

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cem KÖSEOĞLU

ATIK ÇAMURUN İYİLEŞTİRİLEBİLMESİ İÇİN BİTKİSEL ARITIM'IN
(FİTOREMEDİYASYON) KULLANIM OLANAKLARININ
ARAŞTIRILMASI

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2007

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ATIK ÇAMURUN İYİLEŞTİRİLEBİLMESİ İÇİN BİTKİSEL
ARITIM'IN (FİTOREMEDİYASYON) KULLANIM
OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI**

Cem KÖSEOĞLU
YÜKSEK LİSANS
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez .../.../2007 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği İle Kabul Edilmiştir.

İmza	İmza	İmza
Doç. Dr. Zeynep ZAIMOĞLU	Doç. Dr. Fuat BUDAK	Doç. Dr. Nurcan KÖLELİ
DANIŞMAN	Üye	Üye

Bu tez Enstitümüz Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof. Dr Aziz ERTUNÇ
Enstitü Müdürü
İmza-Mühür

Bu çalışma Ç.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.
Proje No: MMF2007YL11

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ATIK ÇAMURUN İYİLEŞTİRİLEBİLMESİ İÇİN BİTKİSEL ARITIM'IN
(FİTOREMEDİYASYON) KULLANIM OLANAKLARININ
ARAŞTIRILMASI**

Cem KÖSEOĞLU

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Doç. Dr. Zeynep ZAIMOĞLU
Yıl : 2007 Sayfa : 78
Jüri : Doç. Dr. Zeynep ZAIMOĞLU
Doç. Dr. Fuat BUDAK
Doç. Dr. Nurcan KÖLELİ

Bu çalışmada, *Aptenia Cordifolia*, *Carpobrotus Edulis* ve *B.Delagoensis Tubiflorum* bitkileri ile Adana Batı Atıksu Arıtma Tesisi'nden alınan arıtma çamurunun ağır metal içeriğinin düşürülmesi ve süs bitkileri yetiştiriciliğinde bitki yetiştirme ortamı olarak kullanılabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Çalışmada bitkilerin gelişimi için üç ayrı yaşam ortamı sağlanmıştır. Bunlar: 1-Toprak 2-Diatomit + stabilize arıtma çamuru 3- Bazaltik tüfle + stabilize arıtma çamuru kullanılmıştır. Çalışma 90 gün devam etmiş ve sulama C1S1 sınıfı suyla yapılmıştır. Çalışma sonucunda ortamda ve, kök ve yaprak/gövde olarak, bitkilerin bünyesinde kalan ağır metal miktarı belirlenmiştir. Diatomit ile hazırlanan yetiştirme ortamında Cr, Fe, Ni ve Mn için en yüksek verimi sırasıyla % 91,13, % 80,55, % 88,01 ve % 62,27 oranlarında *B. Tubiflorum* bitkisi sağlanmıştır. Aynı ortamda Cu ve Pb için en yüksek verimi sırasıyla % 45,19, % 73,41 oranlarında *C. Edulis* bitkisi sağlamıştır. Bazaltik tüfle hazırlanan ortamda ise Cr, Cu, Pb, Fe ve Ni için en yüksek verimi sırasıyla % 82,01, % 48,71, % 51,89, % 66,16 ve % 72,58 oranlarında *A. Cordifolia* bitkisi sağlanmıştır. Aynı sette Mn için en yüksek verimi % 59,33 oranında *C. Edulis* bitkisi sağlamıştır. Bu çalışmada stabilize arıtma çamurunun tüfle karıştırılmasının süs bitkileri yetiştiriciliğinde *Aptenia Cordifolia*, *Carpobrotus Edulis* ve *B.Delagoensis Tubiflorum* bitkilerinin büyümesine sağlayabildiğinden atık çamurun süs bitkileri yetiştiriciliği sektöründe bitki yetiştirme ortamı olarak kullanım olanağına dikkat çekilmiştir. Aynı zamanda hazırlanan bitki yetiştirme ortamlarına Türkiye'de çokça bulunana diatomitin eklenmesinin de bitkilerin ağır metal alımlarına katkı sağlandığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Bitki ile Islah, *Aptenia Cordifolia*, *Carpobrotus Edulis*, *B. Delagoensis Tubiflorum*, Ağır Metal Birikimi

ABSTRACT

M.Sc. THESIS

APPLICABILITY OF PHYTOREMEDIATION IN WASTE SLUDGE STABILIZATION

Cem KÖSEOĞLU

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
ÇUKUROVA UNIVERSITY

Supervisor : Asc. Prof. Dr. Zeynep ZAIMOĞLU

Year : 2007 Page : 78

Jury : Asc. Prof. Dr. Zeynep ZAIMOĞLU
Asc. Prof. Dr. Fuat BUDAK
Asc. Prof. Dr. Nurcan KÖLELİ

In this study, improvement and rehabilitation potential of the wastewater treatment sludge obtained from Adana West Wastewater Treatment Plant by *Aptenia Cordifolia*, *Carpobrotus Edulis* and *B.Delagoensis Tubiflorum* species and investigation of the potential use of the sludge in plant cultivation as growth medium were aimed. The study includes three different growth media, as (1) Soil, (2) Diatomite + stabilized sludge and (3) Basaltic tuff + stabilized sludge. The experimental period was sustained 90 days and irrigation was carried out by C1S1 class irrigation water. Residual heavy metal concentrations in growth medium and heavy metal accumulations in the tissues of the plants, as roots and stems/leaves, were observed. Highest removal rates of heavy metals were observed for Cr, Fe, Ni, Mn by *B. Tubiflorum* specie as 91.13%, 80.55%, 88.01% and 62.27% in the diatomite medium, respectively. The highest removals of Cu and Pb in the same medium were observed as 45.19% and 73.41% by *C. Edulis* specie, respectively. Cr, Cu, Pb, Fe and Ni removal rates in basaltic medium were observed to be highest in the sets of *A. Cordifolia*, as 82.01, 48.71%, 51.89%, 66.16% and 72.58%, respectively. In the same media highest Mn removal rate was observed by *C. Edulis*, as 59.33%. The results of the study implies that, because it was observed that the stabilized sludge addition to tuff medium apparently enhances growth rates of the plants, sludge may be used in ornamental plant cultivation sector, whereas the study also implies that heavy metal uptake can be improved by addition of diatomite, which can be abundantly found in Turkey, to the growth medium.

Keywords : Phytoremediation, *Aptenia Cordifolia*, *Carpobrotus Edulis*, *B. Delagoensis Tubiflorum*, Heavy metal accumulation

TEŞEKKÜR

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

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

Araştırmamın her aşamasında destek ve yardımlarını esirgemeyen, Suna YILDIZ'a, Arş. Gör. M. Yavuz SUCU ve Arş. Gör. Seçil KEKEÇ'e ve Arş. Gör. Behzat BALCI'ya, numunelerin hazırlanması aşamasında bilgi ve yardımları ile katkılarından dolayı Sayın Öğr. Gör. Dr. Turan YILMAZ 'a ve Arş. Gör. İ. Orkun DAVUTLUOĞLU'na, teşekkür ederim.

Araştırmamda yer istatistiksel çalışmalarımdayki yardımlarından dolayı Prof. Dr. Hamza EROL'a teşekkürlerimi sunarım

Bu yoğun süreçte desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen aileme 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	X
1. GİRİŞ	1
1.1. Toprak Kirliliği	3
1.1.1. Kirletici Türleri ve Etkileri	3
1.1.1.1. Ağır Metaller ve Tuzları	3
1.1.1.2. Diğer İnorganik Kirleticiler	3
1.1.1.3. Organik Kirleticiler	4
1.1.1.4. Radyoaktif Maddeler	4
1.1.2. Topraktaki Kirleticilerin Gideriminde Kullanılan Yöntemler	4
1.1.2.1. Fiziksel	5
1.1.2.2. Biyolojik	8
1.1.2.3. Kimyasal	10
1.2. Yeşil Islah (Phytoremediation)	10
1.2.1. Yeşil Islah (Phytoremediation) Çeşitleri	12
1.2.1.1. Köklerle Süzme (Rhizofiltration)	12
1.2.1.2. Köklerle Sabitleme (Phytostabilization)	13
1.2.1.3. Köklerle Bozunum (Rhizodegradation)	13
1.2.1.4. Bitkisel Bozunum (Phytodegradation)	14
1.2.1.5. Bitkisel Buharlaştırma (Phytovolatilization)	14
1.2.1.6. Hidrolik Kontrol (Hydraulic Control)	15
1.2.1.7. Vejetatif Örtü Sistemleri	15
1.2.1.8. Akarsu Kenarı Vejetasyon Örtüsü (Riparian Corridors)	16
1.2.1.9. Yapay Sulakalanlar	16

1.2.1.10.	Bitkisel Özümleme (Phytoextraction)	17
1.2.2.	Yeşil Islah (Phytoremediation) Tekniğinde Kullanılan Bitkiler ve Özellikleri.....	18
1.3.	Ağır Metal Biosorbsiyonu	20
1.3.1.	Ağır Metal ve Özellikleri.....	21
1.3.1.1.	Demir (Fe).....	21
1.3.1.2.	Kurşun (Pb).....	22
1.3.1.3.	Kobalt (Co)	22
1.3.1.4.	Kadmiyum (Cd)	22
1.3.1.5.	Çinko (Zn).....	23
1.3.1.6.	Mangan (Mn)	23
1.3.2.	Ağır Metallerin Alıcı Ortamlardaki Etkileri	23
1.3.3.	Ağır Metallerin Toprağa Etkisi	24
1.3.4.	Ağır Metallerin Sudaki Etkileri.....	24
1.3.5.	Ağır Metallerin Canlılara Etkisi.....	26
1.4.	Çalışmanın Amacı.....	26
2.	ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	27
3.	MATERYAL VE METOD	37
3.1.	Materyal.....	37
3.1.1.	Araştırma Yeri.....	37
3.1.2.	Arıtma Çamurunun Sağlandığı Tesisin Özellikleri.....	37
3.1.3.	Kullanılan Bitki Türleri	39
3.1.3.1.	<i>Aptenia Cordifolia</i> (Buz Çiçeği, Öğle Çiçeği).....	39
3.1.3.2.	<i>Bryophyllum Tubiflorum</i>	40
3.1.3.3.	<i>Carpobrotus Edilis</i> (Kaz Ayağı)	41
3.1.4.	Kullanılan Filtre Malzemesi	41
3.1.4.1.	Bazaltik Tuf	41
3.1.4.2.	Diatomit	42
3.2.	Metod	45
3.2.1.	Çalışma Düzenineğinin Kurulması	45
3.2.2.	Sistemde Kullanılan Bitkilerin Doğadan Alınması.....	45

3.2.3.	Sistemde Bitki Yetiştirme Ortamlarının Hazırlanması	46
3.2.4.	Bitki Örneklerinin Hazırlanması	48
3.2.5.	İstatistiksel Metotlar	50
4.	BULGULAR ve TARTIŞMA	51
4.1.	İklimsel Şartlar	51
4.2.	Bitkisel Gelişim	54
4.3.	Bitkisel Verimlilik	57
4.4.	Bitkilerin Ağır Metal Alımı	58
4.4.1.	Krom (Cr) Alımı	59
4.4.2.	Bakır (Cu) Alımı,	60
4.4.3.	Kurşun (Pb) Alımı	61
4.4.4.	Demir (Fe) Alımı	62
4.4.5.	Nikel (Ni) Alımı	63
4.4.6.	Mangan (Mn) Alımı	64
4.5.	Ağır Metallerin Giderim Verimleri	65
4.5.1.	S Grubu Bitkilerin Ağır Metal Giderim Verimleri	65
4.5.2.	D-TS Grubu Bitkilerin Ağır Metal Giderim Verimleri	66
4.5.3.	BT-TS Grubu Bitkilerin Ağır Metal Giderim Verimleri	67
4.6.	İstatistiksel Analiz	68
4.6.1.	Üç Bitki Türünün Gövdelerinin ve Köklerinin Ağır Metal Alımı Bakımından Birbirine Göre Karşılaştırılmasını	69
4.6.2.	Bitkilerin Yetiştirildikleri Ortamlara Göre Kök ve Gövdelerinde Yaptıkları Ağır Metal Alımının Karşılaştırılmasını	69
4.6.3.	Bitki Türlerinin Yetiştirildikleri Ortamlarla Eşleştirilerek Birbirine Göre Kök ve Gövdelerinde Yaptıkları Ağır Metal Alımının Karşılaştırılmasını	70
4.6.4.	Giderim Verimlerinin Karşılaştırılması	70
5.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER	72
	KAYNAKLAR	74
	ÖZGEÇMİŞ	78

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 1.1. Toprak Kirliliğinin İyileştirilmesinde Kullanılan Bazı Bitki Türleri İle Bünyelerinde Biriktirebildikleri Metal Miktarları.....	20
Çizelge 3.1. Batı Adana Atıksu Arıtma Tesisi Ana Parametreler	38
Çizelge 3.2. Batı Adana Atıksu Arıtma Tesisi Arıtma Çamuru Karakteristi.....	38
Çizelge 3.3. Bazaltik Tüfün Analiz Sonucu.....	42
Çizelge 3.4. Diatomit Analiz Sonuçları.....	43
Çizelge 4.1. Birinci Deney Setinin İstatistiki Anlamlılığı	69
Çizelge 4.2. Denemenin İstatistiki analizi	69
Çizelge 4.3. Denemenin İstatistiki analizi	70
Çizelge 4.4. Giderim Verimlerine Göre Ortamların İstatistiksel Analizi	71

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1. İçme Suyu Kaynakları.....	2
Şekil 1.2 Katılaştırarak Kararlı Hale Getirme Yöntemi	5
Şekil 1.3 Camlaştırmak kirleticileri sabitleme	5
Şekil 1.4 Kirleticilerin Bariyerlerle Alı Konması	6
Şekil 1.5. Toprağın yıkanarak kirleticilerden arındırılması	7
Şekil 1.6. Kirleticilerin elektro kinetikle giderilmesi	7
Şekil 1.7. Hava Enjeksiyonuyla (Bioventing) Kirletici Giderimi	8
Şekil 1.8. Toprak Buhar Ekstraksiyonuyla Kirletici Giderimi.....	8
Şekil 1.9 Biyolojik İndirgeme (Biodegradation) Yöntemiyle Kirletici Giderimi	9
Şekil 1.10 Bitkisel Giderim (Phytoremediation) Yöntemiyle Kirletici Arıtımı.....	9
Şekil 1.11 Reaktif Bariyerlerle Kirletici Giderimi	10
Şekil 1.12. Bitki Köklerindeki Metal Alımı.....	13
Şekil 1.13. Bitkisel Özümleme.....	17
Şekil 1.14. Hasat İşleminden Sonra Kullanılan Bitkinin Son Hali	18
Şekil 3.1. <i>Aptenia Cordifolia</i> (Buz Çiçeği, Öğle Çiçeği)	39
Şekil 3.2. <i>Bryophyllum Tubiflorum</i> bitkisinin gövde ve çiçeği.....	40
Şekil 3.3. <i>Carpobrotus Edilis</i> (Kaz Ayağı).....	41
Şekil 3.4. Deneme Düzeneği 3 Tekerrürlü hazırlanmıştır.	45
Şekil 3.5. Bitkilerin Doğadan Alındıkları Bölgeler.....	46
Şekil 3.6. Sistemin Kurulduktan Sonraki Görünüşü	47
Şekil 3.7. Sıcaklık ve Nem Ölçüm Cihazı	47
Şekil 3.8. Kurutulmuş Numunelerin Tartımı	48
Şekil 3.9. Nem Geçirmez Poşetlerde Numunelerin Saklanması	49
Şekil 3.10. Numunelerin ICP Cihazında Analize Hazırlanması	49
Şekil 3.11. Perkin Elmer Marka Optima 2100 DV OES (Optical Emission Spectrometer)Cihazı	50
Şekil 4.1. Haziran Ayı Sıcaklık (°C) Değişim Grafiği	51
Şekil 4.2. Haziran Ayı Nem (%) Değişim Grafiği	52
Şekil 4.3. Temmuz Ayı Sıcaklık (°C) Değişim Grafiği.....	52

Şekil 4.4. Temmuz Ayı Nem (%) Değişim Grafiği.....	53
Şekil 4.5. Ağustos Ayı Sıcaklık (°C) Değişim Grafiği.....	53
Şekil 4.6. Ağustos Ayı Nem (%) Değişim Grafiği.....	54
Şekil 4.7. <i>B. Delagoensis Tubiflorum</i> Boy Ölçümleri.....	55
Şekil 4.8. <i>Aptenia Cordifolia</i> Boy Ölçümleri.....	55
Şekil 4.9. <i>Carpobrotus Edilus</i> Boy Ölçümleri.....	56
Şekil 4.10. Bitki Gövdelerinin Yaş ve Kuru Ağırlıklarının Karşılaştırması.....	57
Şekil 4.11. Bitki Köklerinin Yaş ve Kuru Ağırlıklarının Karşılaştırması	58
Şekil 4.12. Bitki Yetiştirme Ortamlarının Yaş ve Kuru Ağırlıklarının Karşılaştırması	58
Şekil 4.13. Bitkilerin Cr Alımlarının Karşılaştırılması.....	60
Şekil 4.14. Bitkilerin Bakır (Cu) Alımının Karşılaştırılması	61
Şekil 4.15. Bitkilerin Bakır (Pb) Alımının Karşılaştırılması	62
Şekil 4.16. Bitkilerin Demir (Fe) Alımının Karşılaştırılması	63
Şekil 4.17. Bitkilerin Demir (Ni) Alımının Karşılaştırılması	64
Şekil 4.18. Bitkilerin Mangan (Mn) Alımının Karşılaştırılması	65
Şekil 4.19. S Grubu Bitkilerin Ağır Metal Giderim Verimleri	66
Şekil 4.20. D-TS Grubu Bitkilerin Ağır Metal Giderim Verimleri.....	67
Şekil 4.21. BT-TS Grubu Bitkilerin Ağır Metal Giderim Verimleri.....	68

SİMGELER VE KISALTMALAR

°C	: Santigrat Derece
C1S1	: 1. sınıf sulama suyu
Cd	: Kadmiyum
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
NP	: Deneme Başlangıcında İşlemsiz Kontrol Örneği
S	: Botanic Soil (Hazır Bitki Toprağı)
D-TS	: Diatomite + Treatment Sludge (Diatomit ile arıtma çamurunun karıştırılmasıyla hazırlanmış ortam)
BT-TS	: Bazaltic Tuff + Treatment Sludge (Bazaltik tuf ile arıtma çamurunun karıştırılmasıyla hazırlanmış ortam)
L	: Litre
Mg	: Magnezyum
mL	: Mililitre
Mn	: Mangan
Na	: Sodyum
Ni	: Nikel
Pb	: Kurşun
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
EPA	: The US Environmental Protection Agency (ABD Çevre Koruma Ajansı)

1. GİRİŞ

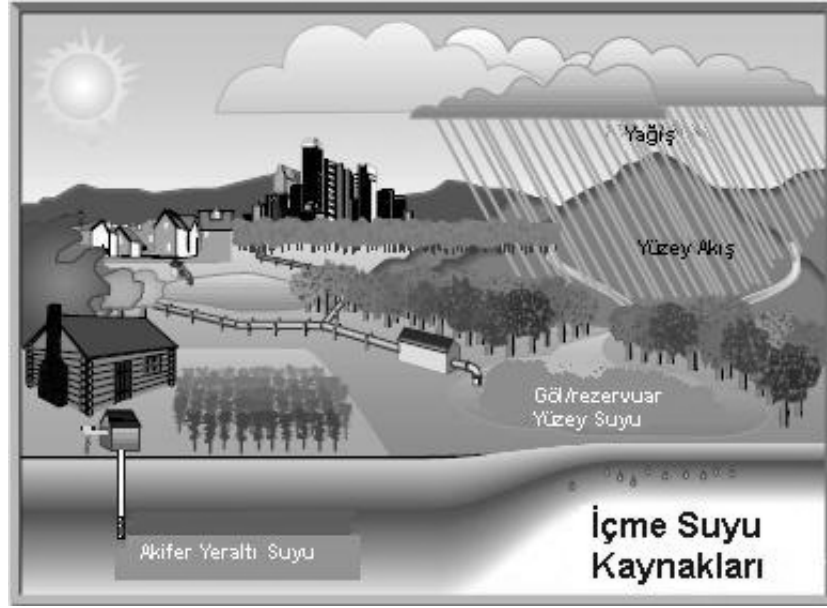
Artan nüfus, gelişen endüstri ve ülkelerin tabii varlıklarını tehdit eden kirlenmeler, çevre sorunlarını yirminci yüzyılın son yıllarında insanoğlunun en önemli konularından biri haline getirmiştir. Hava, su, toprak, nükleer kirlilik derken birçok alanda zarar verdiğimiz Dünyamızı mümkün olan maksimum seviyede kurtarmamızı sağlayacak fikirler çıkmaya başlamıştır.

Su doğal ortamlardaki akışıyla, göllerde bulunuşuyla ve yeraltındaki toprak ve kayalardan sızma yoluyla temas ettiği maddeleri çözer veya absorplar. Bu maddelerin çoğu insan sağlığı için zararsızdır. Çoğu insan minerallerce zengin suları tercih ederler; çünkü bu tür suların içimi hoş bir tat verir. Ancak insan faaliyetleri sonucu oluşan, belirli değerlerin üzerindeki mineral konsantrasyonları kirleticiler olarak ele alınmakta ve sularda istenmeyen tat oluşturmakta veya suyu içilemez duruma getirmektedir.

Kirleticilerin bazıları doğal kayaç formasyonlarının erozyonu yoluyla sulara geçer. Diğer kirleticiler ise fabrika deşarjları, tarım arazileri uygulamaları, hayvancılık faaliyetleri ve insan yaşam alanlarından kaynaklanır. Kirleticilerin kaynağı hemen yakınınızdaki veya kilometrelerce uzaktaki insan faaliyetleri olabilir. Yaşadığınız bölgedeki yerel su kalitesi raporları içtiğiniz sudaki kirleticiler türlerini, konsantrasyonlarını ve muhtemel kirleticiler kaynaklarını ifade eder.

Temiz ve kesintisiz içme suyu her toplum için temel gereksinimdir. Büyük şehirlerde yaşayan insanlar için içme suları çoğunlukla göller, nehirler ve rezervuarlar gibi yüzey sularından temin edilir. Bazen bu kaynaklar insan faaliyetlerinin bulunduğu yerlere yakın yerlerde bulunur. Su kaynağı insan faaliyetleri alanlarına uzak olsa bile her iki durumda da su kaynağı olarak yalnızca su temin edilen göl veya akarsuyu düşünmemek gerekir; su kaynağının tüm su havzası ele alınmalıdır. Su havzası akarsudaki, göldeki veya rezervuardaki suyun toplanmaya başlandığı kara parçalarını ifade eder.

Nüfusu düşük olan yerleşimlerde içme suyu, yer yüzeyi altındaki doğal su rezervuarı olan akiferdeki yeraltı sularının pompalarla dağıtılmasıyla sağlanabilir. Yüzey sularında olduğu gibi kilometrelerce uzaklıktaki insan faaliyetleri kuyu suları kalitesini de düşürebilir.



Şekil 1.1. İçme Suyu Kaynakları (Environmental Protection Agency, 1999)

Meydana gelen kirliliğin boyutlarının hızla artması Dünya üzerindeki dengeleri bozarken, çevreye bağımlı olan canlılarında hem yaşam şartlarını hem de yaşam alanlarını kısıtlamış, dolaylı veya doğrudan bu kirliliğe maruz kalmalarına neden olmuştur. Sanayileşmenin artması, teknolojinin ilerlemesi kaçınılmazken bu ikilinin hızlı yükselişi beraberinde hızla artan bir kirliliği de getirmektedir ve bu kirliliğin göz ardı edilmesi, etkilerinin giderilmesi için bir şey yapılmaması kaçınılmaz bir doğa felaketini beraberinde getirir. Bu duruma asla ulusal bir sorun olarak bakılmamalı, uluslararası çözümler aranmalıdır.

