

T.C.  
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ VE FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİTLİS KATI ATIK TESİSİ ÇEVRESİNDEKİ BAZI HİPERAKÜMÜLATÖR BİTKİLERİN  
AĞIR METAL İÇERİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Nurfeşan AVCİL

TEMMUZ 2018

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİTLİS KATI ATIK TESİSİ ÇEVRESİNDEKİ BAZI HİPERAKÜMÜLATÖR BİTKİLERİN  
AĞIR METAL İÇERİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Hazırlayan  
Nurfeşan AVCİL

Danışman  
Doç. Dr. Şükrü HAYTA

Jüri Üyeleri  
Doç. Dr. Şükrü HAYTA  
Doç. Dr. Gülşad USLU ŞENEL  
Dr. Öğr. Üyesi Edip AVŞAR

TEMMUZ 2018

Nurfeşan AVCİL tarafından hazırlanan “Bitlis Katı Atık Tesisi Çevresindeki Bazı Hiperakümülatör Bitkilerin Ağır Metal İçeriklerinin Belirlenmesi” adlı tez çalışması 05/07/2018 tarihinde yapılan sınavla aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Jüri Üyeleri**

Doç. Dr. Gülşad USLU ŞENEL  
(Başkan)

Doç. Dr. Şükrü HAYTA  
(Danışman)

Dr. Öğr. Üyesi Edip AVŞAR  
(Üye)

İmza



Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 07/09/2018 gün ve 33/21 Sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Koray KÖKSAL

Enstitü Müdürü

## ÖZET

### BİTLİS KATI ATIK TESİSİ ÇEVRESİNDEKİ BAZI HİPERAKÜMÜLATÖR BİTKİLERİN AĞIR METAL İÇERİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Nurfeşan AVCİL

Yüksek Lisans Tezi

Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Şükrü HAYTA

Temmuz 2018, 74 sayfa

Günümüzde ağır metaller ile kirlenen toprakların temizlenmesinde (fitoremediasyon) hiperakümülatör bitkilerin kullanılması ve bu özelliğe sahip bitkilerin tespit edilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada bazı bitkilerin bünyelerinde ağır metal biriktirebilme yetenekleri (hiperakümülatör) tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla 2017 yılında Bitlis ili Güroymak ilçesi Tahtalı Köyü Bellektepe mevkiinde yer alan Katı Atık Entegre Bertaraf Tesisi çevresinde yetişen *Hypericum scabrum*, *Achillea vermicularis*, *Anchusa azurea* var. *azurea*, *Malva sylvestris*, *Alkanna orientalis* var. *orientalis*, *Medicago sativa* subsp. *sativa* türlerine ait örnekler toplanmıştır. Bu bitkilerinin kök, gövde, yaprak ve çiçek gibi kısımları ile bu türlerin yetiştiği alanlardan alınan toprak örnekleri üzerinde çalışılarak, Kalsiyum (Ca), Magnezyum (Mg), Demir (Fe), Mangan (Mn), Çinko (Zn), Bakır (Cu), Kurşun (Pb), Krom (Cr), Nikel (Ni) ve Kadmiyum (Cd) elementlerinin miktarları incelenmiştir. Alınan bu numunelerdeki ağır metal analizleri ICP-MS cihazı kullanılarak yapılmıştır. Toprak örneklerinde Mg, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb ve Ca elementlerinin ortalama konsantrasyonları sırasıyla 297,58; 3,17; 97,24; 1864,96; 3,80; 1,32; 9,84; 0,08; 2,46; 32,04 mg kg<sup>-1</sup> olarak tayin edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Hiperakümülatör, Ağır metal, Bitlis.

## ABSTRACT

### DETERMINATION OF HEAVY METAL CONTENTS OF SOME HYPERAKUMULATOR PLANTS AROUND BITLIS SOLID WASTE LANDFILL

Nurfeşan AVCİL

Master Thesis

Bitlis Eren University Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Environmental Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. şükşü HAYTA

Jul 2018, 74 pages

At present, it is very important to use hyperaccumulator plants to clean soils contaminated with heavy metals (phytoremediation method) and to identify plants with this characteristic. In this work, it is studied to detect the ability of accumulating heavy metal (hyperaccumulator) of some plants in their bodies. For this purpose, specimens of the species of *Hypericum scabrum*, *Achillea vermicularis*, *Anchusa azurea* var. *azurea*, *Malva sylvestris*, *Alkanna orientalis* var. *orientalis*, *Medicago sativa* subsp. *sativa* which grow around the Solid Waste Integrated Disposal Facility located in Bellektepe, Tahtali Village, Güroymak District, Bitlis Province were collected in 2017. The root, stem, leaf and flower of these plants, and soil samples taken from the areas where these species are grown were studied on the basis of the contents of calcium (Ca), magnesium (Mg), copper (Cu), lead (Pb), zinc (Zn), chromium (Cr), nickel (Ni), iron (Fe), manganese (Mn) and cadmium (Cd) were investigated. The heavy metal analyzes on these samples were made using ICP-MS. The mean concentrations of the elements Fe, Cu, Mg, Cr, Cd, Mn, Ni, Zn, Pb and Ca in soil samples were determined as 297.58, 3.17, 97.24, 1864.96, 3.80, 1.32, 9.84, 0.08, 2.46, 32.04 mg kg<sup>-1</sup> respectively.

**Keywords:** Hyperaccumulator, Heavy metal, Bitlis.

## TEŞEKKÜR

2017/12 nolu bilimsel araştırma projesiyle tezime destekleri için Bitlis Eren Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne, çalışmalarım süresince büyük ilgi, anlayış ve tecrübelerini esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Şükrü Hayta'ya, araştırmalarım sırasında başından itibaren bana her aşamada katkıda bulunan değerli abim Arş. Gör. Muhammed Nur Avcil'e, yengem Ayşe Eser Avcil'e ve çalışmalarım süresince bana maddi ve manevi destek olan ailemin tüm bireyelerine sonsuz teşekkür ediyorum.

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	iii
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	vi
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	vii
<b>KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	viii
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. HİPERAKÜMÜLATÖR</b> .....	2
2.1. Hiperakümülatör Bitkiler .....	3
<b>3. AĞIR METALLER</b> .....	7
3.1. Ağır Metallerin Özellikleri ve Etkileri .....	7
3.1.1. Bakır (Cu) .....	7
3.1.2. Çinko (Zn) .....	8
3.1.3. Demir (Fe) .....	8
3.1.4. Kadmiyum (Cd) .....	9
3.1.5. Kalsiyum (Ca) .....	10
3.1.6. Krom (Cr) .....	10
3.1.7. Kurşun (Pb) .....	10
3.1.8. Magnezyum (Mg) .....	11
3.1.9. Mangan (Mn) .....	11
3.1.10. Nikel (Ni) .....	12
3.2. Bitkilerde Ağır Metal Alınımı ve Taşınımı .....	13
<b>4. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR</b> .....	18
<b>5. MATERYAL VE METOD</b> .....	22
5.1. Araştırma ve Çalışma Alanı .....	22
5.2. Kullanılan Bitkiler .....	24
5.2.1. <i>Hypericum scabrum</i> L. ....	24
5.2.2. <i>Achillea vermicularis</i> Trin. ....	25
5.2.3. <i>Anchusa azurea</i> Miller var. <i>azurea</i> Gard. Dict. ....	26

5.2.4. <i>Malva sylvestris</i> L. ....	27
5.2.5. <i>Alkanna orientalis</i> (L.) Boiss. var. <i>orientalis</i> .....	28
5.2.6. <i>Medicago sativa</i> L. subsp. <i>sativa</i> .....	29
5.3. Ağır Metal Analizi .....	30
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER</b> .....	39
<b>KAYNAKLAR</b> .....	51
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	62



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Toprak üstü organlarda ağır metal hiperakümüasyonu.....	3
3.1. Metal Hiperakümüasyon ve Tolerans Mekanizmaları.....	14
3.2. Hiperakümülatör olan ve hiperakümülatör olmayan bitkinin ağır metal toleransı ve dağılımı.....	15
5.1. Çalışma Alanının Google Earth Görüntüsü.....	23
5.2. Bitlis Katı Atık Tesisi Bitki Örneğinin Alındığı Bir Bölge.....	24
5.3. <i>Hypericum scabrum</i> L. Bitkisi.....	25
5.4. <i>Achillea vermicularis</i> Trin. Bitkisi.....	26
5.5. <i>Anchusa azurea</i> Miller var. <i>azurea</i> Gard. Dict. Bitkisi.....	27
5.6. <i>Malva sylvestris</i> L. Bitkisi.....	28
5.7. <i>Alkanna orientalis</i> (L.) Boiss. var. <i>orientalis</i> Bitkisi.....	29
5.8. <i>Medicago sativa</i> L. subsp. <i>sativa</i> Bitkisi.....	30
5.9. MST55 Marka Etüv Cihazı.....	31
5.10. ELGA PURELAB-Q DV25 Marka Saf Su Cihazı.....	33
5.11. Çevre Mühendisliği Laboratuvarında Örneklerin Suyla Yıkanması.....	34
5.12. Saf Sudan Geçirilen Örneklerin Etüvde Kurutulması.....	35
5.13. 24 Mg' un Standartları Kullanılarak Çizilen Kalibrasyon Eğrisi.....	35
5.14. 52 Cr' un Standartları Kullanılarak Çizilen Kalibrasyon Eğrisi.....	35
5.15. 55 Mn' nın Standartları Kullanılarak Çizilen Kalibrasyon Eğrisi.....	36
5.16. 56 Fe' in Standartları Kullanılarak Çizilen Kalibrasyon Eğrisi.....	36
5.17. 60 Ni' in Standartları Kullanılarak Çizilen Kalibrasyon Eğrisi.....	36
5.18. 65 Cu' ın Standartları Kullanılarak Çizilen Kalibrasyon Eğrisi.....	37
5.19. 66 Zn' un Standartları Kullanılarak Çizilen Kalibrasyon Eğrisi.....	37
5.20. 111 Cd' un Standartları Kullanılarak Çizilen Kalibrasyon Eğrisi.....	37
5.21. 208 Pb' un Standartları Kullanılarak Çizilen Kalibrasyon Eğrisi.....	38
5.22. 44 Ca' un Standartları Kullanılarak Çizilen Kalibrasyon Eğrisi.....	38

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Bazı Hiperakümülatör Bitkiler Ve Bu Bitkilerin Özellikleri.....	5
3.1. Önemli Ağır Metallerin Ekolojik Sınıflaması.....	13
3.2. Bazı Hiperakümülatör Bitkiler ve Bünyelerine Aldıkları Ağır MetallerinBiyokümülyasyon potansiyelleri.....	16
5.1. MST55 Marka Etüv Cihazının Teknik Özellikleri.....	32
5.2. ELGA PURELAB-Q DV25 Marka Saf Su Cihazının Teknik Özellikleri.....	33
6.1. Çalışma Alanından Alınan Toprak Numune Değerleri.....	44
6.2. Topraktaki ağır metal sınır değerleri (mg/kg).....	44
6.3. Çalışma alanındaki <i>Anchusa azurea</i> Miller var. <i>azurea</i> Gard. Dict. bitkisinin organlarındaki ağır metal değerleri.....	46
6.4. Çalışma alanındaki <i>Alkanna orientalis</i> (L.) Boiss. var. <i>orientalis</i> bitkisinin organlarındaki ağır metal değerleri.....	46
6.5. Çalışma alanındaki <i>Achillea vermicularis</i> Trin. bitkisinin organlarındaki ağır metal değerleri.....	47
6.6. Çalışma alanındaki <i>Hypericum scabrum</i> L. bitkisinin organlarındaki ağır metal değerleri.....	47
6.7. Çalışma alanındaki <i>Malva sylvestris</i> L. bitkisinin organlarındaki ağır metal değerleri.....	48
6.8. Çalışma alanındaki <i>Medicago sativa</i> L. subsp. <i>sativa</i> bitkisinin organlarındaki ağır metal değerleri.....	49

## KISALTMALAR DİZİNİ

Ag	Gümüş
As	Arsenik
B	Bor
Ba	Baryum
Ca	Kalsiyum
Cd	Kadmiyum
cm	Santimetre
Co	Kobalt
Cr	Krom
Cu	Bakır
dak	Dakika
EPA	United States Environmental Protection Agency
FAO	Food and Agriculture Organization
Fe	Demir
g	Gram
G	Gerekli
Hg	Cıva
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Hidrojen peroksit
HNO <sub>3</sub>	Nitrik asit
Hz	Hertz
K	Potasyum
K	Kirletici
Kg	Kilogram
L	Litre
m	Metre
MDA	Metilendioksiamfetamin
Mg	Magnezyum
mg	Miligram
ml	Mililitre
mm	Milimetre
Mn	Mangan

Mo	Molibden
N	Azot
P	Fosfor
Pb	Kurşun
POD	Guaiakol peroksidaz
ppb	Milyarda bir
ppm	Milyonda bir
S	Kükürt
Se	Selenyum
SOD	Süperoksit dismutaz
Ti	Titanyum
V	Hız
Zn	Çinko
WHO	World Health Organization
µg	Mikrogram

## 1. GİRİŞ

Sanayileşme ve nüfusun giderek artması tüm ekosistemi etkilemekte ve bunun sonucu olarak da çevresel problemler ortaya çıkmaktadır. Hava ve su gibi çevre bileşenlerinin yanında toprak da önemli bir bileşendir. Çünkü insan yaşamanın devam etmesi için gerekli olan temel bileşenlerin başında toprak yer almaktadır. Toprağın en önemli özelliklerinden birisi besin maddelerinin çoğunu içermesidir. Sanayileşmenin gün geçtikçe artması toprakta ağır metal birikimine sebep olmaktadır. Özellikle cıva, kadmiyum ve kurşun gibi ağır ya da toksik metallerin neden olduğu çevre kirliliği, besin zincirini ve tüm dünyayı tehdit eder hale gelmiştir. Urano (2010), birçok ağır metalin toprakta doğal olarak bulunmasıyla beraber farklı endüstriyel uygulamalar sonucu çevreye yayıldığını belirtmiştir. Toprakta bulunan metal derişimi genel olarak 1 ila 100.000 mg kg<sup>-1</sup> arasında değişkenlik göstermektedir. Ağır metallerin yüksek konsantrasyonlarda bulunması toprağın organik yapısının bozulmasına, ürününün verim ve kalitesinde düşüöşlere neden olmakta (Long vd. 2002) ve dolayısıyla insan ve diğer canlılar için olumsuz etkilere yol açmaktadır (Blaylock ve Huang 2000).

Toprakta ağır metallerin bertaraf edilmesi için hendek açma, kimyasal stabilizasyon, toprak yıkama ve gömme gibi teknikler kullanılmaktadır. Ancak bu tekniklerin uygulanabilirliği zor ve maliyetleri yüksek olduğu için pratik değildirler. Toprakta yetişen bazı bitkiler bünyelerinde bir kısım ağır metalleri yüksek oranda biriktirme kabiliyetine sahiptir. Ağır metalleri bünyelerinde toplayan bitkiler toksik etkiye sahip kirleticileri toprak üstü ve toprak altı dokuları vasıtasıyla bünyelerine alabilmektedirler. Literatürde bu tür bitkiler hiperakümülatör bitki olarak tanımlanmaktadır. Hiperakümülatör bitkiler, normal bitkilere göre toksik metalleri toprak altı dokularında yani köklerinde tutma özelliğine sahip, derişimleri 1000 ppm ile 10.000 ppm'e kadar metal biriktirme yeteneğine sahip bitkilerdir. Bitkiler bu birikim işlemini köklerinin yanı sıra gövde ve yapraklarında da yapabilmektedirler. Bakır (Cu), kadmiyum (Cd), kobalt (Co), mangan (Mn), nikel (Ni), çinko (Zn), kurşun (Pb), demir (Fe), magnezyum (Mg), krom (Cr) gibi metaller bu bitkiler tarafından en çok artılabilen metallere dendir. Hiperakümülatör bitkiler ayrıca organik kirleticiler ve radyoaktif elementleri de yapılarına alabilmektedirler (Yalçuk vd. 2004).

Bu çalışmada, ağır metal birikimine neden olabilecek bir potansiyele sahip olan Bitlis İli Katı Atık Entegre Bertaraf Tesisi çevresinde doğal olarak yetişme alanı gösteren bazı hiperakümülatör bitkilerin ağır metalleri yaprak, gövde veya köklerinde absorbe ederek nasıl bir etki yaptığı incelenmiştir. Bu kapsamda Bitlis İli, Güroymak İlçesi'nde bulunan Katı Atık Entegre Tesisinin etrafında bir izleme çalışması yapılmıştır.

## 2. HİPERAKÜMÜLATÖR

Toprak kirlenmesi, insan etkinlikleri sonucunda toprakta meydana gelen yapısal bozulmalar, fiziksel, kimyasal ve biyolojik bileşiminin pozitif yönde değişimi ve toprağın yapısal özellikleri nedeniyle verimli kullanılabilirliğin düşmesi veya yanlış yerde kullanılması şeklinde açıklanabilir. Bundan dolayı toprağın türlü özelliklerine iyi yönde tesir eden her etki toprak için kirlenme olarak değerlendirilmelidir. Toprağı kirleten belli başlı faaliyetler aşağıda verilmiştir:

- Belediyelerin çöp döküm sahaları,
- Birçok sanayi kuruluşunun faaliyetleri sonucu oluşan katı atıkların toprağa verilmesi,
- Arıtma tesislerinde oluşan çamurlar,
- Fosseptik muhtevaların boşaltılması,
- Sıvı atıkların uzaklaştırılmak üzere toprağa verilmesi,
- Tarım koruma ilaçlarının toprakta birikmesi (pestisitler),
- Tarımda gübrenin kullanılması (suni gübreler),
- Partikül ve aerosol halindeki hava kirleticilerin toprakta birikerek toprağı kirletmesi,
- Sulama sonunda topraktaki tuz miktarının artması (Karpuzcu 2010).

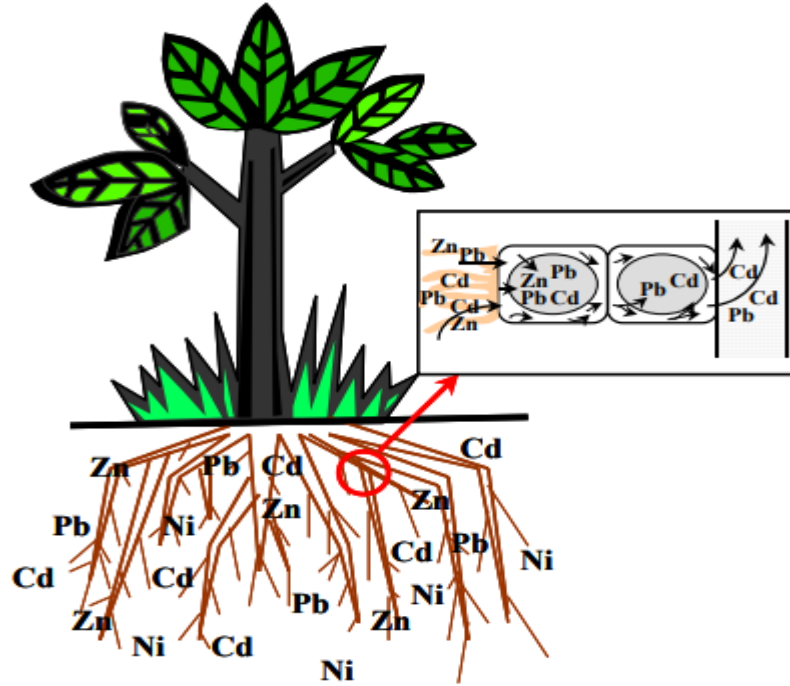
Toprağın kendi bünyesinde doğal olarak ağır metalleri biriktirmesinin yanında yukarıda bahsedilen insan kaynaklı faaliyetler sonucu da toprakta ağır metal birikmesine neden olmaktadır. Topraktaki ağır metal kirliliğinin azaltılması için pek çok yöntem bulunmakta ancak bu yöntemlerin çoğu yüksek maliyetlerinden ve geniş alanlara uygulanabilirliği oldukça zor olmasından dolayı pek tercih edilmemekte alternatif olarak daha ucuz ve etkili yöntem olan bitkilerle iyileştirme yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde doğal olarak ağır metalleri kendi bünyesinde biriktirebilme yeteneğine sahip hiperakümülatör bitkiler kullanılmaktadır. İlk defa hiperakümülatör terimi *Sebertia acuminata* (Sapotaceae familya) ağacındaki yüksek değerlerde nikel birikimini tanımlamak için Jafree vd. (1976) tarafından kullanılmıştır. Ancak ilk defa spesifik olarak (1000 mg kg<sup>-1</sup> ve Ni kg<sup>-1</sup>) hiperakümülatör teriminden Brooks vd. (1977), dünyanın farklı bölgelerindeki *Hybanthus* (Violaceae familyası) ve *Homalium* (Flacoutiaceae familyası) türlerindeki nikel konsantrasyonunu araştırdıkları çalışmada bahsetmişlerdir.

