

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nihal BAŞCI

**Cr (VI) İYONUNUN SÜS BİTKİLERİ KULLANILARAK TOPRAKTAN
GİDERİMİNİN ARAŞTIRILMASI**

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2009

ÖZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Cr (VI) İYONUNUN SÜS BİTKİLERİ KULLANILARAK TOPRAKTAN
GİDERİMİNİN ARAŞTIRILMASI**

Nihal BAŞCI

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Doç. Dr. Zeynep ZAIMOĞLU
Yıl : 2009 **Sayfa:** 87
Jüri : Doç. Dr. Zeynep ZAIMOĞLU
Prof. Dr. Ahmet YÜCEER
Doç.Dr. Gülfeza KARDAŞ

Bu çalışmada, *Aptenia Cordifolia*, *Brassica Juncea*, *Brassica Oleracea* ve *Alyssum Maritima* süs bitkileri ile farklı konsantrasyonlarda $K_2Cr_2O_7$ (potasyumdikromat) kullanılarak hazırlanmış olan sentetik atık su verilen topraktaki Cr (VI) iyonunu en yüksek düzeyde alabilen, yüksek Cr (VI) konsantrasyonu seviyelerinde yaşayarak Cr (VI) iyonunu tolere edebilen bitki çeşidinin tespiti ve bu bitkiler yardımıyla topraktan Cr (VI) iyonunun temizlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada hazırlanan sentetik atıksuyun Cr (VI) konsantrasyonları 2,6 ppm, 13 ppm, 26 ppm, 52 ppm olarak belirlenmiştir ve çalışmada bitkilerin gelişimi için torf yaşam ortamı kullanılmıştır. Çalışma 120 gün devam etmiş ve ilk 45 gün çeşme suyu ile sulama yapılmıştır. Geri kalan 75 gün de farklı konsantrasyonlarda hazırlanan Cr (VI) çözeltileri ile sulama yapılmıştır. Çalışma sonucunda bitkiler yetiştirildiği ortam (torf), kök, gövde ve yaprak olarak ayrılmıştır ve bitkilerin bünyelerinde kalan Cr (VI) iyonu miktarları belirlenmiştir. Torf ile hazırlanan bitki ortamlarına uygulanan en yüksek konsantrasyondaki Cr (VI) iyonunu bünyesine alabilen bitkiler ise sırasıyla *Alyssum Maritima* > *Brassica Juncea* > *Brassica Oleracea* > *Aptenia Cordifolia*'dır. Yapılan Cr (VI) analizine göre *Brassica Juncea*, *Brassica Oleracea*, *Aptenia Cordifolia* bitkilerinde ki birikim mg/kg (kuru) cinsinden en çok kök bölgesinde sonra gövde+yapraklarda olacak şekilde belirlenmiştir. Ancak yapılan Cr (VI) analizine göre *Alyssum Maritima* bitkisinde ki Cr (VI) mg/kg (kuru) cinsinden en çok gövde+yaprak bölgesinde sonra kök bölgesinde olacak şekilde belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Yeşil Islah, Süs Bitkileri, Cr (VI) Birikimi

ABSTRACT

M.Sc. THESIS

INVESTIGATION OF Cr (VI) ION REMOVAL FROM SOILS USING ORNAMENTAL PLANTS

Nihal BAŞCI

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

UNIVERSITY OF CUKUROVA

Supervisor : Asc. Prof. Dr. Zeynep ZAIMOĞLU

Year : 2009 **Page:** 87

Jury : Asc. Prof. Dr. Zeynep ZAIMOĞLU
Prof. Dr. Ahmet YUCEER
Asc. Prof. Dr. Gulfeza KARDAS

In this study, determination of the ornamental plant species which can absorb very high levels of Cr (VI) ion from soil which is irrigated with synthetic wastewater, containing $K_2Cr_2O_7$ (potassiumdichromate) at different concentrations, and also determination of the ornamental plant species which can tolerate the Cr (VI) ion irrigated by with high Cr (VI) concentration level, and can remove the Cr (VI) from the soil were aimed, with *Aptenia Cordifolia*, *Brassica Juncea*, *Brassica Oleracea* and *Alyssum Martima* ornamental plant species. For the study the Cr (VI) concentration of the prepared synthetic wastewater were determined as 2.6 ppm, 13 ppm, 26ppm and 52 ppm and torf growth media is used for growing of the plants. The experimental period was continued 120 days where the first 45 days irrigating was accomplished with tap water. The remaining 75 days, irrigating was done with Cr (VI) solutions which were prepared at different concentrations. At the end of the study, the plants were seperated as growing media, root, stems, leaf before the Cr (VI) amount was determined for accumulated concentrations at the plant structures. The Cr (VI) accumulation occurred at the plants cultivated in torf, were observes as *Alyssum Maritima* > *Brassica Juncea* > *Brassica Oleracea* > *Aptenia Cordifolia* respectively. Cr (VI) analyses conducted as dry weight basis, showed that *Brassica Juncea*, *Brassica Oleracea* and *Aptenia Cordifolia* accumulation were higher in the roots than sum of stems and leaves. But analyses showed that Cr (VI) accumulation in *Alyssum Maritima* was higher in the stemsand leaves than roots.

Keywords : Phytoremediation, Ornamental Plants, Cr (VI) Accumulation

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam süresince, bu tezin oluşum ve yönetim aşamalarında yardımlarını ve desteğini benden esirgemeyen, çalışmalarında her türlü olanağı sağlayan danışman hocam Doç. Dr. Zeynep ZAIMOĞLU 'na sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam süresince, bilimsel katkılarını sunan Çevre Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Ahmet YÜCEER 'e teşekkürlerimi sunarım.

Araştırmamda kullandığım çözeltilerin hazırlanmasında bilgi ve yardımları ile katkıda bulunan Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü hocalarından Sayın Doç. Dr. Gülfeza KARDAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Araştırmamın her aşamasında destek ve yardımlarını esirgemeyen, Pelin ATILLA'ya, Gökhan YAMAN'a, Arş. Gör. M. Yavuz SUCU ve Arş. Gör. Seçil KEKEÇ'e, numunelerin okunma aşamasında bilgi ve yardımları ile katkılarından dolayı Arş. Gör. İ. Orkun DAVUTLUOĞLU'na tezimin yazım aşamasında yardımını esirgemeyen İbrahim NAZ'a ve bitkilerin seçimi aşamasında bilgi ve yardımları ile katkıda bulunan Akdeniz Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü hocalarından Sayın Yrd. Doç. Dr. Reyhan ERDOĞAN'a, teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezin tamamlanmasında bana yardım eden ve hep yanımda olan abim Halil BAŞCI'ya sonsuz teşekkür ederim.

Bu yoğun süreçte desteklerini benden esirgemeyip maddi manevi hayatımın her döneminde bana yardım eden annem Öznur BAŞCI'ya ve babam Veli BAŞCI'ya ayrıca gösterdikleri sabırdan dolayı da teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER	SAYFA
ÖZ	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
SİMGELER VE KISALTMALAR	IX
1.GİRİŞ	1
1.1. Toprak Kirliliği Ve Sebepleri	2
1.1.1. Kirlenici Türleri ve Etkileri	3
1.1.1.1. Ağır Metaller	3
1.1.1.2. Diğer İnorganik Kirleniciler	4
1.1.1.3. Organik Kirleniciler	4
1.1.1.4. Radyoaktif Maddeler	4
1.2. Yeşil Islah (Phytoremediation)	5
1.2.1. Yeşil Islah (Phytoremediation) Çeşitleri	6
1.2.1.1. Köklerle Süzme (Rhizofiltration).....	7
1.2.1.2. Köklerle Sabitleme (Phytostabilization).....	8
1.2.1.3. Köklerle Bozunum (Rhizodegradation).....	9
1.2.1.4. Bitkisel Bozunum (Phytodegradation)	9
1.2.1.5. Bitkisel Buharlaştırma (Phytovolatilization)	10
1.2.1.6. Organik Pompalar	10
1.2.1.7. Bitkisel Özümleme (Phytoextraction)	11
1.2.2. Yeşil Islah Teknolojisinin Temel Uygulama Alanları.....	13
1.2.2.1. Hidrolik Kontrol.....	14
1.2.2.2. Vejetatif Örtü Sistemleri.....	14
1.2.2.3. Akarsu Kenarı Vejetasyon Örtüsü (Riparian Corridors)	15
1.2.2.4. Yapay Sulakalanlar.....	15
1.2.3. Islah (Phytoremediation) Tekniğinde Kullanılan Bitkiler ve Özellikleri	16

1.3.	Ağır Metal Biosorbsiyonu	17
1.3.1.	Ağır Metaller ve Özellikleri.....	19
1.3.1.1.	Demir (Fe).....	19
1.3.1.2.	Kurşun (Pb).....	20
1.3.1.3.	Kobalt (Co)	20
1.3.1.4.	Kadmiyum (Cd)	21
1.3.1.5.	Çinko (Zn).....	22
1.3.1.6.	Mangan (Mn)	23
1.3.1.7.	Krom (Cr)	23
1.3.2.	Ağır Metal Zehirliliği	26
1.3.3.	Ağır Metallerin Canlılara Etkisi.....	26
1.3.4.	Ağır Metallerin Alıcı Ortamlardaki Etkileri	27
1.3.4.1.	Ağır Metallerin Toprağa Etkisi	27
1.3.4.2.	Ağır Metallerin Sudaki Etkileri.....	28
2.	ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	30
2.1.	Bitkisel Islah Konusunda Yapılan Çalışmalar	30
2.2.	Kullanılan Bitkilerin Cr (VI) İyonu Alımı ve Yeşil Islah İle İlgili Yapılan Çalışmalar	36
3.	MATERYAL VE METOD	41
3.1.	Materyal.....	41
3.1.1.	Kullanılan Bitkiler ve Özellikleri.....	41
3.1.1.1.	<i>Aptenia Cordifolia</i> (Buz Çiçeği, Öğle Çiçeği).....	41
3.1.1.2.	Brassica Biyoteknolojisi	42
3.1.1.2.(1)	<i>Brassica Juncea</i> (Hardal)	43
3.1.1.2.(2)	<i>Brassica Oleracea</i> (Lahana).....	43
3.1.1.3.	<i>Alyssum Maritima</i> (Bal Çiçeği).....	44
3.1.2.	Bitki Yetiştirme Ortamı ve Özellikleri	45
3.1.3.	Sulama suyu ve özellikleri	47
3.2.	Metot.....	47
3.2.1.	Çalışma Düzeninin Oluşturulması.....	47
3.2.2.	Sistemde Kullanılan Bitkilerin Temin Edilmesi	48

3.2.3.	Sistemde Bitki YetiŖme Ortamlarının Hazırlanması	48
3.2.4.	Bitki Örneklerinin Hazırlanması	50
4.	BULGULAR ve TARTIŖMA	52
4.1.	İklimsel Ŗartlar	52
4.2.	Fenolojik Bulgular	53
4.3.	Bitkisel Verimlilik	58
4.4.	Bitkilerin Cr (VI) İyonunu Giderimi	61
4.5.	Cr (VI) İyonunun Bitkilerin Būnyesindeki Birikimin Dağılımı.....	66
5.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER	68
	KAYNAKLAR.....	73
	ÖZGEÇMİŖ.....	87

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 1.1. Fitoremediasyon Teknolojilerinin Kirleticilerin Tipine Göre Sınıflandırılması	7
Çizelge 1.2. Kirleticiler İçin Buldukları Ortama Göre Yapılan Uygulamalar	13
Çizelge 1.3. Toprak Kirliliğinin İyileştirilmesinde Kullanılan Bazı Bitki Türleri İle Bünyelerinde Biriktirebildikleri Metal Miktarları	17
Çizelge 1.4. Ağır Metal Kaynakları.....	19
Çizelge 3.1. Ekonomik özelliğe sahip bazı <i>Brassica</i> türleri	42
Çizelge 3.2. Bitkinin yetiştirildiği Torf'un Özellikleri.....	46

Şekil 1.1. Bitki Köklerindeki Metal Alımı.....	8
Şekil 1.2. Bitkisel Özümleme.....	12
Şekil 1.3. Hasat İşleminden Sonra Kullanılan Bitkinin Son Hali	13
Şekil 3.1. <i>Aptenia cordifolia</i> , <i>Brassica juncea</i> , <i>Brassica oleracea</i> , <i>Alyssum maritima</i> bitkilerinin genel görünümü.....	45
Şekil 3.2. Her bir bitki için kurulan deney düzeneği.....	48
Şekil3.3. <i>Aptenia cordifolia</i> , <i>Brassica juncea</i> , <i>Brassica oleracea</i> ve <i>Alyssum maritima</i> Bitkilerinin Çeşme Suyu İle Sulama Sonunda Görüntüleri.....	49
Şekil 3.4. En Yüksek Konsantrasyonun Uygulandığı <i>Aptenia cordifolia</i> , <i>Brassica juncea</i> , <i>Brassica oleracea</i> ve <i>Alyssum maritima</i> Bitkilerinin Cr (VI) İyonu İle Sulama Sonunda Görüntüleri.....	50
Şekil 4.1. Aralık, Ocak, Şubat, Mart, Nisan Ayları Sıcaklık (°C) Değişim Grafiği..	52
Şekil 4.2. Aralık, Ocak, Şubat, Mart, Nisan Ayları Nem (%) Değişim Grafiği.....	53
Şekil 4.3. <i>Aptenia cordifolia</i> Bitkisi Boy ölçümleri	54
Şekil 4.4. <i>Brassica juncea</i> Bitkisi Boy Ölçümleri.....	54
Şekil 4.5. <i>Brassica oleracea</i> Bitkisinin Boy ölçümleri	55
Şekil 4.6. <i>Brassica juncea</i> Bitkisi Yaprak Sayısı.....	56
Şekil 4.7. <i>Brassica oleracea</i> Bitkisinin Yaprak sayısı	57
Şekil 4.8. <i>Alyssum maritima</i> Bitkisi Yaprak Sayısı.....	58
Şekil 4.9. Bitki Köklerinin Yaş ve Kuru Ağırlıklarının Karşılaştırması	59
Şekil 4.10. Bitki Gövdelerinin Yaş ve Kuru Ağırlıklarının Karşılaştırması.....	59
Şekil 4.11. Bitki Yapraklarının Yaş ve Kuru Ağırlıklarının Karşılaştırması.....	60
Şekil 4.12. Bitki Yetiştirme Ortamlarının Yaş ve Kuru Ağırlıklarının Karşılaştırması	60
Şekil 4.13. <i>A. cordifolia</i> Bitkisinin Konsantrasyonlara Göre Cr (VI) İyonu Giderimi	61
Şekil 4.14. <i>B. Juncea</i> Bitkisinin Konsantrasyonlara Göre Cr (VI) İyonu Giderimi...	63
Şekil 4.15. <i>B. oleracea</i> Bitkisinin Konsantrasyonlara Göre Cr (VI) İyonu Giderimi	64
Şekil 4.16. <i>A. Maritima</i> Bitkisinin Konsantrasyonlara Göre Cr (VI) İyonu Giderimi	65
Şekil 4.17. Cr (VI) İyonunun Bitkilerin Bünyelerindeki Dağılımının Grafiği.....	66

SİMGELER VE KISALTMALAR

°C	Santigrat Derece
B	Bor
Cd	Kadmiyum
Cr	Krom
Cu	Bakır
Fe	Demir
Ag	Gümüş
Ti	Titanyum
V	Vanadyum
Sb	Antimon
L	Litre
Mg	Magnezyum
mL	Mililitre
ppm	Milyonda bir
Na	Sodyum
Ni	Nikel
Pb	Kurşun
K	Potasyum
Mn	Mangan
K ₂ Cr ₂ O ₇	Potasyum dikromat
WHO	Dünya Sağlık Örgütü
EPA	The U.S. Environmental Protection Agency

1. GİRİŞ

Çevre insan veya başka bir canlının yaşamı boyunca ilişkilerini sürdürdüğü dış ortamdır. Hava, su ve toprak bu çevrenin fiziksel unsurlarını insan, hayvan, bitki ve diğer mikroorganizmalar ise biyolojik unsurlarını teşkil etmektedir. Doğanın temel fiziksel unsurları olan hava, su ve toprak üzerinde olumsuz etkilerin oluşması ile ortaya çıkan ve canlı öğelerin hayati aktivitelerini olumsuz yönde etkileyen çevre sorunlarına çevre kirliliği adı verilmektedir.

Çevre kirliliği de insan sağlığını etkileyen problemlerin başında yer almaktadır. Teknoloji devrimi ile birlikte hayat standartlarının yükselmesi ve ölüm oranlarının azalması, kentlerde yoğun bir nüfus artışı meydana getirmiş, paralelinde de hızlı bir kirlilik oluşmaya başlamıştır. Sanayi devrimi ile birlikte batı ülkelerinde gelişerek devam eden ve daha sonra diğer ülkelere de geçen seri üretim sonucunda oluşan yan ürünler dünyanın ekolojik dengesi üzerinde olumsuz etkilere sebep olmuştur (Yücel, 1997).

Ayrıca 20.yy başlarından itibaren modern tarıma geçilmesi ve sanayileşmenin hızlanması ile birlikte de hızla artan dünya nüfusunun oluşturduğu etkiyle doğal kaynaklar, ekosistemler büyük ölçüde tahrip edilmiş, kirletilmiş ve bunların sonucunda toprak kirliliği de bir çevre sorunu olarak karşımıza çıkmaya başlamıştır.

Topraklar su ve havaya göre dış etkenlere karşı tamponlama gücü yüksek olan sistemlerdir. Ancak sisteme ilave edilen kirleticiler tarafından bozulmalar meydana geldiğinde karşılaşılan sorunlarda o ölçüde karmaşık, zor ve düzeltilmesi masraflı olmaktadır. Toprak kirlenmesine sebep olan başlıca kirleticiler: Ağır metaller, gübreler, atık sular, arıtma çamurları, katı atıklardır.

Son yıllarda ağır metallerin yol açtığı toprak kirliliği tüm dünyanın dikkatini çeken bir konu olmuştur. Topraktaki ağır metal kirliliği, endüstrinin ve madencilik aktivitelerinin gelişimi dünya çapında bir problem halini almaktadır. Özellikle topraklardaki ağır metallerin bitkilerin hem yeşil aksamında hem de köklerinde biriktiği bilinmektedir. İnsan sağlığı için önemli olan ağır metaller ve bunların yarattığı toksik etkiler üzerine de birçok çalışma yapılmıştır (Reeves ve Baker, 2000; Abou-Arab ve Abou Donia, 2000).

Söz konusu ağır metaller arasında, krom elementi teknikte oldukça fazla kullanılmaktadır. Krom, kimya ve boya endüstrisinde, deri imalatında, cam endüstrisinde, tekstil boyacılığında, fotoğraf sanayinde, paslanmaya dayanıklı alaşımların imalinde ve küçük miktarlarda olsa da vernik ve mürekkep üretiminde kullanılmaktadır (Şener ve ark., 1994). Toprak pH'ı arttıkça Cr (VI)'nın Cr (III)'e indirgenme oranı artmakta ve çözünürlüğü düşük Cr(OH)₃ oluşmaktadır. Çoğu toprakta kromun hareketsiz duruma geçmesi nedeniyle genellikle bitkide zararlı bir etkiye rastlanmamaktadır (Doyle Report, 1998). Özellikle anyonik krom iyonunun toprak kirlenmesi ve toksitesi bakımından önemi daha da büyüktür (Gür, 2002).

Gelişmiş ülkeler tüm bu olumsuzlukları göz önüne alarak doğal bir arıtma sistemi planlamaya çalışmış ve sonuçta "Bitkisel Islah Sistemleri" oluşturulmuştur. Bitkilerin veya bitki ürünlerinin kirlenmiş alanları restore veya stabilize etmek için kullanımı, kirliliğin bitki tarafından seçilerek çıkarılması, ayrılması ve arındırılması yeşil islah (phytoremediation) olarak bilinmekte ve bitkilerin organik veya inorganik maddeleri giderimi, akümüle etmesi, depolaması veya parçalaması gibi doğal yetenekleri avantaj olarak kullanılmaktadır (Meagher, 2000; McIntyre, 2003).

Bu çalışmada da farklı konsantrasyonlarda potasyumdikromat kimyasalı kullanılarak hazırlanmış olan sentetik atık su verilen topraktaki Cr (VI) iyonu kirliliğinin iyileştirilmesin de kullanılan dünyada uygulama alanı bulan yöntemlerden biri olan fitoremediasyon (yeşil islah) ile bünyesine Cr (VI) iyonunun en yüksek düzeyde alabilen ve yüksek krom (Cr) konsantrasyonu seviyelerin de yaşayarak Cr (VI) iyonunu tolere edebilen bitki çeşidinin tespiti amaçlanmıştır.

1.1. Toprak Kirliliği Ve Sebepleri

Toprak, ana materyal adını verdiğimiz kayaçların, organik atıkların uzun bir süreç içinde birçok fiziksel, kimyasal ve biyolojik olay ve etkenlerle parçalanıp ayrışması sonucu ortaya çıkan ve dinamikleri devam eden doğal bir varlıktır.

Toprak kirliliğine sebep olan doğal ve insan aktivitelerine bağlı olarak topraklara karışan kirleticileri genel olarak; organik (pestisidler, hormonlar) ve inorganik (ağır metaller vb.) bileşikler ve radyoaktif atıklar şeklinde gruplandırabiliriz. Toprak kirliliğinin çevre sağlığı açısından en önemli etkisi;

topraktaki kirleticilerin bitki bünyesine geçerek bu bitkilerin ya doğrudan ya da bu bitkilerle beslenen hayvanların besin olarak tüketilmesi sonucu insan bünyesine geçmesidir.

Toprak bünyesi, dinamik olup son derece yüksek tamponlama gücüne sahip bir sistemdir. Çünkü toprakta; fiziksel, kimyasal, fizikokimyasal, biyokimyasal ve biyolojik olayların karmaşıklığı içerisinde doğal bir denge vardır. Bütün bunlar sınırlı kaynaklar olması nedeniyle toprakların insanların geleceği açısından büyük önem taşıdığını, toprak kirliliğinin özellikle insan ve çevre sağlığı açısından son derece önemli bir çevre sorunu olduğu gösterilmektedir (Türkoğlu, 2006).

Toprak kirlenmesine yol açan prosesler doğal ve insan yapımı olarak da ikiye ayrılabilirler. Kirletici kaynakların en önemlisi insan faaliyetleri sonucu meydana gelen kirliliktir. İnsan faaliyetleri sonucu meydana gelen kirlilikte evsel, tarımsal ve endüstriyel nitelikli olarak üç kategoriye ayrılabilir. Evsel nitelikli atıklar, katı veya sıvı halinde olabilir. Evsel nitelikli atıkların içinde piller, muhtelif çeşitte yağlar, çözücüler ve boyalar bulunmaktadır Endüstriyel atıklar (katı ve sıvı) ise rastgele atıldıklarında veya depolandıklarında, çok ciddi toprak kirlenmesine yol açmaktadırlar (Türkoğlu, 2006).

1.1.1. Kirletici Türleri ve Etkileri

1.1.1.1. Ağır Metaller

Ağır metaller yoğunluğu 5 g/cm^3 'ten büyük olan metaller olarak tanımlanmaktadır. Bu tanımlamaya göre ağır metaller periyodik cetvelde B grubu (Cu, Hg gibi) ve sınır elementleri (Fe, Zn, Cd, Pb gibi) olmak üzere ikiye ayrılırlar (Martin ve Coughtrey, 1985). Bütün canlılar normal aktivitelerini sürdürebilmek için ortamda bulunan ağır metallere ihtiyaç duyarlar. Ancak son yıllarda ağır metaller hakkında yapılan bilimsel araştırmaların sayısının artmasının sebebi, aşırı miktarlarının canlı yaşamı üzerindeki toksik etkileri (Alloway ve Ayres, 1997), ortamda ve organizmaların bünyesinde birikebilir olmaları ve doğal proseslerle giderilmelerinin çok yavaş olmasıdır (McEldowney ve ark., 1993).

1.1.1.2. Diğer İnorganik Kirleticiler

Alüminyum, berilyum ve flor gibi elementler eğer topraklarda aşırı miktarlarda bulunurlarsa çevresel kirleticiler olarak dikkate alınır (Mirsal, 2004). Topraklarda flor ve alüminyumun fazla konsantrasyonlarda olması bazı bitkilerde bu iki elementin anormal konsantrasyonlarda olması sonucunu doğurmaktadır. Çay bitkisi flor gibi alüminyumun doğal akümülatörlerine bir örnektir. Alüminyum, Alzheimer (*senile dementia*) yada böbrek yetmezliği gibi bazı rahatsızlıklar ile ilişkili tutulur. Hidro alüminyum oksidin su arıtma işleminde kullanılmasından beri Dünya sağlık örgütü (WHO) içme suyundaki alüminyum konsantrasyonu için tolerans seviyesi olarak 200 mg/L değerini belirtmiştir. Flor ayrıca diş sağlığını iyileştirmek için içme suyuna eklenmesine rağmen içme suyunda 3-6 mg/L'den daha büyük konsantrasyonlarda organ deformasyonları olur ki skeletal flourosis denen toksik bir duruma neden olabilmektedir. 10 mg/L'den daha yüksek konsantrasyonlarda sakatlık riski meydana gelir (Türkoğlu, 2006).

1.1.1.3. Organik Kirleticiler

Kalıcı Organik Kirleticiler, tarım ve diğer alanlarda zararlı böcek, ot ve mantarların yok edilmesi için pestisit olarak kullanılan kimyasalların büyük bölümünü oluşturmaktadır.

Başta PVC, plastik ve diğer klor kullanılan prosesler olmak üzere endüstriyel üretimde kullanılmakta ya da atık olarak açığa çıkmaktadır. Bu kirleticiler canlının yağ dokusunda birikerek; hormonal bozukluklar, bağışıklık sistemi bozuklukları, üreme bozuklukları, kanser olmak üzere çok sayıda sağlık sorununa yol açarlar.

1.1.1.4. Radyoaktif Maddeler

Radyoaktiviteden kaynaklanan toprak kirliliği, nükleer materyalin savaşlarda ve endüstride kullanımı, taşınması, test edilmesi gibi işlemler ile oluşmaktadır. Bunun için ana kaynaklar ise nükleer enerji santralleri, atomik testler, savaş olayları ve büyük nükleer kazalardır.

1.2. Yeşil Islah (Phytoremediation)

Son zamanlarda kullanılan fizikokimyasal arıtma tekniklerinin çoğu, aşırı derecede kirlenmiş suların yerinde veya başka bir yerde gerçekleştirilen arıtımlarında yararlanılan ana yöntemler olup, düşük kirletici içeriğine sahip ve kirleticilerin yapay ve dağınık olarak bulunduğu geniş kirlenmiş alanların iyileştirilmesi için yeterince uygun olmayan tekniklerdir (Rulkens ve ark., 1998). Bitki ile iyileştirme çalışmalarında kontamine olmuş alanların genişliği veya dağınıklığı dezavantaj olmamaktadır. Bu durumda diğer yöntemlere kıyasla bitki ile iyileştirme ucuz bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır. Yeşil ıslahın (Phytoremediation) geleneksel fiziksel ve kimyasal arıtma yöntemlerinden daha ekonomik, teknik ve çevresel avantajları daha fazla olduğu düşünülmektedir (McIntyre, 2003). Ancak iyileştirme süresinin uzun bir süreyi kapsadığı belirtilmektedir (Rulkens ve ark., 1998). Phytoremediation terimini kelime anlamı olarak ele aldığımızda, bitki anlamındaki “phyto” ile ıslah anlamındaki “remediation” kelimelerinden türetilmiş olup ve 1991’de terminolojiye girmiştir. Bu terim ingilizcede phytoremediation, bioremediation, botanical remediation ve green remediation olarak da anılmaktadır. (Epa, 2000). Türkçe’de “Yeşil Islah” (Fitoremediasyon) olarak kullanılan bu ifade bitki temel alınarak çevreyi ıslah etme teknolojileridir. Bu teknoloji ile organik ve inorganik maddeler bitki kullanılarak kirlilik oluşturduğu alandan bertaraf edilebilmektedir (Henry, 2000). Atık su iyileştirmede kullanılan yeni bir yöntemdir.

Metal kirleticilerin fitoıslahı için kullanılan metotlar, organik kirleticiler ile kirlenmiş sahaların ıslahı için kullanılan metotlardan birazcık farklıdır. Böyle alanlarda bitkiler tarafından alınan metaller toprakta stabilize olur yada topraktan kaldırılır. Bitkiler iki ana yöntem vasıtasıyla kirleticileri topraktan alırlar. *Thlapsi*, *Urtica*, *Chenopodium*, *Polygonum sachalase* ve *Alyssum*, *Brassica Juncea* gibi bazı bitkilerin kadmiyum, krom, bakır, kuşun, nikel ve çinkoyu bünyelerinde biriktirme yetenekleri vardır ve bu nedenle, söz konusu bitkilerin yetiştirilmesi kirlenmiş toprakların arıtılmasında indirekt bir metot olarak kabul edilmektedir (Mulligan ve ark., 2001). Örneğin, çoğu bitkiler yaklaşık 100 ppm’lik bir çinko birikiminde toksisite semptomları gösterirken, en yaygın metal hiperakümülatörü olarak bilinen

Thlapsi caeruledcens'ın 26000 ppm'in üzerinde bir birikimi sağlayabildiği literatürden bilinmektedir (Lasat, 2000).

Yeşil ıslahın çeşitli olumlu ve olumsuz yönleri vardır (Epa, 2000).

Yeşil ıslahın fizikokimyasal teknolojilerden çok daha kolay uygulanabilirliği ve birçok organik ve inorganik kirleticide etkili olması, bu sistemlerin kuruluşu ve ıslah maliyetinin diğer teknolojilere göre çok (4–1000 kat) daha ucuz olması önemli olumlu yönleridir (Sadowsky, 1999). Sistem doğal ve yapay ortamlarda kullanılabilir. Yani kirlilik etmeni, bulunduğu yerde veya başka bir ortama taşınarak bertaraf edilebilir. Bu amaçla kurulmuş alanlar eğitim ve rekreasyon gibi çeşitli amaçlarla kamuya açık yeşil alanlar olarak hizmet verebilen ve sempati ile karşılanan alanlardır. Bitkilere bakım işlemleri, yenileme dâhil düzenli yapıldığında sistem çok uzun ömürlüdür. Yerinde yapılan çalışmalarda kirlilik etmeninin alandan taşınma oranı çok düşük (yaklaşık % 5) olup, çevreye (hava ve su) yayılması da çok zayıftır.

