen bitkilerin köklerinin daha az geliştiği görülmüştür. [1, 2, 3].

Yetiştirilen bitkilerin gövde kısmındaki ağır metal miktarlarına bakıldığında köklere ve yapraklara göre daha az birikim yaptığı gözlenmiştir.



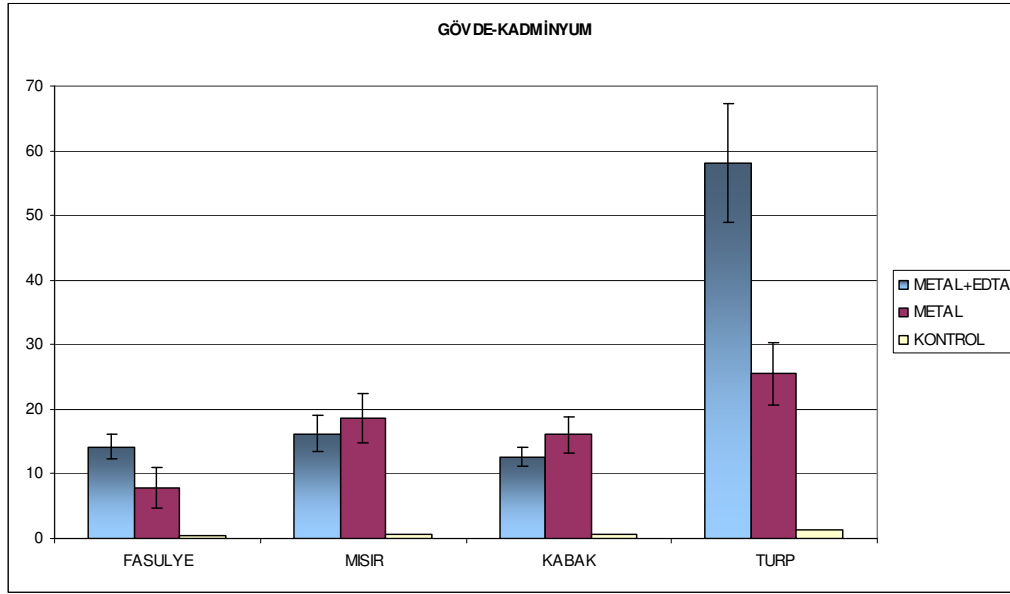
Şekil 4.11. Analiz edilen bitkilerin gövdesindeki bakır miktarının karşılaştırılması

Yapılan deneyler sonucunda kirlenmiş toprakta yetişen bitkilerde bakır oranının daha fazla çıktığı görülmüştür. Bitkiler arasında karşılaştırma yaptığımızda ise kabağın gövde kısmında bakırı daha fazla biriktirdiği görülmüştür. EDTA eklenen topraklarda yetişen bitkilerde kabak hariç diğerlerinde ağır metal miktarı daha fazla bulunmuştur. Fakat EDTA eklenen toprakta yetişen kabak da sadece ağır metal eklenmiş toprakta yetişen kabaktan daha az ağır metal bulunmuştur. Daha önceden yapılan çalışmalar incelendiği zaman görülmüştür ki gövde ağır metal miktarı köklere göre daha az çıkmıştır. Bizim çalışmamızda da kök ile karşılaştırıldığında gövde de daha az bakıra rastlanmıştır.



Şekil 4.12. Analiz edilen bitkilerin gövdesindeki çinko miktarının karşılaştırılması