İnsanoğlu, eskiden üçlü bir döngü içerisinde herhangi bir maddeyi kullanıyorlardı. Bu döngüyü beslenme ihtiyaçları veya enerji kaynağı olarak kullanmaktaydılar. Bu döngü, hammadde, üretim ve tüketimden oluşmaktaydı ancak günümüz şartları bu döngüyü yeniden biçimlendirerek yeni bir işlem eklemiştir. Bu işlem deşarj ortamını kirletmeden oluşan artık veya atıkları yok etmek ya da yeniden hammadde olarak değerlendirmek olarak şekillenmiştir (Recycling).

Günümüzde kullanılan fizikokimyasal arıtma tekniklerinin çoğu, aşırı derecede kirlenmiş suların yerinde veya başka bir yerde gerçekleştirilen arıtımlarında yararlanılan ana yöntem olmaktadır. Bu yöntemler, düşük kirletici içeriğine sahip ve kirleticilerin yapay ve dağınık olarak bulunduğu geniş kirletilmiş alanların

iyileştirilmesi için yeterince uygun olmayan tekniklerdir (Rulkens ve ark., 1998). Bu durumda diğer yöntemlere kıyasla bitki ile ıslah (phytoremediation) ucuz bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır.

1.1. Toprak Kirliliği

Topraklardaki ağır metal kirliliği, endüstrinin ve madencilik aktivitelerinin gelişmesiyle ve atık suyla yapılan sulamaların ve arıtma çamuru uygulamalarının yaygınlaşmasıyla dünya çapında bir problem halini almaktadır. Toprak- bitki sistemi jeosfer ve biyosferin en önemli kısmını oluşturmaktadır. Bu nedenle toprakta meydana gelen ağır metal kirliliği sadece verim ve ürün kalitesi üzerinde değil aynı zamanda atmosferik ve sucul çevre kalitesi hatta besin zinciri yoluyla insan sağlığı üzerinde de çok önemli etkiler yaratmaktadır.

Günümüzde ağır metallerin yol açtığı toprak kirliliği tüm dünyanın dikkatini çeken bir konu olmuştur. Topraktaki ağır metal kirliliğiyle ilgili çalışmalar ağır metallerin kaynakları ve davranışları, halk sağlığı ve çevre üzerindeki etkiler, kirlenmiş bölgelerin araştırılması ve analizlenmesi remediasyon yönetimi ve risk değerlendirmesi ve iyileştirme teknikleri üzerinde yoğunlaşmıştır.

1.1.1. Kirletici Türleri ve Etkileri

1.1.1.1. Ağır Metaller ve Tuzları

“Ağır metal” deyimi genelde atom yoğunluğu 6 g/cm³’ ten daha büyük olan metaller için kullanılır. Topraklardaki ağır metaller, eğer miktarları topraktaki normal başlangıç değerlerinden fazla ise topluca “mikro kirleticiler” olarak tanımlanırlar. Ağır metallerin topraktaki aşırı konsantrasyonları toksik etki yapabilir.

1.1.1.2. Diğer İnorganik Kirleticiler

Alüminyum, berilyum ve florür gibi elementler toprakta fazla miktarda bulunmaları durumunda çevresel kirleticiler olarak mütalaa edilirler.

Alüminyum: Alzheimer veya böbrek fonksiyon bozukluğu

Florür: içme sularında 3-6 mg/l den daha fazla olması durumunda “skeletal fluorosis” diye adlandırılan hastalığa neden olur.10 mg/L den daha fazla olması durumunda felç olayları ortaya çıkmaktadır.

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,

- I Hormonal bozukluklar,
- I Bağışıklık sistemi bozuklukları,
- I Üreme bozuklukları,
- I 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.

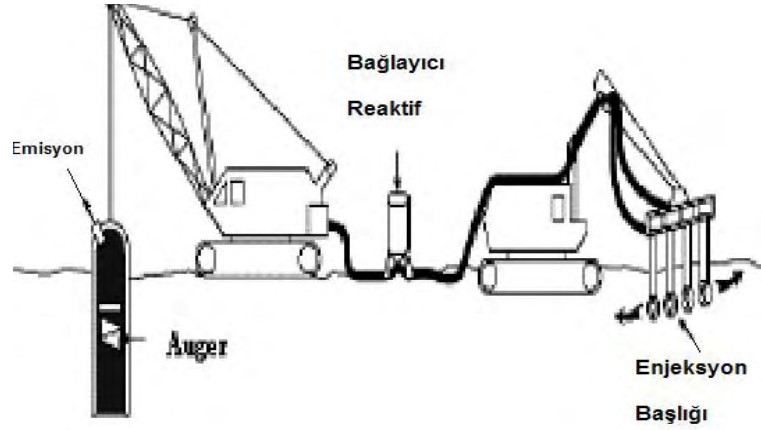
1.1.2. Topraktaki Kirleticilerin Gideriminde Kullanılan Yöntemler

Toprağın temizlenmesi yani topraktaki kirleticilerin uzaklaştırılması özellikle bölgenin yeniden kullanılmasının önemli olduğu düşünüldüğünde ekonomik bir alternatif olabilmektedir. Toprağın arıtılması için fiziksel, kimyasal, termal ve/veya biyolojik prosesleri içeren pek çok metod mevcuttur. Uygun toprak arıtım metodunun seçimi, bölge karakteristikleri, giderilecek kirleticinin tipi, konsantrasyonu ve kirlenmiş arazinin sonraki kullanımı gibi pek çok faktöre bağlıdır. Toprağın temizlenmesi genellikle kirlenmiş bölgenin kazılması, izole edilen veya temizlenen toprağın tekrar yerine doldurulmasıyla gerçekleştirilmektedir. Ancak son

yıllarda toprağı kazmadan doğrudan bölgede uygulanan (in-situ) teknolojiler üzerinde yapılan araştırmalar hız kazanmıştır.

1.1.2.1. Fiziksel

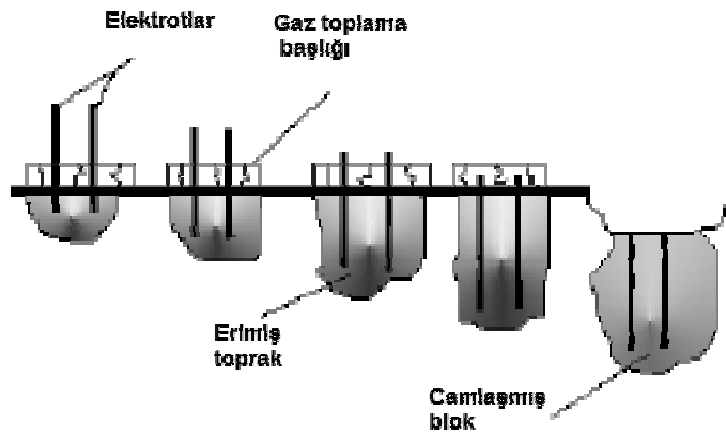
1.1.1.1.(1) Katılaştırma-Kararlı Hale Getirme



Şekil 1.2 Katılaştırarak Kararlı Hale Getirme Yöntemi (Kocaer, 2003)

Bu teknoloji, kirlenmiş materyallere uygun miktarda su, çimento (Portland çimentosu gibi) veya zift, polietilen ve diğer poliolefinler, parafinler ve sülfür çimentoları gibi termoplastik reçinelerin karıştırılmasıyla uygulanır(Kocaer, 2003).

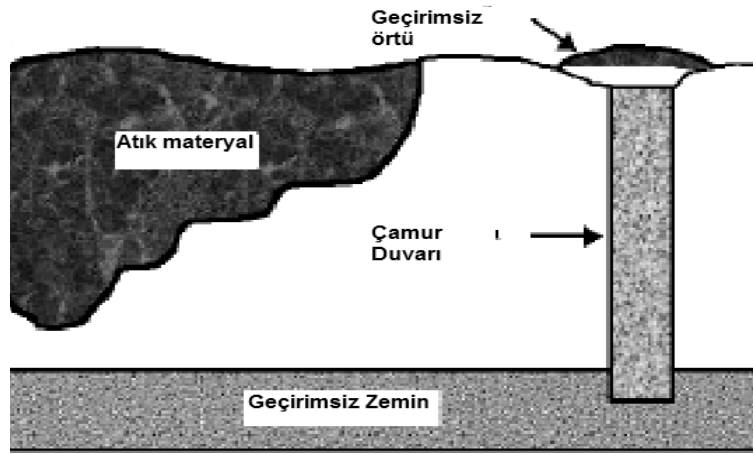
1.1.1.1.(2) Camlaştırma



Şekil 1.3 Camlaştırarak kirleticileri sabitleme (Kocaer, 2003)

Burada zemine yerleştirilmiş elektrotlar yardımıyla elektrik akımı yüklenerek elektrotlar arasındaki bölgedeki sıcaklık zamanla 1600-2000°C' ye kadar çıkartılıp zemin eritilir. Ani soğuma sonrası inorganik materyallerin çoğu (radyonükleidler, fizyon ürünleri, metaller ve diğer inorganik kimyasallar) kristal yapı içerisinde hareketsizleşirken, organik maddelerde pirolize uğrayarak yok olmaktadır (Altın, 2004).

1.1.1.1.(3) Bariyerlerle Alıkoyma

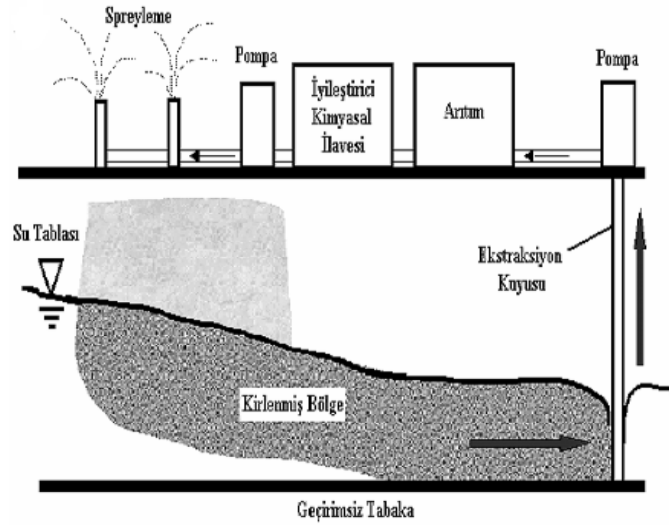


Şekil 1.4 Kirlenmiş Alanın Bariyerlerle Alı Konması (Kocaer, 2003)

Yöntemde bariyerler, dikey olarak yeterli derinlikte hendeklerin kazılması ve bu hendeğe sulu bentonit çamuru veya çimento karışımlarının doldurulması ile oluşturulmaktadır (Altın, 2004).

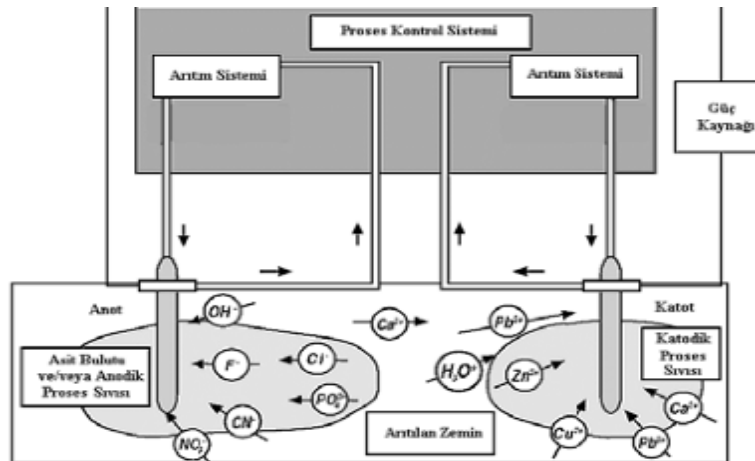
1.1.1.1.(4) Toprağın Yıkınması

Bu yöntem topraktaki veya akiferdeki kirlenmiş alanın su ve benzeri çözücülerle yıkınarak ortamdan alınması işlemidir. Yöntemde yıkama çözeltisi zemine enjekte edilmekte veya spreyleme gibi yöntemlerle yüzeye yayılmaktadır (Altın, 2004).



Şekil 1.5. Toprağın yıkanarak kirleticilerden arındırılması (Kocaer, 2003)

1.1.1.1.(5) Elektrokinetik Arıtım

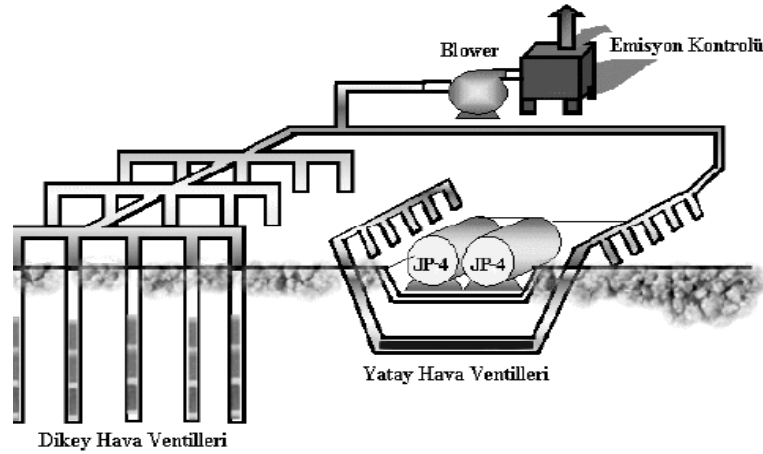


Şekil 1.6. Kirleticilerin elektro kinetikle giderilmesi (Kocaer, 2003)

Elektrokinetik arıtım teknolojileri temelde basit bir pil düzeneği şeklinde çalışmaktadır. Kirlenmiş bölgeye elektrot serileri (kurşun, bakır, çinko, grafit, titanyum) bağlanmakta ve bu elektrotlara belirli miktarlarda doğru akım uygulanmaktadır. Uygulanan elektrik akımı nedeniyle zemin içerisindeki elektriksel yüke sahip kirleticiler, elektroozmoz, iyonik taşınım ve difüzyon yoluyla ters yüklü elektroda doğru bir hareket geçekleştirmektedir (Altın, 2004).

1.1.2.2. Biyolojik

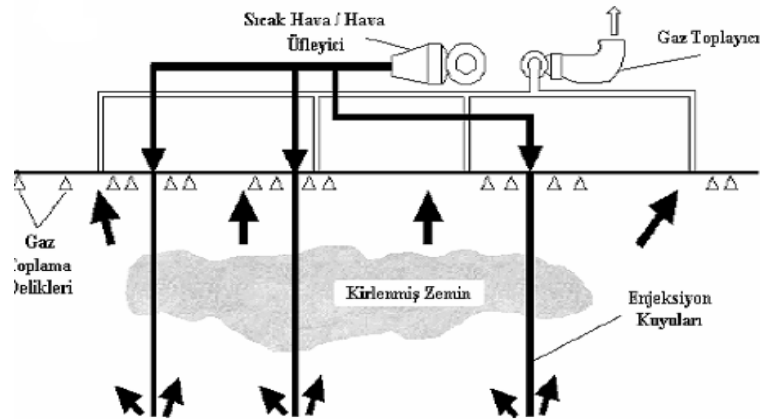
1.1.1.1.(6) Hava Enjeksiyonuyla (Bioventing)



Şekil 1.7. Hava Enjeksiyonuyla (Bioventing) Kirlenici Giderimi (Kocaer, 2003)

Bioventing organik kirleniciyle kirlenmiş zeminlerin biyolojik olarak arıtımı için zemine düşük miktarlarda hava verilmesi işlemidir. Bu yöntemde biyolojik parçalama işlemi toprakta mevcut mikroorganizmalar gerçekleştirmektedir (Altın, 2004).

1.1.1.1.(7) Toprak Buhar Ekstraksiyonu

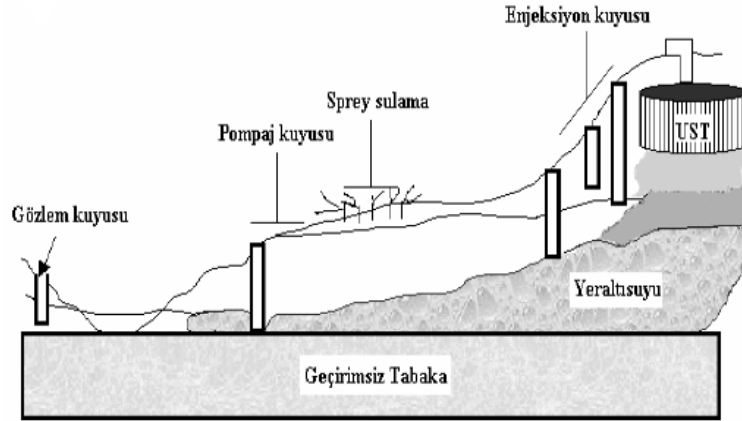


Şekil 1.8. Toprak Buhar Ekstraksiyonuyla Kirlenici Giderimi (Kocaer, 2003)

Genellikle vadoz zonda bulunan uçucu ve yarı uçucu organik maddelerin arıtımında kullanılan bu yöntemde kirlenici, zemin içerisine enjekte edilen havanın

kirletici buharıyla birlikte vakum ventilleri yardımıyla vakumlanması ile ortamdan uzaklaştırılmaktadır(Altın, 2004).

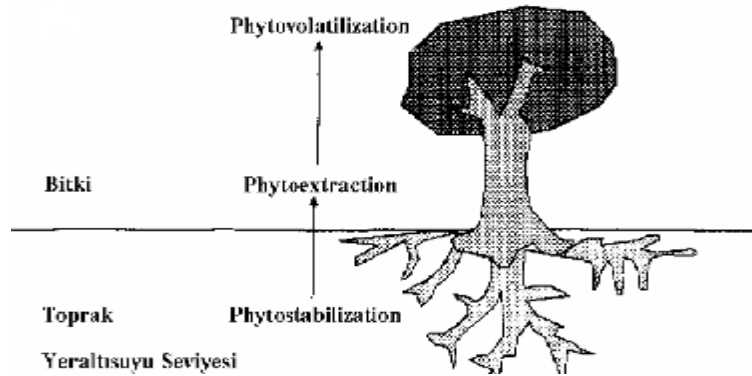
1.1.1.1.(8) Biyolojik İndirgeme (Biodegradation)



Şekil 1.9 Biyolojik İndirgeme (Biodegradation) Yöntemiyle Kirletici Giderimi (Kocaer, 2003)

Biyolojik indirgeme teknolojisi, toprakta veya yeraltısuyunda bulunan düşük ve orta konsantrasyondaki organik maddelerin mikroorganizmalarla (fungi, bakteri ve diğer organizmalar) parçalanmasına dayanmaktadır. Bu işlemde kirlenmiş bölgeye biyolojik aktivitenin maksimuma getirilmesi için oksijene doyurulmuş ve nütrient eklenmiş temiz sıvıların yüzeye serpilmesi veya enjekte edilmesi söz konusudur (Altın, 2004).

1.1.1.1.(9) Bitkisel Arıtım (Phytoremediation)

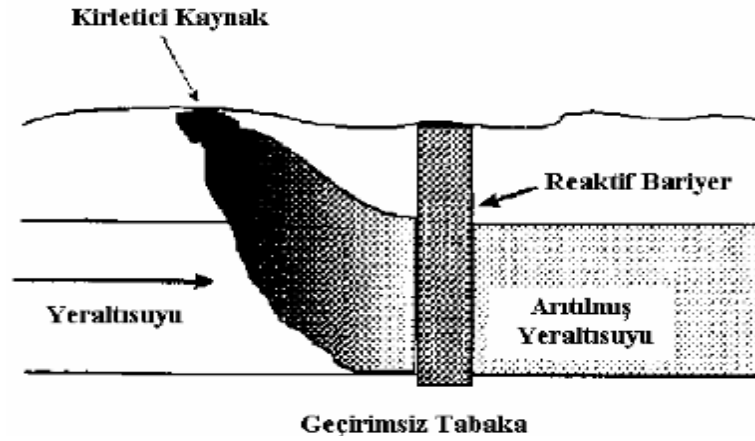


Şekil 1.10 Bitkisel Giderim (Phytoremediation) Yöntemiyle Kirletici Arıtımı (Kocaer, 2003)

Bitkisel tasfiye, kirlenmiş bölgede yetiştirilecek bitkiler yardımıyla kirleticilerin bitki bünyesine alınması (phytoextraction) veya bitkinin yetiştiği toprağın pH'ını değiştirerek kirleticinin çözünürlüğü düşük bileşikler haline dönüştürülmesi (phytostabilization) ile yapılabilmektedir (Kocaer, 2003).

1.1.2.3. Kimyasal

1.1.2.3.(1) Reaktif Bariyerler



Şekil 1.11 Reaktif Bariyerlerle Kirletici Giderimi (Kocaer, 2003)

Reaktif bariyerler, bariyerlerle alıkoyma yönteminin aksine geçirgen ve kirleticiyi adsorplayabilen veya çözünürlüğü düşük kompleks yapılara dönüştürülebilen bir yapıdadır. Günümüzde en çok kullanılan bariyer malzemeleri doğal bentonitler, alüminyum ile pilare edilmiş killer, doğal zeolitler, sıfır değerlikli demir, aktif karbon ve sıfır değerlikli bimetaller oluşturulmaktadır (Altın, 2004).

1.2. Yeşil Islah (Phytoremediation)

Bu süreç bitki esas alınarak çevreyi ıslah etme teknolojisidir. Bu teknoloji ile organik ve inorganik maddeler bitki kullanılarak kirlilik oluşturduğu alandan bertaraf edilebilmektedir (Henry, 2000). Bu atık su iyileştirmede kullanılan yeni bir yöntemdir. Daha düşük maliyet, insan popülasyonu ve ekosistem için risk faktörünün kabul edilebilir sınırlarda olması durumunda, iyileştirme sürecinin nispeten daha uzun bir süreyi kapsamaya karşın bitki ile iyileştirme yöntemlerinin kullanıldığı

uygulamalar, sorun yaratmaksızın çalışacaktır. Yeşil ıslahın çeşitli olumlu ve olumsuz yönleri vardır. (EPA, 2000; Farrell ve ark., 1999; Henry, 2000; Sutherson, 1999)

Bu teknolojinin olumlu yönleri aşağıdaki gibi sıralana bilir,

- 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 daha(4~1000 kat) ucuz olması (Sadowsky, 1999).
- Kirlilik etmeni, bulunduğu yerde veya başka bir ortama taşınarak bertaraf edilebilir.
- Bu amaçla kurulmuş alanların eğitim ve rekreasyon gibi çeşitli amaçlarla kamuya açık yeşil alanlar olarak hizmet verebilmesi,
- Bitkilerin bakım işlemleri ve yenileme dahil düzenli yapıldığında sistem çok uzun ömürlü olması,
- Yerinde yapılan uygulamalarda kirlilik etmeninin alandan taşınma oranının (yaklaşık % 5) ve çevreye (hava ve su) yayılımının çok düşük olması.

Bu olumlu tarafına rağmen yeşil ıslahın önemli olumsuz yanları da vardır. Bunlar,

- Çok ağır düzeylerde kirlenmiş alanlarda bitkilerin kısa sürede etkinliğini gösterememesi, düşük düzeylerde kirlenmiş alanlarda kullanılabilmesi
- Sistemin etkinliği kök derinlikleri ve iklim koşulları ile sınırlı olması.
- Uygulama bölgesinin ekosisteminden olmayan bitkilerin kullanılması biyolojik çeşitliliği olumsuz yönde etkileyebilir.

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

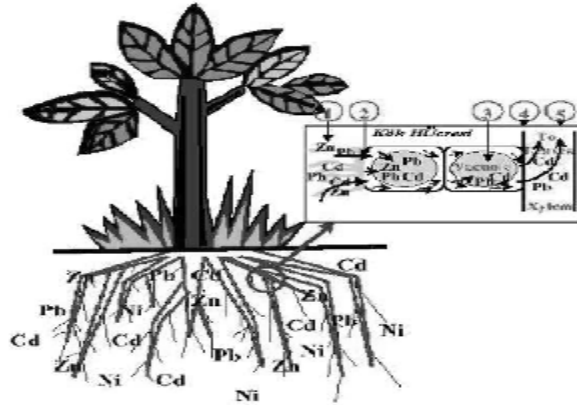
- Yüksek metal düzeylerinde bile yaşayabilme,
- Hasat edilebilen kısımlarında yüksek düzeyde metal toplayabilme;
- Hızlı bir büyüme yeteneği;
- Arazide çok miktarda biokütle üretebilme potansiyeli,
- Güçlü ve zengin bir kök sistemi.