Rascio ve Navari-Izzo (2011), fitotoksik etkilerden zarar görmeden, metal organik topraklarda büyüme ve hava organlarında yüksek miktarda ağır metal biriktirme yeteneğine sahip bir dizi bitkiyi hiperakümülatör olarak tanımlamaktadırlar.

## 2.1. Hiperakümülatör Bitkiler

Doğada bulunan bitkilerin bazıları yüksek düzeylerde metal ve metaloidleri doğal olarak kendi bünyelerinde biriktirme yeteneklerine sahiptirler. Bu biriktirmeyi yaprak ve dalları gibi toprak üstü dokularında ya da kök gibi toprak altı dokularında yüksek konsantrasyonlarda gerçekleştirebilirler. Baker ve Walker (1990) bitkileri, doğrudan bünyesine alamayan (hiperakümülatör olmayan), alabilen (belirtgen) ve aşırı miktarda alabilen (akümülatör/hiperakümülatör) olmak üzere üç grupta incelemiştir. Metalleri bünyesine alabilen bitkiler ağır metal kirliliğinin ortadan kaldırılması için kullanılmaktadır.

Bitkiler yaşam sürecinde hem makronutrientlere (N, P, K, S, Ca, Mg) hem de Fe, Zn, Mn, Ni, Cu ve Mo gibi mikro-nutrientlere ihtiyaç duymaktadırlar. Bazı bitkilerin Cu, Mn, Ni, Zn gibi sadece gerekli mineralleri biriktirmekle kalmadıkları, aynı zamanda besin maddesi olarak hiç kullanmadığı As, Co, Cd, Se gibi metalleri önemli miktarda absorbe edebildikleri yapılan çalışmalarda izlenmiştir (Alford vd. 2010, Lasat 2014). Bu bitkiler hiperakümülatör bitkiler olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2.1’ de hiperakümülatör bir bitkinin köklerinde biriken bazı ağır metaller gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Toprak üstü organlarda ağır metal hiperakümülatasyonu (Lasat 2000)

*Thlaspi caerulescens* ve *Viola calaminaria* bitkileri ise yapraklarında metallerin yüksek seviyelerini biriktirdikleri belgelenmiş ilk türleridir (Bauman 1885). 1935 yılında Byers Astragalus bitkisinin kuru filizlerinde %0,6' ya kadar selenyum biriktirebildiğini raporlamıştır. 1948 yılında Minguzzi ve Vergnano bitki filizlerinin %1'e kadar nikel biriktirebildiğinden bahsetmiştir. Rascio (1977) ise *Thlaspi caerulescens* bitkisinin filizlerinin toleransı olduğunu ve yüksek yoğunlukta çinko biriktirebildiğini ifade etmiştir. Metal arıtımında hiperakümülatör bitkilerin kullanılması fikri ise Utsunamyia (1980) ve Chaney (1983) tarafından geliştirilmiş, ilk defa Baker vd.(1989) çinko ve kadmiyum fitoekstarksiyonu üzerine saha çalışması yürütmüştür.

Baker vd. (2000), 'e göre bir bitkinin hiperakümülatör özelliğini taşıyabilmesi için, civayı (Hg) en az 10 ppm, kadmiyumu (Cd) 100 ppm, kobalt (Co), krom (Cr), bakır (Cu) ve kurşunu (Pb) 1.000 ppm veya çinko (Zn) ve nikeli (Ni) 10.000 ppm olarak bünyesinde absorplama yeteğine sahip olması gerekmektedir. Toplanan bitkinin dokusundaki metal yoğunluğunun topraktakinden daha fazla olması önemlidir. Reeves (2006), nikelin hiperakümülatör özelliğini taşıyabilmesi için dokunun üst zeminindeki kuru madde de en az 1.000 mg kg<sup>-1</sup> metal konsantrasyonu biriktirebilmesi gerektiğini ifade etmiştir.

Yapılan araştırmalar sonucu metal biriktirebilme yeteneğine sahip yaklaşık 400 bitki türünün varlığı bildirilmektedir. Bu özelliğe sahip hakim familyalar Asteraceae (papatyagiller), Brassicaceae (turpgiller), Caryophyllaceae (karanfilgiller), Cyperaceae (papirüsçiller), Fabaceae (baklagiller), Lamiaceae (ballıbabagiller), Poaceae (buğdaygiller), Violaceae (menekşegiller) ve Eupobiaceae (sütleğengiller)'dir. Brassicaceae familyası 11 cins ve 87 türle bu özelliğe sahip en geniş familyadır. Brassicaceae familyasından nikel biriktiren 7 cins ve 72 tür bilinmektedir (Thompson 1997). Çizelge 2.1' de doğada yaygın olarak bulunan bazı hiperakümülatör bitkiler ve özellikleri verilmiştir.

**Çizelge 2.1.** Bazı Hiperakümülatör Bitkiler Ve Bu Bitkilerin Özellikleri (<https://tr.wikipedia.org/>)

<b>Bitki Türü</b>	<b>Metal</b>	<b>Morfoloji</b>
<i>Anthoxanthum odaratum</i> L.	Bakır	Çok kuru veya çok sulak topraklarda görülmez. Küme olarak yetişir ve boyları 10 ile 100 santimetre arasındadır. 3-5 mm. civarında tüye benzer kısa yapraklara sahip gövdeleri 25-40 cm uzunluğa ulaşabilir.
<i>Armeria maritima</i> Wild.	Bakır	Genellikle parlak pembe renktedirler. Bazı durumlarda, mor, beyaz ya da kırmızı çiçekler de ortaya çıkar. En iyi kuru, kumlu ve tuzlu koşullarda büyüme gösterir.
<i>Brachypodium sylvaticum</i>	Bakır	En sık gölgeli, gölgelik olan ormanlar ve ormanlık alanlarda bulunur ancak açık alanlarda uzayabilir. İyi nötr, kalkerli topraklardan süzölmüş ve ıslak koşullarda yetişme gösterir.
<i>Brassica napus</i> L.	Kadmiyum	Erüsik asit ve glukosinolat gibi canlılara zararlı kimyasal maddeler içeren Kanola ( <i>Brassica napus</i> ) bitkisi kolzanın ıslahı sonucu elde edilmiş bir bitki türüdür. Yağı, insanlar ve çiftlik hayvanları için gıda maddesi olarak kullanılmaktadır.
<i>Bromus ramosus</i>	Bakır	<i>Bromus ramosus</i> yıllık bir bitkidir. 6,3 metre yüksekliğindeki genellikle 1,2 m boyutuna ulaştığında, yaprakları genellikle düşer. 20-50 cm uzunluğunda ve 10-15 mm genişliğinde ve ince tüylü uzundur. Tepe çiçeklenme ana gövde üzerinde ikişer ikişer kaynaklanıyor uzun ince üzerine asılı zarif kemerlidir.
<i>Carex echinata</i> L.	Bakır	Islak ormanlar, bataklıklar ve orta yükseklikte dağ çayırlarında yetişen bir bitkidir. Genellikle turba bataklıklarında bulunurlar.
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	Bakır	Yeraltında uzayan kökleri, toprak üstünde yumak oluşturan özelliği olan çok yıllık bir bitkidir. Çiçekleri 3-6 adet, dikenlidir.
<i>Eriophorum angustifolium</i> L.	Bakır	Genellikle üzerinde bulunan turba ya da asitli topraklarda açık, sulak veya bozkıralanlarda yetişir.

**Çizelge 2.1. (devam)**

<i>Helianthus annuus</i>	Kurşun	Ayçiçeği <u>papatyagiller</u> ( <i>Asteraceae</i> ) ailesinden çekirdekleri ve yağı için yetiştirilen sarı çiçekli bir tarım bitkisidir. Toprak sıcaklığı 8-10 °C arasında bu bitki çimlenir. Dolayısıyla bu bitkinin ekimi Nisan başı-Mayıs ortası arasında yapılır. Bu bitki soğuğa dayanıklıdır ve genelde ilk donlardan 4-6 yapraklı devreye kadar zarar görmez.
<i>Holcus lanatus</i> L.	Bakır	Kadife gri-yeşil yaprakları vardır. Bazıları pembe çizgili veya damarları beyazdır. Çiçeklenmeleri sağlam ve genellikle mor tonludur. Bu tohum büyük miktarda üretim ve rahatsız zemin hızlı bir kolonileştirici olup, hava alan zeminlerde genellikle drenaj hendekleri etrafında görülür.
<i>Minuartia verna</i> L.	Silisyum	Minuartia kayalık çıkıntılarının olduğu yerler ve taşlı topraklarda soğuk koşullarda yetişen küçük veya çok yıllık bir bitkidir.
<i>Nardus stricta</i> L.	Bakır	Nardusstricta kalkerli topraklarda kaçınarak, besin miktarı az, asidik kumlu turba topraklarda yetişir. Bozkır alanlarda tepeler ve dağlarda oluşur.
<i>Pelargonium</i> L.	Kurşun	Turnagagasıgiller familyasındandır. Haziran-Temmuz aylarında morumsu-pembe renkli çiçekler açan çok yıllık otsu bir bitkidir.
<i>Ricinus communis</i> L.	Nikel	Hint yağı bitkisi olarak bilinmektedir. Sütlegengiller familyasından ait bir bitki türüdür.
<i>Solanum nigrum</i> L.	Kadmiyum	Köpek üzümü, patlıcangiller familyasından otsu bir <u>türdür</u> . 70 cm uzunluğunda seyrek veya sık tüylü, dik veya yatay görümlü bir bitkidir. Meyve siyah nadiren yeşil renkli olup hafif basık küre biçimde, 6-10 mm çapındadır. Çiçeklenme Temmuz-Eylül ayları arasında olmasına rağmen meyve dönemi Ağustos-Ekim aylarındadır.
<i>Viola arvensis</i> L.	Nikel ve bakır	Bir menekşe türüdür. Avrupa'da, Batı Asya ve Kuzey Afrika'ya özgüdür. Bu <u>otsu</u> bir bitki olup, her yerinden beyaz tırtıklı yaprakları ve genellikle çiçeklerle taç yaprağı ve (aslında bir üstündeki mor belirti ile çiçek olmasına rağmen) <u>açılan meyve kapsülleri vardır</u> . Bu bitki uzun boyludur ve 20 santimetre büyür.

### 3. AĞIR METALLER

Literatürde genel olarak kesin bir tanımı olmamakla beraber, özgül ağırlıkları 5 ve atom numarası ise 20 üzerinde olan metaller, ağır metal olarak nitelendirilmekte (Ag, As, Cd, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Zn gibi) ve bunların toprakta çok yönlü zararlara neden olduğu bilinmektedir. Doğada bulunan bazı ağır metaller besin zincirine girdiklerinden dolayı bunların çok az miktarı bile tüm canlılar için toksik etki yapmaktadır.

Doğada bulunan kadmiyum (Cd), krom ( $Cr^{+6}$  formu), civa (Hg) ve kurşun (Pb) gibi ağır metaller, canlıların yaşamı için gerekli olmayıp çok düşük miktarları bile toksik etki gösterirken, bakır (Cu), krom ( $Cr^{+3}$  formu), demir (Fe), mangan (Mn), molibden (Mo), çinko (Zn) ve nikel (Ni) gibi ağır metaller ise canlılar için belli bir miktara kadar gereklidir. Ağır metallerin büyük bir kısmı biyolojik sistemlerde birikim yaparlar. Ağır metaller, biyolojik sistemlerde olması gerekenden daha fazla birikmesi sonucu ciddi rahatsızlıklara hatta ölümlere bile sebep olabilmektedir (Kahvecioğlu vd. 2007).

Bazı ağır metaller bitkilerin büyümesi için gerekli olsa da belirli bir konsantrasyondan sonra hem bitkiler için hem de mikroorganizmalar için toksik olmaktadır. Örneğin, bor bitkiler için mikro planda önemli bir besin maddesi olmasına rağmen 2 mg-L lik konsantrasyon pek çok bitki için toksik etki yapar. Ağır metallerin toprakta kalma süreleri artış gösterdikçe yüksek düzeylerde birikim oluşmaktadır. Genel olarak çinko, bakır ve nikel toplam ağır metallerin büyük bir kısmını kapsar (Karpuzcu 2010). Toprakta genel olarak bulunan ağır metaller aşağıda kısaca açıklanmıştır.

#### 3.1. Ağır Metallerin Özellikleri ve Etkileri

##### 3.1.1. Bakır (Cu)

Bakır atom numarası 29, atom ağırlığı 63,546 gr ve periyodik tablo da IB grubunda yer almaktadır. Bakır yeryüzünde maden cevherlerinin ve diğer elementlerin içinde ve birçok mineral yatağında bol miktarda olan daha çok bileşikler şeklinde bulunan bir elementtir. Bakır toprakta organik maddelerce, mangan ve demir oksitlerce adsorbe edilmiş bir şekilde bulunmaktadır. Gümüşten sonra elektriği en iyi ileten metaldir. Madencilik faaliyetleri, yoğun trafik akışı, endüstriyel sanayi alanlarından kaynaklı atıkların ve su ve atıksu arıtım teknolojilerinden kaynaklı çevrede bakır birikimi meydana gelmektedir. Bakır bitkilerde en fazla hücre duvarında bulunurken ikinci olarak

da kloroplastlarda bulunmaktadır. Kirlenmemiş topraklarda bakır içeriği 2-40 ppm arasında değişirken, kirlenmiş topraklarda 1.000 ppm'e kadar çıkabilmektedir. Bitkilerde ise ortalama 10 ppm civarında bakır bulunmaktadır. Bakır bitkilerin birçoğu için gerekli bir element olup aşırı konsantrasyona ulaştığında bitkide klorozise, fotosentezin inhibisyonuna, azot başta olmak üzere mineral elementlerin alınmasının kısıtlanmasına, protein metabolizmasının bozulmasına ve lipid peroksidasyonuna neden olur (Yruela 2005).

Bakır bitkiler ve hayvanlar için önemli bir elementtir. Birçok enzimin önemli bileşimini oluşturur. Bakır eksikliği anemiye, renk pigmentlerinin kaybına ve damarların esnekliğini kaybetmesine yol açar. Büyümeyi azaltır. Fazla miktarda alınan bakır ise kısa vadede gastrointestinal rahatsızlıklar, mide bulantısı, kusma uzun vadede ise böbrek rahatsızlıklarına ve Wilson hastalığına neden olabilir (EPA).

### **3.1.2. Çinko (Zn)**

Çinko atom numarası 30, atom ağırlığı 63,38 gr ve periyodik tabloda geçiş elementidir. Diğer ağır metaller gibi çinko da endüstriyel işletmelerin baca emisyonlarından, kentsel ve evsel atıklardan, motor ve lastik aşınmaları gibi yollar ve asit yağmurlarıyla toprağa ulaşabileceği gibi tarımsal faaliyetler ile diğer mikro elementlere göre çok daha fazla miktarda toprağa bulaşabilmektedir (Bereket ve Yücel 1990, Bloemen vd. 1995). Yüksek konsantrasyonlarda bitkiler için toksik etki yapar. Bitkiler için hayati öneme sahip protein sentezi, fotosentez, solunum gibi metabolik aktiviteler ve hücre membran yapısının dayanıklılığı üzerine etkileri nedeniyle sentezlenen ürünün nicelik ve niteliğini doğrudan etkilemektedir (Rout ve Das 2003).

Bitkiler tarafından topraklardan alınabilecek Zn miktarı ortalama 10-300 mg kg<sup>-1</sup> dır. Zn konsantrasyonu 3,6-5,5 mg kg<sup>-1</sup> arasında değişmektedir. Normal şartlarda bitki bünyesinde bulunabilecek Zn konsantrasyonları 5-100 mg kg<sup>-1</sup> civarındadır. Bitkilerde genellikle Zn konsantrasyonunun toksisite etkisi 400 mg kg<sup>-1</sup>'den sonra görülmeye başlamaktadır (Özbek vd. 1995).

### **3.1.3. Demir (Fe)**

Demir atom numarası 26, atom ağırlığı 55,845 gr ve periyodik tabloda VIII. grup elementidir.

Doğada en fazla bulunan metallerden birisidir. Bilinçsizce kullanılan demir içerikli gübrelerin toprağın yapısının incelenmemesinden kaynaklı toprakta pestislere ve etkili olmayan gübrelemeye neden olmaktadır. Bu yanlış gübreleme ekosistemin kirlenmesine sebep olmaktadır.

Demir içerikli gübreler genellikle aşırı kireçli topraklarda etkili olamayan bir ilaçlama yöntemidir. Nedeni kalsiyum ile girdiği antagonistik ilişkidir. Etkili pH aralığı çok dardır. Demir oksitli bileşiklerin çözünürlüğü mükemmeldir. En olumsuz koşullarda dahi rahatlıkla çözünmesi ve günlerce sonra dahi tortu oluşturmaması bunun en açık göstergesidir (San 2007).

Kültür topraklarında yüksek oranlarda demir bileşiği bulunmasına rağmen bitkilerin topraktan çok az demir almaları ve çok az demir kapsamaları nedeniyle demir, mikro besin maddesi olarak kabul edilmektedir. Bitkiler demiri topraktan  $Fe^{+3}$ ,  $Fe^{+2}$  iyonları ve Fe halinde almaktadırlar. Bitkilerin demir kapsamaları türlerine, yaşlarına, organlarına, yetiştikleri toprakların yayırlı demir miktarına göre, kuru ağırlıklarının birkaç ppm ile 500-600 ppm arasında değişmektedir (Güven 2002).

#### **3.1.4. Kadmiyum (Cd)**

Kadmiyum atom numarası 48, atom ağırlığı 112,411 gr ve periyodik tabloda IIB grubu elementidir. Kadmiyum ilk kez 1817'de Almanya'da çinkonun saflaştırılması sırasında elde edilen bir metaldir. Kadmiyum (Cd) gümüş beyazı renginde bir metaldir. Havada hızla kadmiyum oksite dönüşür. Kadmiyum sülfat, kadmiyum nitrat, kadmiyum klorür gibi inorganik tuzları suda çözünür. Kadmiyum bileşikleri; metallerin kaplanmasında, bakır gibi diğer metal alaşımlarında, alkali bataryalarında, plastiklerde stabilizer veya pigment olarak kullanılmaktadır. Kadmiyum kirliliğinin başlıca kaynakları lastik aşınması ve dizel yağlardır. Kadmiyum içeren madde veya eşyaların çevreye atılması ve kadmiyumun kullanımı sırasında yapılan aktiviteler de atmosferik kadmiyum kirliliğini meydana getirir (EPA 1987).

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

Kadmiyum, toprakta bulunan organik maddelere karşı duyarlı ve toprağın oluşumunun ileri kademelerinde topraktaki miktarı artmaktadır. %80'den fazla yağışlarla çözünmüş formda yeryüzüne ulaşır. Bitkilerde en fazla yaprakta en az kökte birikim gösterir (Benavides vd. 2005).

### 3.1.5. Kalsiyum (Ca)

Kalsiyum atom numarası 20, atom ağırlığı 40,078 gr ve periyodik tabloda IIA grubunda yer alır. Kalsiyum sulardaki sertliğin ölçülmesini sağlayan, pH dengeleme özelliğine sahip, olumsuz bileşiklerin toksisitesini etkilemektedir. Kireçli toprakla kalsiyum demiri immobilize edebilmektedir (Lenntech 2014). Kalsiyum, diğer bitki besin elementlerine göre yer kabuğunda daha yaygın ve daha fazla bulunmaktadır. Yer kabuğunun kalsiyum kapsamı % 3,64'tür. Topraklarda değişik primer mineraller şeklinde ve  $Ca^{+2}$  olarak organik ve inorganik toprak kolloidlerine bağlanmış halde bulunan kalsiyum, toprak kolloidlerinin koagülasyonunu arttırmakta, toprak strüktürünü iyileştirmekte ve toprak agregatlarının dayanıklılığını arttırmaktadır (Aydemir ve İnce 1988). Bitkilerde kalsiyum eksikliği verimi azalttığı gibi kalitesinde de düşüşe sebep olmaktadır. Toprakta kalsiyum miktarında azalma olması bitkinin gelişimini olumsuz etkilemektedir. Topraktaki kalsiyum eksikliğinde toprağa yan ürün olarak kalsiyum gübrelere kullanılmakta ve bitkinin temel besin maddesinden biri olan kalsiyumu bünyesine alması sağlanmaktadır. Toprak ve yaprak yoluyla, toprak şartları ve bitki çeşidine bağlı olarak kalsiyumlu gübreleme yapılabilmektedir. Kalsiyum bitki bünyesinde hareketsiz bir elementtir ve yaprak yoluyla verilen kalsiyumdan genellikle daha çabuk cevap alınabilmektedir (Locascio vd. 1992).

### 3.1.6. Krom (Cr)

Krom atom numarası 24, atom ağırlığı 51,9961 gr periyodik tabloda VIB elementidir. Krom, kromit madeninden ( $FeO.Cr_2O_3$ ) elde edilmekte ve asit dayanıklılığı çok yüksek bir elementtir. Doğada her yerde bulunan bir metaldir. Toprakta da az miktarda krom (2-60 mg/kg) bulunurken kirlenmemiş bazı topraklarda bu değer 4 g/kg'a kadar çıkmaktadır. Kromun kayalardan ve topraktan suya, ekosisteme, havaya ve tekrar toprağa olmak üzere doğal bir çevrimi vardır. Ancak yılda yaklaşık olarak 6700 ton krom bu çevrimden ayrılarak denize akar ve okyanus tabanında çökeler (Kahvecioğlu 2007). Krom zehirlenmesi, deri hastalıklarına ve karaciğer bozukluklarına neden olmaktadır. Kanserojen etki gösterebilmektedir.