Bu teknolojinin en önemli olumsuz yönü ise ağır düzeylerde kirlenmiş alanlarda bitkilerin kısa sürede etkinliğini gösterememesidir. Bu nedenle ancak düşük düzeylerde kirlenmiş alanlarda kullanılır. Sistemin etkinliği kök derinlikleri ve iklim koşulları ile sınırlıdır. Doğal olmayan bitkilerin bu amaçla kullanılması biyolojik çeşitliliği olumsuz yönde etkileyebilir (Farrell ve ark., 1999; Sutherson, 1999; Epa, 2000; Henry, 2000).

Bu konuyla ilgili olarak yapılan çalışmalarda, bitki ile iyileştirmede kullanılacak en uygun bitkinin, ortamdaki yüksek ağır metal konsantrasyonlarında bile yaşayabilen, güçlü ve zengin bir kök sistemine sahip olan, hasat edilebilen kısımlarında yüksek düzeyde metal toplayabilen, hızlı bir büyüme yeteneği ve arazide çok miktarda biyokütle üretebilme potansiyeline sahip olan bir bitki olması gerektiği sonucuna varılmıştır (Watanabe, 1997; Reeves ve Baker, 2000).

1.2.1. Yeşil Islah (Phytoremediation) Çeşitleri

Yeşil ıslahın farklı çeşitleri, bitki türlerinin kirlilik etmenlerini bertaraf etme yollarına bağlı olarak, köklerde süzme (rhizofiltration), köklerde sabitleme (phytotostabilization), bitkisel özümleme (phytoextraction), köklerle bozunum

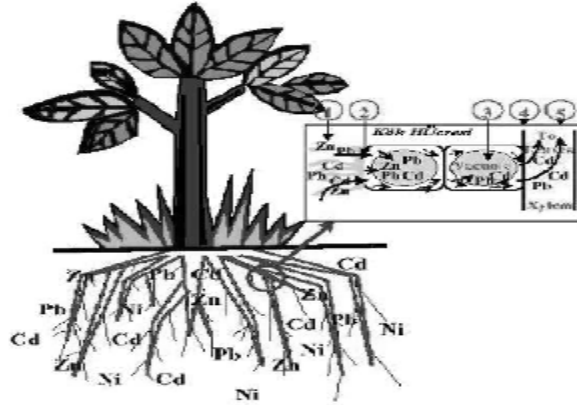
(rhizodegradation), bitkisel bozunum (phytodegradation), bitkisel buharlaştırma (phytovolatilization) ve organik pompalardır (Epa, 2000).

Çizelge 1.1. Fitoremediasyon Teknolojilerinin Kirleticilerin Tipine Göre Sınıflandırılması (Epa, 1995).

Metal	Organik
Phytoekstraksiyon	Phytodegradasyon
Rhizofiltrasyon	Rhizodegrasyon
Phytostabilizasyon	Phytovolatilizasyon

1.2.1.1. Köklerle Süzme (Rhizofiltration)

Köklerle süzmede, biyotik ve abiyotik işlemlere bağlı olarak kirleticiler köklerin içine alınmakta veya bitki köklerinin üzerinde yapışıp kalmaktadır (adsorpsiyon). Bu işlemlerin oluşu sırasında kirleticiler bitkiye alınabilmekte ve taşınabilmektedir. Burada temel olan kirleticilerin bitki üzerinde veya içinde hareketsizliğinin sağlanmasıdır. Kirleticiler daha sonra çeşitli yollarla bitkiden alınabilmektedir. Bu yöntem yeraltı suları, yüzey suları ve atıksularda uygulanmaktadır. Karasal ve sucul bitkilerin kullanılmasına olanak tanınması sistemin bir avantajıdır. Ayrıca sistem doğal ortamlarda uygulanabilirliğinin yanı sıra havuz, tank, gölet gibi yapay alanlarda da uygulanabilmekte, yani kirlilik, kaynağında veya uzakta bertaraf edilebilmektedir. Atıksuyun kirleticilerin bitki tarafından alınmasına olanak tanıyacak pH düzeyine getirilmesi, debinin kontrol altına alınması ve bitkilerin belirli aralıklarla yenilenmesi için iyi bir mühendislik tasarımı gerektirmektedir (Pivet, 2001).



Şekil 1.1. Bitki Köklerindeki Metal Alımı

1.2.1.2. Köklerle Sabitleme (Phytostabilization)

Bu yöntem doğal ortamda toprağın stabilizasyonunun sağlanması için uygulanmaktadır. Bu yöntemde, bitkinin yetiştiği toprağın içindeki kirlilik etmenleri bitki köklerinin çevresinde veya içinde biriktirilmesiyle ya da tutulmasıyla sağlanmakta ve bunun yanı sıra kirleticilerin rüzgâr, su erozyonu, yıkanma ve toprak dağılması ile taşınması engellenmektedir. Bitkinin kök çevresi mikrobiyolojisi ve kimyası ile yakından ilişkili olan sistemde bitki, kirletici etmenin yapısını suda çözünemeyen-taşınamayan şekilde değiştirebilmektedir (Epa, 2000). Köklerle sabitleme toprak, sediment ve çamurda uygulanabilmektedir. Toprak taşınmasını gerektirmemesi önemli bir avantajdır. Ayrıca alan bitkilendirildiği için ekosistemi zenginleştirmektedir. En önemli dezavantajı kirlilik etmenlerinin alanda kalarak uzun zaman içindeki değişikliklerle taşınabilmesi veya yıkanarak taban suyuna karışabilmesidir (Henry, 2000).

Aynı zamanda gövdelerinde düşük seviyede bir birikim gösterdikleri için, hasattan sonra kalıntıların tehlikeli atık haline gelmesi elimine edilmiş olmaktadır. Toprakta bulunan metalleri stabilize etmesinin yanı sıra bu bitkiler aynı zamanda, toprak matriksindeki erozyonu ve sedimentin hareketini de stabilize eder (Epa, 1995).

1.2.1.3. Köklerle Bozunum (Rhizodegradation)

Köklere bozunum, kök çevresindeki mikroorganizmaların zenginleştirilerek organik kirleticilerin toprakta bozulması işlemidir. Kök çevresinde mikrobiyal aktiviteleri etkileyen ve köklerden bırakılan şeker, amino asit, organik asit, yağ asitleri, sterol, büyüme etmenleri, nükleotid, flavanon ve enzimler bulunur. Kirlilik yaratan organik bileşikler de bu çevrededir. Kökle bozunumun en önemli yararı kirleticilerin doğal ortamda yok olmasıdır. Ancak bunlar bitki veya atmosfere az da olsa taşınmaktadır.

Köklere bozunum; petrol artıkları, polisiklik aromatik hidrokarbonlar, benzen, toluen, etilbenzen, ksilen, pestisitler, klorlu çözücüler, pentaklorofenol, poliklorinli bifeniller (PCB) gibi kirlilik etmenlerine karşı uygulanabilmektedir (Farrell ve ark., 1999).

Bu yöntemde bitkiler, organik kirleticileri etkisiz hale getirmek için toprak mikroorganizmaları ile birlikte çalışırlar. Organizmaların enerji gereksinimleri için ihtiyaç duyulan besinleri üreten mikroorganizmalar, kök sistemi vasıtasıyla kirlilik materyallerinin biyodegradasyonunu gerçekleştirirler. Bu birliktelik yaşamsal faaliyetlerini devam ettirebilmeleri için mikroorganizmaları yeterli bir seviyede tutar. ve toksik kirleticilerin devamlı bir degradasyonunu sağlar. Toprakta mevcut olan mikroorganizmalar yakıtlar ve solventler gibi organik kirleticileri parçalayıp bünyelerinde toplarlar. Bitki kökü şekerler, alkoller ve organik asitleri toprak mikroflorası için karbonhidrat kaynakları olarak harekete geçirirler, mikrobiyal oluşumu ve aktiviteyi arttırmırlar. Bitki kökleri ayrıca toprağı gevşetir ve böylece ek olarak mikrobiyal aktivite artar (Mirsal, 2004).

1.2.1.4. Bitkisel Bozunum (Phytodegradation)

Bitkisel bozulum, olarak da bilinen phytodegradation kirletici etmenlerin bitki bünyesine alınarak metabolizma işlemleri sırasında değiştirilmesidir. Bozunma işlemi bitkinin dışarıya bıraktığı bileşiklerle bitki dışında da olabilir. Phytodegradation işleminde bitkinin kirletici etmeni bünyesine alması gerekir. Bu işlem genellikle kök bölgesi ile hatta en uç kök kısımları ile sınırlıdır (Epa, 2000).

Bu metotta kullanılan bitkiler de organik kirleticilerin yapısını bozma ve ayrıştırma yeteneğine sahiptirler. Bu oluşum esas olarak enzimatik reaksiyonlar vasıtasıyla gerçekleşir. Yani bazı kirleticiler bitkiler tarafından adsorbe edilebilir ve bitki enzimleri vasıtasıyla daha sonra bozunuma uğratılabilirler. Bu adsorbe edilen organik bileşikler metabolik mekanizmalar vasıtasıyla daha küçük parçalara ayrılırlar. Bu küçük kirletici molekülleri daha sonra da bitkiler tarafından metabolit olarak ayrıca kullanılabilirler. Böylece bitki dokuları ile birleşmiş hale gelirler. Bitki enzimleri cephane atıkları, klorine olmuş solventler (TCE: trichloroethane) ve ayrıca organik herbisitler gibi degrade olabilen diğer zararlı maddeleri bozunmaya uğratmaları ile tanımlanırlar (Mirsal, 2004).

1.2.1.5. Bitkisel Buharlaştırma (Phytovolatilization)

Bitkisel buharlaşma, organik (klorlu çözücüler) ve inorganik (Hg, Se) kirletici etmenlerin bitki bünyesine alınarak, yapısının atmosfere verilecek şekilde değiştirilmesi ve atmosfere verilmesidir. Yöntemin en önemli avantajı çok zehirli bileşiklerin (örneğin civalı bileşikler) daha az zehirli formlara dönüşmesidir. Ancak çok zararlı-zehirli materyallerin atmosfere bırakılabilmesi de bir dezavantajdır (Epa, 2000).

Bu sistemde kök derinliği çok önemlidir. Yeraltı suları konu ise bitki köklerinin derin olması gerekir. Kirli yeraltı suları pompalarla yüzeye çıkarılarak suyun daha sıkı bitki köklerine alınması da sağlanabilir (Epa, 2000).

Bu yöntem organik kirleticileri içeren suyun büyük bir miktarını alan ağaçlarda meydana gelir. Kirleticiler terleme yoluyla bitki sisteminden ayrılabilir ya da buharlaşabilir. Bilindiği gibi su, köklerden yapraklara kadar bitkinin vaskular sistemi vasıtasıyla hareket eder. Böylece kirleticiler bitkiyi çevreleyen havaya buharlaşma yoluyla ve uçucu hale gelerek karışır. Bu mekanizmaya örnek olarak verilebilecek bitki kavak ağaçlarıdır (Türkoğlu, 2006)

1.2.1.6. Organik Pompalar

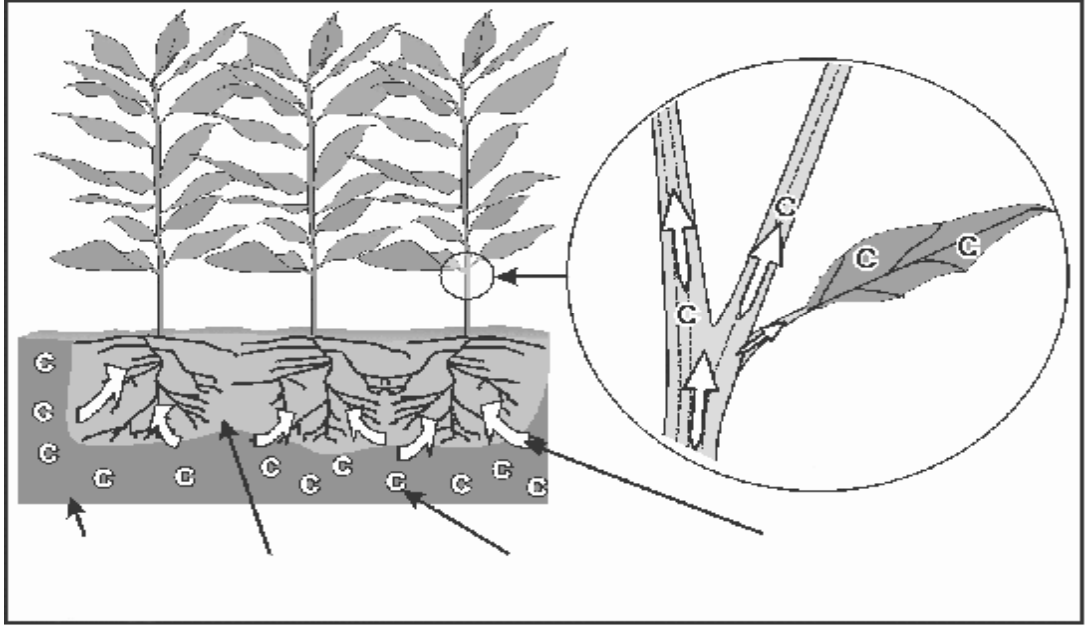
Bazı ağaçlar (kavak ağaçları gibi) yeraltı suyunun önemli bir kısmını topraktan alma yeteneğine sahiptirler. Böyle bir uygulama kirleticilerin yer altı

suyuna ulaşmasını ve saturasyon zonuna girme eğilimlerini azaltır. Su tablasının yakınında sık bir kök sistemi ağının oluşturulmasıyla doğal hidrolik pompalar olarak etkili bir şekilde hareket eden bitkiler bir günde büyük miktarlarda suyu buharlaştırabilirler. Yukarıda da değinildiği gibi bu yöntem yeraltı suyu içerisinde bulunan yüzey suyundaki ve içme suyu kaynaklarındaki kirleticilerin bir yerden başka bir yere hareket etmesini azaltmak için kullanılmaktadır (Mirsal, 2004).

1.2.1.7. Bitkisel Özümlenme (Phytoextraction)

Bazı bitkilerin topraktaki organik veya inorganik kirlilik etmenlerini kök veya sürgünlerine almasından yola çıkılarak oluşturulmuş bir teknik olup, genelde ağır metallere kirliliği toprakların ıslahı amacıyla kullanılmaktadır. Dağınık olarak kirlili alanların iyileştirilmesi için çok geçerli bir yöntem olup, kirlenmiş bölgeye dikilen giderim yeteneği olan bitkinin budanması veya sökülmesi ile kirlilik etmenleri alandan uzaklaştırılmaktadır. Biçilen veya budanan bu kısımların yeniden kullanılabilmesi önemli bir avantajdır. Çünkü bu türdeki bitkiler diğer bitkilere oranla bünyelerinde 100 kata kadar daha fazla kirlilik etmeni biriktirebilmektedirler. Hasat edilen kısımlar gübre olarak kullanılabilirdiği gibi, içindeki ağır metaller yeniden elde edilebilmektedir (Epa, 2000).

Bitkisel madencilik (phytomining) denilen bu yöntem; işlenerek çıkarılması ekonomik olmayan maden cevherlerinin elde edilebilmesi yolunu açmaktadır. ABD’de bu yolla altın ve nikel gibi elementler geri kazanılmaktadır (Sutherson, 1999; Epa, 2000; Pivetz, 2001). Bu yöntem için uygun ve çoğu *Brassicaceae*, *Euphorbiaceae*, *Asteraceae*, *Lamiaceae* ve *Scrophulariaceae* familyalarından olmak üzere bünyesinde ağır metal biriktirebilen 400 kadar tür saptanmıştır (Hossner ve ark., 1998; Jhee ve ark.1999; EPA, 2000; Garbisu ve Alkorta, 2001; Pivetz, 2001).



Şekil 1.2. Bitkisel Özümlenme (Brookhaven, 2004)

Bitkisel özümlenme, metalleri ve radyonükleitleri taşınabilir kimyasal formlara dönüştürerek tutulmasını sağlamaktadır. Bu formlar insan ve çevre sağlığı için kirleticinin en tehlikesiz halidir. Diğer iyileştirme yöntemleriyle karşılaştırıldığında, maliyeti oldukça düşük ve materyallerin elle işlenmesi oldukça limitlidir. Genellikle bu işlemden sonra yetişecek bitki türleri içinde verimli bir ortam hazırlanmış olur (Epa, 2000).

Bu teknoloji uygulanan diğer tekniklere göre daha fazla zaman alır ve çok yoğun kirleticinin bulunduğu yerlerde uygulanması zordur. Ayrıca bölgenin ekosisteminde bulunan bir bitki türü seçilmelidir. Kullanılacak bitkiler hasat edileceğinden mevsimlik olmamalıdır. Eğer bitkinin alımını kolaylaştırmak için toprakta katkı maddeleri kullanılacaksa, bitki alımından önce taşınımı engellemek için ilave önlemler alınması gerekmektedir. Bitkisel özümlenme organik kirleticileri direk olarak topraktan gideremez. Ancak mikrobiyal aktiviteyle desteklenmiş kök sistemleri bunu gerçekleştirebilmektedir (Epa, 2000).



Şekil 1.3. Hasat İşleminin Sonra Kullanılan Bitkinin Son Hali (Brookhaven, 2004)

Bitkisel özümleme genellikle düşük maliyetlidir. Ancak bu durum uygulanacak bölgenin yapısına bağlıdır. Bazı araştırmalara göre maliyet artılacak her m³ toprak için yaklaşık olarak 16\$~62\$ arasında olduğu hesaplanmıştır.

Çizelge 1.2. Kirlenmeler İçin Buldukları Ortama Göre Yapılan Uygulamalar (Epa, 1995)

Uygulama	Kirlenici	Ortam	Bitki(ler)
Phytoextraksiyon ve Rhizodegradasyon	Petrol ürünleri ve Hidrokarbonlar	Toprak ve yeraltı suyu	Yonca, kavak, Ardıç
Phytostabilizasyon	Ağır metaller	Toprak	Hibrid kavak, çim
Rhizofiltrasyon	Radyoaktif madde	Yeraltı suyu	Ayçiçeği
Phytoextraksiyon	Radyoaktif madde	Toprak	Hind hardalı, lahana
Phytodegradasyon	Patlayıcı madde atıkları	Yeraltı suyu	Su mercimeği

1.2.2. Yeşil Islah Teknolojisinin Temel Uygulama Alanları

Yeşil ıslah teknolojisi, kirliliğin türüne ve bulunduğu ortama göre çok farklı uygulama alanlarına sahiptir. Burada bu uygulama yöntemlerinin en temelleri olan hidrolik kontrol sistemi ve vejetatif örtü sistemleri ve yapay sulak alanlara değinilmiştir (Epa, 2000).

1.2.2.1. Hidrolik Kontrol

Hidrolik kontrol, bitki kullanılarak yeraltı sularında kirlilik etmenlerinin birikmesinin ve taşınmasının engellemesi veya kontrol altında tutulmasıdır. Bu işlem yeraltı ve yüzey sularına uygulanabilmektedir. Bu sistemde daha önce bahsedilen yeşil ıslah kategorilerinin birden fazlası bir aradadır. En önemli avantajı herhangi bir yapay sistem kurulmasına gerek olmaması ve köklerin geniş bir alana yayılması nedeniyle ıslah etki alanının çok genişlemesidir. En önemli dezavantajı ise mevsim ve iklime bağlı olarak bitkinin su alımının değişmesidir (Epa, 2000).

Yeraltı suyunun ıslahı için derin köklü bitki türleri kullanılmalıdır. Gaz ve dizel kirliliğine karşı kavak türleri bir engel görevi yapar. Söğüt ve okaliptus türleri de bu amaçlarla kullanılmaktadır. Beş yaşındaki bir Populus ağacının günde 100–200 litre su alması, tek bir söğüt ağacının terleme miktarının bir günde 20 m³ suya eşdeğer olması bu bitkilerin su kullanma yeteneklerini ve bu amaçla kullanımlarının önemini vurgulamaktadır (Epa, 2000; Pivetz, 2001).

1.2.2.2. Vejetatif Örtü Sistemleri

Uzun ömürlü ve kendi kendini yenileyen bir yapı olarak vejetatif örtü sistemleri çevresel risk taşıyan materyallerin içinde veya üzerinde büyümekte ve minimum bakım gerektirmektedir. Vejetatif örtü topraktan buharlaşarak su kaybını engelleyici olarak veya ıslah edici olarak iki tiptir. Birinci tipte bitki toprağın su kaybını minimize ederken, su tutma yeteneğini de maksimize etmekte, kirletici etmenler ise yıkanma formasyonuna indirgenememekte veya hareket edememektedir. Yeşil ıslah amaçlı ikinci tip örtüde ise bitki bir örtü olarak suyun süzülmesini minimize etmekte ve alt tabakadaki kirliliğin bozulmasını sağlamaktadır. Mekanizmada su alımı, kök çevresi mikrobiyolojisi ve bitki metabolizması faktörleri ile olmakta, sistemde hidrolik kontrol dâhil farklı yeşil ıslah kategorileri bulunabilmektedir. Uygulamalarda vejetatif örtü genellikle kirliliğin dağılmasını engelleyecek bariyerler şeklinde oluşturulmaktadır. Vejetatif örtüler kirlenmiş yüzey toprağı veya çamur olan yerlerde, belirli kirlilikleri yayan ünitelerin etrafında ve kirli birikintilerin olduğu yerlerde kurulabilmektedir (Epa, 2000).

Kök çevresindeki aerobik mikrobiyal aktivite, katı atık depolama alanlarında anaerobik gazların oluşmasını engelleyebilmekte veya bozulmasını sağlayabilmektedir. En önemli dezavantajı uygun bitki örtüsünü garantiye almak için gerekli olabilecek uzun süreli bakım ve kontrolün sağlanması gereğidir. Çünkü bitki türlerinden bazıları zaman içinde diğerine daha baskın hale gelebilmektedir (Epa, 2000; Pivetz, 2001).

Kirliliğe neden olan bir su kaynağı veya akarsu kenarında kurulan vejetasyon örtüsüne ise “Nehir Kıyısı Vejetasyon Örtüsü” adı verilir (Riparian Corridors). Bu örtü yeşil ıslahın kategorileri ile kirliliğin ıslahı, çevreye yayılmaması, taban suyuna karışmaması gibi görevler üstlenmektedir. Genelde suda eriyebilen kirlilik etmenlerinin bertaraf edilmesi kolaydır. Sistem erozyonu da kontrol eder ve sedimenti azaltır. Kanada’da yapılan çalışmalarla toprak erozyonunun % 90, herbisit akışının % 42–70 oranlarında azaldığı belirlenmiştir (Pivetz, 2001). Ayrıca sistemle sudaki sediment % 71–91, azot % 67–96, fosfor % 27–97, pestisitler % 8–100 ve fekal koliformlar % 70–74 oranlarında azalabilmektedir (Gabor ve ark., 2001; Pivetz, 2001).

1.2.2.3. Akarsu Kenarı Vejetasyon Örtüsü (Riparian Corridors)

Kirliliğe neden olan bir su kaynağı veya akarsu kenarında kurulan vejetasyon örtüsüdür. Bu örtü yeşil ıslahın kategorileri ile kirliliğin ıslahı, çevreye yayılmaması, taban suyuna karışmaması gibi görevler üstlenir. Genelde suda eriyebilen kirlilik etmenlerinin bertaraf edilmesi kolaydır. Sistem erozyonu da kontrol eder ve sedimenti azaltır. Kanada’da yapılan çalışmalarla toprak erozyonunun % 90, herbisit akışının % 42-70 oranlarında azalttığı belirlenmiştir. Ayrıca sistemle sudaki sediment % 71-91, azot % 67-96, fosfor % 27-97, pestisitler % 8-100 ve fekal koliformlar % 70-74 oranlarında azalabilmektedir (Gabor ve ark., 2001; Pivetz, 2001).

1.2.2.4. Yapay Sulakalanlar

Organik, inorganik ve gübre ile kirlenmiş yüzey suları, kentsel atıksular, çöp sızıntı suları gibi kirliliğin artırılmasında uygulanan ve yapay olarak kurulan

sistemlerdir (Pivetz, 2001). Kadlec ve Knight (1996), Campbell ve Ogden (1999) bu konuyu tüm yönleri ile ele almışlar ve detaylı örneklemeler yapmışlardır.

1.2.3. Islah (Phytoremediation) Tekniğinde Kullanılan Bitkiler ve Özellikleri

Ağaç çeşitlerinin çoğu kötü koşullara sahip karakterdeki arazilerde bile büyüebilmektedir. Bu durum verimsiz ve kötü kalitedeki topraklar üzerinde ağaçların düşük maliyet ile yetiştirilebilmesine olanak vermektedir. Ağaçlar aynı zamanda toprağın metrelerce derinliklerine kadar inebilen, masif kök sistemine sahip olan bitkilerdir. Bazı çeşitlerde, ağacın toprak üstünde kalan bölümü hasat edilebilmekte, çevreye herhangi bir zarar vermeden kesilen yerlerden yeni sürgünler çıkmak suretiyle ağaç yeniden büyümektedir. Ağır metallerin bitkinin odunsu yapısına bağlanmaları durumunda bu yöntem, kirleticilerin düzenli olarak yok edilmesi açısından yararlıdır.

Bitki ile iyileştirmede kullanılacak en uygun bitki, aşağıda belirtilen özelliklere sahip olmalıdır.

- Yüksek metal düzeylerinde bile yaşayabilme,
- Hasat edilebilen kısımlarında yüksek düzeyde metal toplayabilme,
- Hızlı bir büyüme yeteneği;
- Arazide çok miktarda biyokütle üretebilme potansiyeli,
- Güçlü ve zengin bir kök sistemi.

Bitkilerin metalleri konsantre etme kapasiteleri, zararlı bir özellik olarak kabul edilir. Çünkü bazı bitkiler doğrudan veya dolaylı olarak, insanların beslenme yoluyla almış oldukları zehirli ağır metallerin bir bölümünün sorumluluğuna sahiptirler (Brown ve ark., 1994). Bitkilerin besin olarak tüketilmesi yoluyla ağır metallerin insanlar tarafından alınması, insanlar üzerinde uzun süre etkili olabilmektedir (Ow, 1996). “Metal hyperaccumulator’ler” diye adlandırılan doğal olarak ortaya çıkan bitkiler, ekimi yapılan bitkilere kıyasla 10 ± 500 kez daha yüksek düzeyde element toplayabilmektedirler. Metallerin hyperaccumulator’lerde toplanma derecesinin, çoğunlukla kuru ağırlıklarının $1\pm 5\%$ ’i olduğu gözlenmiştir. Ne yazık ki, bu bitkilerin pek çoğu fazla büyük değildir ve de yavaş büyümektedirler. Bunların büyük miktarlarda yetiştirilmeleri için teknolojik olarak yetersizliğimiz söz

konusudur. bu bitkilerin yıllık biomass verimleri genellikle diğer bitkilere göre bir iki kat daha düşüktür (Ow, 1996). Bu nedenle yüksek biomass değerlerine sahip olan ve mevcut agronomik uygulamalarla kolayca yetiştirilebilen bitkilerde metal birikim kapasitelerinin değerlendirildiği araştırmalara önem verilmektedir.

Çizelge 1.3. Toprak Kirliliğinin İyileştirilmesinde Kullanılan Bazı Bitki Türleri İle Bünyelerinde Biriktirebildikleri Metal Miktarları (Brooks ve ark., 1998).

Element	Bitki Türleri	Toprak altı biomass konsantrasyonları (Mgha ⁻¹)	Tek yıllık bitkilerin toprak üstü biomassı (Mgha ⁻¹)
Kadmiyum, Krom	<i>Thlaspi caerulescens</i>	3000	4
Kobalt	<i>Haumaniastrum robertii</i>	10200	4
Bakır	<i>Haumaniastrum katangense</i>	8356	5
Kurşun	<i>Thlaspi ratundifolium</i> subsp.	8200	4
Mangan	<i>Macadamia neurophylla</i>	55000	30
Nikel	<i>Alyssum bertolonii</i>	13400	9
Nikel	<i>Berkheya coddii</i>	17000	18
Selenyum	<i>Astragalus pattersoni</i>	6000	5
Talyum	<i>Iberis intermedia</i>	3070	8
Uranyum	<i>Atriplex confertifolia</i>	100	10
F	<i>Thlaspi calaminare</i>	10000	4

1.3. Ağır Metal Biosorbsiyonu

Metaller, doğal olarak yer kabuğunun yapısında bulunan elementlerdir. Periyodik cetvelde hidrojenen uranyuma kadar 90'ın üzerinde element mevcuttur ve bunların 20'si hariç diğerleri metal olarak karakterize edilmektedir. Ancak bu metallerin 59 tanesi "ağır metaller" olarak sınıflandırılmaktadır (Krenkel ve Novotny, 1980).

İnsanoğlunun soluduğu hava, içtiği su ve yediği besinlerdeki metal içerikleri eskiye göre artmıştır. Bunun nedenleri tarımda üretim yöntemlerinin çok değişmiş olması, artan gübre ve zirai ilaç kullanımı, transport araçlarının egzoz gazları, üretimin artması ile artan katı atıklar, atık sular ve bunların sağlıksız bir biçimde depolanmaları ile besin maddelerine ulaşabilmeleri kentlerin büyümesi ile yoğun yaşam koşulları, kullanılan yakıtların kalitesi gibi eskiye göre çok değişmiş olan

koşullardır. Gerçi metallerin hepsi insan sağlığına zararlı değildir. Örneğin insan vücudunun ihtiyaç duyduğu K, Ca, Mg ve Fe gibi metallerde vardır.

Doğada tabii olarak bulunan 90 elementten 26'sı insan ve hayvan hayatı için önemlidir. Bunlardan 11 adedi makro element, 15'i mikro elementlerdir.

Temel mikro elementler Fe, Zn, Cu, Mn, Co, Mo, I, Si ve V'den oluşan 9 adedi bitkiler için faydalıdır. Bitkilerin çeşitli element içerikleri ise, bitki türüne, genetik yapısına, yetiştiği toprağın mikro element içeriği iklim şartlarına ve bitkinin yetiştirme düzenine bağlıdır.

Bazı bitkilerin mikro elementlerin aşırı biçimde biriktirdikleri bilinmektedir. Aynı toprakta yetişen ve aynı olgunlukta olan baklagiller ot ve tahıllara göre daha yoğun Co, Ni, Fe, Cu, Zn içerir.

