

**ÇOKLU METAL (KADMİYUM, KURŞUN ve ÇİNKO)
İLE KİRLENMİŞ BİR TOPRAĞIN ARITIMINDA
YABANI HİNT YAĞI (*Ricinus communis*) ve ASPİR
(*Carthamus tinctorius*) BİTKİLERİNİN
FİTOREMEDİASYON KAPASİTESİNİN
ARAŞTIRILMASI**

ALİ ÇİFTÇİ

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MERSİN
AĞUSTOS – 2016**

**ÇOKLU METAL (KADMIYUM, KURŞUN VE ÇİNKO)
İLE KİRLENMİŞ BİR TOPRAĞIN ARITIMINDA
YABANI HİNT YAĞI (*RICINUS COMMUNIS*) VE
ASPIR (*CARTHAMUS TINCTORIUS*) BİTKİLERİNİN
FİTOREMEDİASYON KAPASİTESİNİN
ARAŞTIRILMASI**

ALİ ÇİFTÇİ

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman

Prof. Dr. NURCAN KÖLELİ

**MERSİN
AĞUSTOS – 2016**

Ali ÇİFTÇİ tarafından Prof. Dr. Nurcan KÖLELİ danışmanlığında hazırlanan “Çoklu Metal (Kadmiyum, Kurşun ve Çinko) ile Kirlenmiş Bir Toprağın Arıtımında Yabani Hint Yağı (*Ricinus communis*) ve Aspir (*Carthamus tinctorius*) Bitkilerinin Fitoremediasyon Kapasitesinin Araştırılması” başlıklı bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza

Prof. Dr. Nurcan KÖLELİ

.....
N. Köleli

Doç. Dr. Hatice DAĞHAN

.....
Hatice Dağhan

Yrd. Doç. Dr. Mehmet Ali KURT

.....
Mehmet Ali Kurt

Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 29/08/2016 tarih ve 32/882 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Ayla ÇELİK

Enstitü Müdürü



Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

ÇOKLU METAL (KADMIYUM, KURŞUN VE ÇİNKO) İLE KİRLENMİŞ BİR TOPRAĞIN ARITIMINDA YABANI HİNT YAĞI (*RICINUS COMMUNIS*) VE ASPİR (*CARTHAMUS TINCTORIUS*) BİTKİLERİNİN FİTOREMEDİASYON KAPASİTESİNİN ARAŞTIRILMASI

Ali ÇİFTÇİ

ÖZ

Biyolojik toprak temizleme yöntemleri içinde yer alan ve *bitkisel arıtım* ya da *yeşil ıslah* olarak adlandırılan fitoremediasyon, pek çoğu toksik ve kanserojenik olma özelliği taşıyan Cd, Pb, Zn, Cr, Ni, Co gibi metallerin yerinde arıtımına (*in situ*) imkan sağladığından son yıllarda kullanımı giderek yaygınlaşan bir teknolojidir. Fitoremediasyonla metal kirleticilerin topraktan uzaklaştırılmasında biyodizel üretimi için kullanılacak enerji ürünlerinin yetiştirilmesi sürdürülebilir bir yaklaşımdır. Bu çalışmada biyodizel hammaddesi elde edilebilecek iki potansiyel enerji ürününün (aspir (*Carthamus tinctorius*) ve yabani hint yağı (*Ricinus communis*)) fitoremediasyon kapasitesi çoklu metal (Cd, Pb ve Zn) ile kirlenmiş bir toprakta saksı denemesi yapılarak araştırılmıştır. Çoklu metallerle (Cd, Pb ve Zn) aşırı düzeyde kirlenmiş kumlu tınlı bir toprağın, killi tınlı temiz bir toprağa % 0 (kontrol ve temiz), 25, 50, 75 ve 100 oranında karıştırılmasıyla beş toprak karışımı elde edilmiştir. Üç aylık bir büyüme döneminde bitki boyu, toplam kök ve yeşil aksam bitki kuru biyokütlesi, klorofil içeriği, metal derişimi ve alımı, tolerans indeksi (Tİ), biyokonsantrasyon faktörü (BKF) ve translokasyon faktörü (TF) araştırılmıştır. Aspir ve yabani hint yağı bitkileri, iklim ve toprak seçiciliğinin fazla olmaması, özellikle kurak ve yarı kurak alanlarda yetişmesi, çabuk büyüebilmesi, fazla biyokütle ve yüksek yağ oranına sahip olması nedeniyle *seçilmiştir*. Topraklarda artan çoklu metal derişimine bağlı olarak her iki bitkide de Cd, Pb ve Zn alımı büyük ölçüde artmıştır. Yüksek derişimlerde artan kirletici derişimine bağlı olarak aspir ve yabani hint yağı bitkilerinin kök ve yeşil aksamı azdan çoğa doğru Zn>Cd>Pb biriktirmiştir. Aspir ve yabani hint yağı bitkilerinde köklerin yeşil aksamından daha fazla metal biriktirdiği görülmüştür. Bitkilerin tolerans indeksleri yüksek olmasına rağmen, translokasyon faktörü ve biyokonsantrasyon faktörü <1 olduğundan, *aspir ve yabani hint yağı* bitkilerinin Cd, Pb ve Zn ile kirlenmiş toprakların fitoekstraksiyonunda kullanım potansiyelinin düşük olduğunu göstermiştir. Her iki bitkide çoklu metale karşı yüksek tolerans gösterdiğinden biyodizel üretimi için çoklu metalle (Cd, Pb ve Zn) ile kirlenmiş arazilerde ekilebilir. Yabani hint yağı aspiden daha fazla biyokütle ve sahip olduğundan topraktan daha fazla metali uzaklaştırmaktadır. Ayrıca her iki bitkide köklerinde daha fazla metal akümüle ettiğinden fitostabilizatördürler.

Anahtar Kelimeler: Çoklu Metal, Fitoekstraksiyon, Yabani Hint Yağı, Aspir

Danışman: Prof. Dr. Nurcan KÖLELİ, Mersin Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı

MULTIMETAL (CADMIUM, LEAD AND ZINC) TREATMENT OF SOIL CONTAMINATED WITH A WILD INDIAN OIL (RICINUS COMMUNIS) AND SAFFLOWER (CARTHAMUS TINCTORIUS) INVESTIGATION OF PHYTOREMEDIATION PLANT CAPACITY

Ali ÇİFTÇİ

ABSTRACT

Phytoremediation, located in biological soil cleaning methods and called as green remediation, many toxic and carcinogenic such as Cd, Pb, Zn, Cr, Ni, Co metals, which is the on-site treatment (*in situ*) to use in recent years due to its advantages such as the possibility of a technology that is increasingly widespread. In this study, under greenhouse conditions the removal of toxic metals from contaminated soil with multi-metal (Cd, Pb and Zn) was investigated the use of safflower plant (*Carthamus tinctorius*) and castor bean (*Ricinus communis*). Safflower and castor bean were chosen due to the selectivity of climate and soil, not more, particularly the arid and semi-arid areas grow, to grow up quickly, more biomass and to have a high fat content. Five soil mixtures were obtained by mixing an uncontaminated soil sample with multi metal-contaminated soil at ratio 0%, 25%, 50%, 75% and 100% of contaminated soil, respectively. The plant height, total plant dry and green parts biomass, chlorophyll content, metal uptake and translocation factors were investigated for a growth period of three months. Each of the five soils as Cd, Pb and Zn uptake has changed dramatically. Depending on the increased concentrations of contaminants in high concentrations, safflower and castor bean plants much less than Zn > Cd > Pb has accumulated. The findings showed that Safflower and castor bean plants roots of the more metal accumulate than stems. Translocation factor indicated that safflower and castor bean plants had the low potential for phytoremediation to clean up Cd, Pb, Zn-contaminated soils. Since Safflower and castor bean plants against multi metal showed high tolerance, it can use for biodiesel production in contaminated-multi metals (Cd, Pb, Zn) in arable land. Castor bean has more biomass than safflower, so it is to remove more metal from the soil. In addition, Safflower and castor bean have accumulated in more metals in their roots, they are phytostabilizers.

Key Words: Multi Metal, Phytoextraction, *Ricinus communis*, *Carthamus tinctorius*

Advisor: Prof. Dr. Nurcan KOLELİ, Department of Environmental Engineering, University of Mersin

TEŞEKKÜR

Çalışmalarımın ve hayatımın her aşamasında desteğini sürekli hissettiğim, hem lisans hem de yüksek lisans da her zaman yanımda olan değerli Tez Danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Nurcan KÖLELİ'ye teşekkürü en içten dileklerimle bir borç bilirim.

Toprak örneklerinin alınmasında katkısı bulunan Hasan Cankut ERGÜN, Murat SARI, Mustafa SAKAR, Erdoğan TÜRKER, Başak ÖZER, Deniz KÖLELİ, Gizem BAHÇECİ ve Arş. Gör. Görkem DOĞAROĞLU'ya teşekkür ederim.

ICP-MS'de yaptığım analizlerde yardımları için Yrd. Doç. Dr. Mehmet Ali KURT'a ve mikrodalga analizlerindeki yardımları için Uzman Cihan GEÇGEL'e teşekkür ederim.

İstatistiksel analizdeki yardımları için Prof. Dr. Mehmet Arslan'a ve Doç. Dr. Nurdilek Gülmezoğlu'na teşekkür ederim.

Deneyisel çalışmalarımda, örneklerin hazırlanmasında ve analizlerin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen ekip arkadaşım yüksek lisans öğrencisi Dilan YILDIRIM'a teşekkür ederim.

Yaptığım her işte yanımda olan ve beni maddi ve manevi olarak destekleyen değerli aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu araştırma Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 115Y337 no'lu proje ve Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje (MEÜ BAP) Birimi tarafından FBE ÇM 2015-TP2-1240 no'lu proje ile desteklenmiştir. Bu desteğinden dolayı TÜBİTAK'a ve MEÜ BAP Birimi'ne teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZ	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR	x
1.GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
2.1. TOPRAKTAKİ KİRLETİCİLER	5
2.1.1. Toprak Kirlilik Mekanizmaları	5
2.2. AĞIR METAL KİRLİLİĞİ.....	6
2.2.1. Ağır Metal Zehirliliği	6
2.2.2. Türkiye’deki Toprakların Ağır Metal Kirliliği ve Boyutu.....	7
2.3. KADMİYUM	8
2.3.1. Kadmiyum Toksisitesi	8
2.4. KURŞUN	9
2.4.1. Kurşun toksisitesi	9
2.5. ÇİNKO	9
2.5.1. Çinko Toksisitesi.....	9
2.6. AĞIR METAL ARITIM TEKNOLOJİLERİ	10
2.6.1. Fitoremediasyon Teknolojileri	10
2.7. BİTKİSEL ARITIM ÇEŞİTLERİ.....	11
2.7.1. Köklerle süzme.....	12
2.7.2. Köklerle Sabitleme.....	12
2.7.3. Köklerle Bozunum	13
2.7.4. Bitkisel Bozunum.....	14
2.7.5. Bitkisel Buharlaşma	15
2.7.6. Hidrolik Kontrol.....	15
2.7.7. Vejetatif Örtü Sistemleri	16
2.7.8. Kıyı Tampon Şeritleri	17

2.7.9. Bitkisel Özümleme.....	17
2.8. FİTOREMEDİASYONUN YARARLARI VE ZARARLARI	19
2.9. HİPERAKÜMÜLATÖR BİTKİLER	20
2.9.1. Türkiye’de Hiperakümülatör Bitkiler	21
2.9.2. Yabani hint yağı (<i>Ricinus communis</i>)	24
2.9.3. Aspir (<i>Carthamus tinctorius</i>)	25
2.10. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	26
3. MATERYAL VE YÖNTEM	31
3.1.MATERYAL	31
3.1.1. Bitki Materyali	31
3.1.2. Toprak Materyali.....	32
3.2. YÖNTEM.....	33
3.2.1. Toprak Örneğinde Yapılacak Bazı Fiziksel ve Kimyasal Analizler ve Uygulama Metotları	33
3.2.1.1. Nem	34
3.2.1.2. Suya doymunluk ve boşluk hacmi	34
3.2.1.3. Toprak örneğinin tane boyut dağılımının belirlenmesi (bünye)	34
3.2.1.4. Toprak reaksiyonu (pH) analizi	34
3.2.1.5. Toplam tuz analizi.....	34
3.2.1.6. Organik madde tayini ve toplam karbon tayini.....	35
3.2.1.7. Titrimetrik kireç tayini	35
3.2.1.8. Toplam metal analizi.....	35
3.2.1.9. Bitkiye yararışlı metal analizi.....	36
3.2.1.10. Toplam azot.....	36
3.2.1.11. Alınabilir fosfor.....	36
3.2.1.12. Alınabilir potasyum.....	36
3.3. SAKSI DENEMESİ VE BİTKİ ANALİZLERİ	36
3.3.1. Saksı Denemesi	36
3.3.2. Fenolojik Gözlemler ve Bazı Büyüme Parametreleri	37
3.3.3. Bitki Örneklerinin Hazırlanması ve Analizi	38
3.3.4. Bitki Örneklerinde Ağır Metal ve Besin Elementi Analizi.....	38
3.3.5. Azot Analizi	38

3.3.6. Klorofil Ölçümü	39
3.3.7. Bitki Büyümesi ve Fitoremediasyon Kapasitesinin Değerlendirilmesi	39
3.3.8. Analiz Değerlendirme Yöntemleri	40
3.4. İstatiksel Analizler	40
4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR	41
4.1. TOPRAK ÖZELLİKLERİ	41
4.2. SAKSI DENEMESİ	46
4.2.1. Fenolojik Gözlemler	46
4.2.2. Artan Çoklu Metal Dozlarının Bitki Büyümesi ve Klorofil İçeriğine Etkisi ...	48
4.2.3. Artan Çoklu Metal Dozlarının Çoklu Metal Derişimi ve İçeriğine Etkisi	54
4.2.4. Artan Çoklu Metal Dozlarının N, P ve K Alımına Etkileri	60
4.2.5. Artan Çoklu Metal Dozlarının Diğer Elementlerin Alımına Etkileri	61
4.2.6. Bitkilerin Fitoekstraksiyon Kapasitesi	64
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	69
5.1. SONUÇ	69
5.2. ÖNERİLER	70
KAYNAKLAR	71
ÖZGEÇMİŞ VE ESERLER LİSTESİ	82

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Temel endüstrilerden atılan metal türleri.....	6
Çizelge 2.2. Farklı fitoremediasyon tekniklerinde artık bitkisel malzemenin nihai giderim yolları.....	11
Çizelge 2.3. Türkiye’de Bulunan Hiperakümülatör Türler.....	22
Çizelge 4.1. Araştırmada kullanılan temiz ve kirli toprakların bazı fiziksel, kimyasal özellikleri ve standart sapmaları (n=3).....	41
Çizelge 4.2. Temiz ve kirli toprağın Cd, Pb ve Zn derişimi yönünden normal, kritik ve TKKY sınır değerleriyle karşılaştırılması.....	42
Çizelge 4.3. Araştırmada kullanılan temiz ve kirli toprakların başlangıç toplam metal derişimleri, DTPA ile ekstrakte edilebilir metal derişimleri ve standart sapmaları (n=3).....	43
Çizelge 4.4. Deneme öncesi belirlenen toplam Cd, Pb ve Zn derişimi ve hasat sonrası aspir ve yabani hint yağı yetiştirilen toprakta kalan metal derişimi.....	45
Çizelge 4.5. Denemede kullanılan toprak karışımlarında aspir bitkisinin ortalama çimlenme sayısı, hasat öncesi bitki boy uzunluğu, fenolojik gözlem değeri, simptomlar ve standart sapmaları.....	47
Çizelge 4.6. Denemede kullanılan toprak karışımlarında yabani hint yağı bitkisinin ortalama çimlenme sayısı, hasat öncesi bitki boy uzunluğu, fenolojik gözlem değeri, simptomlar ve standart sapmaları.....	47
Çizelge 4.7. Denemede kullanılan toprak karışımlarında yetişen aspir ve yabani hint yağı bitkisinin çimlenme sayısı ve hasat öncesi bitki boy uzunluğu yönünden ortalamaların karşılaştırılması.....	48
Çizelge 4.8. Denemede kullanılan toprak karışımlarındaki çoklu metal dozunun aspir ve yabani hint yağı bitkisinin yeşil aksam kuru kütlesi, çoklu metal derişimi ve içeriği ve klorofil üzerine etkisi.....	51
Çizelge 4.9. Denemede kullanılan toprak karışımlarında yetişen aspir ve yabani hint yağı bitkisinin yeşil aksam kuru kütlesi, çoklu metal derişimi ve içeriği ve klorofil yönünden ortalamalarının karşılaştırılması.....	52
Çizelge 4.10. Aspir ve yabani hint yağı bitkisinin topraktan aldığı metal derişimleri (mg/kg) ve standart sapmaları (n=3).....	55
Çizelge 4.11. Denemede kullanılan toprak karışımlarındaki çoklu metal dozunun aspir ve yabani hint yağı bitkisinin kök kuru kütlesi, çoklu metal derişimi ve içeriği ve toplam çoklu metal içeriği üzerine etkisi.....	59
Çizelge 4.12. Denemede kullanılan toprak karışımlarında yetişen aspir ve yabani hint yağı bitkisinin kök kuru kütlesi, çoklu metal derişimi ve içeriği ve toplam çoklu metal içeriği yönünden ortalamalarının karşılaştırılması.....	60
Çizelge 4.13. Denemede kullanılan toprak karışımlarında aspir bitkisinin N, P ve K içerikleri ve standart sapmaları (n=3).....	60
Çizelge 4.14. Denemede kullanılan toprak karışımlarında yabani hint yağı bitkisinin N, P ve K içerikleri ve standart sapmaları (n=3).....	61
Çizelge 4.15. Denemede kullanılan toprak karışımlarında aspir bitkisinin Fe, Ni, Cu, Ca, Mg, Na, Al, Si ve Cr derişimleri (mg/kg KK) ve standart sapmaları.....	62