### 3.1.7. Kurşun (Pb)

Kurşun atom numarası 82, atom ağırlığı 207,2 gr ve periyodik cetvelde IVA elementidir. Günümüzde topraktaki en önemli kurşun kaynağı petrol ürünleridir. Topraklarda kurşun, kalsiyum

iyonları ile yer değiştirerek kurşunun toprakta tutulmasına yol açmaktadır. İnorganik kurşun tohum ve köklerde çok fazla birikmeye neden olmamaktadır. Organik kurşun ise bitkiler tarafından hızla alınmaktadır (Kabata-Pendias ve Mukherjee 2007).

Kurşun toprak organik maddesine sıkıca bağlanmaktadır. Genellikle kurşun toprağın st katmanlarında bulunma eğilimindedir. Bu nedenle bitkiler tarafından kolaylıkla alınabilir. Ağaçlarda ve dikenli-tüylü yapraklı, otsu bitkilerde diğer bitkilerden daha fazla birikim göstermektedir. En çok köklerde birikim gösterir. Bunu yaprak, gövde ve meyve izler. Başlıca kaynakları; otomobil emisyonları, maden ocakları ve kurşun işleyen endüstri kuruluşlarıdır (EPA 1987, Sharma ve Dubey 2005, Peng vd. 2005).

### **3.1.8. Magnezyum (Mg)**

Magnezyum atom numarası 12, atom ağırlığı 24,312 gr ve periyodik tabloda IIA grubunda yer almaktadır. Magnezyum kök ve gövdenin büyüme uçlarında birikir. Gelişme döneminin sonuna doğru magnezyum genç vejetatif organlardan tohuma taşınır ve tohumda birikir. Eğer tohumun oluşumu herhangi bir nedenle gerilerse bitkinin daha uzun süre yeşil kaldığı görülür.

Magnezyum bitki bünyesinde hareketli olup yaşlı organlardan genç organlara kolaylıkla taşınır. O nedenle noksanlık belirtileri önce bitkinin alt yaşlı yapraklarında görülür. Klorofil yapısında Mg bulunduğundan bu elementin eksikliğinde klorofil sentezi azalacağından yapraklarda kloroz belirtisi ortaya çıkar. Mg noksanlığında yaprağın her tarafının sarı renk almasına karşın yaprak damarları yeşil kalır. Noksanlığın sürmesi halinde yaprağın her yanı sararır ve sonunda yaprak yaşamını yitirir. Bitkilerde magnezyumun çoğunlukla hücre öz suyunda inorganik tuzlar halinde, klorofil molekülünün yapı maddesi olarak ve protoplazmada bileşikler halinde bulunduğuna inanılmıştır. Mg bitkilerde kalsiyuma oranla çoğunlukla daha az bulunur. Bitkilerde ortalama % 0,30 magnezyum bulunmasına karşın % 0,77 kalsiyumun bulunduğu saptanmıştır. Mg bitkilerin yaprak ve tohumlarında öteki organlarına oranla daha fazla bulunur (Güven 2002).

### **3.1.9. Mangan (Mn)**

Mn, demirin de yardımıyla bitkide klorofilin oluşumuna yardım eder. Genellikle klorofile sahip tüm yeşil bitki organları, yüksek düzeyde Mn kapsar. Bitkilerde cereyan eden çok çeşitli enzimatik ve fizyolojik tepkimelerde Mn katalizör olarak görev yapar.

Bitkide manganın fazla bulunması zehir etkisi gösterir ve demirin bitkiler tarafından alınmasını önler. Klorofilin yapısında yer almamakla birlikte yeteri düzeyde manganın bulunmaması halinde bitkide klorofil oluşumu azalır. Son yapılan araştırmalar manganın fotosentezin cereyanında da dolaysız etki sahibi olduğunu göstermiştir.

Yaprakların Mn konsantrasyonu görel olarak öteki bitki organlarının Mn konsantrasyonlarından çok yüksektir. Genellikle bataklık yerlerde yetişen bitkilerle su seven bitkiler kurak yerlerde yetişen bitkilerden daha fazla Mn kapsarlar. Özdeş şekilde yaprağını dökmeyen ağaçların Mn kapsamları yaprağını döken ağaçların Mn kapsamlarından daha yüksektir. Genellikle bitkilerin Mn kapsamları 20 ppm'den az olduğu zaman bitkilerde noksanlık belirtileri görölmekte, 20-550 ppm Mn çoğunluk bitkiler için yeterli olmakta ve 500 ppm'den fazla bulunan Mn, bitkilerde zehir etkisi göstermektedir (Güven 2002).

### **3.1.10. Nikel (Ni)**

Nikel (Ni) bitkiler için vazgeçilmez bir metaldir çünkü metaloenzim üreazının yapısal bir bileşeni olup, ürenin karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve amonyak (NH<sub>3</sub>) 'e dönüştürülmesinden sorumludur (Dixon vd. 1975), ayrıca nitrojen metabolizmasında da önemli bir rol oynamaktadır (Polacco vd. 2013; Lavres vd. 2016; Macedo vd. 2016). Bununla birlikte, yüksek Ni konsantrasyonları bitki toksisitesine neden olur. Yerküre kabuğundaki Ni konsantrasyonları, ultramafik kökenli topraklar hariç, nispeten düşüktür (yaklaşık 20 mg kg<sup>-1</sup>), burada Ni konsantrasyonları 1400 ve 2000 mg kg<sup>-1</sup> arasında değişebilir (Kabata-Pendias ve Pendias 2011) bu değer serpantin topraklarda 7100 mg kg<sup>-1</sup>'e kadar ulaşır (Uren 1992). Bununla birlikte, metal işleme tesisleri, petrol ve karbon yanması ile tarımda kanalizasyon çamuru ve fosfat gübrelerinin kullanımı ile kirlenmeye bağlı olarak toprak Ni konsantrasyonları artabilir (Kabata-Pendias ve Pendias 2011).

Ni toksisitesinin görsel semptomları arasında bitkilerde kloroz, ardından da nekroz görülebilir (Gajewska vd. 2006; Seregin ve Kozhevnikova 2006; Ahmad vd. 2007). Bu durum bitkilerde manganiz (Mn) eksikliğinde gözlenen damarlar arasında sararma ile benzer özellik gösterir (Hewitt 1953). Ni toksisitesi ayrıca kök ve sürgün büyümesini de etkiler. Daha şiddetli durumlarda, yapraklarda birkaç bitki parçasının ve kahverengi lekelerin deformitesine neden olur (Mishra ve Kar 1974).

### 3.2. Bitkilerde Ağır Metal Alınımı ve Taşınımı

Her bitkinin kendine has özelliği olduğundan çevresel etkilere karşı gösterdikleri tepkiler farklı olabilir. Gür vd. (2004)'e göre, bu bitkilerin çevresel etkilere karşı direnç göstermeleri bitki türüne, stres faktörüne, strese maruz kalma süresine ve strese maruz kalan doku veya organının yapısına bağlı olarak değişmektedir.

Ağır metaller bitkiler için belirli miktarlarda yararlılık gösterirken, yüksek miktarlarda bitkilerin yapısal bozulmalarına sebep olabilmektedir. Bitkilerin ağır metallere karşı dirençlerinin tayin edilebilmesi için bitkinin bünyesine aldığı metalin cinsine ve miktarına, bitkinin maruz kaldığı süreye ve zararın hızına ve türüne bakılmalı ve hesap edilemelidir. Bu özelliklerin bilinmesi, bitkilerin gelişimi ve canlılığı açısından oldukça önemlidir (Paschke vd. 2005). Önemli ağır metallerin ekolojik sınıflaması Çizelge 3.1' de verilmiştir.

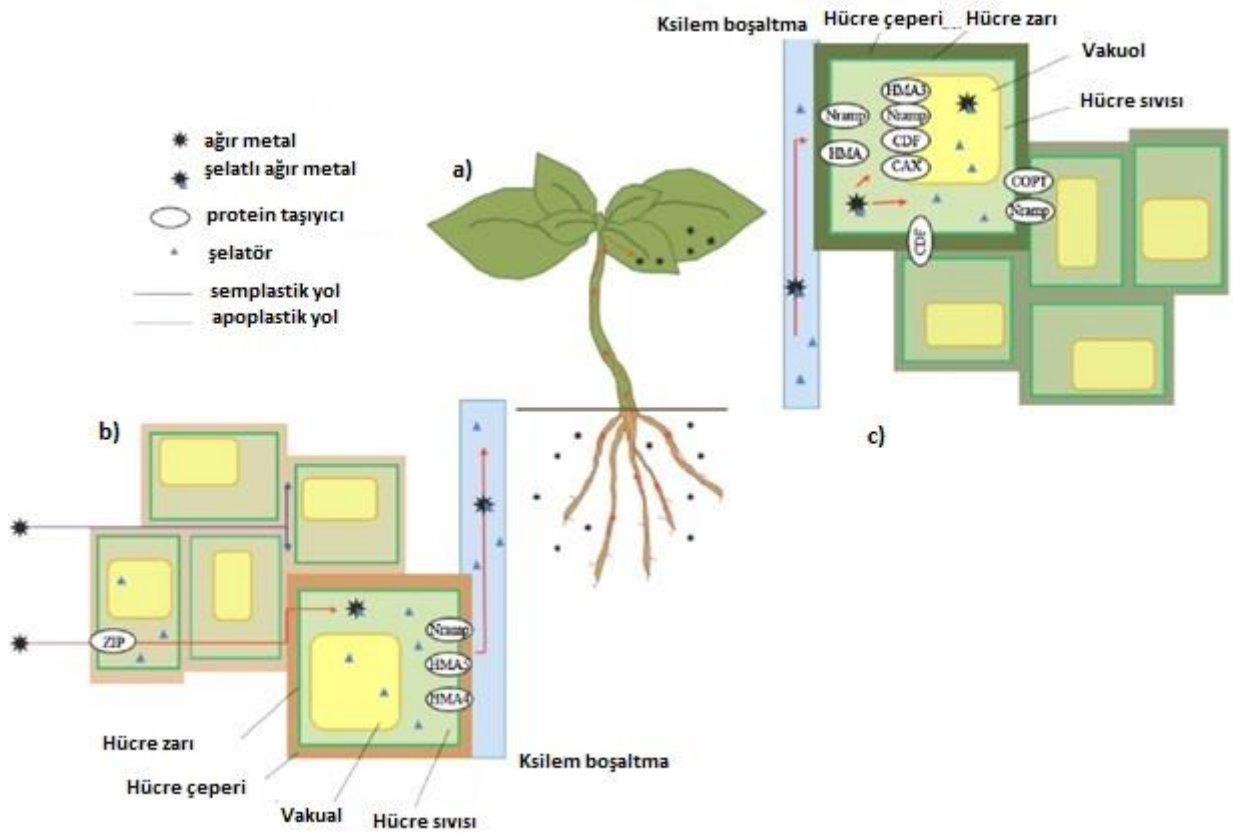
**Çizelge 3.1.** Önemli Ağır Metallerin Ekolojik Sınıflaması

Element	g/cm <sup>3</sup> özgül ağırlık	Bitki ve Hayvan İçin Gerekliklik	Kirletici olup olmadığı
Bakır (Cu)	8,9	G	K
Cıva (Hg)	13,6	-	K
Çinko (Zn)	7,1	G	K
Demir (Fe)	7,9	G	K
Gümüş(Ag)	10,5	-	K
Kadmiyum (Cd)	8,5	-	K
Kalay (Sn)	7,3	-	K
Kobalt (Co)	8,9	G	K
Krom (Cr)	7,2	G	K
Kurşun (Pb)	11,3	-	K
Mangan (Mn)	7,4	G	-
Molibden (Mo)	10,2	G	K
Nikel (Ni)	8,9	G	K
Platin (Pt)	21,5	-	-
Talyum (Tl)	11,9	-	K
Tungstem (W)	19,3	G	K
Uranyum (U)	19,1	G	K
Vanadyum (V)	6,1	G	K
Zirkon (Zr)	6,5	-	-

Ağır metallerin bitkilerde birikimi ve organlarda dağılımı bitkinin ve elementin türüne, kimyasal ve biyolojik aktiviteye, oksidasyon-redüksiyon potansiyeline, pH değerine, katyon

değişim kapasitesine, oksijenin çözülmesine, ısıya ve köklerin salgı yeteneğine bağlıdır (Sharma ve Dubey 2005).

Hiperakümülatör bitkiler ağır metalleri hücre zarlarındaki taşıyıcı proteinler yoluyla alırlar. Bu bitkilerdeki taşıyıcı proteinler ağır metallerin taşınımını gerçekleştirecek şekilde, hiperakümülatör olmayan diğer bitkilere göre değişikliğe uğrarlar (Işık 2004). Metal Hiperakümülatör ve Tolerans Mekanizmaları Şekil 3.1’ de verilmiştir.

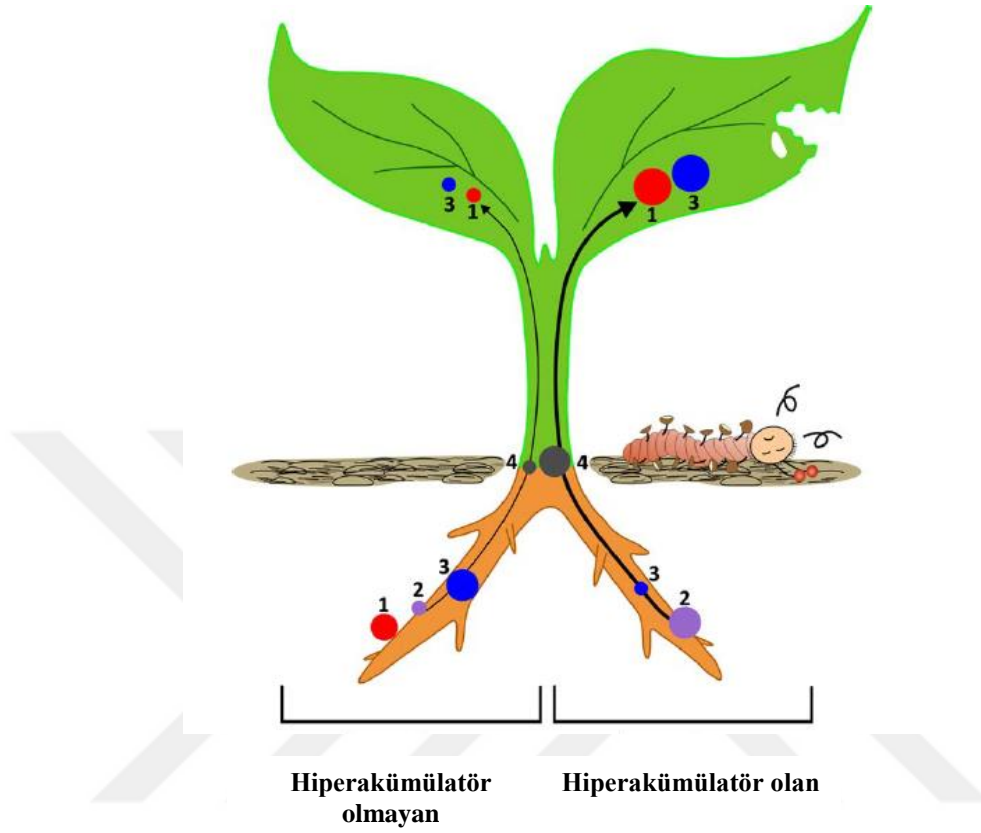


Şekil 3.1. Metal Hiperakümülatör ve Tolerans Mekanizmaları (Maestri vd. 2010)

- Hiperakümülatör bitkilerde ağır metallerin kökten yapraklara translokasyonu
- Ağır metaller köklere girer ve apoplastik ya da simplastik yöntem aracılığıyla hücreden hücreye geçiş yapar. Simplastik yolda, ağır metaller özel taşıyıcı proteinler arasından geçerler ve şelatlanırlar, nihayetinde ksileme yüklenirler.
- Ksilemdeki ağır metaller yaprak hücrelerine dökülür ve vakuole girer veya komşu hücrelere taşınır (Maestri vd. 2010).

Hangi metalin ksilem boyunca geçme oranı, köklerdeki metal yoğunluğuna bağlıdır. Köklerde daha yüksek metal konsantrasyonu ksileme daha hızlı yüklenmeyi sağlar (Jabeen vd.

2009). Hiperakümülatör olan ve hiperakümülatör olmayan bitkinin ağır metal toleransı ve dağılımı Şekil 3.2' de verilmiştir.



**Şekil 3.2.** Hiperakümülatör olan ve hiperakümülatör olmayan bitkinin ağır metal toleransı ve dağılımı (Rascio ve Navari-Izzo, 2011)

Şekil 3.2' de görüldüğü gibi sol tarafta hiperakümülatör olmayan bitkinin ağır metal toleransı ve dağılımı gösterilirken sağ tarafında da hiperakümülatör olan bitkinin ağır metal toleransı ve dağılımı gösterilmektedir.

Burada;

- (1) Hücre duvarlarına ve / veya hücre eksüdatlarına bağlanan ağır metal,
- (2) köklerden ağır metal alınımı,
- (3) hücre sıvısında şelasyon ve / veya vakuollerde(kofullarda) tutulumu,
- (4) köklerden filizlere doğru translokasyon işlemi.

Noktalar farklı mekanizmalardaki bitki organını göstermektedir. Nokta ise her birinin seviyesini belirler. Elementsel savunma hipotezine göre, yüksek ağır metal konsantrasyonları, hiperakümülatör bitkilerin yapraklarını otoburlar için zehirli hale getirmektedir.

Bitkiler genellikle ağır metalleri kök ve gövdelerinde biriktirirler. Bunun dışında toksik olmayan formda diğer organlarda depo edilebilirler. Ağır metaller genellikle vakuollarda ya da kök ve yaprakların hücre duvarlarında depolanırlar. Genellikle bitkiler iki ana strateji ile ağır metal kirliliğine karşı direnç sağlarlar. Birincisi köklerden gövdeye metal geçişini engellemek, ikincisi ise bitki hücre duvarında zehirsizleştirmektir (Peng vd. 2005).