Maden endüstrisi: Kömür ve diğer maden ocaklarının çalıştırılabilmesi için madenden çıkarılarak atılması gereken maden drenajları yüksek derişimlerde Ca, Mg, Fe ve düşük derişimlerde Al, Mn ve diğer ağır metal iyonlarını içerir. Cu, Zn, Pb, Cr, Cd, Ni gibi elementleri içeren cevherlerin gerek topraktan çıkarılması, gerekse temizlenmesi, öğütülmesi ve saflaştırılması esnasında oldukça fazla su kullanılır ve bu sular yüksek derişimler de adı geçen metal iyonları içerir.

Metal endüstrisi: Bu endüstrilerin çeşitli fiziksel ve kimyasal proseslerinde fazla miktarda su kullanılır. Atık suları bu metal iyonlarını içerir.

Diğer sanayi tesisleri: sanayi tesisleri atıksuları, en fazla ağır metal kirliliği ve zehirliliği içeren atıksulardır. Metal kaplama sanayi, otomotiv fabrikaları, elektrik, elektronik mutfak ve ev eşyaları üreten sanayi tesisleri, boru, kapsül, tüfek, makine ve boya endüstrileri atıksuları bu guruba girer.

Ağır metallerin çevreye yayılımında etken olan en önemli endüstriyel faaliyetler çimento üretimi, demir-çelik sanayi, termik santraller, cam üretimi çöp ve atık çamur yakma tesisleridir. Havaya bırakılan ağır metaller, sonuçta karaya ve buradan bitkiler ve besin zinciri yoluyla da hayvanlara ve insanlara ulaşırlar ve aynı zamanda hayvan ve insanlar tarafından havadan aerosol olarak veya toz halinde solunurlar.

Ağır metaller endüstriyel atık suların içme sularına karışması yoluyla veya ağır metallerle kirlenmiş partiküllerin tozlaşması yoluyla da hayvan ve insanlar üzerinde etkin olurlar.

Çizelge 1.4. Ağır Metal Kaynakları

Ağır Metal Kaynakları	Metal Türleri
A-Metal İşletmeciliği - Demir-Çelik İşletmeciliği - Maden Çıkarma Faaliyetleri - Metal İşleme Endüstrisi - Metal Kaplama Endüstrisi	- Pb, Cu , Ni - Ag, As, Cd, Pb, Hg, ve Cu - Ni, Cu, Cr, Zn, Cd ve Pb - Ag, As, Ni, Pb, Zn ve Cu
B- Diğer Endüstriyel Kaynaklar - Plastik Endüstrisi - Tekstil Endüstrisi - Ev Aletleri İmalatı - Ağaç İşletmeleri - Rafineri Tesisleri	- Cd, Cr, Co ve Hg - Zn, Al, Sn ve Ti - Cu, Cd, Fe, Zn, Ni ve Sb - Cu, Fe, Cr ve As - Pb, Cd, Ni ve Cr
C- Şehir İçi Kaynakları - Taşıt Aşınmaları - Fosil Yakıtlar - Elektronik ve Elektrikli Ev Aletleri - Atık Piller - Metal Yapı Malzemeleri - Arıtma Tesisi Çamurları - Kazı Ve Dolgular	- Pb, Cd, Fe, Mn ve V - Pb, Cd, As, Sb, Se, V ve Zn - Zn, Cu, Fe, Pb ve Cd, - Cd, Ni, Cu ve Zn - Zn, Ni, Ag, Fe, Sb ve Cr - Pb, Cd, Ni, Zn, Cu ve Cr - Pb, Cd, As ve Fe
D- Tarımsal Kaynaklar - Pestisitler ve Herbisitler - Gübreler	- Cu , Zn , Mn ve Cd - Cu, Zn, As ve Mn

1.3.1. Ağır Metaller ve Özellikleri

1.3.1.1. Demir (Fe)

Demir, yer kürede en fazla bulunan metallere birisidir. Doğal sularında 0,5 – 50 mg/litre arasında bulunur. Demir yeraltı sularında hemen her zaman, yüzeysel sularında ise yılın bazı aylarında yüksek konsantrasyonlarda bulunmaları nedeniyle içme ve kullanma suları bakımından sorun yaratmaktadır.

Bitki, demiri kök uçlarında bulunan özel demir alıcılarla alır. Fe (III) alınabilmesi için önce Fe (II) ye indirgenmesi gerekir. İndirgenmenin korteks hücrelerinin plasma lemmasının yüzeyine lokalize olmuş enzimlerce gerçekleştiği düşünülmekte olup, bunun için gereken elektron hücrelerin sitokrom (cytochrom) ve flavin (örneğin Riboflavin) üzerinden sağlanır. Bitkinin yeterince Fe ile beslenebilmesi onun indirgeme gücüne bağlıdır.

Bitkilerde demir miktarı, kuru madde üzerinden 50 ile 2000 ppm gibi geniş bir yelpazede değişir. Gelişme devresine ve bitki çeşidine göre demir miktarı değişir. Primer demir noksanlığı için kritik nokta 50 ppm veya biraz üzerindedir. Fotosentetik olarak gelişmesini tamamlamış ve tam aktif yapraklarda fazla miktarda demir bulunur. Çünkü demir ile normal beslenen veya noksanlığı çeken bitkilerin toplam demir miktarı yüksek olabilir. Bitkideki toplam demirin yaklaşık %80 kadarı ince strüktürlü kloroplastlarda lokalize olmuş veya proteinlere bağlı olarak bulunur.

1.3.1.2. Kurşun (Pb)

Çağımızda toprakta en önemli kurşun kaynağı yanan petrol ürünleridir. Topraktaki yüksek pH derecesi mevcut kurşunun, hidroksit, fosfat ve karbonat bileşikleri olarak çökmesine yol açmaktadır. Kireçli topraklarda kireç kurşun iyonları ile yer değiştirerek kurşunun toprakta tutulmasına yol açmaktadır.

İnorganik kurşun genel olarak bitkilerin dış cephesinde kaldığından yıkama ile büyük ölçüde temizlenir. İnorganik kurşun tohum ve köklerde aşırı birikme yapmaz. Organik kurşun ise bitkiler tarafından hızla alınmaktadır.

1.3.1.3. Kobalt (Co)

Kobalt, çevreye doğal kaynaklardan ve kömür, petrol ya da kobalt alaşımı ürünlerin yanmasıyla girer. Havada parçacık halinde bulunup, birkaç günde su veya toprağa düşerek, parçacıklara bağlanır. Bazı kobalt bileşikleri suda çözülebilir, çevrede yok olmaz ancak form değiştirir. Çevredeki radyoaktif kobalt miktarının artmasının tek sebebi radyoaktif bozulmadır. Solunum, gıda ve içme suyuyla düşük miktarda kobalt alımı söz konusudur. İnsan sağlığına hem zararlı hem de faydalı olabilir (Atsdr, 2003).

Günlük besin ihtiyacımızda çok küçük bir yer teşkil eden kobalt, kırmızı kan hücrelerini üretiminin ve sinir düzenlenmesinde kullanılan B12 vitaminin bileşenidir. En fazla karaciğerde birikip, yüksek düzeylerde alımı, insanlarda ve hayvanlarda akciğer, kalp, karaciğer, böbrek ve deri hastalıklarına sebep olabilir. Gıda ve suyoluyla yüksek düzeyde radyoaktif olmayan kobalt alımının insan ve hayvanlarda kanserojen olmadığı bildirilmektedir. Fakat yapılan hayvansal deneylerde direkt solunum yoluyla verildiğinde ya da kas ve deri altına uygulandığında kansere sebep olduğu görülmüş ve buna dayanarak, insanlarda da kanserojen olabileceği bildirilmiştir. Yüksek düzeyde kobalt radyasyonu, hücrelerdeki genetik materyalleri değiştirerek, bazı kanser tiplerinin gelişmesine sebep olabilir (Özdilek, 2002; Türkmen, 2003).

Toprakta da normal düzeyi dekara 0.25–10 kg'dır. Kumtaşı ve kireç taşında kobalt çok azdır. Kumlu, yüksek kireçli ve asidik karakterli kayalardan oluşan topraklarda eksikliğine sık rastlanır. Mangan fazlası olan topraklarda da olumsuz etki yapmaması için kobalt uygulanır.

1.3.1.4. Kadmiyum (Cd)

Pek çok organizma için toksik olan Cd, direk sudan, bir dereceye kadar havadan ve besin yoluyla alınarak, hem bitkisel ve hem de hayvansal organizmalarda birikme özelliğine sahiptir. Çinko rafinerileri civarında, oto lastikleri ve madeni yağlarda bulunması nedeniyle sulanan topraklarda kadmiyum yoğunluğu yüksektir.

Bütün gıdalarda çok az da olsa bulunur. Özellikle mantarlar başta olmak üzere kabuklular, karaciğer ve böbrek etleri kadmiyumca zengindir. Nefes yoluyla insanlarda alımı akciğer hastalığı, yüksek kan basıncı, su ve gıdalarla alımı karaciğer, böbrek, beyin, sinir hastalıkları kemiklerde hassasiyet, demir eksikliği gibi pek çok hasarlara yol açar ve çoğu ölümcül olabilir. Kadmiyum, larvaların büyüme ve yasama oranlarının düşmesine sebep olduğundan sucul organizmalar için oldukça toksiktir. Balıkta iyon dengesinin bozulmasına sebep olan kadmiyum zehirlenmesi kalsiyum metabolizmasını engelleyerek de zararlı olur. EPA (Enviromental Protection Agency)'ya göre içme sularında ki maksimum değeri 0.05 mg/L'dir (Türkmen, 2003).

Toprakta aşırı kireç ve çinko bitkinin kadmiyum alımını etkiler. Yüksek toprak pH'ı ve yüksek kil oranında kadmiyumun bitkiler tarafından alınmasını yavaşlatan faktörlerdir. Kullanılan fosforlu gübreler de toprağa bir miktar kadmiyum katılmasına yol açar.

Ağır metallerin bitkiler tarafından alınması toprak şartları ile yakından ilgilidir. Yüksek pH derecelerinde, fazla killi veya fazla humuslu topraklarda kadmiyumun bitki tarafından alınması zorlaşır.

1.3.1.5. Çinko (Zn)

Günümüzde çinko çelik, alüminyum ve bakırdan sonra dünyada miktar olarak yıllık tüketimi en fazla olan metaldir. Çinko gerek kaplama ve parlatma malzemesi olarak gerekse alaşım olarak para basımında önemli bir elementtir. İnsan vücudunda çinko bağışıklık sisteminin sağlıklı bir şekilde çalışabilmesi bakımından bolca ihtiyaç duyulan bir mineraldir. Çinko eksikliği vücudu enfeksiyonlara karşı dirençsiz kılar ve tat, koku duygularını zayıflatır. Özellikle diyabet ve böbrek hastaları çinko eksikliği tehlikesi ile karşı karşıyadır.

Çinko vücutta üreme organlarının gelişimi için önemli bir mineraldir. Çinko azlığı sperm sayısının azlığı ve testosteron seviyesinin azlığına da sebep olmaktadır. Anne karnındaki bebeğin cenin halindeki durumunda çinko eksikliği büyüme gecikmesine vücutta bozuk oluşumlara ve kromozomlarda anormalliklere yol açar. Doğumdan sonraki bebekteki çinko eksikliği ise cüceliğe, cinsel gelişmede gecikmeye, saç dökülmelerine ve deri problemlerine neden olmaktadır.

Vücutta çinko eksikliği ise tırnaklarda incelme, beyaz lekeler, yorgunluk, kolesterol düzeyinde artış, gece görme bozuklukları tekrarlayan enfeksiyonlar, kısırlık, prostat bozuklukları ve hafıza kaybı gibi etkileri bulunmaktadır.

Yüksek pH'lı topraklarda çinko bileşikleri zor çözülür. Bitkilerde yüksek miktarlarda fosfor uygulaması çinko açlığına yol açabilir. Bitkilerde çinko açlığı, yaprak damar aralarında sararmalarla başlar.

1.3.1.6. Mangan (Mn)

Doğada mangan daha çok demir oksitlerle birlikte bulunur. Toprakta 50-750 kg/dekar arasında ölçümler normaldir.

Topraklarda kireçleme toprak pH'sını ve kalsiyum yoğunluğunu yükselterek bitkinin mangan alımını zorlaştırır.

Mangan yönünden fakir topraklarda, bitkilerin genel olarak 100–250 g/dekar mangan kullandığı göz önünde tutularak yeter miktarda mangan sülfat verilmesi gerekir.

1.3.1.7. Krom (Cr)

Kromun diğer isimleri : Krome(chrome) ve Frençtir.

Atom numarası : 24

Atom ağırlığı : 51.996 g

Atom hacmi : 7.23 cm³

Yoğunluğu: 7.14 g/cm³

Kaynama noktası : 2642 °C

Erime noktası : 1900 °C

Oksidasyon basamakları : 2+, 3+, 6+

Elektron dağılımı : [Ar] 3d⁵ 4s¹

Kristal yapısı : Hacim merkezli kübik

Elektrik iletkenliği: 12 mikroohm⁻¹

Aktiviteleleri: Cr (II), Cr (III)'e hızla okside olmasına karşılık Cr (VI), Cr (III)' e yavaş indirgenir. Cr (III), Cr(OH)₃ (kromhidroksit) veya Cr₂O₃ (kromoksit) formuna hidroliz olurlar. Uçuculuğu önemsizdir. Organik maddeler üzerinde biyolojik birikime neden olur. Mavimsi beyaz renkli parlak bir metaldir. Havayla yüksek nemde bile okside olmaz. Seytrelik HCl (hidrojen klorür) ve H₂SO₄ (sülfirikasit) ile reaksiyon verir, HNO₃ (nitrikasit) ile reaksiyon vermez (Budavari ve ark., 1999). Kostik alkaliler ve alkali karbonatlardan etkilenir (Ün R., 1998).

Krom, ilk kez Fransız kimyacı Vauquelin tarafından 1798'de Sibiryadaki kırmızı kurşun madenlerinde keşfedilmiştir. Krom periyodik tablonun VI-B grubunda yer alan bir geçiş elementidir ve dünyada en çok bulunan yedinci elementtir.

Krom; hayvan, bitki, toprak, volkanik toz, kayalar ve gazlarda doğal olarak bulunan bir element olup, çevrede birkaç formu olabilir. Krom'un stabil olmayan ve biyolojik sistemlerdeki kısa ömre sahip diğer değerlikteki durumlarına rağmen Krom'un stabil formları Cr (III) ve Cr (VI)'dır. Cr (VI), kromun en toksik formu olup genellikle kromat (CrO_4^{2-}) olarak oksijenle ya da dikromat ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) olarak oksiyonlarla kompleks yapmış formda bulunmaktadır (Shanker ve ark., 2005). Cr (III) ise oksit, hidroksit ve sülfat formlarında bulunup çok daha az hareketli, su ve topraktaki organik materyale güçlü bir şekilde bağlı olarak bulunur. Cr (VI) güçlü bir okside edici ajan olup organik madde varlığında Cr (III)'e indirgenmektedir. Bu dönüşüm asidik topraklar gibi asidik ortamlarda daha hızlı olmaktadır (McGrath ve Smith, 1990). Bununla birlikte Cr (VI)'nın yüksek düzeyleri, ortamın indirgeme kapasitesinin üstünde olup bir kirletici olarak davranmaya başlar. Ayrıca Cr (III)' de aşırı oksijen varlığında Cr (VI)'ya oksitlenebilir ve çok toksik bir forma tekrardan dönüşmüş olur (Vajpayee ve ark., 2000).

Krom çelik üretiminde, alaşım yapımında, metal endüstrisinde, krom kaplamada ve paslanmayı kontrol edici madde olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda boya, tuğla ve deri endüstrisi ile gıda koruyucu madde olarak kullanılmaktadır (Atsdr, 2003).

Sadece Cr (III) bileşikleri vücut için diyetle eser miktarlarda alınması gerekli elementlerdir. Diğer formlardaki kroma vücudun ihtiyacı yoktur. Krom partikülleri havaya karıştığında 10 gün kadar kalabilir. Toprak partiküllerine sıkıca yapışır. Suda dibe çöker, topraktan küçük miktarlarda sulara karışabilir. Havadan solunarak, suyla ve besinlerle vücuda alınabilir (Anonymous, 2005).

Cr (III) doğal olarak pek çok taze meyve, sebze, et, bira mayası ve hububat tohumlarında bulunabilir. Farklı işleme, depolama ve hazırlama metotları gıdanın krom içeriğini değiştirebilir. Paslanmaz çelik kutular ve pişirme kaplarında depolanan asitli gıdalar paslanmaz çelik kaplardan dolayı yüksek miktarda krom içerebilir. Dünya sağlık örgütü, nefes yoluyla alınan yüksek dozlarda kromun akciğer kanseri riskini arttırdığını, su ve gıdayla alımların ise mide ülserine, böbrek ve karaciğer hastalıklarına ve hatta ölümlere sebep olduğunu bildirmektedir. Ayrıca bazı insanlarda şiddetli alerjik reaksiyonlarında olduğu belirlenmiştir. Balıklarında

sulardan bünyelerine çok miktarda krom birikimi yapamadıkları ortaya konulmuştur. (Atsdr, 2003).

Krom bileşiklerinin tümü yüksek miktarlarda alındığında toksik olabilir, ancak Cr (VI), Cr (III)'e göre daha toksiktir. Yüksek miktarlarda solunması burun, akciğer, mide ve bağırsaklara zarar verebilir. Krom'a alerjisi olan kişilerde astım krizlerine neden olabilir. Uzun süre yüksek ve orta düzeylerde maruziyet burun kanaması, akciğer hasarı ve kanser dışındaki akciğer hastalıklarında artışa neden olabilir. Sindirim yoluyla yüksek düzeylerde alınırsa mide şikâyetleri ve ülser, konvülsiyonlara, böbrek ve karaciğer hastalıklarına, hatta ölüme neden olabilir. Cilde temas durumunda cilt ülserleri oluşabilir. Ayrıca ciltte alerjik reaksiyonlara yol açabilir. Laboratuvar denemelerinde Cr (VI)'nın kanserojen özelliği tespit edilmiştir ve kanserojen etki özellikle bronş sisteminde etkindir. Kromatlama yapan ve krom üretiminde çalışan işçiler üzerinde yapılan araştırmalarda, cevherden ($Cr_2O_7^{2-}$) (dikromat) üretilmesinde ve izolasyonunda çalışan işçilerde bronşit kanserinin arttığı tespit edilmiştir. Kanser oluşum mekanizması kesin olarak bilinmemekle beraber Cr (VI)'nın çift-iplikli DNA (deoksiribonükleik asit) ile bağlandığı kabul edilmektedir. Dolayısıyla, Cr (VI) gen kopyalanmasını ve onarımını değiştirmektedir. Akciğer kanserine neden olduğu bilinmektedir. Krom saç, idrar, serum, kırmızı kan hücreleri ve kanda tespit edilebilir.

Önceki çalışmalarda, oksidasyon durumuna bağlı olarak kromun biyolojik etkileri araştırılmıştır; Cr (VI) bileşikleri Cr (III) bileşiklerine oranla oldukça yüksek çözünürlüğe sahip olup biyolojik bulunurlukları daha yüksektir (Dirilgen ve Doğan, 2002). Kotas ve Stasicka (2000), krom'un biyolojik bulunurluğu ve hareketi kadar toksisitesinin de esas olarak kimyasal formuna bağlı olduğunu öne sürmüşlerdir. Cr (VI), Cr (III)'e oranla gerek güçlü oksidatif potansiyeli ve gerekse de hücre membranında kolayca difüze olması nedeniyle biyolojik sistemler üzerine toksik etkiler göstermektedir (Dirilgen ve Doğan, 2002). Krom toksisitesi Cr (VI)'nın daha düşük oksidasyon durumlarına indirgenme süreciyle ilişkilidir. Cr (VI)'nın Cr (III)'e redüksiyonu birçok biyolojik sistemlerde rapor edilmiştir; örneğin Cr (VI) geçiş formu krom toksisitesindeki olası önemli mekanizmalara katılmaktadır (Kawanishi ve ark., 1986).

İnsan sağlığı için maksimum izin verilen içme suyu konsantrasyonları TSE (Türk Standartları Enstitüsü), EPA (Amerika Çevre Koruma Ajansı) ve WHO (Dünya Sağlık Örgütü) için krom değeri 0.05 mg/L dir. Toprak kirliliği kontrol yönetmeliğine göre topraktaki maksimum krom ağır metali pH 5–6 ile pH>6 100 mg/kg olarak verilmiştir.

Krom ile kirlenmiş topraklarda yetişen bitkilerde krom 0.03–14 mg/kg (kuru ağırlık) değerinde bulunabilir. Bitkilerde toksik etkiye sahip olan değerler 5–30 mg/kg (kuru ağırlık) civarındadır. Diğer taraftan, 2–18 mg/kg (kuru ağırlık) değerleri ise bitkide % 10 ürün azalmasına sebep olmaktadır (Kabata-Pendias, Pendias 1992).

1.3.2. Ağır Metal Zehirliliği

Zehirlilik (toksikite), zehirli (toksik) maddelerin canlı yapısına girdiği zaman, canlının yapısına ve çeşidine bağlı olarak, olumsuz şekilde etkilemesi ve belli doz aşımlarında canlının ölümüne neden olması şeklinde tanımlanabilir (Conor, 2004). Su ve atıksu içerisinde bulunan kirlenici bileşikler temel olarak fiziksel, kimyasal ve biyolojik kirleniciler olarak gruplandırılmaktadır. Ağır metaller, kimyasal kirleniciler sınıfına giren kirleniciler olmakla beraber öncelikli kirleniciler olarak da nitelendirilmektedirler (Metcalf ve Eddy, 2003).

Tüm canlılar normal yaşam aktivitelerini sürdürebilmek için ortamda bulunan Demir (Fe), Bakır (Cu), Çinko (Zn), Mangan (Mn), Krom (Cr), Molibden (Mo), Vanadyum (V), Selenyum (Se) ve Nikel (Ni) gibi ağır metallere belirli düzeylerde ihtiyaç duyarlar. Adı geçen bu metaller organik moleküllerle ve daha çok proteinlerle birleşerek metal protein komplekslerini oluştururlar. Bunun yanı sıra birçok enzimin yapısında da bulunurlar. Örneğin Fe, kanı kırmızı olan canlılarda, Cu ise kanı renksiz olan deniz organizmalarında oksijen taşıma işlevi yanında, birçok enzim aktivitelerine metaloprotein olarak katılır (Halliwell ve Gutteridge, 1989; Conor, 2004).

1.3.3. Ağır Metallerin Canlılara Etkisi

Endüstriyel ürünlerin üretiminde ağır metallerin yoğun bir biçimde kullanılması nedeniyle insanlar ağır metallere maruz kalmaktadırlar. Cıvalı amalgan

dolgu, boyalar ve musluk sularındaki kurşun, işlenmiş gıdalar, kozmetik ürünleri, şampuan, saç ürünleri ve diş macunundaki kimyasal kalıntılar nedeniyle insanlar her an ağır metallerle iç içe yaşamaktadır (Conor, 2004). Ağır metaller biyolojik prosesleri katılma derecelerine göre yaşamsal ve yaşamsal olmayan olarak sınıflandırılırlar. Yaşamsal olarak tanımlananların organizma yapısında belirli bir konsantrasyonda bulunmaları gereklidir ve bu metaller biyolojik reaksiyonlara katıldıklarından dolayı düzenli olarak besinler yoluyla alınmaları zorunludur. Örneğin bakır hayvanlarda ve insanlarda kırmızı kan hücrelerini ve birçok oksidasyon ve redüksiyon prosesinin vazgeçilmez parçasıdır. Buna karşın yaşamsal olmayan ağır metaller çok düşük konsantrasyonda dahi psikolojik yapıyı etkileyerek sağlık problemlerine yol açabilmektedirler. Bu gruba en iyi örnek kükürtlü enzimlere bağlanan cıvadır. Bir ağır metalin yaşamsal olup olmadığı dikkate alınan organizmaya da bağlıdır. Bakırın bitkiler ve canlılar üzerindeki etkisi, kimyasal formuna ve canlının büyüklüğüne göre değişmektedir. Küçük ve basit yapıları canlılar için zehir özelliği gösterirken büyük canlılar için temel yapı bileşenidir (Conor, 2004).

1.3.4. Ağır Metallerin Alıcı Ortamlardaki Etkileri

Ağır metaller biyolojik prosesleri katılma derecelerine göre yaşamsal ve yaşamsal olmayan olarak sınıflandırılırlar. Yaşamsal olarak tanımlananların organizma yapısında belirli bir konsantrasyonda bulunmaları gereklidir ve bu metaller biyolojik reaksiyonlara katıldıklarından dolayı düzenli olarak besinler yoluyla alınmaları zorunludur. Örneğin bakır hayvanlarda ve insanlarda kırmızı kan hücrelerini ve birçok oksidasyon ve redüksiyon prosesinin vazgeçilmez parçasıdır. Buna karşın yaşamsal olmayan ağır metaller çok düşük konsantrasyonda dahi psikolojik yapıyı etkileyerek sağlık problemlerine yol açabilmektedirler. Bu gruba en iyi örnek kükürtlü enzimlere bağlanan cıvadır.

1.3.4.1. Ağır Metallerin Toprağa Etkisi

Ağır metallerin toprakta birikmesinin sadece toprak verimliliği ve ekosistemin fonksiyonları üzerinde değil aynı zamanda besin zinciri yoluyla hayvan

ve insan sağlığı üzerinde de önemli etkileri vardır. Topraklardaki ağır metal kirliliği, endüstri ve madencilik aktivitelerinin gelişmesiyle ve atıksuyla yapılan sulamaların ve arıtma çamuru uygulamalarının yaygınlaşmasıyla global bir problem haline almıştır. Ağır metallerle kirlenmiş toprakları temizleme çalışmaları çevre mühendisliği alanındaki en zor konulardan biridir. Kirlenmiş toprağın kompleks fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri ile kirleticilerin toprak ortamındaki davranış ve ilişkilerine ait bilgilerin sınırlı olması gibi faktörler, temizleme faaliyetlerinin maliyetlerinin yükselmesinin yanı sıra klasik atık bertaraf teknolojilerinin uygulanmasını da sınırlı boyutlarda kalmasına sebep olmuştur. Bu nedenle toprak kirliliğinin giderilmesinde maliyeti düşük ve etkinliği yüksek uygulanabilir yeni teknolojilerin gelişimine acil olarak ihtiyaç vardır. İzolasyon, immobilizasyon, toksisitenin azaltılması, fiziksel ayırma ve ekstraksiyon toprak temizleme çalışmalarındaki hem arazi ölçeğinde uygulanan hem de gelişme aşaması devam eden teknolojiler incelenerek karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda metallerle kirlenmiş topraklar için en uygun temizleme metodunun seçiminde yöre karakteristikleri, konsantrasyon ve bunlar gibi çeşitli faktörlerin göz önünde bulundurulması gerektiği vurgulanmıştır (Mulligan ve ark., 2001).

1.3.4.2. Ağır Metallerin Sudaki Etkileri

Su kirliliği altmışlı yıllarda hem okyanus hem de kara sularında endişe verici boyutlara ulaşmıştır. Su kirliliğinin artması endüstri alanındaki büyümeyi çok iyi bir şekilde yansıtmaktadır. 19.yy'ın başlarında Türkiye dâhil ve bunun yanında Avrupa'da birçok ülkede lağım suları nehirlere akıtılmaya başlamış ve böylece yalnız büyük ırmaklar kirlenmekle kalmamış aynı zamanda yeraltı suları kirlenmiştir. Bu olaylar sonucu bazen sanayi ve tarım ile bazen de evlerde kullanılan sular önemli sayılabilecek ölçüde kirlenmiştir (Mulligan ve ark., 2001).

Ağır metal gibi kimyasal kirleticiler; sucul canlılarda yarattığı toksik, akut, kronik ve doğrudan etkilerin yanı sıra, dolaylı fizyolojik etkileri de olmaktadır. Bu tür kirleticiler, canlı kaynakların yumurta larvalarını ve genç bireylerini çok daha fazla etkilemektedir. Canlı kaynakların sürdürülebilir üretimlerinin ve nesillerin devam ettirmeleri tehlikeye girmektedir. Fizyolojik etkileri şöyle sıralayabiliriz:

planktonlarda hücre bölünmesinin gecikmesi ve engellenmesi, kabuklularda beslenme alışkanlıklarının değişmesi, balıklarda anormal yumurtlama ve yumurtlama dönemlerinin değişmesi, kanser tümörlerinin oluşumu gibi etkiler yapmaktadır. Pb, Hg, Cu, Zn gibi ağır metaller suda çok az miktarlarda bulunurlar. Bunların hepsi su hayvanları için toksiktir. Çoğu 1 ppm sınırında öldürücüdür (Mulligan ve ark., 2001).

Çinko normal miktarlarda bazı enzimatik fonksiyonlar için gereklidir ve birçok proteinde yapı elementi olarak bulunur. Bakır bazı enzimlerde bulunur ve pek çok omurgasızın kan proteininde solunum pigmenti halinde mevcuttur.

Çinko ve bakır özellikle deniz balıklarındaki protözönlardan meydana gelen hastalıkların tedavisinde kullanılır. Burada metalin toksik etkileri bir süre sonra CaCO_3 (kalsiyum karbonat) ile çökelmeyle giderilir.

Kelatlaşma, bakırın balıklara karşı zehirliliğini azaltır. Örneğin sitrik asitle kelatlaşan CuSO_4 (bakırsülfat) daha az toksiktir. pH = 6–8,5 arasında kelatlaşan bakırın % 90'ının suda çözülmüş kalmasını sağlar.

Ağır metallerin toksisitesi pH, çözülmüş oksijen, sıcaklık, balığın büyüklüğüne oranla çözeltilinin hacmi, çözeltilinin yenilenme frekansı, çözeltideki diğer maddeler ve sinerjetik etki gibi faktörlere bağlıdır.

Suyun pH' ı en önemli faktör olabilir. Ağır metallerin yumuşak sularda sert ve bazik sulara göre daha toksik olduğu sanılmaktadır. Sıcaklık artışı ağır metallerin balıklara karşı olan toksikliğini artırır. Kurşun tuzlarının toksisitesi su miktarı azaldıkça ve balığın büyüklüğü arttıkça azalır.