Çizelge 4.16. Denemede kullanılan toprak karışımlarında yabani hint yağı bitkisinin Fe, Ni, Cu, Ca, Mg, Na, Al, Si ve Cr derişimleri (mg/kg KK) ve standart sapmaları	63
Çizelge 4.17. Denemede kullanılan toprak karışımlarında aspir bitkisinin Cd, Pb, Zn için yeşil aksam biyokonsantrasyon faktörleri (BKF_{YA}) ve kök biyokonsantrasyon faktörleri (BKF_K)	64
Çizelge 4.18. Denemede kullanılan toprak karışımlarında yabani hint yağı bitkisinin Cd, Pb, Zn için yeşil aksam biyokonsantrasyon faktörleri (BKF_{YA}) ve kök biyokonsantrasyon faktörleri (BKF_K)	65
Çizelge 4.19. Denemede kullanılan toprak karışımlarında aspir bitkisinin Cd, Pb, Zn için çimlenme sayısı, bitki boyu ve kök ve yeşil aksam kuru kütlesi Tİ ve TF değerleri ve standart sapmaları	66
Çizelge 4.20. Denemede kullanılan toprak karışımlarında yabani hint yağı bitkisinin Cd, Pb, Zn için çimlenme sayısı, bitki boyu ve kök ve yeşil aksam kuru kütlesi Tİ ve TF değerleri ve standart sapmaları	67

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Toprak-kirletici ilişkilerini gösteren yöntemlerin şematik görünümü.....	5
Şekil 2.2. Köklerle süzme yöntemi.....	12
Şekil 2.3. Köklerle sabitleme yöntemi.....	13
Şekil 2.4. Köklerle bozunum yöntemi.....	14
Şekil 2.5. Bitkisel bozunum yöntemi.....	14
Şekil 2.6. Bitkisel buharlaşma yöntemi.....	15
Şekil 2.7. Hidrolik kontrol yöntemi.....	16
Şekil 2.8. Vejetatif örtü yöntemi.....	16
Şekil 2.9. Kıyı tampon şeritleri yöntemi.....	17
Şekil 2.10. Bitkisel özümleme yöntemi.....	18
Şekil 2.11. Topraktan metal iyonunun alımı ve bitkide birikim mekanizması.....	18
Şekil 2.12. Topraktan metal iyonlarının fitoekstraksiyonunu içeren prosesin şematik gösterimi.....	19
Şekil 2.13. Hint yağı bitkisinin genel görüntüsü.....	24
Şekil 2.14. Aspir bitkisinin genel görüntüsü.....	26
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan yağlı tohumlu bitkiler ve tohumları.....	31
Şekil 3.2. Toprak örneklerinin alındığı noktaların yer bulduru haritası.....	32
Şekil 3.3. Kayseri İncesu'dan alınan kirli toprak örneğinin elekten geçirilmesi.....	33
Şekil 4.1. Denemede kullanılan toprak karışımlarında hasat öncesi aspir bitkilerinin genel görünümü.....	49
Şekil 4.2. Denemede kullanılan toprak karışımlarında hasat öncesi yabani hint yağı bitkilerinin genel görünümü.....	49
Şekil 4.3. Denemede kullanılan toprak karışımlarında aspir bitkisinin kök ve yeşil aksam kuru kütleleri ve standart sapmaları (n=3).....	50
Şekil 4.4. Denemede kullanılan toprak karışımlarında yabani hint yağı bitkisinin kök ve yeşil aksam kuru kütleleri ve standart sapmaları (n=3).....	51
Şekil 4.5. Denemede kullanılan toprak karışımlarında aspir bitkisinin klorofil miktarı ve standart sapmaları (n=3).....	53
Şekil 4.6. Denemede kullanılan toprak karışımlarında yabani hint yağı bitkisinin klorofil miktarı ve standart sapmaları (n=3).....	54
Şekil 4.7. Denemede kullanılan toprak karışımlarında aspir bitkisinin bitkisinin yeşil aksam metal derişimleri ve standart sapmaları (n=3).....	56
Şekil 4.8. Denemede kullanılan toprak karışımlarında aspir bitkisinin bitkisinin kök metal derişimleri ve standart sapmaları (n=3).....	56
Şekil 4.9. Denemede kullanılan toprak karışımlarında yabani hint yağı bitkisinin yeşil aksam metal derişimi ve standart sapmaları (n=3).....	57
Şekil 4.10. Denemede kullanılan toprak karışımlarında yabani hint yağı bitkisinin kök metal derişimi ve standart sapmaları (n=3).....	57
Şekil 4.11. Denemede kullanılan toprak karışımlarında aspir bitkisinin yeşil aksam, kök ve toplam çoklu metal içeriği ve standart sapmaları (n=3).....	58
Şekil 4.12. Denemede kullanılan toprak karışımlarında yabani hint yağı bitkisinin yeşil aksam, kök ve toplam çoklu metal içeriği ve standart sapmaları (n=3).....	59

SİMGELER ve KISALTMALAR

LSD: En Küçük Önemli Fark

TF: Translokasyon Faktörü

BKF: Biyokonsantrasyon Faktörü

Tİ: Tolerans İndeksi

BKF_{YA} : Yeşil Aksam Biyokonsantrasyon Faktörleri

BKF_K : Kök Biyokonsantrasyon Faktörleri

KK: Kuru Kütle

DTPA: Dietilen Triamin Penta Asetik Asit

TEA: Tri Etanol Amin

SPAD: Soil Plant Analysis Development

TKKY: Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliği



1. GİRİŞ

Toprak, bünyesinde yer alan maddelerin uzun bir zaman alıp oluşması, parçalanıp ayrışması sonucu ortaya çıkan ve etkileri süregelen bir varlıktır. Toprak kirliliğinde, toprağın kendisini yinelemesi çok uzun süreler almaktadır [Çepel, 1997].

Ülkemizde topraktaki organik ve inorganik kirleticilerin topraktan giderilmesi üzerine yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Diğer gelişmiş ülkelerle kıyaslandığında ülkemiz, toprak kirliliği konusunda çok geri kalmaktadır. Aynı zamanda toprağın ne denli kirli olup, kirlilik boyutunu belirlemek için çok az çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaları sınırlayan en büyük etken ise yüksek maliyetleridir. Çünkü toprağı kirleticilerden gidermek için çok yüksek yatırım ve zaman gerekmektedir.

Toprak kirlenmesi doğal ya da insan etkisi ile olabilir. Toprağı en fazla kirlüten ise insan aktiviteleridir. Bunlar genelde evsel, endüstriyel ve tarımsal aktivitelerdir [Türkoğlu, 2006]. Özellikle tarımda böcek vb. canlıları öldürmek için kullanılan ilaçlar toprağın kirlenmesine neden olmaktadır. Yapay gübrelerin de çok fazla kullanımı çok ciddi sorunlar ortaya çıkarmakta, toprağın kimyasını bozmakla beraber kirliliğe sebep olmak olmaktadır.

Kirlenen toprakları en iyi iyileştirme yöntemi kirliliğin kaynağına inerek, kirlilik seviyesini belirlemek ve toprakta oluşturabileceği etkileri toprağın yapısına göre belirlemektir [Lombi, vd., 2000].

Toprak için en uygun arıtım metodunun seçimi;

- Bölgenin karakteristik özelliklerini,
- Giderilecek kirleticinin tipi ve derişimi,
- Kirlenmiş arazilerin daha sonraki zamanlarda nasıl kullanılacağına bağlı olarak değişir.

Toprakta kirleticileri giderirken eski zamanlarda kirlenmiş bölgenin kazılması, izole edilen veya temizlenen toprağın tekrar yerine doldurulmasıyla gerçekleştirilmektedir. Ancak son yıllarda ise toprağı kazmak yerine toprağı kazmadan doğrudan bölgede yerinde (*in-situ*) teknolojiler üzerinde birçok çalışma yapılmaktadır [Kocaer ve Başkaya, 2003].

Ağır metaller, atom numarası 20'den büyük veya yoğunluğu 5 g/cm³'den daha fazla olan metallerdir. Bu grubun içine periyodik çizelgede yaklaşık 70 element girmektedir. Aynı zamanda bu gruptan 20'si çevre için çok daha fazla öneme sahiptir. Bunlardan bir kısmı (Mn gibi) bitki, hayvan ve insanlar için gerekli olmasına rağmen biyolojik sistemde birikme eğiliminde olduklarından yüksek derişimlerde insan sağlığı için oldukça tehlikelidir. Topraklarda en fazla olan metal kirleticiler Pb, Cu, Ni ve Hg'dir. Ağır metaller topraklarda bozulmadan uzun süre kalmalarından dolayı çevre için çok ciddi risk oluşturmakta ve kirliliğe sebep olmaktadır [Tangahu, vd., 2011].

Toprağı kirleten unsurlar göz önünde bulundurulduğunda ağır metaller önemli bir yere sahiptir. Toprakta bulunan ağır metaller, toksisiteye, biyolojik aktivitelerin yavaşlamasına, hayvanlarda ve insanlarda zehirlenme gibi birçok probleme neden olmaktadır. Ağır metaller çevreye karşı dayanıklı ve zehirli etkisinin olması nedeniyle çok tehlikeli maddelerdir. Toprakta ağır metaller toprağın kendi bünyesinde olabileceği gibi dışardan gelen prosesler sonucunda da toprakta ağır metal oluşabilmektedir. Ağır metaller çevreye egzoz gazı kaynaklı yayılımlar, madencilik kaynaklı yayılımlar, endüstriyel kaynaklı yayılımlar, pil üretimi ve kullanımı, demir çelik sanayi ve atıkları, petrol rafineleri, boyalar, elektronik sanayi ve ölçü aletleri, tıbbi kaynaklı yayılımlar, doğal kaynaklı yayılımlar, termik santraller kaynaklı yayılımlar ve tarımsal kaynaklı yayılımlar şeklinde olmaktadır [Vanlı ve Yazgan, 2000].

Madencilik aktiviteleri, şehirlerde oluşan atıklar, yapay gübre kullanımı, endüstriyel faaliyetler çok fazla miktarda ağır metallerin doğaya salınmasına neden olmaktadır. Oluşan bu ağır metaller bitkide strese neden olmakta, bu da bitkinin gelişimini yavaşlatmakta ve oluşacak ürün potansiyelini düşürmektedir [Shanker, vd., 2005].

Ağır metallerin toprakta çok fazla birikmesinin sonucunda, tüm canlılar için tehlike oluşturmaktadır. Bu tehlike insanlar tarafından anlaşılınca, ağır metal üzerine yapılan çalışmalara daha fazla hız ve önem verilmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde antropojenik kaynaklı olarak atmosferden diğer ekosistemlere dağılan arsenik 22 bin ton, kadmiyum 70 bin ton, kurşun 400 bin ton, bakır 56 bin ton ve çinko 214 bin ton civarında olduğu ifade edilmektedir. Bu yayılım, ilk olarak maden

aktiviteleri ikinci olarak ise tarımsal gübre ve atıklardan ekosistemlere yayılması şeklindedir [Çepel, 1997].

Çalışmanın amacı; çoklu metal (Cd, Pb ve Zn) ile kirlenmiş bir toprakta, iklim odasında kontrollü koşullarda (~% 65 nem, 16 saat aydınlık ve 8 saat karanlık fotoperiyod, 25 ± 2 °C sıcaklık ile 15000 Lüks ışık intensitesi) yetiştirilecek aspir ve yabani hint yağı bitkilerinde (kök ve yeşil aksam) metal birikimi ve fitoremediasyon kapasitesinin belirlenmesidir. Yapılan bu çalışma ile yabani hint yağı ve aspir bitkileri kullanılarak çoklu metalle kirlenmiş toprakların fitoremediasyon ile yerinde arıtılabilirliğini ortaya koyulmuştur.

Çoklu-metal (Cd, Pb ve Zn) ile aşırı kirlenmiş bir toprağın yerinde arıtımının yapılabilirliğini ortaya koymak amacıyla önerilen bu çalışmanın temel hedefleri aşağıda yer almaktadır:

- Toprakta artan çoklu metal derişiminin yabani hint yağı bitkisi ve aspir bitkilerinin ağır metalleri alma, kök, yeşil aksam ve daneye taşıma ve biriktirme yeteneklerini belirlemek,
- Bitkilerde tolerans indeksi, biyoakümülyasyon faktörü ve tolerans faktörü hesaplayarak metal tolere etme, metal biriktirme miktarlarını ve fitoremediasyon kapasitesini belirlemek.

Çalışma kapsamında sırayla şunlar yapılmıştır:

1. Araziden toprak örneği alınmış, hazırlanmış ve analizleri yapılarak fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir,
2. Saksı denemesi kurulmuş ve bitkiler yetiştirilmiştir,
3. Bitkiler dane oluşumundan sonra hasat edilmiştir,
4. Bitkilerde ağır metal analizleri yapılmıştır,
5. Bitkilerin fitoremediasyon kapasiteleri belirlenmiştir.

Yapılan çalışmaların hepsi akredite olmuş laboratuarda yapılmış olup, bitkiler iklim odasında saksılarda yetiştirilmiştir. Yabani hint yağı bitkisi ve aspir bitkilerinin fitoremediasyon metodu için uygun olup olmadığı araştırılmıştır. Fitoremediasyonda kullanılacak olan bitkiler hiçbir şekilde insan ve çevre sağlığını olumsuz etkileyebilecek bir amaçla kullanılmamıştır. Ayrıca endüstriyel yağ elde edilmesi ve lezzetsiz olması, *Ricinus communis* bitkisini ekonomik ve ekolojik değerleri nedeniyle fitoremediasyon için potansiyel bir aday haline getirmektedir.

Ağır metallerin uzaklaştırılmasının yanında, kirlenmiş toprakların yeniden bitkilendirilmesi ya da ekime açılması, karbon tutumu, toprak alt tabakasının kalitesini geliştirme, estetik manzara, çok amaçlı yağlı tohum üretimi ve biyolojik çeşitliliğin korunması gibi faydalarda sağlamaktadır.

Yapılan çalışmada entegre bir yaklaşımla özellikle toprak örneğinin alındığı Kayseri-İncesu'da çoklu metalle aşırı kirlenmiş toprakların yerinde remediasyonuna ekolojik ve teknolojik bir çözüm getirmektedir. Böylece içme ve sulama suyu kaynakları ve yeraltı sularının kirlenmesinin önüne geçilebilecektir.

Benzer bir araştırma ulusal ve uluslararası literatürde yok denecek kadar azdır. Bu şekilde teknolojik uygulama alanında katı (toprak, sediment, arıtma çamuru gibi) ya da sıvı (içme ya da atık su gibi) sistemlere uygulanacak olan her arıtma sürecinde yeni atık ortaya çıkar veya arıtmada elde edilen ürünü tekrar yararlı hale getirmek için başka işlemlere ihtiyaç duyulur.

Çalışma sonucunda elde edilen bulgular, hem ulusal ve hem de uluslararası alanlarda bilime katkıda bulunmakta olup, Kayseri-İncesu'daki gibi aşırı çoklu metalle kirlenmiş toprakların yerinde temizlenmesine belirli bir çözüm sağlamaktadır. Gelişen bu yeni teknolojinin çevre üzerinde oluşturacağı bilinmeyen etkileri ile ilgili konuların aydınlatılması ve ortaya konması açısından büyük önem taşımaktadır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. TOPRAKTAKİ KİRLLETİCİLER

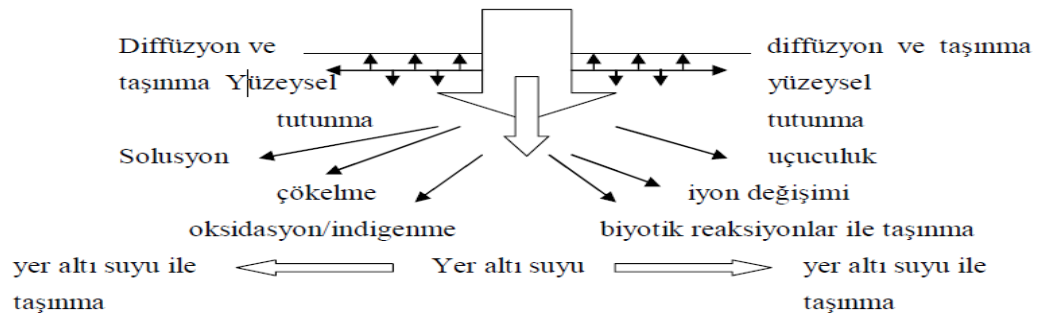
Toprağı kirleten ana kaynakların başında insan aktiviteleri ile toprağa bırakılan kirleticiler gelmektedir. Toprak kirleticileri genellikle iki ana grupta sınıflandırılır; bunlar büyük miktarda toprağa bırakılan makro kirleticiler ve küçük ya da iz miktarda katılmış genellikle mevcut olan mikro kirleticilerdir. Bu kirleticiler düşük derişimde olsa bile toksik etkilere neden olabilir [Tarradellas, vd., 1997].

2.1.1. Toprak Kirlilik Mekanizmaları

Kirleticilerin topraktaki etkileşimi toprak ortamındaki bütün fazlarda (katı, sıvı, gaz) meydana gelen çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçleri kapsar. Bunlar genellikle üç ana grupta toplanırlar;

- Toprak içerisinde ve üzerinde tutunma
- İnfiltrasyon, diffüzyon ve toprak solusyonlarıyla taşınma
- Toprak içerisinde kimyasal değişimlerin başlaması, transformasyonu ve değişim

İlk iki grupta fiziksel süreçleri içerirken, üçüncü grup sadece kimyasal ve biyolojik süreçleri kapsar. Süreçlere ait üç grubun şematik bir gösterimi Şekil 2.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Toprak-kirletici ilişkilerini gösteren yöntemlerin şematik görünümü [Pisani, vd., 2004].

2.2. AĞIR METAL KİRLİLİĞİ

Ağır metallerin kaynakları arasında en önemlileri tarımsal ve endüstriyel faaliyetler, termik santraller, çöp ve atık çamur yakma tesisleridir. Çizelge 2.1.'de temel endüstrilerden atılan metal türleri genel olarak gösterilmiştir. Havaya karışan ağır metaller, sonuçta karaya ve buradan bitkiler ve besin zinciri yoluyla da hayvanlara ve insanlara ulaşırlar. Ağır metaller endüstriyel ve kanalizasyon atık suların içme sularına karışması yoluyla veya kirlenmiş partiküllerin tozlaşması yoluyla da hayvan ve insanlar üzerinde toksik etki oluşturabilirler.

Çizelge 2.1. Temel endüstrilerden atılan metal türleri [Rether, 2002].