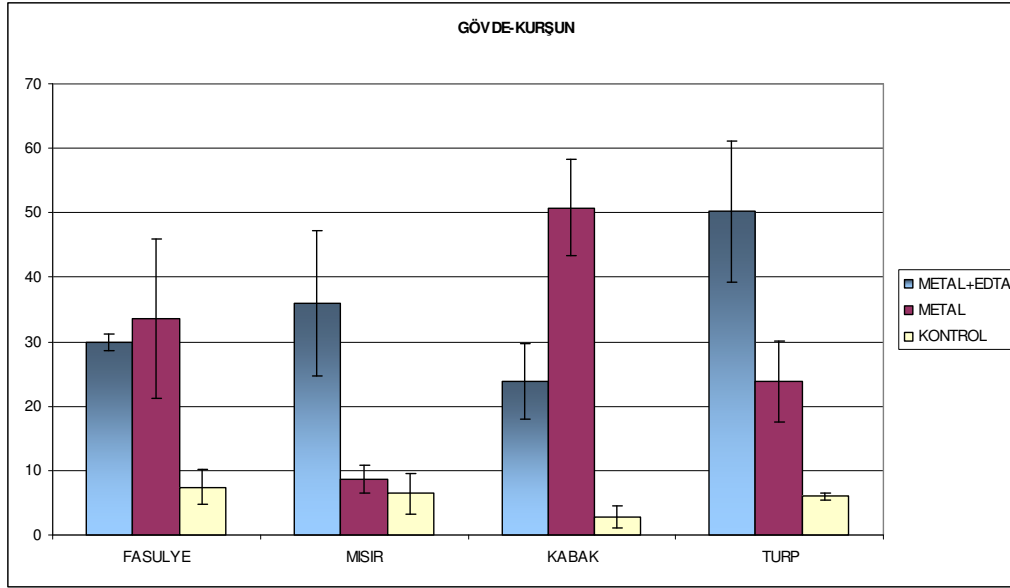
Kontrol bitkilerin gövdesindeki çinko miktarı ile ağır metalle kirlenmiş topraklarda yetişen bitkilerin kökleri karşılaştırıldığında, ağır metalle kirlenmiş toprakta yetişen mısır ve turpta daha fazla çinkoya rastlanırken, fasulye ve kabakta daha azdır. Çinkonun bitki gelişimde önemli bir metal olduğu, bitkinin yeşermesi ve büyümesi için belli bir miktar gerekli olduğu ve ham toprağımızda da çinko miktarı diğer metallere oranla fazla olduğundan dolayı kontrol bitkilerinde de çinko miktarı diğer metallere göre daha fazla çıkmıştır. Yapılan birçok çalışmada görüldüğü gibi bizim çalışmamızda da EDTA eklenen topraklarda yetişen bitkilerde ise sadece ağır metalli topraklarda yetişen bitkilere göre daha fazla olduğu görülmüştür. EDTA'nın en çok turp gövdesini etkilediği çinkonun daha çok birikim yaptığı görülmüştür.



Şekil 4.13. Analiz edilen bitkilerin gövdesindeki kadmiyum miktarının karşılaştırılması

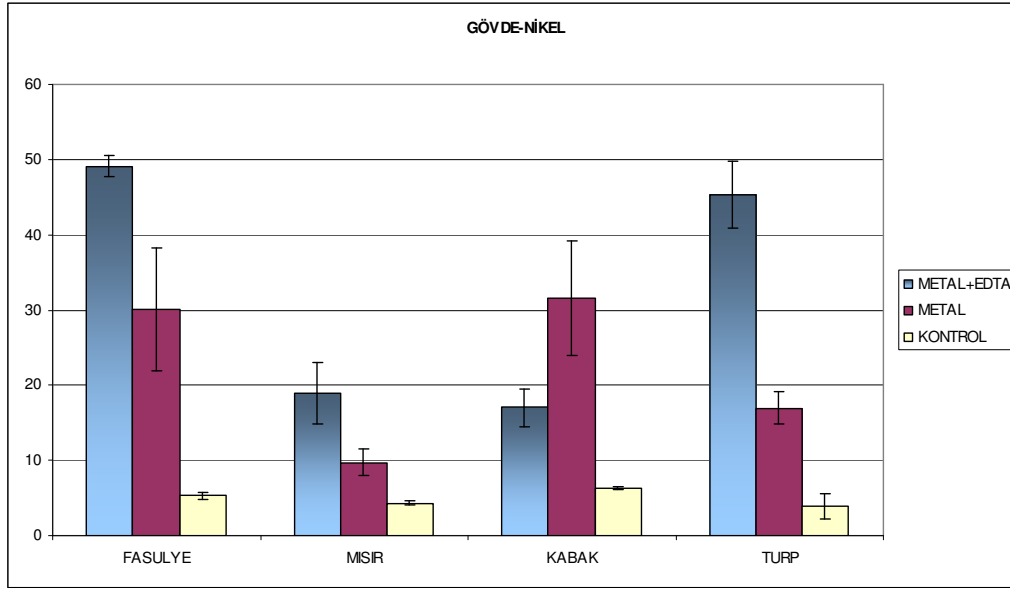
Deneylerde kadmiyumun gövde ve yapraklarda olduğu gibi gövde de kontrol bitkilerine göre çok daha fazla birikim yaptığı görülmüştür. Diğer metallerle karşılaştırıldığında kontrol bitkilerine göre ağır metal ile kirlenmiş topraklarda yetişen bitkilerde kadmiyum oranı çok daha fazla bulunmuştur. Kadmiyum bitkinin yetişmesinde önemli bir element olmadığından ve ham toprağımızda Kadmiyum çok az miktarda bulunduğu için kontrol bitkilerimizde Kadmiyum miktarı önemsenemeyecek derecede azdır. Literatürde incelenen birçok çalışmaya bakıldığında ağır metal bitkinin bünyesinde birikme gösterdiği için bizim çalışmamızda ki gibi ağır metal ile kirlenmiş toprakta yetişen bitkide Kadmiyum miktarının arttığı görülmektedir. EDTA eklenen topraklarda yetişen bitkilerin genelinde ise bu oran daha fazla artmıştır. Ancak EDTA eklenen topraklarda yetişen kabak ve mısırdaki ağır metal miktarının EDTA eklenmemiş topraklardakine oranla daha az olduğu görülmüştür.