İki ağır metal ya da bir ağır metalle başka bir madde arasındaki sinerjik etkiye gelince örneğin bakır-çinko kombinasyonları bazen tek başına çinko veya bakır'dan daha zehirlidir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Çalışmayla ilgili olarak yurt içi ve yurt dışı literatür taraması yapılmıştır. Konunun gerek bitki gerekse krom ile kirletilmiş toprakların arıtılması ile ilgili yapılmış olan daha önceki çalışmalar bu çalışmaya ışık tutması açısından derlenmiştir. Ayrıca başka bitkiler kullanılarak yapılan bitkisel ıslah çalışmaları da derlenerek konuyla ilgili deneyimlerden yararlanılmıştır.

2.1. Bitkisel Islah Konusunda Yapılan Çalışmalar

Yalçın ve ark. (1989), Çinko, demir, mangan ve bakır gibi ağır metallerin mısır bitkisi üzerine etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre artan miktarlarda çinkonun mısır bitkisinin kuru madde miktarı ile çinko kapsamını önemli düzeyde azaltıldığı gözlenmiştir.

Cunningham ve ark., (1993), Su, hava ve toprak kalitesinin artırılmasında yeşil ıslahı uygulanabilir bir yöntem olarak kabul etmiş ve yeşil ıslah çalışmaları ile çevrede kirlilik yaratan etmenlerin bitki kullanılarak çeşitli şekillerde etkisiz duruma getirilebileceğini ve bu yöntem sayesinde kullanılacak birçok bitki türünün olduğunu belirtmişlerdir.

Salt ve ark., (1998), Yaptıkları çalışmalarında mısır ve ayçiçeği gibi yüksek düzeylerde biomass içeren bitkilerin önemli miktarlarda kurşunu bünyelerine alabildikleri, ayrıca bu bitkilerin her yıl 180–530 kg/ha kurşunu ortamdan uzaklaştırdıklarını ve 2500 mg/ha'a kadar kurşun ile kirletilmiş alanların 10 yıl içerisinde iyileştirebilme kapasitesine sahip olduklarını belirtmişlerdir.

Yağdı ve ark., (2000), Bitkiler üzerinde ağır metallerin toksitesinin bitkinin büyüme ve gelişiminde gözle görülür yavaşlama, depolama faaliyetlerinde bozulma, fotosentez aktivitesinde gerileme, enzim aktivitesinde bozulma, bitki kökünde zarar ve diğer besin elementlerinin alımında yavaşlama ve veriminde düşme gibi zararlara neden olduğu belirtilmiştir.

Baker ve ark., (2000), Sadece birkaç bitki türünün nikel ve kadmiyumu bünyelerinde hiçbir toksit etkiye rastlanmadan % 2'ye kadar akümüle edebileceğini belirtmişlerdir. Nikel ve çinko hiper akümülatörü olarak bilinen *Alyssum*, *Thlaspi*,

Streptanthus ve *Hybanthus* cinslerine ait türlerin bir çoğunun kurak Akdeniz ikliminde bulduklarından söz etmişlerdir.

Baroni F., Boscagli A., Protano G. and Riccobono F., (2000), İtalya'da bulunan ve artık işletilmeyen antimon maden yatağı çevresinde yetişen *Achillea ageratum*, *Plantago lanceolata* ve *Silene vulgaris* bitki türlerinde ve toprak örneklerinde antimon içeriğini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda toprak örneklerinde 139-793 µg/g, *Plantago lanceolata*'nın kök kısmında 1150 µg/g, *Silene vulgaris*'in kök kısmında 1164 µg/g ve *Achillea ageratum*'un yaprağında 1367 µg/g antimon bulmuşlardır. Bitkilerin antimon içeriği ile topraklardaki antimon içeriğini karşılaştırmış ve bu bitki türlerinin antimon için belirten olabileceklerini vurgulamışlardır.

Garbisu ve Alkorta (2001), Topraktaki metallerin giderilmesinde bir yeşil islah yöntemi olan bitkisel özümleme (phytoextraction) tekniğinin kullanılması ve bitkilerin hasat edildikten sonra maddi kazanç sağlaması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Sonuç olarak, bitkisel özümleme yaklaşımının fizibilitesinin, küçük ölçekli denemelerde kirlenmiş topraklardan metallerin geri alınabildiği ve bundan maddi kazanç sağlanmasıyla ispatlamışlardır.

Mays ve ark. (2001), Bitkiler ve sedimentler içindeki metal alımını hem yapay hem de doğal sulak alanlarda asit madeni drenajı ile doğal sulak alanlar için arıtım karşılaştırmışlardır. Veriler göstermektedir ki Mn, Zn, Cu, Ni, B, Cr, bitkiler tarafından iki yapay bir doğal sulak alanda birikim göstermiştir. Ancak bu bitkilerdeki yıllık metal birikim yüzdesinin de az olduğunu ortaya koymuşlardır.

Soltan ve Rashed (2001), Su sümbülü destile su, Nil nehri suyu, atık su ve farklı ağır metal konsantrasyonlarda ki sulara yetiştirilerek bu şartlar altında yaşam ve davranışları incelenmiştir. Deneyin başında, sonunda ve deney süresince farklı ağır metallerin (Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb ve Zn) konsantrasyonları, pH ve iletkenlik değerleri ölçülmüştür. Su sümbülünün en çok köklerinde, 100 mg/L Pb çözeltisinde, destile su ve Nil suyunda oldukça sağlıklı olduğu görülmüştür. 5, 7, 10, 50, 100 mg/L ağır metal çözeltilerinde konsantrasyon artışına paralel olarak zamanla artan solmalar olmuştur. 100 mg/L kadmiyum çözeltisinde de bitkinin fazla yaşayamadığı gözlenmiştir. Atık suda ise bitkinin fazla yaşayamadığı, bunun sudaki

yüksek amonyak ve pH ile çözülmüş oksijen azlığından gerçekleştiği tahmin edilmiştir. İletkenlik, ağır metal konsantrasyonu ve maruz kalma süresindeki artışa paralel olarak artmıştır. pH ise maruz kalma süresindeki artış ile azalma olduğunu ortaya koymuşlardır.

Yılmaz ve ark., (2002), *Lemna gibba (Lemnaceae)* bitkisi kullanılarak bitkinin biyokütle büyüme hızını ve nikel biriktirme kapasitesini ölçmüşlerdir. Ayrıca laboratuvar koşulları altında tuzluluğun bitki büyümesine ve nikel birikimine etkisini de belirlemeye çalışmışlardır. Yüksek tuzlulukta ($375 \text{ mol/m}^3 \equiv \% 75$ deniz suyu, $500 \text{ mol/m}^3 \equiv \% 100$ deniz suyu) artan tuz seviyesiyle büyüme hızında azalma tespit edilmiştir. 500 mol/m^3 tuz konsantrasyonunda büyüme negatif olmuştur ve bitkide kök kaybı belirlenmiştir. Kontrol grubuyla karşılaştırıldığında bu tuzluluk seviyesi kök uzamasını ve nikel birikimini $\% 36,4$ ve $\% 75$ inhibe etmiştir. Sonuç olarak yüksek tuzlulukta biyokütle üretimi ve bitki tarafından nikel birikimi inhibe edilmiştir. Bitkinin büyüme hızı ve nikeli akümüle etme kapasitesi tuzluluktan etkilendiğini ortaya koymuştur.

Manios ve ark., (2003), yaptıkları çalışmada *Typha latifolia*'nın sudan aldığı ağır materyalleri incelemişlerdir. Bu çalışmada yaptıkları analizlerle *Typha latifolia*'nın kök, gövde ve yaprakları tarafından en fazla miktarda aldığı ağır metaller (Cu, Ni, Zn) hakkında bilgi vermişlerdir. Yapılan analizlerde A, B, C ve D olmak üzere 4 grubu Cu, Ni ve Zn' nin farklı konsantrasyonlarını içeren bir çözelti ile her iki haftada bir kez sulamışlardır. 10. hafta sonunda alt tabaka ve bitkiler kurutulmuş tartılmış ağır metaller için analiz edilmiştir. Analizler sonucunda *Typha latifolia*'nın yaprak, gövde ve köklerinde Zn konsantrasyonu $391,7 \text{ mg/kg}$ değerine ve kuru ağırlıkta $60,8 \text{ mg/kg}$ ' a ulaşmıştır. Grup D'nin alt tabakasındaki 3 metalde en yüksek oranda belirtilmiştir. Yapılan lineer korelasyon analizleri sonunda alt tabaka

Pulford ve ark., (2003), Yaptıkları çalışmada ağaçların ağır metalleri özümleme kapasitelerini araştırmışlardır. Araştırmalarında hızlı gelişen bir söğüt türü olan *Salix spp.* bitkisini kullanmışlardır. Kullanılan bitki söğüt ağacının çalılık bir türüdür. Bu türün hızlı büyümesinin ve düzenli hasat edilebilmesinin besi elementlerinin hızlıca alınabileceğini ancak topraktaki ağır metallerin yüksek konsantrasyonları için aynı şeyin geçerli olamayacağını öngörmüşlerdir. Yani

bitkinin yüksek konsantrasyonlarda ki besi elementlerine veya düşük konsantrasyonlardaki metal kirliliğine tahammülü olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca yeşil islah çalışmalarının daha anlaşılır olması için daha fazla temel ve uygulama çalışmasına ihtiyaç duyulduğunda eklemişlerdir.

Derici ve ark., (2002), Farklı bölgelerden alınan patates, buğday ve sebzelerin kadmiyum ağır metale maruz kalması ve kadmiyum birikiminin çinko beslenmesinin ve topraktaki tuzluluğun rolüde araştırılmıştır. Çalışma sera ortamında gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonucunda da kadmiyum özellikle patates ve sebzelerde çok yüksek düzeyde biriktiği çinko eksikliğinin de kadmiyum miktarının da taşınımı artırdığı belirtilmiştir.

Madejon ve ark., (2003), Yaptıkları çalışmada eski bir madende ayçiçeği yetiştirip toprağın iyileşme miktarını, ağır metalle kontamine olmamış bölgedeki sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak ayçiçeği bitkisinin bitkisel özümleme kapasitesinin çok düşük olduğu ancak bu bitkinin bölgede toprak koruma için kullanılabileceğini ayrıca bitkilerden elde edilecek bitkisel yağın endüstriyel olarak da kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Wang ve ark., (2003), Saksılarda dört farklı konsantrasyonda ağır metal içeren topraklarda ürünler yetiştirmişlerdir. Ürünlerde ve topraktaki ağır metal birikimini zamanla ölçmüşlerdir. Sonuçta ürünlerden farklı zamanlarda alınan numunelerin ölçüm sonuçlarına göre ağır metal konsantrasyonlarının farklı ve bu farklılıktaki sıralamanın kök > gövde > tohum, yaprak olduğunu belirtmişlerdir. Topraktan bünyelerine aldıkları ağır metallerin de Zn, Cr > Cd, Cu > Pb şeklinde olduğunu gözlemlemişlerdir.

Axtell ve ark., (2003), *Microspora* (alg) ve *Lemna minor* (sucul bitki) ile laboratuvar şartlarında çözünmüş nikel ve kurşun giderim yeteneği incelenmiştir. Yapılan bu çalışma ile düşük hacimde ve düşük konsantrasyonlarda ağır metal kirliliği bulunduğu zaman bu kirliliğin suda yaşayan biyokütle ile giderilebildiği gösterilmiştir. *Lemna minor* bitkisi ile nikel ve kurşun için 3² faktoriyel deneysel dizayn yapılmıştır. *Microspora* için kesikli ve yarı kesikli proseste kurşun giderimi sağlanmıştır. *Microspora* 10 günden fazla 39,4 mg/L kurşuna maruz bırakılmış ve kesikli sistemde kurşunun %97'si, yarı kesikli sistemde de %95'i giderilmiştir.

Microspora için kurşun 80 mg/L, *Lemna minor* için kurşun, 15 mg/L ve nikel, 8 mg/L öldürücü doz olarak belirlenmiştir. Sonuçta *Lemna minor* ile kuşunun %76'sını ve nikelin %82'ni giderilmişlerdir.

Arienzo ve ark., (2004), "Metalürji Tesislerinden Dolayı Kirlenmiş Toprakların *Lolium perenne* ile Yeniden Bitkilendirme Olanakları" konulu çalışmalarında Güney İtalya, Naples'teki metalürji tesislerinin atıklarından kaynaklanan İtalyan sınır değerlerinin üzerinde oluşmuş bakır, kurşun ve çinko ile kirlenmiş alanları *Lolium perenne* ile yeniden bitkilendirme olanakları sera koşullarında denenmiştir. Metalürji tesislerinde iki farklı yerden (RM1 ve RM2) yüzey toprağı (40 cm) alınmış, alan yakınından kontrol amaçlı da kullanılacak olan kirlenmemiş kültür toprağı sağlanmış ve bunların 1/3 oranında karıştırılmasıyla yetiştirme ortamları hazırlanmıştır. Çimlenmenin 90. gününde sürgün uzunluğu, klorofil içeriğı, biomas verimi, bitki metal alımı, organik karbon içeriğı değışimleri ve topraktaki metal dağılımı gibi özellikler belirlenmiştir. Bakır, kurşun ve çinko içerikleri hazırlanan karışım topraklarda İtalyan sınır değerlerinin iki ve üç katı daha fazla bulunmuştur. Araştırmada kullanılan bitkiler bu ortamlarda %100 canlı kalmış ve gözle görülür hiçbir metal zehirlenmesi belirtisi göstermemişlerdir. Araştırmacılar göre metallere ulaşılabilirliği sınırlayan en önemli parametrelerden birinin yüksek pH olduğunu söylemek mümkündür. Karışım ortamlarından alınan bitkilerin sürgün uzunluğu ve biomas verimi ile toplam klorofil içeriğı kontrol toprağından alınan bitkilerle karşılaştırıldığında hiçbir toksik belirti görülmeksizin daha yüksek bulunmuştur.

Babaoğlu ve ark., (2004), Yaptıkları çalışmalarında Eskişehir de bulunan bor madeni alanın da doğal bir şekilde yetişen hiperakümülatör bitki türlerini araştırmışlardır ve bu türlerin yüksek konsantrasyonlar da bor ağır metaline (8900 mg/kg ve elverişli bor 277 mg/kg) toprakta adaptasyon gösterdiklerini bildirmişlerdir. Ayrıca bu bölgede yetişen bitkilerin toprağıın üst kısmın da çok yüksek konsantrasyonlar da (2093 mg/kg tohum; 3345 mg/kg yapraklarda) bor ağır metalini içerdiklerini belirtmişlerdir.

Baroni F., Boscagli A., Di Lella L. A., Protano G. and Riccobono F., (2004), İtalya'nın Güney Tuscany bölgesinde iki farklı bölgeden 64 bitki ve

üzerinde yetiştikleri toprak örneklerinin içerdiği arsenik miktarını araştırmışlardır. Toprak konsantrasyonu içerisinde arsenik içeriğini 5,3–2035,3 µg/g olarak tespit etmişlerdir. Bitki türlerinden ise en yüksek arsenik içeriğini *Mentha aquatica* bitki türünün kök ve yapraklarında (540-216 µg/g), *Phragmites australis* bitki türünün kök kısmında (588 µg/g) bulmuşlardır. Analiz edilen türlerde kök kısımlarının yüksek miktarda arsenik içerdiğini, bunu sırası ile yapraklar ve sürgünlerin izlediğini belirtmişlerdir.

Ingwersen ve ark., (2005), Atık sular ile sulanan toprakların ve bu topraklardaki ürünler üzerindeki kadmiyumu bünyelerine alma kapasitelerini araştırmışlardır. Ayrıca yaptıkları proseste topraktaki kadmiyum seviyelerinin istenilen düzeyde sabitleyerek atık su ile suladıkları topraklar da iki yıl boyunca patates, buğday gibi ürünler yetiştirmişler ve bu ürünlerin topraktaki kadmiyum konsantrasyonların da doğrusal bir ilişki olduğunu saptamışlardır. Değişen hava koşullarına göre de kadmiyum alımında değişmeler olduğu gözlenmiştir ve bitkilerde ki terlemenin kadmiyum alımının da önemli olduğunu belirtmişlerdir.

Wei (2006), *Pteris cretica* arsenik madeninde yetiştirerek arsenik birikimini ve phytoremediation potansiyelini belirlemek için yaptığı çalışmada, arsenik içeren maden bölgesinde 8 *Pteris cretica* ve 16 *Pteris vittata* türlerini topraklara ekmiştir. Bitkilerin toprak üstü yüzeyinde arsenik konsantrasyonunu, arsenik biyoakümüülasyon faktörünü (BF: arseniğin yüzeyden toprağa oranı) ve arsenik transfer faktörünü (TF: arseniğin yüzeyden köklere oranı) ölçmüştür. *Pteris vittata* bitkisinde toprak üstü ağırlığındaki arsenik konsantrasyonu 3–704 mg/kg, biyoakümüülasyon oranı 0,06–7,43 ve transfer faktörü 0,17–3,98 olarak, *Pteris cretica* türlerinde ise arsenik konsantrasyonu 149–694 mg/kg biyoakümüülasyon oranı 1,34–6,62 transfer oranı 1–2,61 olarak tespit etmiştir. Bu çalışmada ile genelde arsenik birikiminin bitkinin toprakğın üst yüzeyinde olduğunu ve bitkilerin arsenik ile kontamine olmuş toprakta phytoremediation'ı kullanma potansiyellerinin olduğu belirtilmiştir.

Yoon ve ark., (2006), Yapılan bir çalışmada Kuzey Florida'da kirlenmiş bir alanda yetişen 36 adet bitki (17 tür) değerlendirilmiştir. Bitki ve toprak ta kirliliğe neden olan metal konsantrasyonlarını belirlemek için örnekleri alınıp analiz

edilmiştir. Bitkilerdeki yüksek biyokonsantrasyon faktörü (BCF, topraktan bitkinin köklerine ulaşan metal konsantrasyon oranı) ve düşük transfer faktörü (TF, köklerden bitkiye geçen metal konsantrasyon oranı) bitkisel stabilizasyon için belirlenmiştir. Örneğin *Phyla nodiflora* bitkisi en etkin olarak bakır ve çinkoyu bünyesine almıştır (TF=12 ve 6,3).

Uysal ve Taner, (2007), Mersin Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümünde yapılan bir çalışmada, kadmiyum iyonlarının *Lemna minor*'ün büyüme hızına etkisi araştırılmıştır. Değişen başlangıç pH'ı (4,5–8,0), sıcaklığı (15–35°C) ve kadmiyum iyonu 0,005–20,5 ppm olarak araştırılmıştır. Bitkinin zamana bağlı frond sayısı değişiminden kinetik model çıkarılmış ve birinci dereceden reaksiyon kinetiğine uyduğu saptanmıştır. Elde edilen sonuçlar neticesinde kadmiyum iyonlarının *Lemna minor* için çok toksik olduğunu ve bitki büyüme hızını düşürdüğünü göstermişlerdir.

2.2. Kullanılan Bitkilerin Cr (VI) İyonu Alımı ve Yeşil Islah İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Brooks R.R., Morrison R.S. Reeves R.D., Dudley T.R. and Akman Y., (1979), *Alyssum* olarak tanımlanan 168 bitki türünün nikel için hiperakümülatör olup olmadığının anlaşılması için Ni (nikel) içerikleri saptamıştır. Bu çalışmada 14'ü Avrupa türü olmak üzere toplam 31 tane hiperakümülatör bitki saptamışlardır (1 g kuru ağırlıkta >1000µg).

Brown ve ark., (1995), 100 ppm'den fazla alındığı zaman birçok bitki için toksik olan Çinkonun *Thlaspi caerulescens* J.C. & R. Presl. (*Alpine pennycress*)'in bünyesinde herhangi bir toksik etki göstermeden 26000 ppm'e kadar çıkabildiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, hiper akümülatör bitkilerin, örneğin *T. caeulescens* metal çıkarma özelliklerinin, daha fazla canlı kütle üreten türlere, *Brassica juncea* (L.) Czern. ve mısıra nakledilebilmesi durumunda fitoekstraksiyon yönteminin ticari yönden çok faydalı olabileceğinden söz etmişlerdir.

Lin P ve Zheng W. J., (1996), Shenzen (Çin) *Avicennia* marinasında yaşayan bitki topluluklarında (mangroves) bazı ağır metallerin birikimi ve dağılımını incelemişler ve bu bağlamda bitkilerin farklı organlarının farklı oranlarda Cu, Zn, Cr,

Cd, Ni, Mn ve Pb biriktirdiğini ortaya koymuşlardır. Alınan numunelerde, bakır, çinko, kadmiyum, krom, nikel ve mangan içerikleri sırasıyla; 38,3, 28,7, 11,4, 0,136, 7,97, 25,0 ve 537 ppb (part Per billion) olarak bulunmuştur. Bitkilerin toprak üst kısmında organlarında ağır metallerin birim ağırlıkta birikme katsayısı sıralaması Cd>Mn>Zn>Cu>Ni=Cr>Pb şeklinde ve bu yedi elementin birikme miktarları bakır, kurşun, çinko, kadmiyum, krom, nikel ve mangan için sırasıyla 53,7, 19,27, 187,89, 0,72, 6,06, 20,76, 1631,17 mg/m² olarak bulunmuştur.

Blaylock et al. (1997); Huang et al. (1997); Kumar et al 1995; Salt et al. 1995, *Brassica juncea* bitkisi ile yaptıkları sera ortamında ki çalışmalarında, bitkinin ortama kolay adapte olup hızlı gelişme gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca yaptıkları çalışma ile Pb ağır metalinin toprak ve su kültüründen alarak oldukça yüksek konsantrasyonlarda (10000 mg/kg) gövdesinde ve kökünde biriktirdiğini ortaya koymuşlardır.

Chu ve ark., (1998), Metal ve nutrient gideriminde mangrov bitkileri kullanılarak Cd (II), Cr (III), Cu (II) %29 oranında Ni (II) ve Zn (II) ise %88 oranında giderildiğini belirtmişlerdir.

Vajpayee ve ark. (1999), *Nelumbo nucifera* Gaertn'de krom birikimini ve bunun fotosentetik pigment, nitrat redüktaz aktivitesi ve protein içeriğine etkilerini çalışmışlardır. Farklı krom konsantrasyonlarında (50–200 µm) büyütülmüş bitki dokularında benzer birikim miktarları gözlenmiştir. Bununla birlikte en yüksek birikim köklerde gözlenmiştir. Bitki dokularındaki çok yüksek krom birikimi klorofil, protein içeriği ve in vitro nitraz redüktaz aktivitesini önemli ölçüde inhibe etmiştir.

Epa (2000), Ağır metallerin bazı bitkiler sayesinde başarıyla ortamdan alınarak giderilebildiği ortaya konulmuştur. Örneğin *Brassica Juncea* (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Sr) *Myriophyllum Spicatum* (Pb, Cd, Cu, Zn, Ni) ve *Heliantus Annuus* (U, Co, Cs, Cr, Mn, Cd, Cu, Zn, Ni) *Eichornia Crassipes*, *Hydrocotyle Umbellata* ve *Lemna Minor* türleri birçok kirlilik etmenine karşı kısa sürede başarı ile yetiştirilmiştir.

Baker ve ark., (2000), Bitkilerin hiper akümülatör olabilmeleri için civayı (Hg) en az 10 ppm, Kadmiyumu 100 ppm, Kobalt (Co), Krom (Cr), Bakır (Cu) ve

Kursunu (Pb) 1000 ppm veya Çinko (Zn) ve Nikeli (Ni) 10000 ppm akümüle etmeleri gerektiğini belirtmişlerdir. Bu güne kadar en az 45 bitki familyasından yaklaşık 400 türün hiper akümülatör olarak belirlendiğini ve bu türlerin büyük bir çoğunluğunun Nikel (Ni), yaklaşık 30 tanesinin Kobalt (Co), Bakır (Cu) veya Çinko (Zn), çok az bir miktarının da Mangan (Mn) ve Kadmiyum (Cd) hiper akümülatörü iken Kursun (Pb) hiper akümülatörüne henüz rastlanmadığını belirtmişlerdir.

Dirilgen ve Doğan (2002), Cu, Zn ve bunların kombine toksisitelerindeki krom özelleşmesi çalışmalarında *Lemna minor* bitkisindeki metal iyon konsantrasyonlarını FAA spektrometresiyle belirlemişler ve bu bitkinin Cr (III) metalini çok miktarlarda biriktirdiğini ve bu metalin etkisinde büyümesinin önemli olduğunu buna karşın Cr (VI)'yı büyük miktarlarda biriktirdiğini ve bu metalin etkisinde büyümenin yavaş olduğunu rapor etmişlerdir.

Epa (2000), Yeşil ıslah olarak adlandırılan yöntem doğal ortam da toprağın stabil hale getirilmesi için uygulanır. Bitkilerin yetiştirildikleri topraklar da kirliliği kökünün çevresinde veya içinde biriktirmesinin yanı sıra çevresinde ki kirleticilerin su erozyonu, rüzgar gibi olaylarla da taşınmasını engellemektedir. Bitkinin kirleticileri köklerinde sabitlemesi toprak, sediment ve çamurda da uygulanabilir. Toprağın taşınmasının gerekmediği için önemli bir avantajdır. Dezavantajı ise kirlilik etmenlerinin uzun zaman da taşınabilmesi yada yıkanarak taban suyuna karışabilmesidir. Stabilizasyon (Köklerle Sabitleme) bitkiye göre değiştiği için *Populus* (As, Cd, Ca, Zn) *Brassica Juncea*, *Brassica Oleracea* (Cr, Pb) *Andropogon Gerordir*, *Festuca Arundinacea* ve *Glycine* bitkileride çok fazla kullanılmaktadır.

Khan (2001), Pakistan'da krom iyonu içeren tabakhane atıksularınca kirlenmiş topraklarda yaşayan ağaçların mikorizosferlerindeki AMF çeşitliğini incelediği bir çalışma yapmıştır. Doğal ortamlarında AMF tarafından enfekte olmuş ve nitrojen bağlayan bakteri kültürleri tarafından oluşturulmuş nodüllerce sarmalanmış köklere sahip olan üç farklı ağaç türüyle çalışmıştır. Çalışmanın amacı olarak üç türdeki ağaç köklerinin bağlı oldukları rizosferdeki AMF enfeksiyon derecesini, mikorizal mantar üreme yapılarının popülasyonunu ve dokulardaki metal birikimini değerlendirmeyi hedeflemiştir. Çalışma sonucunda mikorizal enfeksiyon seviyesinin referans aldığı temiz topraklı bölgedeki ağaçlara oranla olması

gerekenden az olduğunu, AMF propagule'lerinin boyut dağılımı, çeşitlilik ve aktivite olarak krom içeriklerinden olumsuz etkilendiğini, topraktan krom alımının türden türe ve aynı türde de bölümden bölüme farklılık gösterdiğini belirlemiştir. Yaptığı bu çalışmada krom toleransı ile birikimi arasında doğrudan bir ilişki bulamamıştır. Bitki türüne bakılmaksızın köklerdeki birikimin sürgünlerdeki birikimden daha fazla olmasını bitkilerin kökten-sürgüne ağır metal taşınmasını engelleyecek özel bir strateji geliştirmelerine bağlamıştır.

Gáspár ve Anton (2002), Fitoremediasyon yönteminde en çok kullanılan bitkilerin *Brassicaceae* familyasından olduklarını ve fitoremediasyon yönteminde kullanılan bitkilerin turp gibi kolay yetistirelebilen ve hasat edilebilen bitkiler olmaları gerektiğini belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada kullandıkları tüm turp çeşitlerinin gövdelerindeki ağır metal kompozisyonunun topraktakini yansıttığını belirtmişlerdir. Yaptıkları araştırmalar sonunda alınması ve bitki içerisindeki hareketi kolay olmayan Arsenik (As), Kurşun (Pb), Kobalt (Co) ve Bakır (Cu)'ın akümülyasyonunun iki kültür türü arasında farklılık gösterdiğini fakat kolay hareket eden Kadmiyum (Cd) ve Çinko (Zn)'nin kültür türleri arasında farklılık göstermediğini belirtmişlerdir.

Bennicelli ve ark., (2003), *Azolla caroliniana* ile yapılan bir çalışmada ise belediye ye ait atıksular da bulunan Hg (II), Cr (III) ve CrO_4^{2-} iyonlarının giderimi çalışılmıştır. Deney 12 gün boyunca devam etmiştir. Her bir ağır metal için 0,1, 0,5 ve 1,0 mg/L konsantrasyonları çalışılmıştır. 0,1 mg/L konsantrasyonundaki Hg (II), deney sonunda 0,02 mg/L olarak ölçülmüştür. İlk gün sonunda Hg (II), konsantrasyonu 0,05 mg/L ye düşmüştür. Hg (II), için deney sonunda her bir konsantrasyon da giderim oranları sırasıyla %75, %93 ve %93 olarak bulunmuştur. Cr (III) ise her bir konsantrasyon için giderim oranları sırasıyla %91, %90 ve %74 ve CrO_4^{2-} da ise her bir konsantrasyon için giderim oranları sırasıyla %100, %84 ve %88 olarak bulunmuşlardır.

Lázaro ve ark., (2006), Bu çalışmada krom (Cr), mangan (Mn) ve çinko (Zn) ile kontamine olmuş toprak bir yeşil ıslah türü olan bitkisel özümleme (phytoextraction) tekniği ile arıtmaya çalışmışlardır. Çalışma için yüksek biriktirme kapasitesine sahip "*Cistus ladanifer*", "*Lavandula stoechas*", "*Plantago subulata*" ve

“*Thymus mastichina*” bitkilerini kullanmışlardır. Çalışma bölgesi Portekiz’in Trás-os-Montes bölgesidir. Bölge Akdeniz iklimine sahiptir. Yaklaşık 80 km²’lik bir alanı kapsamakta, yıllık ortalama sıcaklığı ise 12,4 °C olup ortalama yağış miktarı 720 mm olduğu belirtilmiştir. Araştırma sonucunda Akdeniz bölgesine özgü bu bitki türlerinden “*P. Subulata*” hariç diğer üç bitki sahip oldukları yüksek tolerans kabiliyeti sayesinde hayatta kalmış ve arıtım için iyi bir performans sergilemişlerdir. Ayrıca bu çalışmada tanımlanan 3 bitki türü hoş kokulu ve yağlı sayesinde ekonomik fayda sağlayabilecek bir biokütleyle sahip olduğunu ortaya koymuşlardır.