Endüstri	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Ni	Sn	Zn
Kâğıt Endüstrisi	-	+	+	+	+	+	-	-
Petrokimya	+	+	-	+	+	-	+	+
Klor-alkali Üretimi	+	+	-	+	+	-	+	+
Gübre Sanayi	+	+	+	+	+	+	-	+
Demir-Çelik Sanayi	+	+	+	+	+	+	+	+
Enerji Üretimi (Termik)	+	+	+	+	+	+	+	+

2.2.1. Ağır Metal Zehirliliği

Ağır metaller birçok organizmaya zarar verebilirler [Pinto, vd., 2003]. Ağır metaller genellikle endüstriyel ve tarımsal faaliyetler sonucunda havaya, toprağa ve

suya karışmaktadır. Ağır metaller havaya, toprağa ve suya karışma seviyesine göre yaşamsal ve yaşamsal olmayan olarak sınıflandırılırlar. Yaşamsal olarak tanımlananların organizma yapısında belirli bir derişimde bulunmaları gerekli olup, ancak yüksek dozları insan sağlığını olumsuz etkiler [Kahvecioğlu, vd., 2003]. Ağır metallerin toksik etkileri sonucunda merkezi sinir sistemi, akciğer, böbrek, karaciğer ve diğer hayati önem taşıyan organlar zarar görür ve kanın bileşimi bozulur. Uzun süreli Cu, Hg, Pb, Al ve Cd'un yüksek seviyelerine maruz kalınması Alzheimer, Parkinson hastalığı, kasların gelişmemesi, kronik yorgunluk ve birçok skleroza neden olur. Bakır toksisitesi, Wilson ve Menkes gibi iki önemli genetik hastalığa neden olmaktadır. Nikelin fazla miktarda alınması ile kalp rahatsızlıkları, halsizlik ve baş dönmesi gibi sağlık problemlerine neden olabilir [Heavy Metal Symptoms and Sources, 2016].

2.2.2. Türkiye'deki Toprakların Ağır Metal Kirliliği ve Boyutu

Ülkemizde sanayinin son yıllarda hızlı bir şekilde gelişmesinden dolayı fazla miktarda ağır metal doğaya yayılmaktadır. Bundan dolayı özellikle bitkilere ve çevreye etkisi giderek artmaktadır [Munzuroğlu ve Gür, 2000].

Türkiye'de özellikle sanayinin geliştiği ve tarım ile iç içe olduğu bölgelerde kirlilik çok ciddi boyutlara ulaşmıştır. İstanbul, Kocaeli, Adana, Konya ve Kayseri gibi iller bu tür kirlenmeye verilebilecek örneklerin başında yer almaktadır. Termik santrallerin olduğu Afşin-Elbistan, Yatağan ve Kangal termik santralleri ile Aliağa ve Tüpraş rafinerileri gibi kuruluşlar tarımsal toprakların kirlenmesinde önemli yer tutmaktadır. Kılıçel [1992] ve Kartal vd. [1993] ÇİNKUR ve çevresindeki topraklarda altı elementin kirlilik seviyesini belirlemişler ve 2 M nitrik asitle çözdükleri Pb, Cd ve Zn katyonları derişiminin çok aşırı yüksek olduğunu ve bunun işletmede kullanılan Zn madeninden kaynaklandığını bildirmişlerdir. İşletmeden ara ve ana yönlerde farklı mesafelerde (50-2000 m) alınan toprak örneklerindeki Pb, Cd ve Zn derişiminin işletmeden uzaklaştıkça azaldığı bildirilmiştir [Kılıçel, 1992; Kartal, vd., 1993]. Aksoy ve Şahin [1999], ağır metal kirlenmesinin olası biyolojik monitörü olarak *Elaeagnus angustifolia L.* bitkisinin kullanılıp kullanılmayacağını araştırdıkları Kayseri'de, değişik alanlardan aldıkları yıkanmış ve yıkanmamış bitki

örnekleri ve toprak örneklerinde Pb, Cd ve Zn derişimlerinin özellikle sanayi bölgelerinde en yüksek düzeyde olduğunu, topraklarda toplam Pb, Cd ve Zn ‘nun sırayla 485,26 , 10,21 ve 1215,25 mg/kg derişimlerinde olduğunu belirlemişlerdir. Bu değerler sınır değerlerin çok üzerindedir. Yıkanmış bitki yapraklarına ve yüzey topraklarındaki ağır metal derişimleri arasında istatistiksel olarak önemli bir ilişki elde edilmiştir. Araştırmacılar özellikle ÇİNKUR ve çevresinden alınan tüm örneklerde en yüksek kirlilik seviyesi olduğunu bunun da asıl nedeninin ÇİNKUR işletme bacasında filtre olmadığından kaynaklandığını rapor etmişlerdir [Aksoy ve Sahin, 1999]. Aksoy ve Demirezen (2006), Kayseri’de 48 toprak örneğinde Pb, Cd, Cu, Zn, Ni ve Cr kirliliği olduğunu bildirmişlerdir [Aksoy ve Demirezen, 2006]. Kayseri-İncesu’da 1990’lı yıllarda sorun ortaya konmasına rağmen herhangi bir remediasyon çalışması özellikle arazide yerinde yapılmamıştır.

2.3. KADMİYUM

Kadmiyum ilk kez 1817’de Almanya’da çinkonun saflaştırılması sırasında elde edilen bir metaldir. İlk nikel-kadmiyum pili 20. yüzyıl başında icat edilmiştir. Kadmiyum, özellikle çelik kaplamada olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır [International Cadmium Association, 2016].

2.3.1. Kadmiyum Toksisitesi

Kadmiyum suda çözünme özelliği en yüksek olan elementtir. Kadmiyumun doğada yayınımlı yüksektir ve insan yaşamı için gerekli elementlerden değildir. İnsan vücudundaki Cd seviyesi ilerleyen yaşlarla beraber artış gösterir ve genellikle 50’li yaşlarda maksimum seviyesine ulaştıktan sonra azalmaya başlar. Kadmiyum içeriği 0,01 mg/m³ havanın 14 günden daha fazla solunması durumunda kronik akciğer rahatsızlıkları ve böbrek yetmezliği ortaya çıkar. Kısa süreli olarak 0,05 mg/kg kadmiyum alınımı mide rahatsızlıklarına neden olurken, uzun süreli (>14 gün) 0,005 mg/kg/gün dozu böbrek ve kemiklerde önemli problemlere neden olmaktadır [EPA, 2016].

2.4. KURŞUN

Günümüzde topraktaki en önemli kurşun kaynağı petrol ürünleridir. Topraklarda kurşun, kalsiyum iyonları ile yer değiştirerek kurşunun toprakta tutulmasına yol açmaktadır. İnorganik kurşun tohum ve köklerde çok fazla birikmeye neden olmamaktadır. Organik kurşun ise bitkiler tarafından hızla alınmaktadır. Kurşun, doğada PbS (galen) ve PbCO₃ (seruzit) filizlerinin işlenmesi ile elde edilir. PbO, Pb₃O₄, PbO₃ ise başlıca kurşun oksitleridir [Kabata-Pendias ve Mukherjee, 2007].

2.4.1. Kurşun Toksisitesi

Kurşun periferik ve başta sinir sistemi olmak üzere diğer sistemleri olumsuz etkiler. Kurşun, öğrenme bozukluğuna, dikkat dağınıklarına, davranış bozukluğuna, baş ve karın ağrısına, anemiye, büyüme engellemesine, felce ve hatta ölüme neden olabilmektedir [Centro Laboratuvarı, 2003].

2.5. ÇİNKO

Çinko, insan, hayvan ve bitkilerde çok önemli metabolik işlemlere sahiptir. Protein sentezine katılmasının yanı sıra, fotosentez, solunum ve biyolojik membran stabilitesi üzerine etkileri nedeniyle üretilen ürün miktarı ve kalitesini doğrudan etkilemektedir [Rout ve Das, 2009]. Çinko alaşımlarda kullanılan önemli bir elementtir. Ayrıca, kozmetik, boya, lastik, maden sanayi gibi pek çok sanayide kullanılmaktadır. Çinkonun toprakta birikimi; endüstri atık sularla, kanalizasyon sularıyla ve asit yağmurları aracılığıyla oluşmaktadır [Vaillant, vd., 2005].

2.5.1. Çinko Toksisitesi

Çinkonun fazla miktarda alınması mide krampları, ciltte alerji, mide bulantısı ve kusma gibi bilinen bazı sağlık sorunlarına neden olur. Ayrıca kronik

çinko maruziyeti pankreasa zarar verebilir, protein metabolizması bozulabilir ve damar sertliğine neden olabilir [Lenntech, 2016].

2.6. AĞIR METAL ARITIM TEKNOLOJİLERİ

Ağır metallere kirlenmiş toprakların arıtım teknikleri termal, mekanik ya da fizikokimyasal olabilir. Bu tekniklerin yararlarını ortaya koymak için metalleri çevresel toksik etkilere göre gruplandırmak faydalı olur. Buna göre en önemli grubu Pb, Zn, Cu ve Cd oluşturur. Toprağı temizleme tekniklerinin çoğu kirlenmiş topraklardan *in-situ* ya da *ex-situ* olarak ağır metalleri uzaklaştırmak amacıyla geliştirilmiştir. *İn-situ* teknolojiler, toprağı kazmadan, doğrudan kirlendiği yerde temizlemesini sağlayan teknolojilerdir. *Ex-situ* teknolojiler ise genellikle kirlenmiş bölgedeki toprakların kazılması ve taşınması ile temizlenen toprağın tekrar yerine doldurulmasıyla gerçekleştirilmektedir [Altın, 2003]. Bu teknolojiler; izolasyon ve immobilizasyon teknolojileri, mekanik ayırma teknolojileri, pirometalurjik teknolojiler, elektrokinetik teknolojiler, biyokimyasal teknolojiler, toprak yıkama teknolojileri ve fitoremediasyon teknolojileridir.

2.6.1. Fitoremediasyon Teknolojileri

Fitoremediasyon kelimesi terminolojiye 1991’de girmiş olup İngilizce’deki bitki anlamındaki “phyto” ile ıslah etme, iyileştirme anlamındaki “remediation” kelimelerinden türetilmiştir [Etim, 2012].

Fitoremediasyon, diğer arıtma yöntemlerine bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Bitkiler topraktan yerinde organik ve metal kirleticilerin giderimi olarak tarif edilmektedir. Estetik bir görünümün yanı sıra bölgenin tekrar kullanılması gibi imkanlarından dolayı ilgi çeken bir yöntem haline gelmektedir. Fitoremediasyonda birçok farklı bitki türünün kullanılması bu teknolojinin alanını geliştirmektedir. Ancak fitoremediasyon yöntemi ile giderim yapılmadığının bilinmesi gerekmektedir. Fitoremediasyon yöntemi sonucunda ortaya çıkan bitkilerin yakılarak, uygun özelliklere sahip ise yem bitkisi olarak kullanılarak veya uygun bir depolama alanında depolanarak gerçekleştirilmektedir [Vanlı ve Yazgan, 2000].

Fitoremediasyon yerinde, düşük maliyetli ve çevre dostu yapısı bakımından ve büyük ölçekte uygulanabilir olmasından dolayı son on beş yıl içinde ilgi gören bir teknolojidir [Grispen, vd., 2006].

2.7. BİTKİSEL ARITIM ÇEŞİTLERİ

Bitkisel arıtım işleminlerindeki amaç, toprak tarafından tutulmuş halde bulunan ağır metallerin daha kontrol edilebilir hale getirilmesi ve taşınabilir forma dönüştürülmesidir. Bu yüzden bitkisel arıtım çeşitlerini, nihai bir uzaklaştırma veya giderme yöntemi olarak düşünülmemektedir. Bitkide biriken bazı metallerin hayvan ve insanlar için yararlı olmasının yanı sıra zararlı da olabilmektedir. Bitkisel arıtımda kullanılan bazı bitkiler aynı zamanda hayvan yemi olarakta kullanılabilirler. Çizelge 2.2’de farklı fitoremediasyon tekniklerinde artık bitkisel malzemenin nihai giderim yolları verilmektedir.

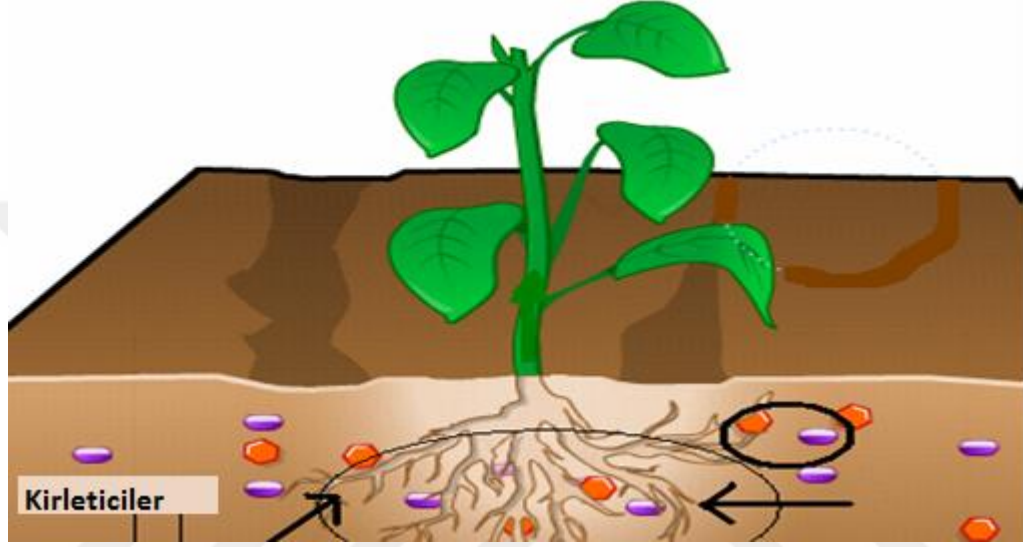
Çizelge 2.2. Farklı fitoremediasyon tekniklerinde artık bitkisel malzemenin nihai giderim yolları

Metod	Parçalanma/İmha	Çıkarma/Alma	Engelleme/Sınırlandırma
Fitoekstraksiyon		+	
Fitostabilizasyon		+	
Fitovolatilizasyon		+	
Rhizodegradasyon	+		
Fitodegradasyon	+		
Rizofiltrasyon		+	
Hidrolik Kontrol	+		
Vejetatif Örtü	+		+
Kıyı Tampon Şeritleri	+	+	+

Fitoremediasyon kapsamında arıtım yöntemleri aşağıda verilmiştir.

2.7.1. Köklerle Süzme

Köklerle süzme, kirleticilerin köklerin içine alınması veya bitki köklerin üzerinde (*adsorpsiyon*) yapışıp kalmasıdır (Şekil 2.2.). Bu yöntemle kirlilik kaynağından uzaklaştırılabilir [Sögüt, vd., 2004].

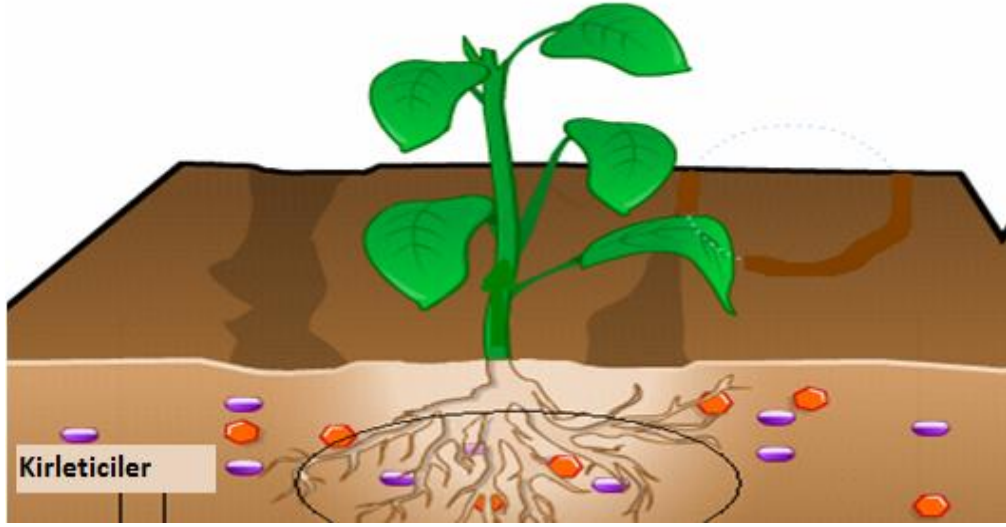


Şekil 2.2. Köklerle süzme yöntemi

Bu teknoloji ile giderilen kirleticileri, elementler (Pb, Cd, Cu, Ni, Zn, Cr), radyonükleidler (Uranium (U), Cesium (Cs) ve Strontium (Sr)) olarak sıralamak mümkündür [EPA, 2000].

2.7.2. Köklerle Sabitleme

Kirleticilerin hareketsizleştirilmesi, kökler tarafından biriktirilmesi, köklerin yüzeyine yapışması veya bitkinin kök bölgesinde çökmesi şeklinde gerçekleşmektedir (Şekil 2.3.).

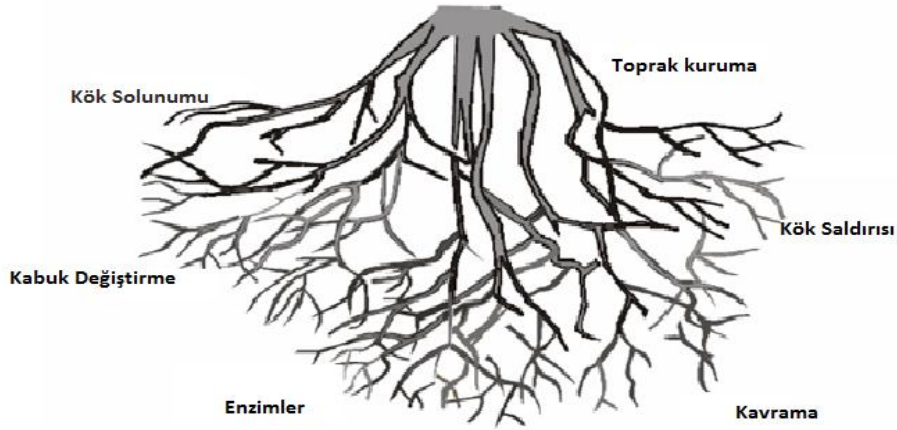


Şekil 2.3. Köklerle sabitleme yöntemi

Köklerle sabitleme yöntemi toprağın yanı sıra sediment ve çamurların arıtılmasında da kullanılır. Cd, Pb, Zn gibi elementlerle kirlenmiş toprakların fitostabilizasyon ile iyileştirilmesi için genellikle hindistan hardalı ve çimler kullanılmaktadır [EPA, 2000].

2.7.3. Köklerle Bozunum

Köklerle bozunum, mikroorganizmalar yardımıyla ya da bitki köklerinin etkisi ile oluşuyorsa bu olay rizodegradasyon olarak isimlendirilir. Rizodegradasyon toprağın kök bölgesinde organik kirlenmelerin mikroorganizma faaliyetleri sonucunda ayrışması işlemidir (Şekil 2.4.).