EDTA'nın en çok turp gövdesini etkilediği ve turp gövdesinin kadmiyumu daha çok birikim yaptığı görülmüştür.



Şekil 4.14. Analiz edilen bitkilerin gövdesindeki kurşun miktarının karşılaştırılması

Kontrol bitkilerinin gövdesindeki kurşun miktarı ile ağır metal ile kirlenmiş topraklarda yetişen bitkilerin yapraklarındaki kurşun miktarı karşılaştırıldığında yapılan bütün deneylerde bulunan sonuçlar gibi bu karşılaştırmada da kurşun miktarı kirlenmiş toprakta yetişen bitkilerde daha fazla bulunmuştur. Bitkiler arasındaki karşılaştırmada kabak kurşundan en çok etkilenerek en çok gövdesinde birikim yapan bitki olmuştur. EDTA diğer metallerde olduğu gibi kurşun miktarında bütün bitkilerde artış olmamış, kabak ve fasulye sadece ağır metal ile kirlenmiş saksılarda daha fazla olduğu görülmüştür.



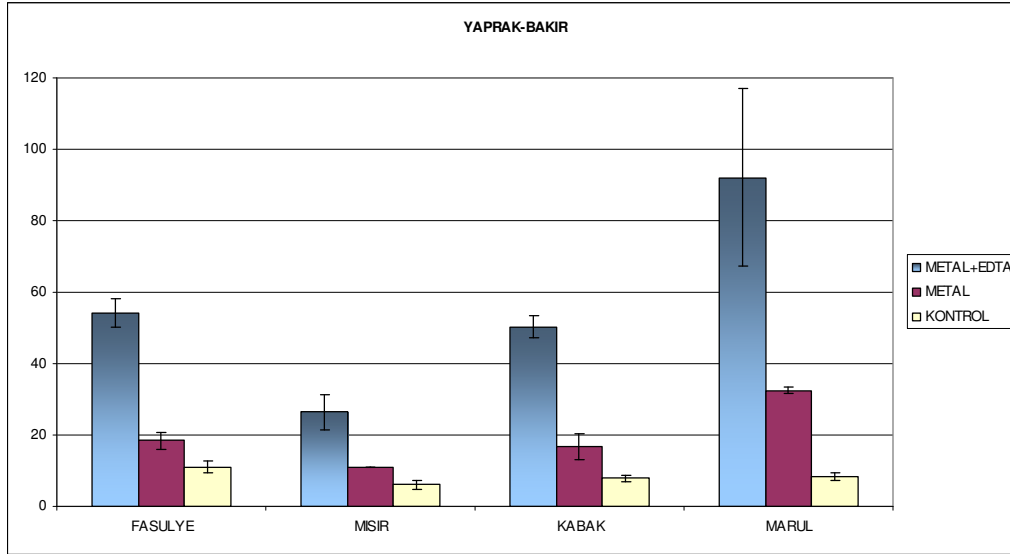
Şekil 4.15. Analiz edilen bitkilerin gövdesindeki nikel miktarının karşılaştırılması