Yıldızhan (2007), Son yıllarda toksik etkiye sahip ağır metallerle kirlenmiş suları ve toprakları temizlemek için çevre dostu ve ucuz maliyeti nedeniyle metal akümülatörü olan bitkilerin kullanımının hızla artmakta olduğunu ve “ Hiper akümülatör bitki” olarak adlandırılan bu bitkilerin kökleriyle 10000 ppm veya 13000 ppm’lik kadar ağır metalleri akümüle ettiklerini ispatlamışlardır. Özellikle *Brassicaceae* familyasına ait türlerle (*Brassica juncea*, *Thlaspi caerulescens J. & C.*) yapılan çalışmalarda bu bitkilerin hiper akümülatör bitki özelliğinde oldukları belirlenmiştir. Bu tez çalışması ile, büyük miktarlarda Cu, Zn ve Cd’u akümüle ettiği gösterilen *Brassica nigra*’nın olgunlaşmış dokularından verimli *in vitro* rejenerasyon sistemi geliştirilmiştir.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

3.1.1. Kullanılan Bitkiler ve Özellikleri

Çalışma için dört farklı bitki türü seçilmiştir. Seçilen bitkilerin bölgenin iklimsel koşullarına adapte olmuş ve sıklıkla yetişiyor olmasına özen gösterilmiştir. Kullanılan bitkiler sırası ile *Aptenia cordifolia*, *Alyssum maritima*, *Brassica juncea* ve *Brassica oleracea*'dır. Bu bitkiler süs bitkisi olarak çalışmanın yapıldığı Adana ilinde park ve bahçeler, yol kenarları ve göbeklerde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu bitkilerin kullanım amacı krom'u bünyesinde biriktirebilme potansiyeline sahip olmasıdır.

3.1.1.1. *Aptenia Cordifolia* (Buz Çiçeği, Öğle Çiçeği)

Anavatanı Güney Afrika olan sukkulent bir bitkidir. Doğal ortamda çok yıllıktır iç mekânda tek yıllık olarak yetiştirilirler. 20–30 cm boy yaparlar. Yaprak yapısı sukkulenttir. 0.5–1 cm uzunluğunda lifsiz parlak yeşil renklidir. Yapraklar karşılıklı sürekli ve kalp şeklindedir. Sık ve bol yapraklıdır. Yaprakları kırılğan bir yapı gösterirler. Yaprakların %90'ı sudur.

Çiçekleri termal durumlu, parlak sarı stamenler büyük bir düğme gibi, etrafında kırmızı taç yapraklar vardır. Çiçeklenme mevsimi ilkbahar sonu ve yazdır. Uzun süre çiçekte kalır. Genel olarak pembe, kırmızı, sarı, mor ve beyaz renklidir. Çiçekler yaprak koltuklarından çıkar.

Ekolojik istekleri ise sıcaklık tipik çöl bitkisi karakterinde olan *Aptenia* bitkisi yaz döneminde 37 °C gündüz sıcaklığı 23 °C gece sıcaklığına ihtiyaç duymaktadırlar. Kışın ekstrem şartlarda -2 °C altında kısa bir süre canlılığını devam ettirebilir. Soğuğa dayanıklı değildir. Ilıman iklimi severler. Bol ışığa ihtiyaç duyarlar. Tam güneşli ortamlarda iyi gelişir. Özellikle genç bitkiler için ışık çok önemlidir.

Kuru kumlu topraklarda, taşlıklarda, kayalıklarda, deniz kenarlarında yetişebilir. Tuza dayanıklıdır. pH 6.2–6.8 aralığında iyi gelişim gösterir.

Tohumla ve çelikle üretilebilmektedir. Çelikli üretimde Şubat-Mart aylarında perlit içerisinde köklendirmeye alınırlar. Çelikler yaklaşık üç hafta içerisinde kölenirler.

3.1.1.2. Brassica Biyoteknolojisi

Brassica cinsi, *Brassicaceae* (syn. *Cruciferae*) familyası içinde ekonomik olarak, çok önemli özelliğe sahip bir cinstir. Bu cinse ait birçok tür ve ekotip sebze, besin, tohum yağı olarak ve sos- baharat şeklinde kullanılması özellikleriyle değerli bir üründür. Ayrıca birçok türü lifli yapısından dolayı diyet amaçlı kullanılmaktadır (Cardoza, 2004). *Brassica* sebzesi vitamin, mineral ve lif kaynağıdır. Bu cinsin yapısında kansere karşı koruyucu olduğu ispatlanan fitokimyasallar bulunmaktadır *Brassica*' da yağ tohumları büyük bir ekonomik öneme sahiptir. Yağ tohumlarının bulunduğu türler arasında *Brassica juncea*, *Brassica carinata*, *Brassica rapa* (syn. *Brassica campestris*) ve *Brassica napus* gibi türler bulunmaktadır ve genellikle bu özelliklerinden dolayı "kolza" adını alırlar. *Brassica* tohumları düşük alifatik bileşiklere sahip oldukları zaman "kanola" olarak adlandırılır. Kanola genellikle *Brassica napus* türü için kullanılır ve bu tür dünya genelinde çok yaygın bir yağ tohumu ürünüdür (Cardoza, 2004). Ayrıca son zamanlarda *Brassica rapa* ve *Brassica juncea*' ya ait varyeteler de kanola niteliğinde kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle *Brassica nigra* yağlara ilave edilen bir baharattır. Sebze olarak tüketilen dünya genelinde ki *Brassica* türleri arasında ise *Brassica oleracea*, *Brassica rapa* ve *Brassica napus* yer almaktadır. Bu grup brokoli, şalgam ve lahana gibi sebzeleri içerir. Bütün *Brassica* türleri Çizelge 3.1. de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Ekonomik özelliğe sahip bazı *Brassica* türleri

<i>Brassica juncea</i>	Kahverengi hardal	Sebze, sos
<i>Brassica nigra</i>	Siyah hardal	Yağ, sos, baharat
<i>Brassica rapa</i>	Yem şalgamı	Yem, yağ, baharat
<i>Brassica napus</i>	Kanola, kolza	Sebze, baharat, yağ
<i>Brassica oleracea</i>	Lahana	Sebze, yağ
<i>Brassica caritina</i>	Yağ şalgamı	Yağ, baharat

3.1.1.2.(1) *Brassica Juncea* (Hardal)

Brassica juncea bitkisi Habeşistan'dan doğu Asya'ya kadar geniş bir coğrafya'ya yayılmıştır. Hindistan ve Pakistan'da yağ bitkisi olarak kullanılır. Yağ içeriği %25–30 dur. Tek yıllık, ince kazık ve saçak köklü bir bitkidir. Sapları en fazla 20–40 cm uzunluktadır kök derinliği 90–120 cm arasındadır. Tüylü, dik, dallı ve köşelidir. Çiçekleri uçlardadır, çiçek durumu şemsiye salkımdır. Tohumları yuvarlak ve fildişi renktedir. *Brassica juncea* bitkisi kış koşullarında yetiştirilebilir. Yetiştirme koşullarında ortalama gündüz sıcaklığı 15–18 °C olarak değişir. Humuslu, orta ağırlıktaki kumlu-kili topraklar gelişmesi için iyidir. Fazla kumlu veya fazla killi topraklar uygun değildir (İncekara 1991).

3.1.1.2.(2) *Brassica Oleracea* (Lahana)

Brassica familyasının önemli bir üyesi olan lahana'nın *Brassica oleracea capitata* beyaz, yeşil ve mor türlerinin olduğu bilinmektedir. Nemli bölgelerde yetişen bu soğuk iklim bitkisi Akdeniz bölgesinde 2000 yıl öncesine kadar uzanan kültüre sahiptir. Günümüzde dünyanın pek çok yerinde yaygın olarak yetiştirilmektedir. Yılın her döneminde bulunabilen lahana (*Brassica oleracea*), özellikle bahar ve yağışlı dönemlerde daha bol bulunmaktadır (Boriss *et al.* 2006).

Brassica oleracea (lahana) doğrudan tohum ekimi ile yapılan yetiştiricilikte tek bir kazık kök buna bağlı saçak köklerden oluşur. Saçak kökleri üzerinde bol miktarda kılcal kökler bulunur. *Brassica oleracea (lahana)* toprakla temas halinde bulunan gövde kısmından nadiren saçak kökleri meydana gelebilir. Doğrudan tohum ekimi yapıldığında toprak koşulları uygun ise lahananın kazık kökü 70–80 cm'lik bir derinliğe kadar inebilir. *Brassica oleracea'nın (lahana)* tohumlarının çimlenme gücü %85-95'dir. Tohumlar çimlenme güçlerini normal koşullarda 4–6 yıl muhafaza eder. Çimlenme sıcaklığı 10–30 °C olup, optimum çimlenme sıcaklığı 20–25 °C'dir. Düşük toprak sıcaklığı ve fazla nem çimlenmeyi geciktirir. Normal koşullarda tohumlar 3–4 günde çimlenirler. *Brassica oleracea (lahana)* bitkisi iklim istekleri yönünden seçici değildir. Ancak kışlık sebzeler içinde yer alan lahananın anavatanı

incelendiğinde ılıman bölgelerde de geniş bir yayılma alanı bulunduğu anlaşılmaktadır. *Brassica oleracea*'nın toprak istekleri bakımından da seçici değildir. Ancak toprağın su tutma kapasitesi iyi olmalıdır. Ağır topraklarda yetiştirilirse yüksek verim, buna karşılık hafif topraklarda yetiştiricilik yapılırsa daha az ve erkenci verim elde edilir. Sonbahar ve kış yetiştiriciliği için drenajı iyi olan topraklar seçilmelidir. Lahana bitkileri için optimum pH 6–6,5 arasında olmalıdır. Asidik topraklarda gelişme iyi olmaz. *Brassica oleracea (lahana)* tuza dayanıklı bir bitki olarak bilinmektedir. Lahana bitkileri üst üste aynı toprakta yetiştirilmemelidir.

3.1.1.3. *Alyssum Maritima* (Bal Çiçeği)

Bitkiler aileminin tohumlu bitkiler bölümü, kapalı tohumluların alt bölümü ve iki çenekliler sınıfının *Brassicaceae* familyasına giren *Alyssum* cinsi Türkiye Florasının büyük cinsleri arasında yer almakta ve 90 türle temsil edilmektedir. Bu türlerin 54'ü endemiktir (Babaoğlu ve ark., 2004). *Alyssum* cinsi şimdiye kadar Anadolu'yu içine alan çeşitli floristik yayınlarda, diğer taksonlarla birlikte ele alınmıştır (Ball ve ark., 1994; Townsend,1980).

Dünyada şiddetli tektonik aktivitelere maruz kalmış birçok yerde olduğu gibi Türkiyede de değerli ultramafik kaya ve topraklarda bulunmaktadır. Bu bölgeler tüm ülke genelinde yaygın olmakla birlikte Doğu, Güneydoğu ve Orta Anadolu da daha seyrek (Reeves ve ark., 1997).

Alyssum maritima da Akdeniz Bölgesinde yetiştirilebilen bir süs bitkisidir. Gelişimini 8–9 hafta da tamamlar. Çimlenmesi için 20- 25⁰C de ışıklı, nemli ortamlar uygundur. Çimlenme aşamasında 15 ⁰C den düşük sıcaklıklar çimlenme süresinin 3 hafta uzamasına neden olur. Tuzluluk, çok düşük oranlarda olmalıdır. Nemli topraklar gelişimi için uygundur. Toprağın ıslak veya aşırı kuru olmamasına dikkat edilmelidir. Aşırı güneşte ve gölgede bırakmak gelişimi için uygun değildir. Gelişiminde gündüz 10–15 ⁰C gece 5–10 ⁰C sıcaklık ister. -2 ⁰C den düşük sıcaklıklar gelişimi durdurur. Yüksek sıcaklıklar gelişimini yavaşlatır. pH 5.5–6,2 arasındadır. Bitki boyu 5–10 cm arasında değişmektedir. Ülkemizde daha çok örtü bitkisi olarak çiçek parterlerinde kullanılan *Alyssum maritima* bitkisi kışı ılık geçen

iklimlerde bir yıldan fazlada dayanabilir. Bahçe performansı ve çiçek kalitesi oldukça iyidir.

Alyssum cinsinin bazı türleri nikel metalini kuru yaprak biokütlesinin %3'üne varan derişimlerde biriktirme özelliğine sahip olduğu için ekolojik değeri olan bitki grubudur (Kramer, 1996;1997).



Şekil 3.1. *Aptenia cordifolia*, *Brassica juncea*, *Brassica oleracea*, *Alyssum maritima* bitkilerinin genel görünümü

3.1.2. Bitki Yetiştirme Ortamı ve Özellikleri

Bitkilerin yetiştirileceği ortam olarak torf kullanılmıştır. Torf, göl yataklarındaki su seviyesinin düşmesiyle, bitki faaliyetlerinin ön plana çıkması, kışın su seviyesindeki artış ile bitkinin ölümü ve bu doğa olayının sürekli tekrarlanması sonucunda bitki kök ve gövdelerinin binlerce yıl süren birikimleri sonucunda oluşan; sebze, fidan ve saksılı süs bitkileri yetiştiriciliğinde kullanılan organik bir materyaldir. pH'sı 5.5 – 6.5 aralığında, azot dışında besin maddelerince fakir olup her türlü bitki yetiştirilmesinde kullanılan su tutma kapasitesi yüksek doğal bir maddedir (Kaptan, 1990).

Torf'un en çok tercih edilen materyal olmasının nedenleri arasında iyi havalanabilir, drenajı iyi, su tutma kapasitesi yüksek, besin maddesince zengin ve besin elementi kaybının az olması sayılabilir. Torf su tutma özelliği ile bitki toprağında bulunan besin maddelerinin akıp gitmesini engelleyici yararı bulunmaktadır. Doğal bir toprak düzenleyici özelliği vardır. Hafif geçirgen ve gevşek yapıda olması bitki köklerinin hava almasını sağlamakta, bitkilerin sağlıklı bir şekilde büyümesine katkıda bulunmaktadır. Ayrıca torf gübrelemeyi gerektirmez, kation değişim kapasitesi de yüksektir, yabancı ot tohumu ihtiva etmez ve gevşek bir yapıya sahiptir.

Bu avantajları yanında torf'un bazı dezavantajları da vardır. Torf yataklarının dünyada sınırlı olması ve oluşumunun uzun yıllar alması, EC (Elektriksel İletkenlik), pH ve besin içeriğinin düzenleme ihtiyacı yanında birçok ülkenin bu tür kaynaklarının azlığı nedeniyle bu materyali ithal etmek zorunda olması sayılabilir (Raviv,1998).

Bitkilerinin yetiştirildiği ortam olan torfun özellikleri de Çizelge 3.2. 'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Bitkinin yetiştirildiği Torf'un Özellikleri

Karakteristik	Değerler
pH	7.3
Organik Madde(%)	75.80
Tuzluluk (mg/kg)	1940
Nitrat Azotu (mg/kg)	110
Na (mg/kg)	19
K (mg/kg)	65
Mg (mg/kg)	45
P (mg/kg)	10
Fe (mg/kg)	150
Cu (mg/kg)	45
Mn (mg/kg)	50
Zn (mg/kg)	85

3.1.3. Sulama suyu ve özellikleri

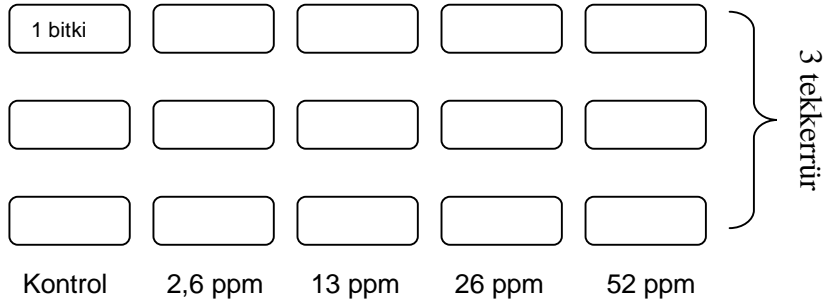
Çalışmada sulama suyu olarak $K_2Cr_2O_7$ (potasyumdikromat) kullanılarak 4 farklı konsantrasyon da çözeltiler hazırlanmıştır. Sulama suyu olarak kullanılan Cr (VI) içerikli çözeltiler 2,6, 13, 26, 52 ppm derişimlerde hazırlanmıştır.

Cr (VI) çözeltileri haftalık olarak hazırlanırken en yüksek konsantrasyondan hazırlanmış ve diğer konsantrasyonlarda bu stok çözeltilerden belirli miktarlarda alınarak seyreltilmiştir. 52 ppm konsantrasyonda Cr (VI) çözeltileri $K_2Cr_2O_7$ kimyasal malzemesinden hassas terazide 0,295 g tartılarak 2L balon jöjeye konulup üzeri saf su ile tamamlanmıştır ve haftada Cr (VI) çözeltilerinden 6 L hazırlanmıştır.

3.2. Metot**3.2.1. Çalışma Düzeneiğinin Oluşturulması**

Çalışma Çukurova Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde yürütölmüştür. Düzenek bölüm bahçesinde yağış almaması için üstü kapalı bir alan temin edilerek oluşturulmuştur. Çalışma 6 hafta bitkilerin ortama adaptasyonunu sağlamak için çeşme suyu, 10 haftada Cr (VI) içeren sulama suyu verilerek toplam 16 hafta sürdürölmüştür.

Çalışma düzeneiği her bir 15x17 cm büyüklüğünde ve her bitki türü için 15 tane olmak üzere toplam 60 saksıdan oluşmuştur. Şekil 3.2 de göröldüğü üzere her bir saksıda 1 tane bitki olacak şekilde planlanan çalışma bir kontrol grubu ve dört farklı Cr (VI) konsantrasyonu için üç tekerrürden oluşmaktadır.



Şekil 3.2. Her bir bitki için kurulan deney düzeneği

3.2.2. Sistemde Kullanılan Bitkilerin Temin Edilmesi

Araştırmada kullanılmak üzere seçilen *Aptenia cordifolia*, *Alyssum maritima*, *Brassica juncea* ve *Brassica oleracea* bitkileri deneyin hassasiyeti açısından sera ortamından fide olarak temin edilmiştir. Deneyin hassasiyeti açısından alınan bitkilerin ekilmeden önce kökleri önce çeşme suyu ile daha sonrada saf su ile yıkanmıştır.

3.2.3. Sistemde Bitki Yetiştirme Ortamlarının Hazırlanması

Yetiştirme ortamı olarak kullanılan torftan bir miktar alınarak saksının alt kısmına yerleştirilip üzerine bitkiler konularak geri kalan kısmı üstte 5 cm boşluk kalacak şekilde ortam malzemesini fazla sıkıştırmadan tamamlanarak bitkiler saksılara dikilmiştir.

Hazırlanan ortama bitkiler yerleştirilirken kök sistemlerine zarar vermeden ve her saksıda eşit biokütlede bitki olacak şekilde ayarlanmıştır. Kullanılan bitkilerin hepsinin de kök sistemi yüzeysel olduğu için kök sistemi toprağın altında kalacak şekilde dikkatle dikilmesine özen gösterilmiştir.

Bitkiler dikildikten sonra can suyu olarak hepsine 300 mL çeşme suyu verilmiştir. Çalışmanın ilk 6 haftasında bitkilerin ortama alışması için bitkilere gün aşırı 100 mL çeşme suyu verilmiştir. Geriye kalan 10 hafta boyunca da gün aşırı 100 mL değişik konsantrasyonlardaki Cr (VI) çözeltisi ile sulama yapılmıştır.

Araştırma boyunca bitkilerin kuruyarak dökülen yaprakları toplanarak etiketlenmiş ve analize kadar saklanmıştır. Ayrıca bitkilerin büyüme miktarının belirlenebilmesi için 16 haftalık süreçte her hafta boy ölçümleri cm cinsinden

ölçülmüştür ve çalışma boyunca sıcaklık ve nem ölçümleri takip edilerek raporlanmıŐtır.



Şekil 3.3. *Aptenia cordifolia*, *Brassica juncea*, *Brassica oleracea* ve *Alyssum maritima* Bitkilerinin eŐme Suyu İle Sulama Sonunda Görüntüleri



Şekil 3.4. En Y¼ksek Konsantrasyonun Uygulandığı *Aptenia cordifolia*, *Brassica juncea*, *Brassica oleracea* ve *Alyssum maritima* Bitkilerinin Cr (VI) İyonu İle Sulama Sonunda G¼r¼nt¼leri

3.2.4. Bitki ¼rneklerinin Hazırlanması

Sistemin s¼k¼lmesinden sonra bitkiler k¼k, g¼vde, yaprak olarak ayrılmıştır. Her bir haznedeki toprak numuneleri ve bitki kısımları hassas terazide tartılarak yaş ağırlıkları alınmıştır.

Bitki k¼k¼, g¼vdesi, yaprağı ve toprak numunelerinin ise bir miktarı ¼rnek alınarak ısıya dayanıklı et¼v kaplarına yerleŐtirilmiŐ ve sabit ağırlığa ulaşmasını sağlamak üzere 60 °C'ye ayarlanmıŐ et¼vde 5 g¼n boyunca bekletilmiŐtir. Beş g¼n sonunda bitkilerin kuru ağırlıkları ¼lç¼lm¼Őt¼r. Kurutulmuş bitkiler ve toprak numuneleri ¼đ¼t¼lerek elekten geçirilmif ve eŐ boyutta olmaları sağlanmıştır. Numuneler s¼k¼ld¼kleri hazne numaralarına g¼re isimlendirilerek ¼zel et¼v kaplarında saklanmıştır.

Numuneler Perkin Elmer marka Optima 2100 DV OES (Optical Emission Spectrometer) cihazı ile ağır metal analizlerine hazırlanmak için standart metotlar

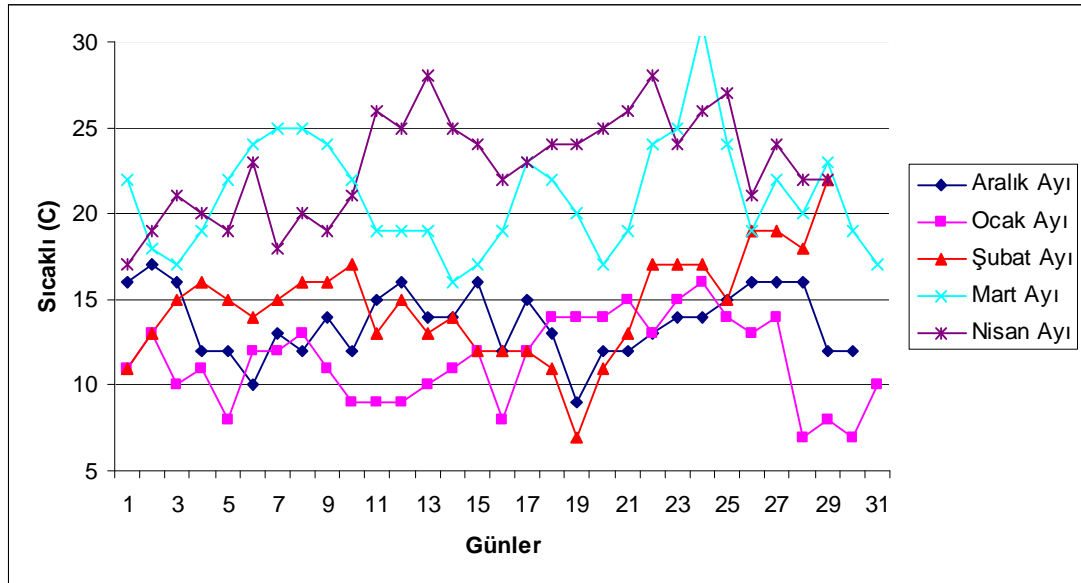
kitabındaki SM 3030 K Methoduna uyularak 3n işleme tabi tutulmuŐtur. Numunelerden 0,3 g tartılarak mikrodalga yakma 3nitesinin kaplarına konulmuştur, 3zerine 9 ml % 65 saflıkta HNO₃ eklenmiŐ ve parçalanmaya bırakılmıŐtır. Parçalanmış numuneler etiketlenmiş ŐiŐelere konulmuştur. Numunelerin içerisinde kalan inorganik maddeleri uzaklaŐtırmak için s3zme işlemi yapılmıştır. S3zme işlemi için Sel3lozik Whatman 0,45 mm filtre kâğıdı kullanılmıştır. S3z3len numuneler saf su eklenerek 30 ml'ye tamamlanmıŐtır.

Ç.3. Çevre M3hendisliği B3l3m3'ne ait olan Hassas Cihaz laboratuvarında Perkin Elmer marka Optima 2100 DV OES (Optical Emission Spectrometer) cihazı ile SM 3120 B Methoduna uyularak, SM 3030 K Methodu ile hazırlanmış numunelerin içindeki Cr (VI) muhtevası 3lç3lm3Őt3r.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

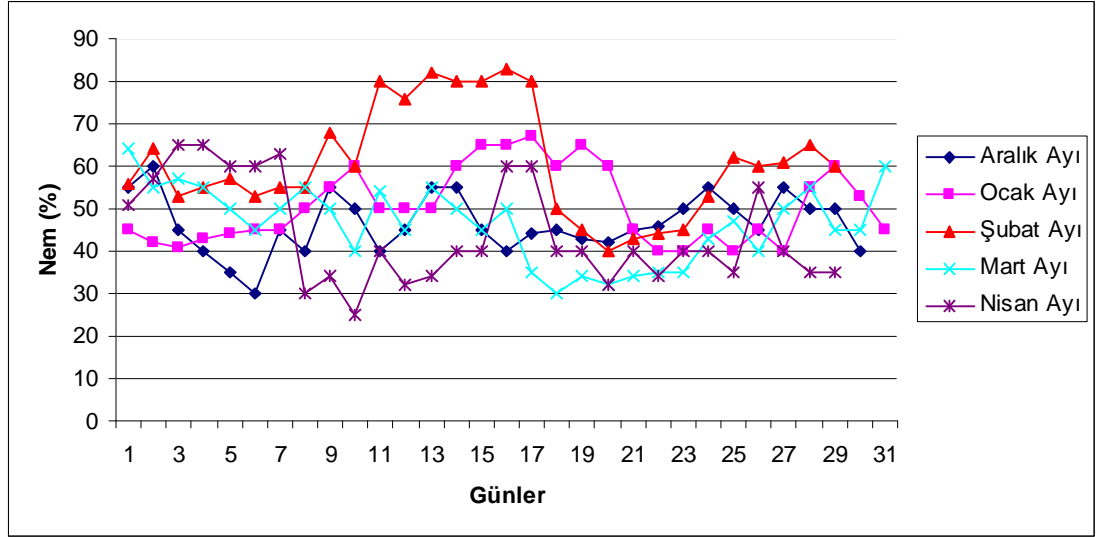
4.1. İklimsel Şartlar

Çukurova Bölgesinde, 1975–2008 yılları arasındaki iklim sonuçlarına göre; ortalama yıllık sıcaklık 20,08 °C, en soğuk ay ortalama 5,5 °C ile Ocak ayı olup 0 °C sıcaklık çok nadir görülür, en sıcak ay ortalama 36,5 °C ile Ağustos ayıdır. Yılın 195,6 günü yazdır, bu günlerin 134,4'ü tropik gün olarak belirlenmiştir ve yağmurlu gün sayısı 81,6 gündür. Yağış her mevsimde farklı miktarlarda görülmekte ve en çok yağış Ocak, Şubat ve Mart aylarında düşmektedir. Ortalama yıllık yağış 647 mm olup, en fazla 130,3 mm ile Aralık ayı, en az 4–6 mm ile Ağustos ayında görülmektedir. Bölgedeki yaz kuraklığının nedeni dinamik yüksek basınç alanlarının etkili olması ve bölgenin alçalıcı hava hareketlerinin etkisine girmesinin sonucudur (Ç.Ü. Meteo, 007; DMİ, 2008).



Şekil 4.1. Aralık, Ocak, Şubat, Mart, Nisan Ayları Sıcaklık (°C) Değişim Grafiği

Aralık- Nisan ayları arasında en düşük sıcaklıklar Ocak ve Şubat aylarında, en yüksek sıcaklıklar ise Nisan ayında görülmüştür.

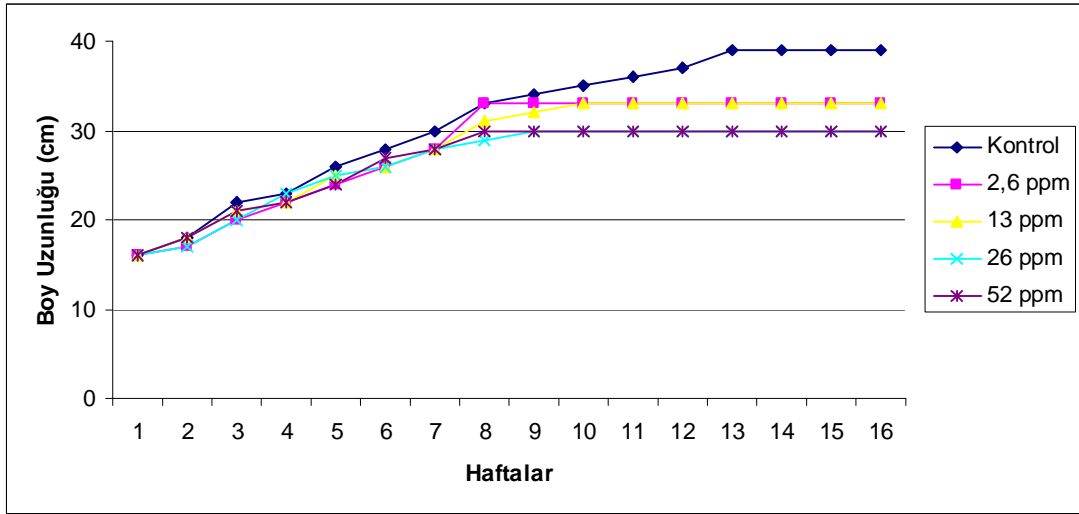


Şekil 4.2. Aralık, Ocak, Şubat, Mart, Nisan Ayları Nem (%) Değişim Grafiği

Aralık- Nisan ayları arasında en yüksek nem değerleri Ocak ve Şubat aylarında en düşük nem değerleri ise Nisan ayında görülmüştür.