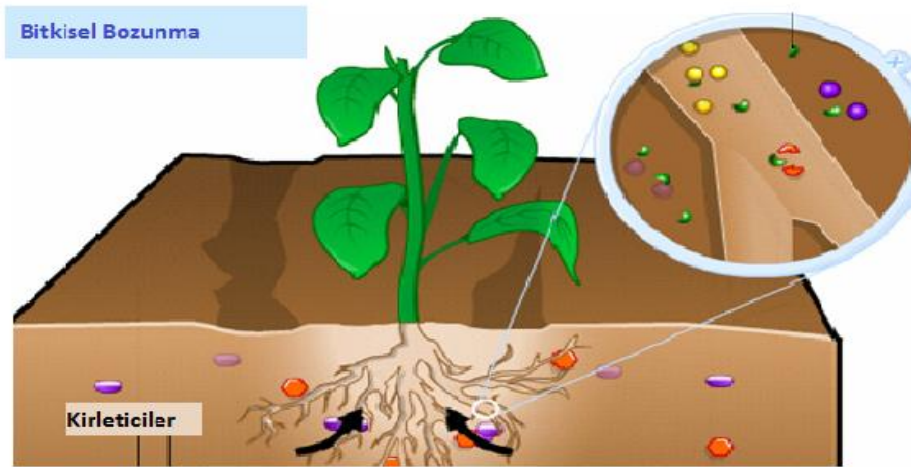


Şekil 2.4. Köklerle bozunum yöntemi

Köklerle bozunum için kırmızı dut (*Morus rubra L.*) ve su kamışı (*Typha latifolia*) gibi bitkiler kullanılmaktadır [EPA, 2000].

2.7.4. Bitkisel Bozunum

Bitkisel bozunum, bitkiler tarafından alınan organik kirleticilerin belirli süreçler sonunda, bitkiler tarafından üretilen enzimler gibi bileşiklerin etkisi yoluyla bozunması yöntemidir (Şekil 2.5.).

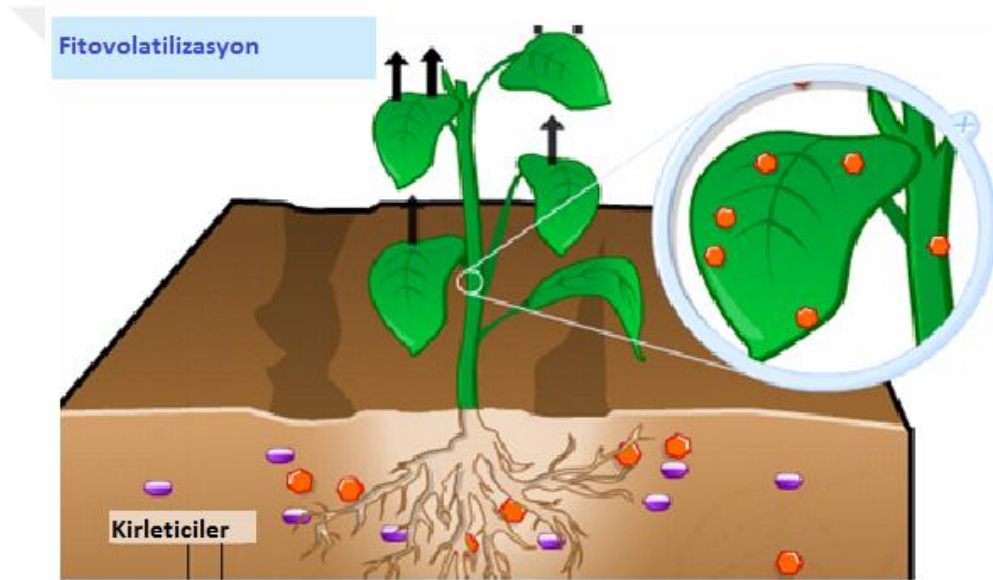


Şekil 2.5. Bitkisel bozunum yöntemi

Bu yöntem ile giderilebilen kirleticiler, genellikle kimyasal maddeler, organik bileşikler ve fenollerdir. Organik bileşenlerin gideriminde bir su bitkisi olan papağan tüyü (*Myriophyllum aquaticum*) ve bir alg olan kayaotu (*Nitella*) bitkileri kullanılmaktadır [EPA, 2000].

2.7.5. Bitkisel Buharlaşma

Bitkisel Buharlaşma diğer adıyla fitovolatilizasyon, organik (klorlu çözücüler) ve inorganik (Cd) kirletici etmenlerin bitki bünyesine alınarak, yapısının atmosfere verilecek şekilde değiştirilmesi ile atmosfere verilmesi işlemidir (Şekil 2.6.).

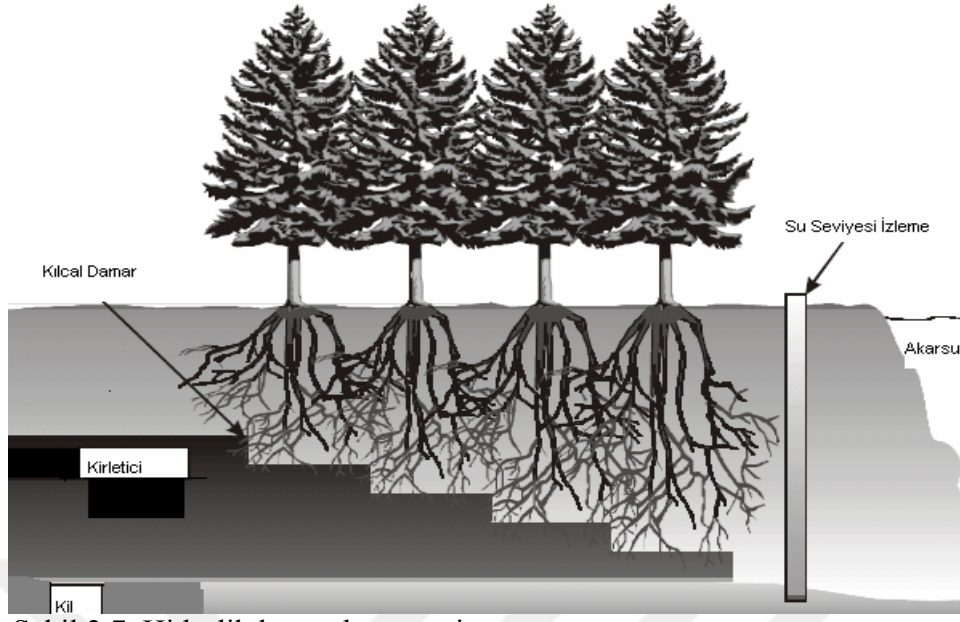


Şekil 2.6. Bitkisel buharlaşma yöntemi

Bitkisel Buharlaşma, bitkisel bozunum prosesini de içerebilmektedir. Yöntemin en önemli avantajı toksik formdaki bileşiklerin (örneğin civalı bileşikler) daha az zehirli formlara dönüştürülmesidir [EPA, 2000].

2.7.6. Hidrolik Kontrol

Hidrolik Kontrol, bitki kullanılarak yer altı sularında kirliliğin birikmesini ve taşınmasını engellemek veya kontrol altında tutulmasıdır (Şekil 2.7.).

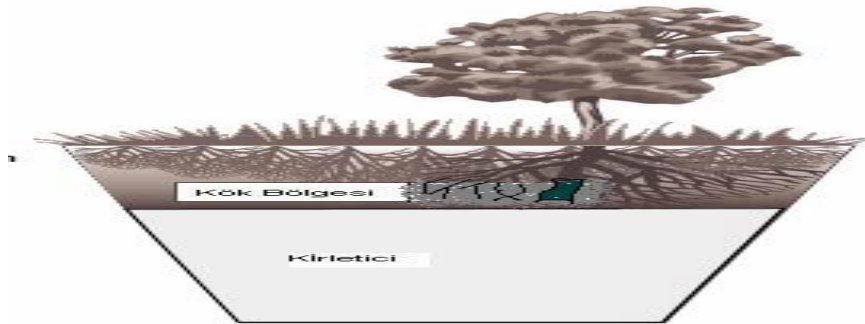


Şekil 2.7. Hidrolik kontrol yöntemi

Bu işlem yüzey ve yer altı sularına uygulanabilir. Bu sistemde, diğer arıtım sistemlerinin birden fazlası yer alabilir. Söğüt ve Eucalyptus türleri hidrolik kontrol olarak kullanılan bitkilerin başında gelmektedir [Pivetz, 2001].

2.7.7. Vejetatif Örtü Sistemleri

Vejetatif örtü, kirlenmelerin toprak yüzeyinden uzun sürede ve kendiliğinden yetişen bitki sistemi ile kontrol altına alınması yöntemidir (Şekil 2.8.).



Şekil 2.8. Vejetatif örtü yöntemi

Vejetatif örtü topraktan buharlaşarak su kaybını engelleyici olarak veya ıslah edici olarak iki tiptir. Bu yöntem toprak ve çamurda uygulanabilir. Bu amaçla kavak ağaçları ve çimler kullanılmaktadır [EPA, 2000].

2.7.8. Kıyı Tampon Şeritleri

Kıyı tampon şeritleri, akarsulara doğru akan yeraltı veya yüzeysel su içerisindeki kirleticilerin giderilmesi için akıntı boyunca akarsuların kıyılarına şeritler halinde uygun bitkilerin ekilmesi işlemidir (Şekil 2.9.).

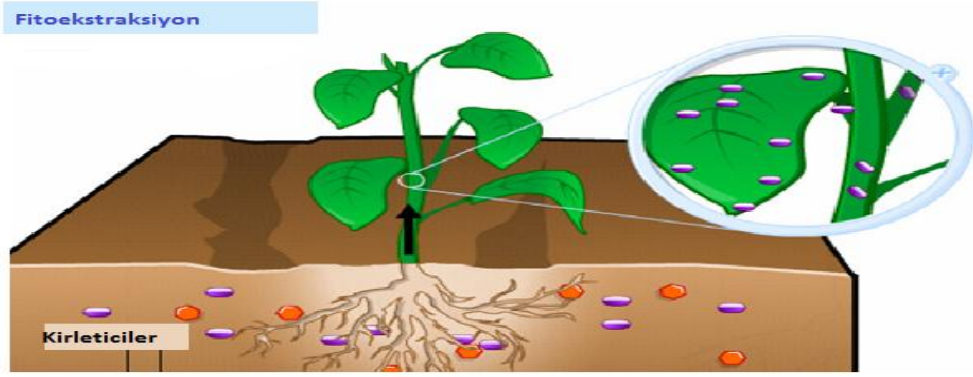


Şekil 2.9. Kıyı tampon şeritleri yöntemi

Bu yöntem ile en çok pestisit ve gübrelerin giderilmesi araştırılmıştır. Kavaklar kıyı tampon şeritlerinde en çok kullanılan bitkiler arasındadır [EPA, 2000].

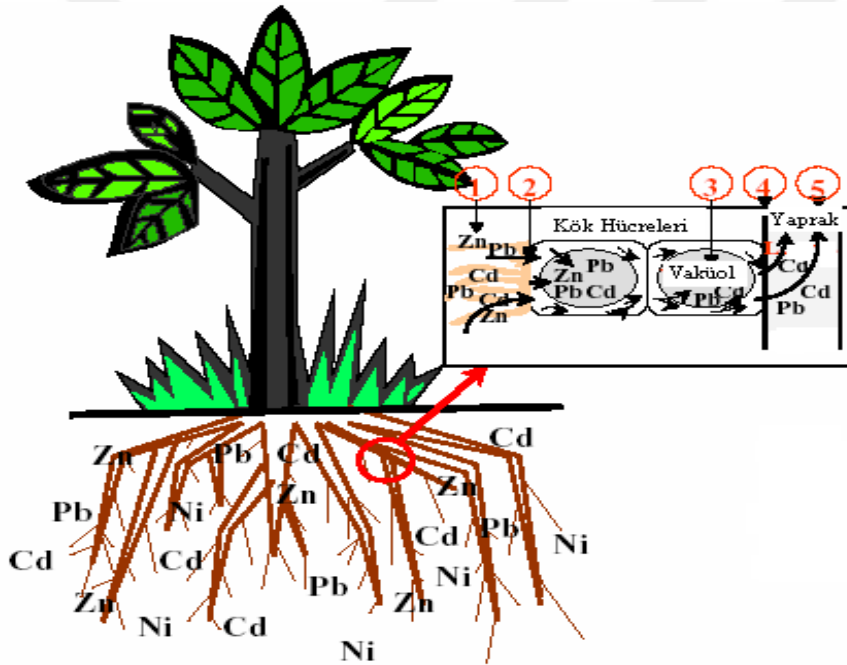
2.7.9. Bitkisel Özümlenme

Bitkisel Özümlenme, inorganik kirleticilerin bitkinin kökleri tarafından alınması ve bir kısmının toprak üstü aksamına (sap ve yaprak) taşınarak biriktirilmesi yöntemidir (Şekil 2.10.). Bitkisel madencilik (*phytomining*) denilen bu yöntem ile işlenerek çıkarılması daha zor olan maden cevherlerinin daha kolay yöntemle elde edilebilmesine olanak sağlamaktadır. ABD’de bu yöntemle nispeten daha değerli olan altın gibi elementler geri kazanılmaktadır. Bu teknoloji en çok, ağır metallere kirlenmiş topraklarda uygulanmaktadır [EPA, 2000].



Şekil 2.10. Bitkisel özümleme yöntemi

Fitoekstraksiyon yöntemi ile metal alımı mekanizması Şekil 2.11.'de verilmiştir.



Şekil 2.11. Toprakta metal iyonunun alımı ve bitkide birikim mekanizması [Lasat, 2000].

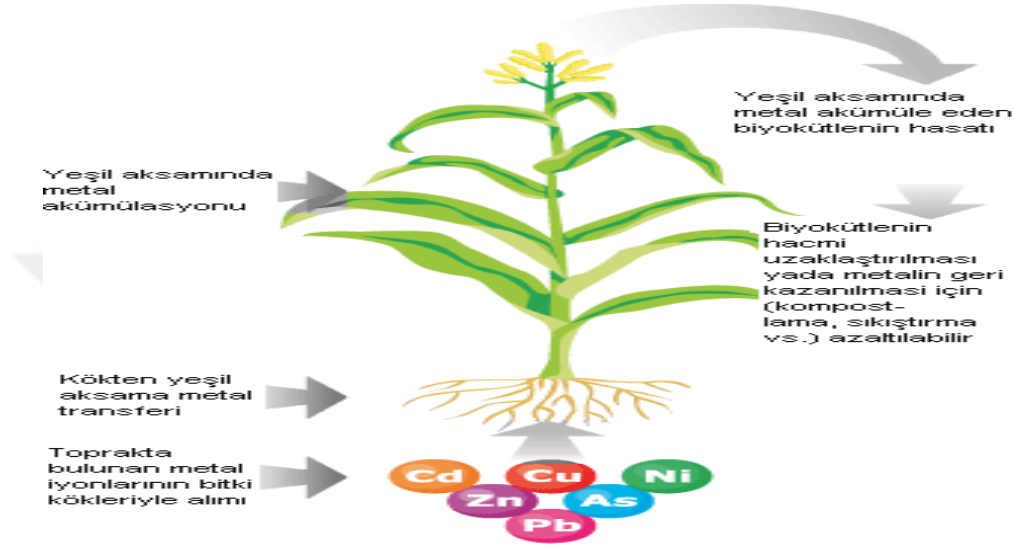
Şekil 2.11.'de numaralandırılan mekanizmaların şunlardır:

1. Kök yüzey civarında metal iyonlarının bir kısmının tutulması.
2. Kökün hücreleri içerisine hücre membranları içerisinden geçerek biyoyararılı metal iyonu taşınımı.
3. Kök içerisine absorblanmış bir metal fraksiyonunun sabitlemesi,

4. Hareketli metal iyonlarının bir kısmının hücre membranlarına geçmesi ile bitkiye taşınımı.

5. Metal iyonlarının köklerden bitki yeşil aksamına ve yapraklarına taşınımı.

Topraktan metal iyonlarının fitoekstraksiyonunu Şekil 2.12.'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Topraktan metal iyonlarının fitoekstraksiyonunu içeren prosesin şematik gösterimi [Sas-Nowosielska, vd., 2004].

2.8. FİTOREMEDİASYONUN YARARLARI VE ZARARLARI

Fitoremediasyon diğer arıtım yöntemlerine göre çok daha yeni bir teknoloji olmasına rağmen birçok avantaj ve dezavantaja sahiptir. Fitoremediasyon yöntemini diğer giderim yöntemleriyle karşılaştırıldığında yararları ve zararları daha anlaşılır hale gelecektir.

Yararları;

- Diğer arıtım yöntemlerine göre çok daha ucuzdur.
- Çalışılan alanın tekrar kullanılmasında başka yeni bir bitki topluluğu oluşturulması gerekmez.
- Çok daha fazla estetik görünüme sahip olması nedeniyle daha hoş karşılanabilir.

- Temizlenmek istenilen bölgede kazıya gerek duymayıp kirleticilerin daha fazla yayılmasını engeller.
- Son zamanlarda tek bir metalin yanında çoklu metalle kirlenmiş alanların da arıtımı için önemli bir yere sahiptir.

Zararları;

- Bitkilerin büyümesi için gerekli şartlara çok fazla bağlıdır.
- Yüksek verim elde etmesi bitkinin kirleticilere olan toleransına bağlıdır.
- Yapraklardan tekrar toprağa karışan kirleticiler çevre için problem yaratmaktadır.
- Bitkiye geçen kirleticiler bitki dokularında toplanmış ve yakıt olarak kullanılırsa ciddi risk oluşturabilir.
- Diğer teknolojiler ile kıyaslandığında daha uzun zaman alabilir.
- Kirleticiler çözünürlüğünü ve yıkanma olasılığını artabilir.

Bitki ile ağır metallerin giderim işlemi sonucunda bitkinin bünyesine geçen ağır metaller, endüstride değerlendirilmesi sonucunda çok ciddi sorunlar ortaya çıkartabilir [Altın, 2004].

Bitkisel iyileştirmenin avantaj ve dezavantajları dikkate alınarak yapılan bu çalışmada yüksek bir biyokütle üretimine sahip olan, hızlı büyüyen, derin köklü ve hedef metali toplayabilen bitkiler olarak *Ricinus communis* ve aspir *Carthamus tinctorius* bitkileri seçilmiştir. Günümüzde çoklu metallerle kirlenmiş toprakların fitoremediasyonu ile ilgili yok denecek kadar çalışma yapılmıştır. Bu çalışma ile çoklu metal ile kirlenmiş toprakların fitoremediasyon kapasitesi araştırılacaktır.