Kontrol bitkilerin gövdelerindeki nikel miktarı ile ağır metalle kirlenmiş topraklarda yetişen bitkilerin köklerindeki nikel miktarı karşılaştırıldığında, ağır metalle kirlenmiş toprakta yetişen bitkinin kökünde diğer ağır metallerde olduğu gibi miktarının fazla olduğu görülmüştür. LUO, C., ve diğerleri, CHEN, Y., ve diğerleri, Lİ, H., ve diğerleri gibi yapılan birçok çalışmada görüldüğü gibi bizim çalışmamızda EDTA eklenen topraklarda yetişen bitkilerin gövdelerinde miktar artmıştır. Fakat bu oran kabak bitkisinde diğer ağır metallerde olduğu gibi bizim çalışmamızda daha az bulunmuştur. EDTA'nın en çok fasulyeyi etkilediği ve fasulye gövdesinde nikel daha çok birikim yaptığı görülmüştür.

3.7.3. Ağır metallerin ve EDTA'nın yaprak üzerine etkileri

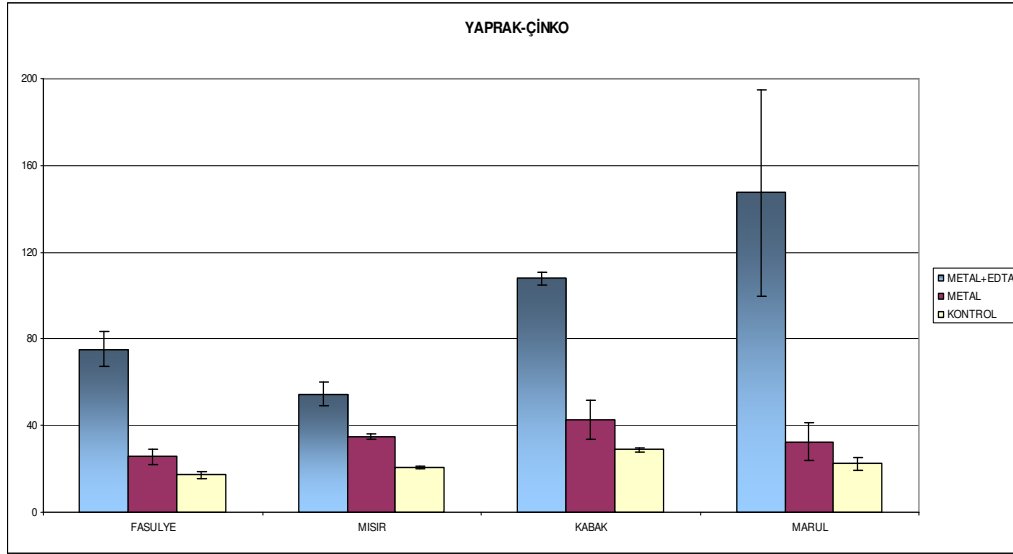
Aşağıdaki şekillerde de görüldüğü gibi bitkilerin yaprak kısmı EDTA'dan en fazla etkilenen kısımlar olduğu görülmüştür. Fasulye, Kabak ve Mısırın yapraklarında kirlenmiş toprakta daha az gelişme ve EDTA'lı toprakta ağır metali daha fazla bünyeye alma görülmüştür. Marul da ise diğer bitkilere göre daha fazla bünyede birikim yaptığı görülmüştür. JORDÃO ve diğerlerinin (2007) yaptığı çalışmaya bakıldığında marulun yapraklarında ağır metali biriktirdiği ve Zn'nin daha fazla biriktiği görülmüştür. Bizim çalışmamızda da diğer metallerle göre çinko marulda

daha fazla birikim göstermiştir. Özellikle insanların tüketim amacıyla her mevsim tüketilen marul dikkate alındığında insan sağlığı açısından tehlikeli boyutlarda olduğu görülmektedir. O yüzden bu konu üzerinde daha fazla durulması gerekmekte ve bu yönde yapılan çalışmaların artırılması gerekmektedir. (Şekil:4.16–4.20)