Bu noktada göze çarpan asıl sorun bitkinin bünyesine aldığı toksik özellikteki kirleticilerin besin zincirine katılmasını engelliyerek bertaraf edilmesidir

1.2.1. Yeşil Islah (Phytoremediation) Çeşitleri

1.2.1.1. Köklerle Süzme (Rhizofiltration)

Köklerde süzme, biyotik ve abiyotik işlemlere bağlı olarak kirleticilerin köklerin içine alınması veya bitki köklerin üzerinde yapışıp kalmasıdır(*adsorpsiyon*). Bu işlemlerin oluşu sırasında kirleticiler bitkiye alınabilir ve taşınabilir. Burada temel olan kirleticilerin bitki üzerinde veya içinde hareketsizliğinin sağlanmasıdır. Kirleticiler daha sonra çeşitli yollarla bitkiden alınabilir. Bu yöntem yer altı suları, yüzey suları ve atıksularda uygulanmaktadır. Karasal ve sucul bitkilerin kullanılmasına olanak tanınması sistemin avantajıdır. Ayrıca sistem doğal ortamlarda uygulanabilirliğinin yanı sıra havuz, tank, gölet gibi yapay alanlarda da uygulanabilir. Yani kirlilik kaynağında veya uzakta bertaraf edilebilir. Kirli suyun kirleticilerin bitki tarafından alınmasına olanak tanıyacak pH düzeyine getirilmesi, su akış hızının kontrol altına alınması ve bitkilerin belirli aralıklarla yenilenmesi için iyi bir mühendislik sistemi gerektirir (Pivetz, 2001).



Şekil 1.12. Bitki Köklerindeki Metal Alımı

1.2.1.2. Köklerle Sabitleme (Phytostabilization)

Bu yöntem doğal ortamda toprağın stabil hale getirilmesi için uygulanır. Burada bitkinin yetiştiği toprağın içindeki kirlilik etmenlerinin kökler çevresinde veya içinde biriktirilmesi ya da tutulmasının yanı sıra kirlleticilerin rüzgar, su erozyonu, yıkanma ve toprak dağılması ile taşınmasının engellenmesidir. Bitkinin kök çevresi mikrobiyolojisi ve kimyası ile yakından ilişkili olan sistemde bitki kirlitici etmenin yapısını suda eriyemez-taşınamaz şekilde değiştirebilir.

Köklerle sabitleme toprak, sediment ve çamurda uygulanabilir. Toprak taşınmasını gerektirmemesi önemli bir avantajdır. Ayrıca alan bitkilendirildiği için ekosistemi zenginleştirilir. En önemli dezavantajı kirlilik etmenlerinin alanda kalarak uzun zaman içindeki değişikliklerle taşınabilmesi veya yıkanarak taban suyuna karışabilmesidir (Henry, 2000).

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 taşınır.

Köklere bozunum petrol artıkları, *polycyclic aromatik* hidrokarbonlar, *benzen*, *toluene*, *ethylbenzen*, *xylene*, pestisitler, klorlu çözücüler, *pentachlorofenol*, *polychlorinated bifeniller* gibi kirlilik etmenlerine karşı uygulanabilir.

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.

Organik bileşiklerin bitki bünyesine alınabilmesi eriyebilirliği, bitki tipi, kirlilik etmeninin toprakta kalma süresi veya eskiliği ile toprağın fiziksel ve kimyasal yapısına bağlıdır. Hemen eriyebilen bileşiklerin bitki tarafından alınması zordur. Phytodegradation toprak, sediment, çamur ve yer altı sularında uygulanabilir. Yer altı suları pompalarla yüzeye de alınabilir. Yöntemin en önemli avantajı indirgenme veya bozulmanın fizyolojik olaylar doğrultusunda bitki içinde olması ve mikroorganizmalara bağlı olmamasıdır. Yöntemin dezavantajı ise bozulma sırasında zehirli ara ve son ürünler oluşabilmesi ve bunların çok zor tespiti. Örneğin kavak derin kökleri ile taban suyundaki azotu (nitrat) almakta, bitkide azot proteinlere veya azot içeren bileşiklerin yapısına girmekte ve bir kısmı da gaz olarak atmosfere bırakılmaktadır(Pivet, 2001).

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 köklerinince alınması da sağlanabilir.

1.2.1.6. Hidrolik Kontrol (Hydraulic Control)

Hidrolik kontrol, bitki kullanılarak yeraltı sularında kirlilik etmenlerinin birikmesini ve taşınmasını engellemek veya kontrol altında tutulmasıdır. Bu işlem yer altı ve yüzey sularına uygulanabilir. Bu sistemde daha önce bahsedilen yeşil ıslah kategorilerinin birden fazlası bir aradadır. En önemli avantajı herhangi bir yapay sistem kurulmasına gerek olmaması ve köklerin pompalardan daha fazla alana yayılması nedeniyle ıslah etki alanının çok genişlemesidir. En önemli dezavantajı ise mevsim ve iklime bağlı olarak bitkinin su alımının değişmesidir. Ancak yaprak dökken ağaçlar kış boyunca istenilen görevi yapamazlar.

Yer altı 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; Pivet, 2001).

1.2.1.7. Vejetatif Örtü Sistemleri

Uzun ömürlü ve kendi kendini yenileyen bir yapı olarak vejetatif örtü sistemleri çevresel risk taşıyan materyallerin içinde veya üzerinde büyür ve minimum bakım gerektirir. Vejetatif örtü topraktan buharlaşarak su kaybını engelleyici olarak veya ıslah edici olarak iki tiptir. Birincide bitki toprağın su kaybını minimize ederken, su tutma yeteneğini de maksimize eder, kirlitici etmenler de yıkanma formasyonuna indirgenemez veya hareket edemez. Yeşil ıslah amaçlı ikinci tip örtüde ise bitki bir örtü olarak suyun infiltrasyonunu minimize eder ve alt tabakadaki kirliliğin bozulması amaçlanır. Mekanizmada su alımı, kök çevresi mikrobiyolojisi ve bitki metabolizması var olup, sistemde hidrolik kontrol dahil

farklı yeşil ıslah katagorileri bulunabilir. Uygulamalarda vegetatif örtü genellikle kirliliğin dağılmasını engelleyecek bariyerler şeklinde oluşturulur.

Vegetatif örtüler kirlenmiş yüzey toprağı veya çamur olan yerlerde, belirli kirlilikleri yayan ünitelerin etrafında ve kirli birikintilerin olduğu yerlerde kurulabilir. Bu yöntem toprak, sediment ve çamurda uygulanabilir. Bu örtü kendini sürekli yenileyen yüzey erozyonunu minimize eden ve bakım istekleri az olan bir ekosistem olarak düşük maliyetle kurulabileceğı için ABD’de katı atık depolama alanlarının örtülenmesinde alternatif olarak geliştirilmesi düşünülmektedir. Kök çevresindeki aerobik mikrobiyal aktivite, katı atık depolama alanlarında anaerobik gazların oluşmasını engelleyebilecek veya bozulmasını sağlayabilecektir. 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 gelebilir (EPA, 2000; Pivet, 2001).

1.2.1.8. 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; Pivet, 2001).

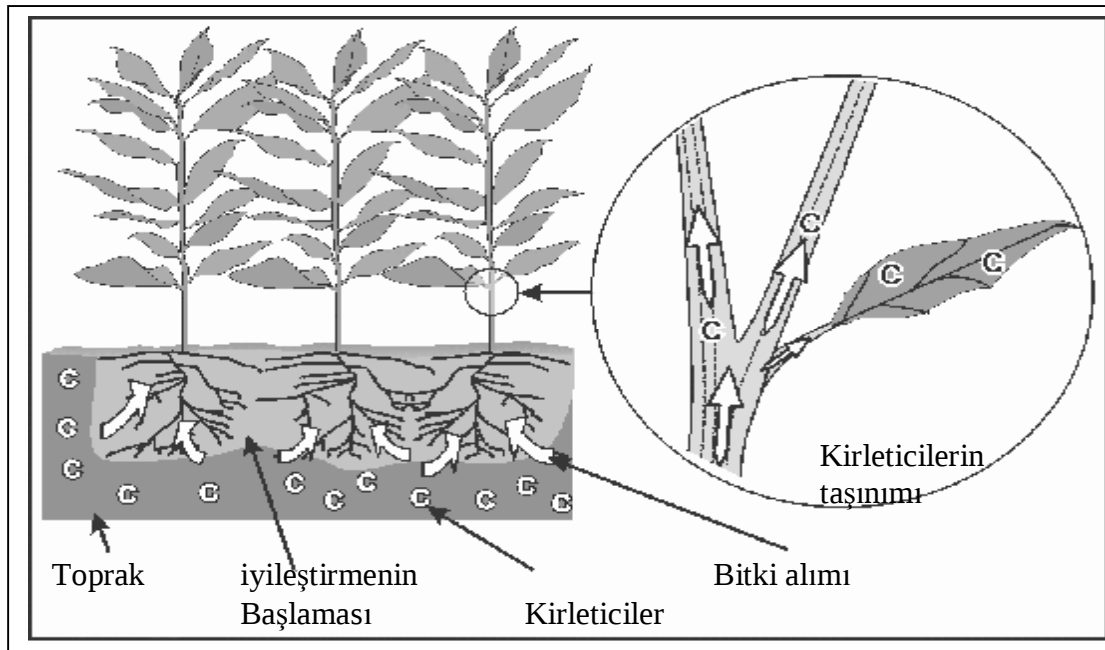
1.2.1.9. Yapay Sulakalanlar

Organik, inorganik ve gübre ile kirlenmiş yüzey suları, kentsel atıksular, çöp sızıntı suları gibi kirli suların arıtılmasında uygulanan ve yapay olarak kurulan sistemlerdir (Pivet, 2001). Kadlec ve Knight (1996), Campbell ve Ogden (1999) bu konuyu tüm yönleri ile ele almışlar ve detaylı örneklemeler yapmışlardır.

1.2.1.10. Bitkisel Özümleme (Phytoextraction)

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

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 (EPA, 2000; Pivetz, 2001; Sutherson, 1999). Bu yöntem için uygun ve çoğu *Brassicaceae*, *Euphorbiaceae*, *Asteraceae*, *Lamiaceae* ve *Scrophulariaceae* familyalarından olmak üzere bünyesinde ağır metal biriktirebilen 400 kadar tür saptanmıştır (EPA, 2000; Garbisu ve ark., 1997; Hossner ve ark., 1998; Jhee ve ark.1999; Pivetz, 2001;).



Şekil 1.13. Bitkisel Özümleme (Brookhaven, 2004)

Bitkisel özümleme metalleri ve radyonükleitleri taşınabilir kimyasal formlara dönüştürerek tutulmasını sağlar. 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 yetiştirilecek bitki türleri içinde verimli bir ortam hazırlanmış olur.

Bu teknoloji uygulanan diğer tekniklere göre daha fazla zaman alır. Ayrıca çok yoğun kirleticinin bulunduğu yerlerde uygulanması zordur. Ayrıca bölgenin ekosisteminde bulunan 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 lazımdır. Kirleticileri gövdesinde biriktiren bitkilerin hayvanlar tarafından yenmesi problem oluşturacağından dikkatli olunması gereklidir. Bitkisel özümleme organik kirleticileri direk olarak topraktan gideremez. Ancak mikrobiyal aktiviteyle desteklenmiş kök sistemleri bunu gerçekleştirebilmektedir.



Şekil 1.14. 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 arıtılacak her m³ toprak için yaklaşık olarak 16\$~62\$ arasında olduğu hesaplanmıştır.

1.2.2. Yeşil 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 1.1. 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	<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
Çinko	<i>Thlaspi calaminare</i>	10000	4

1.3. Ağır Metal Biosorbsiyonu

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, taşıma 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 tabi 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 yetişme 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 ağırmetal iyonlarını içerir. Cu, Zn, Pb, Cr, Cd, Ni gibi madenleri 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.

1.3.1. Ağır Metal ve Özellikleri

1.3.1.1. Demir (Fe)

Demir, yer kürede en fazla bulunan metallerden birisidir. Doğal sularda 0.5 - 50 mg/litre arasında bulunur. Demir yer altı sularında hemen her zaman, yüzeysel sularda ise yılın bazı aylarında yüksek konsantrasyonlarda bulunmaları nedeniyle içme ve kullanma suları bakımından sorun yaratmaktadır.

Bitki, demiri kök uçlarında bulunan özel Fe alıcılarla Fe^{+2} iyonu ve Fe-kilyet formunda aktif olarak alır. Fe^{+3} alınabilmesi için önce Fe^{+2} 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 Fe miktarı, kuru madde üzerinden 50 ile 2000 ppm gibi geniş bir yelpazede değişir. Gelişme devresine ve bitki çeşidine göre demir miktarı değişir. Primer Fe noksanlığı için kritik nokta 50 ppm veya biraz üzerindedir. Fotosentetik olarak gelişmesini tamamlamış ve tam aktif yapraklarda fazla miktarda Fe bulunur. Ne var ki bitkideki toplam Fe pek fazla birşey ifade etmez. Çünkü demir ile normal beslenen veya noksanlığı çeken bitkilerin toplam Fe 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)

Toprakta 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)

Toprakta aşırı kireç ve çinko bitkinin kadmiyum alımını etkiler. Yüksek toprak pH'ı ve yüksek kil oranında kadmiyumun bitkiler tarafından alınmasını yavaşlatan faktörlerdir.

Çinko rafinerileri civarında, oto lastikleri ve madeni yağlarda bulunması nedeniyle sulanan topraklarda kadmiyum yoğunluğu yüksektir.

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)

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. Çinko fazlası da zararlıdır.

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 gr/dekar mangan kullandığı göz önünde tutularak yeter miktarda mangan sülfat verilmesi gerekir. Uygulamanın banda verme yol ile yapılması daha ekonomiktir.

1.3.2. 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. Bir ağır metalin yaşamsal olup

olmadığı dikkate alınan organizmaya da bağlıdır. Örneğin nikel bitkiler açısından toksik etki gösterirken, hayvanlarda iz element olarak bulunması gerekir.

1.3.3. 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 atık suyla yapılan sulamaların ve arıtma çamuru uygulamalarının yaygınlaşmasıyla global bir problem halini 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.

1.3.4. 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 dahil ve bunun yanında Avrupa'da birçok ülkede lağım suları nehirlerle akıtılmaya başlamış ve böylece yalnız büyük ırmaklar kirlenmekle kalmamış aynı zamanda yer altı suları kirlenmiştir. Bu

olaylar sonucu bazen sanayi ve tarım ile bazen de evlerde kullanılan sular önemli sayılabilecek ölçüde kirlenmiştir.

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.

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 protözonlardan meydana gelen hastalıkların tedavisinde kullanılır. Burada metalin toksik etkileri bir süre sonra CaCO_3 ile çökelmeyle giderilir.

Kelatlaşma, bakırın balıklara karşı zehirliliğini azaltır. Örneğin sitrik asitle kelatlaşan CuSO_4 daha az toksiktir. Ph = 6-8.5 arasında kelatlaşan bakırın % 90'ının suda çözülmüş kalmasını sağlar.

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

Suyun pH' ı en önemli faktör olabilir. Ağır metallerin destile ve yumuşak sularda sert ve bazik sulara göre daha toksik olduğu sanılmaktadır.

Sıcaklık artışı ağır metallerin balıklara karşı olan toksikliğini çoğaltır.

Kurşun tuzlarının toksisitesi su miktarı azaldıkça ve balığın büyüklüğü arttıkça azalır. Ayrıca kurşun salgıyla balık üzerinde çöktürülerek zehirliliği giderilir.

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

1.3.5. Ağır Metallerin Canlılara Etkisi

Vücutta doğal olarak bulunan bazı metallerin sağlığını yararları vardır. Örneğin Fe kansızlığı önler, Zn ise 100'den fazla enzim reaksiyonunda yer alır. Metallerin normal olarak vücutta bulunma oranı çok düşüktür. Bu oran yükseldiği takdirde, vücutta toksik etki yapmaya başlarlar.

Ağır metaller, yoğunlukları suyun yoğunluğunun en az 5 katı daha fazla olan metallerdir. Ağır metallerin hiçbir fonksiyonu yoktur ve vücut için zararlıdır. Eğer ağır metallerin vücudumuza giriş hızı, vücudumuzun onları dışarı atma hızından düşükse, zaman içinde vücudumuzda birikme yaparlar.

Endüstriyel ürünlerin üretiminde ağır metallerin yoğun bir biçimde kullanılması nedeniyle insanların ağır metallere maruz kalma oranı son 50 yılda çok ciddi bir biçimde artmıştır. Civalı amalgam dolgular, 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.

1.4. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, arıtma çamuru kullanılarak *Aptenia Cordifolia*, *Carpobrotus Edulis* ve *B.Delagoensis Tubiflorum* bitkilerinin giderim potansiyelleri belirlenmeye çalışılmıştır. Aynı zamanda diatomit ve bazaltik tüfün bitki gelişimine ve ağır metal alımına olan etkisi araştırılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Çalışmayla ilgili olarak yurt içi ve yurt dışı literatür taraması yapılmıştır. Konunun gerek bitki gerekse arıtma çamuruyla ilgili yapılmış olan daha önceki çalışmalar bu çalışmaya ışık tutması açısından derlenmiştir. Ayrıca başka bitkiler kullanılarak yapılan phytoremediation çalışmaları da derlenerek konuyla ilgili deneyimlerden yararlanılmıştır.

Elsokkary, (1982) Mısır'da klor-alkali işletmeleri, kağıt endüstrileri ve elektrik üreten istasyonları içeren endüstriyel kompleksin etkisini yansıtabacak şekilde sebzelerde civa birikmesinin 0.014–0.385 ppb arasında değiştiğini bulmuştur.

Warren ve ark., (1983) Kanada'da yaptıkları bir çalışmada mineral birikmiş alanlarda yetişen *Salix* spp.'nin yapraklarında 1.6 ppb'ye ulaşan civa konsantrasyonları rapor etmişlerdir.

Mankovska, (1983) kayın ağacının (*Fagus sylvatica*) ve çam ağacının (*Pinus pinea*) yapraklarını analiz ederek Çekoslovakya'da demir-metal endüstrilerinden yayılan Pb, Cd ve Mn'ı incelemiştir. Endüstriyel ortamda her iki türdeki üç element kirlenmeyen uzak bir alana göre anlamlı bir şekilde artış göstermiştir. İki yıllık *Pinus pinea* iğnelerinde kirlenmeden uzak alandaki 33 ppb'lik Pb ve 0.8 ppb'lik Cd ve temel Cd düzeylerine göre kirlenmiş alanda 67 ppb ve 4.5 Cd konsantrasyonları kaydedilmiştir. *Pinus pinea*'nın yapraklarında, kirlenmeden uzak bir alandaki 787 ppb'lik Mn'ye karşılık, 1372 ppb'lik yüksek mangan konsantrasyonu gözlenmiştir. Bitkilerin örneklendiği diğer özel kaynak noktaları, Yeni Zelanda'daki gümüş madeni işletmeleri ve Finlandiya'daki klor alkali işletmelerini içerir. Her iki durumda çam iğnelerinde metallerin birikiminin deşarj kaynağında uzaklığa bağlı olarak kirlenmenin boyutlarını yansıttığı bulunmuştur. Çimlerdeki gümüş konsantrasyonlarının uzaklık ile belirgin bir şekilde azaldığı saptanmıştır.

Thorpe, (1989) "Potasyum Madenlerinin Neden Olduğu Tuzlu Alanların İyileştirilmesi" konulu çalışmalarında, atık yığınlarından sızan tuzlu suyun çevreyi kirleterek toprak yapısını etkilediğini ve vejetasyonu öldürmekte olduğunu belirlemişlerdir.

Çalışmaya göre yüksek tuz konsantrasyonu ve tuzluluğun devamlı olduğu alanlarda iyileştirme uygulamaları doğrudan uygulanamaz. Tuzluluk ıslahında bazı

büyük modellemelere ihtiyaç duyulur. NaCl'nin alandaki hareketini etkileyen faktörlerden düşük tuzluluk ve yüksek tuzluluk karşılaştırmaları araştırılır. NaCl girişinin neden olduğu yüksek tuzluluğu olan alanların rehabilitasyonu için yüksek tuzluluk toleransı olan bitkiler alan çalışmaları, sera denemeleri ve laboratuvar testleri ile Trasee/tracon bilgisayar modelleri ile belirlenir. Vegetasyon kapalılığı Na hareketini etkilememektedir. Yeniden bitkilendirme denemelerinde Na hareketi atık çamurlarının iyileştirilmesinde yüzey toprağı iyileştirmelerine göre daha yavaştır. Yapılan çalışmada vegetasyonun etkileri yüzey toprağının ıslahı ve atık çamurun ıslahı olmak üzere iki şekilde incelenmiştir. Yüzey toprağının ıslahında üzerindeki vegetasyon üç ay sonra tamamen öldürülmüş, fakat atık çamurunun iyileştirilmesi için üzerindeki vegetasyon üç yıl süresince deneme alanında kalmıştır. Dikilen beş çim türü içinde atık çamurunun iyileştirilmesi için tuzluluğa dayanıklı en iyi tür Agropyron trachycaulum ve Elymus junceus olarak tespit edilmiştir. Bu türler çimlenme ve olgunluk evrelerinde laboratuvar koşullarında tuzluluğa dayanıklı türler olduklarını göstermişlerdir. Seradaki kolon çalışmaları da yüzey toprağındaki Na hareketinin arıtma çamurundakine göre daha hızlı olduğunu göstermiştir. Trasee/tracon bilgisayar modelleri arıtma çamurundaki yüzey buharlaşmasının yüzey toprağındaki buharlaşmaya göre daha az olduğunu göstermiştir. Çalışmaya göre potansiyel yeniden bitkilendirme çalışmaları tartışılmalıdır.

Lubke ve ark., (1996) "Madencilik Sonrası Güney Afrika Zululand Sahillerinin Rehabilitasyonu" konulu çalışmalarını farklı bitki türleri ile yapmışlardır. 1977'den beri maden tarama işlemlerinin sürdürüldüğü sahil, ağır metallerin tamamıyla alandan uzaklaştırılmasından sonra eski haline uygun olarak şekillendirilmeye çalışılmıştır. Çalışmada alanın üzeri toprakla kapatılmış, çeşitli örtücü bitkilerle ve çok yıllık bitki tohumlarıyla yeniden bitkilendirilmiştir. Örtü alanının farklı yaşlarda olması tür kompozisyonlarında ve vegetasyon dinamiklerindeki değişiklikleri çalışma fırsatını sağlamıştır. 10x10 m² 'lik 5 tesadüf bloku alanı, 4, 5, 7, 8, 9, 10 ve 12 yaşlarındaki alanlarda kapalılık verileri çoklu varyans analizi "Twinspan" ve "Decorana" kullanılarak örneklendirilmiştir. Buna göre her türün önem değeri, toplam ve ortalama tür zenginlikleri hesaplanmıştır. Madencilik öncesi ve madencilikteki toprak örneklerinin iz elementler, organik

madde ve pH yönünden analizleri yapılmıştır. Araştırmada 4-5 yıl boyunca rehabilite alanında *Acacia carro* türünün baskın olduğu, fakat rehabilite alanlarının yaşı arttıkça tür zenginliğinin görüldüğü ve *Acacia carro*'nun baskınlığının da giderek azaldığı ortaya konulmuştur. Twinspan alanları yaşlıdan gence doğru süksesyonlara göre derece kronolojik olarak ayrı ayrı gruplara göre sınıflandırmıştır. Rehabilite alanlarının toprakları besin elementleri yönünden madencilik öncesi üst ve orta tabaka topraklarıyla karşılaştırılmış, organik madde içeriği yüzdesinin doğal kumul ormanlarına göre daha düşük olduğu saptanmıştır. Sonuçta çalışmada toprak flora ve faunasının etkili bir şekilde oluşturulabilmesi için topraktaki besin elementlerinin artırılması gerekliliği vurgulanmıştır.