2.9. HİPERAKÜMÜLATÖR BİTKİLER

Hiperakümülatör bir bitki 10 ppm'den fazla Hg, 100 ppm'den fazla Cd, 1000 ppm'den fazla Co, Cr, Cu ve Pb ve 10.000 ppm'den fazla Ni ve Zn'yu bünyesine alan bitkiler olarak tanımlanmaktadır. Kirli toprak ve diğer ortamların temizlenmesi ilk olarak yaklaşık 300 yıl önce bitkilerin atık sularında kullanılması ile başlamıştır. 1800'lerin sonlarında ise en önemli hiperakümülatör bitkilerden olan *Thlaspi caerulescens L.* ve *Viola calaminaria L.* yapraklarında yüksek seviyelerde metal biriktiren ilk bitki türleri olarak bulunmuştur [Baker ve Brooks, 1989]. Bu arada

bazı türlerin birden fazla ağır metali biriktirebilme özelliğinde olduğunu bildirilmektedir. Örneğin *Thlaspi caerulescens* Cd, Ni, Pb ve Zn; *Thlaspi goesingense* Ni ve Zn; *Thlaspi ochroleucum*, Ni ve Zn ve *Thlaspi rotundifolium* Ni, Pb ve Zn biriktirebilir.

Günümüzde 500'den fazla metal hiperakümülatör bitki türü bulunmaktadır ve bu bitkiler tüm kapalı tohum bitkilerinin dünya çapında yaklaşık % 0, 2'sini oluşturduğu bildirilmiştir [Sharma, 2011].

2.9.1. Türkiye'de Hiperakümülatör Bitkiler

Türkiye florası 11.0707 takson ve 3.035 adet endemik tür ile dünyada çok önemli bir yere sahiptir. Türkiye florası incelendiğinde uluslararası literatürde yer alan farklı familyalardan 38 adet hiperakümülatör türe rastlanmaktadır [Özbek, 2015]. Türkiye florası üzerine birçok ulusal ve uluslar arası çalışma yapılmıştır. Bunlardan en önemlisi Davis (1985) tarafından yazılan Türkiye ve Doğu Ege Adaları Florası isimli eserdir [Davis, 1985]. Bu çalışmanın üzerine Güner vd. (2000) yeni bulgular eklemiştir [Davis, vd., 1988; Güner, vd., 2000]. Türkiye Florası'nı taranarak hiperakümülatör olarak kabul görmüş bitki türleri tespit edilmiştir (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3. Türkiye’de bulunan hiperakümülatör türler [Özbek, 2015].

SIRA	FAMİLYA	TÜR	LOKASYON
1	Amaranthaceae	<i>Amaranthus retroflexus L.</i>	Batı Karadeniz, Orta Anadolu
2	Betulaceae	<i>Betula pendula Roth.</i>	Doğu Anadolu, Trabzon, Erzurum, Çorum ve Kars
3	Brassicaceae	<i>Arabidops is thaliana Heynh</i>	Kuzey Türkiye’de 1800 metreye kadar, Güneydoğu Anadolu
4	Brassicaceae	<i>Brassicara napus L.</i>	Çayırılı Alanlar
5	Brassicaceae	<i>Isatis pinnatiloba P.H Davis</i>	Batı Akdeniz
6	Caryophyllaceae	<i>Minuartia hirsuta L.</i>	Orta ve Kuzey Anadolu
7	Caryophyllaceae	<i>Minuartia verna L.</i>	Kırklareli, Gümüşhane, Kars
8	Caryophyllaceae	<i>Silene compacta L.</i>	Ege Marmara Orta Anadolu ve Antalya Civarı
9	Convolvulaceae	<i>Calystegia sepium L.</i>	Kuzeydoğu Anadolu, Marmara Bölgesi ve Denizli Civarı
10	Cyperaceae	<i>Carex echinata L.</i>	Bursa, Ordu, Rize, Kütahya
11	Cyperaceae	<i>Eriophorum angustifolium L.</i>	Doğu Anadolu ve Kars
12	Euphorbiaceae	<i>Ricinus communis L.</i>	Çanakkale, Antalya, İstanbul
13	Fabaceae	<i>Melilotus officinalis L.</i>	Ege, Orta ve Doğu Anadolu
14	Fabaceae	<i>Trifolium pratense L.</i>	Çayırılık alanlar
15	Fabaceae	<i>Trifolium repens L.</i>	Çayırılık alanlar
16	Geraniaceae	<i>Pelargonium L.</i>	Orta ve Güney Anadolu
17	Malvaceae	<i>Gossypium hirsutum L.</i>	Ege ve Akdeniz bölgesi, Çayırılı alanlar
18	Oleaceae	<i>Fraxinus angustifolia L.</i>	Batı, Orta ve Güney Anadolu
19	Onagraceae	<i>Epilobium Hirsutum L.</i>	Kuzey, Orta Anadolu, Erzurum, Antalya ve Siirt

Çizelge 2.3. (devamı) Türkiye’de bulunan hiperakümülatör türler [Özbek, 2015].

SIRA	FAMİLYA	TÜR	LOKASYON
20	Plumbaginaceae	<i>Armeria maritima wild</i>	İstanbul
21	Poaceae	<i>Agrostis capillar is L.</i>	Kuzey Anadolu, Kastamonu, Ilgaz, Amasya, ve Ordu (1950 metre), Kayseri
22	Poaceae	<i>Agrostis stolonifera L.</i>	Marmara, Doğu Karadeniz, Ege, Orta ve Güney Anadolu
23	Poaceae	<i>Anthoxanthum odaratum L.</i>	Batı ve Güney Anadolu
24	Poaceae	<i>Brachypodium sylvaticum</i>	Marmara, Karadeniz Bölgesi, Hatay, Mardin ve Maraş
25	Poaceae	<i>Bromus ramosus Hudson</i>	İstanbul, Bolu, Çankırı, Rize, Kars ve Adana
26	Poaceae	<i>Cynodon dactylon L.C.M</i>	Batı ve Kuzey Doğu Anadolu, Akdeniz ve Orta Anadolu
27	Poaceae	<i>Danthonia decumbens L.</i>	Türkiyenin Kuzey Kısımları
28	Poaceae	<i>Deschampsia caespitosa</i>	Kuzey Anadolu, Karadeniz Bölgesi, Van, Adana, Hakkari
29	Poaceae	<i>Festuca rubra L.</i>	Batı Anadolu
30	Poaceae	<i>Holcus lanatus L.</i>	Kuzey ve Batı Anadolu
31	Poaceae	<i>Hordelymus europaeus L.</i>	Kuzey Anadolu
32	Poaceae	<i>Lolium multiflorum L.</i>	Kuzey Anadolu, Marmara, Maraş ve Erzurum
33	Poaceae	<i>Nardus stricta</i>	Kuzey Batı, Kuzey Doğu ve Orta Anadolu
34	Portulacaceae	<i>Portulaca oleracea L.</i>	Çayırılık Alanlar
35	Salicaceae	<i>Populus tremula L.</i>	Ege, Orta ve Doğu Anadolu
36	Salicaceae	<i>Salix viminalis L.</i>	İstanbul
37	Solanaceae	<i>Solanum nigrum L.</i>	Anadolu

Çizelgede 2.3’de verilen zengin bitki türlerine rağmen maalesef ülkemiz bu türlerin çok azından yararlanılmaktadır.

2.9.2. Yabani Hint Yağı (*Ricinus communis*)

Anavatanı Hindistan olan, euphorbiaceae (sütleğengiller) familyasından bir bitki türü olan yabani hint yağı genellikle Akdeniz ikliminin görüldüğü yerlerde doğal olarak yetişir. Tohumlarındaki risin maddesi oldukça zehirlidir. Tohumlarından elde edilen yağ sarı renkli ve çok hafif kokuludur. Yağın sindirimi çok zor olduğu için yemeklik yağ olarak tercih edilmez. Endüstride sabun, boya ve mürekkep yapımında ve kandillerde kullanılmaktadır. Türkiye’de yabani hint yağı üretimine elverişli koşullara sahip olmasına rağmen tarımı çok fazla yapılmamaktadır. Halbuki yabani hint yağı bitkisinin birçok alanda kullanılması nedeniyle çok fazla maddi getirisi olmaktadır. Yabani hint yağında yağ oranı yaklaşık % 40-60, verim miktarı ise 100-300 kg/da arasında değiştiğini bildirmiştir. Mersin’de çok yaygın olarak yetişmesi ve daha önce yapılan çalışmalarda Cd biriktirdiği için özellikle tercih edilmiştir.



Şekil 2.13. Hintyağı bitkisinin genel görüntüsü

Yabani hint yağı bitkisi çok zehirli olmasına rağmen, zehirli etkisi olan madde (Risin) anti tümör özelliğine sahiptir. Yabani hint yağı aynı zamanda doğum kontrol ilaçlarında kullanılmaktadır [Bonjean, 2016]. Son yıllarda kanser araştırmalarının yanında kemoterapide de kullanılmaya başlanmıştır [Luseba, vd., 2007]. Risin, bilinen en güçlü ve ölümcül bitki toksinleri biridir. Bitkinin tüm parçaları risin içerir ancak tohum onunla zengin ve son derece zehirlidir. Genellikle klinik toksikoloji ile ilişkilidir [Albretson, vd., 2000].

2.9.3. Aspir (*Carthamus tinctorius*)

Ülkemizdeki ekim alanı 134 hektar dolayında bulunan aspir, dekara 100 kg ürün verebilen, genellikle İç Anadolu Bölgesi'nde yetiştirilen potansiyel yağ bitkisidir. Tohumunda yaklaşık % 40 oranında yağ bulunan aspirin küspesi iyi bir besi yemi hammaddesidir. Dikenli ve dikensiz formları bulunan aspir ipeçlerde ve endüstride boya olarak kullanılır. Yağ içeriğinin yanısıra kuraklığa karşı dayanıklı olması ve bakım gerektirmemesi gibi nedenlerinden dolayı tercih nedenidir.

Aspir ülkemizde yetişen önemli bir yağ potansiyeli olan bir bitki olarak görülmektedir. Diğer yağ bitkileri ile kıyaslandığında daha dirençli olması nedeniyle aspir tarımda yağ bitkisi olarak bir yer elde etmiştir [Knowles, 1982].

Aspirin tarıma etkisi çok fazla anlaşılacakla birlikte dünya tarımına adaptasyonunu gerçekleştirilememiş önemli bir yağlı tohum bitkisidir [Gilbert, vd., 2008]. Türkiye'de aspir tarımı ilk olarak göçmenler ile başlamış daha sonra Marmara bölgesinde devam etmiştir. Ancak aspir tarımı üzerinde fazla durulmamış gerekli önem verilmediği için tarımda yerini alamamıştır. Aspir ülkemizde haspir, dikenli ayçiçeği gibi çok farklı isimlerle de bilinir [Babaoğlu, 2006].



Şekil 2.14. Aspir bitkisinin genel görüntüsü

Aspirin ağır metallerin giderimi üzerine yapılan çalışmalar sınırlıdır [Nosrati, vd., 2013].

2.10. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Son yıllarda tek bir metalle veya çoklu metalle kirlenmiş topraklarda fitoekstraksiyonun biyolojisini araştırmak amacıyla çok sayıda araştırma yapılmıştır. Yapılan araştırmaların çoğu başarılı olmasına rağmen çoklu metal birikimine olanak sağlayan kültür bitkilerinin bitki metal alım mekanizması yeni yeni araştırılmaktadır. Bu konuda yapılmış çalışmalara ait literatür araştırmalarından bazıları aşağıda kronolojik olarak verilmiştir.

Vwıoko vd. (2006) yaptıkları çalışmada yaprak, sap ve köklerden elde edilen metal derişimlerinden, yapraklarda manganez, kurşun ve nikel derişimu yüksek bulunmuştur. Metallerin metal derişimleri bitkinin kısımlarına bağlı değildir. *R. communis*'un spesifik metal birikimi Mn, Ni ve Pb'nun çoğunlukla yapraklarda birikmiş olduğunu göstermiştir [Vwıoko, vd., 2006].

Melo vd. (2009) yaptıkları çalışmada *Ricinus communis*'un besleyici solüsyon içinde büyütülmesiyle As birkimi ile fitoekstraksiyon yeteneğini değerlendirmek amacıyla yapmışlardır. Sonuçlar artan As derişimlerinde besin çözeltisi içinde sürgün ve köklerde biyokütle azalmasına neden olmasına rağmen 0 dan 5000 g/l As derişimlerinde *Ricinus communis*'de şiddetli toksik semptomlara neden olmadığını göstermiştir [Melo vd., 2009].

Shi vd. (2009) yaptıkları saksı çalışmasında *R. communis*'un diğer enerji ürünlerine göre daha fazla toleransa sahip olup, başaklarında 50-200 mg/kg Cd biriktirmiştir. Bu sonuç *R. communis*'un yüksek Cd stresine toleranslı bir bitki olabileceğini göstermiştir. *Ricinus communis*'un Cd için ortalama BCF'ü genotiplerinde yaprak, yeşil aksam ve kökte sırasıyla 0.43, 0.80 ve 13.30 mg/kg den yüksek olduğunu belirtmiştir [Shi ve Cai, 2009].

Shi vd. (2010) yaptıkları çalışmada *C. tinctorius* 'un toksisite belirtisi göstermeden köklerinde ve yapraklarında Cd biriktirme özelliğine sahip olduğunu tespit etmişlerdir [Shi, vd., 2010].

Huang vd. (2011) yaptıkları çalışmada 23 farklı genotipe sahip *Ricinus communis* 'un kirlenmiş topraklardan Cd ve DDT'nin hareketini ve alımını karşılaştırmıştır. *Ricinus communis* genotipleri Cd ve DDT alımında ve birikiminde büyük ölçüde değişiklik göstermiştir. Yaprak, yeşil aksam ve kökte sırasıyla DDT derişimleri 0.37, 0.43 ve 70.51 mg/kg iken Cd derişimleri ise 1.22, 2.27 ve 37.63 mg/kg dır. Saksı başına toplam DDT alımı 83.1 ile 267.8 µg iken Cd alımı ise 66.0 ile 155.1 µg dır. Sonuçlar *R. communis* 'un kirlenmiş topraklardan DDT ve Cd'un gideriminde hızlı büyüme, yüksek biyokütle ve güçlü emilimi ile DDT ve Cd giderimine katkıda bulunduğunu göstermiştir [Huang, vd., 2011].

Souza vd. (2012) yaptıkları çalışmada *Ricinus communis*'un Cd varlığında tuzluluk ve kuraklığa karşı toleranslı bulunmuştur ve kuru ağırlığı açısından on iki kat daha yüksek biyokütle üretme potansiyeline sahip olabileceğini belirtmişlerdir [De Souza Costa, vd., 2012].

Olivares vd. (2013), Cu, Zn, Mn, Pb, Cd metalleri yüksek derişimlerde içeren 9 farklı maden atığında *Ricinus communis L.* bitkisini yetiştirmişler ve bu bitkinin tohumdaki yağ içeriği % 41 ile % 64 arasında değiştiğini tespit etmişlerdir [Olivares, vd., 2013].

Pandey (2013), *Ricinus communis L.* bitkisini Pb, Zn, Ni içeren uçucu küle sahip alanlarda yetiştirmiş ve bu bitkinin biyokonsantrasyon faktörünü (BFK) kökte tüm metaller için 1'den büyük bulmuştur. Translokasyon faktörü (TF)'ü tüm metaller için 1'den daha az bulunmuştur, bu da metallerin bitkinin kök kısmında stabilize olduğunu göstergesidir. Araştırmacı *Ricinus communis L.* 'nin ekonomik ve

ekolojik değerleri ile birlikte fitoremediasyon için potansiyel bir aday olduğunu belirtmiştir [Pandey, 2013].

Li vd. (2015) yaptıkları çalışmada Cu ve Pb ağır metallerine maruz kalmış toprağın Aspir'e (*Carthamus tinctorius L.*) maruz kalma etkilerini incelemişlerdir. Cu'nun düşük derişimlerde fide ve kök uzunluğu üzerinde uyarıcı bir etkisi olduğunu tespit etmiştir. Ağır metal derişimleri ve bitki büyümesinin engellenmesi arasında önemli pozitif bir ilişki gözlenmiştir. Bitki boyu, kök uzunluğu ve kılcal kökte, Cu ve Pb'nun artan derişimleri ile aşamalı olarak azaldığı tespit edilmiştir. Fide aşaması hariç metal karışımı aspirin büyüme ve gelişme üzerinde sinerjik bir etkiye yol açmıştır [Li, vd., 2015].

Angelova vd. (2015) beş tesadüfî bloklar ile gerçekleştirdikleri tarla denemelerinde *Carthamus tinctorius L.* test edilen organik değişiklikler önemli ölçüde aspir tohumlarının ve yağın kimyasal kompozisyonunu etkilemiştir. Aspir ağır metallere karşı toleranslıdır ve ağır metal ile kirlenmiş toprakların fitoremediasyonunda başarılı bir şekilde kullanılabilirdiğini belirtmişlerdir. Kontrol tohumlarındaki Pb ve Zn içeriği sırasıyla 3,57 mg/kg ve 133,5 mg/kg olup ayrıca Pb için 30 mg/kg, Zn için 300 mg/kg olan kritik değerlere ulaşmadığını tespit etmişlerdir. Tohumlardaki Cd birikimi (2,9 mg/kg) gıda ve hayvanlar tarafından tolere edilen maksimum seviyenin (1 mg/kg) üzerinde çıkmıştır [Angelova, vd., 2015].

Hadi vd. (2015) yaptıkları çalışmada *Ricinus communis L.*'un hidroponik durumda kadmiyumun (Cd) fitoekstrasyon potansiyeli araştırmıştır. Cd içerikleri bitki dokularında artan dozlarda bulunmuştur. Maksimum Cd alımı T5 (Cd 25 mgL⁻¹) bulunmuştur. Maksimum BAF T2 (Cd, 10 mg/l) ve tüm bitkilerdeki BAF değeri 0.286-0.455 arasında değişmektedir. Translokasyon Faktörü (TF) kök, sürgün ve sürgün yapraklarında sırasıyla 0.645-0.857 ve 0.626-0.837 arasında ölçülmüştür. Tüm BAF ve TF değerleri 1'den az bulunmuştur. Bitki boyu, kök uzunluğu ve toplam bitki kuru biyokütlesi kontrol ile karşılaştırıldığında Cd tedavisinde önemli ölçüde ile azaldığını belirtmiştir [Hadi, vd., 2015].