Metal içermeyen grupta yer alan bitkilerde, köklerden dallara doğru metaller taşınmadığından dallardaki metal konsantrasyonları düşük, köklerdeki metal konsantrasyonları ise yüksektir (Mehes-Smith vd. 2013). Metal hiperakümülatöründe, ağır metal konsantrasyonları bitkinin kökünden üst kısımlara doğru hareket ederek buradaki dokularda birikirler (Salt vd. 1998, Kachout vd. 2009). Hiperakümülatörler gibi metal indikatörleri de metalleri, bitkinin üst kısmındaki dokularda biriktirirler (Mganga vd. 2011, Mehes-Smith vd. 2013). Bazı bitki türleri sadece belirli metalleri alabilirken, bazı bitki türleri ise birçok metali bünyesine alabilmektedir (Mganga vd. 2011). Bazı bitkilerin sürekli metal almaya devam etmesi bitkilerin ölmesine veya fizyolojik ve morfolojik değişime uğramasına neden olabilmektedirler. Bu bitkiler kirlilik indikatörü olabildiklerinden biyolojik ve ekolojik olarak önemlidir. Aynı zamanda hiperakümülatörler olarak kirleticileri de absorbe edebilmektedirler (Mganga vd. 2011, Mehes-Smith vd. 2013). Bazı hiperakümülatör bitkiler ve bünyelerine aldıkları ağır metallerin biyoakümülyasyon potansiyelleri Çizelge 3.2’ de verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Bazı Hiperakümülatör Bitkiler ve Bünyelerine Aldıkları Ağır Metallerin Biyoakümülyasyon Potansiyelleri

<b>Bitkiler</b>	<b>Metal</b>	<b>Biyoakümülyasyon</b>	<b>Referanslar</b>
<i>A. racemosus</i>	Se	14,900 mg kg <sup>-1</sup>	Beath vd. (1937)
<i>Sebertia acuminata</i>	Ni	25% by wt. Dried sap	Jaffre vd. (1976)
<i>Ipomea alpine</i>	Cu	12,300 mg kg <sup>-1</sup>	Baker and Walker (1989)
<i>Berkheya coddii</i>	Ni	5,500 mg kg <sup>-1</sup>	Robinson vd. (1997)
<i>Eichornia crassipes</i>	Cr(VI)	6000 mg kg <sup>-1</sup>	Lytle vd. (1998)
<i>Iberis intermedia</i>	Ti	3,070 mg kg <sup>-1</sup>	Leblanc vd. (1999)
<i>Alternanthera sessilis</i>	Cv	1017 mg kg <sup>-1</sup>	Sinha vd. (2002)
<i>Zea mays</i> L. Cv Ganga 5	Cr	2538 mg kg <sup>-1</sup>	Sharma vd. (2003)
<i>Pteris vittata</i>	As	23,000 µg g <sup>-1</sup>	Dong (2005)
<i>Sesbania drummondii</i>	Cd	1687 mg kg <sup>-1</sup>	Israr vd. (2006)

**Çizelge 3.2. (devam)**

<i>Thlaspi caerulescens</i>	Zn	19410 mg kg <sup>-1</sup>	Banasova ve Horak (2008)
<i>Thlaspi caerulescens</i>	Cd	80 mg kg <sup>-1</sup>	Banasova ve Horak (2008)
<i>Myriophyllum heterophyllum</i>	Cd	21,46 µg g <sup>-1</sup>	Sivaci vd. (2008)
<i>Potamogeton crispus</i>	Cd	49,09 µg g <sup>-1</sup>	Sivaci vd. (2008)
<i>Sorghum sudanense</i>	Cu	5330 mg kg <sup>-1</sup>	Wei vd. (2008)
<i>Phragmites australis</i>	Cr	4825 mg kg <sup>-1</sup>	Calheiros vd. (2008)
<i>Arabis paniculata</i>	Cd	1127 mg kg <sup>-1</sup> (sürgündeki miktar)	Zeng vd. (2009)
<i>Atriplex halimus subsp. schweinfurthii</i>	Cd	606,51 µg g <sup>-1</sup> kuru ağırlık	Nedjimi ve Daound (2009)
<i>Sedum alfredii</i>	Cd	2,183	Jin ve Liu (2009)
<i>Sedum alfredii</i>	Zn	13,799 mg kg <sup>-1</sup> kuru ağırlık	Jin ve Liu (2009)
<i>Phytolacca americana</i>	Mn	32,000 µg g <sup>-1</sup>	Pollard vd. (2009)
<i>Brassica juncea</i>	Ni	3961 mg kg <sup>-1</sup> kuru ağırlık	Saraswat ve Rai (2009)
<i>Potentilla griffithii</i>	Zn	Leaves (19,600) mg kg <sup>-1</sup> kuru ağırlık	Hu vd. (2009)
<i>Rorippa globosa</i> (Turez.)	Cd	218,9 µg g <sup>-1</sup> kuru ağırlık	Sun vd. (2010)
<i>Thlaspi praecox</i> Wulfen	Cd	> 1,000 µg g <sup>-1</sup> tohumdaki kuru ağırlık	Vogel-Mikus vd. (2010)
<i>Physalis angulata</i>	Ni	253 µg g <sup>-1</sup>	Eren ve Mert (2016)
<i>Physalis angulata</i>	Cd	46,9 µg g <sup>-1</sup>	Eren ve Mert (2016)
<i>Physalis angulata</i>	Cu	304 µg g <sup>-1</sup>	Eren ve Mert (2016)
<i>Verbascum thapsus</i>	Cd	54,6 µg g <sup>-1</sup>	Eren ve Mert (2016)
<i>Tagetes patula</i> L.	Cd	100 mg kg <sup>-1</sup>	Dağhan (2016)

#### 4. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde literatürde daha önce çalışılmış olan hiperakümülatör bitkiler ile ilgili yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

Gündüz (2005) yapmış olduğu çalışmada, Kuzey Kıbrıs Turunçgil Bahçelerinde, üründe kalitatif ve kantitatif azalmalara sebep olan yabancı otlar saptamış, bunlar içerisinde ekolojik bir faktörün (rölyef, toprak pH'sı, toprak kireçliliği, katyon değişim kapasitesi veya toprak tekstürü) göstergesi olabilecek türleri araştırmıştır. Turunçgil bahçelerinde 28 bitki familyasına ait 71 adet yabancı ot türü bulunmuştur. *Sonchus oleraceus* L. ve *Silybum marianum* L. Gaertner orta, fazla ve çok fazla kireçli turunçgil bahçelerinin göstergesi olarak saptanmışlardır. Ayrıca *Lepidium sativum* L. ssp. *sativum* (küçük tere) *Spinacia oleraceae* L. (ıspanak) *Raphanus sativus* L. var. *niger* (turp) ve *Lactuca sativa* var. *sativa* (marul) plastik potlar içerisinde 12, 14 ve 17 numaralı Eski Bakır İşletmesi atık havuzlarından alınan sular ile sulanarak yetiştirilmiş ve ağır metaller karşısındaki akümülyasyon özellikleri araştırılmıştır. Araştırmalar sonucunda bitkilerin tümü yetiştikleri topraklardaki ağır metal konsantrasyonunun göstergesi olmuşlardır. Üzerinde çalışılan 10 elementten Arsenik (As), Kadmiyum (Cd), Demir (Fe) ve Kurşun (Pb)'un bitkiler tarafından metabolik ihtiyaçlarından fazla akümüle edildiği ortaya çıkmıştır. Araştırmada kullanılan bitkilerden ıspanağın Arsenik ve Kurşun, küçük terenin Kurşun ve marulun da Arsenik remediasyonu için uygun oldukları belirlenmiştir.

Çalışkan (2007) Tekirdağ Çorlu ilçesi ve çevresinde yetişen bitkilerdeki ağır metal konsantrasyonunu belirlemek amacıyla Çorlu'daki sanayi kuruluşları ve yoğun araç trafiği yakınındaki ekim alanlarında yetiştirilen bitkilerden örnekler almıştır. Analiz sonucunda bu bitkilerde kurşun, kadmiyum ve krom düzeyleri oldukça yüksek çıkmıştır. Hatta birçok bitki örneği için Türk Gıda Kodeksi limitlerini aşan değerler olmuştur. Yazara göre bazı yenilebilir bitki örneklerinde bulunan ağır metal düzeylerinin halk sağlığı açısından risk oluşturma olasılığı vardır.

Kartal (2010) İstanbul Avrupa yakası D-100 Karayolu çevresinden 9 farklı nokta belirlemiştir. Bu bölgelerden *Carpobrotus*, *Cupressus* ve *Pinus* türlerinden oluşan 52 bitki örneği alarak bu bitkileri mikrodalga fırında asitle çözelti haline getirmiş ve Atomik Absorbsiyon Spektrometresi (AAS)'nde ağır metal analizleri yapmıştır. Ayrıca mevsimsel olarak klorofil miktarlarını da ölçmüştür. Analiz sonucunda bitki bünyesinde ortalama konsantrasyonla orantılı birikim sırası Ni > Cu > Pb > Cr > Cd şeklinde bulunmuştur. Sonuç olarak Pb, Cd ve Cu açısından toksik bir etki veya kirlilik düzeyinde bir birikim bulunmazken; Ni ve Cr açısından belli

lokalitelerde, sanayii bölgesine yakınlık ve trafik yoğunluğuna bağlı olarak konsantrasyonlarında artış gözlenmiştir. Araştırmacı bu üç türün, biyomonitör bitki olarak kullanılabileceğini söylemiştir.

Karayer (2013) Eskişehir Kırka ilçesi maden işletmesi yakınlarındaki tarım alanları ve çevresindeki Akin, Yarbasan, Fethiye köylerinden 2011-2012 yılları arasında alınan topraklarda ve *Hordeum vulgare*, *Triticum aestivum*, *Phaseolus vulgaris*, *Cucurbitapepo*, *Lactuca sativa*, *Cicer arietinum*, *Beta vulgaris*, *Solanum tuberosum*, *Solanum melongena*, *Allium cepa*, *Medicago sativa* bitkilerinin kök, gövde, yaprak ve çiçek aksamaları üzerinde çalışarak Potasyum (K), Kalsiyum (Ca), Magnezyum (Mg), Demir (Fe), Mangan (Mn), Bor (B), Çinko (Zn), Bakır (Cu), Alüminyum (Al), Kurşun (Pb), Krom (Cr), Sodyum (Na), Silisyum (Si), Arsenik (As), Nikel (Ni) ve Kadmiyum (Cd) gibi elementlerin analizlerini yapmıştır. Analiz sonucunda Bor elementinin tüm bitkilerde kök, gövde ve yaprakta birikimlerinin yaz aylarında ciddi verim ve ürün kalitesinde kayıplara yol açabilecek seviyelerde çıkmasını çevresel sorun boyutunda değerlendirmiştir. Ayrıca kalsiyum, magnezyum ve arsenik elementleri olması gereken değerlerden yüksek çıkmıştır. Araştırmacı, üreticilerin yetiştirecekleri ürün seçimlerinde bor kadar bu elementlere de dayanıklı türleri seçmeleri gerektiğini söylemiştir.

Özay ve Mammadov (2013) ağır metaller ile kirlenen toprakların temizlenmesinde (fitoremediasyon) süs bitkilerinin kullanılabilceğini tartışmışlardır. Bu konuda yapılan çalışmaların yetersiz olduğunu ve süs bitkilerinin hiperakümülatör türlerinin araştırılması gerektiğini savunmuşlardır. Yazarlara göre, süs bitkileri bir yandan çevreyi güzelleştirirken aynı zamanda da topraktaki ağır metallerin temizlenmesine yardımcı olabilirler.

Özbek (2015) ülkemizin flora açısından dünyada önemli bir yere sahip olmasına ve 10 günde yeni bir bitki türünün keşfedilmesine rağmen bu zenginlikten yararlanamadığımızı ve genetik olarak yeterince incelemediğimizi ve testler yapmadığımızı söylemektedir. Türkiye florası incelendiğinde uluslararası literatürde yer alan farklı familyalardan 38 adet hiperakümülatör türe rastlanmaktadır. Yazar, yapılan araştırmalarla diğer kültür bitkilerinin yetiştirilemediği alanlarda bu türlerin potansiyel olarak yetiştirilebileceğini ve bozulan ekolojik dengenin tamiri, korunması ve kirliliğin azaltılmasındaki etkilerinin olumlu olduğunu savunmaktadır.

Dağhan (2016) *Tagetes patula* L. bitkisinin kadmiyum (Cd) biriktirebilme potansiyelini araştırmıştır. Bu amaçla su kültürü ortamında *Tagetes patula* L. bitkisi, on beş günlük periyotlar ile üç paralelli olarak *Hoagland* solüsyonunda uygun ortam koşullarında yetiştirilmiştir. Uygulama sonunda Cd uygulamalarındaki artışla bitkilerin yeşil aksam ve kök kuru ağırlıklarındaki azalmaya rağmen Cd konsantrasyonlarında ve içeriklerinde bir artış olmuştur. Bu bitkinin yeşil kısımlarında

hiperakümülyasyon konsantrasyonunun (100 ppm Cd) 8 katı kadmiyum biriktirmiştir. Bu sonuç *kadiye çiçeği* bitkisinin Cd ile kirlenmiş toprakların temizlenmesinde kullanılabilecek bir eğilime sahip olduğunu göstermiştir.

Kırat (2017) Görgü (Malatya-Yeşilyurt) kurşun-çinko cevherleşme alanında yetişen, *Astragalus pycnocephalus Fischer* 15 (Keven) ve *Verbascum euphraticum* L. (Sığır kuyruğu) bitkilerinin kök ve dallarında bulunan Cd, Pb ve Zn elementlerinin konsantrasyonlarının belirlemek için bir çalışma yapmıştır. Bu bitkilerden 30 adet ve üzerinde yetiştiği topraktan da 30 adet olmak üzere toplam 60 adet örnek toplamıştır. Elde edilen analiz sonuçları istatistiksel olarak değerlendirildiğinde, bu bitkilerin belirtgen bitkiler olabileceğini ve Cd ve Pb metallerince kirlenmiş toprakların iyileştirilmesinde de kullanılabileceğini ifade etmiştir.

Dinh vd. (2018) hidroponik kültürde (topraksız tarım) farklı  $Zn^{2+}$  ve  $Pb^{2+}$  işlem kullanarak hiperakümülyatör *Noccea caerulescens* (Brassicaceae) bitkisinin çinko (Zn) ve kurşun (Pb) akümülyasyonunu ve toleransını araştırmıştır. Sonuçlar, *N. Caerulescens* bitkisinin  $Zn^{2+}$  birikimi için yüksek bir kapasiteye sahip olduğunu, bunun yanında yüksek düzeyde  $Pb^{2+}$  toleransına sahip olduğunu doğrulamıştır. Ayrıca çalışmada, genç bitkilerin  $Zn^{2+}$  ve  $Pb^{2+}$  'ye, yaşlı bitkilerden daha fazla toleranslı olduğu bulunmuştur. Sürgün veya köklerde  $Zn^{2+}$  birikimi, tedavi rejimi veya bitki yaşı tarafından önemli ölçüde etkilenmedi.

Lan vd. (2018) potansiyel bir kadmiyum (Cd) hiperakümülyatörü olan *Microsorium pteropus* (*M. pteropus*) bitkisini incelemiştir ve yüksek seviyede Cd'ye maruz bırakıldıktan sonra, enzimatik oksidan konsantrasyonların (SOD ve POD) önemli ölçüde artarken, MDA seviyelerinin önemli ölçüde azaldığını bulmuşlardır. Cd 'ya maruz bırakıldığında klorofil floresans parametreleri için önemli bir farklılığın oluşmamasını, *M. Pteropus* bitkisinin kendini korumada oldukça etkili olduğuna yorumlamışlardır.

Roselfend vd. (2018) dört alanda kontamine olmuş topraklarda *N. caerulescens* ekotipi olan, bünyesinde Zn ağır metali biriktiren *Prayon* hiperakümülyatörü ve bünyesinde Zn ve Cd metali biriktiren *Ganj* hiperakümülyatörü ile bu bitkilerin Cd ve besin alınımı üzerinde çalışma yapılmıştır. Sonuçta, toprakta bulunan toplam Cd miktarının, Zn/Cd molar oranı veya toprak pH'sı gibi tek tek zemin özelliklerinin, hiperakümülyatör bitkiler tarafından Cd alınımı doğru bir şekilde tahmin etmediğini bulmuşlardır. Ek olarak, Cd çözünürlüğünün düzenlenmesi ve sınırlandırılmasında önemli bir rol oynayan pH ve Cd içeren katı fazlar (esas olarak demir oksitlerden) nedeniyle; aşırı biriken *Ganj* ekotipi tarafından alınan toplam Cd miktarı fizyolojik kapasitesinden daha düşük çıkmıştır.

Wan vd. (2017) Çin’de bulunan dört farklı maden sahasındaki toprak kalitesine ilişkin bir alan araştırması gerçekleştirmişler ve araştırma sonucunda bu alanlardaki topraklarda As, Pb, Zn, Cd, Cu ve Antimon (Sb) gibi ağır metaller bulunduğunu tespit etmişlerdir. *Pteris vittata* L. ve *Viola principis* H. de Boiss bitkilerinin potansiyel çoklu metal ekstraktörü olduğunu ifade etmişlerdir.

Mingorance vd. (2017) İspanya’nın Riotinto bölgesindeki maden sahasındaki kirlenmiş toprak ıslahı için iki farklı bitki türü olan *Cistus ladanifer* L. ve *Medicago sativa* L’yi incelemişlerdir. Toprak özelliklerini vurgulamak ve bitkilerin çevreye verdikleri tepkileri değerlendirmek için pH, organik karbon, mikrobik biyokütle, enzim aktiviteleri, toprak solunumu gibi çeşitli toprak parametrelerini ve besin, biyolojik birikim ve aktarım faktörü gibi çeşitli bitki göstergelerini kullanmışlardır. Çalışma sonucuna göre her iki bitki türü de, her durumda K eksikliği dışında yeterli bir besleyici özelliğe sahiptir ve As, Cr ve Pb'nin toksik konsantrasyonlarını ve *Medicago sativa*’da da Cu içermektedir.

## 5. MATERYAL VE METOD

### 5.1. Araştırma ve Çalışma Alanı

Çalışma alanı olarak Bitlis ilinin doğusunda, Kirkor dağı (Gökgören dağı) üzerindeki Kurukaval Tepesinin (2478 m) kuzeydoğu yönünde, Şikirin Tepesinin güneydoğusunda (2658 m) yer alan, deniz seviyesinden yüksekliği 1700 m civarında olan, yaklaşık 50 ha'lık bir alan üzerine kurulmuş ve Güroymak ilçesi, Tahtalı Köyü, Bellektepe mevkiinde bulunan Bitlis Katı Atık Entegre Bertaraf Tesisi çevresi olarak belirlenmiştir.

Bİ-KA kırsal bölge içinde yer almaktadır. En yakın yerleşim birimleri olan Tahtalı ve Aşağıkolbaşı Köyü sırasıyla 3,4 ve 3,7 km mesafede bulunmaktadır. Depo alanı Bitlis-Güroymak karayolunun yaklaşık 2,5 km kuzeyinde, Oduncular-Aşağıkolbaşı yolunun 2475 m güneydoğusunda yer almaktadır. Tesise ulaşım Bitlis-Güroymak karayolu kullanılarak yaklaşık 2 km uzunluğunda inşa edilmiş erişim yolu ile yapılmaktadır.

Çalışma alanının jeolojik yapısında, Pliyo-Kuvaterner yaşlı volkanik tüfler yer almaktadır. Bu kayaçlar siyahımsı, koyu kahverengimsi, kırmızımsı renklerde üst seviyeler orta derecede ayrılmış, dayanımlı; derine doğru düşük derecede ayrılmış, dayanımlı yer yer çatlaklı-kırıklı, çatlak aralıkları 3-4 mm boylarında ve kil dolgulu olup, çatlak yüzeyleri pürüzlü dalgalıdır. Volkanik tüfler içerisinde yer yer tüfit ve aglomera seviyeleri gözlenmektedir.

Kireçsiz kahverengi orman toprağı ve kireçsiz kahverengi toprak grubunda yer almaktadır. Kireçsiz kahverengi topraklarda kilin oluşması ve mineral materyalin oluşması çok yavaştır. Kimyasal ayrışma olayları ve mikrobiyal faaliyet toprağın ısınmaya başladığı ve ilkbaharın son aylarında nispeten daha hızlıdır. pH değeri profillerin alt katlarına doğru inildikçe artar. Yüzey toprakları nötr ve hafif asit reaksiyonludur. Çalışma alanının tamamında bodur nitelikteki bitkisel örtü görülmektedir.

Çalışma alanındaki tesis, Bitlis ili ve ilçelerindeki katı atıkların uygun şekilde toplanması, taşınması, bertarafı ve geri kazanımı faaliyeti göstermektedir. Evsel nitelikli atıklar konteynerlerde biriktirilip, toplanarak düzenli depolama alanına transferi sağlanmaktadır. Geri dönüşümü yapılacak atıklar ayrı biriktirilip tekrar kullanılabilirliği sağlanmaktadır. Katı atıklar çevreye en az etki yapacak şekilde serilip, sıkıştırılıp, her gün üstünün örtüldüğü bir program dahilinde işletimi yapılmaktadır. Sızıntı sularının geçirimsiz bir tabakada biriktirilip toprak katmanları arasından geçip yeraltı suyu veya yüzey sularına karışması önlenmektedir. Oluşacak gaz toplanıp bertaraf edilmektedir. Yerleşmelerde toplanan katı atıkların bertaraf edilebilmesi ve/veya geri kazanımı

için yapılacak faaliyetlerin çevre kirliliği ve halk sağlığı açısından değerlendirilip, uygun çalışma alanları ve çalışma prensiplerine göre işlemler yapılmaktadır.

Şekil 5.1. çalışma alanının Google earth görüntüsü, Şekil 5.2. de ise Bitlis Katı Atık Tesisi'nin bitki örneğinin alındığı bir bölge gösterilmiştir.



**Şekil 5.1.** Çalışma Alanının Google Earth Görüntüsü



Şekil 5.2. Bitlis Katı Atık Tesisi Bitki Örneğinin Alındığı Bir Bölge

## 5.2. Kullanılan Bitkiler

### 5.2.1. *Hypericum scabrum* L.

Bitki çok yıllık, gövde 11-50 cm boyunda, dik ya da tabanda yatık, tabanda dallanmış, tüysüz, tepesi kırmızı guddeli uzantılı dallanmamış skabrit ya da nadiren pürüzsüz ve guddesiz. Gövde yaprakları 2-5 x 8-20 mm, oblong ya da lanseolattan oblong eliptike ya da şeritsi, genellikle düz, mukronattan yuvalağa, tüysüz ya da hemen hemen dalgalı-papillalı, nadiren donuk mavimsi yeşil, koltuktaki sürgün yapraklar daha küçük ve daha dar. *Hypericum scabrum* L. (Şekil 5.3) kuru kayalık yamaçlarda ve açık ormanlık alanlarda yayılış gösterir ve çiçeklenme dönemi Mayıs-Temmuz ayları arasındadır (Davis 1988). Antispazmodik, sedatif ve anti-inflamatuar özelliklere sahip ve ülkemizde tıbbi bir bitki olarak kullanılan otsu çok yıllık bir bitkidir (Tanker 1971). Türkiye'de, bu bitkinin toprak üstü kısımları kullanılarak bir cilt merhemi hazırlanmış ve sedef hastalığına karşı ilaç olarak kullanılmıştır. Ayrıca bu bitki çok güçlü antibakteriyel (Azırak ve Erdoğan 2003) ve antimikrobiyal (Erdoğan vd. 2004) özelliklerinden dolayı önemli bir farmakolojik potansiyele sahiptir.