Estaun ve ark., (1997) "Bozulmuş torakların *Rosmarinus officinalis* ile Biyolojik Amaçlı Mikorizal Mantar (AM) Aşılansarak Yarı Kurak Koşullar Altında Yeniden Bitkilendirilip Geliştirilmesi" konulu bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmada herdemyeşil bir Akdeniz çalısı olmasından dolayı yarı-kurak koşullarda yeniden bitkilendirme amacıyla *Rosmarinus officinalis* L. bitkisi kullanılmıştır. Bitkiler son zamanlarda yapılmış bir otoyol şevinden toplanarak arbuscular mikoriza (AM) mantarı olan *Glomus intraradices* Schenck & Smith ile aşılansarak erozyona uğrayarak bozulmuş üst toprak üzerinde yetiştirilmiştir. Simbiyozun bitki gelişimi ve toprak kaplama ile toprakta mikoriza sayısının gelişimi üzerindeki etkileri başarılı sonuçlar vermiş, bitkilere AM aşılamanın erozyona uğramış alanlarda çok yararlı olduğu ortaya konulmuştur.

Kocadağıstan, (1997) "Pasinler-Esendere Kum Ocakları Doğa Onarımı ve Rekreasyonel Alan Kullanım Planlaması" adlı çalışmasında doğa tahribatına neden olunan ve daha uzun yıllar da olunmaya devam edecek bir maden işletmesi konumundaki Esendere Kum Ocaklarının doğa onarımı çalışması yapılmış, tekrar doğaya kazandırılması için proje hazırlanmıştır. Yine bunun yanında, madencilik faaliyeti yapılırken, aynı zamanda onarım projesinin düzenli bir işletme projesi eşliğinde tatbik edilebileceği de gösterilmiştir.

Garbisu ve ark., (2000) bu araştırmayı topraktaki metallerin giderilmesinde bir yeşil ıslah yöntemi olan bitkisel özümleme (phytoextraction) tekniğinin kullanılması ve bitkilerin hasat edildikten sonra maddi kazanç sağlaması üzerine

yapmışlardır. Bitkisel özümlemenin henüz gelişmekte olan bir araştırma konusu olduğunu belirtmişlerdir

Hasat edilebilen parçaların bünyesinde depolanmış halde bulunan metaller bulunduğu ve bu parçaların rahatlıkla kurutulabileceğini belirtmiş ayrıca bunların küleştirilip veya kompostlaştırılarak, bitki bünyesine alınan yüksek orandaki metallerin geri kazanılabilir olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Sonuç olarak, bitkisel özümleme yaklaşımının fizibilitesinin, küçük ölçekli denemelerde kirlenmiş topraklardan metallerin geri alma bildiği ve bundan maddi kazanç sağlanmasıyla ispatlanmıştır.

McKeon, (2001) araştırmada eski uranyum madenlerinin yakınında, yer alan ve nitrat bulaşmış akiferlerin yerli iki çalı türünün yeşil ıslah teknolojisi kullanılarak temizlenmesi amaçlanmıştır. Kullanılan bitkiler çöl florasının baskın iki türü olan “*Sarcobatus vermiculatus*” ve “*Atriplex canescens*” bitkileridir. Havadan çekilen fotoğraflar ve toprak örneklerinin yardımıyla bu türlerin yüksek nitrat seviyesi sorununa bir cevap olabileceğini öngörmüştür. Ancak bölgede yapılan otlakçılık ve herbisit püskürtme işlemleri yüzünden bitki örtüsünün iyi gelişemediğinden bahsedilmiş, bu işlemlerin durdurulması durumunda 24 hektarlık alanda beş yıl içinde gölgelik alanın %25 artacağı öne sürülmüştür. Sonuç olarak birkaç öneri sunulmuştur. Bunlardan birincisi sulama yapılmadan yerel bitki örtüsünün yalnızca bitkisel iyileştirme amacıyla kullanmaktır. İkinci olarak sunulan öneri ise toprağın atık suyla sulanarak üretimin artırılması ve hem topraktaki nitratin gideriminin sağlanması hem de hayvan yemi üretimidir. Sulama yapılacak olursa üretimin 20 ton/ha artacağı ileri sürülmüştür. Sonraki 20 yıl içindede mümkün olabilecek en yüksek verimliliğe ulaşılabilirliği belirtilmiştir.

Guerro ve ark., (2001) “Belediye Katı Atık Kompostlarının Yanmış Orman Toprağı Üzerindeki Etkileri” konulu araştırmalarında belediye katı atık kompostlarını yanmış orman toprağı üzerine belirli kalınlıklarda sererek bir yıl süre ile izlemişler, kompost uygulamasının yanmış orman toprağının verimliliğini arttırdığını ve hızlı bir şekilde oluşan bitki örtüsünün toprak erozyonu riskini en aza indirdiğini ortaya koymuşlardır.

Madejon ve ark., (2002) yaptıkları çalışmada 1998 yılında İspanya'nın güney batısında yer alan Aznalcollar bölgesindeki eski maden bölgesini kullanmışlardır. Bölgede yaklaşık olarak 4300 ha bir alan toksik etkiye maruz kalmış ve kullanılamaz hale gelmiştir. İki yıllık çalışmalarında bölgede ayçiçeği yetiştirip toprağın iyileşme miktarını, kontamine olmamış bölgedeki sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Çalışmayı fide ve olgun olmak üzere iki evrede gerçekleştirmişlerdir. Bitkinin fide halindeki giderim kapasitesi yok denecek kadar az olduğunu fakat bitkinin olgun döneminde ise nerdeyse hiç alım giderimin gerçekleşmediğini belirtmişlerdir. Sonuç olarak ayçiçeği bitkisinin bitkisel özümleme kapasitesinin çok düşük olduğu ancak bu bitkinin bölgede toprak koruma için kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Bitkilerden elde edilecek bitkisel yağın endüstriyel olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Duncan, (2002) "Nova Scotia, Springhill'deki (Kanada) Duff Bank Kömür Madeni Atıklarının Yeniden Bitkilendirme Potansiyeli" konulu çalışmasını 75 hektarlık ve 150 yıldan daha fazla kömür madeni atıklarının biriktirildiği bir atık depo alanında gerçekleştirmiştir. 1958 yılından beri kapalı olan ve 1992'de ağır iş makineleri ile sıkıştırma dışında hiçbir şey yapılmamış olan alanda yeniden oluşan mevcut vejetasyon belirlenmiş ve restorasyonu hızlandırmak için yapılabilecek bazı uygulamaların kullanılabilirlikleri değerlendirilmiştir. Araştırmada vejetasyon sörveylerinde grid sistemi kullanılmış, mevcut bitki topluluklarının, tohum bankasının ve toprağın kimyasal yapısının değerlendirilebilmesi için toprak örnekleri ve toprak kesitleri analiz edilmiştir. Restorasyon potansiyeli için beş çim bitkisinin karışımı, kireç ve kompost kombinasyonları denenmiştir. Denemeler sonunda beş türün de çimlenebildiği ve kompostun en iyi yetiştirme ortamı olduğu görülmüştür. Sonuç olarak Duff Bank kömür madeni atıklarının ıslah edici bitkilerle başarılı bir şekilde yeniden bitkilendirilebilir olduğunu belirtmişlerdir.

Pulford ve ark., (2002) 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 ıslah çalışmalarının daha anlaşılır olması için daha fazla temel ve uygulama çalışmasına ihtiyaç duyulduğuna eklemiştir.

Osborne, (2003) "Tuzlu Su İle Kirlenmiş Toprakların İyileştirilmesi İçin Yeniden Bitkilendirilmesi" konulu çalışması için alan ve laboratuvar koşullarında denemeler yürütmüştür. Louisiana, Springhill'de tuzla kirlenmiş alanların iyileştirilmesi için yürütülen denemelerde tohumu ekilen *Pinus taeda* bitkisinin canlılığı ve gelişme parametreleri ile toprakta oluşan fiziksel ve kimyasal değişikliklerin izlenmesi ve değerlendirilmesi yapılmıştır. Alanın iyileştirilmesi için toprağın orta tabakasında sızıntı sularının drenaj sistemi oluşturulmuş, temiz su ile sulama sistemi kurulmuş, gübreleme ve odunsu organik materyallerle katkı yapılmıştır. Alan toprak stabilizasyonu için *Cynodon dactylon* ve *Lolium multiflorum* ile çimlendirilmiştir. Çalışma süresince Sodyum (Na) adsorpsiyonu oranı ve elektriksel iletkenlik (EC) ölçümleri 40 cm derinlikte önemli artışlar göstermiştir. İlk yıl *Pinus taeda* tohumları % 84 canlılık oranına sahipken, boyları % 37 oranında, kapalılığı da % 24 oranında artış göstermiştir. İkinci yıl ise bitki % 63 canlılık oranına sahipken, boyları % 43 oranında, kapalılığı da % 61 oranında artmıştır. Arazi ve oda koşullarında yapılan çalışmalar sonucunda tuzla kirlenmiş toprakların özellikleri *Pinus taeda* yetiştirilerek iyileştirilebileceği ortaya konulmuştur. Araştırmacı ayrıca uzun dönem dikkate alındığında 40 cm kök derinliğini aşan bitkiler için canlılık durumu konusunda bu çalışma koşullarında bir yargıya varmanın söz konusu olmadığını belirtmiştir.

Fischerova' ve ark., (2005) As, Cd, Pb, ve Zn iz elementlerinin orta seviye kirlenmiş toprakların bitkisel yollarla iyileştirilebilme durumu araştırmışlardır. Yedi farklı bitki türünün iz elementleri biriktirme kapasitesi ve iyileştirme potansiyelleri karşılaştırmış.

Deneyisel çalışma iki yıl boyunca açık havada ancak yağmurdan korunarak tamamlamışlardır. Bitkiler iki farklı gruptan seçilmişler. İlk grupta hiper akümülatör olarak bilinen, *Arabidopsis halleri* (L.) Hayek ve *Thlaspi caerulescens* J. et C.

Presl bitkileri seçmişlerdir. İkinci grupta ise akümülatör ağaç türleri olarak bilinen *Salix x smithiana* Willd. cf. *dasyclados*, *Salix x dasyclados* Vimm., *Salix caprea* L., *Populus trichocarpa* Torr. et Gray x *koreana* Rehd., *Populus nigra* L. x *maximowiczii* Henry seçilmişleridir.

Çalışma sonunda yapılan incelemede bitkilerin hiç birinde orta seviyedeki bir kirlilikte toksik etki gözlemlememişler. Bitki bünyesinde bulunan kuru ağırlıktaki element miktarı incelemişler *Salix dasyclados* (söğüt türü) bitkisi için çalışılmış diğer hiper akümülatör bitki (*Arabidopsis halleri* ve *Thlaspi caerulescens*) türleriyle benzer akümülasyon kapasitesi ve iyileştirme etkinliği bulmuşlardır. En iyi iyileştirme kapasitesinin, dikkate alınan birçok element için söğüt türünde olduğu fark etmişlerdir.

Murray, (2003) yaptığı çalışmada nitrat ve 1,2- dicloropropanın melez bir kavak türü olan *Populus deltoides* x *P. Nigra* melez ağacıyla toprağın iyileştirilmesi amaçlamışlardır. 1990'ların başlarında içme sularının dezenfeksiyonu amacıyla kullanılan 1,2- dicloropropan (DCP) ve nitratin 97'lerin sonlarında toprakta aşırı biriktiğini anlamalarıyla hem toprağın iyileştirilmesi hem de bölgenin içme suyu kaynaklarının kirlenmemesi için yeşil ıslah teknolojisini kullanmışlardır. Uygulamada çalışma bölgesinin toprağına kompostlanmış talaş uygulamışlardır. Bu sayede bitkilerin hayatta kalma oranı %85 civarına çıkara bilmişlerdir. İlk büyüme sezonundan sonra bitkilerin boyları 8 ile 12 feet (2,438–3,658 m) arasında iken, ikinci yıl bitkilerin boyunu 15 ile 20 feet (4,572–6,096 m) olarak tespit etmişlerdir. İlk belirlemeler ağaçların yılda dönüm başına 136,08 ile 226,80 kilogram arasında nitratı topraktan giderebileceklerini ortaya koymuşlardır.

Sonuçta yetiştirilen melez kavakların toprakta ki artık besi elementlerini ve 1,2- dicloropropanı (DCP), metabolize edebildiği bulgusuna ulaşmışlardır. Bitkilerin dikiminden sonraki üç büyüme sezonundan sonra bitkilerin kök yapısının su kaynağının sığ taban suyunun bulunduğu seviyeye inebileceğini ileri sürmüşlerdir. Bu çalışma melez kavakların organik kirleticiler ve gübreyle kirlenmiş sığ taban sularının temizlenmesinde kullanılabileceğini ispatlamışlardır.

Nouairi ve ark., (2005) çalışmalarında *Brassica napus* bitkisinin Cd biriktirme potansiyelini Cd-hiper akümülatör 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.

Boularbah ve ark., (2005) yaptıkları çalışmada, Moroco'nun güneyinde bulunan üç farklı maden bölgesinde yetişebilecek toksisiteye en dayanıklı hiper akümülatör bitkiler metPADTM biyotestiyle belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu test seçilen metallerin toksiklik miktarını bitkilerden elde edilen sıvı içerikten anlaşılmasına yardımcı olur. Çalışmada her bir maden bölgesinde yetişen bitki türleri seçmişlerdir. Sonuç olarak bitkilerde yapılan bütün analizlere göre topraktaki yüksek konsantrasyonlara rağmen bitki bünyelerinde düşük seviyede toksisiteye ve ağır metal konsantrasyonuna rastlamışlardır. Ancak sonuçlar incelendiklerinde kullanılan bitkilerin yüksek toleransa sahip olmalarına rağmen bu bitkilerin hiper akümülatör olmadıklarını belirlemişlerdir. Yinede bu bitkilerin erozyona karşı maden bölgelerinde kullanılabileceğini (phytostabilization) belirtmişlerdir. Bu çalışmada toplam on dokuz farklı bitki ailesinden yirmi dört farklı bitki türü kullanılmışlardır.

Lázaro ve ark., (2005) bu çalışmada Cr, Mn ve 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 yağı sayesinde ekonomik fayda sağlayabilecek bir biokütleyle sahip olduğunu ortaya koymuşlardır.

Sharma, (2006) yaptığı araştırmada aşırı fosfor (P) içeren toprakların yeşil ıslah amaçlı kullanılacak bitki türlerinin fosfor (P) alım potansiyelini incelemiştir. Araştırmada salatalık (*Cucumis sativus*) ve sarı kabak(*Cucurbita pepo var. melopepo*) potansiyel fosfor depolayan bitkiler olarak tanımlanmaktadır. Bu bitkilerin yüksek fosfor ihtiva eden topraklarda tatmin edici bir biokütle oluşturduğunu belirtmiştir. Söz konusu bitkilerde phosphomonoesterase enziminin aktivitesinin %35 artmasıyla, phytase aktivitesinin % 400 attığını belirtmiştir. Bu gelişmiş enzim aktivitesini bu bitkileri özel kılan tek etken olduğunu ortaya koymuştur. Söz konusu bitkilerin yüksek biokütle ve ekonomik değer oluşturduğunu, fosforun bitkisel özümlemesi için birer potansiyel aday olduklarını öne sürmüştür.

Marques ve ark., (2006) Çalışmada “*Solanum nigrum*” bitkisinin kirlenmiş topraklarda giderim kapasitesinin “*Arbuscular mycorrhizal*” mantar ailesine ait iki farklı türü aşılıyarak arttırmaya çalışmışlardır. Uygulamayı Portekiz’in kuzeyinde bulunan Esteiro de Estarreja bölgesinde yapmışlardır. Bölgede, endüstriyel tesislerin atık sularının deşarjı nedeniyle kirlenmiş küçük ve durgun nehir yatakları mevcuttur. Bölge toprağının geçirgenliğinin yüksek olması nedeniyle toprağın filtre görevi gördüğü ve suda bulunan atıkları bünyesine aldığı belirtilmektedir. Bu deşarj uzun süreli değildir ancak bölgede yüksek seviyede metal kirliliği özellikle çinko bıkırımı gerçekleşmiştir.

Solanum nigrum’un doğal olmayan kirlenmelere karşı dayanıksız olması nedeniyle bitki “*Glomus claroideum*” ve “*Glomus inraradices*” mantarları ile aşılıyarak zehirli etkilerden korunmuştur. Mantarların çinkoyu, kullanılan bitkinin bünyesinden, kendi bünyelerine alıp biriktirdikleri belirtilmiştir. Bu sayede bitki zarar görmeden topraktaki çinkonun %49~83 arasında daha fazla alınmasını sağlamışlardır. Ayrıca çinko alımının mantar kolonisinin mevcut kök yüzdesiyle alakalı olmadığını ortaya çıkarmışlardır. Aşılana mantarlardan “*G. Claroideum*”, kök, gövde ve yapraklardaki çinko depolanma miktarını sırasıyla % 58, %44 ve %120 artırırken, “*G. İnraradices*” mantarında bu artış sırasıyla, %54, %39, %122 olarak tespit etmişlerdir. Sonuç olarak kullanılan bitkiye söz konusu mantarların aşılama, bitkinin mevcut arıtım kapasitesini artırdığı kanısına varmışlardır.

Meers ve ark., (2006) yaptıkları çalışmada, beş farklı söğüt türünün ağır metalleri (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) bünyeye alabilme ve depolama kapasitelerini araştırmışlardır. *Salix dasyclados* ‘Loden’, *Salix triandra* ‘Noir de Villaines’, *Salix fragilis* ‘Belgisch Rood’, *Salix purpurea* × *Salix daphnoides* ‘Bleu’, *Salix schwerinii* ‘Christina’, türleri araştırma için seçilen söğüt türleri olarak belirtilmiştir. Bitkiler, açık havada toprak saksılar içinde ve 3 farklı toprak tipinde yetiştirilmiştir. Bunların ilki orta seviyede kirlilik içeren yüzey toprağı. Yüksek seviyede kirletici içeren yüzey toprağı. Sonuncusu da oldukça yüksek konsantrasyonda kirletici içeren kumlu toprak olarak belirtilmiştir. Sonuçta beş tür üzerinde yapılan analizde bünyelerinde diğer ağır metallere daha yüksek konsantrasyonlarda kadmiyum (Cd) ve çinko (Zn) bulunduğunu belirtmişlerdir. Bu türlerin topraktaki çinko ve kadmiyum için %50 ~ %100 gibi yüksek giderim kapasitelerine ulaştığını belirtmişlerdir.

Zaimoğlu ve ark., (2007) yaptıkları çalışmada *Juncus Acutus* bitkisini evsel nitelikli arıtma çamuru ve katı atık depolama alanı sızıntı suyu kullanarak ağır metal giderim potansiyelini belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmalarında *J. Acutus* bitkisinin kök, gövde, yaprak ve yetiştirme toprakların da kobalt, nikel, demir ve bakır analizlerini yapmışlardır.

Çalışmanın sonunda bitkinin ağır metalleri özellikle kök bölgesinde biriktirdiğini belirtmişlerdir. Özellikle kobalt için yapılan analizler neticesinde bitkinin bu ağır metali yapraklara kadar taşıyarak oldukça yüksek oranda bünyesine biriktirebildiğini, demir içinse kök bölgesinde birikimin daha fazla olmakla birlikte sonuçta bitki bünyesinde tutulduğunu, nikelin kök ve yapraklarda birikiminin oldukça yüksek olduğunu ve Bakırın toprakta kalma oranının diğer üç ağır metale göre daha yüksek konsantrasyonda olduğunu belirtmişlerdir.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

3.1.1. Araştırma Yeri

Adana Batı Atıksu Arıtma Tesisinden temin edilecek stabilize evsel atık su çamuru, Çukurova Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans Araştırma Laboratuvarına getirilmiştir. Deney düzeneği Çukurova Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Araştırma laboratuvarlarında kurulmuştur.

3.1.2. Arıtma Çamurunun Sağlandığı Tesisin Özellikleri

Adana batı arıtma tesisi Seyhan ilçesi, yenidam mahallesi civarında, drenaj kanalı TD8'e boşalan ana atık su kolektörlerinin çıkışında 650.000 m² alan üzerinde bulunmaktadır.

Batı Adana için iki adet atık su Arıtma Tesisinin Anahtar Teslim İnşaatı, mekanik ve elektrik işleri 3,5 yılda tamamlanmış ve tesis 7 Haziran 2003 tarihinde devreye alınmış 1 yıllık devreye alma dönemi tamamlanarak 7 Haziran 2004 tarihinde işletmeye alınmıştır.

Bu Atık su Arıtma Tesislerinde Seyhan Nehri ve drenaj kanallarına arıtılmadan deşarj edilen evsel ve ön arıtmadan geçirilen endüstriyel atık sular arıtılmaktadır.

Adana batı için birinci aşama, hedef yıl 2010 yılı tahmini yükleri projelendirme bazı alınarak, mekanik ön-arıtma, ön çökeltme ve çok yüklü aktif çamur prosesine göre (VL BOD₅=1,5 kg/m³/d), biyolojik arıtmayı kapsamaktadır. Bu ilk aşama dahilinde, çamur stabilizasyon (anaerobik mezofilik çürütme) ve çamur su-giderme tesisleri inşa edilmiştir. Çamur stabilizasyon ünitesi ikinci evre için halihazırda tasarlanmıştır (hedef yıl 2025). Avrupa Topluluğu standartlarına uygun deşarj kriterlerini sağlayacak arıtma verimine sahip olan tesis, ileri aşamalarda azot ve fosfor arıtımı için genişletilmeye uygun bir şekilde projelendirilmiştir.

Çizelge 3.1. Batı Adana Atıksu Arıtma Tesisi Ana Parametreler

Proje Hedef Yılı	2010	2025
Toplam Eşdeğer Nüfus	1.151.066 E.N 48	1.760.958 E.N 55
Günlük Debi	227.346 m ³ /gün	311.973 m ³ /gün
Giriş BOI ₅ Konsantrasyonu (biyo kimyasal oksijen ihtiyacı)	243 mg/lt	310 mg/lt
Toplam BOI ₅	55,251 kg/gün	96,853 kg/gün

Tam biyolojik arıtmaya göre inşa edilmiş olan Batı Adana Atıksu Arıtma Tesisinde çamur arıtma yapılmakta olup çamurdan üretilen metan gazı ile elektrik enerjisi üretilmekte ve tesisin % 30 elektrik enerjisi karşılanabilmektedir. Arıtma tesisinde üretilcek çamur tarımda gübre olarak kullanılabilecektir. Kullanılan arıtma çamurunun karakterizasyonu Çizelge 3.2’de verilmektedir.

Çizelge 3.2. Batı Adana Atıksu Arıtma Tesisi Arıtma Çamuru Karakteristi

KARAKTERİSTİK	KONSANTRASYON
Kuru madde (%)	90.8
Organik madde (Kg t ⁻¹)	538
C/N oram (% kuru madde)	8.9
Toplam N (Kg t ⁻¹)	32
Cd (mgkg ⁻¹)	2.2
Co (mgkg ⁻¹)	2.6
Cu (mgkg ⁻¹)	203.4
Fe (mgkg ⁻¹)	8.6
Mn (mgkg ⁻¹)	216.8
Ni (mgkg ⁻¹)	4.9
P (mgkg ⁻¹)	14.1
Zn (mgkg ⁻¹)	401.9

3.1.3. Kullanılan Bitki Türleri

Bu çalışmada su tutma kapasitesi yüksek olan *Aptenia Cordifolia*, *Bryophyllum Tubiflorum*, *Carpobrotus Edilis* bitkileri kullanılmıştır. Ayrıca *Aptenia Cordifolia* bitkisi daha önce hiçbir çalışmada kullanılmadığı için özellikle seçilmiştir.

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

Anavatanı Güney Afrika olan Sukkulent bir bitkidir. Doğal ortamda çok yıllıktır iç mekanda 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 kırılgan 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.



Şekil 3.1. *Aptenia Cordifolia* (Buz Çiçeği, Öğle Çiçeği)

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.