Al Chami vd. (2016) yaptıkları çalışmada *Sorghum bicolor* ve *Carthamus tinctorius* bitkileri ile Ni, Pb ve Zn alımının mümkün olduğunu göstermiştir. Köklerin sürgünlerden daha fazla metal biriktirdiği tespit edilmiştir. Ni, Zn ve

Pb'den daha zehirli olduğu görülmüştür. Her iki tür de 10 mg/l üzerinde bir derişimde büyüme görülmemiştir. Metal toksitesi sırasıyla Ni, Zn, Pb dir. Yüksek toksisite belirtileri ve biyokütle azalması her iki türün 25 mg/l üstündeki Pb ve Zn derişimlerinde gözlenmiştir. *S. bicolor* yüksek biyokütle üretimi ve nispeten sürgünlerdeki yüksek metal derişimi nedeniyle *C. tinctorius*'dan metal alımında daha etkilidir [Al Chami, vd., 2015].

Yashim vd. (2016) yaptıkları çalışmada *Ricinus communis* L. (hint yağı bitkisi) fitoremediasyon potansiyelini değerlendirmek için bir çöp alanından Cd, Co, Ni ve Pb metalleri ile kirlenmiş kumlu, çamurlu alanı (pH 6.78) olan toprak kullanmıştır. EDTA ile muamele edilmiş topraktaki metal değerleri işlenmemiş topraktan daha yüksek çıkmıştır. Hasat edilen bitkilerdeki metal seviyeleri Cd – 1.9, Co – 1.8, Cu – 1.5, Ni – 8.8, Pb – 2.1 ve Zn –1.4 mg/kg dir. Metaller için Biyoakümülyasyon faktörü (BAF) ve Translokasyon faktörü (TF) bulunmuştur. Tüm metaller için TF'ü 1'den büyük bulunmuştur. BAF ve TF'ü sırasıyla metaller için: Ni > Cd > Co > Pb and Ni > Cd > Co ≈ Pb olarak tespit edilmiştir. *Ricinus communis* L. (hint yağı bitkisi) ağır metallerle kirlenmiş toprak için iyi fitoremediasyon potansiyeline sahip olduğu bulunmuştur [Yashim, vd., 2016].

Wuana vd. (2016) yaptıkları çalışmada hintyağı bitkisinin (*Ricinus communis*) belediye atık toprağından bazı toksik ağır metallerin fitoekstrasyonu doğal ve tek veya karışık şelatlayıcılar ile deneysel olarak test etmişlerdir. Şelat uygulanan hintyağında hiçbir fitotoksik belirti görülmemiştir. Kök ve sürgündeki metal derişimleri (mg/kg) artmıştır. Şelatlama maddesi dozu artışı ile ($p \leq 0.05$), metal seviyeleri maksimum seviyelere ulaşmıştır: Cd (55,6 ve 20,9), Cu (89,5 ve 58,4), Ni (49,8 ve 19,6), Pb (32,1 ve 12,1) ve Zn (99,5 ve 46,6) dir. Kök ve sürgündeki translokasyon faktörleri ve biyoakümülyasyon faktörler sırasıyla 0,21-3,49, 0,01-0,89 ve 0,01-0,51 bulunmuştur [Wuana, vd., 2016].

Wang vd. (2016) yaptıkları çalışmada *Ricinus communis* L.'un hızla büyüyen yüksek biyokütleye sahip bir biyoenerji bitkisi olduğunu belirtmiştir. *Ricinus communis* 'un birkaç metal için potansiyel fitoakümülatör olduğu kanıtlanmıştır. Dört aylık büyümenin ardından Cd (1.5, 10, 20 ve 40 mg/kg), Cu (50, 100, 200, 400 ve 600 mg/kg) ve Zn (100, 200, 400, 600 ve 800 mg/kg) oranlarında toprağına eklenmesiyle metaller tek başına ya da bir arada kuru kütle ile birlikte

yapraklarda, kökte ve yeşil aksamında Cd, Cu ve Zn derişimleri, translokasyon ve biyoakümülyasyon faktörleri bulunmuştur. Tek element için BAF değerleri Cd, Cu ve Zn için sırasıyla 1.20–1.97, 0.14–0.38 ve 0.65–1.48 iken sürgünlerde sırasıyla 0.41–0.68, 0.06–0.20 ve 0.93–1.88 değerleri arasında değişmektedir. Cd, Cu ve Zn için TF değerleri sırasıyla 0,45-0,61, 0.38-0.97 ve 1.02-1.59 arasında değişmektedir. *R. communis* Cd, Cu ve Zn için yüksek tolerans gösteren, iyi bir büyüme göstererek yüksek biyokütle ürettiği tespit edilmiştir. Deney sonuçları Cu için düşük alım göstermesine rağmen, Cd veya Zn tarafından kirlenmiş topraklar için *R. communis* 'un yüksek fitoremediasyon potansiyelinin olduğunu göstermiştir. Toprağa Cd ve Zn eklenmesiyle *R. communis* 'teki Cu derişimi biraz etkilenmiştir [Wang, vd., 2016].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. MATERYAL

3.1.1. Bitki Materyali

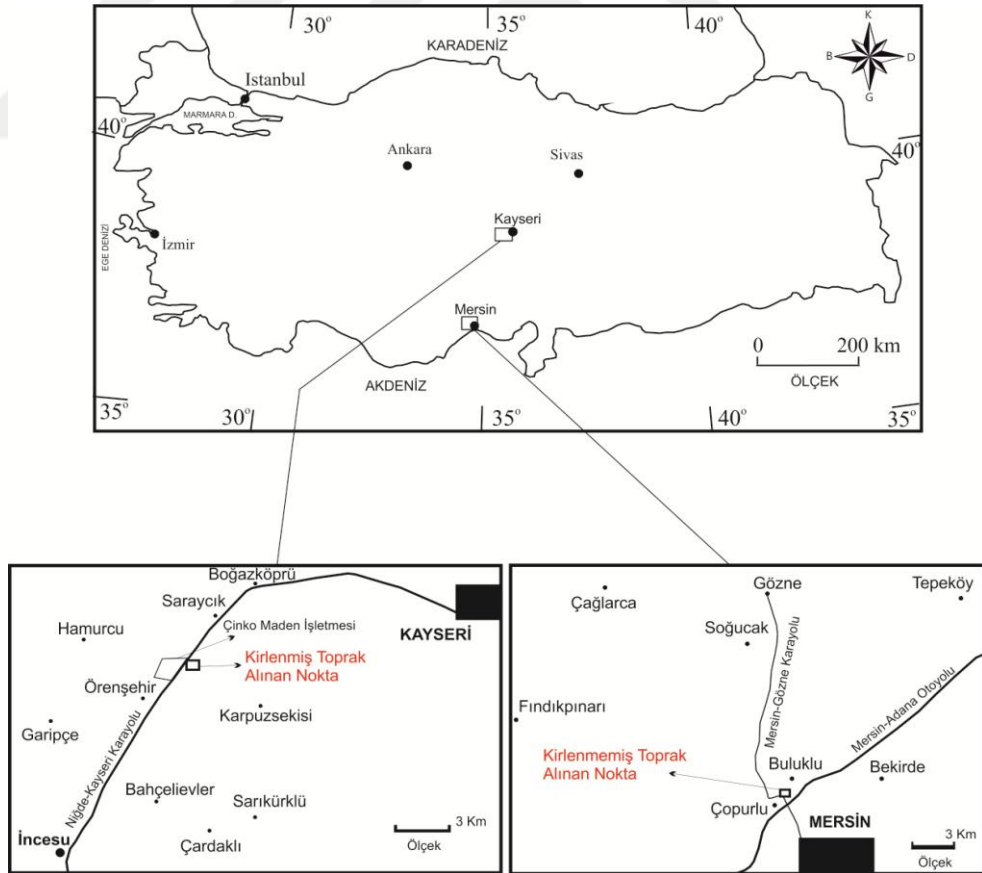
Çalışmada bitki materyalleri olarak sertifikalı aspir (*Carthamus tinctorius*) ve yabani hint yağı (*Ricinus communis*) bitkilerinin tohumları kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan aspir ve yabani hint yağı bitkileri ve onların tohumları Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan aspir ve yabani hint yağı bitkileri ve tohumları

3.1.2. Toprak Materyali

Çoklu metalle kirlenmiş ve kirlenmemiş toprak örneği alınacak yerlerin koordinatları GPS (Yer Konumlama Cihazı) ile önceden belirlenmiştir. Kadmiyum, Zn ve Pb ile kirlenmiş toprak örneği Kayseri-İncesu'dan ($38^{\circ}42'43''N$ ve $35^{\circ}15'55''E$), kirlenmemiş toprak örneği ise Mersin Gözne yolu üzerinden (Çopurlu)'dan 0-30 cm derinlikten alınmıştır. Kirlenmiş ve kirlenmemiş toprak örneğinin alındığı alanın yer bulduru haritası Şekil 3.2.'de verilmiştir. Laboratuvara getirilen toprak örnekleri, taş ve bitki parçacıkları ayıklanarak, havada kurumaya bırakılmıştır. Kuruyan topraklar ufalanarak saksı denemesi için 4 mm'lik elekten geçirilmiştir. Deneme toprağının bazı fiziksel ve kimyasal toprak analizleri içinse 2 mm'lik elekten geçirilmiş toprak örneği kullanılmıştır. Ayrıca fitoremediasyon sonrası topraktan kaldırılan toplam metal konsantrasyonunu belirlemek için deneme sonrası (hasat sonrası) saksıda kalan topraklar 2 mm'lik elekten geçirilmiş ve toprak materyali olarak kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Toprak örneklerinin alındığı noktaların yer bulduru haritası

Saksı toprağı metal derişimi yüksek olan kirli toprak örneğinin % 0, % 25, % 50, % 75 ve %100 olacak şekilde kirlenmemiş bir toprak örneğı ile karıştırılarak elde edilmiştir. Her bir toprak karışımının ayrı ayrı toprak verimliliğı, çoklu metal içeriğı ve bitki gelişimi açısından değerlendirilmek üzere bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri saptanmıştır.



Şekil 3.3. Kayseri İncesu'dan alınan kirli toprak örneğinin elekten geçirilmesi

3.2. YÖNTEM

3.2.1. Toprak Örneğinde Yapılacak Bazı Fiziksel ve Kimyasal Analizler ve Uygulama Metotları

Alınan toprak örneklerinin toprak verimliliğı ve toprağın diğer özelliklerinin belirlenmesi için bazı fiziksel ve kimyasal analizler aşağıda belirtilen standart yöntemlere göre yapılmıştır.

3.2.1.1. Nem

Toprak örnekleri kurutma fırınında (etüvde) 105 °C'de sabit ağırlığa gelinceye kadar 48 saat kurutularak nem içeriği % olarak hesaplanmıştır [Kacar, 1984]. Araştırmada toprak materyali ile elde edilen verilerin tümü etüv kurusu toprak kütlesi olarak ifade edilmiştir.

3.2.1.2. Suya doygunluk ve boşluk hacmi

Richards tarafından bildirildiği şekilde toprağa doyuncaya kadar saf su ilave edilerek tayin edilmiştir. Suya doygun toprağın kütlelerinin 105 °C'de ki toprak kütlelerine oranından boşluk hacmi hesaplanmıştır.

3.2.1.3. Toprak örneğinin tane boyut dağılımının belirlenmesi (bünye)

Toprakların kum, silt ve kil fraksiyonları Bouyoucus (1951) tarafından bildirildiği şekilde hidrometre yöntemi kullanılarak yapılmış ve sonuçlar yüzde (%) olarak ifade edilmiştir. Toprağın tekstür sınıfı, tekstür üçgeninden yararlanarak tespit edilmiştir [Bouyoucos, 1951].

3.2.1.4. Toprak reaksiyonu (pH) analizi

Toprak örnekleri 1:1 toprak-su oranında ve suya doygun toprakta elektrotlarla sıvı arasında meydana gelen potansiyel farkın ölçülmesi prensibine göre cam elektrotlu pH metre ile tayin edilmiştir [Kacar, 1984].

3.2.1.5. Toplam tuz analizi

Toprağın doygun ekstraktındaki iletkenliğin, iletkenlik ölçer (kondaktivimetre) aletiyle ölçülmesiyle bulunmuş ve elektriksel iletkenlikten hesaplanan % tuz olarak ifade edilmiştir [Soil Survey Staff, 1962].

3.2.1.6. Organik madde tayini ve toplam karbon tayini

Kacar (1995) tarafından bildirildiği şekilde modifiye Walkley-Black yöntemine göre tayin edilmiş, sonuçlar % olarak ifade edilmiştir. Walkey-Black yöntemiyle organik madde tayininde; toprağı potasyum dikromat ve sülfürik asit ile tepkimeye sokarak toprak içerisindeki organik karbonun potasyum dikromat ile oksitlenmesini (yükseltgenmesini) sağlamak ve oksitlenme için kullanılan miktardan arta kalan potasyum dikromatı standart demir sülfat ile titre etmek suretiyle toprakta bulunan karbonu saptayarak organik madde miktarının bulunması yöntemin prensibini oluşturur. Toplam organik karbon ise toplam organik maddenin % 58'inin organik karbondan oluştuğu varsayımıyla, organik maddenin 1,72'ye oranından hesaplanmıştır [Kacar, 1984].

3.2.1.7. Titrimetrik kireç tayini

Kacar tarafından ifade edildiği şekilde Scheibler kalsimetresi ile tayin edilerek yüzde (%) olarak ifade edilmiştir. Ölçüm tekniği toprağın seyreltik hidroklorik asitle reaksiyona tabi tutulması ile karbonatlardan çıkan CO₂ gazının kapalı bir boruda tutularak hacminin ölçülmesi ve bu hacimden yararlanılarak toprağın kireç içeriğinin hesaplanması prensibine dayanır [Kacar, 1984].

3.2.1.8. Toplam metal analizi

Toprağın deneme öncesi alınan toprak örnekleri ve deneme sonrası (hasat sonrası) saksıda kalan toprakların toplam metal analizleri, mikrodalgada EPA 3051A metoduna göre yapılmış ve metallerin derişimleri Agilent marka 7500 ce model ICP-MS cihazı ile belirlenmiştir. Yöntemin doğruluğu, laboratuvarımızda mevcut olan standart sertifikalı bir toprak numunesi (CRM 7003) ile test edilmiştir (Çizelge 3.1.) [EPA, 2000].

3.2.1.9. Bitkiye yarayışlı metal analizi

Lindsay and Norvell (1978), tarafından bildirildiği şekilde toprağın 0.005 M DTPA (Dietilen Triamin Penta Asetik Asit) + 0.01 M CaCl₂+ 0.1 M TEA (Tri Etanol Amin), çözeltisiyle ekstrakte edilmesi sonucunda elde edilen çözeltide başta Fe, Cu, Mn ve Zn olmak üzere Cd ve Pb derişimi ICP-MS cihazı ile belirlenmiştir.

3.2.1.10. Toplam azot

Toprakta bulunan toplam azot, toprak örneğinin üzerine katalizatör tuz karışımı (Kjeldahl tableti) ve sülfürik asit eklenerek yaş yakılması ve destilasyonu sonucunda açığa çıkan azotun-borik asitte tutulmuş ve titre edilen azot, toplam azot olarak ifade edilmiştir [Kacar, 1984].

3.2.1.11. Alınabilir fosfor

Olsen vd. (1982) tarafından geliştirilen metoda göre 0,5 M sodyum bikarbonat (pH 8,5) ile 1:20 toprak çözelti karışımıyla ekstrakt edilerek tayin edilmiştir.

3.2.1.12. Alınabilir potasyum

Richards (1954) tarafından bildirildiği gibi ekstrakt çözeltisi olarak 1 N NH₄OAc (pH 7,0) kullanılmış ve çözeltiliye geçen potasyum alev fotometresi ile okunmuştur.

3.3. SAKSI DENEMESİ VE BİTKİ ANALİZLERİ

3.3.1. Saksı Denemesi

Saksı denemeleri Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'ne ait iklim odasında yürütülmüştür. Denemeler tohum

çimlenmesini müteakiben büyüme ve gelişme süresince % 50-60 nem, 16 saat aydınlık ve 8 saat karanlık fotoperiyod, 25 ± 2 °C sıcaklık ile 15000 Lüks ışık intensitesine sahip iklim odasında yürütülmüştür. Deneme toprağı, Kayseri-İncesu'dan alınan kirlenmiş toprağı % 0, % 25, % 50, % 75 ve % 100 oranlarında Mersin-Gözne (Çopurlu) yakınlarından alınan kirlenmemiş toprak ile karıştırılarak hazırlanmıştır. Elde edilen toprak karışımları 6 L'lik saksılara 8 kg fırın kuru toprak doldurulduktan sonra saf su ile sulayıp kurutularak oda sıcaklığında 3 ay süre ile inkübasyona bırakılmıştır. Ekimden önce her saksıya 200 mg/kg N (NH_4SO_4 'tan), 100 mg/kg P ve 125 mg/kg K (KH_2PO_4 'tan), 2,5 mg/kg Fe (Fe-EDTA'dan) çözelti formunda bitkilerin temel besin ihtiyacını karşılamak üzere toprağı ilave edilmiştir.

Ekim öncesi saksıya ekilecek tohumlardan 4 tekerrürlü 100 tohum sayılarak, bu tohumlar 0,001 g duyarlı hassas terazide tartılıp ortalama değerleri bulunmuş ve bulunan değerlerin 10 ile çarpılmasıyla bin dane ağırlığı hesaplanmıştır.

Saksılara başlangıçta 10 adet yabani hint yağı tohumu, 20 adet aspir tohumu ekilmiş olup çimlenmeden sonra aspir bitkisi 10'ar bitki kalacak şekilde seyreltilmiştir. Bitkinin büyümesi esnasında, saksıların tümü düzenli olarak ve toprağın su tutma kapasitesinin % 70'i oranında (tarla kapasitesinde) sulanmıştır. Saksıların toplam ve alınabilir Cd, Pb ve Zn derişimleri denemeden önce ve toplam Cd, Pb ve Zn derişimleri ise hasat sonrasında yapılan analizlerle belirlenmiştir.

Şansa bağılı tam bloklar deneme deseninde tasarlanan deneme 3 tekerrürlü olarak yapılmıştır. Denemede inkübasyon süresi 3 ay, bitkilerin saksıda yetiştirme süresi 12 hafta sürmüştür. Bitkiler tohum oluşumundan önce hasat edilmiştir. Yeşil aksam, kök ve danelere ait veriler, metal fitoekstrasyon kapasitesini değerlendirmek için kullanılmıştır.