**Şekil 5.3.** *Hypericum scabrum* L. Bitkisi

### **5.2.2. *Achillea vermicularis* Trin.**

Bitki kalın odunsu rizomlu. Gövde 15-65 cm, yükselici, çok sayıda, uzun steril sürgünlü, dallanmış, sık yapraklı, silindirik, boyuna çizgili, beyaz yatık tomentozdan tüysüze kadar. Yapraklar homomorfik, lineer, 0,5-2,5 x 0,1-0,3 cm, sapsız, pinnatisekt, ± orak şeklinde içe doğru kıvrılmış ya da eğri büğrü, sık imbrikat ya da aralıklı segmentlere bölünmüş; segmentler 0,3-1 x 1-1,5 mm, 3 loplu ya da 3 partite, ortadaki lop kenardakilerden daha büyük, loplar oblongdan dairemsiyeye kadar, 0,3-1 x 0,5 mm, 100 kenarı kikencikli, uçtaki dikencik kenardakilerden uzun, üst gövde yaprakları daha kısa, korimbus'a erişmez, sık kısa dağınık tüylü. Çiçek durumu sapı (3-) 5-28 mm. Kapitulum (1-)2-40(-45), korimbus 1-8(-10) cm genişliğinde. İnvolutrum yarı küremsiden genişçe yarı küremsiyeye kadar, 2-6 x 2,5-8 mm, tabanı yuvarlak. Çiçeklenme dönemi Haziran-Eylül ayları arasında olup, step, kayalık ve taşlık yamaçlarda yayılış gösterirler (Şekil 5.4) (Davis 1975).



Şekil 5.4. *Achillea vermicularis* Trin. Bitkisi

### 5.2.3. *Anchusa azurea* Miller var. *azurea* Gard. Dict.

İki yıllık veya çok yıllık, oldukça uzun ve özellikle nemli bölgelerde oldukça kalın kazık köklere sahip. Bitki otsu gövdeli, toprak üstü gövdesi 30-115 cm. uzunluğunda, gövde tamamen strigoz tüylerle kaplı. Bazal yapraklar, linear-lanceolate, 7-30×1,2-3.5 cm. uzunluğunda. Meyvelenme döneminde özellikle yaprakların uç kısmındaki tüyler skabroz yapıda ve tabanı tüberküllü; yapraklarda ana damarlar ayırt edilebilmektedir. Çiçek durumu panikül, meyveli dönemde gevşek panikül. Çiçeklenme dönemi Nisan-Temmuz ayları arasında olup, yol kenarları, açık alanlar, tarlalar ve step alanlarda yayılış gösterirler (Şekil 5.5) (Davis 1978).



**Şekil 5.5.** *Anchusa azurea* Miller var. *azurea* Gard. Dict. Bitkisi

#### **5.2.4. *Malva sylvestris* L.**

İki veya çok yıllık bir bitkidir (Şekil 5.6). Gövde 25-120 cm boyda, dik veya toprağın üzerine yayılmış olabilir. Alt kısımlar odunlaşmış, dallı ve tüylüdür. Yapraklar uzun saplı, yuvarlak veya böbrek formunda olup, 3-7 parçalıdır. Çiçeklerin 2-6 tanesi bir arada yaprak koltuğundan çıkar. Taç yaprakların uç kısımları düz olup dik kısımlarında kirpik benzeri kıllar bulunur. Çiçekler parlak kırmızıdan koyu kahverengiye kadar değişen renklerde olabilmektedir. Bitki Mayıs-Eylül ayları arasında çiçek açar. Meyveler disk şeklinde 9-11 parçalıdır. Tohumların arka kısmı çukurca ve ağ şeklinde pürüzlü, düz veya çok az tüylüdür (Davis 1967).



**Şekil 5.6.** *Malva sylvestris* L. Bitkisi

#### **5.2.5. *Alkanna orientalis* (L.) Boiss. var. *Orientalis***

Otsu, glandüler-tüylü, sarımsı-yeşil çok yıllık, genellikle çok dallı saplı gövdeye sahip, dik ya da yükselici, yoğun glandüler-tüylü ve setiform kıllarla kaplı (Şekil 5.7). Bazal yapraklar dalgalı kenarlı oblong-lanseolat, akut apeks ve tabanda sap şeklinde daralmış. Çiçeklenme terminal, basit veya çatallı brakte, çiçekler uzun sapçıklı ve oval, brakteler sapsız, akut, tabanda subkordat şeklindedir. Korolla dışarıda tüysüz sarıdır. Meyve, güçlü bir kavisli gagası olan oval bir nutlettir. Çiçeklenme dönemi Nisan-Ağustos ayları arasında olup, taşlık alanlar, step, volkanik yamaçlarda yayılış gösterirler (Davis 1978).



Şekil 5.7. *Alkanna orientalis* (L.) Boiss. var. *orientalis* Bitkisi

#### 5.2.6. *Medicago sativa* L. subsp. *Sativa*

Bitki çok yıllık, gövde 15-70 cm boyunda, toprak üzerinde yatık, dik, ya da yükselici gövde şekline sahip, yumuşak tüylü veya tüysüz (Şekil 5.8). Yaprakcıklar 4-18x2-10 mm, tüylü, alt yapraklar ters yumurtamsı, üst yapraklar uzun, kamamsı-ters mızraksı veya şeritsi ters mızraksı, yaprak kenarları testere dişli, genellikle terminal dişler yan dişlerden uzun. Çiçek durumu sapı yaprak sapından daha uzun, çiçek durumu rasemöz, 1-3(4) kadar geniş ve 8-30 çiçekli. Çiçekler 6-12 mm, siyahımsı mor veya soluk lavanta. Çiçeklenme dönemi Nisan-Eylül ayları arasında olup, step, çimenlik yamaçlar, çalılıklar, çayırlar, tarlalarda yayılış gösterirler (Davis 1970).

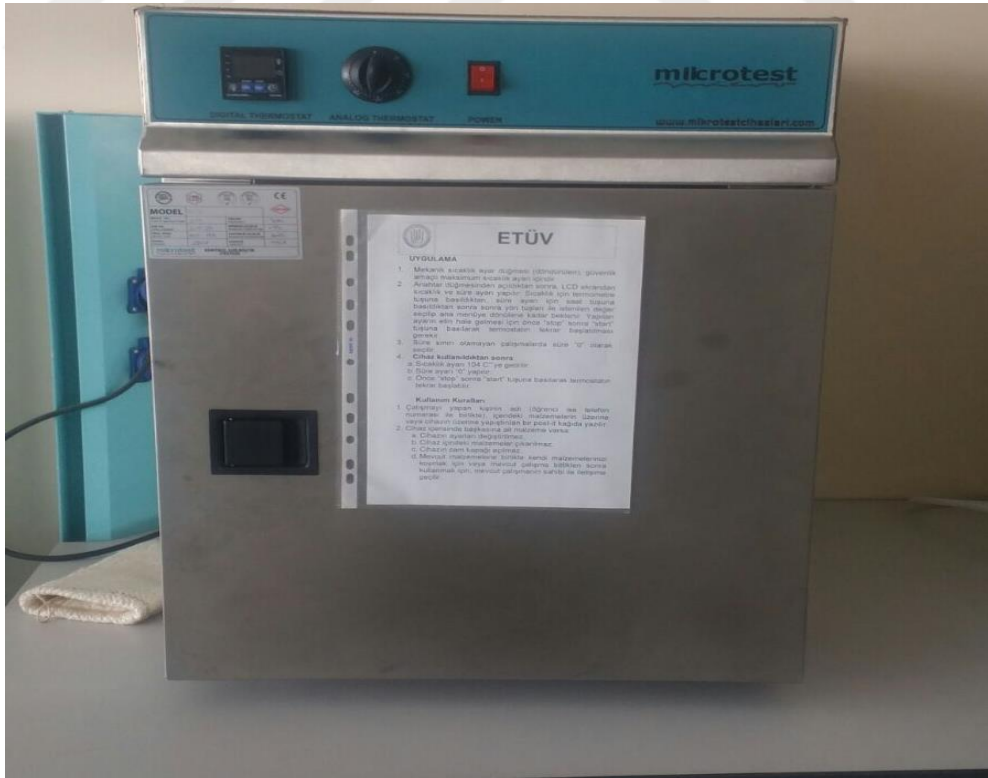


**Şekil 5.8.** *Medicago sativa* L. subsp. *sativa* Bitkisi

### 5.3. Ağır Metal Analizi

Çalışmamızda ağır metal birikimine neden olabilecek bir potansiyele sahip olan Bitlis İli Katı Atık Entegre Bertaraf Tesisi çevresinde doğal olarak yetişebilen ve bu bölgede baskın özelliğe sahip 6 farklı *Anchusa azurea* Miller var. *azurea* Gard. Dict., *Alkanna orientalis* (L.) Boiss. var. *orientalis*, *Achillea vermicularis* Trin., *Hypericum scabrum* L., *Malva sylvestris* L., ve *Medicago sativa* L. subsp. *sativa* bitki türü toplanmıştır. Toplanan bu türler teşhis edilmek amacıyla Çevre Mühendisliği Laboratuvarına getirilmiştir. Flora of Turkey adlı eser ve Botanik kılavuzu yardımıyla bu türlerin teşhisi yapılmıştır. Teşhisleri yapılan bu türler daha sonra yaprak, gövde, çiçek, kök gibi kısımlara ayrılmıştır. Buradaki amacımız bitkinin sahip olduğu toprak altı ve toprak üstü organlarında birikim gösteren ağır metal içeriklerinin ayrı ayrı tespit edilmesi ve bu organlar arasında karşılaştırılma yapılabilmesidir. Yaprak, gövde, çiçek, kök gibi kısımlarına ayrılan bu bitkiler öncelikle laboratuvardaki çeşme suyuyla yıkanmıştır (Şekil 5.11.). Daha sonra ELGA PURELAB-Q DV25 marka saf su cihazından (Şekil 5.10.) alınan sudan geçirilen bu parçalar

kurutulmak üzere ayrı ayrı filtre kağıtları üzerine serilmiştir. Kurutulduktan sonra MST55 marka Etüv cihazında (Şekil 5.9.) her bir bitki parçası filtre kağıtlarına sarılı bir biçimde 80 °C’ de 24 saat bekletilmiştir (Şekil 5.12.). 24 saat sonunda bu bitki numuneleri ayrı ayrı ağzı kapalı poşetlere konulup dolaplara kaldırılmıştır. Ayrıca bu türlerin toplandığı alanda birbirinden farklı görülen 3 farklı alandan toprak numuneleri alınmıştır. Yine bu toprak numuneleri ön işlem yapılmak üzere Çevre Mühendisliği Laboratuvarına getirilmiştir. Uygun bir yerde bu toprak numuneleri filtre kağıtlar üzerine serilerek iki hafta boyunca havalandırılmıştır. Toprak numuneleri ön işlem ve analizleri yapılmak üzere plastik ağzı kapalı poşetlere alınmış ve dolaplara konulmuştur. Numuneler ilk olarak mikrodalga cihazında yakma işlemine tabi tutularak, 0,5 gr numune alınarak üzerine 6 mL % 65 lik HNO<sub>3</sub> ve 2 mL %30 luk H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> eklenmiştir. Yakılan numuneler ICP-MS cihazında okuma yapılabilmesi için 50 kat %2 lik HNO<sub>3</sub> ile seyreltilmiştir (200 uM numune+ 9800 uM%2 lik HNO<sub>3</sub>). ICP-MS cihazında yapılan okumada mikrodalgadaki seyreltmede kullanılan peroksit ve nitrik asit te ayrıca blank olarak yakma işlemine tabi tutulup special blank olarak okutularak ve bu değer ICP okumasında sonuçlardan düşülerek hesaplama yapılmıştır. Yapılan 50 katlık seyreltmelerde ICP cihazında hesaplanarak sonuçlar excel dosyasına aktarılmıştır.



Şekil 5.9. MST55 Marka Etüv Cihazı

**Çizelge 5.1.** MST55 Marka Etüv Cihazının Teknik Özellikleri

<b>TEKNİK ÖZELLİKLER MST-55 (ETÜV)</b>	
<b>Sıcaklık Çalışma Aralığı</b>	Ortam Sıcaklığı +5 °C/ +250 °C
<b>Sıcaklık Sensörü</b>	FE-CONST.
<b>Kontrol Sistemi</b>	Programlanabilir PID Mikroişlemcili Kontrol Sistemi
<b>Sıcaklık Değişimi(100 °C – 150 °C)</b>	± 2 °C
<b>Sıcaklık Hassasiyeti</b>	± 1 °C
<b>Zamanlayıcı</b>	1 dak.- 99.9 Saat+Süresiz Çalışma
<b>Kullanılabilir Hacim</b>	55
<b>Raf Sayısı(standart/max)adet</b>	2/6
<b>Güvenlik Termostatı</b>	Gaz Genleşmeli Termostat (50 °C/ 300 °C)
<b>Kurulu Güç</b>	1500
<b>Güç Değerleri</b>	230 V,50Hz
<b>İç Yüzey Yapısı</b>	Paslanmaz Çelik
<b>Dış Yüzey Yapısı</b>	Elektrostatik Toz Boyalı Çelik
<b>İç Ölçüler(ExDxY)cm</b>	38x38x38
<b>Dış Ölçüler(ExDxY)cm</b>	55x61x71



**Şekil 5.10.** ELGA PURELAB-Q DV25 Marka Saf Su Cihazı

**Çizelge 5.2.** ELGA PURELAB-Q DV25 Marka Saf Su Cihazının Teknik Özellikleri

<b>ELGA PURELAB-Q DV25 (SAF SU CİHAZI)</b>	
<b>SU KALİTESİ</b>	
25°C 'de rezistivite (direnç)	18,2 MΩ-cm 'a kadar
TOC miktarı	<10 ppb
Bakteri miktarı	<1 CFU/ml (POU Filtre ile)
<b>Saflaştırma Teknolojileri</b>	
	Ön Arıtma Reverse Ozmos İyon exchange Foto-oksidasyon Resirkülasyon Opsiyonel 0.2µm POU filtre
Kapasiteleri	7 ve 15 L/saat
Dispense Akış Hızları	1 L/dak

### **ICP-MS Endüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektroskopisi ile örneklerin analiz edilmesi;**

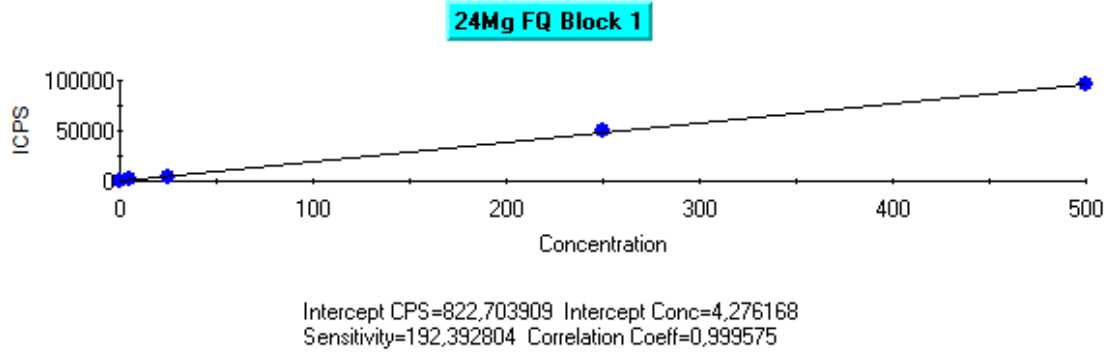
Çevre sağlığı ve kalite kontrol amacıyla içme, kaynak, nehir, göl, deniz ve fabrika atık sularında eser element analizleri için en yaygın olarak kullanılan spektroskopik yöntem atomik absorpsiyon spektroskopisidir ancak son dönemlerde bunun yerini ICP almış durumdadır. ICP emisyon spektroskopisinde, elde edilen yüksek sıcaklık nedeniyle, çok kararlı bileşikler bile, plazma sıcaklığında atomlarına ayrışırlar. Ayrıca alevin kullanıldığı absorpsiyon ve emisyon spektroskopisi yöntemlerinde, oksijenin yüksek kısmi basıncı nedeniyle, toprak alkali elementleri, nadir toprak elementleri ve bor, silisyum gibi bozunmayan oksit ve hidroksit radikaller oluşturan elementlerin analizinde duyarlılık düşüktür. Fakat argon gazı ile oluşturulan plazmada böyle bir sorun yoktur. ICP emisyon spektroskopisinin diğer bir üstünlüğü de, iyonlaşmayı büyük ölçüde engelliyor olmasıdır. ICP cihazının bir diğer üstünlüğü, aynı anada birden çok elementin analizinin yapılabilmesidir. ICP cihazı, örnek giriş sistemi (buharlaştırıcı), ICP torcu, yüksek frekans jeneratörü, transfer optikleri ve spektrometre ve bilgisayar ara birimi olmak üzere 6 temel kısımdan oluşur.



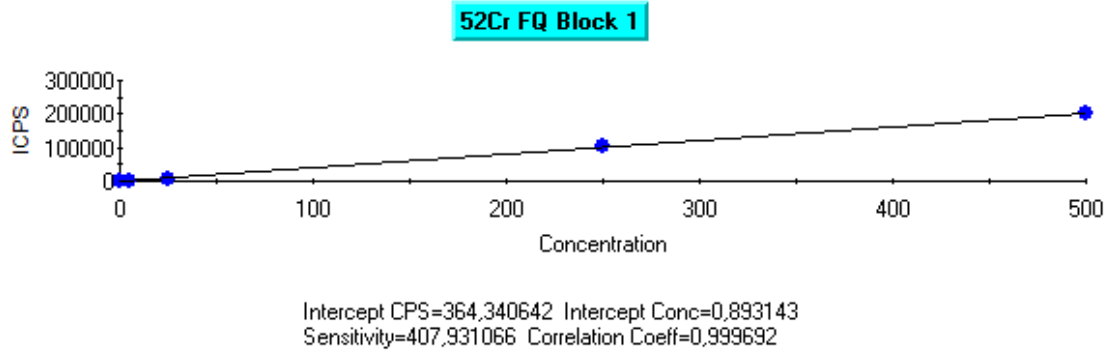
**Şekil 5.11.** Çevre Mühendisliği Laboratuvarında Örneklerin Suyla Yıkanması



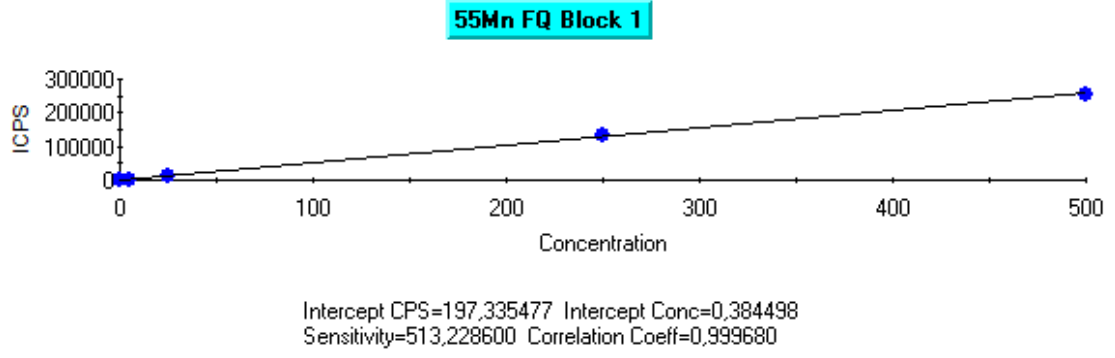
Şekil 5.12. Saf Sudan Geçirilen Örneklerin Etüvde Kurutulması



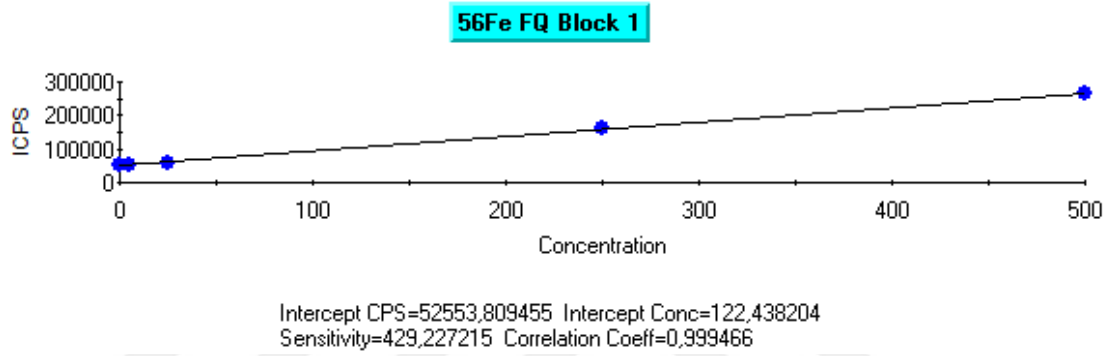
Şekil 5.13. 24 Mg' un Standartları Kullanılarak Çizilen Kalibrasyon Eğrisi