3.1.3.2. *Bryophyllum Tubiflorum*

Anavatanı Madagaskar olan bu tür kuraklığa karşı dayanıklı sukulent bir bitkidir. İnce gövde yapısına rağmen 1 m kadar büyüyebilmektedir. Gövdesine bağlı pek çok küçük dalcık veya yapraklar bulunur. Yapraklar ince uzun veya ovalimsi olabilmektedir. Ancak tümünde yaprakların kenarları testere dişi şeklindedir. Kış aylarında çiçeklenen bu bitkinin çiçekleri salkım şeklinde olup oldukça zehirlidir. Toplu hayvan ölümlerine bile rastlanmaktadır. Çiçekler ayrı bir gövde üzerinde küme halinde bulunur. Eşaysız çoğalabilme özellikleriyle çok hızlı bir şekilde koloni oluşturabilirler.



Şekil 3.2. *Bryophyllum Tubiflorum* bitkisinin gövde ve çiçeği

Hayvanların bu bitki yemesi halinde, iştahsızlık, huzursuz davranışlar, ishal, ağız bölgesinde aşırı salya oluşumu gibi zehirlenme semptomları gözlenmektedir. Hayvanların 1 gün ile 5 gün arasında ölümü gözlenmektedir.

3.1.3.3. *Carpobrotus Edilus* (Kaz Ayağı)



Şekil 3.3. *Carpobrotus Edilus* (Kaz Ayağı)

Sukulent bir bitkidir. Doğal ortamında çok yıllık bir bitkidir. Sıcağa ve susuzluğa dayanıklıdır. Işık ihtiyacı fazla değildir. Yaklaşık olarak 50~100cm kadar boylanabilir. Gövdeleri yeşil, yaprakları üçgenimsi ve köşelidir. Çiçeği eflatunumsu mor renktedir. Tohumla çelik ve dallanma yöntemleriyle çoğaltılabilir. İyi drene edilmiş topraklarda oldukça hızlı gelişir. Yüzeysel kök sistemine sahiptir.

3.1.4. Kullanılan Filtre Malzemesi

3.1.4.1. Bazaltik Tüf

Yanardağlardan parça halinde havaya fırlayan değişik boyutlarda ve çeşitli şekillerde cisimlerdir; havada katılaşır ve tane büyüklüklerine göre püskürme merkezinden farklı uzaklıklarda yeryüzüne düşerler ve orada genellikle tabakalı bir

yapı oluştururlar. Piroklastikler arasında kökeni volkanik–mağmatik olmayan, irili-ufaklı tortul veya metamorfik kayaç parçaları da bulunur. Bunlar, volkan tabanında yeralmış olan jeolojik oluşumların bileşimi, yaşı ve yapısı hakkında önemli ipuçları verirler.

Krater kenarına, koni üzerine veya yakın çevreye düşen iri parçalar, oralarda volkanik konglomeraları veya Aglomera'ları meydana getirirler. Bunlar içerisinde fazla miktarda tortul kayaç parçaları, köşeli iri bloklar bulunacak olursa, volkanik breş olarak adlandırılırlar. Buna karşın ince veya ufak tanelerinden oluşan çökellere geniş anlamda tuf denir.

Volkanlardan çıkan maddelerin miktarı oldukça büyüktür. Deniz yüklerindeki erüpsiyonlar dışında, son 400 yıl içinde bütün dünyadaki yanardağlardan 50 km³ lav ve 350 km³ tuf çıktığı tahmin edilmektedir (Sapper, 1927).

Araştırmada kullanılan bazaltik tuf Ceyhan formasyonuna aittir. Kullanılan tufün ortalama çapı 2 cm'dir. Bazaltik tufün analiz sonucu aşağıda verilmiştir (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3. Bazaltik Tufün Analiz Sonucu

Yapılan Analizler	Ölçüm	Analiz Sonuçları
Bakır (Cu)	mg/kg	14.75
Demir (Fe)	mg/kg	5176.67
Mangan (Mn)	mg/kg	185.66
Krom (Cr)	mg/kg	21.5
Kurşun (Pb)	mg/kg	2.83
Nikel (Ni)	mg/kg	15.5

3.1.4.2. Diatomit

Esası fosilleşmiş deniz canlılarının süngerimsi yapıları ve milyonlarca yıllık kurumuş lakları sayesinde iyi bir su tutuculardır. Ponzaya göre binlerce kat daha süngerimsidir kendi ağırlığının ortalama dört katı kadar su tutucudur. Yapıları Ca, Mg ve Si oluşmaktadır. Buda fosilimsi yapısından dolayı bitkilere gıda kaynağı olarak kullanılabileceği düşünülmektedir. Ayrıca basınca ve sürtünmeye dayanımının düşük olması nedeniyle kolayca öğütülüp istenilen boyuta getirilebilmektedir. Kullanılan diatomitin analiz sonucu aşağıda verilmektedir. Diatomitin içeriği hakkında yapılan analizin sonucu çizelge 3.4 'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Diatomit Analiz Sonuçları

Toplam Azot (N)	%	1,35
Fosfor (P)	%	0,03
Potasyum (K)	%	0,16
Kalsiyum (Ca)	%	0,54
Magnezyum (Mg)	%	0,25
Çinko (Zn)	ppm	9,90
Bakır (Cu)	ppm	133.08
Demir (Fe)	mg/kg	4187.7
Mangan (Mn)	mg/kg	14,00
Krom (Cr)	mg/kg	8.5
Kurşun (Pb)	mg/kg	2.92
Nikel (Ni)	mg/kg	13.08
Kireç (% CaCO ₃)	%	1,00
Tuzluluk E.C	(1/2,5)mmhos/cm	0,38
Organik Madde (Kuru Yakma)	%	35,69

Diatomit ürünleri sanayide birçok işlemlerde ara ve yardımcı malzeme olarak kullanılmaktadır. Başlıca tüketim alanları önem sırasına göre şöyle sıralanabilir.

- Filtre-Yardımcı malzemesi (süzme),
- Dolgu malzemesi,
- İzolasyon malzemesi (ısı, ses, elektrik),
- Absorbent,
- Aşındırıcı ve yüzey temizleyici,
- Katalizör taşıyıcı,
- Hafif yapı malzemesi, refrakter imalatı,
- Birçok kimyasal maddelerin üretiminde silis kaynağı olarak,
- Gübrelerde taşıyıcı ve topraklanmayı önleyici olarak.

Diatomitin % 85–90 gözeneklilik derecesine sahip bir doku meydana getirebilecek özel yapısı, kimyasal inörtlüğü ve steril özelliği nedeniyle en çok tüketildiği ve ikame ürünlere göre hemen hemen rakipsiz olduğu kullanım alanı, süspansiyon halindeki katı tanecikleri sıvılardan ayırmak amacıyla uygulanan filtrasyon işlemleridir. Bu uygulamada filtre yardımcı malzemesi bez, elek gözenekli taş veya metalden yapılan destek yüzeyleri üzerine biriktirilerek filtrasyon keki oluşturmak suretiyle veya doğrudan doğruya süzülecek sıvıya ilave edilerek kullanılır. Filtrasyon işlemi sırasında süzülmekte olan sıvıya kontrollü olarak

dozajlama şeklinde ilave edilmek suretiyle kekin gözenekliliği korunur. Böylece istenilen süzme hızı ve berraklık derecesini elde etmek mümkündür (DPT 1996).

Yardımcı malzeme kullanılması süzme periyodunu uzatmakta, istenilen hız ve berraklıkta süzme yapılabilme imkanını sağlamakta ve işlemi kolaylaştırmaktadır. Bu sebeplerden dolayı işletme giderleri ve işçilikte önemli tasarruflar sağlanmaktadır. Diatomit filtre yardımcı malzemeleri ham şeker şerbeti, bira, viski, şarap, yüzme havuzu suları, kuru temizleme solventleri, eczacılık mamulleri, meyve ve sebze suları, endüstriyel atıklar, kimyasal maddeler, vernik ve lakeler, madeni ve nebati yağların filtrasyon işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Diatomit ürünlerinin ikinci büyük kullanım alanı fonksiyonel dolgu işlemleridir. Burada kullanılan dolgu malzemesi nihai mamulün özelliklerini geliştirerek performansını artırmaktadır. Bu amaç için diatomitin hafiflik, dayanıklılık, kimyasal inörtlük, ısı-ses-elektrik yalıtım kabiliyeti, yüksek gözeneklilik ve emicilik özelliklerinden yararlanılmaktadır (DPT., 1996).

Diatomitin fonksiyonel dolgu işlemi için kullanıldığı en önemli uygulamalar boya, plastik, lastik, kağıt, ilaç, kozmetik, cila, kibrit, diş macunu ve kimya sanayileridir.

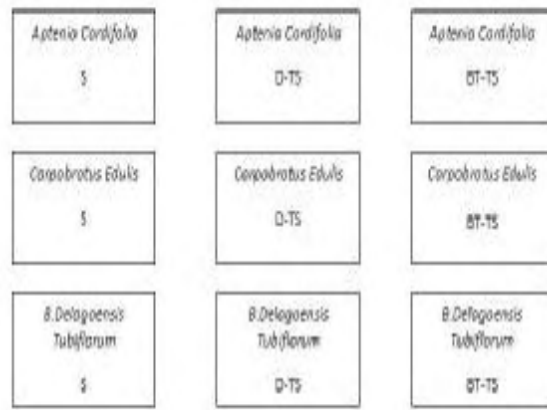
Bazı diatomit çeşitleri % 94'e ulaşan yüksek silis muhtevalarına sahiptirler. Bu sebeple kimyasal reaksiyonların büyük çoğunluğuna karşı ilgisizdirler. 1430 °C civarındaki yüksek ergime sıcaklığı ise aşırı sıcaklıklara karşı dayanıklılık sağlar. Bu sebeple diatomit ürünleri hem katalizör taşıyıcısı, hem de yalıtım elemanı olarak kullanılırlar. Katalizör taşıyıcı uygulamasının en önemli örnekleri hidrojenasyon prosesindeki nikel katalizörler ve sülfürik asit üretimindeki vanadyum katalizörlerdir. Ayrıca çimentoda su muhtevası fazlalığını giderme ve homojeniteyi ıslah etmek amacıyla kullanılabilir. Betona % 3 oranında diatomit ilavesinin betonun basınç direncini % 20, çekme direncini ise % 10 oranında artırdığı gözlenmiştir. (DPT 1996)

3.2. Metod

Bu çalışmada, üç farklı bitki türünün üç farklı ortamda ağır metal giderim verimleri deneysel sürecin bitiminden sonra yapılacak analizlerle belirlenip sonrasında istatistiksel çalışmalarla karşılaştırılması amaçlanmıştır.

3.2.1. Çalışma Düzenekinin Kurulması

Çalışma düzenekinde bitki yetiştirme haznesi olarak 5,5 lt hacminde, yarı şeffaf, tabanı deliksiz kaplar kullanılmıştır. Düzenek her bitki türü için 9 ar saksı olmak üzere toplam 27 saksıdan hazırlanmıştır. Her blok da bir üç adet tekerrürden oluşan üçer farklı ortam mevcuttur.(Şekil 3.4)



Şekil 3.4. Deneme Düzenek 3 Tekerrürlü hazırlanmıştır.

- S:Hazır botanik toprağı,
- D-TS: Diatomit + Arıtma çamuru,
- BT-TS: Bazaltik tüf + Arıtma çamuru kullanılmıştır.

3.2.2. Sistemde Kullanılan Bitkilerin Doğadan Alınması

Araştırmada kullanılmak üzere seçilen *Apteris Cordifolia*, *Carpobrotus Edulis* bitkileri doğadaki yaşam ortamlarından sökülüştür. *B.Delagoensis Tubiflorum*, bitkisi ise laboratuvar ortamında çimlendirilip dikime hazır hale getirildikten sonra kullanılmıştır.



Şekil 3.5. Bitkilerin Doğadan Alındıkları Bölgeler

Köklerine zarar vermemek amacıyla toprağıyla birlikte bölgenin doğal florasından sökülen (Şekil 3.5.) *Aptenia Cordifolia*, *Carpobrotus Edulis*, bitkiler araştırmanın yapılacağı ortama getirilmiştir. *B.Delagoensis Tubiflorum* bitkisi ise peyzaj mimarlığı bölümünden getirilmiştir. Bu bitki laboratuvar ortamında çimlendirilmiştir. Deneyin hassasiyeti açısından bitkilerin köklerindeki topraklar laboratuvar da önce çeşme suyu, daha sonrada saf su ile yıkanmıştır.

3.2.3. Sistemde Bitki Yetiştirme Ortamlarının Hazırlanması

Bazaltik tüf ve diatomit arıtma çamurunun yüksek su tutma kapasitesini düşürmek ve bitki için daha uygun bir ortam hazırlamak amacıyla kullanılmıştır. Hazırlanan ortamlarda her bir litre arıtma çamuruna karşın iki litre filtre malzemesi kullanılmıştır. Ayrıca bitkilerin en rahat gelişimini tamamlayabileceği içeriği belirli hazır toprak karşılaştırma amacıyla kullanılmıştır. Ortamlar hazırlanırken hazneler araştırmanın sağlığı açısından dikkatle etiketlenmiş ve her kapta üstten 3 cm boşluk kalacak şekilde ortam malzemesi fazla sıkıştırmadan konulmuştur.

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 dikilmiştir.



Şekil 3.6. Sistemin Kurulduktan Sonraki Görünüşü

Bitkiler dikildikten sonra (Şekil 3.6.) can suyu olarak hepsine 400 ml C1S1 sulama suyu verilmiştir. Bu aşamada kontrol toprağının diğer ortamlardan daha fazla su tutma kapasitesine sahip olduğu gözlemlenmiş ve bunu önüne geçebilmek için araştırmanın geri kalanı boyunca bu toprağın kullanıldığı haznelere diğerlerine verilenin 1/3 ü kadar su verilmiştir. Geri kalan üç aylık süreç boyunca bitkiler 3 günde bir 150 ml suyla sulanmıştır. Hazır toprağın bulunduğu hazneler ise 50 ml suyla sulanmıştır. Çalışmalar sırasında düzenli olarak sıcaklık ve nem ölçümleri yapılmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Sıcaklık ve Nem Ölçüm Cihazı

Araştırma boyunca bitkilerin kuruyarak dökülen yaprakları toplanarak etiketlenmiş ve analize kadar saklanmıştır.

Ayrıca bitkilerin büyüme miktarının belirlene bilmesi için 90 günlük süreçte her hafta boy ölçümleri cm cinsinden ölçülmüştür.

3.2.4. Bitki Örneklerinin Hazırlanması

Sistemin sökülmesinden sonra bitkiler kök, yaprak/gövde olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Her bir haznedeki toprak numuneleri ve bitki kısımları hassas terazide tartılarak yaş ağırlıkları alınmıştır.



Şekil 3.8. Kurutulmuş Numunelerin Tartımı

Bitki kökü ve yaprak/gövdesinin tümü, toprak numunelerinin ise bir miktarı örnek alınarak ısıya dayanıklı poşetlere yerleştirilmiş ve sabit ağırlığa ulaşmasını sağlamak üzere 60 °C'ye ayarlanmış etüvde 5 gün boyunca bekletilmiştir. Beş gün sonunda bitkilerin kuru ağırlıkları ölçülmüştür (Şekil 3.8). Kurutulmuş bitkiler ve toprak numuneleri öğütülerek elekten geçirilmiş ve eş boyutta olmaları sağlanmıştır. Numuneler söküldükleri hazne numaralarına göre isimlendirilerek özel nem geçirmez poşetlerde saklanmıştır (şekil 3.9).



Şekil 3.9. Nem Geçirmez Poşetlerde Numunelerin Saklanması

Numuneler Perkin Elmer marka Optima 2100 DV OES (Optical Emission Spectrometer) cihazı (Şekil 3.11) ile ağır metal analizlerine hazırlanmak için standart metotlar kitabındaki SM 3030 K Methoduna uyularak ön işleme tabi tutulmuştur. Numunelerden 0,3 g tartılarak mikrodalga yakma ünitesinin kaplarına konulmuştur, üzerine 9 ml % 65 saflıkta nitrik asit eklenmiş ve parçalanmaya bırakılmıştır. Parçalanmış numuneler etiketlenmiş şişelere konulmuştur. Numunelerin içerisinde kalan inorganik maddelerden uzaklaştırmak için süzme işlemi yapılmıştır. Süzme işlemi için Selülozik Whatman 0,45 mm filtre kağıdı kullanılmıştır. Süzülen numuneler saf su eklenerek 25 ml'ye tamamlanmıştır.

**Şekil 3.10.** Numunelerin ICP Cihazında Analize Hazırlanması

Ç.Ü. Çevre Mühendisliği Bölümü'ne ait olan Hassas Cihaz laboratuvarında Perkin Elmer marka Optima 2100 DV OES (Optical Emission Spectrometer) cihazı (Şekil 3.11) ile SM 3120 B Methoduna uyularak, SM 3030 K Methodu ile hazırlanmış numunelerin içindeki ağır metal muhtevası ölçülmüştür. Cihazın ağır metalleri ölçtüğü dalga boyları Çizelge 3.3.'de verilmektedir.



Şekil 3.11. Perkin Elmer Marka Optima 2100 DV OES (Optical Emission Spectrometer)Cihazı

3.2.5. İstatistiksel Metotlar

Araştırma tesadüf parselleri deneme planına göre iki tekerrürlü olarak kurulmuştur. Analizlerden elde edilen bulguların istatistik analizleri SPSS 10 paket programı yardımıyla varyans analizi yapılarak gerçekleştirilmiştir (Özdamar, 1999).

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Çalışmada altı yönlü değerlendirme yapılmıştır. Bunlar

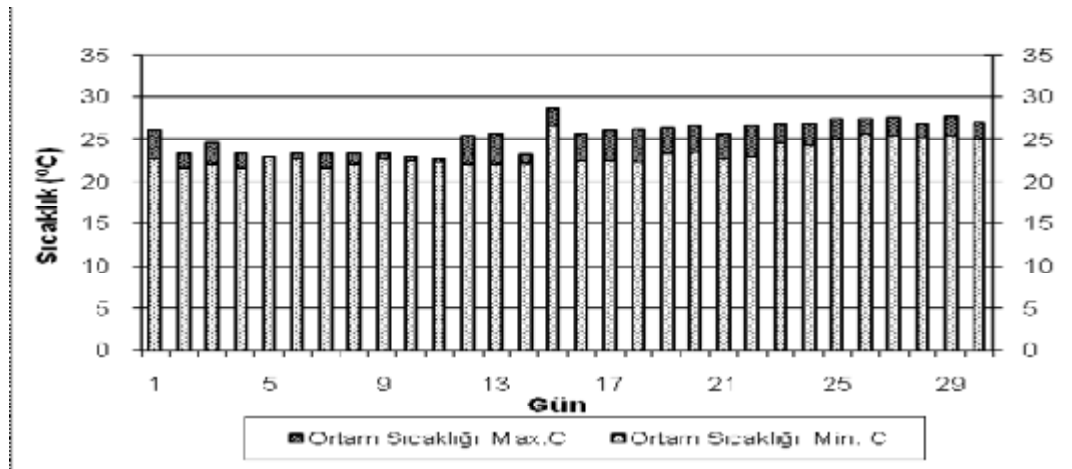
- İklimsel şartlar
- Bitkisel Gelişim,
- Bitkisel verimlilik,
- Bitkilerin ağır metal alımlarının tespiti,
- Ağır metal giderim verimleri,
- İstatistiksel karşılaştırma

olarak belirlenmiştir.

4.1. İklimsel Şartlar

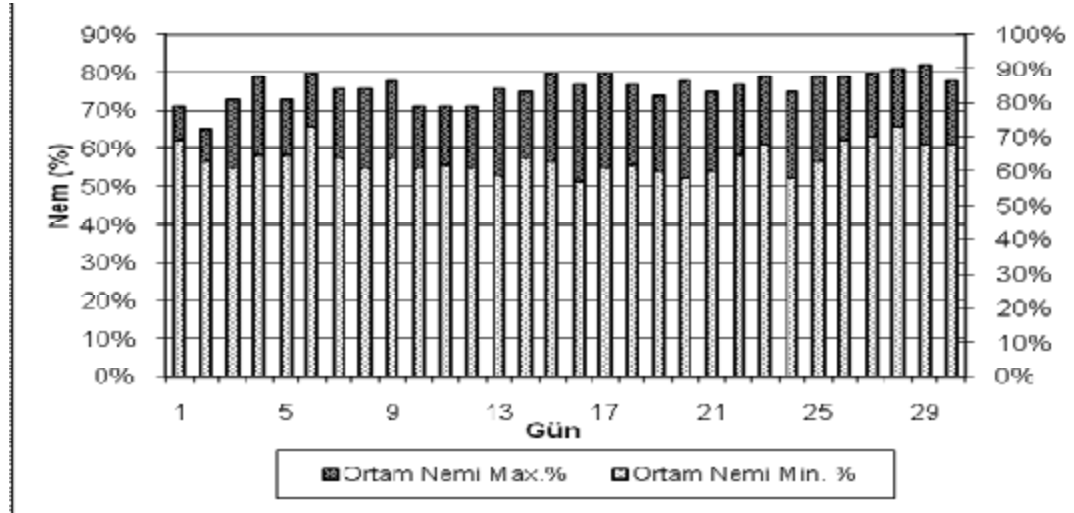
Çukurova Bölgesinde, 1929–1992 yılları arasındaki iklim sonuçlarına göre; ortalama yıllık sıcaklık 18,7°C, en soğuk ay 9,3°C ile Ocak ayı olup 0°C sıcaklık çok nadir görülür, en sıcak ay 28,0°C ile Ağustos ayıdır. Yılın 195,6 günü yazdır ve yağmurlu gün sayısı 76,4 gündür. Yağış her mevsimde farklı miktarlarda görülmekte ve en çok yağış Ocak, Şubat, Mart aylarında düşmektedir. Ortalama yıllık yağış 648,8 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.

Şekil 4.1’de 2006 yılı (Haziran, Temmuz, Ağustos) ait sıcaklık ve nem grafikleri verilmiştir.



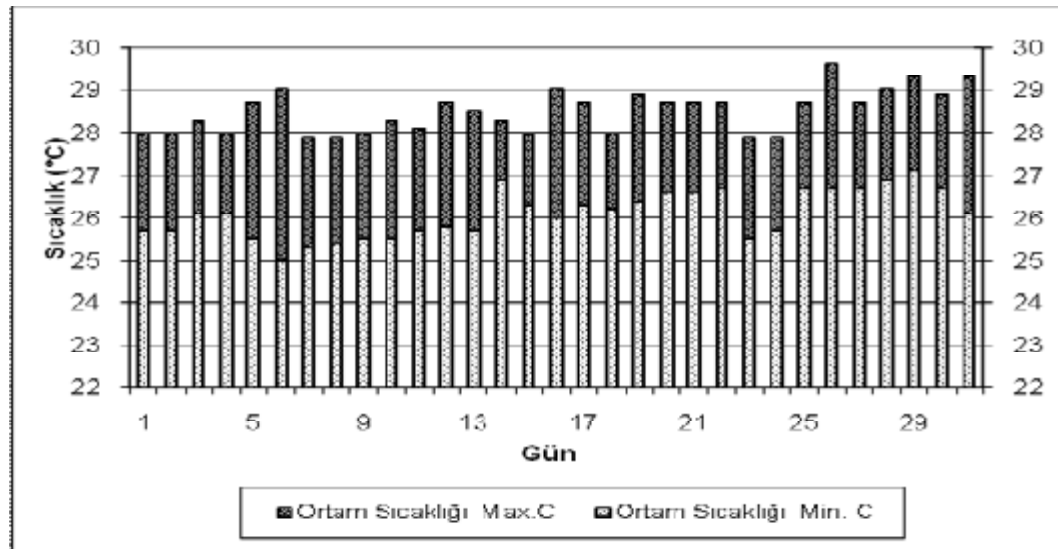
Şekil 4.1. Haziran Ayı Sıcaklık (°C) Değişim Grafiği

Haziran ayında sıcaklığın en yüksek ve en düşük olduğu değerler sırasıyla 2 Haziran 28,7 ve 15 Haziran 21,7 °C'yi bulmuştur. Bu değerler bitkilerin yetiştirildiği laboratuvarlarda ölçülen yani bina içi sıcaklıklardır (Şekil 4.2).