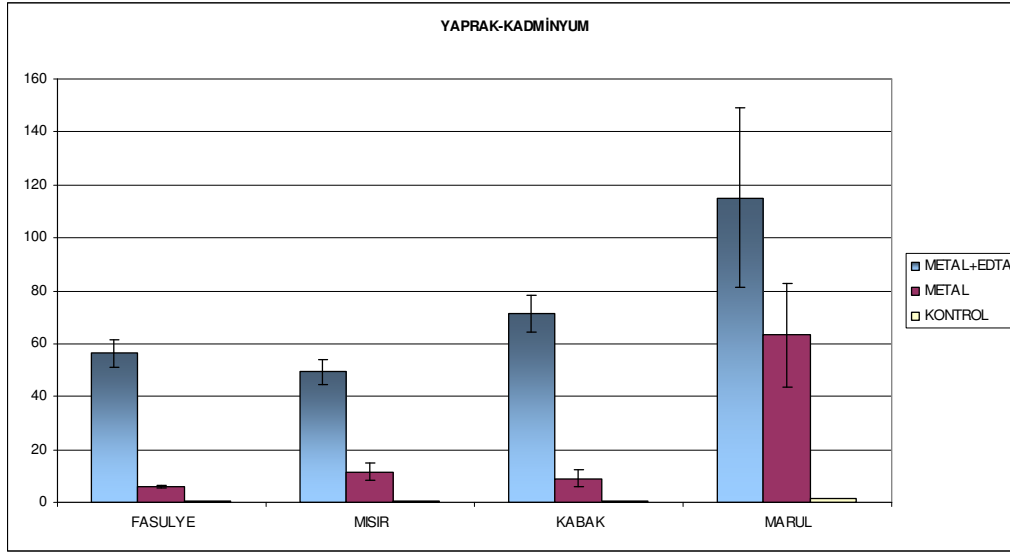
Şekil 4.16. Analiz edilen bitkilerin yaprağındaki bakır miktarının karşılaştırılması

Yetiştirilen bitkilerin yapraklarında yapılan deneylerde ağır metal ile kirlenmiş toprakta yetişen bitkilerde kontrol bitkilerine göre daha fazla bakır miktarı bulunmuştur. EDTA eklenen saksılarda yetişen bitkilerde ise ağır metal daha da fazla bulunmuştur. Deneyde kullanılan bitkilerin yaprak kısmındaki ağır metal miktarları karşılaştırıldığında marulda bakır daha fazla bulunmuştur. Tüketim açısından bakıldığında yaprak kısmı yenen marulda bakır miktarının daha fazla çıkması insan sağlığı açısından daha tehlikelidir.



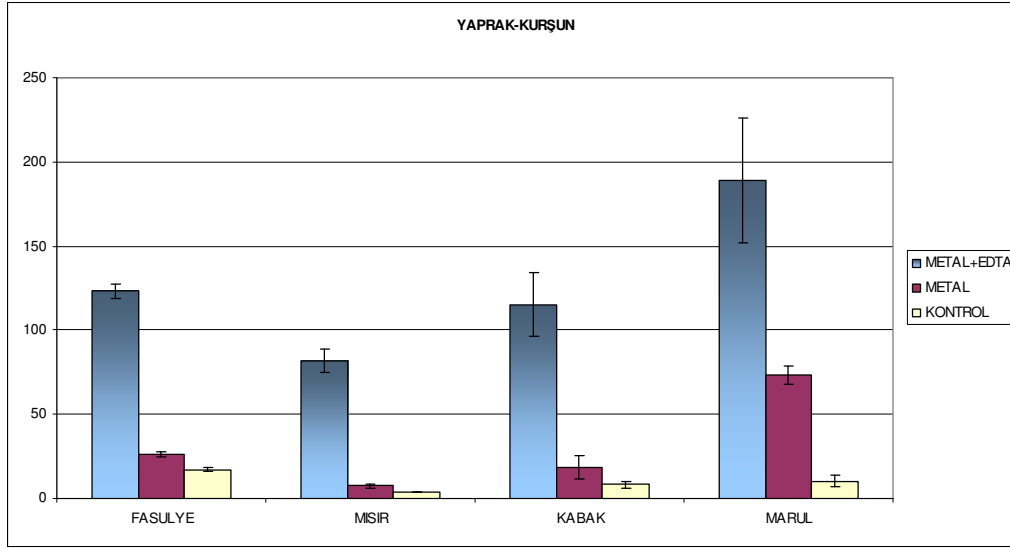
Şekil 4.17. Analiz edilen bitkilerin yaprağındaki çinko miktarının karşılaştırılması