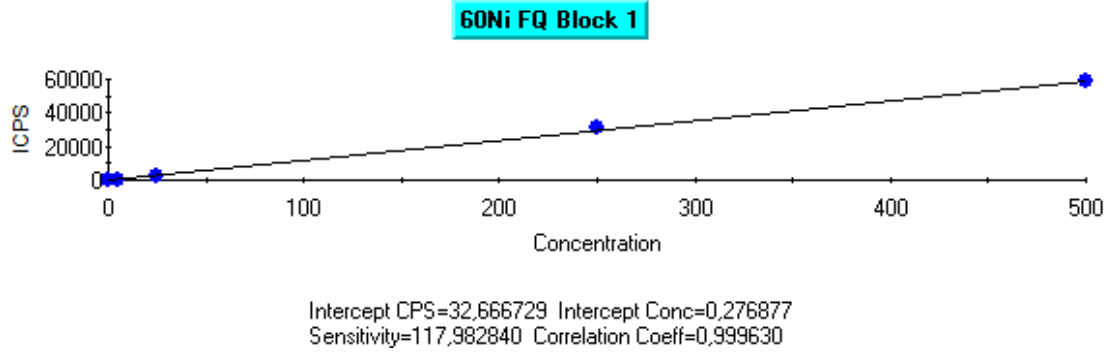
Şekil 5.14. 52 Cr' un Standartları Kullanılarak Çizilen Kalibrasyon Eğrisi



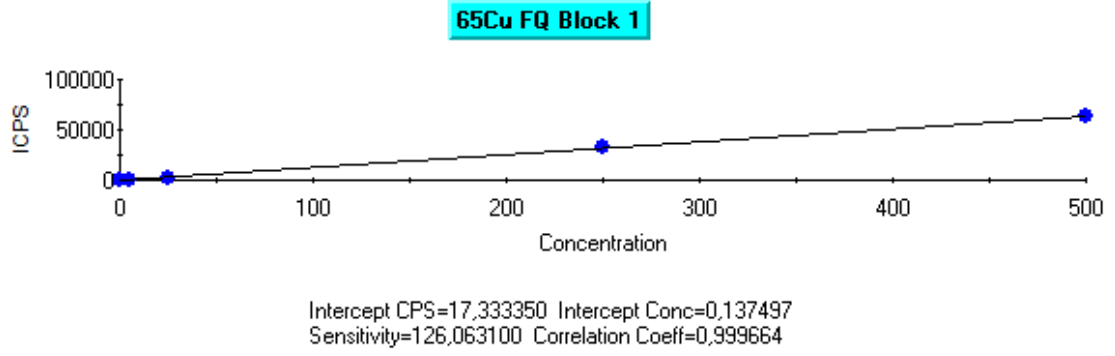
**Şekil 5.15.** 55 Mn' nın Standartları Kullanılarak Çizilen Kalibrasyon Eğrisi



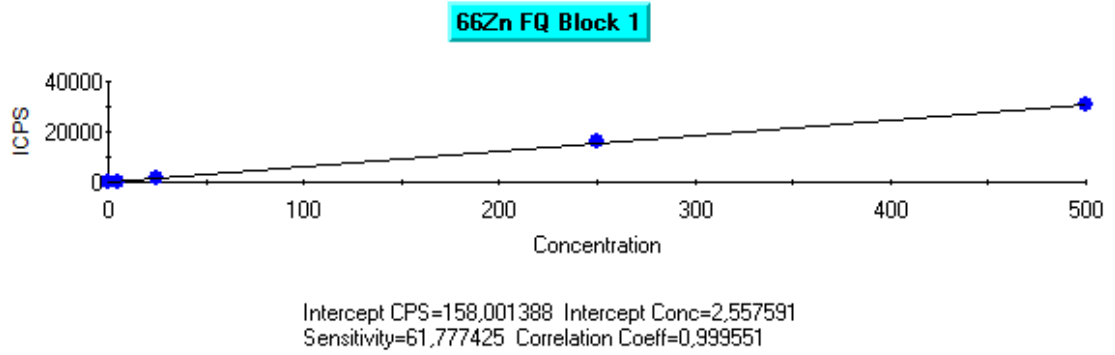
**Şekil 5.16.** 56 Fe' in Standartları Kullanılarak Çizilen Kalibrasyon Eğrisi



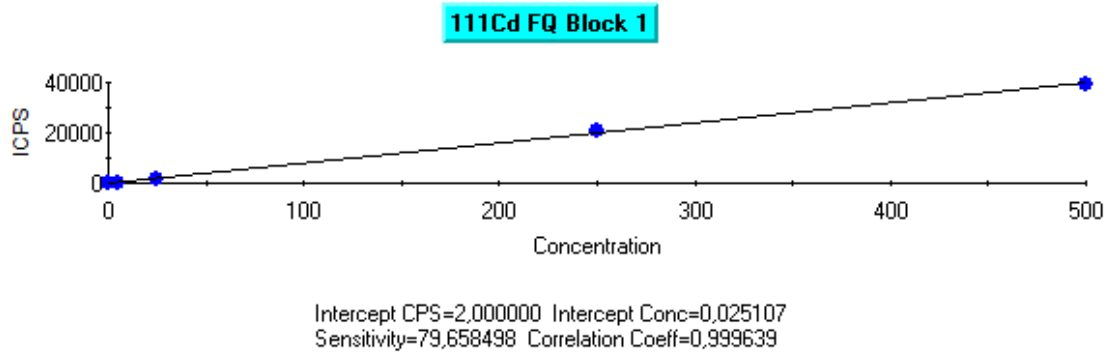
**Şekil 5.17.** 60 Ni' in Standartları Kullanılarak Çizilen Kalibrasyon Eğrisi



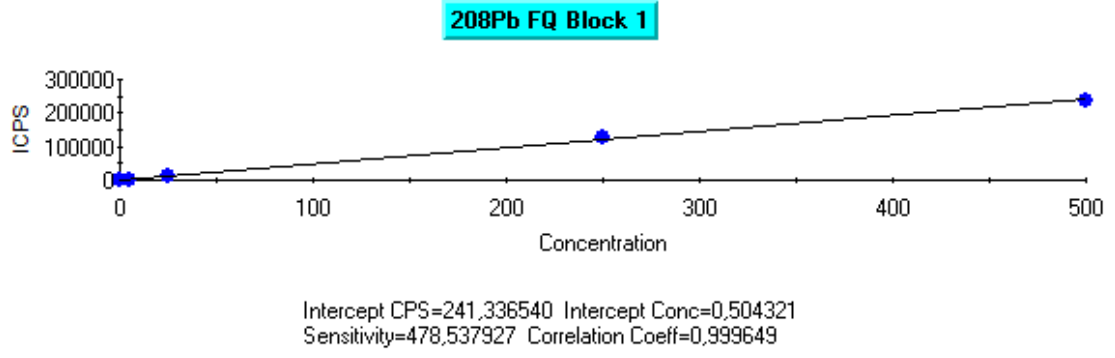
**Şekil 5.18.** 65 Cu' in Standartları Kullanılarak Çizilen Kalibrasyon Eğrisi



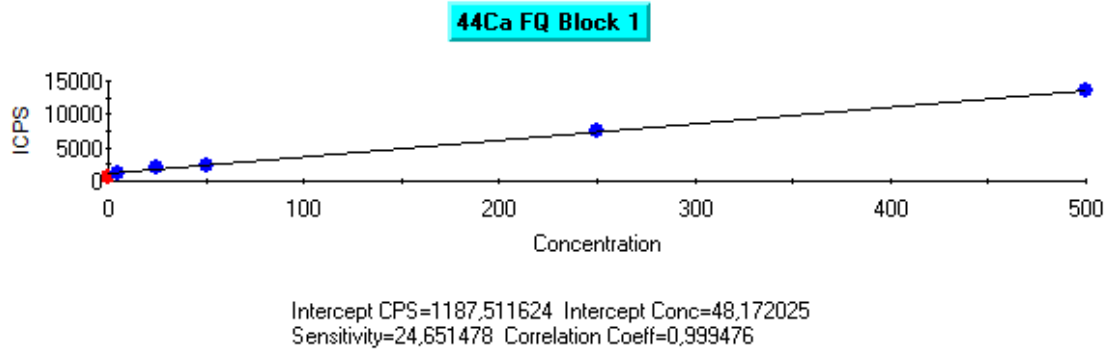
**Şekil 5.19.** 66 Zn' un Standartları Kullanılarak Çizilen Kalibrasyon Eğrisi



**Şekil 5.20.** 111 Cd' un Standartları Kullanılarak Çizilen Kalibrasyon Eğrisi



Şekil 5.21. 208 Pb' un Standartları Kullanılarak Çizilen Kalibrasyon Eğrisi



Şekil 5.22. 44 Ca' un Standartları Kullanılarak Çizilen Kalibrasyon Eğrisi

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmamızda Bitlis İli Katı Atık Tesisi çevresinde en fazla yayılış gösteren 6 tür (*Anchusa azurea* Miller var. *azurea* Gard. Dict., *Alkanna orientalis* (L.) Boiss. var. *orientalis*, *Achillea vermicularis* Trin., *Hypericum scabrum* L., *Malva sylvestris* L., ve *Medicago sativa* L. subsp. *sativa*) ile bunları çevreleyen toprak örnekleri ICP\*MS cihazı kullanılarak Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb ve Zn ağır metal konsantrasyonları belirlenmiştir. Ayrıca bu bitkilerin hangi ağır metalleri biriktirebilme yetenekleri olduğu tespit edilmeye çalışılmıştır.

**Kadmiyum (Cd)**, bitkilerin büyüme, metabolizma ve su durumunu etkileyen, oldukça toksik, esansiyel olmayan bir elementtir (Divan vd. 2009). Cd toksisitesinin nedenlerinden biri, diğer elementlerle olan etkileşimidir. Örneğin, Hernândeş vd. (1998) Mn alımındaki azalma ile Cd'nin varlığı arasında bir korelasyon bulmuştur. Kadmiyum ayrıca zarların lipidlerine, proteinlerine, pigmentlerine ve nükleik asitlerine zarar vererek bitkilerin ölümüne neden olan reaktif oksijen türlerini ve serbest radikalleri serbest bırakarak oksidatif stres üretir (Foyer vd. 1994). Daha önceki çalışmalar, kadmiyumla uyarılan morfo-fizyolojik değişiklikler keşfetmekte başarısız olmuştur (Ye vd. 1997, Ederli vd. 2004). Ancak bazı çalışmalar, yüksek Cd konsantrasyonlarında sürgünlerde ultrastrüktürel değişiklikler yapma olasılığını göstermiştir (Pietrini vd. 2003).

Cd, topraklarda oldukça hareketlidir ve alım mekanizmaları iyi bilinmemekle birlikte bitkiler için kolaylıkla kullanılabilir (Madejôn vd. 2004). Chaney (1989) tarafından bildirilen Cd nin fitotoksik aralığı (5-700 mg kg<sup>-1</sup>) değerleri arasında değişkenlik gösterir. Buna karşılık Allen (1989) kirletilmemiş ortamlarda bitkilerdeki Cd içeriğinin 0,01-0,3 mg kg<sup>-1</sup> olduğunu savunmaktadır. FAO/WHO'nun bitkilerde kabul ettiği Cd sınır değeri 0,5 mg kg<sup>-1</sup>'dir. Bitki dokularındaki Cd konsantrasyonundaki farklılık esas olarak kentsel atık su, gübreler ve yol trafiğinden kaynaklandığı düşünülebilir. Araştırma sonuçlarına göre Cd birikim oranı en yüksek seviyede *Hypericum scabrum* L. bitkisinin gövde kısmında (0,093 mg kg<sup>-1</sup>) tespit edilmiştir. Ölçülebilen en düşük Cd konsantrasyonu *Anchusa azurea* var. *azurea* bitkisinin gövde örneklerinde 0,001883 mg kg<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir. Bu verilere göre yaptığımız analizler sonucunda Cd herhangi bir bitkide fitotoksik özellik gösterebilecek bir konsantrasyonda görülmemiştir.

**Krom (Cr)**, bitkiler için toksik olarak kabul edilen bir elementtir. Allen (1989)'e göre, 0,5 mg kg<sup>-1</sup>'den daha yüksek Cr konsantrasyonları bitkiler için toksik etki gösterir. Havadaki ağır metal konsantrasyonları büyük oranda vejetatif mevsime bağlıdır. Özellikle büyüme mevsimi sonunda birikim keskin bir şekilde artabilir (Bragato vd. 2006). Yapı malzemelerinin ve tarımsal kimyasalların çöp dökümleri, Cr biyoakümülyasyonunun ana kaynağı olarak düşünülebilir. Allen (1989)'e göre, bitkilerde bulunmasına izin verilebilen Cr konsantrasyonu 0,05 – 0,5 mg kg<sup>-1</sup>, sedimentlerde ise sınır değerler 10 – 200 mg kg<sup>-1</sup>'dir. FAO/WHO'nun bitkilerde kabul ettiği Cr sınır değeri 0,5 mg kg<sup>-1</sup>'dir. Yaptığımız analizler sonucunda Cr konsantrasyonu en fazla *Alkanna orientalis* var. *orientalis* bitkisinin kökünde 0,17 mg kg<sup>-1</sup> olarak tespit edilmiştir. Diğer bitki türlerine ait çalışılan herhangi bir yapıda Cr tespit edilmemiştir. Bu sonuçlara bakıldığında Cr çalıştığımız bitkiler içerisinde fitotoksik sınırlar içerisinde kalmıştır.

**Bakır (Cu)**, bitki besleme için hayati önem taşımaktadır ve oksidasyon-indirgemenin çeşitli enzimatik faaliyetleri için gereklidir. Cu, köklerde birikme eğilimi gösterir ve neredeyse yerüstü organlara translokasyona girer (Siedlecka vd. 2001). Bu çalışmada, kökler rizomlarda Cu miktarı %70 azaldığından bir tür filtre gibi davranıyordu. Bu filtre etkisi, rizomları ve sürgünleri bakır kaynaklı yaralanmalardan korumada en etkili strateji- dir (Fuét vd. 1999). Bununla birlikte, uzun süreli maruz kalınması durumunda, yüksek Cu konsantrasyonları kök enerji metabolizmasını etkileyebilir (Fürtig vd. 1999). Cu konsantrasyonunun bitkilerdeki fitotoksik aralığı (25 - 40 mg kg<sup>-1</sup>)'dir (Chaney 1989). Alanın ve tarımın ana iş olarak yüksek kentleşmesi nedeniyle, Bitki dokularındaki Cu konsantrasyonlarının pestisit ve kanalizasyon çamurundan kaynaklanması muhtemeldir (Bonanno ve Giudice 2010).

Allen (1989)'e göre, sediment ve bitki örneklerinde bulunması gereken Cu konsantrasyonu 2,5 – 25 mg kg<sup>-1</sup>'dir. FAO/WHO'nun bitkilerde kabul ettiği Cu sınır değeri 5 mg kg<sup>-1</sup>'dir. En yüksek Cu konsantrasyonu *Alkanna orientalis* var. *orientalis* bitkisinin kök kısmında 1,917 mg kg<sup>-1</sup> değerinde iken, en düşük konsantrasyon *Anchuza azurea* var. *azurea* bitkisinin 0,3234 mg kg<sup>-1</sup> gövde örneklerinde belirlenmiştir. Araştırma alanından topladığımız bu bitki örnekleri yaptığımız analiz verilerine göre Cu bakımından biyoakümülyatör özellik gösteriyor diyemeyiz.

**Mangan (Mn)**, bitkiler için önemli bir mikro besleyicidir ve çeşitli enzimlerin aktivitesinde önemli bir rol oynamaktadır. Köklerde Mn'nin yüksek birikimi, sedimentlerde dikkate değer bir kullanılabilirlik anlamına gelmektedir (Baldantoni vd. 2004). Allen (1989)'e göre Mn aralığı 50-500 mg kg<sup>-1</sup> bitkiler için toksik olarak kabul edilir, sedimentlerde ise 5 – 500 mg kg<sup>-1</sup>'dir (Demirezen 2002) bu nedenle köklerde ve yapraklarda bulunan konsantrasyonlar bitki yaşamı için tehlikelidir. Mn varlığı, çelik malzemelerin imalatıyla ve gübrelerin kullanımı ile

bağlantılı olmalıdır (Bonanno ve Giudice 2010). Mn miktarının ölçülebilen en yüksek konsantrasyonu 9,789 mg kg<sup>-1</sup> değeri ile *Alkanna orientalis* var. *orientalis* bitkisinin kök kısmına aittir. Ölçülebilen en düşük Mn konsantrasyonu *Malva sylvestris* bitkisinin gövde örneklerinde 0,533 mg kg<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir.

**Nikel (Ni)**, Bazı çalışmalar sonucunda (Samecka-Cymerman ve Kempers 2001; Lesage vd. 2007) çeşitli bitki organlarındaki biyoakümülyasyon değerleri göz önüne alındığında Ni'nin bitkiler üzerinde toksik etkileri olduğu düşünülmektedir. Bragato vd. (2006) yaptığı çalışmada büyüme döneminin sonunda yaprakların 60 mg kg<sup>-1</sup>'e kadar birikebileceğini gösterdi. Allen'e (1989) göre, bitkilerdeki Ni konsantrasyonları 5 mg kg<sup>-1</sup>'in üzerinde zehirlidir. Sonuç olarak, yalnızca köklerde konsantrasyon tehlikeli olarak düşünülebilir.

Allen'e (1989) göre, bitkilerde bulunması gereken Ni konsantrasyonu 0,5 – 5 mg kg<sup>-1</sup>, sediment örneklerinde ise 5 – 500 mg kg<sup>-1</sup> 'dır (Demirezen 2002). FAO/WHO'nun bitkilerde kabul ettiği Ni sınır değeri 5 mg kg<sup>-1</sup>'dir. Analizi yapılan bitkiler arasında *Alkanna orientalis* var. *orientalis* bitkisinin kökündeki Ni konsantrasyonu en yüksek seviyede (1,083 mg kg<sup>-1</sup>) bulunmuştur. Buna karşılık bu bitkiler arasında *Medicago* bitkisinin çiçek kısmındaki Ni konsantrasyonu ise en düşük konsantrasyonda (0,2077 mg kg<sup>-1</sup>) tespit edilmiştir. Analiz sonucu bu bitkilerdeki Ni konsantrasyonları göz önüne alındığında bitkiler için kabul edilen sınır değerleri içerisinde olduğu tespit edilmiştir.

**Kurşun (Pb)**, bitki organizmaları için esansiyel değildir ve toksik olabilir. Pb, toprakta oldukça hareketsizdir ve köklerde birikme eğilimi gösterir ve toprak üstü organlara doğru seyrek translokasyona neden olur (Siedlecka vd. 2001). Bu çalışmada bulunan Pb konsantrasyonları, çeşitli yazarlar tarafından, özellikle yaprak ve sapslar açısından bildirilen değerlerden daha yüksekti (Lesage vd. 2007, Vymazal vd. 2007). Bunun nedeni, Pb kirliliğinin birincil kaynağı olan araçların egzoz dumanı ve bunun sonucu olarak, yer üstü organların doğrudan etkilenmesinden kaynaklanıyor olabilir. Ayrıca bitki kök örneklerinin diğer bitki kısımlarına göre, daha fazla kurşun içermesi kurşunun bitkide hareketinin yavaş olduğunu ve kökler tarafından daha fazla tutulduğunu göstermektedir. Kurşun konsantrasyonunun sediment>kök>gövde>yaprak şeklinde sıralanması ve her iki bitkinin de kurşun kirliliğinin biyomonitörü olarak kullanılabilmesi ile ilgili bulgularımız, benzer çalışmalarda da ortaya konmuştur (Duman 2001, Demirezen 2002, Windham vd. 2003, Demirezen ve Aksoy 2004). Allen (1989)'e göre, sucul ortam sedimentlerinde kurşun konsantrasyonunun normal değerleri 2 – 20 mg kg<sup>-1</sup>, bitkilerde ise 0,05-3 mg kg<sup>-1</sup> dir (Demirezen 2002).

FAO/WHO'nun bitkilerde kabul ettiği Pb sınır değeri 2 mg kg<sup>-1</sup>'dir. Yaptığımız analizler sonucunda Pb konsantrasyonu en yüksek seviyede 0,09742 mg kg<sup>-1</sup> değeri ile *Alkanna orientalis* var. *orientalis* bitkisinin kök kısmında, en düşük konsantrasyon ise *Anchuza azurea* var. *azurea* bitkisinin 0,002368 mg kg<sup>-1</sup> olarak gövde kısmında tespit edilmiştir. Bununla birlikte, tüm bitki organlarında saptanan Pb konsantrasyonları Roos'a (1994) göre belirtilen fitotoksik aralığın (30-300 mg kg<sup>-1</sup>) altındadır. Ayrıca yukarıdaki verilerle analiz sonuçlarımız karşılaştırıldığında tüm bitki örneklerindeki Pb değeri bitkiler için kabul edilen kurşun sınır değerleri içerisinde olduğu görülmektedir.