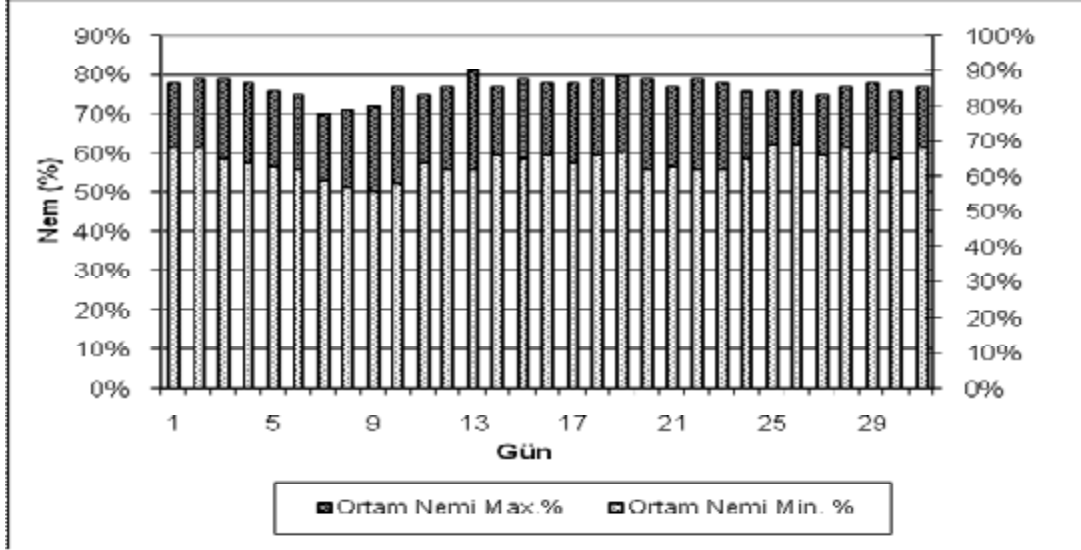
Şekil 4.2. Haziran Ayı Nem (%) Değişim Grafiği

Haziran ayı % nem değişim grafiği incelendiğinde ayın en düşük nem oranı 16 Haziranda %57, en yüksek nem oranı ise 29 Haziranda %82 gözlemlenmektedir (Şekil 4.3).



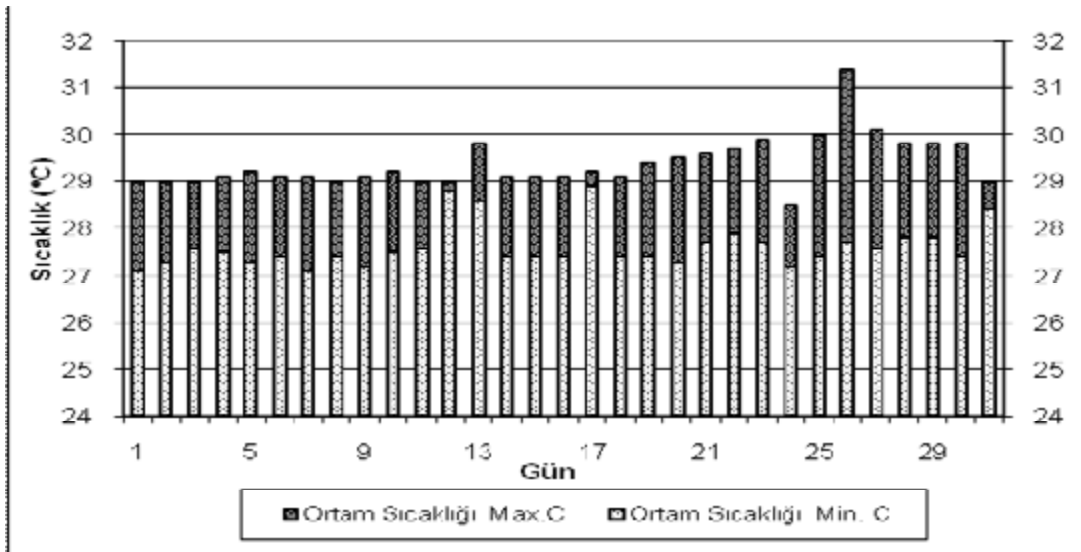
Şekil 4.3. Temmuz Ayı Sıcaklık (°C) Değişim Grafiği

Temmuz ayında sıcaklığın en yüksek ve en düşük olduğu değerler sırasıyla 26 Temmuz 29,6 ve 6 Temmuz 25 °C 'yi bulmuştur. Bu değerler haziran ayına göre yaklaşık 1-3 °C daha yükselmiştir(Şekil 4.4)



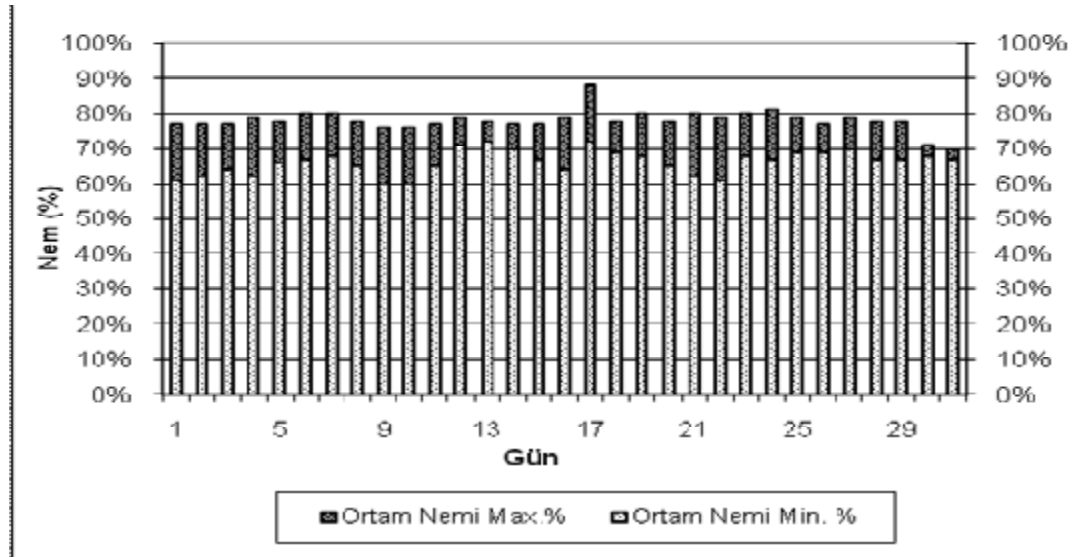
Şekil 4.4. Temmuz Ayı Nem (%) Değişim Grafiği

Nem değerleri miktarı bu ay içerisinde en yüksek ve en düşük olduğu değerler sırasıyla 13 Temmuz %81 ve 26 Temmuz %56 olarak ölçülmüştür. Nem miktarı haziran ayına göre % 1 daha düşüktür (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Ağustos Ayı Sıcaklık (°C) Değişim Grafiği

Ağustos ayında sıcaklığın en yüksek ve en düşük olduğu değerler sırasıyla 26 Ağustos 31,4 ve 1 Ağustos 27,1 °C'yi bulmuştur. Bu değerler bundan önceki aynı zamanda çalışmanın yapıldığı 3 aylık sürecin en yüksek değerleridir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Ağustos Ayı Nem (%) Değişim Grafiği

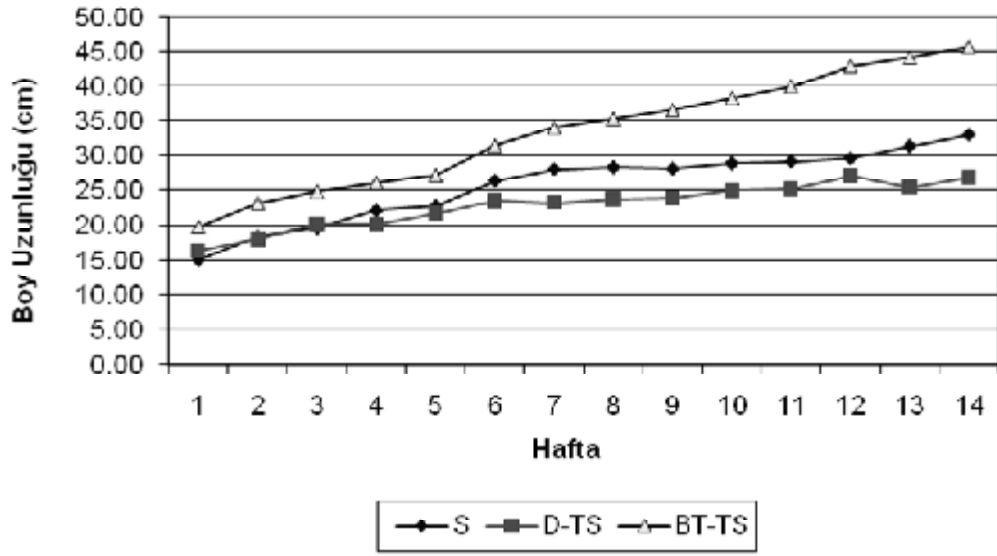
Bina içi nem değerleri miktarı bu ay içerisinde en yüksek ve en düşük olduğu değerler 17 Ağustos günü sırasıyla %88 ve %60 olarak ölçülmüştür. Sıcaklık da olduğu gibi bu ayın nem miktarları çalışmanın yapıldığı 3 aylık sürecin en yüksek değerleridir (Şekil 4.9).

4.2. Bitkisel Gelişim

Yapılan çalışma boyunca bitkilerin boy değişimleri haftalık olarak ölçülmüştür. Elde edilen veriler aşağıdaki grafiklerde gösterilmektedir. Grafikler her bitki için yetiştirme ortamına göre gruplandırılmıştır.

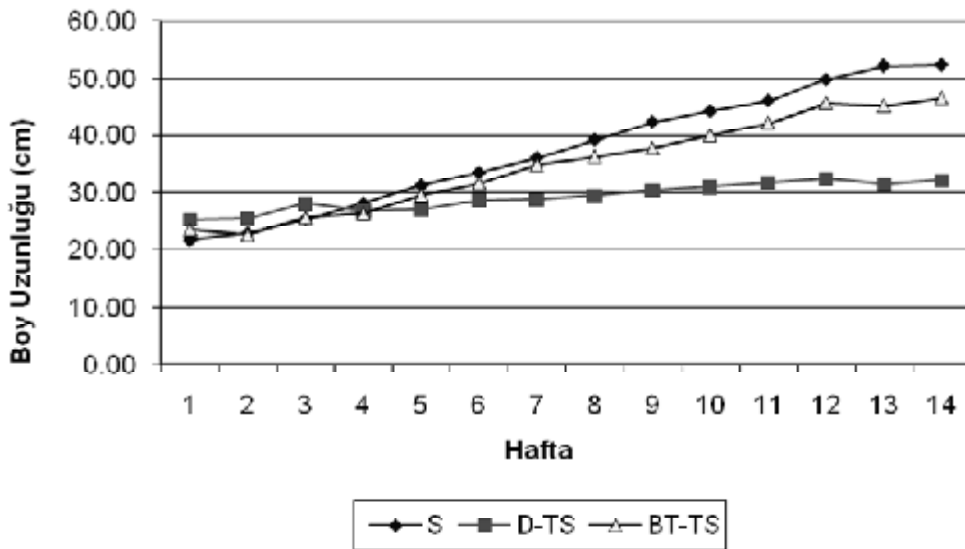
Bitki yetiştirme ortamları şu şekildedir:

- S: Ortam olarak hazır botanik toprağında yetiştirilen grupları,
- D-TS: Diatomit ve arıtma çamuru ortamında yetiştirilen grupları,
- BT-TS: Bazaltik tuf ve arıtma çamurunda yetiştirilen grupları,



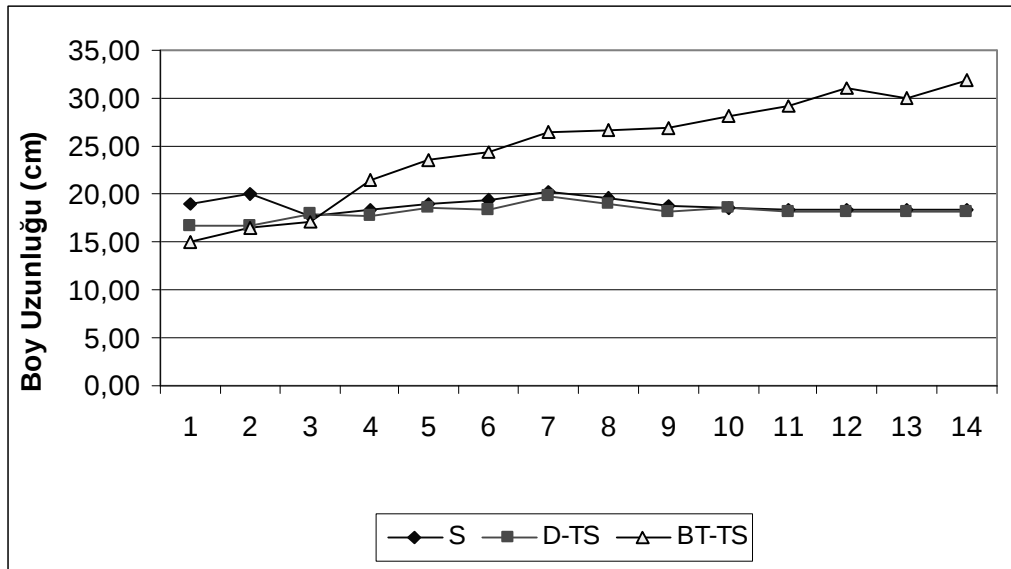
Şekil 4.7. *B. Delagoensis Tubiflorum* Boy Ölçümleri

Şekil 4.7’de “*B. Delagoensis Tubiflorum*” bitkisinin, Hazır Botanik Toprağında (S), diatomit+ arıtım çamurunda (D-TS) ve Tüf+ Arıtım çamuru (BT-TS) ile yetiştirilen denemelerinin birbirine göre dağılımı gözlenmektedir. Grafik incelendiğinde D-TS ortamında büyüme miktarı 10.4 cm iken S, ve BT-TS ortamlarında sırasıyla 17,9 cm ve 25.9 cm olarak bulunmuştur.



Şekil 4.8. *Aptenia Cordifolia* Boy Ölçümleri

Şekil 4.8’de “*Aptenia Cordifolia*” bitkisinin, S, D-TS, BT-TS, ortamlarında yetiştirilen denemelerinin birbirine göre dağılımı gözlenmektedir. Bu çizelge incelendiğinde bir önceki çizelgedeki durum hemen göze çarpmaktadır. D-TS denemsinde kullanılan bitkinin başlangıç boyu diğer denemelerden uzun olmasına rağmen 14 haftalık süreç sonunda S, ve BT-TS denemelerindeki bitkilerin büyüme miktarları sırasıyla 30.7 cm ve 23.1 cm olmasına karşın D-TS denemesindeki bitkinin büyüme miktarı 6.9 cm de kalmıştır.



Şekil 4.9. *Carpobrotus Edilis* Boy Ölçümleri

“*Carpobrotus Edilis*” bitkisinin, S, D-TS, BT-TS, ortamlarında yetiştirilen denemelerinin birbirine göre büyüme dağılımı gözlenmektedir. Burada S ve D-TS denemelerinin 11. hafta sonunda öldükleri gözlemlenmektedir. Bitkiler öldükleri ana kadar su biriktirme kapasitelerinin yüksek oluşundan dolayı yaşamayı başarmışlardır. BT-TS bitkisinin ise büyüme miktarı ise 16.83 cm olarak gözlemlenmektedir.

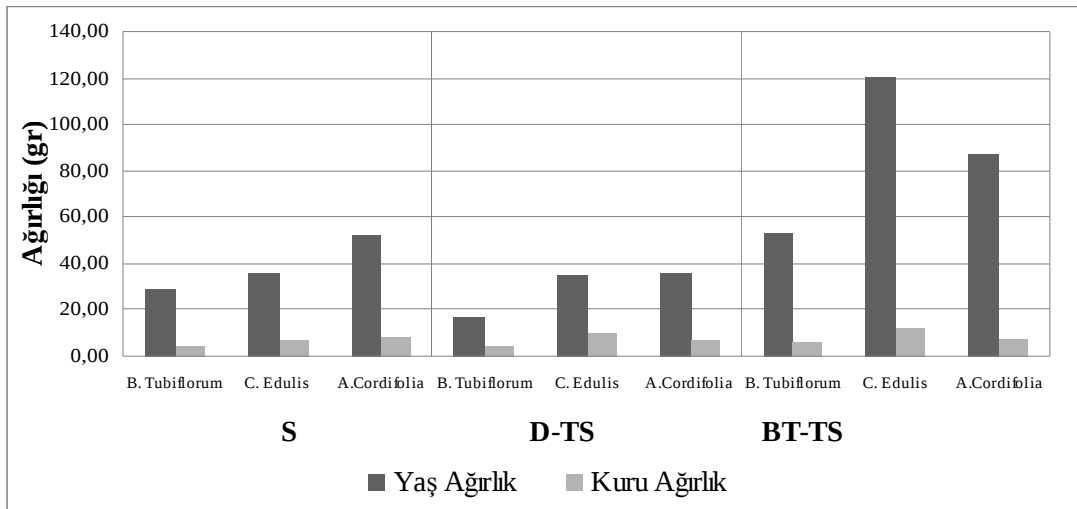
Genel bir değerlendirme yapılırsa bitkilerin diatomit denemelerinde, diğer denemelere göre daha yavaş gelişmiş olduğu söylene bilir.

4.3. Bitkisel Verimlilik

Yapılan çalışmada bitkilerin kök, yaprak/gövdeleri ve yetiştirme ortamlarından alınan numuneler analiz için alındığında tartılmış ve yaş ağırlıkları kaydedilmiştir. Aynı şekilde numunelerin kurutulma işleminden sonra tekrar tartılarak kaydedilmiştir. Elde edilen verilerin ortalamaları alınarak grafiklendirilmiştir. (şekil 4.1, şekil 4.2, şekil 4.3)

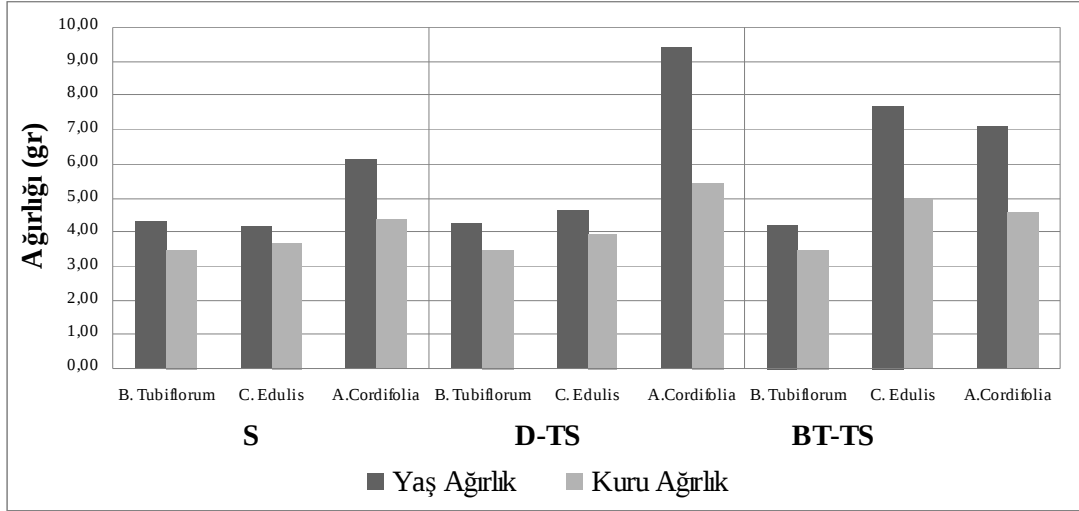
- S: Ortam olarak hazır botanik toprağında yetiştirilen grupları,
- D-TS: Diatomit ve arıtma çamuru ortamında yetiştirilen grupları,
- BT-TS: Bazaltik tüf ve arıtma çamurunda yetiştirilen grupları

Şekil 4.10 'da Bitkilerin gövdelerinin yaş ve kuru ağırlıklarının grafiği incelendiğinde iki grafik arasında aşırı bir fark gözlenmektedir bu fark bitkilerin sukulent yani aşırı su tutma kapasitesine sahip olmalarından kaynaklanmaktadır.



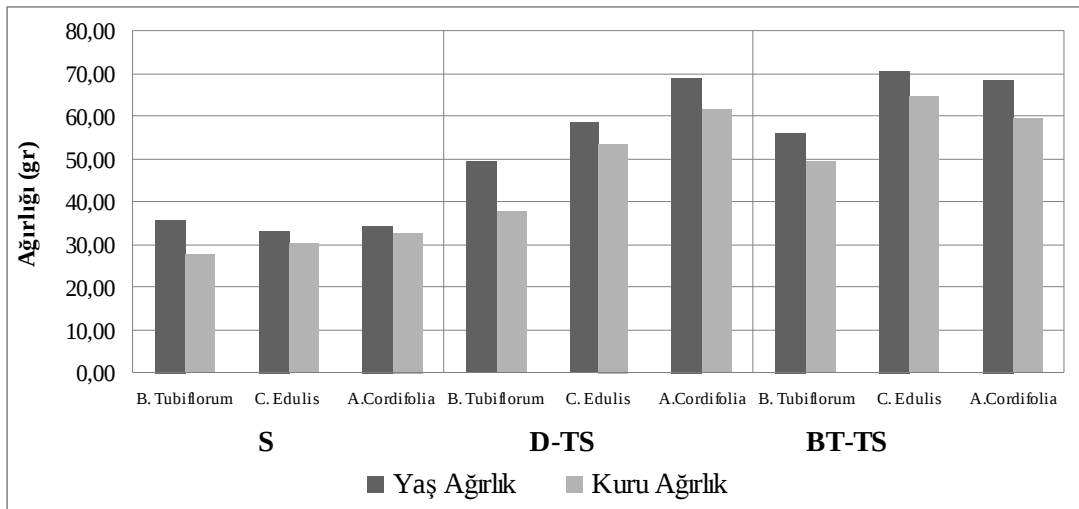
Şekil 4.10. Bitki Gövdelerinin Yaş ve Kuru Ağırlıklarının Karşılaştırması

Şekil 4.11 'de Bitkilerin köklerinin yaş ve kuru ağırlıklarının grafiği incelendiği aşağıda verilmiştir. Bitkinin köklerindeki fark gövdedeki kadar değildir. Bunu nedeni bitkinin bütün suyu köklerinde değil gövdelerinde biriktirmesidir.



Şekil 4.11. Bitki Köklerinin Yaş ve Kuru Ağırlıklarının Karşılaştırması

Şekil 4.12 'de Bitkilerin yetiştirme ortamlarının kuru ve yaş ağırlıklarının arasındaki değişim aşağıdaki grafikte verilmiştir.



Şekil 4.12. Bitki Yetiştirme Ortamlarının Yaş ve Kuru Ağırlıklarının Karşılaştırması

4.4. Bitkilerin Ağır Metal Alımı

Bu araştırmada hem her bir bitkinin ağır metal alımları belirlenmeye çalışılmış hem de üç bitki türünün birbirine göre alım kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Bitki yetiştirme ortamları şu şekildedir:

- NP: Doğal ortamdan alınan grupları,
- S: Ortam olarak hazır botanik toprağında yetiştirilen grupları,
- D-TS: Diatomit ve arıtma çamuru ortamında yetiştirilen grupları,
- BT-TS: Bazaltik tüf ve arıtma çamurunda yetiştirilen grupları,

temsil etmektedir.