3.3.2. Fenolojik Gözlemler ve Bazı Büyüme Parametreleri

Tohumların çimlenmesinden sonra haftada bir bitkilerin boy uzunlukları ölçülmüş, çoklu metal toksisitesi karşısında uğradıkları morfolojik değışimler aşağıda verilen ve 1-5 arasında değışen bir skalaya göre değerlendirilmiştir. Ayrıca fenolojik değışimler fotoğraflanarak görselleştirilmiştir.

- 1- Sağlıklı, yeşil bitki
- 2- Çok hafif kloroz (sararma)
- 3- Orta şiddette kloroz
- 4- Şiddetli kloroz ve nekrozlar (kuruma)
- 5- Ölü bitki

3.3.3. Bitki Örneklerinin Hazırlanması ve Analizi

Saksı denemelerinden elde edilen bitki örnekleri yeşil aksam ve kök olarak hasat edilip olası toz ve toprak kalıntılarından arındırmak için önce % 1 HCl (v/v) çözeltisi, ardından musluk suyu ile iyice durulanmış, daha sonra saf suyla iyice yıkayıp, kurulandıktan sonra yaş kütleleri ölçülerek kurutma dolabında 70 °C'de sabit kütleye gelinceye kadar kurutulmuştur. Daha sonra bitkilerin kök ve yeşil aksamlarının kuru kütleleri belirlenerek bitki analizleri için bitki öğütme değirmeninde öğütülmüştür. Öğütülen kök ve yeşil aksam ile birlikte saksıya ekilen tohumlarda benzer şekilde analize hazırlanmış ve başlangıç metal içerikleri ve bin dane ağırlıkları (kütle) aşağıda belirlenen standart analiz yöntemleri ile analiz edilmiştir.

3.3.4. Bitki Örneklerinde Ağır Metal ve Besin Elementi Analizi

Öğütülen bitki örneği HNO₃ ile mikro dalga fırında çözünürleştirilerek elementlerin (Cd, Zn, Pb, Ni, Cu, Fe, Mg, K ve P) derişimleri Agilent 7500ce Model ICP-MS'de ölçülmüştür. Bu amaçla 0,2 g bitki örneği 13 mL deiyonize su, 2 mL % 35'lik H₂O₂ ve 5 mL % 65'lik HNO₃ ile 45 dakika mikrodalga fırında çözünürleştirilmiştir. Üç paralel yapılan metal analizlerinin doğruluğu, metal derişimi belli olan standart sertifikalı bir bitki örneğinin (SRM 1573A) aynı yöntemle analiz edilmesi ile kontrol edilmiştir.

3.3.5. Azot Analizi

Bitki örneklerinde N analizi Kjeldahl destilasyon yöntemiyle yapılmıştır. Bu yöntemin esası H₂SO₄ ile yaş yakılan bitki ve toprak örneğindeki organik N'u, NH₄-

N³u şekline dönüştürmek ve alkali ortamda yapılan destilasyon sonucu açığa çıkan ve borik asit içinde yakalanan NH₃ miktarından bitkilerin toplam N içeriğini belirlemektir [Kacar, 1984]. Üç paralel yapılan toplam N analizlerinin doğruluğu standart sertifikalı SRM 1573A bitkisinin aynı yöntemle analiz edilmesi ile kontrol edilmiştir.

3.3.6. Klorofil Ölçümü

Bitkilere ağır metal uygulamasının etkisiyle yapraklarda değişen klorofil içerikleri ucuz, kolay ve hızlı ölçüm veren klorofil metre (Konica-Minolta SPAD-502) kullanılarak belirlenmiştir. Bitkilerin hasat edildiği gün bitkinin en genç gelişmesini tamamlamış 2'nci, 3'üncü ve en alt yapraklardan 2'nci, 3'üncü yaprak üzerinden, yaprağın sağından ve solundan üç tekrarlı olarak doğrudan ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerin ortalaması alınarak SPAD değeri olarak değerlendirilmiştir. SPAD (Soil Plant Analysis Development) 2 mm × 3 mm alanda, 2 dalga boyunda (650 nm ve 942 nm) optik yoğunluk farkını ölçmektedir. Sayısal SPAD değeri ölçüm yapılan yapraktaki klorofilin oransal içeriğini µg/cm² olarak ifade eder (Markwell vd, 1995). Buna göre 1 SPAD birimi yaklaşık 0,001 µg/cm² dir.

3.3.7. Bitki Büyümesi ve Fitoremediasyon Kapasitesinin Değerlendirilmesi

Bitki büyüme indeksi olarak tolerans indeksi (Tİ), kök ve yeşil aksam uzunluğu, kök ve yeşil aksam yaş ve kuru maddesi gibi bitki büyüme parametrelerini esas alır ve şu şekilde hesaplanır [Wilkins, 1978].

$$Tİ (\%) = \frac{\text{Metal Uygulanan Bitki Büyüme Parametreleri}}{\text{Kontrol Bitki Büyüme Parametreleri}} \times 100$$

Yapılan araştırmada bitki büyüme parametreleri kök ve yeşil aksam yaş ve kuru kütlesi, kök ve yeşil aksam boyudur.

Bitki toplam metal alımı ise toplam yeşil aksam metal derişiminin toplam yeşil aksam kuru maddesinin çarpımıdır ve aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$\text{Toplam Metal Alımı} = \text{Toplam Metal Derişimi} * \text{Toplam Kuru Maddesi}$$

Bitkilerin fitoremediasyon ve fitoekstraksiyon kapasitesini belirlemek için iki belirleyici faktör kullanılmıştır. Bunlar, biyokonsantrasyon faktörü (BKF) ve translokasyon faktörü (TF). Biyokonsantrasyon faktörü, bitki dokusundaki toplam metal derişiminin toprak metal derişimine oranıdır [Malik, vd., 2010]. Biyokonsantrasyon faktörü, bitkideki metal derişimini hesaba kattığı için bitkilerin metal biriktirme kapasitesinin en iyi indikatörüdür. Zayed vd. (1998) iyi bir metal biriktiren bitkinin BKF değerinin >1000 olmasını önermektedir [Zayed, vd., 1998].

$$\text{BKF} = \frac{\text{Bitki Metal Derişimi, mg/kg}}{\text{Toprak Metal Derişimi, mg/kg}}$$

Translokasyon faktörü, bitki yeşil aksamdaki metal derişiminin kök metal derişimine oranıdır [Karami ve Shamsuddi, 2010].

$$\text{TF} = \frac{\text{Metal Derişimi YA, mg/kg}}{\text{Metal Derişimi Kök mg/kg}}$$

3.3.8. Analiz Değerlendirme Yöntemleri

Toprak analizlerinin tümü fırın kurusu toprak kütlesi (105 °C'de) olarak, bitki analizlerinin tümü ise 70 °C'de kurumuş olan bitki kütlesi üzerinden hesaplanmıştır.

3.4. İstatiksel Analizler

Saksı denemesinde toprak ve bitki analizleri üç tekerrürlü olarak yapılmıştır. Toprak ve bitki analiz testlerin tümünde ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. İstatistiksel analiz için SAS istatistiksel analiz programı ile varyans analizi ve ortalamalar arasındaki fark, En Küçük Önemli Fark (LSD) testi uygulanarak gruplandırılmıştır [Düzgüneş, vd., 1987].

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

4.1. TOPRAK ÖZELLİKLERİ

Araştırmada çoklu metal derişimi yüksek olan bir toprak örneğinin % 0 (kontrol ve temiz toprak), % 25, % 50, % 75 ve %100 olacak şekilde kirlenmemiş bir toprak örneği ile karıştırılarak elde edilen toprak karışımlarında fitoremediasyon arıtım teknolojisi ile ekosistemde toksik etki yaratan ağır metal iyonlarının giderimi hedeflenmiştir. Bu amaçla kirlenmiş toprak Kayseri İncesu'dan, kirlenmemiş toprak örneği ise Mersin-Gözne (Çopurlu) yol kenarından 0-30 cm derinlikten alınmıştır. Toprak örnekleri laboratuvara getirildikten ve gerekli ön işlemler yapıldıktan sonra toprak verimliliği, çoklu metal içeriği ve bitki gelişimi açısından değerlendirilmek üzere bazı fiziksel ve kimyasal analizler yapılmıştır. Araştırmada kullanılan temiz ve kirli toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Araştırmada kullanılan temiz ve kirli toprakların bazı fiziksel, kimyasal özellikleri ve standart sapmaları (n=3)

Özellik	Temiz Toprak	Kirli Toprak	Kaynaklar
Toprak nemi (%)	5,50±0,54	4,69±0,24	[Kacar, 1995]
Suya doygunluk (%)	60±1,3	28±0,9	[Richards, 1954]
pH (Saturasyon ekstraktında)	8,23±0,02	8,04±0,01	[Richards, 1954]
pH (1:1)	8,30±0,01	8,00±0,01	[Kacar, 1995]
Tuz (%)	0,025±0,0001	0,028±0,001	[Soil Survey Staff, 1962]
Kum (0,02-2 mm) (%)	20,5±1,1	84,6±2,3	[Bouyoucus, 1951]
Silt (0,002-0,02 mm) (%)	27,0±0,9	8,4±0,5	[Bouyoucus, 1951]
Kil (<0,002 mm) (%)	52,5±1,0	7,0±0,6	[Bouyoucus, 1951]
Tekstür sınıfı	C (Killi)	LS (Tınlı kum)	[Bouyoucus, 1951]
Kireç (CaCO ₃) (%)	28,34±0,08	7,26±0,41	[Loeppert vd., 1996]
Organik madde (%)	3,04±0,48	5,27±0,24	[Kacar, 1995]
Organik C (%)*	1,25	1,41	[Kacar, 1995]
Toplam N (%)	2,24±0,01	2,10±0,01	[Kacar, 1995]
Alınabilir P (mg P ₂ O ₅ /kg)	1,98±0,23	11,34±0,25	[Olsen vd., 1982]
Alınabilir K (mg K ₂ O/kg)	63,4±3,1	19,55±0,15	[Richards, 1954]

*Organik C (%) = Organik Madde (%) x 1,78

Çizelge 4.1'de görüldüğü üzere kirli ve temiz toprakta pH 8,00-8,30 arasında değişen hafif alkalın (8,23-8,04) karakterdedir. Bouyoucous hidrometre yöntemiyle belirlenen toprak tekstürü temiz toprakta killi (20,5) iken kirli toprakta tınlı kumdur (84,6). Her iki toprakta da tuzsuzdur (0,025-0,028) ve organik madde miktarı, temiz toprakta iyi (3,04) durumda iken kirli toprakta yüksek (5,27) düzeyde bulunmuştur. Kireç içeriği temiz toprakta çok fazla iken (28,34), kirli toprakta orta seviyededir (7,26). Toplam N miktarı kirli ve temiz topraklarda (2,24-2,10) çok fazla seviyededir. Alınabilir P temiz toprakta çok az iken (1,98), kirli toprakta fazladır (11,34). Alınabilir K ise temiz toprakta çok fazla iken (63,4), kirli toprakta fazladır (19,55). Çizelge 4.2.'de temiz ve kirli toprağın Cd, Pb ve Zn derişimi normal, kritik ve Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (TKKY) sınır değerleriyle karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.2. Temiz ve kirli toprağın Cd, Pb ve Zn derişimi yönünden normal, kritik ve TKKY sınır değerleriyle karşılaştırılması

	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Kirli Toprak	482,70	25754,60	13412,20
Temiz Toprak	1,92	19,09	92,41
Normal Değer	0,01-2	2-300	1-900
Kritik Değer	3-8	100-400	70-400
TKKY* Sınır Değeri (pH>6)	3	300	300

*TKKY: Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliği

Başta Cd, Pb ve Zn olmak üzere temiz ve kirli toprağın toplam metal derişimleri EPA 3050a yöntemine göre analiz edilmiş ve ICP-MS ile belirlenmiştir. Sınır değerler; Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirletilmiş Sahalar Yönetmeliği'nde belirtilen inorganik kirleticilerin yeraltı suyu sınır değerlerine göre değerlendirilmiştir. Temiz toprakta Cd, Pb ve Zn derişimi sınır değerinin altında iken kirli toprakta bu sınır değerlerinin oldukça üzerinde bulunmuştur. Biyoyararlılık açısından ise başta Fe, Zn, Cu ve Mn olmak üzere Cd, Pb metal derişimlerinde DTPA yöntemine göre analiz edilmiş ve ICP-MS ile belirlenmiştir [Kabata-Pendias ve

Pendias, 1992]. Araştırmada kullanılan temiz ve kirli toprakların başlangıç toplam metal derişimleri ve DTPA ile ekstrakte edilebilir metal derişimleri Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Araştırmada kullanılan temiz ve kirli toprakların başlangıç toplam metal derişimleri, DTPA ile ekstrakte edilebilir metal derişimleri ve standart sapmaları (n=3)

Özellik	Temiz Toprak	Kirli Toprak	Kaynaklar
EPA 3051A-Toplam Cd (mg/kg)	1,92±0,10	482,70±32,9	[USEPA, 1995]
EPA 3051A-Toplam Zn (mg/kg)	92,41±3,35	13412,20±0,10	[USEPA, 1995]
EPA 3051A-Toplam Pb (mg/kg)	19,09±0,01	25754,60±0,54	[USEPA, 1995]
EPA 3051A-Toplam Fe (mg/kg)	34,18±0,80	19,5±0,09	[USEPA, 1995]
EPA 3051A-Toplam Cu(mg/kg)	12,50±0,20	94,2±1,20	[USEPA, 1995]
EPA 3051A-Toplam Mn (mg/kg)	525,83±34,97	677,10±14,26	[USEPA, 1995]
DTPA ile ekstrakte edilebilir Cd (mg/kg)	0,045±0,015	26,80±0,16	[Lindsay ve Norvell, 1978]
DTPA ile ekstrakte edilebilir Pb (mg/kg)	1,03±0,21	31,06±1,72	[Lindsay ve Norvell, 1978]
DTPA ile ekstrakte edilebilir Zn (mg/kg)	0,75±0,33	128,39±11,55	[Lindsay ve Norvell, 1978]
DTPA ile ekstrakte edilebilir Fe (mg/kg)	2,37±0,02	1,05±0,015	[Lindsay ve Norvell, 1978]
DTPA ile ekstrakte edilebilir Cu (mg/kg)	0,85±0,01	6,67±0,54	[Lindsay ve Norvell, 1978]
DTPA ile ekstrakte edilebilir Mn (mg/kg)	1,59±0,015	0,11±0,005	[Lindsay ve Norvell, 1978]

Kirilenmiş toprakta toplam Cd derişimi 482,70 mg/kg tespit edilirken Pb derişimi 25754,60 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Çinko derişimi ise 13412,2 mg/kg'dır. Kirilenmiş toprağın alındığı noktada yapılan bir araştırmada Doğan [2012] 36248 mg/kg Cd, 14728 mg/kg Pb, 49248 mg/kg Zn tespit etmiştir. Demir [2013] aynı alanda 16381 mg/kg Pb ve 34347 mg/kg Cd olduğunu rapor etmiştir.

Biyoyararışlılık açısından DTPA ile ekstrakte edilebilir Zn, Cu, Fe ve Mn derişimi temiz toprakta sırayla yeterli (0,7-2,4), yeterli (>0,2), az (<2,5) ve çok az (<0,4) bulunurken kirli toprakta çok fazla (>8), çok fazla (>8), az (<2,5) ve çok az

(<0,4) bulunmuştur. Kirli toprakta yarayışlı Zn derişimi 521 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Bu da toprakta Zn derişiminin çok yüksek olduğunun göstergesidir. Elde edilen bulgu, Doğan [2012] tarafından elde edilen bulguyla uyumludur. Doğan [2012] tarafından DTPA ile ekstrakte edilebilir Cd, Pb ve Zn derişimleri sırasıyla 473, 34 ve 338 mg/kg olarak rapor edilmiştir. Toprağın kumlu tınlı bünyeye sahip olması, bu alandaki 2012 yılından beri geçen sürede Cd, Pb ve Zn derişimindeki azalmayı açıklamaktadır. Toprakta Cd, Pb ve Zn gibi ağır metaller yağışa bağlı olarak ortamdan yıkanma ile uzaklaşmakta ve yeraltı suyuna geçmektedir [Sposito, 1989]. Doğan (2012) değışebilir form, yıkanabilirlik (TCLP), asit yağmuruyla yıkanabilirlik (SCLP) ve bitkiye yarayışlı metallerin alınabilirliği (DTPA) arasındaki ilişki de belirlemiş ve yüksek metal derişimine bağlı olarak her üç element içinde ortamdan yıkanma eğiliminin yüksek olduğunu tespit etmiştir [Doğan, 2012]. Gerek toplam Cd, Pb ve Zn derişimi gerekse DTPA ile tespit edilen bitkiye yarayışlı Cd, Pb ve Zn derişimi literatürdeki bulgularla uyumludur [Erika-Andrea, vd., 2010; Doğan, 2012].

Deneme öncesi belirlenen toplam Cd, Pb ve Zn derişimi ve hasat sonrası aspir ve yabani hint yağı yetiştirilen toprakta kalan metal derişimi ICP-MS'de belirlenmiştir. Kirli toprağın temiz toprağa %25, %50 ve %75 oranında karıştırılmasından elde edilen toprak karışımları için toplam Cd, Pb ve Zn derişimleri, deneme öncesi kirlenmiş ve kirlenmemiş toprak için belirlenen ICP-MS'de belirlenen toplam Cd, Pb ve Zn derişiminden teorik olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.4.).

Çizelge 4.4. Deneme öncesi belirlenen toplam Cd, Pb ve Zn derişimi ve hasat sonrası aspir ve yabani hint yağı yetiştirilen toprakta kalan metal derişimi

Toprak Karışımı	DENEME ÖNCESİ _{TOPRAK}			DENEME SONRASI _{ASPIR TOPRAK}			DENEME SONRASI _{Y.HİNT YAĞI TOPRAK}		
	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)
% 0 (Temiz)	1,92	19,09	92,41	0,67	14,31	39,58	0,44	12,30	41,86
% 25	122	6453	3422	64,33	598,38	1548,75	45,46	407,88	1059,13
% 50	242	12887	6752	107,83	826,63	2716,25	126,50	1000,13	3222,50
% 75	363	19321	10082	136,38	912,88	3422,50	166,13	1128,50	4261,25
% 100	483	25755	13412	176,00	1427,50	4295,00	156,50	1116,13	3905,00

4.2. SAKSI DENEMESİ

Saksı denemesi öncesi saksıya ekilen tohumların bin dane ağırlıkları (kütle) belirlenmiştir. Ekilen tohumlarda bin dane ağırlıkları aspir bitkisi için 41,01 g iken yabani hint yağı bitkisi için 443,27 g olarak bulunmuştur.