**Çinko (Zn)**, bitki besleme ve enzimatik faaliyetlerde önemli rol oynamaktadır. Rizomlar, gövde ve yapraklarda tespit edilen konsantrasyon değerleri çeşitli yazarlar ile uyumluydu (Samecka-Cymerman ve Kempers 2001, Lesage vd. 2007, Vymazal vd. 2007). Köklerdeki değerler, Quan vd. (2007) tarafından bulunan Zn değerlerine benzerdir. Dahası, kökler Zn akümülatörleri olma eğilimindedir (Weis vd. 2004). Çeşitli çalışmalar, Zn'nin büyüme mevsimi boyunca değişken olduğunu göstermektedir. Gerçekten de vejetatif dönemde Zn konsantrasyonu düşer (Quan vd. 2007). Ancak, bazı bilim adamları ise böyle bir düşüşün anlamlı olmadığını belirtmektedir (Bragato vd. 2006). Zn konsantrasyonları, Chaney (1989) tarafından önerilen fitotoksik aralıkta (500-1.500 mg kg<sup>-1</sup>) bulunmamaktadır. Bu alandaki ana kaynak Zn arıtma çamuru ve gübrelerdir. *P. australis* ayrıca Cd, Pb ve Zn'ye karşı doğuştan gelen bir hoşgörüyeye sahip olabilir, çünkü yetersiz deliller, metal kontamine alanlarda yaşayan yaygın kamış popülasyonlarının bir Cd, Pb veya Zn tolerant eko-tipe dönüştüğü fikrini desteklemektedir (Ye vd. 1997).

Allen (1989)'e göre, bitkilerde Zn için normal konsantrasyon 10-100 mg kg<sup>-1</sup>, sedimentte ise 1-40 mg kg<sup>-1</sup> aralığındadır (Duman 2001, Demirezen 2002). FAO/WHO'nun bitkilerde kabul ettiği Zn sınır değeri 50 mg kg<sup>-1</sup>'dir. Çalıştığımız bitki örnekleri arasında Zn konsantrasyonu bakımından en yüksek değere sahip bitki 7,307 mg kg<sup>-1</sup> konsantrasyon değeriyle *Alkanna orientalis* var. *orientalis* bitkisinin yaprak kısmıdır. En düşük Zn konsantrasyonu ise 0,6165 mg kg<sup>-1</sup> değeri ile *Anchuza azurea* var. *azurea*'nın gövde kısmına aittir. Çalışmamızda kullanılan bitkilerin analizleri sonucunda elde ettiğimiz veriler, Zn için literatürlerde belirtilen normal konsantrasyon olarak kabul edilen değerlerin altında tespit edilmiştir.

**Demir (Fe)**, Allen (1989)'e göre, sedimentlerde bulunması gereken Fe konsantrasyonu 50-1.000 mg kg<sup>-1</sup>, kirlenmemiş ortamlardaki bitkiler için ise 40-500 mg kg<sup>-1</sup>'dir (Demirezen 2002). FAO/WHO'nun bitkilerde kabul ettiği Fe sınır değeri 30 mg kg<sup>-1</sup>'dir. Bitkiler demiri topraktan Fe<sup>+3</sup>, Fe<sup>+2</sup> iyonları ve Fe halinde almaktadırlar. Bitkilerin demir kapsamları türlerine, yaşlarına,

organlarına, yetiştikleri toprakların yarayışlı demir miktarına göre, kuru ağırlıklarının birkaç ppm ile 500-600 ppm arasında değişmektedir (Güven 2002). Fe miktarının ölçülebilen en yüksek konsantrasyonu 142,6 mg kg<sup>-1</sup> değeri ile *Alkanna orientalis* var. *orientalis* bitkisinin kök kısmına aittir. Ölçülebilen en düşük Fe konsantrasyonu *Malva sylvestris* bitkisinin gövde örneklerinde 4,545 mg kg<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alındığı zaman *Alkanna orientalis* var. *orientalis* bitkisinin, FAO/WHO'nun bitkilerde kabul ettiği Fe sınır değerinin oldukça üzerinde olduğu görülmüştür.

**Kalsiyum (Ca)**, diğer bitki besin elementlerine göre yer kabuğunda daha yaygın ve daha fazla bulunmaktadır. Yer kabuğunun kalsiyum kapsamı % 3,64'tür. Bitkilerde kalsiyum eksikliği verimi azalttığı gibi kalitesinde de düşüşe sebep olmaktadır. Toprakta kalsiyum miktarında azalma olması bitkinin gelişimini olumsuz etkilemektedir. Topraktaki kalsiyum eksikliğinde toprağa yan ürün olarak kalsiyum gübrelere kullanılmakta ve bitkinin temel besin maddesinden biri olan kalsiyumu bünyesine alması sağlanmaktadır. Kalsiyumlu gübreleme toprak şartları ve bitki çeşidine bağlı olarak toprak ve yaprak yoluyla yapılabilmektedir. Kalsiyum bitki bünyesinde hareketsiz bir elementtir ve yaprak yoluyla verilen kalsiyumdan genellikle daha çabuk cevap alınabilmektedir (Locascio vd. 1992). İncelenen alandaki bitki türleri arasında Ca konsantrasyonunun en yüksek olduğu bitki türü *Anchuza azurea* var. *azurea*'dır. Bu bitkinin yaprak kısmındaki Ca miktarı 594,1 mg kg<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir. En düşük Ca konsantrasyonuna sahip bitki ise *Hypericum scabrum*'dur. Bu bitkinin organları arasında en düşük Ca konsantrasyonu 0,642 mg kg<sup>-1</sup> ile gövdeye aittir.

**Magnezyum (Mg)**, kök ve gövdenin büyüme uçlarında birikir. Gelişme döneminin sonuna doğru magnezyum genç vejetatif organlardan tohuma taşınır ve tohumda birikir. Eğer tohumun oluşumu herhangi bir nedenle gerilirse bitkinin daha uzun süre yeşil kaldığı görülür. Magnezyum bitki bünyesinde mobil halde olup yaşlı organlardan genç organlara kolaylıkla taşınır. O nedenle noksanlık belirtileri önce bitkinin alt yaşlı yapraklarında görülür. Mg noksanlığında klorofil oluşumunun azalması nedeniyle yapraklarda sarılık kloroz belirtisi ortaya çıkar. Mg noksanlığında yaprağın her tarafının sarı renk almasına karşın yaprak damarları yeşil kalır. Noksanlığın sürmesi halinde yaprağın her yanı sararır ve sonunda yaprak yaşamını yitirir. Bitkilerde magnezyumun çoğunlukla hücre öz suyunda inorganik tuzlar halinde, klorofil molekülünün yapı maddesi olarak ve protoplazmada bileşikler halinde bulunduğuna inanılmıştır. Mg bitkilerde kalsiyuma oranla çoğunlukla daha az bulunur. Bitkilerde ortalama % 0,30 magnezyum bulunmasına karşın % 0,77 kalsiyumun bulunduğu saptanmıştır. Mg bitkilerin yaprak ve tohumlarında öteki organlarına oranla daha fazla bulunur (Güven 2002). Nitekim bizim çalışmamızda da Mg konsantrasyonu

*Medicago sativa* subsp. *sativa* bitkisinin yaprağında (376,4 mg kg<sup>-1</sup>) diğer organlara oranla daha fazla olduğu belirlenmiştir. En düşük Mg konsantrasyonu ise 54,86 mg kg<sup>-1</sup> değeri ile *Anchuza azurea* var. *azurea*'nın gövdesinde tespit edilmiştir.

Yaptığımız analizler sonucunda çalıştığımız bitkilerin dokularında biriktirdiği Mg, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, Ca ağır metal yoğunluklarının toksiteye neden olacak seviyelere ulaşmadığı görülmüştür. Sadece Fe bakımından *Alkanna orientalis* var. *orientalis* bitkisinin, FAO/WHO'nun bitkilerde kabul ettiği Fe sınır değerinin oldukça üzerinde olduğu görülmüştür. Bununla beraber incelediğimiz bitki türleri arasında Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn, Fe ağır metalleri en yüksek konsantrasyonda *Alkanna orientalis* var. *orientalis*, Kalsiyum (Ca) *Anchuza azurea* Miller var. *azurea*'da, Magnezyum (Mg), *Medicago sativa* L. subsp. *sativa*'da, Kadmiyum (Cd) ise *Hypericum scabrum* L. bitkisinde tespit edilmiştir.

**Çizelge 6.1.** Çalışma Alanından Alınan Toprak Numune Değerleri

TÜRLER	Mg	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Ca
<b>Toprak 1</b>	72,15	0,3998	39,83	779,9	0,4041	0,4117	6,857	0,0608	2,022	5,532
<b>Toprak 2</b>	408,2	3,237	83,59	1683	3,307	1,23	9,523	0,0870	2,161	23,49
<b>Toprak 3</b>	412,4	5,874	168,3	3132	7,697	2,34	13,15	0,1167	3,113	67,10

Toprak örneklerinde Mg, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb ve Ca elementlerinin ortalama konsantrasyonları sırasıyla 297,58; 3,17; 97,24; 1864,96; 3,80; 1,32; 9,84; 0,08; 2,46; 32,04 mg kg<sup>-1</sup> olarak tayin edilmiştir (Çizelge 6.1.). Bitki türlerinin yayılış gösterdiği 3 farklı istasyondan alınan toprak örneklerindeki ağır metal konsantrasyonları mangan (Mn) ve demir (Fe) hariç, Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğinde verilen topraktaki ağır metal sınır değerlerinin (Anonim 2005) altında tespit edildi. Toprakta ekstrakte edilebilir Fe miktarı 0,2 mg/kg'ın altında ise az, 0,2- 4,5 mg/kg arasında orta ve 4,5 mg/kg'dan fazla ise genellikle yüksek ve toksik olarak değerlendirilmektedir (Lindsay ve Norwell 1978). Elde ettiğimiz analiz sonuçlarına bakıldığında toprakta tespit edilen Fe miktarı oldukça yüksek olduğundan toksik etki gösterebilir.

**Çizelge 6.2.** Topraktaki ağır metal sınır değerleri (mg/kg) (Anonim, 2005)

Ağır Metal	pH 5-6 (mg/kg kuru toprak)	pH>6 (mg/kg kuru toprak)
Pb	50	300
Cd	1	3
Ni	30	75
Cr	100	100
Co	80	80

**Çizelge 6.2. (devam)**

<b>Ağır Metal</b>	<b>pH 5-6 (mg/kg kuru toprak)</b>	<b>pH&gt;6 (mg/kg kuru toprak)</b>
Cu	50	140
Fe	4,5	4,5
Zn	150	300
Mn	70	70



**Çizelge 6.3.** Çalışma alanındaki *Anchusa azurea* Miller var. *azurea* Gard. Dict. bitkisinin organlarındaki ağır metal değerleri

TÜR	ORGANLAR	Mg	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Ca
	Kök	63,6	Tespit edilemedi	1,372	50,29	0,2166	0,5611	2,286	0,00544	0,02969	434,400
<i>Anchusa azurea</i> var.	Gövde	54,86	Tespit edilemedi	1,096	6,059	0,0914	0,3234	0,6165	0,001883	0,002368	215,700
<i>azurea</i>	Çiçek	158,7	Tespit edilemedi	1,246	14,79	0,0996	0,7887	1,882	0,003138	0,02227	372,000
	Yaprak	137,4	Tespit edilemedi	2,468	35,73	0,3077	0,7369	5,461	0,001884	0,023	594,100

*Anchusa azurea* Miller var. *azurea* Gard. Dict. bitkisinin kökünde ağır metal konsantrasyonundaki azalma eğilimi Ca>Mg>Fe>Zn>Mn>Cu>Ni>Pb>Cd, gövdede Ca>Mg>Fe>Mn>Zn>Cu>Ni>Pb>Cd, çiçekte Ca>Mg>Fe>Zn>Mn>Cu>Ni>Pb>Cd ve yaprakta Ca>Mg>Fe>Zn>Mn>Cu>Ni>Pb>Cd tespit edildi. Cr ise bu bitkinin dört farklı organında yaptığımız analizlerde tespit edilemedi (Çizelge 6.3.).

**Çizelge 6.4.** Çalışma Alanındaki *Alkanna orientalis* (L.) Boiss. var. *orientalis* Bitkisinin Organlarındaki Ağır Metal Değerleri

TÜR	ORGANLAR	Mg	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Ca
<i>Alkanna orientalis</i> var.	Gövde	66,05	Tespit edilemedi	1,246	9,615	0,1064	1,426	3,984	0,007846	0,01198	49,740
<i>orientalis</i>	Yaprak	186,4	0,09303	4,552	78,56	0,7627	1,334	7,307	0,0113	0,07933	163,600
	Kök	228,8	0,1738	9,789	142,6	1,083	1,917	6,305	0,01726	0,09742	47,450

*Alkanna orientalis* (L.) Boiss. var. *orientalis* bitkisinin gövdesinde ağır metal konsantrasyon miktarı Mg>Ca>Fe>Zn>Cu>Mn>Ni>Pb>Cd, yaprakta Mg>Ca>Fe>Zn>Mn>Cu>Ni>Cr>Pb>Cd ve kökte Mg>Fe>Ca>Mn>Zn>Cu>Ni>Cr>Pb>Cd tespit edildi (Çizelge 6.4.).

**Çizelge 6.5.** Çalışma Alanındaki *Achillea vermicularis* Trin. Bitkisinin Organlarındaki Ağır Metal Değerleri

TÜRLER	ORGANLAR	Mg	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Ca
<i>Achillea vermicularis</i>	Gövde	71,78	Tespit edilemedi	1,067	4,896	0,0317	0,3717	1,151	0,02511	Tespit edilemedi	24,800
	Kök	113,5	Tespit edilemedi	2,893	27,96	0,2293	0,7311	4,584	0,04666	0,02421	13,24
	Çiçek	215	Tespit edilemedi	2,744	8,842	0,1801	1,197	5,205	0,01524	0,01689	225,300
	Yaprak	145,1	Tespit edilemedi	4,465	35,27	0,2826	0,9998	4,565	0,0317	0,031	372,000

*Achillea vermicularis* Trin. bitkisinin gövdesinde ağır metal konsantrasyon miktarındaki değişim Mg>Ca> Fe>Zn> Mn>Cu> Ni>Cd, kökte Mg> Fe>Ca>Zn>Mn>Cu>Ni>Cd>Pb, çiçekte Ca>Mg> Fe> Zn>Mn>Cu>Ni>Pb>Cd ve yaprakta Ca>Mg> Fe> Zn>Mn>Cu>Ni>Cd>Pb tespit edildi. Cr ise bu bitkinin dört farklı organında yaptığımız analizlerde tespit edilemedi (Çizelge 6.5.).

**Çizelge 6.6.** Çalışma Alanındaki *Hypericum scabrum* L. Bitkisinin Organlarındaki Ağır Metal Değerleri

TÜRLER	ORGANLAR	Mg	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Ca
<i>Hypericum scabrum</i>	Çiçek	181,5	Tespit edilemedi	1,867	23,03	0,06166	1,725	4,624	0,01465	0,005137	127,700
	Yaprak	287,3	Tespit edilemedi	3,043	19,96	0,2314	0,6747	4,653	0,07846	0,005642	230,700
	Kök	82,19	Tespit edilemedi	2,139	37,38	0,1287	1,052	1,732	0,07721	0,02285	38,550
	Gövde	95,57	Tespit edilemedi	1,242	5,063	0,06753	0,5984	1,126	0,09384	Tespit edilemedi	0,642

*Hypericum scabrum* L. bitkisinin çiçeğinde ağır metal konsantrasyonundaki azalma eğilimi Mg>Ca>Fe>Zn>Mn>Cu>Ni>Cd>Pb, yaprağında Mg>Ca>Fe>Zn>Mn>Cu>Ni>Cd>Pb, kökünde Mg>Ca>Fe>Mn>Zn>Cu>Ni>Cd>Pb ve gövdede Mg>Fe>Mn>Zn>Ca>Cu>Cd>Ni tespit edildi. Cr ise bu bitkinin dört farklı organında yaptığımız analizlerde tespit edilemedi (Çizelge 6.6.).

**Çizelge 6.7.** Çalışma Alanındaki *Malva sylvestris* L. Bitkisinin Organlarındaki Ağır Metal Değerleri

TÜRLER	ORGANLAR	Mg	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Ca
<i>Malva sylvestris</i>	Yaprak	266,2	Tespit edilemedi	2,181	23,83	0,2221	1,183	4,688	0,02699	0,009369	96,790
	Kök	283,2	Tespit edilemedi	2,249	59,34	0,6539	1,061	1,749	0,02845	0,02368	108,700
	Gövde	230,1	Tespit edilemedi	0,533	4,545	0,2157	0,5192	0,8246	0,01632	Tespit edilemedi	504,900

*Malva sylvestris* L. bitkisinin yağrağında ağır metal konsantrasyonundaki azalma eğilimi Mg>Ca>Fe>Zn>Mn>Cu>Ni>Cd>Pb, kökünde Mg>Ca>Fe> Mn > Zn >Cu>Ni>Cd>Pb ve gövdesinde Ca>Mg> Fe> Zn>Mn> Cu>Ni>Cd tespit edildi. Cr ise bu bitkinin dört farklı organında yaptığımız analizlerde tespit edilemedi (Çizelge 6.7.).

**Çizelge 6.8.** Çalışma Alanındaki *Medicago sativa* L. subsp. *sativa* Bitkisinin Organlarındaki Ağır Metal Değerleri

TÜRLER	ORGANLAR	Mg	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Ca
	Çiçek	253,3	Tespit edilemedi	2,622	25,16	0,2077	0,8079	6,159	0,005649	0,0155	209,400
<i>Medicago sativa</i> subsp. <i>sativa</i>	Kök	156,7	0,005231	2,6	94,25	0,1206	1,213	4,092	0,007846	0,0621	212,400
	Gövde	207	Tespit edilemedi	1,116	15,36	Tespit edilemedi	1,123	4,484	0,006904	0,01104	177,600
	Yaprak	376,4	Tespit edilemedi	3,261	31,91	0,1435	0,9833	6,929	0,008474	0,02374	369,000

*Medicago sativa* L. subsp. *sativa* bitkisinin çiçeğinde ağır metal miktarlarında azalma eğilimi Mg>Ca> Fe>Zn>Mn>Cu>Ni> Pb>Cd, kökünde Ca>Mg>Fe>Zn>Mn >Cu>Ni>Pb>Cd>Cr, gövdesinde Mg>Ca>Fe> Zn>Cu>Mn>Pb>Cd ve yaprağında Mg>Ca>Fe>Zn>Mn > Cu>Ni>Pb>Cd tespit edildi (Çizelge 6.8.).

## ÖNERİLER:

1. Bünyesinde yüksek konsantrasyonlarda ağır metal içeren topraklarda yetişen tıbbi ve aromatik özelliği olan bitkilerden birçoğu aynı zamanda yöre insanları tarafından toplanarak tedavi amaçlı kullanılmaktadır. Özellikle kirlenmiş topraklarda yetişen bu bitki türleri şifa amaçlı insanlar tarafından özellikle yoğun ve bilinçsiz bir şekilde kullanıldığında, insan sağlığı üzerinde olumsuz etki yapmakta ve kalıcı çeşitli hastalıkların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Dolayısıyla hiperakümülatör bitkiler sadece doğayı temizleme veya madencilik özellikleri bakımından incelenmemeli, aynı zamanda özellikle gıda veya tıbbi amaçlı olarak tüketilen bitkiler konusundaki risklerde değerlendirilmelidir.
2. Tür sayısı ve çeşitliliği bakımından oldukça zengin bir flora sahip olan ülkemizde yaptığımız araştırmalara benzer çalışmaların sayısını artırmayı teşvik ettiğimizde, hiperakümülatör özelliğine sahip tür sayısı ve çeşitliliği artmış olacaktır. Böylece kirlenmiş toprakların temizlenmesinde kullanılan birçok pahalı yöntemden kurtularak ülke ekonomimize önemli bir katkı sağlarken, gelecek nesillere ise temiz ve yaşanılabilir bir çevre miras olarak bırakılacaktır.
3. Araştırmamız sonucunda çalışma alanından toplanan bu 6 bitki türünün dokularında biriktirdiği Mg, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb ve Ca elementlerinin yoğunluklarının toksisiteye neden olacak seviyelere ulaşmadığı görülmüştür. Ancak incelediğimiz bitki türleri arasında Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn, Fe ağır metalleri bakımından hiperakümülatör özelliği diğerlerine göre en yüksek olan tür *Alkanna orientalis* var. *orientalis* bitkisidir. Ayrıca bu bitki türü FAO/WHO'nun bitkilerde kabul ettiği Fe sınır değerinin oldukça üzerinde olduğu görülmüştür. Dolayısıyla *Alkanna orientalis* var. *orientalis* bitkisi Fe bakımından kirlenmiş toprakların temizlenmesinde denenebilir.
4. Literatür taramaları sonucunda maden sahalarındaki kirlenmiş toprak ıslahı için farklı bitki türlerinin kullanıldığı tespit edilmiştir. Türkiye' nin pomza perlit rezervinin büyük bir kısmının Bitlis' te olduğunu düşündüğümüzde, bizim katı atık sahası için uyguladığımız bu çalışmanın benzeri bu maden sahalarında da uygulanarak bu alanlarda ki kirlenmiş toprakların temizlenmesinde kullanılabilecek bitki türlerinin tespiti yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- Ahmad MSA, Hussain M, Saddiq R, Alvi AK, 2007. Mung bean: a nickel indicator: accumulator or excluder. Bull Environ Contam Toxicol., 78: 319–324.
- Alford ER, Pilon-Smits E, Paschke MW, 2010. Metallophytes—a View from the Rhizosphere. Plant Soil, 337: 33–50.
- Allen SE, 1989. Chemical Analysis of Ecological Material, 2nd edition. Blackwell Scientific Publications, Oxford University Press New York.
- Aydemir O, İnce F, 1988. Bitki Besleme. Dicle Üniv. Eğitim Fak. Yayınları, Diyarbakır.
- Aydemir O, 2002. Bor Ürünlerinin Teknolojileri ve Türkiye'nin Durumu. 1.Uluslararası Bor Sempozyumu, 3-4 Ekim 2002, Kütahya s: 15-21.
- Azırak S, Erdoğan ÖT, 2003. Antibacterial activities of *Hypericum scabrum*. ISOPS-7: International Symposium on Pharmaceutical Sciences-7, Ankara University, Ankara, s: 17–21.
- Baker AJM, Brooks RR, 1989. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements - a review of their distribution, ecology and phytochemistry. Biorecovery, 1: 81-126.
- Baker AJM, McGrath SP, Reeves RD, Smith JAC, 2000. Metal hyperaccumulator plants: a review of the ecology and physiology of a biological resource for phytoremediation of metal-polluted soils. Phyt Cont Soil Wat., 85-107.
- Baldantoni D, Alfani A, Di Tommasi P, Bartoli G, Virzo De Santo A, 2004. Assessment of macro and microelement accumulation capability of two aquatic plants. Environ Pollut., 130: 149–156.
- Bauman A, 1885. Das Verhalten von Zinksalzen gegen Pflanzen und in Böden. Landwirtsch. Vers.-Stn., 31: 1-53.