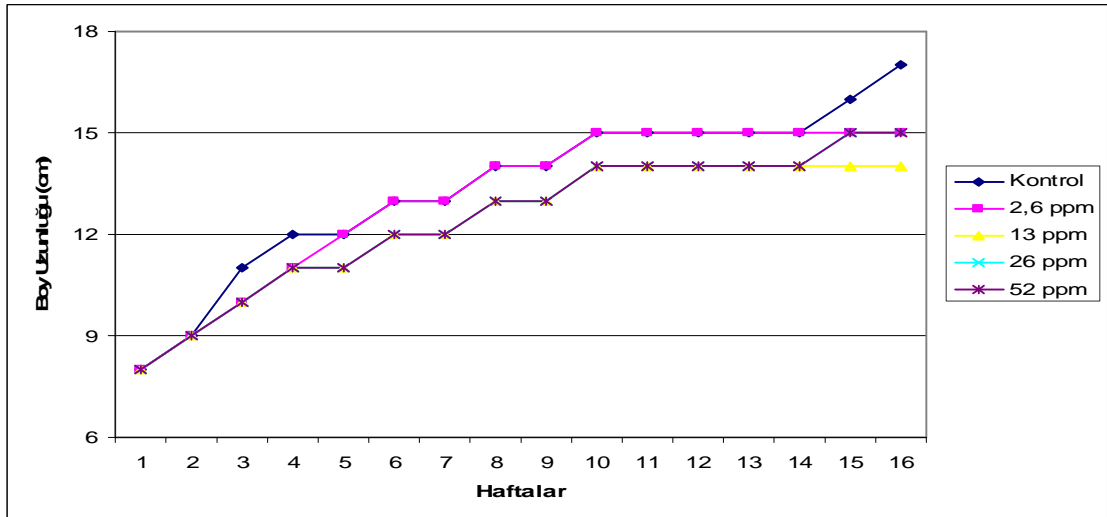
4.2. Fenolojik Bulgular

Yapılan çalışmada bitki gelişimi düzenli olarak gözlenmiş ve her bir konsantrasyonda ki bitkilerin boy uzunlukları haftalık olarak ölçülmüştür. Ayrıca her bir konsantrasyonda ki bitkilerin yaprak sayıları da haftalık olarak kaydedilmiştir. Elde edilen veriler de aşağıdaki grafiklerde gösterilmektedir (Şekil 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8.).



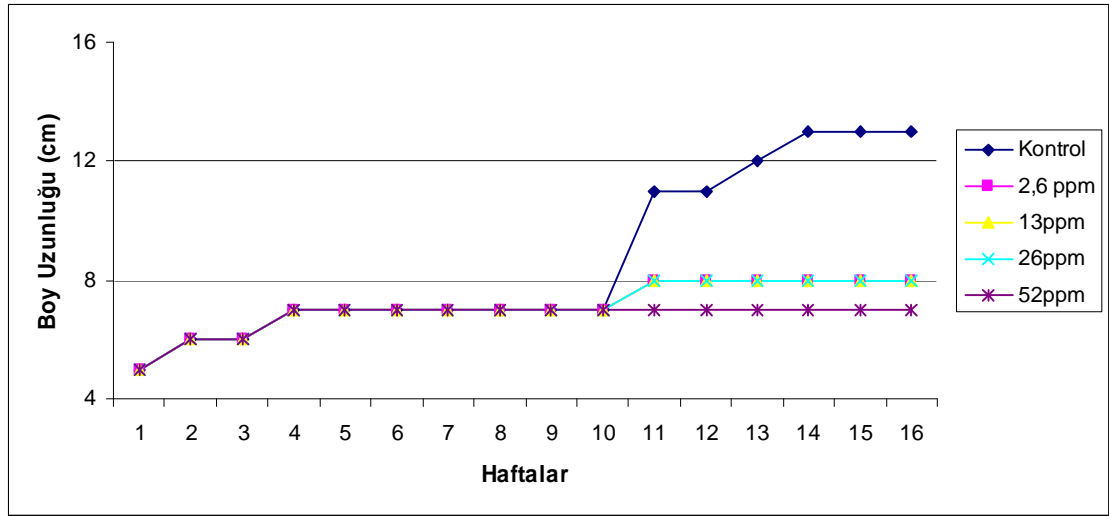
Şekil 4.3. *Aptenia cordifolia* Bitkisi Boy ölçümleri

Şekil 4.3’de *Aptenia cordifolia* bitkisinde kontrol grubu ve 2,6 ppm , 13 ppm , 26 ppm, 52 ppm, konsantrasyonda hazırlanan Cr (VI) çözeltilerinden verilen bitkilerin boy ölçümlerinin birbirlerine göre dağılımı gözlenmektedir. Grafik incelendiğinde kontrol grubunda ki bitkinin büyüme oranı 23 cm iken 2,6 ppm, 13 ppm, konsantrasyonda hazırlanan Cr (VI) çözeltileri ile sulanan bitkilerin büyüme oranları 17 cm olarak ve 26 ppm, 52 ppm, konsantrasyonda hazırlanan Cr (VI) çözeltilerinden verilen bitkilerin büyüme oranları ise 14 cm olarak bulunmuştur.



Şekil 4.4. *Brassica juncea* Bitkisi Boy Ölçümleri

Şekil 4.4’de *Brassica juncea* bitkisinde kontrol grubu ve 2,6 ppm, 13 ppm, 26 ppm, 52 ppm konsantrasyonda hazırlanan Cr (VI) çözeltilerinden verilen bitkilerin boy ölçümlerinin birbirlerine göre dağılımı gözlenmektedir. Grafik incelendiğinde kontrol grubunda ki bitkinin büyüme oranı 9 cm iken 2,6 ppm, 13 ppm, 26 ppm, 52 ppm konsantrasyonda hazırlanan Cr (VI) çözeltileri ile sulanan bitkilerin büyüme oranları ise 7 cm olarak bulunmuştur.

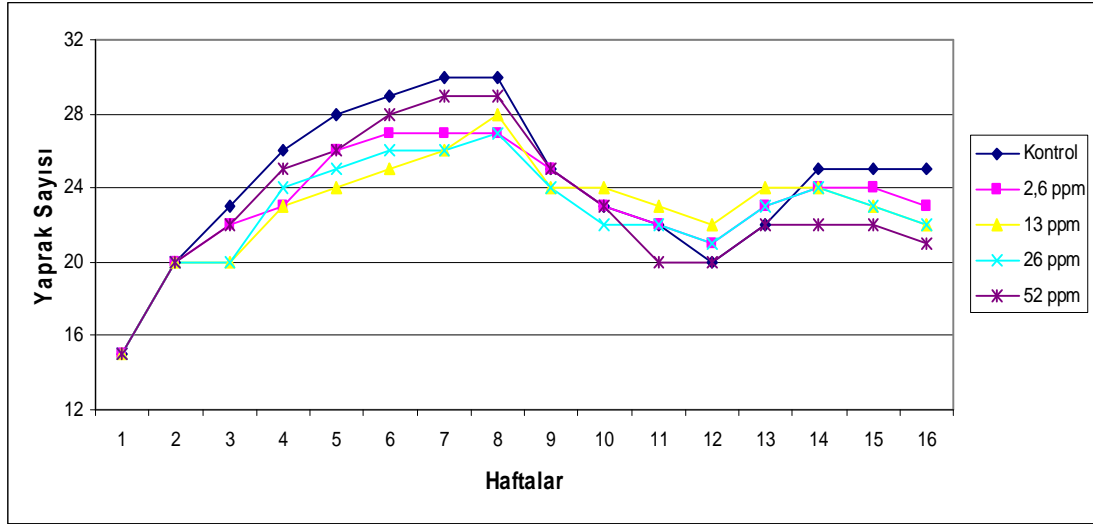


Şekil 4.5. *Brassica oleracea* Bitkisinin Boy ölçümleri

Şekil 4.5’de *Brassica oleracea* bitkisinde kontrol grubu ve 2,6 ppm, 13 ppm, 26 ppm, 52 ppm konsantrasyonda hazırlanan Cr (VI) çözeltilerinden verilen bitkilerin boy ölçümlerinin birbirlerine göre dağılımı gözlenmektedir. Grafik incelendiğinde kontrol grubunda ki bitkinin büyüme oranı 8 cm iken 2,6 ppm, 13 ppm, 26 ppm, konsantrasyonda hazırlanan Cr (VI) çözeltileri ile sulanan bitkilerin büyüme oranları ise 3 cm olarak 52 ppm konsantrasyonda hazırlanan Cr (VI) çözeltileri ile sulanan bitkinin büyüme oranı ise 2 cm olarak bulunmuştur.

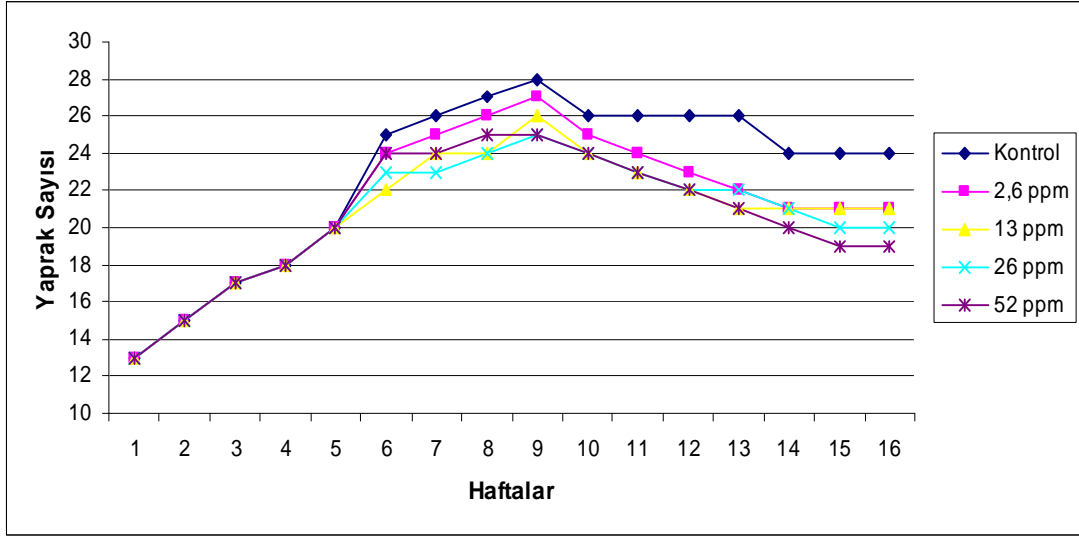
Genel bir değerlendirme yapılırsa bitkilerin büyüme oranlarında çeşme suyu ile sulanan kontrol grubunda hızlı artış olduğu ancak 2,6 ppm, 13 ppm, 26 ppm, 52 ppm konsantrasyonda hazırlanan Cr (VI) çözeltileriyle sulanan bitkilerin konsantrasyon artışına göre büyüme oranlarında yavaş gelişme olduğu söylenebilir. Ayrıca *Aptenia cordifolia* bitkisinin *Brassica oleracea* ve *Brassica juncea* bitkilerine göre büyüme oranlarında daha hızlı bir gelişme olduğu görülmektedir. *Brassica* türünden olan

bitkiler arasında ise *Brassica juncea* bitkisinin *Brassica oleracea* bitkisine göre daha fazla geliştiği görülmektedir. *Alyssum maritima* bitkisi yer örtücü bir bitki olduğu için boy ölçüm değerlendirmesine katılmamıştır.



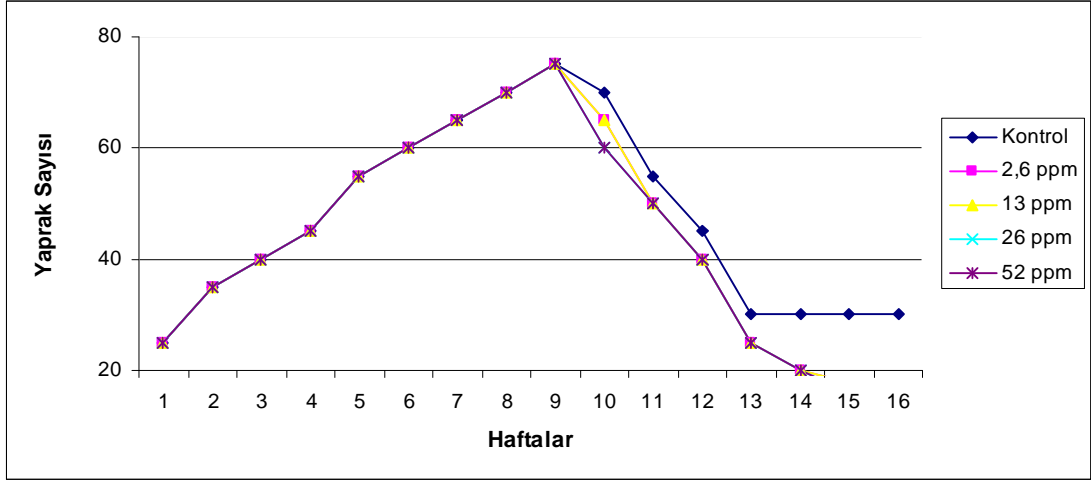
Şekil 4.6. *Brassica juncea* Bitkisi Yaprak Sayısı

Şekil 4.6'da *Brassica juncea* bitkisinde kontrol grubu ve 2,6 ppm, 13 ppm, 26 ppm, 52 ppm konsantrasyonda hazırlanan Cr (VI) çözeltilerinden verilen bitkilerin yaprak sayılarının birbirlerine göre dağılımı gözlenmektedir. İlk 8 hafta bütün konsantrasyonların yaprak sayılarında artış gözlenmiştir. Ancak 8.haftadan sonra 13.haftaya kadar bütün konsantrasyonların uygulandığı bitkilerin yapraklarında dökülmeler görülmüştür. 13. haftadan sonra ise 15. haftaya kadar bitkilerin yaprak sayılarında tekrar artış görülmeye başlamıştır. 15. haftadan sonra kontrol grubunun çalışmanın sonuna kadar yaprak sayısının da sabitlik görülürken dört farklı konsantrasyonda Cr (VI) çözeltileri ile sulanan bitkilerin yapraklarında ise azalmalar görülmüştür. Ancak çalışmanın sonunda kontrol grubu ve 2,6 ppm, 13 ppm, 26 ppm, 52 ppm, konsantrasyonda bulunan bitkilerin canlılıklarını koruduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.7. *Brassica oleracea* Bitkisinin Yaprak sayısı

Şekil 4.7’de *Brassica oleracea* bitkisinde kontrol grubu ve 2,6 ppm, 13 ppm, 26 ppm, 52 ppm, konsantrasyonda hazırlanan Cr (VI) çözeltilerinden verilen bitkilerin yaprak sayılarının birbirlerine göre dağılımı gözlenmektedir. İlk 10 hafta bütün konsantrasyonlar da yaprak sayılarında artış gözlenmiştir. Ancak 10.haftadan sonra 14.haftaya kadar bütün konsantrasyonların uygulandığı bitkilerin yapraklarında dökülmeler başlamıştır. 14. haftadan sonra ise 16. haftaya kadar bitkilerin yaprak sayılarında herhangi bir artış gözlemlenmemiştir. 16.hafta sonunda ise kontrol grubu ve 2,6 ppm, 13 ppm, 26 ppm, 52 ppm, konsantrasyonda bulunan bitkilerin canlılıklarını koruduğu gözlemlenmiştir.

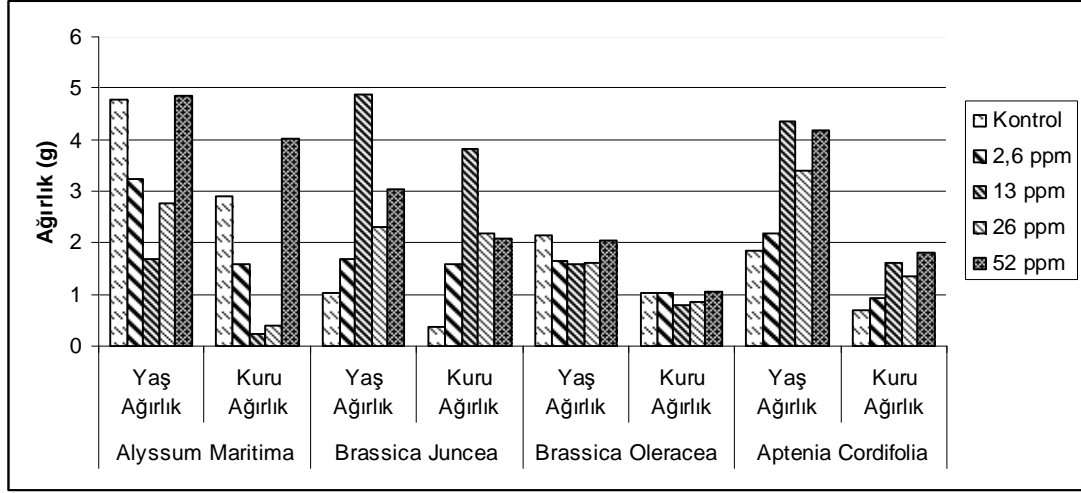


Şekil 4.8. *Alyssum maritima* Bitkisi Yaprak Sayısı

Şekil 4.8’de *Alyssum maritima* bitkisinde kontrol grubu ve 2,6 ppm, 13 ppm, 26 ppm, 52 ppm, konsantrasyonda hazırlanan Cr (VI) çözeltilerinden verilen bitkilerin yaprak sayılarının birbirlerine göre dağılımı gözlenmektedir. İlk 10 hafta bütün konsantrasyonlar da yaprak sayılarında artış gözlenmiştir. Ancak 10.haftadan sonra 14.haftaya kadar bütün konsantrasyonların uygulandığı bitkilerin yapraklarında dökülmeler görülmüştür. 14. haftadan sonra ise 16. haftaya kadar çeşme suyu ile sulanan yani kontrol grubu yaprak sayılarında herhangi bir artış gözlenmemiş ve kontrol grubunun canlılığını koruduğu gözlenmiş iken 16.hafta sonunda ise 2,6 ppm, 13 ppm, 26 ppm, 52 ppm, konsantrasyonda hazırlanan Cr (VI) çözeltileri ile sulanan bitkilerin tamamen canlılıklarını yitirdikleri görülmüştür.

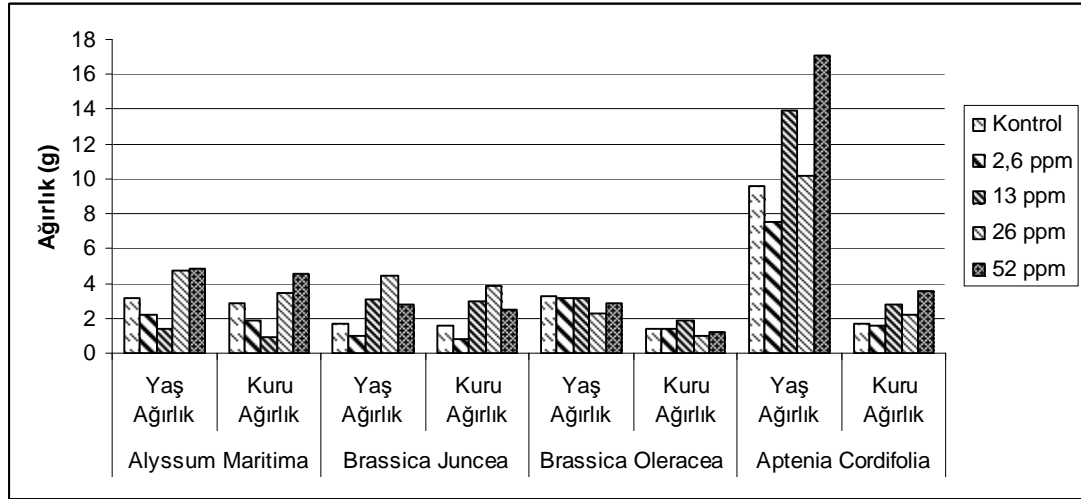
4.3. Bitkisel Verimlilik

Yapılan çalışmada sistemden bitkilerin sökülmesinden sonra bitkiler kök, gövde, yaprak ve yetiştirme ortamlarından alınan numuneler analiz için alındığında tartılmış ve yaş ağırlıkları kaydedilmiştir. Bu işlemden sonra 60° C etüvde 5 gün bekletilen numunelerin kuru ağırlıkları da kaydedilerek sonuçlar aşağıdaki grafiklerde verilmiştir (Şekil 4.9, şekil 4.10, şekil 4.11, şekil 4.12).



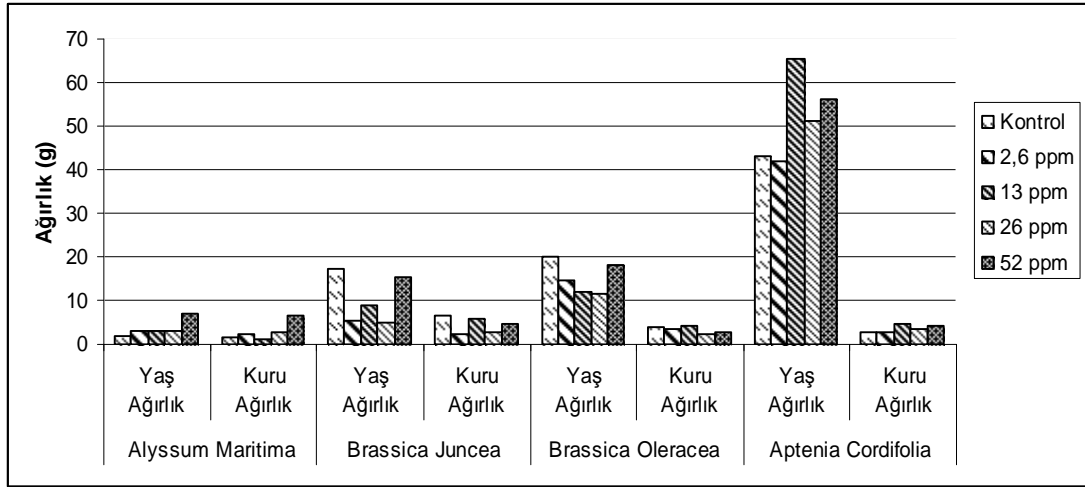
Şekil 4.9. Bitki Köklerinin Yaş ve Kuru Ağırlıklarının Karşılaştırması

Şekil 4.9 'da Bitkilerin köklerinin yaş ve kuru ağırlıklarının grafiği incelendiğinde iki grafik arasında farklılıklar bulunmaktadır. *Aptenia cordifolia* ve *Alyssum maritima* bitkileri *Brassica* türlerine göre bütün konsantrasyonlarda köklerinde suyu daha fazla tuttuğu gözlenmiştir.



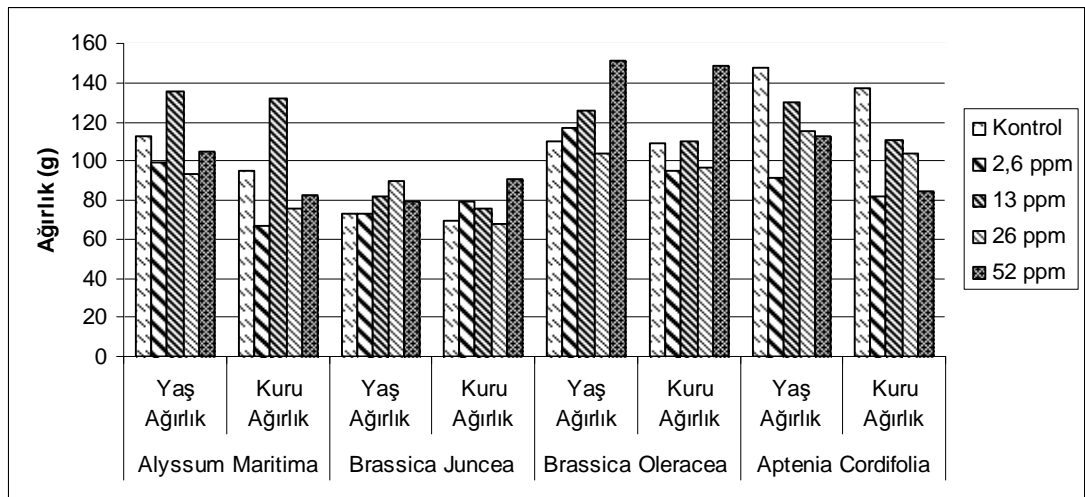
Şekil 4.10. Bitki Gövdelerinin Yaş ve Kuru Ağırlıklarının Karşılaştırması

Şekil 4.10 'da Bitkilerin gövdelerinin yaş ve kuru ağırlıklarının grafiği incelendiğinde iki grafik arasında farklılıklar bulunmaktadır. Bitkiler arasında gövdesinde suyu en fazla tutan bitkinin bütün konsantrasyonlarında diğer bitkilere göre *Aptenia cordifolia* bitkisi olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.11. Bitki Yapraklarının Yaş ve Kuru Ağırlıklarının Karşılaştırması

Şekil 4.11’de Bitkilerin yapraklarının yaş ve kuru ağırlıklarının grafiği incelendiğinde iki grafik arasında farklılıklar bulunmaktadır. Bitkiler arasında yaprağında suyu en fazla tutan bitkinin kökünde ve gövdesinde de olduğu gibi bütün konsantrasyonlarında *Aptenia cordifolia* bitkisi olduğu gözlenmiştir. *Aptenia cordifolia* bitkisinin diğer üç bitkiye göre su tutma kapasitesi yüksek olması bu bitkinin sukulent yani aşırı su tutma kapasitesine sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

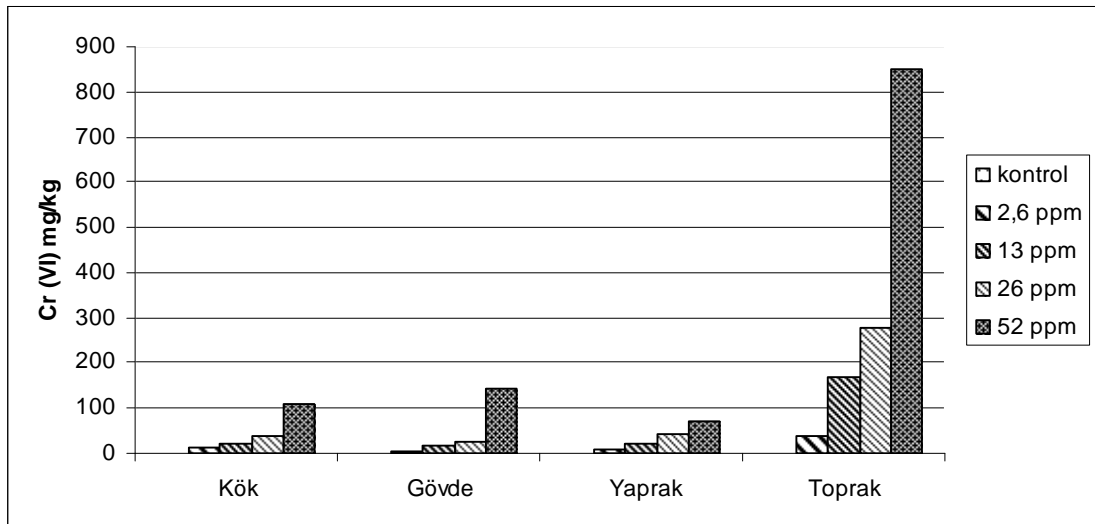


Şekil 4.12. Bitki Yetiştirme Ortamlarının Yaş ve Kuru Ağırlıklarının Karşılaştırması

4.4. Bitkilerin Cr (VI) İyonunu Giderimi

Bitkiler normal büyümelerini ve gelişimlerini sürdürebilmek için topraktan ve sudan ağır metalleri alabilme ve bunları dokularında biriktirebilme kabiliyetine sahiptir. Bu ağır metaller Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Mo and Ni olarak sayılabilir (Langille ve MacLean, 1976). Bazı bitkiler ise bilinen biyolojik fonksiyonları olmayan ağır metalleri bile biriktirme kabiliyetine sahiptir. Bu ağır metaller ise Cd, Cr, Pb, Co, Ag, Se ve Hg olarak sayılabilir (Hanna ve Grant, 1962; Baker ve Brooks, 1989). “Hiperakümülatör Bitkiler” diyerek bu tanımı ilk kez kullanan ve literatüre kazandıran Brooks toprak üstü bünyesinde kuru ağırlık olarak % 0,1 (1.000 µg/g) oranından daha fazla miktarda Ni, Co, Cu, Cr veya Pb ve yahut ta yapraklarında % 1 oranında (10.000 µg/g) Zn biriktirebilen bitkilerin olduğunu ortaya koymuşlardır.

Bu araştırmada bitki yetiştirme ortamları olarak torf kullanılarak konsantrasyon artışına rağmen bitkinin Cr (VI) iyonunu alımları belirlenmeye çalışılmış hem de dört bitki türünün kök, gövde ve yapraklarında ki Cr (VI) iyonunu alım dağılımları incelenmiştir. Kontrol grubunda da torf kullanılmıştır ancak Cr (VI) iyonu miktarına rastlanmamıştır. Bu durum analizler için kullanılan ICP cihazının minimum ölçüm değeri olan 0,005 mg/L değerinin altında olmasından kaynaklanmaktadır.

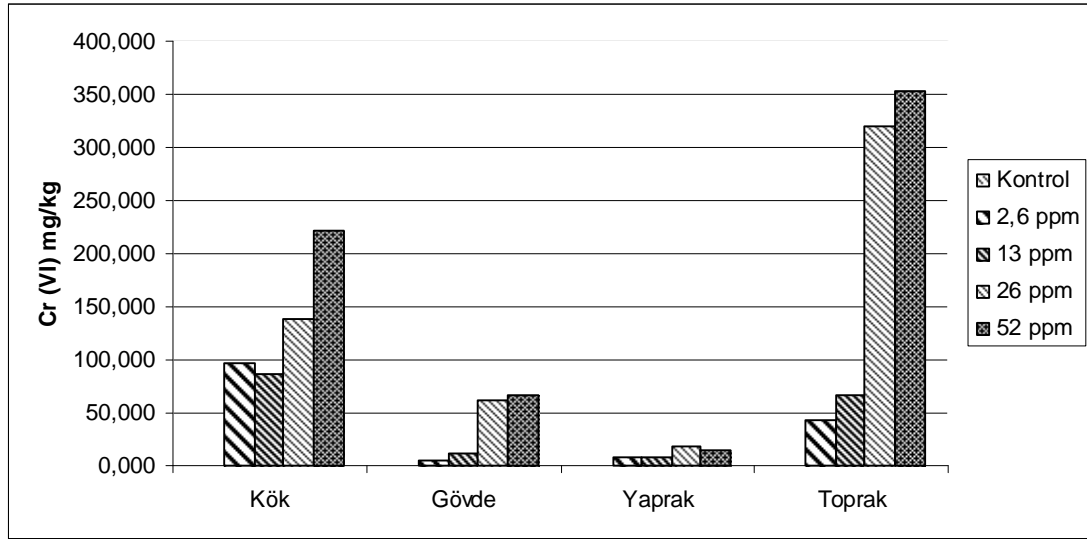


Şekil 4.13. *A. cordifolia* Bitkisinin Konsantrasyonlara Göre Cr (VI) İyonu Giderimi

Aptenia cordifolia bitkisine uygulanan farklı konsantrasyonlar da Cr (VI) iyonuna karşı bitkinin kökünde, gövdesinde ve yaprağındaki Cr (VI) iyonunun giderim kapasiteleri incelenmiştir. Bitki en fazla uygulanan 52 ppm'lik konsantrasyona karşı dayanıklılık göstermiş ve ayrıca en fazla birikimide 52 ppm'lik konsantrasyonda yaptığı görülmüştür. 52 ppm'lik Cr (VI) iyonunun uygulandığı bitkilerin Cr (VI) iyonu birikimi kökünde (110,10 mg/kg), gövdesinde (143,10 mg/kg), yaprağında (69,85 mg/kg) olarak gözlemlenmiştir. Toprakta fazla miktarda Cr (VI) iyonu kalmasına rağmen bitki kökü ile aldığı Cr (VI) iyonunu gövdesine ve yapraklarına kadar iletebilmiştir.