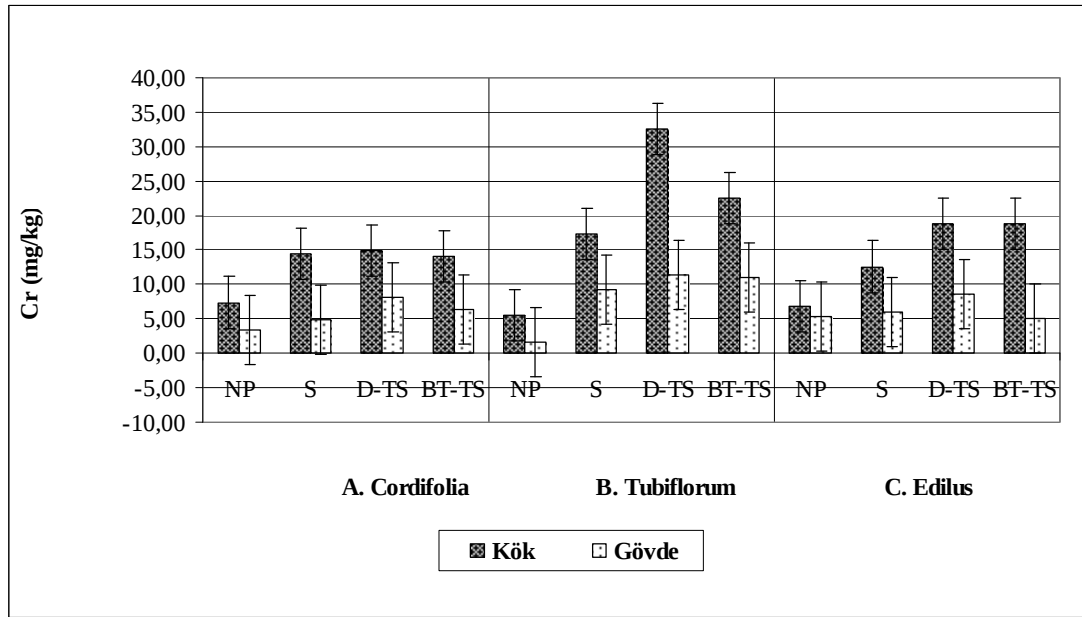
Analizlerde yedi çeşit ağır metal incelenmiştir. Bunlar Cr, Cu, Cd, Pb, Fe, Ni ve Mn elementleridir. Elementler içinde Cd hem bitkilerin bünyesinde hem de arıtma çamurunda rastlanmamıştır. Bu durum mevcut Cd konsantrasyonunun analizler için kullanılan ICP cihazının minimum ölçüm değeri olan 0,005 mg/l değerinin altında olmasından kaynaklanmaktadır. Diğer elementlerin değerlendirmesi ve grafikleri aşağıda verilmiştir.

4.4.1. Krom (Cr) Alımı

Çalışmada, farklı yetiştirme ortamlarında 3 farklı türdeki bitkinin bünyesinde Krom (Cr) biriktirebilme potansiyelleri araştırılmış olup sonuçlar Şekil 4.13’de gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre bitkilerin köklerindeki birikimin gövdeye göre daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Bu durum bize söz konusu elementin bitkinin kökünde depolandığını ve gövdeye kadar ulaşamadığını göstermektedir.

Srivastava ve ark., (2005)’de yaptıkları bir çalışmada da paralel bir şekilde, sulama suyu olarak sızıntı suyu kullanılarak *A. cepa* bitkisi ile Cr birikiminin köklerde daha fazla gerçekleştiğini belirtmişlerdir ($17.1 \pm 0.52 \text{ gkg}^{-1}$).

Çalışmada bitki yetiştirme ortamının farklı olduğu 4 ayrı deney seti mevcut olup bunların birbirlerine göre Cr biriktirebilme potansiyelleri değerlendirilmiştir. Buna göre arıtma çamuru ile bazaltik tüfün karıştırıldığı BT-TS grubu deney setinde Cr mu bünyesine biriktirebilme potansiyeline göre sırasıyla *B. Tubiflorum*, *C. Edulis*, *A. Cordifolia* bitkisidir.



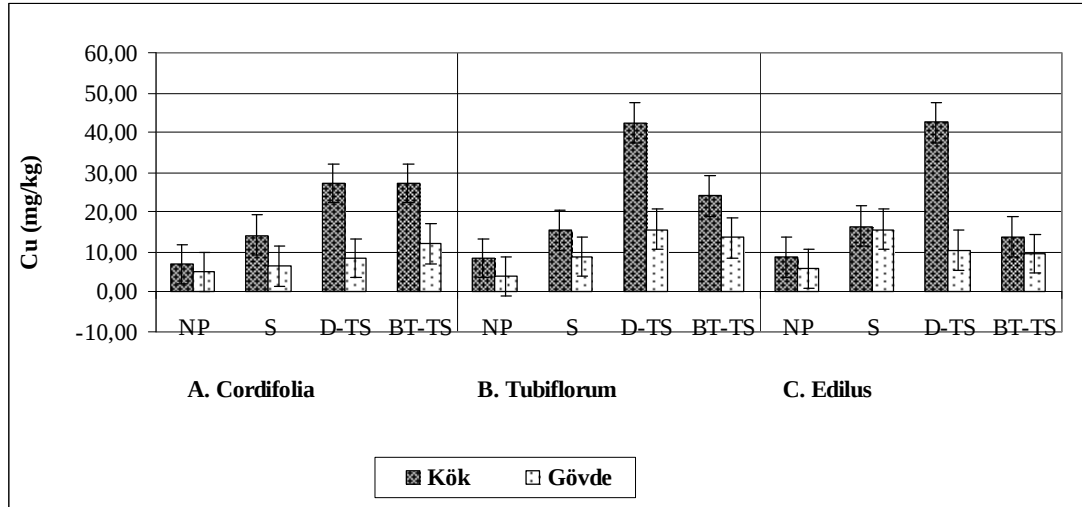
Şekil 4.13. Bitkilerin Cr Alımlarının Karşılaştırılması

Bitki çeşitleri içinde *B. Tubiflorum* bitkisi Cr (Krom) elementini en çok depolaya bilen bitki olarak göze çarpmaktadır. Bitki en yüksek birikim değerini D-TS grubu deney setinde köklerinde göstermektedir (32.53 ± 32.45). Daha sonra sırasıyla *C. Edulis* ve *A. Cordifolia* bitkisi için yetiştirme ortamına ilaveten diatomit kullanılan D-TS gurubu deney setinde ve yine köklerde gözlenmiştir (18.78 ± 7.31 ; $14.89 \pm 3,7$).

4.4.2. Bakır (Cu) Alımı,

Çalışmada, farklı yetiştirme ortamlarında 3 farklı türdeki bitkinin bünyesinde Bakır (Cu) biriktirebilme potansiyelleri araştırılmış olup sonuçlar Şekil 4.14'de gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre bitkilerin köklerindeki birikimin gövdeye göre daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Bu durum bize söz konusu elementin bitkinin kökünde depolandığını ve gövdeye kadar ulaşamadığını göstermektedir.

Gupta ve ark., (2006) yaptıkları bir çalışmada da paralel bir şekilde, arıtma çamuru kullanılarak *S. Acuta* bitkisi ile Cu birikiminin köklerde daha fazla gerçekleştiğini belirtmişlerdir ($188.09 \pm 5,81 \text{ mg kg}^{-1}$).



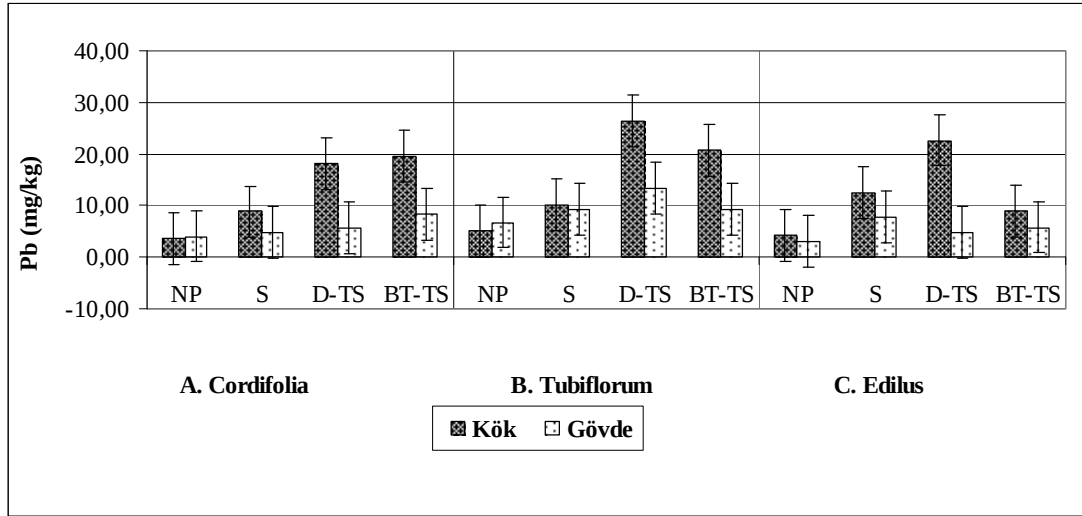
Şekil 4.14. Bitkilerin Bakır (Cu) Alımının Karşılaştırılması

Bitki çeşitleri içinde *C. Edulis* ve *B. Tubiflorum* bitkisi Cu (Bakır) elementini en çok D-TS grubunda depolaya bilen bitki olarak göze çarpmaktadır (42.58 ± 7.99 ; 42.44 ± 10.97). Ancak *C. Edulis* bitkisi bünyesinde diğerine göre daha fazla Cu (Bakır) biriktirebilmiştir. Bu bitkiler kendi içlerinde de en çok alımı D-TS grubunun yaptığı gözlemlenmektedir.

4.4.3. Kurşun (Pb) Alımı

Çalışmada, farklı yetiştirme ortamlarında 3 farklı türdeki bitkinin bünyesinde kurşun (Pb) biriktirebilme potansiyelleri araştırılmış olup sonuçlar Şekil 4.15’de gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre bitkilerin köklerindeki birikimin gövdeye göre daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Bu durum bize söz konusu elementin bitkinin kökünde depolandığını ve gövdeye kadar ulaşmadığını göstermektedir.

Chen ve ark.,(2003) yaptıkları bir çalışmada da paralel bir şekilde, Pb (kurşun) ile kirlenmiş topraklarda *R. sativus* bitkisi ile Pb birikiminin köklerde daha fazla gerçekleştiğini belirtmişlerdir (125 gkg^{-1}).



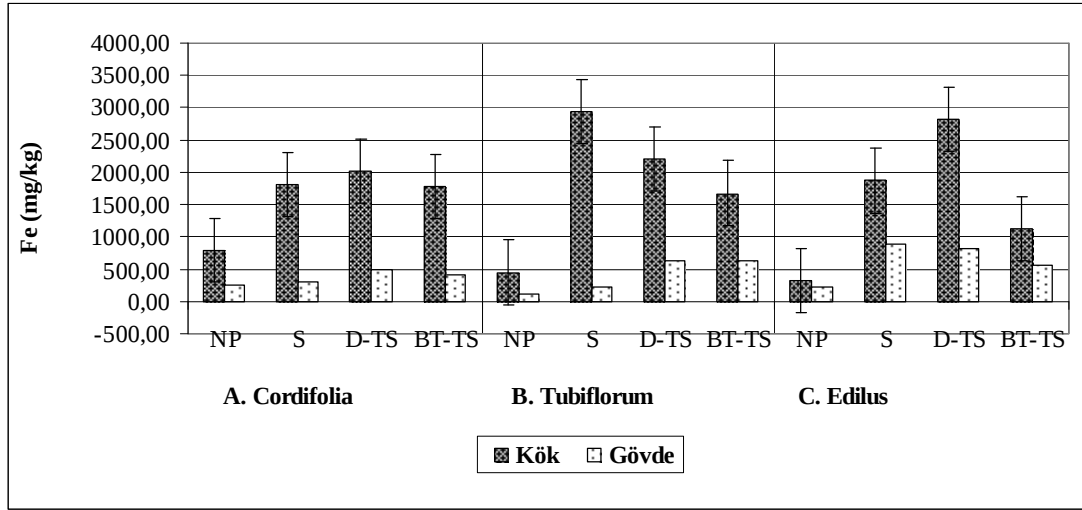
Şekil 4.15. Bitkilerin Bakır (Pb) Alımının Karşılaştırılması

Bitki çeşitleri içinde *B. Tubiflorum* bitkisi Pb (Kurşun) elementini en çok depolaya bilen bitki olarak göze çarpmaktadır. (26.31 ± 1.44) Bu bitki kendi içinde ise en çok alımı D-TS grubunun yaptığı gözlemlenmektedir. *A. Cordifolia* bitkisi için Pb (Kurşun) alımı en çok BT-TS grubunda olmuştur. (19.61 ± 9.31) *C. Edulis* bitkisi için Pb (Kurşun) alımı en çok BT-TS grubunda olduğu gözlenmektedir (22.67 ± 17.01).

4.4.4. Demir (Fe) Alımı

Çalışmada kullanılan farklı ortamlarda yetiştirilen bitkilerin kök ve yaprak/gövde bölgelerinin demir (Fe) alım kapasitesi karşılaştırılmıştır. Deney setlerinde kullanılan bütün bitkilerde Fe (Demir) birikimi kök de daha fazla miktarda bulunmaktadır. Bu durum bize söz konusu elementin bitkinin yaprak/gövdesinde değil kökünde depolandığını göstermektedir. (Şekil 4.16)

Zaimoğlu ve ark., (2007) *J. Acutus* bitkisiyle yaptıkları çalışmada sızıntı suyunu ve birinci sınıf içme suyunu sulama suyu olarak kullanmış ve bitkilerin kök bölgesinde ki demir birikiminin gövde ve yapraklara oranla daha fazla olduğunu belirtmişlerdir.



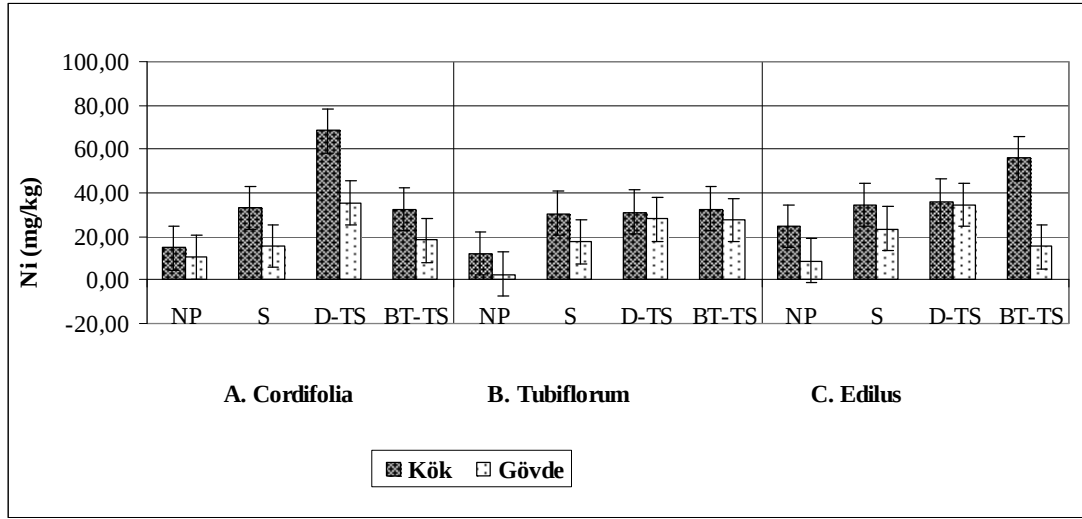
Şekil 4.16. Bitkilerin Demir (Fe) Alımının Karşılaştırılması

Bitki çeşitleri içinde *B. Tubiflorum* bitkisi Fe (Demir) elementini en çok depolaya bilen bitki olarak göze çarpmaktadır.(2934.17±168.65) Bu bitki kendi içinde ise en çok alımı S grubunun yaptığı gözlemlenmektedir. *A. Cordifolia* bitkisi için Fe (Demir) alımı en çok D-TS grubunda olmuştur.(2021.11±84.69) Ancak diğer gruplarında alımları yaklaşık olarak aynıdır. *C. Edulis* bitkisi için Fe (Demir) alımı en çok D-TS grubunda olmuştur.(2827.50±275.22)

4.4.5. Nikel (Ni) Alımı

Çalışmada, BS, D-TS ve BT-TS ortamlarında yetiştirilen farklı türdeki bitkinin bünyesinde ki nikel (Ni) biriktirebilme potansiyelleri araştırılmış olup sonuçlar Şekil 4.17’de gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre bitkilerin köklerindeki birikimin gövdeye göre daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Bu durum bize söz konusu elementin bitkinin kökünde depolandığını ve gövdeye kadar ulaşmadığını göstermektedir.

Gupta ve ark., (2006) yaptıkları bir çalışmada da paralel bir şekilde, arıtma çamuru kullanılarak *S. Acuta* bitkisi ile Ni birikiminin köklerde daha fazla gerçekleştiğini belirtmişlerdir (4.63±0.17 gkg⁻¹).



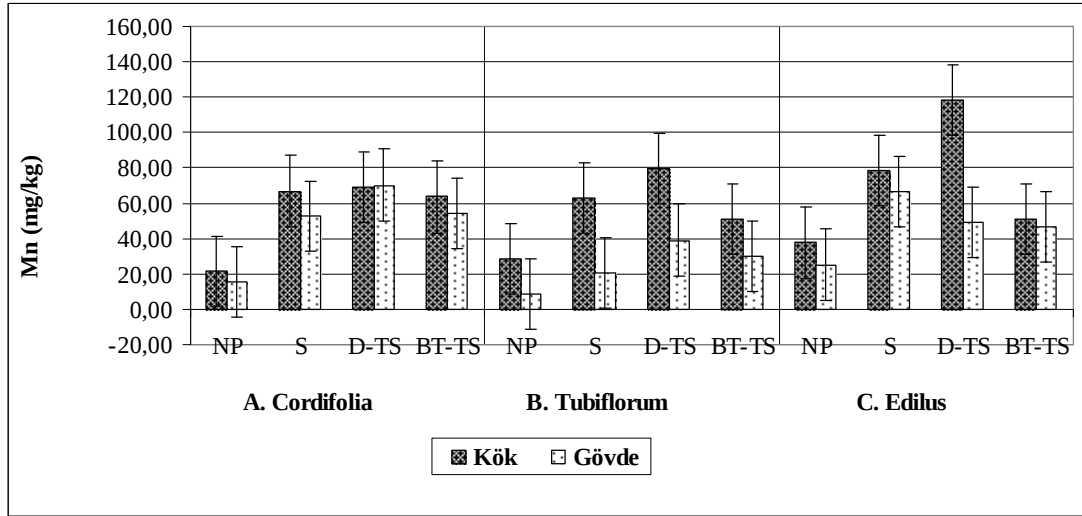
Şekil 4.17. Bitkilerin Demir (Ni) Alımının Karşılaştırılması

Bitki çeşitleri içinde *A. Cordifolia* bitkisi Ni (Nikel) elementini en çok depolaya bilen bitki olarak göze çarpmaktadır. (68.33 ± 7.60) Bu bitki kendi içinde ise en çok alımı D-TS grubunun yaptığı gözlemlenmektedir. *B. Tubiflorum* bitkisi için Ni (Nikel) alımı en çok BT-TS grubunda olsa da bitkiler arasında oldukça az bir fark mevcuttur. (32.58 ± 8.23) *C. Edulis* bitkisi için Ni (Nikel) alımı en çok BT-TS grubunda olmuştur. (55.86 ± 4.58)

4.4.6. Mangan (Mn) Alımı

Çalışmada, farklı yetiştirme ortamlarında 3 farklı türdeki bitkinin bünyesinde nikel (Ni) biriktirebilme potansiyelleri araştırılmış olup sonuçlar Şekil 4.18’de gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre bitkilerin köklerindeki birikimin gövdeye göre daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Bu durum bize söz konusu elementin bitkinin kökünde depolandığını ve gövdeye kadar ulaşmadığını göstermektedir.

Gupta ve ark., (2006)’de yaptıkları bir çalışmada da paralel bir şekilde, mangan’ca tabakhane çamurunda yaptıkları çalışmada *C.Fistula* bitkisi ile Mn birikiminin köklerde daha fazla gerçekleştiğini belirtmişlerdir ($294.19 \pm 15.50 \text{ mg kg}^{-1}$).



Şekil 4.18. Bitkilerin Mangan (Mn) Alımının Karşılaştırılması

Bitki çeşitleri içinde *C. Edulis* bitkisi Mn (Mangan) elementini en çok depolaya bilen bitki olarak göze çarpmaktadır. (118.78 ± 12.30) Bu bitki kendi içinde ise en çok alımı D-TS grubunun yaptığı gözlemlenmektedir. *B. Tubiflorum* bitkisi için Mn (Mangan) alımı en çok D-TS grubunda gerçekleştirmiştir. (79.53 ± 8.78) *A. Cordifolia* bitkisi için Mn (Mangan) alımı en çok D-TS grubunda olmuştur. (69.39 ± 2.30) Aynı zamanda *A. Cordifolia* bitkisi Mn (Mangan) birikimini hem kök hem de gövdesinde yüksek konsantrasyonlarda gerçekleştirebilmiştir.

4.5. Ağır Metallerin Giderim Verimleri

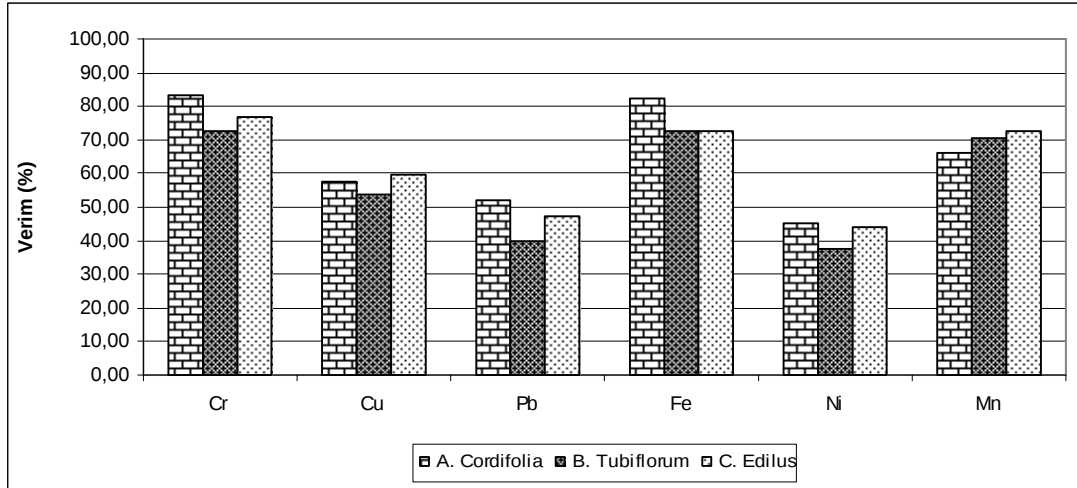
Gruplandırma bitkinin yetiştirildiği ortamın cinsine göre yapılmış ve 3 grupta ele alınmıştır. Grafiklerde verilen değerler % olarak verilmiştir. Bitki yetiştirme ortamları şu şekilde:

- S: Ortam olarak hazır botanik toprağında yetiştirilen grupları,
 - D-TS: Diatomit ve arıtma çamuru ortamında yetiştirilen grupları,
 - BT-TS: Bazaltik tuf ve arıtma çamurunda yetiştirilen gruplarını,
- temsil etmektedir.

4.5.1. S Grubu Bitkilerin Ağır Metal Giderim Verimleri

Ağır metaller incelendiğinde tüm bitki türleri için arıtma çamurundan en çok giderimi sağlanan krom (Cr) olarak göze çarpmaktadır. Bitkilerin giderim sıraları ise

sırasıyla demir (Fe), mangan (Mn), bakır (Cu), kurşun (Pb) ve nikel olarak söylene bilir (Şekil 4.19).