- Benavides MP, Gallego SM, Tomaro ML, 2005. Cadmium Toxicity in Plants. *Brazilian J Plant Phys.*, 17: 21-34.
- Bereket G, Yücel E, 1990. Eskişehir'de trafik orijinli ağır metal kirliliği. *D Türk Kim Derg.*, 4: 266-271.
- Blaylock MJ, Huang JW, 2000. Phytoextraction of metals. In: raskin, I. and ensley, B.D. (eds.), *phytoremediation of toxic metals: using plants to clean-up the environment*. Wiley, New York.
- Bragato C, Brix H, Malagoli M, 2006. Accumulation of nutrients and heavy metals in *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel and *Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla in a constructed wetland of the Venice lagoon watershed. *Environ Pollut.*, 144: 967-975.
- Broks RR, Lee J, Reeves RD, Jaffré T, 1977. Detection of nickeliferous rocks by analysis of herbarium specimens of indicator plants. *J of Geoc Exp.*, 7: 49-77.
- Bonanno G, Giudice R. Lo, 2010. Heavy metal bioaccumulation by the organs of *Phragmites australis* (common reed) and their potential use as contamination indicators. Department of Agronomic and Agrochemical Sciences and Animal Productions, University of Catania, via Valdisavoia 5, 95123 Catania, Sicily, Italy *Ecological Indicators*, 10: 639-645.
- Byers HG, 1935. Selenium occurrence in certain soils in The United States, with a Discussion of The Related Topics. *US Dept Agric Technol Bull.*, 482: 1-47.
- Çalışkan S, 2007. Çorlu ve Civarında Yetişen Bitkilerde Ağır Metal Konsantrasyonunun Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Chaney RL, 1983. Plant uptake of inorganic waste constituents. In: Parr .IF, Marsh PI3. Kia JM, eds. *Land Treatment of Hazardous Wastes*. Park Ridge, NJ: Noyes Data Corp., 50-76.

- Chaney RL, 1989. Toxic element accumulation in soils and crops: protecting soil fertility and agricultural food chains. In: Bar-Yosef B, Barrow N.J, Goldshmid J. (Eds.), *Inorganic Contaminants in the Vadose Zone*. Springer-Verlag, Berlin, 140–158.
- Chaney RL, Minnie M, Li YM, Brown SL, Brewer EP, Angle JC, Baker AJM, 1997. Phytoremediation of Soil Metals. *Cur Op in Biotec.*, 8: 279–284.
- Dağhan H, 2016. *Tagetes patula* L. bitkisinin fitoremediasyon amaçlı kullanım potansiyelinin su kültürü koşullarında araştırılması. *Top Su Derg.*, 5 (2): 25-31.
- Davis PH, 1967. *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*, Edinburgh University Press. Edinburgh.
- Davis PH, 1970. *Medicago* (perennials). In: Davis PH (ed.) *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*. Edinburgh University Press. Edinburgh.
- Davis PH, 1975. *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*. Edinburgh University Press. Edinburgh.
- Davis PH, 1978. *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*. Edinburgh University Press. Edinburgh.
- Davis PH, 1988. *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*. Edinburgh University Press. Edinburgh.
- Demirezen D, 2002. Sultan Sazlığı ve Çevresindeki Sucul Ekosistemlerde Ağır Metal Kirliliğinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Demirezen D, Aksoy A, 2004. Accumulation of heavy metals in *Typha angustifolia* (L.) and *Potamogeton pectinatus* (L.) living in Sultan Marsh (Kayseri, Turkey). *Chemosphere*, 56: 685-696.

- Dinh N, Antony van der Ent, Mulligan DR, Nguyen AV, 2018. Zinc and Lead Accumulation Characteristics and in Vivo Distribution of Zn<sup>2+</sup> in the Hyperaccumulator *Noccaea Caerulescens* Elucidated With Fluorescent Probes and Laser Confocal Microscopy. *Env and Exp Bot.*, 147: 1-12.
- Dixon NE, Gazzola C, Brakeley RL, Zerne B, 1975. Jack-bean urease (EC 3.5.1.5.3) metalloenzyme a simple biological role for nickel. *J Am Chem Soc.*, 97 (14): 4131–4133.
- Divan Jr AM, De Oliveira PL, Perry CT, Atz VL, Azzarini-Rostirola LN, Raya-Rodriguez MT, 2009. Using wild plant species as indicators for the accumulation of emissions from a thermal power plant, Candiota, South Brazil. *Ecol. Indic.*, 9: 1156–1162.
- Duman F, 2001. Sarımsaklı - Karasu’da yetişen *Phragmites australis* (Cav.) Trin ex.steud ve *Typha angustifolia* L. Bitkileri ve Bunları Çevreleyen Sedimentlerde Ağır Metal Tayini, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- EPA1987. EPA Indoor Air Quality Implementation Plan. Washington, s:1-32.
- Erdoğan ÖT, Azırcak S, Tosyalı C, 2004. Antimicrobial activities of *Hypericum scabrum* L. extracts. *KSU J Sci Eng.*, 7: 38–42.
- Eren A, Mert M, 2016. Ağır Metal (Ni, Cd ve Cu) Uygulamalarının Andız Otu, Fener Otu ve Sığırkuyruğu Bitkilerinin Büyüme ve Gelişmesi Üzerine Etkisi. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 4 (1): 50-58.
- Foyer CH, Lelandais M, Kunert KJ, 1994. Photooxidative stress in plants. *Phys Plant.*, 92: 696–717.
- Fürtig K, Pavelic D, Brunold C, Brändle R, 1999. Copper-and-iron induced injuries in roots and rhizomes of reed (*Phragmites australis*). *Limnologica*, 29: 60–63.
- Gajewska E, Sklodowska M, Slaba M, Mazur J, 2006. Effect of nickel on antioxidative enzyme activities: proline and chlorophyll contents in wheat shoots. *Biol Plant.* 50: 653–659.

- Gündüz Ş, 2005. Turunçgil Bakterilerinde Yabancı Otlar ve Bazı Bitkilerin Ekolojik Faktörlere Tepkileri. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Gür N, Topdemir A, Munzuroğlu Ö, Çobanoğlu D, 2004. Ağır Metal İyonlarının (Cu<sup>++</sup>, Pb<sup>++</sup>, Hg<sup>++</sup>, Cd<sup>++</sup>) *Clivia* sp. Bitkisi Polenlerinin Çimlenmesi ve Tüp Büyümesi Üzerine Etkileri. Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16 (2): 177-182.
- Hewitt EJ, 1953. Metal interrelationship in plant nutrition. J. Exp. Bot. 4 (1): 59–64.
- Hernández LE, Lozano E, Gârate A, Carpena R, 1998. Influence of cadmium on the uptake, tissue accumulation and subcellular distribution of manganese in pea seedlings. Plant Sci., 132: 139–151.
- Işık K, 2004. Bitki Biyolojisi, Palme Yayıncılık. Ankara.
- Jabeen R, Ahmad A, Iqbal M, 2009. Phytoremediation of Heavy Metals: Physiological and Molecular Mechanisms. The Bot Rev., 75 (4): 339-364.
- Kabata-Pendias A, Mukherjee AB, 2007. Trace Elements from Soil to Human. Springer. Berlin
- Kabata-Pendias A, Pendias H, 2011. Trace Elements in Soil and Plants. CRC Press. Florida.
- Kachout SS, Ben Mansoura A, Leclerc JC, Mechergui R, Rejeb MN, Ouerghi Z, 2009. Effects of heavy metals on antioxidant activities of *Atriplex hortensis* and *A. rosea*. J. Food Agric. Environ., 7: 938-945.
- Kahvecioğlu Ö, Kartal G, Güven A, Timur S, 2006. Metallerin Çevresel Etkileri-I. [https://metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136\\_4753.pdf](https://metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136_4753.pdf) (Erişim tarihi: 26.12.2017).
- Karayer A, 2013. Kırka (Eskişehir) ve Çevresindeki Bazı Tarım Alanlarındaki Topraklarda ve Bitkilerde Ağır Metal İçeriklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

- Karpuzcu M, 2010. Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü. 11. Baskı. Kubbealtı Neşriyatı. İstanbul.
- Kartal E, 2010. İstanbul Avrupa Yakası D-100 Karayolu Çevresindeki Bazı Bitkilerde Ağır Metal Birikimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kırat G, 2017. Görgü (Yeşilyurt) Pb – Zn madeni çevresinde yetişen Pb-Zn-Cd akümülatör bitkiler, Malatya, Türkiye. Mad Tek Ar Derg., 155: 165-178.
- Krogmeier MJ, Mccarty GW, Shogren DR, Bremner JM, 1991. Effect of Nickel Deficiency in Soybeans on the Phototoxicity of Foliar Applied Urea. P Soil., 135: 283-286.
- Lan XY, Yang B, Yan YY, Li XY, Xu FL, 2018. Resistance Mechanisms and Their Difference Between The Root and Leaf of *Microsorium Pteropus* – A Novel Potential Aquatic Cadmium Hyperaccumulator. The Sci of The Tot Env., 616: 480-490.
- Lasat MM, 2000. Phytoextraction of Metals from Contaminated Soil: A Review of Plant/Soil/Metal Interaction and Assessment of Pertinent Agronomic Issues. J Haz Subs Res., 2: 5-25.
- Lavres J, Castro FG, de Sousa Câmara GM, 2016. Soybean seed treatment with nickel improves biological fixation and urease activity. Front. Environ. Sci. 4: 1–11.
- Lenntech, Water Treatment and Purification, Calcium (Ca) and Water. <https://www.lenntech.com/periodic/water/calcium/calcium-and-water.htm> (Erişim Tarihi: 03.01.2018).
- Lesage E, Rousseau DPL, Meers E, Tack FMG, De Pauw N, 2007. Accumulation of metals in a horizontal subsurface flow constructed wetland treating domestic wastewater in Flanders, Belgium. Sci. Total Environ., 380: 102–115.
- Lindsay WL, Norvell WA, 1978. Development of a DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese and Copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421- 428.

- Locascio SJ, Bartz JA, DP Weingartner, 1992. Calcium and Potassium Fertilization of Potatoes Grown in North Florida I. Effects On Potato Yield and Tissue Ca And K Concentrations. *Am Pot J.*, 69(2): 95–104.
- Long XX, Yang XE, Ni WZ, 2002. Current Status and Perspective on Phytoremediation of Heavy Metal Polluted Soils. *J App Eco.*, 13: 757–762.
- Macedo FG, Bresolin JD, Santos EF, Furlan F, Silva WT, Polacco JC, Lavres J, 2016. Nickel availability in soil as influenced by liming and its role in soybean nitrogen metabolism. *Front. Plant Sci.* 7: 1358.
- Madejôn P, Marañôn T, Murillo J.M, Robinson B, 2004. White poplar (*Populus alba*) as a biomonitor of trace elements in contaminated riparian forests. *Environ. Pollut.*, 132: 145–155.
- Maestri E, Marmiroli M, Visioli G, Marmiroli N, 2010. Metal Tolerance And Hyperaccumulation: Costs And Trade-Offs Between Traits And Environment. *Env and Exp Bot.*, 68: 1-13.
- Malik RN, Husain SZ, Nazir I, 2010. Heavy Metal Contamination and Accumulation in Soil and Wild Plant Species from Industrial Area of Islamabad, Pakistan. *Pakistan J Bot.*, 42 (1): 291-301.
- Mehes-Smith M, Nkongolo K, Cholewa E, 2013. Coping Mechanisms of Plants to Metal, *Cont Soil.*, 53-90.
- Mganga N, Manoko MLK, Rulangaranga ZK. 2011. Classification of plants according to their heavy metal content around north mara gold mine, Tanzania: Implication for phytoremediation. *Tanzania J Sci.*, 37: 109-119.
- Mingorance MD, Franco I, Rossini-Oliva S, 2017. Application of Different Soil Conditioners to Restorate Mine Tailings with Native (*Cistus ladanifer* L.) and Non-Native Species (*Medicago sativa* L.). *J Geoc Exp.*, 174: 35-45.

- Minguzzi C, Vergnano O, 1948. Il contenuto di nichel nelle ceneri di *Alyssum bertolonii* Desv. Memorie della Società Toscana di Scienze Naturali, seria A., 55: 49–74.
- Mishra D, Kar M, 1974. Nickel in plant growth and metabolism. Bot. Rev. 40: 395–452.
- Mudgal V, Madaan N, Mudgal A, 2010. Heavy Metals in Plants: Phytoremediation: Plants Used to Remediate Heavy Metal Pollution. Agri Biol J N America., 1 (1): 40-46.
- Özbek H, Kaya Z, Gök M, Kaptan H, 1995. Toprak Bilimi. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Kitapları. Adana.
- Özbek K, 2006. Hiperakümülyasyon ve Türkiye florasındaki hiperakümülatör türler, Top Bil Bit Bes Derg., 3: 37 – 43.
- Paschke MW, Valdecantos A, Redente EF, 2005. Manganese Toxicity Thresholds for Restoration Grass Species. Env Poll., 135: 313-322.
- Peng KJ, Li XD, Luo CL, Shen ZG, 2005. Vegetation Composition and Heavy Metal Uptake by Wild Plants at Three Contaminated Sites in Xiangxi Area, China. J Env Sci and Health., 41: 65-76.
- Pietrini F, Iannelli MA, Pasqualini S, Massacci A, 2003. Interaction of cadmium with glutathione and photosynthesis in developing leaves and chloroplasts of *Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex Steudel. Plant Physiol., 133, 829–837.
- Polacco JC, Mazzafera P, Tezotto T, 2013. Opinion-Nickel and urease in plants: still many knowledge gaps. Plant Sci. 199: 79–90.
- Quan WM, Han JD, Shen AL, Ping XY, Qian PL, Li CJ, Shi LY, Chen YQ, 2007. Uptake and distribution of N, P and heavy metals in three dominant salt marsh macrophytes from Yangtze River estuary, China. Mar. Environ. Res., 64: 21–37.

- Rascio N, Navari-Izzo F, 2011. Ağır Metaller ve Fitoremediasyon: Fizyolojik ve Moleküler Mekanizmalar Heavy Metal Hyperaccumulating Plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting?. *Plant Sci.*, 180 (2): 169–181.
- Rosenfeld CE, Chaney RL, Martínez CE, 2018. Soil Geochemical Factors Regulate Cd Accumulation By Metal Hyperaccumulating *Noccaea caerulea* (J. Presl & C. Presl) F.K. Mey in Field-Contaminated Soils. *Sci The Tot Env.*, 616: 279-287.
- Roos MS, 1994. Sources and forms of potentially toxic metals in soil-plant systems. In: Ross M.S. (Ed.), *Toxic Metals in Soil-Plant System*. John Wiley. Chichester.
- Rout GR, Das P, 2003. Effect of Metal Toxicity on Plant Growth and Metabolism: I.Zinc. *Agr.*, 23: 3-11.
- Salt DE, Smith RD, Raskin I, 1998. Phytoremediation. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 49: 643-668.
- Samecka-Cymerman A, Kempers AJ, 2001. Concentrations of heavy metals and plant nutrients in water, sediments and aquatic macrophytes of anthropogenic lakes (former open cut brown coal mines) differing in stage of acidification. *Sci. Tot Env.*, 281: 87–98.
- San NO, 2007. Ağır Metal ve Boyar Madde İçeren Atıksuların *Rhodotorula* Sp. İle Arıtımı. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Biyoteknoloji Enstitüsü, Ankara.
- Seregin IV, Kozhevnikova AD, 2006. Physiological role of nickel and its toxic effects on higher plants. *Russ. J Plant Physiol.* 53: 257–277.
- Sharma P, Dubey RS, 2005. Lead Toxicity in Plants. *Brazilian J Plant Phys.*, 17(1): 35-52.
- Siedlecka A, Tukendorf A, Skórzynska-Polit E, Maksymiec W, Wójcik M, Baszynski T, Krupa Z, 2001. Angiosperms (Asteraceae, Convolvulaceae, Fabaceae and Poaceae; other than Brassicaceae). In: Prasad M.N.V. (Ed.), *Metals in the Environment. Analysis by Biodiversity*. Marcel Dekker Inc, New York.

- Tanker N, 1971. Studies on *Hypericum scabrum* L. J Fac Pharm., 1: 10–15.
- Thompson L, 1997. Exciting Environmental Technologies.
- Urano K, Kurihara Y, Seki M, Shinozaki K, 2010. ‘Omics’ Analyses of Regulatory Networks in Plant Abiotic Stress Responses. Cur Opin in Plant Bio., 13: 132-138.
- Uren NC, 1992. Forms reactions, and availability of nickel in soils. Adv. Agron. 48: 141–203.
- Utsunamya T, 1980. Japanese Patent Application No. 55-72959.
- Vahdati Raad L, Khara H, 2012. Heavy Metals Phytoremediation by Aquatic Plants (*Hydrocotyle ranocloides*, *Ceratophyllum demersum*) of Anzali Lagoon. J Mar Sci Eng., 2 (4): 249-254.
- Vamerali T, Bandiera M, Mosca G, 2010. Field Crops for Phytoremediation of Metal-Contaminated Land. A Review. Env Chem Let., 8: 1–17.
- Vymazal J, Svehla J, Kröpfelová L, Chrástný V, 2007. Trace metals in *Phragmites australis* and *Phalaris arundinacea* growing in constructed and natural wetlands. Sci. Tot Env., 380: 154–162.
- Wan X, Lei M, Yang J, 2017. Two Potential Multi-Metal Hyperaccumulators Found in Four Mining Sites in Hunan Province, China, 148(1): 67-73.
- Weis J.S, Glover T, Weis P, 2004. Interactions of metals affect their distribution in tissues of *Phragmites australis*. Environ. Pollut. 131, 409–415.
- Yalçuk A, Evirgen OA, Uğurlu A, 2004. Tehlikeli Atık Sahalarında Yetişen Hiperakümülatör Bitkiler. 6. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, 7-10 Eylül 2004, İzmir.
- Ye ZH, Baker AJM, Wong MH, Willis AJ, 1997. Zinc, lead and cadmium tolerance, uptake and accumulation by the common reed, *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel. Ann. Bot. 80: 363–370.

Yruela I, 2005. Copper in Plants. *Brazilian J Plant Phys.*, 17: 145-156.

Windham L, Weis JS, Weis P, 2003. Uptake and distribution of metals in two dominant salt macrophytes, *Spartania alternifolia* (cordgrass) and *Phragmites australis* (common reed). *Estuarine, Coas She Sci.*, 56: 63-72.

Zengin KF, Munzuroğlu O, 2005. Fasulye fidelerinin (*Phaseolus vulgaris* L. Strike) klorofil ve karotenoid miktarı üzerine bazı ağır metallerin ( $\text{Ni}^{+2}$ ,  $\text{Co}^{+2}$ ,  $\text{Cr}^{+3}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$ ) etkileri, *Fırat Üniv Fen Müh Bil Derg.*, 17(1): 164-172.



## ÖZGEÇMİŞ

20.10.1992 yılında Bitlis'in Hizan İlçesin'de doğdum. İlköğretimi Van Mimar Sinan İlköğretim Okulu'nda, ortaokulu Van Mimar Sinan İlköğretim Okulu'nda ve liseyi Van Özen Adalı Anadolu Lisesi'nde tamamladım. 2011 yılında kazandığım Bitlis Eren Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Çevre Bölümü'nden 2015 yılında mezun oldum. 2015 yılında Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı'nda yüksek lisansa başladım. Temmuz 2018'de yüksek lisansımı tamamladım. Yabancı dilim İngilizce'dir.

Adı Soyadı  
Nurfeşan AVCİL