Köseoğlu. (2007), yılında yaptığı çalışmada da dört farklı bitki türü kullanarak arıtma çamurunda ki Cr (VI) iyonunu bünyesinde biriktirme potansiyelini gözlemlemişlerdir. Bu çalışmadan alınan sonuçlarda da kullanılan *Aptenia cordifolia* bitkisinin köklerinde ki Cr (VI) iyonu birikimi de 18,78 mg/kg olarak görülmektedir.

Zaimoğlu ve ark. (2009), yılında yaptıkları çalışmada arıtma çamuru ve sızıntı suyu kullanarak yaptıkları çalışmada *Aptenia cordifolia* bitkisini kullanarak bu bitkinin Cr (VI) iyonu biriktirme potansiyelini değerlendirmişlerdir. Çalışmaya göre *Aptenia cordifolia* bitkisinin Cr (VI) iyonunu bizim çalışmamızda da olduğu gibi en fazla kök bölgesinde biriktirdiği gözlemlenmiştir. Alınan sonuçlar doğrultusunda da sadece arıtma çamuru uygulanarak yetiştirilen *Aptenia cordifolia* bitkisinin kökünde ki Cr (VI) iyonu birikimi 15,19 mg/kg, hem arıtma çamuru hemde sızıntı suyu uygulanarak yetiştirilen *Aptenia cordifolia* bitkisinin kökünde ki Cr (VI) iyonu birikimide 31,81 mg/kg olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.14. *B. Juncea* Bitkisinin Konsantrasyonlara Göre Cr (VI) İyonu Giderimi

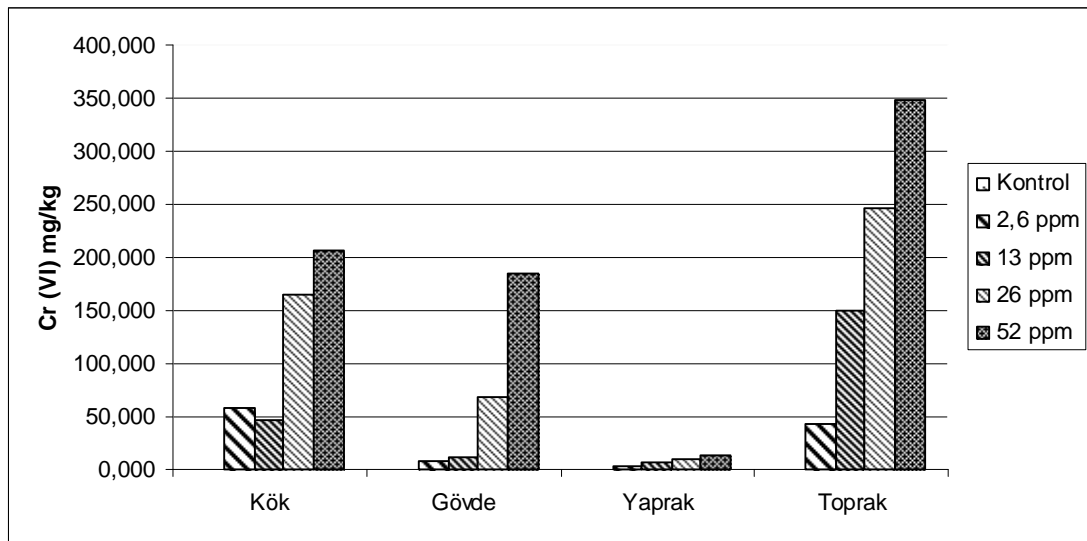
Brassica Juncea bitkisine uygulanan farklı konsantrasyonlar da Cr (VI) iyonuna karşı bitkinin kökünde, gövdesinde ve yaprağındaki Cr (VI) iyonu giderim kapasiteleri incelenmiştir. Bitki en fazla uygulanan 52 ppm'lik konsantrasyona karşı dayanıklılık göstermiş ve ayrıca en fazla birikim 52 ppm'lik konsantrasyonun uygulandığı bitkinin kökünde (222,400 mg/kg), gövdesinde (102,50 mg/kg), yaprağında (15,50 mg/kg) olarak gözlemlenmiştir.

Knauer ve ark. (2006), yılında yaptıkları çalışmalarda da *Brassica juncea* bitkisinde ve *C. Vulgaris'de* krom birikimi artışının ortamda bulunan düşük krom derişimlerine (0.1, 1 ve 5 mg/L) oranla yüksek krom derişimlerinde (10, 25 ve 50 mg/L) daha fazla olduğu gözlenmiştir. Yine *Brassica juncea* bitkisinde ve *C. vulgaris'teki* krom birikimi her derişim ve sürede bir durgunluk göstermemiş sürekli olarak artmıştır. Bu sonuç, devamlı olarak ortamda bulunan kromun bitkinin kökü tarafından alındığını ve bu kromun hücre bileşenlerinde ya da spesifik metal bağlayıcı proteinlerde depo edildiğini düşündürmektedir.

Nouairi ve ark., (2006), çalışmalarında da *Brassica napus* bitkisinin Cd biriktirme potansiyelini Cd hiperakümülatörü olarak bilinen *Brassica juncea* bitkisiyle karşılaştırmışlardır. Çalışma sonunda her bitkinin de kök bölgesinde biriken Cd konsantrasyonlarının gövdede birikenden fazla olduğunu belirtmişlerdir.

Ancak *B. juncea* bitkisinin gövdesinde *B. napus* bitkisine göre üç kat daha fazla Cd biriktirdiğini belirtmişlerdir.

Sridhar ve ark (2003) yaptığımız çalışmaya paralel olarak *Brassica juncea* bitkisine $K_2Cr_2O_7$ kullanılarak hazırlanmış olan Cr (VI) iyonunu 50, 100, 250, 500 mg/kg konsantrasyonlarda uygulamışlardır ve *Brassica juncea* bitkisinin en çok alımı kök bölgesinde yaptığını ve en fazla 250 mg/kg konsantrasyona dayanabildiği gözlemlenmiştir.



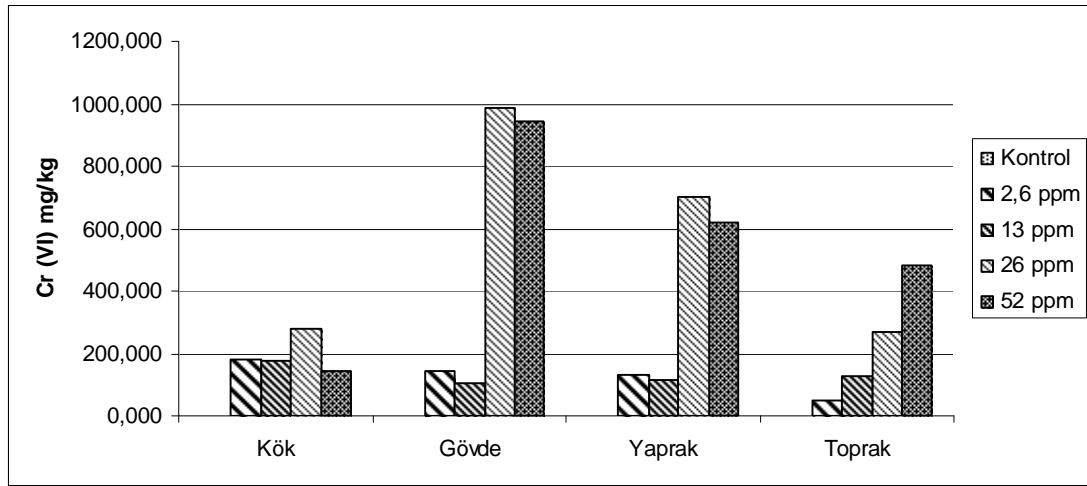
Şekil 4.15. *B. oleracea* Bitkisinin Konsantrasyonlara Göre Cr (VI) İyonu Giderimi

Brassica oleracea bitkisine uygulanan farklı konsantrasyonlar da Cr (VI) iyonuna karşı bitkinin kökünde, gövdesinde ve yaprağındaki Cr (VI) iyonu giderim kapasiteleri incelenmiştir. Bitki en fazla uygulanan 52 ppm'lik konsantrasyona karşı dayanıklılık göstermiş ve ayrıca en fazla birikim 52 ppm'lik konsantrasyonun kökünde (207,100 mg/kg), gövdesinde (184,20 mg/kg) ve yaprağında (13,20 mg/kg) olarak gözlemlenmiştir.

Srivastava ve ark., (2005)'de yaptıkları bir çalışmada da paralel bir şekilde, sulama suyu olarak sızıntı suyu kullanılarak *A. cepa* bitkisi ile krom birikiminin köklerde daha fazla gerçekleştiğini belirtmişlerdir (17,1 mg/kg).

Aptenia cordifolia, *Brassica juncea*, *Brassica oleracea* bitkileri için genel bir değerlendirme yaparsak bitkilere uygulanan en yüksek konsantrasyon olan 52 ppm'lik derişimde yaşamlarını sürdürebildikleri gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlara

göre de *Aptenia cordifolia*, *Brassica juncea*, *Brassica oleracea* bitkilerinin köklerdeki birikimin gövdeye ve yaprağa göre daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Baldantoni ve arkadaşlarının (2005) yaptığı çalışmalara paralel şekilde bitki bünyesindeki birikim en çok kök bölgesinde sonra gövde+yapraklarda olacak şekilde belirlenmiştir. Ayrıca *Aptenia cordifolia* bitkisinin Cr (VI) iyonunu *Brassica juncea* ve *Brassica oleracea* bitkilerinin yapraklarına oranla daha fazla biriktirdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.16. *A. Maritima* Bitkisinin Konsantrasyonlara Göre Cr (VI) İyonu Giderimi

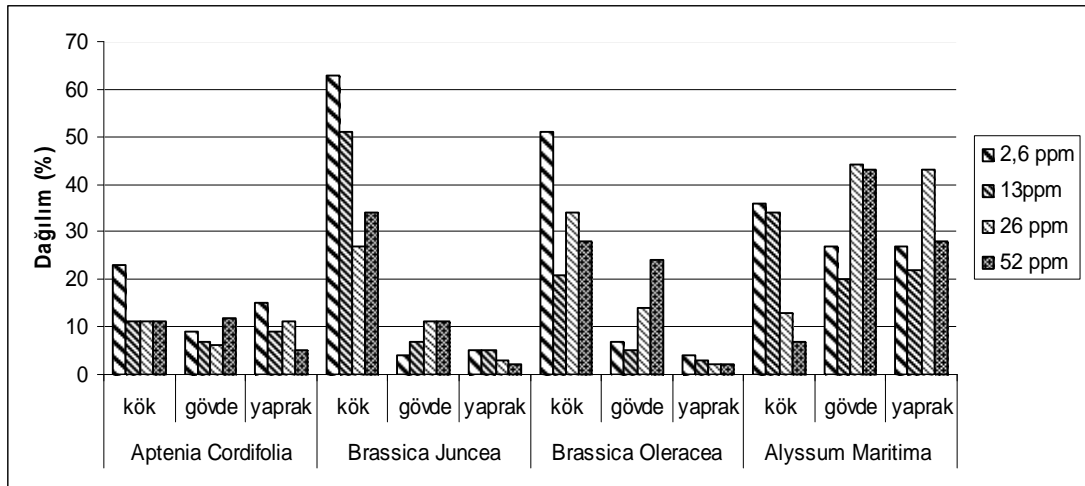
Alyssum Maritima bitkisine uygulanan farklı konsantrasyonlar da Cr (VI) iyonuna karşı bitkinin kökünde, gövdesinde ve yaprağındaki Cr (VI) iyonu giderim kapasiteleri incelenmiştir. Bitkiye en fazla uygulanan 52 ppm'lik konsantrasyon bitkide toksik etki yaratmıştır. Çünkü 26 ppm'lik uygulanan konsantrasyonda ki alım 52 ppm'lik uygulanan konsantrasyondaki alımından daha fazladır. Uygulanan konsantrasyonlara göre en fazla birikim 26 ppm'lik konsantrasyonun gövdesinde (987,600mg/kg), yaprağında (700,10 mg/kg), kökünde (279,20 mg/kg) birikim gözlenmiştir. 52 ppm'lik konsantrasyonun uygulandığı bitkinin gövdesinde (941,200 mg/kg), yaprağında (621,100 mg/kg), kökünde (143,50 mg/kg) birikim olduğu gözlenmiştir. Ağır metallerin bitkinin odunsu yapısına bağlanmaları durumunda yapraklara kadar iletilmesi yapılan diğer çalışmalarda da görülmektedir (Stomp ve ark., 1994).

Minguzzi ve Vergnano (1998), yaptıkları çalışmada Florence, İtalya yakınlarında bulunan *Alyssum* türlerinde olan çok yıllık *Alyssum bertolonii* Desv.'nin bünyesinde aşırı konsantrasyonda nikel bulunduğunu, bu bitkinin yetiştiği toprakta 4900 ppm nikel bulunmasına rağmen bitkinin yaprağında kuru ağırlıkta 7900 ppm nikel bulunduğunu belirtmişlerdir. Zorlu da (2006) yılında yaptığı çalışmada da *Alyssum sibiricum* bitkisinin üzerinde yetiştiği topraklarda bor konsantrasyonu 5–21 µg/g arasında olup bu değerler, bitkinin yaprak kısmında 50- 325 µg/g, dal kısmında ise 38–188 µg/g arasında değişmektedir. *Alyssum sibiricum* bitkisinin bor ağır metalini en fazla yaprakların da biriktirdiğini gözlemlemişlerdir.

Xue-Hang Zhang ve ark., (2007) yaptıkları bir çalışmada da bizim çalışmamıza paralel bir şekilde *Leersia hexandra* bitkisine Cr (VI) iyonu uygulanmıştır ve sonuç olarak bizim kullandığımız *Alyssum maritima* bitkisi gibi Cr (VI) iyonu bitkinin en fazla yaprakların da ve gövdesinde biriktiğini gözlemlemişlerdir (597 mg/kg).

4.5. Cr (VI) İyonunun Bitkilerin Bünyesindeki Birikimin Dağılımı

Bitkilere farklı konsantrasyonlarda uygulanan Cr (VI) iyonunun bitkilerin kök, gövde ve yapraklarında dağılım grafiği Şekil 4.17' (%) de olarak verilmiştir.



Şekil 4.17. Cr (VI) İyonunun Bitkilerin Bünyelerindeki Dağılımının Grafiği

Aptenia cordifolia, *Brassica juncea*, *Brassica oleracea* bitkilerine uygulanan farklı konsantrasyonlarda Cr (VI) iyonunu bitkiler % olarak en çok kök bölgelerinde biriktirdikleri gözlenmiştir. Ancak *Alyssum Maritima* bitkisinin özellikle son iki konsantrasyonun da gövde ve yapraklarındaki birikimin % olarak değeri kökünden fazla olduğu görülmektedir. Bitkilerin bünyelerine aldıkları Cr (VI) iyonu miktarları %30 -80 arasında değiştiği görülmektedir.

Srivastav ve ark., (1994) yılında yaptıkları çalışmada da *Salvinia* sp. ve *Spirodela* sp. su bitkileri ve *Brassica Juncea* bitkisini kullanarak Cr (VI) ve Ni (II) iyonları karışımlarının kullanıldığı sentetik atık sulardan Cr (VI) ve Ni (II) iyonlarının giderimi çalışmalarında, iyonların giderim yüzde oranlarının iyonların çeşidine ve kullanılan bitki türüne göre %56–96 arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Toprakta kirliliğe sebep olan doğal ve insan aktivitelerine bağlı olarak, tarımsal alanlardaki toprak erozyonuyla, şehir atık suları, endüstriyel ve madencilik aktiviteleri sonucu çevrenin ağır metallere kontaminasyonu dikkat edilmesi gereken bir konu haline gelmiştir. Topraklara karışan ağır metallere topraktan klasik fizikokimyasal yöntemler kullanılmak suretiyle temizlenmesi pahalı ve kullanımı oldukça sınırlı tekniklerdir. Bu nedenle, toprakta hareket kabiliyeti düşük olan ağır metallere topraktaki hareket kabiliyetini artırarak doğal yollardan topraktan uzaklaştırılmasını sağlayan, uygulaması kolay ve maliyeti düşük olan fitoremediasyon yöntemi kullanılarak topraktaki ağır metallere konsantrasyon ve çeşidine bağlı olarak değişen farklı hiperakümülatör bitkiler yardımıyla uzaklaştırılması oldukça önem kazanmaktadır.

Çalışma $K_2Cr_2O_7$ (potasyumdikromat) kullanılarak farklı konsantrasyonlarda hazırlanan Cr (VI) iyonu uygulanarak kirlenmiş toprağın bitkiler tarafından iyileştirilmesi ve ileri arıtılmasına bir alternatif olarak sunulmuştur. Yapılan çalışma da dört farklı konsantrasyonda hazırlanan Cr (VI) çözeltileri ile sulanan bitkilere uygulanan Cr (VI) konsantrasyonuna bağlı olarak Cr (VI) iyonunu kök, gövde ve yapraklarında kontrol altında tutarak tekrar toprağa, yüzey ve yer altı sularına karışması önlenmiş olacaktır.

Krom ile kirlenmiş topraklarda bitkilerin krom ile organizma arasındaki ilk etkileşimi krom alımı prosesi esnasında olmaktadır. Yapılan bazı çalışmalar bitki bünyesine krom alımıyla topraktaki organik asitler arasında bir korelasyon olduğunu ortaya koymuştur. Srivastava ve ark. (1999) yaptıkları çalışmada toprakta artan organik asit konsantrasyonlarında, bitki bünyesine dağılımının etkilenmeden krom alımının arttığını bulmuşlardır. Krom toksik yoğunlaşma olarak metalin alımı, translokasyonu ve birikimi gibi faktörlere bağlıdır. Cr (VI) iyonunun alım yolu ise sülfat gibi gerekli anyonların taşınmasına katılan aktif bir mekanizmayla olmaktadır.

Fe, S ve P'nin taşıyıcılara bağlanmak için krom ile rekabet ettiği bilinmektedir (Wallace ve ark., 2002). Kimyasal özelliklerindeki (oksianyon yükü gibi) benzerliklerinden dolayı krom alımını sülfat ve fosfat analogları olarak anyonik kanallar yoluyla olmaktadır (Simkiss ve Taylor, 1995). Cr (VI) iyonunun alımını

metabolik inhibitörler azaltırken Cr (III)'ün alımı ise bu durumdan etkilenmemektedir. Bu da iki krom'dan Cr (VI) iyonunun metabolik enerjiye bağlı olarak alındığını göstermektedir (Skeffington ve ark., 2001).

Krom alınımında bitkilerde farklılık göstermektedir. Bazıları Cr (VI)'yı aktif taşıma ile Cr (III)'ü pasif taşıma ile alırken (Skeffington ve ark., 2001) bazılarında da her iki krom türünde aktif taşıma ile alınmaktadır (Ramachandran ve ark., 1999). Bazılarında da mikroorganizlardaki gibi sülfat transport sistemi $Cr_2O_7^{2-}$ 'nin (dikromat) alınımında rol oynamaktadır. Bizim çalışmamızda da buna paralel olarak Cr (VI) iyonunun alınımı için $K_2Cr_2O_7$ (potasyumdikromat) kullanılmıştır.

Bitki içinde topraktan aldığı kromun taşınması ve birikimi; bitki türüne, krom tipine (Mishra ve ark., 1995) ve ortamdaki krom konsantrasyonuna (Kleiman ve Cogliatti, 2003) bağlı olarak farklılık göstermektedir. Örneğin analiz edilen 10 ekin türünden 7'sinde Cr (VI) iyonunun Cr (III)'e oranla daha çok biriktiği gözlenmiştir (Zayed ve ark., 1998). Arpa bitkilerinde 100 ppm Cr (VI)'nın 2 günlük etkileşimden sonra stress oluşturduğu ve 7-10 günden sonra tüm bitkileri öldürdüğü gözlenmiştir. Cr (VI) iyonu tarafından oluşan semptomlar Cr (III) iyonu tarafından oluşturulanlardan hem daha güçlü hem daha erken oluşmakta hem de daha düşük konsantrasyonlarda meydana gelmektedir (Hauschild, 1993).

Dış ortamdaki krom bileşikleri bitkilere oldukça toksik olup büyüme ve gelişmelerine zarar vermektedir. Yapılan çalışmalarda bitki türlerinin düşük krom derişiminden ($3,8 \cdot 10^{-4} \mu M$) etkilenmediği gözlenmişken (Huffman ve Allaway, 1973) $100 \mu M$ Cr/kg kuru ağırlık konsantrasyonundan çok daha yüksek konsantrasyonlar ise bitkilere oldukça toksik olduğu gözlenmiştir (Davies ve ark, 2002).

Fitoremediasyon da topraktaki kirlilik seviyesini kabul edilebilir seviyelere düşürmek için bitkileri kullanan bir sistemdir. Bir bitkinin phytoremediation tekniğinde kullanılabilmesi için topraktan uzaklaştırılması düşünülen hedef ağır metali biriktirebilme yeteneğine sahip olması, ağır metalin toprakta bulunan konsantrasyonuna tolerans derecesinin yüksek olması, bitki biomasının hızlı gelişmesi ve büyüyen aksamda metalleri biriktirebilmesi ve yetiştirildiği bölgeye adaptasyonunun uygun olması gerekmektedir (Baker ve Brooks., 1989).

Bu nedenle, iyi bir akümülayon ve iyileştirme kapasitesine sahip olan bitkileri seçmek önemlidir. Bu çalışmada da, toprak temizlenmesinde kullanılan, tropik ve ılıman bölgelerde yaygın olarak yetişen dayanıklı, *Aptenia cordifolia*, *Brassica juncea*, *Brassica oleracea*, *Alyssum maritima* olmak üzere dört farklı bitki türü kullanılmıştır. Özellikle *Brassica* türleri ve bu çalışmada da kullanılan özellikle *Brassica juncea* metal biriktirici özeliği yönünden literatürde en fazla çalışılan bitkilerden biridir. Bu bitkide Zn konsantrasyonunun 2000 mg/kg, Cu konsantrasyonunun 75 mg/kg, Pb konsantrasyonunun 55 mg/kg Cr konsantrasyonunun 200 mg/kg olduğunu gösteren çalışmalar bulunmaktadır. (Clemente ve ark., 2005). Paralel bir şekilde *Betula* ve *salix* ağaçları ve *Brassica Juncea* bitkisinin krom'u topraktan bünyelerine alabilmelerinden dolayı nehir ağzındaki krom kirliliği Hindistan cevizi kabuğu, küspe ve *Brassica Juncea* ile absorplanırken, krom ile kirlenmiş yeraltı sularının fitoyileştirilmesi için *Betula* ve *salix* ağaçları kullanışlıdır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda, *Brassica Juncea* ve *Brassica Oleracea* bitkisi krom'u biriktirerek topraktaki krom'un fitoyileştirilmesi için uygunluğu kanıtlanmıştır. Ayrıca çalışmada kullanılan *Alyssum* cinsinin bazı türleri de, nikel metalini kuru gövde ve yaprak biyokütlesinin %3'üne varan derişimlerde biriktirme özelliğine sahip olduğu için ekolojik değeri olan bir bitki grubudur (Kramer ve ark., 1997).

Çalışma sonrasında iklimsel veriler, fenolojik gözlemler ve laboratuvar çalışmaları derlenmiştir. Çalışma sırasında yapılan fenolojik gözlemler sonucunda *Aptenia Cordifolia*, *Brassica Juncea*, *Brassica Oleracea* bitkileri uygulanan Cr konsantrasyonlarına rağmen canlılığını devam ettirmiştir. Ancak *Alyssum Maritima* bitkisine uygulanan farklı konsantrasyonlardaki Cr (VI) iyonu konsantrasyonlarından 52 ppm'lik konsantrasyon toksik etki yaratmıştır ve bu yüzden bitki bu konsantrasyonda yapraklarını tamamen dökerek ölmüştür. Bitkilerin boy ölçüm değerlerine göre de verilen Cr (VI) iyonu konsantrasyonlarına karşın boyu en fazla uzayan bitkinin *Aptenia Cordifolia* bitkisi olduğu gözlemlenmiştir.

Çalışmadan alınan sonuçlar doğrultusunda kullanılan *Aptenia Cordifolia*, *Brassica Juncea*, *Brassica Oleracea* bitkilerine uygulanan farklı konsantrasyonlarda Cr (VI) iyonuna karşı bitkiler en fazla olan 52 ppm'lik konsantrasyona rağmen

canlılıklarını korumuşlardır ve Cr (VI) iyonunu özellikle kök bölgelerinde biriktirmişlerdir. Sharma ve ark (2001) yılında yaptıkları çalışma da da 0.05 mM, 0.1mM, 0.25mM, 0.5mM, 1mM, konsantrasyonlarda Na₂Cr₂O₇ (sodyundikromat) kullanılarak hazırlanan Cr (VI) iyonunu *Zea mays L.* (mısır) bitkisine uygulamışlar ve mısır bitkisinin kök, gövde, yaprak ve koçanlarında Cr (VI) iyonunu gözlemlenmişlerdir. Sonuç olarak mısır bitkisinin en çok Cr (VI) iyonu alımını bizim çalışmamızda da olduğu gibi köklerinde biriktirdiği ve en yüksek konsantrasyon olan 1mM da da canlılığını korumaya devam ettiği gözlemlenmiştir.

Bitkilerde ki krom birikimi de farklılık göstermektedir çalışmamızda da *Brassica juncea* bitkisinin kök bölgesinde biriktirebildiği Cr (VI) iyonu, *Aptenia cordifolia* ve *Brassica oleracea* bitkilerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bitkilerin kökleri, sürgün ve diğer dokulara oranla 10-100 kat daha fazla krom biriktirmektedir (Zayed ve ark., 1998; Srivastava ve ark., 1999).

Diğer üç bitkinin aksine *Alyssum Maritima* bitkisine uygulanan farklı konsantrasyonlarda Cr (VI) iyonuna karşı bitki en fazla olan 52 ppm'lik konsantrasyonda canlılığını koruyamamıştır. Ancak bitkinin Cr (VI) iyonunu biriktirme kapasitesi de diğer üç bitkiye göre daha fazla gözlenmiştir ve bu üç bitkinin aksine Cr (VI) iyonunu özellikle gövde ve yaprak bölgesine alabildiği görülmüştür.

Bütün bitkiler arasında genel bir değerlendirme yapılacak olursa *Brassica Juncea*, *Brassica Oleracea* ve *Aptenia Cordifolia* bitkileri en yüksek konsantrasyonlarda bile canlılığı devam ettirdikleri için 52 ppm den daha fazla konsantrasyonlara açık olduğu ortaya konulmuştur ancak *Alyssum Maritima* bitkisi 52 ppm'lik konsantrasyonda da Cr (VI) iyonunu almış olmasına rağmen en fazla Cr (VI) iyonunu 26 ppm'lik konsantrasyon da göstermektedir. Cr (VI) iyonunu biriktirebilme kapasitesine göre bitkilerde *Alyssum Maritima* > *Brassica Juncea* > *Brassica Oleracea* > *Aptenia Cordifolia* bitkisi şeklinde sıralanabilmektedir. Böylece bu süs bitkilerini kullanarak, krom ile kirletilmiş toprakların arıtımına bir alternatif sunulmuş ve yeşil görünümleri ile kullanılan alanlarda peyzaj da sağlanmış olacaktır.

İlerideki çalışmalara ışık tutması açısından ve ileride daha derinlemesine çalışabilmek açısından; *Aptenia Cordifolia*, *Brassica Juncea* ve *Brassica Oleracea*

bitkileri için daha yüksek konsantrasyonlarda çalışılarak bitkilerin Cr (VI) iyonu alımlarında eşik değerleri görülebilir.