Şekil 4.19. S Grubu Bitkilerin Ağır Metal Giderim Verimleri

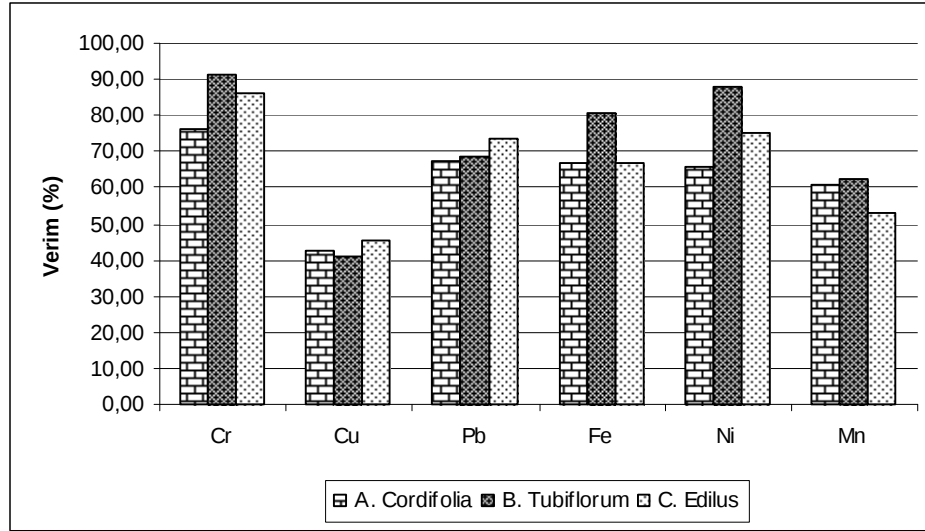
Tüm ağır metaller göz önünde bulundurulursa, giderim verimi en yüksek bitki krom (Cr) %83,54, kurşun (Pb) %52,21, demir (Fe) %82,36, nikel (Ni) %45,07 oranlarıyla *A. Cordifolia* bitkisidir. Bakır (Cu) %59,76 mangan (Mn) %72,31 da ise en yüksek verimi *C. Edulis* bitkisi sağlamıştır.

Chu ve ark., (1998) metal ve nutrient giderimi çalışmalarında *Mangrov* bitkilerinin bulunduğu yeşil ıslah çalışmasında kullanarak Cd^{+2} , Cr^{+2} ve Cu^{+2} 'ın % 92 oranında, Ni^{+2} ve Zn^{+2} 'nin ise % 88 oranında giderildiklerini bildirmiştir (Chu ve ark., 1998).

4.5.2. D-TS Grubu Bitkilerin Ağır Metal Giderim Verimleri

Ağır metaller ele alındığında tüm bitki türleri için arıtma çamurundan en çok giderimi sağlanan krom (Cr) olarak göze çarpmaktadır. Ağır metallerin giderim sıraları ise sırasıyla nikel (Ni), demir (Fe), kurşun (Pb) mangan (Mn) ve bakır (Cu), olarak söylene bilir (şekil 4.20).

Tüm ağır metaller göz önünde bulundurulursa. Giderim verimi krom (Cr) %91,13, nikel (Ni) %88,01, demir (Fe) %80,55, mangan (Mn) %62,27 için en yüksek bitki *B. Tubiflorum*'dur. Kurşun (Pb) ve bakır (Cu) da ise en yüksek verimi *C. Edulis* bitkisi sırasıyla %73,74, %45,19 oranlarında sağlamıştır.



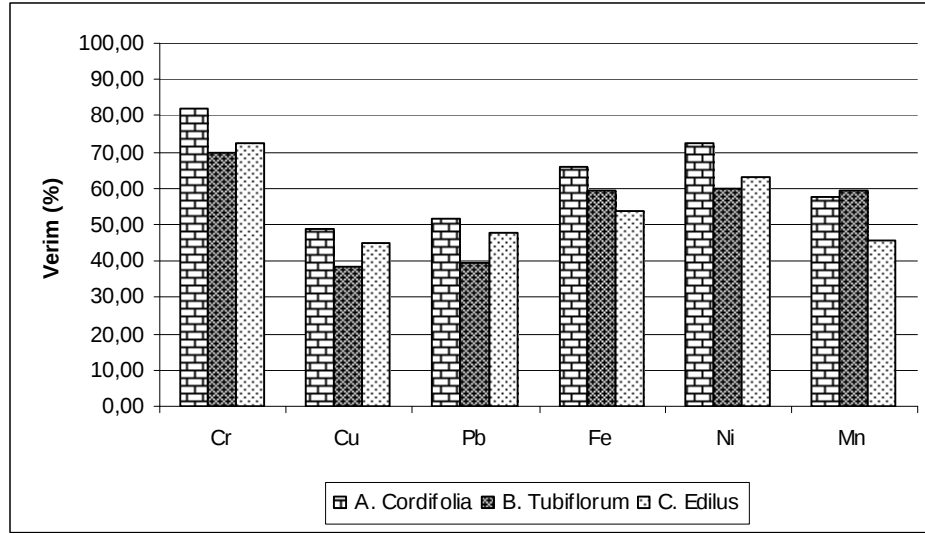
Şekil 4.20. D-TS Grubu Bitkilerin Ağır Metal Giderim Verimleri

Bunun yanında Gersberg ve ark., (1985), Amerika’da bir yeşil ıslah çalışmasında gerçekleştirdikleri; çalışmada bakır, çinko ve kadmiyum içeren bir sudan metal giderme verimlerini incelemiş; giderim oranlarını sırasıyla % 99, %97, %99 olarak belirlendiğini bildirmişlerdir (Gersberg ve ark., 1985).

4.5.3. BT-TS Grubu Bitkilerin Ağır Metal Giderim Verimleri

Ağır metaller ele alındığında tüm bitki türleri için arıtma çamurundan en çok giderimi sağlanan krom (Cr) olarak göze çarpmaktadır. Ağır metallerin giderim sıraları ise sırasıyla nikel (Ni), demir (Fe), kurşun (Pb) mangan (Mn) ve bakır (Cu), olarak söylene bilir.

Tüm ağır metaller göz önünde bulundurulursa, giderim verimi en yüksek bitki krom (Cr) %82,01, bakır (Cu) %48,71, kurşun (Pb) %51,89, demir (Fe) %66,16, nikel (Ni) %72,58 oranlarıyla *A. Cordifolia* bitkisidir. Mangan (Mn) %59,33 da ise en yüksek verimi *B. Tubiflorum* bitkisi sağlamıştır.



Şekil 4.21. BT-TS Grubu Bitkilerin Ağır Metal Giderim Verimleri

Wang ve ark., (1996) *Myriophyllum spicatum*'un Cd^{+2} , Pb^{+2} , Cu^{+2} , Ni^{+2} ve Zn^{+2} adsorplama özelliklerini incelemiş, çok düşük temas sürelerinde bile bu metallerin yüksek oranlarda adsorplana bildiklerini tespit etmişlerdir(Wang ve ark., 1996).

4.6. İstatistiksel Analiz

Çalışmalar sonucunda elde edilen veriler. İstatistiki olarak analiz edilebilmesi için SPSS 10 paket programı yardımıyla varyans analizi yapılmıştır. Uygulama dört set üzerinden yapılmıştır. Uygulanan test sonuçlarında oluşturulan grupların birbirlerine göre önem seviyelerini gösteren değerler spss paket programına göre eğer 0.005 değerinin altında ise bu bize sonucun istatistiksel olarak önemli derecede farklı olduğunu göstermektedir. Aksi durumda oluşturulan gruplar birbirine göre istatistiksel olarak önemli derecede farksız olduğunu ifade etmektedir. Tablolarda kullanılan kısaltmalar önemlilik derecesine göre yapılmıştır.

- a= Fark istatistiki olarak ileri derecede önemli
- b= Fark istatistiki olarak önemi
- c= Fark istatistiki olarak önemsiz
- d= Fark istatistiki olarak ileri derecede önemsiz

4.6.1. Üç Bitki Türünün Gövdelerinin ve Köklerinin Ağır Metal Alımı Bakımından Birbirine Göre Karşılaştırılmasını

Bu sette çalışmada kullanılan üç farklı bitki türünün kök ve gövdelerinde gerçekleştirdikleri ağır metal alımlarının birbirlerine göre istatistiki olarak önemli olup olmadığını göstermektedir.

Çizelge 4.1. Birinci Deney Setinin İstatistiki Anlamlılığı

Anlamlılık	Cr	Cu	Fe	Pb	Mn	Ni
Gövde	0.420 d	0.400 d	0.438 d	0.144 d	0.061 c	0.892 d
Kök	0.593 d	0.616 d	0.680 d	0.794 d	0.097 c	0.893 d

a: ileri derecede önemli, b: önemli, c: önemsiz, d: ileri derecede önemsiz

Çizelge 4.1'e göre *A. Cordifolia*, *B. Tubiflorum*, *C. Eduli* bitkilerinin gövdelerinde yaptıkları ağır metal birikimi birbirlerine göre istatistiki bakımdan ileri derecede önemsiz. Yani aralarında herhangi bir farklılık bulunmamaktadır.

Kullanılan bitkilerin kök yapısında gerçekleştirdikleri birikim ise Cr, Cu, Fe, Pb ve Ni için ileri derecede önemsiz iken Mn için önemsiz olarak derecelendirilebilirler.

4.6.2. Bitkilerin Yetiştirildikleri Ortamlara Göre Kök ve Gövdelerinde Yaptıkları Ağır Metal Alımının Karşılaştırılmasını

Bu sette çalışmada kullanılan bitkilerin, bitki yetiştirme ortamı olarak kullanılan hazır toprak, diatomit ile arıtma çamuru ve bazaltik tuf ile arıtma çamuruna göre gruplandırılarak kök ve gövdelerinde gerçekleştirdikleri ağır metal alımlarının karşılaştırılarak birbirlerine göre önem seviyeleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Çizelge 4.2. Denemenin İstatistiki analizi

Anlamlılık	Cr	Cu	Fe	Pb	Mn	Ni
Gövde	0.796 d	0.982 d	0.870 d	0.813 d	0.544 d	0.552 d
Kök	0.439 d	0.001 a	0.254 d	0.013 a	0.106 d	0.791 d

a: ileri derecede önemli, b: önemli, c: önemsiz, d: ileri derecede önemsiz

Çizelge 4.2'ye göre hazır toprak, diatomit ile arıtma çamuru ve bazaltik tuf ile arıtma çamurunda yetiştirilen bitkilerin gövdelerinde yaptıkları ağır metal birikimi

birbirlerine göre istatistiki bakımdan ileri derecede önemsiz. Bitkilerin aralarında herhangi bir fark bulunmamaktadır.

Kullanılan bitkilerin kök yapısında gerçekleştirdikleri birikim ise Cr, Fe, Mn ve Ni için ileri derecede önemsiz iken Cu ve Pb için ileri derecede önemli olarak derecelendirilebilirler. Elde edilen sonuca göre oluşturulan set için bitkilerin gerçekleştirdiği Cu ve Pb alım miktarları farklılık göstermektedir.

4.6.3. Bitki Türlerinin Yetiştirildikleri Ortamlarla Eşleştirilerek Birbirine Göre Kök ve Gövdelerinde Yaptıkları Ağır Metal Alımının Karşılaştırılması

Bu sette çalışmada kullanılan *A. Cordifolia*, *B. Tubiflorum*, *C. Edulis* bitkilerinin hazır toprak, diatomitle arıtma çamuru ve bazaltik tüfle arıtma çamuru yetiştirme ortamlarıyla eşleştirilerek gruplandırılmış, kök ve gövdelerinde gerçekleştirdikleri ağır metal alımları karşılaştırılarak birbirlerine göre önem seviyeleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Çizelge 4.3. Denemenin İstatistiki analizi

Anlamlılık	Cr	Cu	Fe	Pb	Mn	Ni
Gövde	0.796 d	0.982 d	0.870 d	0.813 d	0.544 d	0.552 d
Kök	0.439 d	0.001 a	0.254 d	0.013 a	0.106 d	0.791 d

a: ileri derecede önemli, b: önemli, c: önemsiz, d: ileri derecede önemsiz

Çizelge 4.3. göre ortamlarla eşleştirilen bitkilerin gövdelerinde yaptıkları ağır metal birikimi birbirlerine göre istatistiki bakımdan ileri derecede önemsizdir. Bitkilerin aralarında herhangi bir fark bulunmamaktadır.

Kullanılan bitkilerin kök yapısında gerçekleştirdikleri birikim ise Cr, Fe, Mn ve Ni için ileri derecede önemsiz iken Cu ve Pb için ileri derecede önemli olarak derecelendirilebilirler. Elde edilen sonuca göre oluşturulan set için bitkilerin gerçekleştirdiği Cu ve Pb alım miktarları birbirlerine göre farklılık göstermektedir.

4.6.4. Giderim Verimlerinin Karşılaştırılması

Bu sette çalışma sonucunda, analizleri yapılan ortam numunelerinin başlangıç değerleri göz önüne alınarak yapılan verim hesapları neticesinde bitkilerin

gerçekleştirmiş olduğu ağır metal giderim verimleri her bir ağır metal cinsi için istatistiksel olarak varyans analizi ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.4. Giderim Verimlerine Göre Ortamların İstatistiksel Analizi

Anlamlılık	Cr	Cu	Fe	Pb	Mn	Ni
Bitkilere göre	0.402 d	0.846 d	0.417 d	0.735 d	0.079 c	0.951 d
Ortam Çeşitlerine göre	0.151 d	0.001 a	0.008 a	0.003 a	0.000 a	0.000 a

a: ileri derecede önemli, b: önemli, c: önemsiz, d: ileri derecede önemsiz

Çizelge 4.4. göre çalışmada kullanılan üç farklı bitki türünün birbirlerine göre giderim verimlerinin istatistiksel olarak analizi sonucunda tüm ağır metal giderim verimleri birbirlerine göre ileri derecede önemsizdir. Ağır metallerin giderim verimleri arasında herhangi bir fark bulunmamaktadır

Yetiştirme ortamlarına göre oluşturulan sınıflandırmada yapılan varyans analizine göre Cr giderimi ortamlara göre ileri derecede önemsizdir. Cu, Fe, Pb, Mn ve Ni giderim verimlerinde ise ortam çeşitleri birbirlerine göre ileri derecede önemlidir. Yani alımlar arasında ciddi bir fark vardır.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Ülkemizde son yıllarda gündemde olan Avrupa Birliği üyelik süreci içerisinde yapılmış olan yenilikler Türkiye'nin çevre kirliliğinin giderilmesine ve çevrenin kirlenmeye karşı korunması için alınan önlemler artırılrsa da günümüzde uygulanan arıtma prosesleri göz önünde bulundurulunca Türkiye gibi gelişmekte olan bir ülke için maliyetleri çok yüksek olmaktadır. Phytoremediation olarak bilinen yeşil ıslah teknolojisi (bitkisel arıtım) gelişmekte olan bir uygulama olsa bile bitkiler kullanılarak yapılmış çalışmalar göstermektedir ki bu arıtım prosesi hem uygulama ve işletme maliyeti hem de giderim potansiyelleri bakımında göz ardı edilemeyecek kadar önemlidir. Bitkilerin toprakta bulunan mikroorganizma, mineral, azot ve fosfor gibi inorganik maddeleri bünyesine almasının yanında çevreye uzun vadede olumsuz etkileri bilinen ağır metalleri de bünyesine alarak topraktan giderme prosesine katkıda bulunduğu bilinmektedir (Newman ve ark, 1997)

Ülkemizde ve dünyada atık suların arıtımda kullanılan proseslerin son ürünü olarak yüksek miktarlarda arıtma çamurları oluşmaktadır. Arıtma çamurlarının bertarafı için uygulanan yöntemler bu çamurların susuzlaştırılarak hacminin küçültülmesi ve sonra deponi alanlarına gönderilmesi ile yapılmaktadır. Fakat bu hem fazladan yeni bir maliyet yükü hem de gereksiz toprak kullanımına neden olmaktadır. Ayrıca uygun koşullarda yapılmayan deponi alanları da çevre için büyük miktarda risk taşımaktadır. Yeşil ıslah teknolojisinin bu alanda kullanılmasıyla bu büyük problemin çözülebileceği düşünülmektedir.

Yapılan çalışmada esas olarak kullanılan arıtma çamuru insan ve çevre sağlığına olabilecek olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi sağlanmaktadır. Arıtma çamurunda bulunan ağır metallerin bitkinin kök ve gövdesinde kontrol altında tutulmasıyla tekrar toprağa, yüzey ve yer altı sularına karışması önlenmiş olacaktır.

Çalışmada kullanılan diatomit ve bazaltik tüf hem bitkilerin gelişimine rahat bir ortam sağlaması amacıyla hemde arıtıma katkılarının buluna bileceği düşüncesinden dolayı seçilmiştir. Çalışma sonucunda kullanılan bitkilerin büyük bir çoğunluğu özellikle *Carpobrotus Edulis* bitkisi diatomit ile hazırlanmış ortamda ağır metalleri daha rahat absorbe etmiştir.

Çalışmada elde edilen sonuçlar doğrultusunda *Aptenia Cordifolia*, *Carpobrotus Edulis* ve *B.Delagoensis Tubiflorum* bitkilerinin bünyelerine aldıkları ağır metalleri kök bölgelerinde biriktirdikleri saptanmıştır. Özellikle *B.Delagoensis Tubiflorum* bitkisinin kök bölgesinde biriktirebildiği krom, kurşun ve demir miktarlarının diğer iki bitkiden daha yüksek oranda absorbe edebildiği görülmektedir. *Aptenia Cordifolia* bitkisi de benzer şekilde ağır metalleri özellikle nikeli kök bölgesinde absorbe ettiği belirlenmiştir. *Carpobrotus Edulis* kök bölgesinde özellikle mangan ve bakırı absorbe ettiği gözlenmiştir.

Çalışmanın sürdürüldüğü yaz aylarında sıcakların yüksek olması ve buna bağlı yüksek buharlaşma miktarına rağmen bitkiler rahat bir gelişim süreci geçirmişlerdir. Bazı tekerrürlerde bitkiler deney sürecini tamamlayamamıştır. Genel itibariyle bitkiler yeni ortamlarına çabuk adapte olmuş yavaş ama kararlı bir gelişim sağlamışlardır.

Bitkilerin bünyelerinde biriktirebildikleri ağır metallerin geri kazanımı için bitkiler yakıldıktan sonra oluşan küllerinden eldesi sağlanabilir.

Bu çalışma sonucunda konu ile ilgili araştırmacıların bundan sonraki araştırmalarda oluşturulması gerekli çalışmalar aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

- Türkiye'nin genel iklim koşullarına uyum sağlayabilecek üzerinde çalışma yapılmamış bitkilerin seçilmesi,
- Deneysel sürecin mümkün olduğunca uzun sürdürülmesi,
- Çalışmalarda akümülatör ağaçların kullanılması,
- Kullanılan bitkilerin analizlerinde daha çok kirletici parametrenin göz önünde bulundurulması

KAYNAKLAR

- ALTIN, A., 2004. 1. Ulusal Çevre Kongresi, Yer Altı Suyu ve Toprak Kirliliği Arıtımında Kullanılan Yöntemler, Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 58140-SİVAS.
- BLEEKER., 2002. Jales Madeni Atıkların Kirlettiği Asidik Alanların Yeniden Bitkilendirilmesinde Islah Edici Tavsiyeler ve Toleranslı Çimler.
- BROOKHAVEN NATIONAL LABORATORY., 2004. Peconic River Remedial Alternatives Phytoextraction.
- BROOKS, R.P., 1998. Towards a regional index of biological integrity: the examples of forested riparian ecosystems. Environmental Monitoring and Restoration, In Press.
- CHU, H. Y., CHEN, N. C., YEUNG, M.C., TAM, N. F.Y., and WONG, Y. S., 1998. Tide-tank system simulating mangrove wetland for removal of nutrients and heavy metals from wastewater, Wat. Sci. Tech., Vol 38, s361-368.
- DUNCAN., 2002. Nova Scotia, Springhill' deki (Kanada) Duff Bank Kömür Madeni Atıklarının Yeniden Bitkilendirilme Potansiyeli.
- DPT MÜSTEŞARLIĞI., 1996. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, Endüstri Mineralleri Çalışma Grubu Raporu Cilt 2, yayın no: DPT : 2421 ÖİK: 480.
- ELSOKKARY, T.H.. 1982. "Contamination of Soils and Plants by Mercury as Influenced by the Proximity to Industries in Alexandria, Egypt." The Sci. of the Tot. Environ. 23:55-60.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1999. United States Office of Water, 816-K-99-001.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2000. "Introduction to Phytoremediation", EPA/600/r-99/107, Cincinnati, Ohio, U.S.A, p 72, <http://www.clu-in.org>
- ESTAUN, 1997. Bozulmuş Toprakların Rosmarinus Officinalis ile Biyolojik Amaçlı Mikorizal Mantar (AM) Aşıl原因arak Yarı Kurak Koşullar Altında Yeniden Bitkilendirilip Geliştirilmesi.

- 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, OSRADP Technical Report Series 98-002.
- GABOR, T. S., North A. K., Ross L.C.M., Murkin 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. 52 p.
- GARBİSU, C., Alkorta I., 2001. Phytoextraction: a cost-effective plant-based technology for the removal of metals from the environment, Bioresource Technology 77 229-236
- GERSBERG, R.M., LYON, S.R., ELKINS, B.V., and GOLDMAN C.R., 1985. The removal of heavy metals by artificial wetlands. In: Proceedings of the water reuse symposium III. Future of Water Reuse. AWWA research Foundation.
- GUERRO, ve ark., 2001. Belediye Katı Atık Kompostlarının Yanmış Orman Toprağı Üzerindeki Etkileri.
- 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. 51 p.
- KOCADAĞISTANLI, 1997. Pasinler-Esendere Kum Ocakları Doğa Onarımı ve Rekreatyoneel Alan Kullanım Planlaması.
- KOCAER, F. O., Başkaya H. S., 2003. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 8, Sayı 1
- LÁZARO, D. J., Kidd P.S., Martínez, C.M., 2005. 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
- LUBKE VE ARK., 1996. Madencilik Sonrası Güney Afrika Zululand Sahillerinin Rehabilitasyonu
- MANKOVSKA, 1983. The natural sulphur content in the leaves of forest trees, Biologia 38: 51-57

- MARQUES, A.P.G.C., Oliveira, R.S., Samardjieva, K.A., Pissarra, J., Rangel, A.O.S.S., Castro P.M.L. 2006. *Solanum nigrum* grown in contaminated soil: Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on zinc accumulation and histolocalisation, *Environmental Pollution* xx 1-9
- MCKEON, C. 2001. Phytoremediation of Nitrate-Contaminated Groundwater by Desert Phreatophytes. international containment & remediation technology conference and exhibition
- MURRAY, M. 2003. Poplar Trees Show Promise for Phytoremediation of DCP. A Newsletter of the Environmental and Resource Management Group of HDR. Volume 11, Number 3
- OSBORNE, 2003. Tuzlu Su ile Kirletilmiş Toprakların İyileştirilmesi İçin Yeniden Bitkilendirilmesi.
- OW, D.W., 1996. Heavy Metal Tolerance Genes: Prospective Tools For Bioremediation. *Resources, Conservation Recycling* 18, 135-149
- ÖZDAMAR, K., 1999. Paket programlarda istatistiksel veri analizi, (I), Kaan Kitabevi, Eskişehir. 535sayfa
- 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, 36 p.
- PULFORD, I.D., Watson, C., 2002. Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees—a review *Environment International* 29 (2003) 529–540
- 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
- SCHMEİSK, Y., 2000. Tuzlu Çöp Yığınlarının Kuraklığa Dayanaklı Türler ve Halofit (Tuzcul) Bitkilerle Yeniden Bitkilendirilmesi
- SHARMA, N.C., Daniel, L. Starnes, S. V., Sahi, 2006. Phytoextraction of excess soil phosphorus. *Environmental Pollution* xx 1e8

- SUTHERSON, S. S., 1999. "Phytoremediation" "Remediation engineering: design concepts" kitabı. Sutherson, S. S. (editör). CRC Press LLC. Boca Raton.
- THORPE, 1989. Potasyum Madenlerinin Neden Olduğu Tuzlu Alanların İyileştirilmesi
- WARREN, J. W., 1983. Synthesis of fish management program. In: A Guide to Integrated Fish Health Management in the Great Lakes Basin. Meyer, F. P., J. Warren W., and Carey, T. G. 1998, (Eds.). Great Lakes Fishery Commission, Ann Arbor, Mich. Spec. Pub. 83-2: 151-158.
- XİBAO, W., WENYUE, Z. 1996. *China Weld.* 5 (2), p. 140.
- ZEYNEP, Z., 2007. Sızıntı Sularının *Juncus Acutus* Bitkisi Kullanılarak Ağır Metal Giderim Performansının Araştırılması, Avrupa Sürecinde Katı Atık Yönetimi ve Çevre Sorunlarını Sempozyumu

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Akşehir/ KONYA’ da doğdum. Lise öğrenimimi 2000 yılında Akşehir Lisesinde tamamladım. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünde lisans eğrenimi tamamladıktan sonra 2005 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğrenimime başladım.