Çinko miktarı ilk toprakta yüksek olduğu için diğer metallerle karşılaştırıldığı kontrol bitkilerinde çinko diğer metallerle göre daha fazla bulunmuştur. Ancak analiz edilen bitki yapraklarındaki çinko miktarları karşılaştırıldığında kontrol bitkilerine göre ağır metalli topraklarda yetişen bitkilerde çinkoya daha fazla rastlanmıştır. EDTA eklenen topraklarda ise yapılan diğer çalışmalarda olduğu gibi çinko miktarı daha da artmıştır. Marulun yapraklarında ki çinko miktarını diğer bitkilerle karşılaştırdığımızda, bakırda olduğu gibi çinko da marulda daha fazla bulunmuştur.



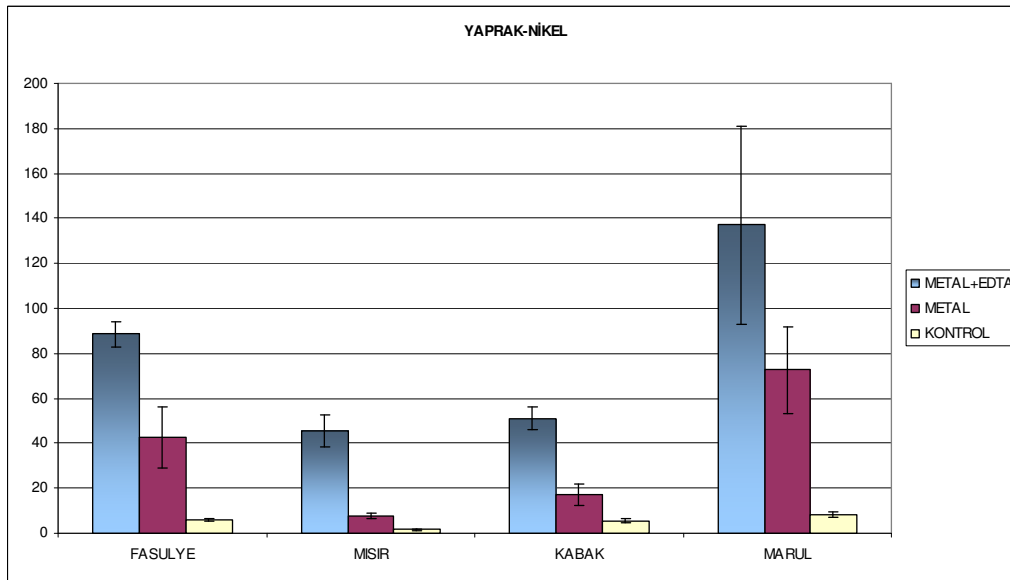
Şekil 4.18. Analiz edilen bitkilerin yaprağındaki kadmiyum miktarının karşılaştırılması

Kök ve gövde kısmında olduğu gibi deneyde kullanılan bitkilerin yapraklarında bulunan kadmiyum kontrol bitkilerine göre çok daha fazla bulunmuştur. EDTA eklenen saksılarda yetişen bitkilerdeki ağır metal miktarını sadece ağır metal eklenen saksılarda yetişen bitkilerde bulunan miktarlar karşılaştırdığımızda, aradaki fark kadmiyumda diğer metallerle oranla daha fazladır. Diğer metallerdeki karşılaştırmada görülen marulun diğer bitkilere oranla bünyesinde daha fazla birikimi kadmiyumda da görülmüştür. Marul yaprağı sadece ağır metal eklenmiş saksılarda da, EDTA eklenmiş saksılarda da diğer bitkilere göre kadmiyumu daha fazla bünyesinde biriktirmiştir.