Alyssum Maritima bitkisi yerine hem Cr (VI) iyonunu bünyesinde biriktirebilen hem de canlılığını koruyabilen farklı bir bitki tercih edilebilir. Ayrıca bitkilerin bünyelerinde biriktirebildikleri ağır metallerin geri kazanımı için bitkiler yakıldıktan sonra oluşan küllerinden eldesi sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- ABOU-ARAB, A.A. K., ABOU-DONIA, M.A. 2000. Heavy Metals In Egyptian Spices And Medicinal Plants And The Effect Of Processing Journal Of Agricultural Food Chemistry. Vol: 48 : 2300–2304
- ALLOWAY, B.J., AYRES, D.C., 1997. “Chemical Principles of Environmental Pollution.” Chapman and Hall, Uk.
- ANONYMOUS, 2005. <http://www.ttb.org.tr/bergama/5.html>
- ARIENZO M., ADAMO P., COZZOLINO V., 2004. The Potential Of Lolium Perene For Revegetation Of Contaminated Soil From A Metallurgical Site , Science Of The Total Environment, Volume 319, Issues 1–3, pp: 13–25
- ATSDR, 2003. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, <http://www.atsdr.cdc.gov/>
- AXTELL, N.R., STEVEN P., STRENBORG K., CLAUSSEN, K., 2003. Lead ve Nickel Removal Using Microspora and Limna Minör , Bioresource Technology, 89, : 41-48
- BABAOĞLU, M., GEZGİN, S., TOPAL, A., SADE, B., DURAL, H., 2004. Gypsophila Sphaerocephale Fenzl Ex Tchihat: A Boron Hyperaccumulator Plant Species That May Phytoremediate Soils with Toxic B Levels. Turkish Journal Of Botany. 28 : 273–278
- BAKER, A.J.M., BROOKS, R.R., 1989. Terrestrial Higher Plants Which Hyperaccumulate Metallic Elements– A Review of Their Distribution, Ecology and Phytochemistry. Biorecovery 1 : 81–126.
- BAKER, A.J.M., MCGRATH, S.P., REEVES, R.D., SMITH, J.A. C., 2000. Metal Hyperaccumulator Plants: A Review Of The Ecology And Physiology Of A Biological Resource For Phytoremediation Of Metal-Polluted Soils, pp: 85-107.
- BALDWIN P.R., and BUTCHER D.J., 2007. “Phytoremediation Of Arsenic By Two Hyperaccumulators In A Hydroponic Environment”, Microchemical Journal Volume 85 Issue 2 pp: 297–300

- BARONI, F., BOSCAGLI, A., PROTANO, G., RICCOBONO, F., 2000. Antimony Accumulation In *Achillea Ageratum*, *Plantago Lanceolata* And *Silene Vulgaris* Growing In An Old Sb Mining Area. *Environmental Pollution*, 109: 347–352.
- BARONI, F., BOSCAGLI, A., DI LELLA, L.A., PROTANO, G., RICCOBONO, F., 2004. Arsenic In Soil Vegetation Of Contaminated Areas In Southern Tuscany (Italy). *Journal of Geochemical Exploration*, 81: 1–14.
- BALL, P.W., DUDLEY, T.R., 1994. In Tutin T. G. *Jet All. Flora Europea Vol:1* pp: 297–305
- BALDANTONI, D., MAISTO, G., BARTOLI, G., ALFANI, A., 2005. Analyses of Three Native Aquatic Plant Species to Assess Spatial Gradients of Lake Trace Element Contamination. *Aquatic Botany*, 83: 48–60.
- BENNICELLI, R., STEPNIEWSKA, Z., BANACH, A., SZAJNOCHA, K., 2003.
- BLAYLOCK, M.J., SALT, D.E., DUSHENKOY, S., ZAKHAROVA, O., GUSSMAN, C., KAPULNIK, Y., ENSLEY, B.D. & RASKIN, I., 1997. Enhanced Accumulation Of Pb In Indian Mustard By Soil-Applied Chelating Agents. *Environ. Sci. Technol.*, 31 : 860-865
- BORISS, H., BRUNKE, H. KREITH, M., 2006. Commodity Profile: Cauliflower Agricultural Issues Center University Of California (09.09.2006) <http://faostat.fao.org/faostat/collections>.
- BROOKHAVEN NATIONAL LABORATORY., 2004. Peconic River Remedial Alternatives Phytoextraction.
- BROWN, H.J. SKOUSEN, J., RENTON. A., 1995. Flocculation Generation By Chemical Neutralization Of Acid Mine Drainage. *Green Lands* 24(1): 33–51
- BROOKS, R.P., T.J., O'CONNELL, D. H., WARDROP, L.E., JACKSON. 1998. Towards A Regional Index Of Biological Integrity: The Examples Of Forested Riparian Ecosystems. *Environmental Monitoring and Restoration*, In Press.
- BROWN, S.L., CHANEY, R.L., ANGLE, J.S., BAKER, A.J.M., 1995. Zinc and Cadmium Uptake by Hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* Grown in Nutrient Solution. *Soil Sci Am J*, 59 pp: 125-133.

- BROOKS R.R., MORRISON R.S., REEVES R.D., DUDLEY T.R., VE AKMAN Y., 1979. Hyperaccumulation Of Nickel By *Alyssum Linneus* (cuciferae) Proc. R.Soc. Lond.Sect. B, 203: 287–403
- BUDAVARI S., O’NEIL M.J., SMITH A., HECKELMAN P.E., 1999, *An Encyclopedia of Chemical, Drugs, and Biological*, Merck Co., Rahway, N.J., USA
- CAMPBELL, C. 1999. “The Nature of Wetland Processes” Constructed Wetlands in the Sustainable Landscape, Ed. Campbell, C. S. John Wiley and Sons, Inc. New York :17-40
- CARDOZA., V. STEWART., C.N.J., 2004. Increased Agrobacterium Mediated Transformation And Rooting Efficiencies In Canola (*Brassica Napus L.*) From Hypocotyl Explants, Plant Cell Rep.21 :599-604.
- CHU H.Y., CHEN N.C., YEUNG M.C., TAM N.F.Y., WONG Y.S., (1998). Tide-Tank System Simulating Mangrove Wetland For Removal Of Nutrients And Heavy Metals From Wastewater, Wat. Sci. Tech., Vol 38,: 361-368.
- CLEMENTE, R., Walker D.J., 2005 Bernal, M.P. Uptake of heavy metals and As by *Brassica juncea* grown in a contaminated soil in Aznalcóllar (Spain): The effect of soil amendments. Environmental Pollution 138, : 46–58
- CONOR, R., 2004. “The Nutritional Trace Metals”, Blackwell Publishing, Iowa State Press.
- CUNNINGHAM, S., BERTI, W.R., 1993, Remediation Of Contaminated Soils With Green Plants: An Overview. In Vitro Cell Dev. Biol. 29, pp: 207–219.
- DAVIES, F., PURYEAR, J., NEWTON, R., EGILLA, J., GROSSI, J., 2002. Mycorrhizal Fungi Increase Chromium Uptake by Sunflower Plants: Influence on Tissue Mineral Concentration, Growth and Gas Exchange. J. Plant Nutr., 25: 2389- 2407.
- DERİCİ, R., EVLİYA, H., AĞCA, N., ÖZKUTLU, F., EKER, S., ÖZTÜRK, L., 2002. Çukurova Bölgesinde Toprak ve Bitkilerde Kadmiyum Konsantrasyonunun Araştırılması ve Bitkilerde Kadmiyum Birikimini Etkileyen Faktörlerin Toprak Analizleri ve Sera Denemeleri ve İncelemesi. Tübitak Togtag Tarp . Proje No: 2382, 2002, pp: 1–87.

- DİRİLGİN, N., DOĞAN, F., 2002. Speciation of Chromium in the Presence of Copper and Zines and Their Combined Toxicity. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 53: 397- 403.
- DMİ 2008. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Türkiye Meteorolojik Veri Arşiv Sistemi.
- DOYLE R., 1998. Potentially Toxic Element İn Sewage Sludge's, Occurence in Soils and Sludge's and Assimilation By Food Crops. (www.ecology.com/reports/sludge/doyle_report_vp_toc.html).
- EPA, 2000. Environmental Protection Agency, "Introduction To Phytoremediation" Epa/600/R-99/107, Cincinnati, Ohio, U.S.A, p 72, www.clu-in.org
- EPA, 1995. Contaminants And Remedial Options At Select Metals – Contaminated Sites, EPA/540/R-95/512.
- EPA, 2000. (Environmental Protection Agency), "Introduction To Phytoremediation", EPA/600/r-99/107, Cincinnati, Ohio, U.S.A, pp: 72, <http://www.clu-in.org>
- FARRELL, S., HILLARD, J., MCCURDY, M., 1999. "Unassisted And Enhanced Remediation Studies For Onshore Oil Spills" Concept Development Louisiana Applied and Educational Oil Spill Research and Development Program, Osrادp Technical Report Series 98-002.
- GARBISU, C., ALKORTA I., 2000. Phytoextraction: A Cost-Efective Plant-Based Technology for the Removal of Metals from the Environment, *Bioresource Technology* 77 2001 : 229-236.
- GAUR, J.P., NORAHO, N., CHAUHAN, Y. S., 1994. Relationship Between Heavy Metal Accumulation and Toxicity in *Spirodela polyrrhiza* SCHLEİD, L. And *Azolla pinnata* BR, R. *Aquat. Bot.* 49: 183- 192.
- GABOR, T.S., NORTH A.K., ROSS L.C.M., MURKİN H.R., ANDERSON J.S., TURNER, M.A., 2001. Beyond The Pipe: The Importance of Wetlands and Upland Conservation Practises in Watershed Management : Function and Values for Water Quality and Quantity. Ducks Unlimited Canada. pp: 52.
- GÁSPÁR, G.M., ANTON, A., 2002. Heavy Metal Uptake by Two Radish Varieties. *Proceeding Of the 7th Hungarian Congress on Plant Physiology*, 46: 113-114.

- GÜR, K., 2002. Toprak Kirliliği Ve Kontrolü Yüksek Lisans Ders Notları, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı Konya.
- HALLIWELL, B., GUTTERIDGE, J.M.C., 1989. "Free Radicals In Biology And Medicine", 2nd Ed. Oxford, U.K.
- HAUSCHILD, M.Z., 1993. Putrescine (1,4- Diaminobutane) as an Indicator of Pollution- Induced Stress in Higher Plants: Barley and Rape Stressed with Cr (III) or Cr(VI). *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 26: 228- 247.
- HANNA, W.J., GRANT, C.L., 1962. Spectrochemical Analysis of the Foliage of Certain Trees and Ornamentals for 23 Elements. *Bull Torrey Bot Club* 89: 293–302.
- HENRY, J., 2000. "An Overview of the Phytoremediation of Lead and Mercury". U.S. Epa, Office of Solid Waste and Emergency Response Technology Innovation Office. Report May–Aug. 2000. pp: 51.
- HOSSNER, L.R., LOEPPERT, R.H., NEWTON, R.J., SZANISZLO, P.J., MOSES ATTREP, Jr. 1998. "Literature Review: Phytoaccumulation of Chromium, Uranium, and Plutonium In Plant Systems" Amarillo National Resource Center for Plutonium. Report: 3, Usa, pp: 51.
- HUANG, J.W., CHEN, J., BERTI, W.R., & CUNNINGHAM, S.D. 1997. Phytoremediation Of Lead Contaminated
- HUFFMAN, J., REWD, ALAWAY, H.W., 1973. Chromium in Plants: Distribution in Tissues, Organelles and Extracts and Availability of Bean Leaf Cr to Animals. *J Agric Food Chem.* 21: 982- 986.
- INGWERSEN, J., STRECT, T. 2005. A Regional-Scale Study On The Crop Uptake Of Cadmium From Sandy Soils: Measurement And Modeling. *Journal Of Environmental Quality.* 34: 1026–1035.
- İNCEKARA, 1971. Endüstri Bitkileri ve Islahı. Ege Üni. Ziraat Fak. Yay. NO 65
- JHEEVE, E.M., DANDRIDGE, K.L., CHRISTY, A.M., Jr., POLLARD, J., 1999. "Selective Herbivory On Low-Zinc Phenotypes Of The Hyperaccumulator *Thlaspi Caerulescens Brassicacea*" *Chemoecology*, 9: 93–95.

- KABATA-PENDİAS, A., PENDİAS, H., 1992 Trace Elements in Soil and Plant 2nd Ed. Crc. Pres. Boca Raton, Fla.
- KADLEC, R.H., R. KNİGHT. L., 1996. Treatment Wetlands. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida
- KAPTAN, H., 1990. Türkiye’ de Turba Yatakları Ve Kullanılma Alanlarının Saptanması, Atatürk Bahçe Kùltürleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yalova.
- KAWANISHI, S., INOUE, S., SANO, S., 1986. Mechanism of DNA Cleavage Induced by Sodium Chromate (VI) in the Presence of Hydrogen Peroxide. J. Biol. Chem., 261: 5952- 5958.
- KHAN, A.G., 2001. Relationships Between Chromium Bio Magnification Ratio, Accumulation Factor, and Mycorrhizae in Plants Growing on Tannery Effluent–Polluted Soil. Environ Int 2001,26:417– 23.
- KHAN, A.G., 2006. Mycorrhizoremediation—An Enhanced Form Of Phytoremediation. J. Zhejiang Univ. Sci. B, 7(7), pp: 503–514.
- KLEIMAN, I.D., COGLIATTI, D.H., 2003. Chromium Removal From Aqueous Solution By Different Plant Species. Environ. Technol., 19: 1127- 1132.
- KNAUER, K., BEHRAA, R., SIGG, L., 2006. Effects of Free Cu⁺² and Zn⁺² Ions Growth and Metal Accumulation in Freshwater Algae. Environ. Toxicol. Chem., 16: 220- 229.
- KOTAS, J., STASICKA, Z., 2000. Commentary. Chromium Occurrence in the Environment and Methods of its Speciation. Environ Pollut., 107: 263- 283.
- KÖSEOĞLU, C., 2007. Atık Çamurun İyileştirilebilmesi İçin Phytoremediation’ın Kullanım Olanaklarının Araştırılması Çukurova Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek lisans Tezi
- KRENKEL, P.A., NOVOTNY, V., 1980. “Water Quality Management.” Academic Press, New York, Ny: 235-255
- KRAMER, U., SMİTH. R.D., WENZEL, W.W., RASKIN, I., SALT, D.E., 1997. The Role Of Metal Transport And Tolerance In Nickel Hyperaccumulation By *Thlaspi Goesingense* Halacsy, Plant Physiology, 115: 1641-1650

- KRAMER, U., CHARNACK, J. M., BAKER, A. J. M., 1996. Free Histidine As a Metal Chelator In Plants That Accumulate Nickel Nature, 379: 635–638
- KUMAR, P.B.A.N., V.DUSHENKOV, H., MOTTO, L., RASKIN, A., 1995. Phytoextraction: The Use of Plant To Remove Heavy Metals From Soils. Environ. Sci. Technol.29: 1232- 1238.
- LANGILLE, W.M., MACLEAN, K. S., 1976. Some Essential Nutrient Elements in Forest Plants as Related to Species, Plant Part, Season and Location.Plant Soil 45: 17–26.
- LASAT, M.M., 2000. Phytoextraction Of Metals From Contaminated Soil: A Review Of Plant/Soil/Metal Interaction And Assessment Of Pertinent Agronomic Issues. Journal Of Hazardous Substance Research, 2 (5): 1 – 25.
- LÁZARO, D.J., KIDD P. S., MARTÍNEZ, C. M., 2006. A Phytogeochemical Study Of The Trás-Os- Montes Region Ne Portugal: Possible Species for Plant-Based Soil Remediation Technologies, Science Of The Total Environment 354 2006.: 265–277.
- LIN, P., ZHENG, W.J., 1996. Accumulation and Distribution Of Cu, Pb, Zn Avicennia Marina And Cd In Mangrove Community Of Futian In Shenzhen. Oceanol. Limnol. Sin. 27: 386-393.
- MAIN, J., (1986) Who Clean Up? Fortune, March 17, 1986. pp: 96 – 102.
- MANIOS, T., STENTIFORD, E. I., MILLNER, P. A., 2003. The Effect of Heavy Metals Accumulation on the Chlorophyll Concentration of *Typha Latifolia* L. Plants, Growing in A Substrate Containing Sewage Sludge Compost and Watered with Metaliferus Water. Ecologicalengineering, 20(1), pp: 65-74.
- MARTIN, M. H., COUGHTREY, P. J., 1985. “Biological Monitoring of Heavy Metal Pollution.” Land and Air Applied Science Publishers, England.
- MAYS P.A., EDWARDS G.S., 2001. Comparison Of Heavy Metal Accumulation In a Natural Wetland And Constructed Wetlands Receiving Acid Mine Drainage. Ecological Engineering. Vol. 16, pp: 487-500.
- MADEJON, P., MURILLO, J.M., MARANON, T., CABRERA, F., SORIANO, M. A., 2003. Trace Element And Nutrient Accumulation In Sunflower Plants

- Two Years After The Aznalcollar Mine Spill. *The Science Of The Total Environment* 307: 239–257
- MCELDOWNEY, S., HARDMAN, D.J., WAITE, S., 1993. "Pollution: Ecology And Biotreatment." Addison Wesley Longman, Malaysia.
- MCGRATH, S. P., SMITH, S., 1990. Chromium and Nickel. In: *Heavy Metals in Soils* (Alloway, B.J., Ed). Wiley, New York. pp: 125- 150.
- MCINTYRE, T., 2003. Phytoremediation of Heavy Metals from Soils. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*. Vol.78, pp: 97–123.
- METCALF and EDDY, 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. George Tchobanoglous, Franklin L. Burton Editor, H. David Stensel, New York, Mcgraw–Hill Pub. 27: 77–80s.
- MEAGHER, R.B., 2000. Phytoremediation of Toxic Elemental and Organic Pollutants. *Current Opinion in Plant Biology*, Vol. 3 pp: 153–162.
- MINGUZZI, C., VERGNANO, O., 1998. Il Contenuto De Nichel Nelle Ceneri Di *Alyssum Bertolonii* Desv. *Mem. Soc. Tosc. Sci. Nat. Ser. A*. 55, pp: 49-74.
- MINISSI, S., CACCESE, D., PASSAFLUME, F., GRELLA, A., ELEANORA, C., RISSONI, M., 1998. Mutagenicity (Micronucleus test in *Vicia faba* Root tips), Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Heavy Metal Content of Sediments Collected in Tiber River and its Tributaries within the Urban Area of Rome. *Mutat. Res.*, 420: 77- 84.
- MIRSAL I.A., 2004. *Soil Pollution: Origin, Monitoring and Remediation*. Springer – Verlag Berlin Heidelberg 2004.
- MISHRA, S., SINGH, V., SRIVASTAVA, S., SRIVASTAVA, R., SRIVASTAVA, M. M., DASS. S., SATSANGI, G. P., PRAKASH, S., 1995. Studies On Uptake Of Trivalent And Bexavalent Chromium By Maize (*Zea mays*). *Food Chem. Toxicol.*, 33: 393- 397.
- MULLIGAN, C.N., YONG, R.N., GIBBS, B.F., 2001. Remediation Technologies For Metalcontaminated Soils and Groundwater: An Evaluation, *Engineering Geology*, 60: 193–207.
- NOUAIRI, I., AMMAR, W.B., YOUSSEF, N.B., DAOUD, D.B.M., GHORBAL, M.H., ZARROUK, M., 2006. "Comparative Study Of Cadmium Effects On

- Membrane Lipid Composition Of *Brassica Juncea* and *Brassica Napus* Leaves.” Plant Science, 170 3: 511–519.
- OSTROWSKI, J., 2003. The Ability Of *Azolla caroliniana* to Remove Heavy Metals Hg(II), Cr(III), Cr (VI) From Municipal Wastewater
- OW, D.W., 1996. Heavy Metal Tolerance Genes: Prospective Tools For Bioremediation. Resources, Conservation Recycling 18: 135-149
- ÖZDİLEK, H.G., 2002. Distribution And Transport Of Copper and Lead In The Blackstone River (Doktora Tezi, Basılmamış). Massachusetts, Worcester Polytechnic Institute, USA.
- PİVETZ, B.E., 2001. Phytoremediation Of Contaminated Soil And Ground Water At Hazardous Waste Sites” U.S Environmental Protection Agency EPA, 540/S-01/500, pp: 36 .
- PULFORD, I.D., WATSON C., 2003. Phytoremediation Of Heavy Metal–Contaminated Land By Trees—A Review Environment International 29 2003: 529–540.
- RANK, J., NIELSEN, M.H., 1998. Genotoxicity Testing of Wastewater Sludge Using the *Allium cepa* Anaphase- Telpohase Chromosome Aberration Assay. Mutat. Res., 418: 113- 119.
- RAMACHANDRAN, V., D’SOUZA, R.J., MISTRY, K.B., 1999. Uptake And Transport Of Chromium In Plants. J. Nuclear Agric. Biol., 9: 126- 128.
- RAVIN, M. REUVENI, R. ZAIDMAN, B.Z., 1998. Improved Medium For Organic Transplants. Biological Agriculture & Horticulture, 16 (1): 53-64
- REEVES, R.D., BAKER, A.J.M., 2000. Metal– Accumulating Plants. In: Raskin, I. And Ensley, B.D., Eds. Phytoremediation Of Toxic Metals: Using Plants To Clean–Up the Environment. New York, John Wiley and Sons, pp: 193–230.
- REEVES, R.D. KRUCKEBERG, A.R. ADIGUZEL, N., KRAMER, U., 1997. Studies On The Flora Of Serpentine And Other Metaliferous Areas Of Western Turkey, South African Journal Of Science: 513-517
- RULKENS, W.H., Tichy, R., Grotenhuis, J.T.C., 1998. Remediation of Polluted Soil and Sediment: Perspectives and Failures. Water Sci. Technol. 37: 27-35.

- SADOWSKY, M.J., 1999. "Phytoremediation: Past Promises And Future Practises"
Microbial Biosystems: New Frontiers, Proceedings Of The 8th International
Symposium On Microbial Ecology, Bell Cr, Brylinsky M, Johnson-Green P
Ed, Atlantic Canada Society for Microbial Ecology, Halifax, Canada.
- SALT, D.E., SMITH R.D., RASKIN, L., 1998. Phytoremediation. Annu. Rev. Plant
Physiol. Plant Mol. Biol. 49; 643-668. Soils: Role Of synthetic Chelates In
Lead Phytoextraction. Environ. Sci. Technol. 31: 800-805.
- SALT, D.E., BLAYLOCK, M., KUMAR, P.B.A.N., DUSHENKOV, V., ENSLEY,
B.D., CHET L., RASKIN, L., 1995. Phytoremediation: A Novel Strategy For
The Removal Of Toxic Metals From The Environment Using Plants.
Biotechnology 13; 468- SANDERSON, K.R., IVANY, J.A., 1999. Cole
Crop Yield Response To Reduced Nitrogen Rates. Canadian Journal Of Plant
Science, 79 (1): 149-151 474.
- SHARMA, D.C., CHATTERJEE, C., SHARMA, C. P., 2005. Chromium
Accumulation and its Effects on Wheat (*Triticum aestivum*). Plant Sci. 111:
145- 151.
- SHANKER, K., CERVANTES, C., LOZA- TAVERA, H., AVUDAINAYAGAM,
S., 2005. Chromium Toxicity In Plants. Environmental International., 31:
739- 753.
- SHARMA, D.C. SHARMA, C.P. TRIPATHI, R.D. 2001 Phytotoxic Lesions of
Chromium in Maize Department of Botany, Lucknow University, Lucknow-
226007, India Ecotoxicology and Bioremediation Group, National Botanical
Research Institute, Rana Pratap Marg, Lucknow- 226001, India
- SHEWRY, P.R., PETERSON, P.J., 1974. The Uptake And Transport Of Chromium
By Barley Seedlings (*Hordeum vulgare* L.). J. Exp. Bot., 25.
- SIMKISS, K., TAYLOR, G., 1995. Transport Of Metal Across Membranes. In:
TESSIER, A., TURNER, D.R.(Eds.). Metal Speciation And Bioavailability
In Aquatic Systems. , JOHN, WILEY and SONS, SUSSEX, WEST: 1- 44.
- SKEFFINGTON, R.A., SHEWRY, P.R., PETERSON, P. J., 1976. Chromium
Uptake And Transport In Barley Seedlings (*Hordeum vulgare* L.). Planta.,
132: 209- 214.

- SOLTAN M.E., RASHED, M.N., 2001. Laboratory Study On The Survival Of Water Hyacinth Under Several Conditions Of Heavy Metal Consantrations, Chemistry Department, Faculty Of Science, Aswan, Egypt
- SRIVASTAVA, S., NIGAM, R., PRAKASH, S., SRIVASTAVA, M. M., 1999. Mobilization Of Trivalent Chromium In Presence Of Organic Acids: A Hydroponic Study Of Wheat Plant (*Triticum vulgare*). Bull. Environ. Contam. Toxicol., 63: 524- 530.
- SRIVASTAV, R.K., GUPTA, S.K., NIGAM, K.D.P., VASUDEVAN, P., 1994. Treatment Of Chromium And Nickel In Wastewater By Using Aquatic Plants, Water Research, Volume 28/7, pp: 1631-38
- SRIDHAR, M.B.B., FENGXIANG, X., MONTS, L. D. YI SU 2003. Phytoavailability and Toxicity of Trivalent and Hexavelent Chromium to *Brassica Juncea* Department of Physics and Astronomy, Mississippi State University, Mississisippi State, MS 39762, USA
- SRIVASTAV, R.K., GUPTA, S.K., NIGAM, K.D.P, VASUDEVAN, P.,1993. Treatment Of Chromium And Nickel In Wastewater By Using Aquatic Plants. Pergamon.
- STOMP, A.M., Han, K.H., Wilbert, S., Gordon, M.P., Cunningham, S.D., 1994. Genetic strategies for enhancing phytoremediation. Ann. New York Acad. Sci. 721: 481-491.
- SUTHERSON, S.S., 1999. "Phytoremediation" "Remediation Engineering: Design Concepts" Kitabı. Sutherson, S. S. (editör). CRC Press LLC. Boca Raton.
- ŞENER, S., GEDİKOĞLU, İ., BİLGİN, N., GÜNGÖR, H., ve ÜSTÜN, H., 1994. Çeşitli Etkenlerle Kirlenen Sulama Sularının Toprak Özelliklerine ve Bitki Verimine Etkisi. T.C. Başkanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü APK Daire Başkanlığı. Yayın No: 80 Ankara.
- TRIPATHI, R.D., SMITH, S., 1996. Effect of Chromium (VI) on Growth, Pigment Content, Photosynthesis, Nitrate Reductase Activity, Metabolic Nitrate Pool and Protein Content in Duckweed (*Spirodela polyrrhiza*).
- TOWNSEND, C.C., GUEST, E. 1980. Flora Of Iraq, 4, (2): 959–984, Baghdat.

- TÜRKOĞLU, B., 2006 Toprak Kirlenmesi ve Kirlenmiş Toprakların Islahı Çukurova Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Ziraat Fakültesi Toprak Anabilim Dalı, Yüksek lisans Tezi
- TÜRKMEN, A., 2003. İskenderun Körfezi'nde Deniz Suyu, Askıdaki Katı Madde, Sediment Ve Dikenli Tas İstirdyesi'nde (*Spondylus Spinosus* Schreibers, 1973) Oluşan Ağır Metal Birikimi Üzerine Araştırma(Doktora Tezi, Basılmamış). Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- UYSAL, Y., TANER, F., 2007.The Effect Of Cadmium İons On The Growth Rate of The Freshwater Macropyteduckweed *Lemna minor*. *Ekoloji*, 6: 62: 9–15
- ÜN R., 1998, Metal Kimyası Dersleri: Metaller alışmaları ve bileşikleri, İstanbul Üniversitesi Yayınları, Şirketi Mürettebiye Basımevi, İstanbul.
- VAJPAYEE, P., SHARMA,S. C., TRIPATHI, R.D., RAI, U.N., YUNUS, M., 2000. Bioaccumulation of Chromium and Toxicity to Photosynthetic Pigments, Nitrate Reductase Activity and Protein Content of *Nelumbo nucifera* Gaertn. *Chemosphere.*, 39: 2159- 2169.
- YALÇIN, R.S., USTA, S. 1989. Çinko Uygulamasının Mısır Bitkisinin Gelişmesi ile Çinko, Demir, Mangan ve Bakır Kapsamları Üzerine Etkisi. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yıllığı. 41(1–2): 195–203.
- YAĞDI, K., KAÇAR, O., AZKAN, N. 2000. Topraklardaki Ağır Metal Kirliliği ve Tarımsal Etkileri. On Dokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi. 15(2): 109–115.
- YILMAZ H., KARAHAN F., BULUT Z., DEMİRCAN N., ALPER H., 2002. Su Havzalarında Toprak ve Su Kaynaklarının Korunması, Geliştirilmesi Ve Yönetimi Sempozyumu: 77-84, Erzurum
- YILDIZHAN, Y., 2007. *Brassica Nigra* Bitkisinin İn Vitro Şartlarda Doku Kültürü İle Çoğaltılması. FBE. Biyomühendislik Anabilim Dalı Yüksek lisans Tezi İstanbul.
- YOON, J., CAO, X., ZHOU, Q., M.A., L.Q., 2006. Accumulation Of Pb, Cu, And Zn In Native Plant Growing On a Contaminated Florida Site.Science of The Total Enviroment 368: 456-464

- YÜCEL, İ.H., 1997. Bilim–Teknoloji Politikaları ve 21. Yüzyılın Toplumu, Devlet Planlama Teşkilatı. Sosyal Sektörler Ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı, Temmuz, Ankara, ii, 123 S. Tab.
- WANG, H., 1999. Clastogenicity of Chromium Contaminated Soil Samples Evaluated by *Vicia* Root- Micronucleus Assay. *Mutat. Res.*, 426: 147- 149.
- WATER ENVIRONMENT FEDERATION, OPERATIONS FORUM, Volume 13, No.2, Page 4 Feb. 1996.
- WATANABE, M.E., 1997. Phytoremediation On The Brink Of Commercialization. *Environ. Sci. Technol. News* 31:182–186.
- WANG, C.X., MO, Z., WANG, H., WANG, Z.J., CAO, Z.H., 2003. The Transportation, Time-Dependent Distribution Of Heavy Metals In Paddy Crops. *Chemosphere*. 50: 717–723.
- WALTER MELTZ, “Trace Elements In Human And Animal Nutrition-15th Edition” Volume 1 1987. Academic Pres
- WALLACE, A., SOUFI, S., CHA, J., ROMNEY, E., 2002. Some Effects Of Chromium Toxicity On Bush Bean Plants Grown In Soil. 44: 471- 473.
- WEI C.Y., CHEN T.B., 2006. “Arsenic Accumulation By Two Brake Ferns Growing On an Arsenic Mine and Their Potential In Phytoremediation”, *Chemosphere*, Volume 63, Issue 6, pp: 1048–1053
- XUE-HONG ZHANG , JIE L., HAI-TAO H., JUN C., YI-NIAN Z., DUN-QIU W., 2007, “Chromium accumulation by the hyperaccumulator plant *Leersia hexandra Swartz*”, Department of Resources and Environmental Engineering, Guilin University of Technology, Jiangan Road 12, Guilin, Guangxi 541004, PR China School of Life Sciences, Yunnan University, Kunming 650091, PR China
- ZAYED, A., LYTLE, C.M., QIAN, J.H., TERRY, N., 1998. Chromium Accumulation, Translocation And Chemical Speciation In Vegetable Crops. *Planta.*, 206: 293- 299.
- ZAIMOĞLU Z., ERDOĞAN R., KEKEC S., SUCU M. Y., BUDAK F., 2009 Heavy metal uptake by *Aptenia Cordifolia* as utility for sewage sludge

compost recuperation, using leachate, *Asian Journal of Chemistry*, Vol. 21,
No. 2 (2009). pp: 1081- 1089

ZORLU, S. Kırka (Eskişehir) Bor Yatakları Çevresindeki Biyojeokimyasal
Anomalilerin Araştırılması 2006

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında ADANA' da doğdum. Lise öğrenimimi 2001 yılında İskenderun Yabancı Dil Ağırlıklı Lisede tamamladım. 2002 yılında Mersin Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği bölümünde lisans öğrenimine başladım. 2006 yılında mezun oldum. Aynı yıl Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimime başladım.