Şekil 4.19. Analiz edilen bitkilerin yaprağındaki kurşun miktarının karşılaştırılması

Kontrol bitkilerinin yaprağındaki kurşun miktarı ile ağır metal ile kirlenmiş topraklarda yetişen bitkilerin yapraklarındaki kurşun miktarı karşılaştırıldığında yapılan bütün deneylerde bulunan sonuçlar gibi bu karşılaştırmada da kurşun miktarı kirlenmiş toprakta yetişen bitkilerde daha fazla bulunmuştur. EDTA diğer metallerde olduğu gibi kurşunda miktarında artışa neden olduğu görülmüştür.



Şekil 4.20. Analiz edilen bitkilerin yaprağındaki nikel miktarının karşılaştırılması

Analiz edilen bitki yapraklarındaki nikel miktarları karşılaştırıldığında kontrol bitkilerine göre ağır metalli topraklarda yetişen bitkilerde kök ve gövde kısmında olduğu gibi deneyde kullanılan bitkilerin yapraklarında nikel daha fazla rastlanmıştır. EDTA diğer metallerde olduğu gibi nikel miktarında artışa neden olduğu görülmüştür. Marulun yapraklarında ki nikel miktarını diğer bitkilerle karşılaştırdığımızda, diğer ağır metallerde olduğu gibi nikel de marulda daha fazla bulunmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Resmi Gazete: 10.12.2001 tarih ve Sayı: 24609, Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği,
- [2] Sakarya Valiliği, İl Tarım Müdürlüğü
- [3] SCHNOOR, J., L., 1997. Phytoremediation, The University of Iowa Department of Civil and Environmental Engineering and Center for Global and Regional Environmental Research Iowa City, Iowa
- [4] LUO, C., SHEN, Z., LOU, L., LI, X., 2006. EDDS and EDTA- enhanced phytoextraction of metals from artificially contaminated soil and residual effects of chelant compounds, Environmental Pollution 144, p862-871
- [5] MARCİHOL, L., ASSOLARI, S., SACCO, P., ZERBI, G., 2004. Phytoextraction of heavy metals by canola (*Brassica napus*) and radish (*Raphanus sativus*) grown on multicontaminated soil, Environmental Pollution 132 (2004) p21-27
- [6] JORDÃO, C.P., FIALHO, L.L., NEVES, J.C.L., CECON, P.R., MENDONÇA, E.S., FONTES, R.L.F., 2007. Reduction of heavy metal contents in liquid effluents by vermicomposts and the use of the metal-enriched vermicomposts in lettuce cultivation, Bioresource Technology 98, page 2800–2813.
- [7] TUNA, A. L., GİRĞİN A. R., 2005. Mısırdada (*Zea mays* L.) Gelişme, Mineral Beslenme ve Ağır Metal İçeriği Üzerine Termik Santral Uçucu Küllerinin Etkisi, Muğla Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 48100, Ekoloji 14 (2005) syf. 7-15, MUĞLA
- [8] ZENGİN F. K., MUNZUROĞLU, Ö., 2004. Fasulye Fidelerinin (*Phaseolus vulgaris* L.) Kök, Gövde ve Yaprak Büyümesi Üzerine Kadmiyum(Cd^{++}) ve Civa (Hg^{++})'nın Etkileri, Fırat Üni. Fen-Edebiyat Fak. Biyoloji Bölümü, C.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi (2003)Cilt 24 Sayı 1, ELAZIĞ
- [9] LUO, C., SHEN, Z., LI, X., 2004. Enhanced phytoextraction of Cu, Pb, Zn and Cd with EDTA and EDDS, Chemosphere 59 (2005) 1–11
- [10] CHEN, Y., LI, X., SHEN Z., 2004. Leaching and uptake of heavy metals by ten different species of plants during an EDTA-assisted phytoextraction process, Chemosphere 57 (2004) 187–196
- [11] LUO, C., SHEN, Z., LI X., BAK, A.J.M., 2005. Enhanced phytoextraction of Pb and other metals from artificially contaminated soils through the combined application of EDTA and EDDS, Chemosphere 63 (2006), p1773–1784

- [12] LUO, C., SHEN, Z., LI, X., Enhanced phytoextraction of Cu, Pb, Zn and Cd with EDTA and EDDS, *Chemosphere* 59, p1-11, 2005
- [13] LUO, C., SHEN, Z., LOU, L., LI, X., EDDS and EDTA- enhanced phytoextraction of metals from artificially contaminated soil and residual effects of chelant compounds, *Environmental Pollution* 144, p862-871, 2006
- [14] CHEN, Y., SHEN, Z., LI, X., 2004. The use of vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*) in the phytoremediation of soils contaminated with heavy metals, *Applied Geochemistry* 19 (2004) 1553–1565
- [15] LI, H., WANG, Q., CUI, Y., DONG, Y., CHRISTIE, P., 2004. Slow release chelate enhancement of lead phytoextraction by corn (*Zea mays* L.) from contaminated soil—a preliminary study, *Science of the Total Environment* 339 (2005) 179– 187
- [16] ÇALIŞKAN, E., 2005. Asi Nehri’de Su, Sediment ve Karabalık (*Clarias Gariepinus* Burchell, 1822)’ta Ağır Metal Birikiminin Araştırılması, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Hatay.
- [17] WHITE, J.C., ROSS, D.W., GENT, M.P.N., EITZER, B.D., MATTINA, M.I., 2006. Effect of mycorrhizal fungi on the phytoextraction of weathered *p,p*-DDE by *Cucurbita pepo*, *Journal of Hazardous Materials* B137 (2006) 1750–1757
- [18] UZUNOĞLU, O., 1999. Gediz Nehrinden Alınan Su ve Sediment Örneklerinde Bazı Ağır Metal Konsantrasyonlarının Belirlenmesi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Manisa.
- [19] DUMAN, F., 2001. Sarımsaklı-Karasu’da Yetişen *Phragmites Australis* ve *Typha Angustifolia* Bitkilerinde ve Bunları Çevreleyen Sedimentlerde Ağır Metal Tayini, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri.
- [20] PIRLAK, U., 2002. Niğde İli Patates Ekim Alanlarında Ağır Metal (Cd, Pb, Ni, Cu, Zn) Kirliliğinin Belirlenmesi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Niğde.
- [21] SHARMA, N.C., STARNES, D.L., SAHI, S.V., 2006. Phytoextraction of excess soil phosphorus, *Environmental Pollution* 146 (2007) 120-127
- [22] AWWA, APHA, WEF, 1998. Standart Methods for The Examination of Water and Wastewater 20 th Edition, PRERARED and PUBLISHED JOINTLY BY, American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Fedaration, Washington

- [23] HERNANDEZ-ALLICA, J., GARBIUS, C., BARRUTIA, O., BECERRIL, J.M., 2006. EDTA-induced heavy metal accumulation and phytotoxicity in cardoon plants, *Environmental and Experimental Botany*(2006)

ÖZGEÇMİŞ

Pınar İŞÇİOĞLU 16.12.1982 de Ankara' da doğdu. İlkokul eğitimini Gaziantep'te tamamladıktan sonra orta ve lise eğitimini Trabzon'da tamamladı. 1999 yılında Trabzon Lisesinden mezun oldu. 1999 yılında başladığı Ondokuz Mayıs Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünü 2004 yılında bitirdi. 2004–2006 yılları arasında Adapazarı Su ve Kanalizasyon İdaresi (ADASU) Atıksu Kontrol Biriminde mühendis olarak çalıştı. Daha sonra aynı kurumun Havza Kontrol Birimine geçti. Halen bu birimde görev yapmaktadır.