Ayrıca ekilen tohumların başlangıç çoklu metal içerikleri mikrodalgada çözme işlemi sonrası ICP-MS'de belirlenmiştir. Aspir ve yabani hint yağı bitkisinde Cd ve Pb derişimi ICP-MS'in belirleme limitinin altında (Cd için $<0,003 \mu\text{g/L}$ ve Pb için $<0,002 \mu\text{g/L}$) bulunurken, toplam Zn derişimi aspir ve yabani hint yağı bitkisi için sırayla 66,84 mg/kg dane ve 86,04 mg/kg dane olarak belirlenmiştir. Aspir danesinde mutlak gerekli bitki besin elementi olan Zn'yu biriktirmektedir [Movahhedy-Dehnavy vd., 2009].

4.2.1. Fenolojik Gözlemler

Kirli toprağın temiz toprağa % 0, 25, 50, 75 ve 100 oranında karıştırılmasıyla hazırlanan topraklarda iklim odası koşullarında yetiştirilen aspir ve yabani hint yağı bitkilerinde, deneme süresince haftada bir kez gözlem alınmıştır. Gerek deneme süresinde gerekse hasat öncesi alınan fenolojik gözlem sonuçlarında kontrol bitkilerinde aspir bitkileri herhangi bir simptom göstermezken, yabani hint yağı bitkileri sararma (kloroz) göstermişlerdir. Aspir ve yabani hint yağı bitkileri için hasat öncesi (12. haftada) alınan bitki boyu ve fenolojik gözlem değerleri sırayla Çizelge 4.5'de ve yabani hint yağı için Çizelge 4.6.'de verilmiştir.

Yapılan haftalık gözlemler neticesinde aspir bitkisinde ilk dört toprak karışımında sağlıklı yeşil bitki gözlemlenirken, % 100 kirli toprakta yetişen aspir bitkisinde ciddi sararmalar görülmüş olup, 2. ve 3. tekerrürlerde ise 10. hafta itibariyle bitki tamamen kurumuştur. Topraktaki ağır metal derişimine bağlı olarak bitki boyunda bir azalma görülmüştür. Ayrıca çimlenme sayısının bütün toprak karışımlarında hemen hemen aynı olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.5. Denemede kullanılan toprak karışımlarında aspir bitkisinin ortalama çimlenme sayısı, hasat öncesi bitki boy uzunluğu, fenolojik gözlem değeri, belirtiler ve standart sapmaları

Toprak Karışımı	Çimlenme Sayısı	Bitki Boyu(cm)	Skala Puanı	Simptom
% 0	18±1,00	60±3,00	1	Sağlıklı, yeşil bitki,
% 25	19±1,53	58±6,08	2	Çok hafif kloroz (sararma), solgunluk
% 50	18±1,15	57,00±1,00	1	Sağlıklı, yeşil bitki
% 75	18±0,58	50,00±0,00	1	Sağlıklı, yeşil bitki
% 100	19±0,58	32±27,54	4-5	Şiddetli kloroz ve nekrozlar (kuruma)-Ölü bitki

Çizelge 4.6. Denemede kullanılan toprak karışımlarında yabani hint yağı bitkisinin ortalama çimlenme sayısı, hasat öncesi bitki boy uzunluğu, fenolojik gözlem değeri, belirtiler ve standart sapmaları

Toprak Karışımı	Çimlenme Sayısı	Bitki Boyu(cm)	Skala Puanı	Simptom
% 0	9±1,53	101±6,56	3	Orta şiddette kloroz, renk değişikliği
% 25	8±2,31	87±0,58	2	Çok hafif kloroz (sararma), solgunluk
% 50	8±2,00	88±8,33	2	Çok hafif kloroz (sararma)
% 75	9±0,58	100±13,23	2	Çok hafif kloroz (sararma)
% 100	8±2,52	68±10,44	4	Şiddetli kloroz ve nekrozlar (kuruma), solgunluk

Yabani hint yağı bitkisinde yapılan haftalık gözlemler neticesinde bütün toprak karışımlarında çimlenme sayısı birbirine yakın çıkmıştır. Bitki boyunun en uzun temiz toprak (% 0), en kısa ise kirli toprakta yetişen bitkilerde olduğu görülmüştür. Bütün toprak karışımlarındaki yabani hint yağı bitkilerinde hafif sararma ve solgunluklar görülmekle beraber, % 100 kirli toprakta daha şiddetli kuruma ve yaşlı yapraklarda ciddi sararmalar görülmüştür.

Denemede kullanılan toprak karışımlarının aspir ve yabani hint yağı bitkisinin çimlenme sayısı, hasat öncesi bitki boy uzunluğuna etkisi Çizelge 4.7.'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Denemede kullanılan toprak karışımlarında yetişen aspir ve yabani hint yağı bitkisinin çimlenme sayısı ve hasat öncesi bitki boy uzunluğu yönünden ortalamaların karşılaştırılması

Bitki	Çimlenme Sayısı	Bitki Boyu(cm)
Aspir	18,2667 a	51,333 b
Yabani Hint Yağı	8,3333 b	88,933 a
LSD (0,05)	0,8468	8,521

Yapılan istatistiksel analizde çimlenme sayısı ve bitki boyu arasında iki bitki arasında önemli bir farklılık olduğu görülmüştür. Ancak toprak karışımlarındaki çoklu metal dozunun artması her iki bitkide de istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığını göstermiştir.

4.2.2. Artan Çoklu Metal Dozlarının Bitki Büyümesi ve Klorofil İçeriğine Etkisi

Kirli toprağın temiz toprağa %0, 25, 50, 75 ve 100 oranında karıştırılmasıyla hazırlanan topraklarda hasat öncesi (12. haftada) Cd, Pb ve Zn'nun aspir ve yabani hint yağı bitkisinin gelişimine etkisi sırayla Şekil 4.1.ve 4.2'de gösterilmiştir. Şekillerden de görüldüğü üzere temiz toprak (%0) ile kıyaslandığında çoklu metal dozu arttıkça her iki bitkide de büyümede istatistiksel olarak önemli bir azalma gözlenmiştir.

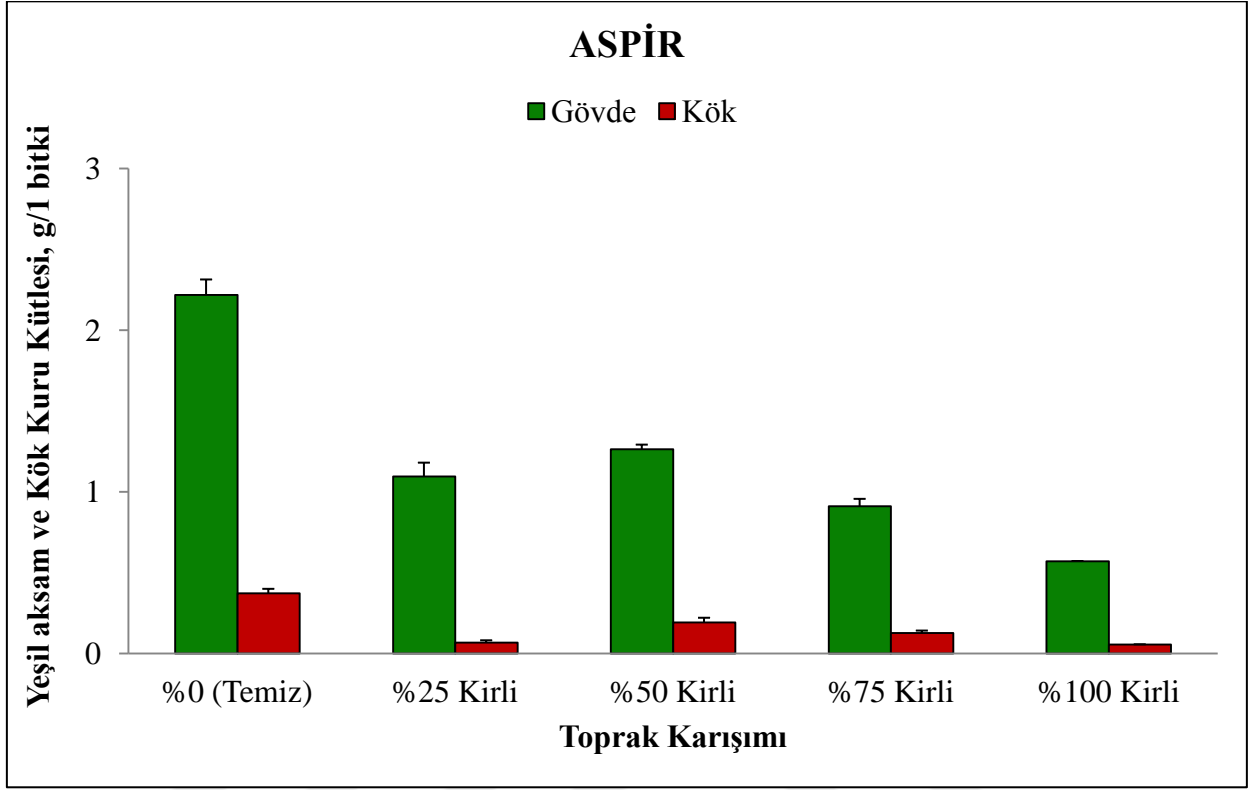


Şekil 4.1. Denemede kullanılan toprak karışımlarında hasat öncesi aspir bitkilerinin genel görünümü

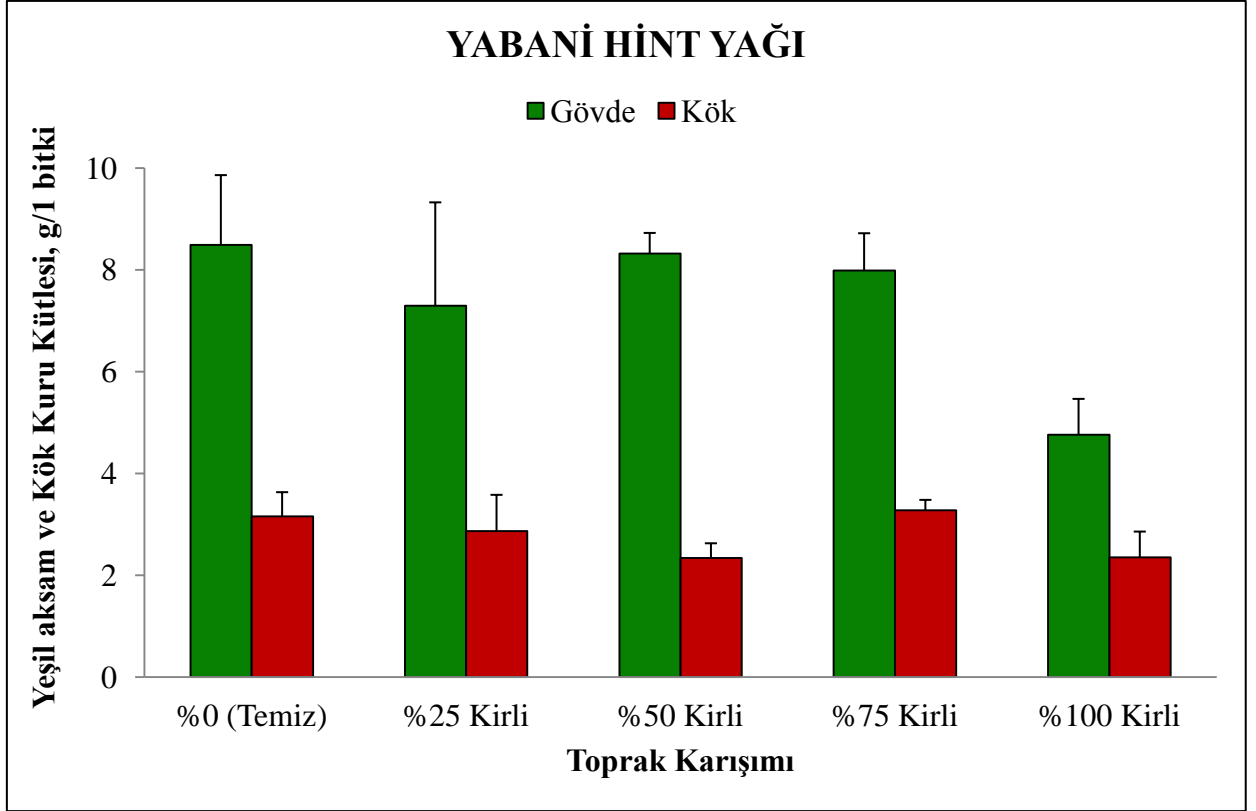


Şekil 4.2. Denemede kullanılan toprak karışımlarında hasat öncesi yabani hint yağı bitkilerinin genel görünümü

Denemede kullanılan toprak karışımlarında sırayla aspir ve yabani hint yağı bitkisinin kök ve yeşil aksam kuru kütleleri Şekil 4.3. ve Şekil 4.4.'de verilmiştir.



Şekil 4.3. Denemede kullanılan toprak karışımlarında aspir bitkisinin kök ve yeşil aksam kuru kütleleri ve standart sapmaları (n=3)



Şekil 4.4. Denemede kullanılan toprak karışımlarında yabani hint yağı bitkisinin kök ve yeşil aksam kuru kütleleri ve standart sapmaları (n=3)

Yapılan istatistiksel analize göre artan toprak karışımına bağlı olarak artan çoklu metal dozu kök ve yeşil aksam kütlelerini önemli miktarda azaltmaktadır. Yabani hint yağı, aspire göre daha fazla biyokütle üretmiştir. Aspir bitkisinin yeşil aksam ve kök kuru kütlelerinde toprağın kirlilik derecesine bağlı olarak istatistiksel olarak önemli ($p<0,05$) bir azalma görülmüştür.

Çizelge 4.8. Denemede kullanılan toprak karışımlarındaki çoklu metal dozunun aspir ve yabani hint yağı bitkisinin yeşil aksam kuru kütlesi, çoklu metal derişimi ve içeriği ve klorofil üzerine etkisi

Toprak Karışımı	Yeşil Aksam KK* (g/bitki)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Klorofil Alt Yaprak	Klorofil Üst Yaprak
% 0	5,3550 aa	1,980 d	5,698 d	200,73 d	31,150bb	46,050a
% 25	4,1967 bb	21,292 c	16,602 c	498,67 c	28,067bb	35,500b
% 50	4,7933 ba	25,748 bb	29,955 b	625,23 bb	43,233aa	50,317aa
% 75	4,4483 ba	32,847 a	50,795 aa	800,32 aa	36,217ba	45,117aa
% 100	2,6667 c	27,828 b	50,235 a	693,50 ba	14,033c	17,833 c
LSD (0,05)	1,0058	3,0555	8,7576	120,28	10,808	7,1471

*KK: Kuru Kütle

**ÖD: Önemli Değil

Çizelge 4.9. Denemede kullanılan toprak karışımlarında yetişen aspir ve yabani hint yağı bitkisinin yeşil aksam kuru kütlesi, çoklu metal derişimi ve içeriği ve klorofil yönünden ortalamalarının karşılaştırılması

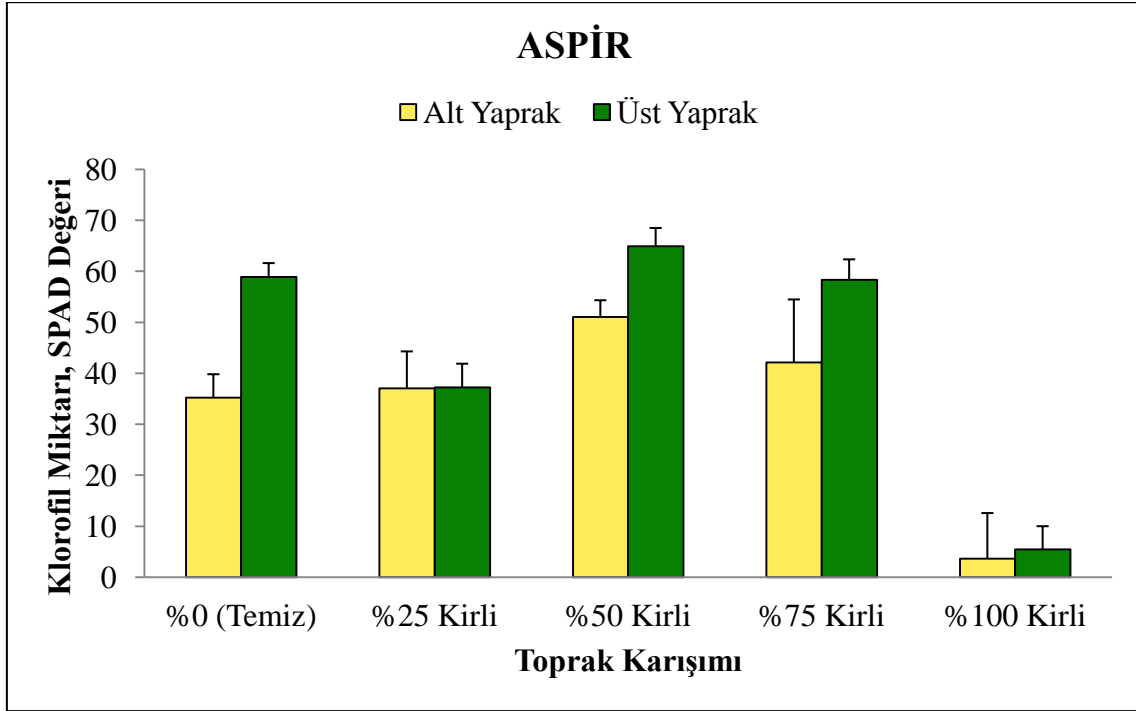
Bitki	Yeşil Aksam KK* (g/bitki)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Klorofil Alt Yaprak	Klorofil Üst Yaprak
Y. Hint Yağı	7,373a	35,7914a	33,255aa	777,80a	33,833 aa	44,960 a
Aspir	1,211b	9,2867b	28,059a	349,58b	27,247 a	32,967 b
LSD (0,05)	0,636	1,9325	5,5388	76,07	6,8356	4,5202
	Önemli	Önemli	ÖD**	Önemli	ÖD	Önemli

*KK: Kuru Kütle **ÖD: Önemli Değil

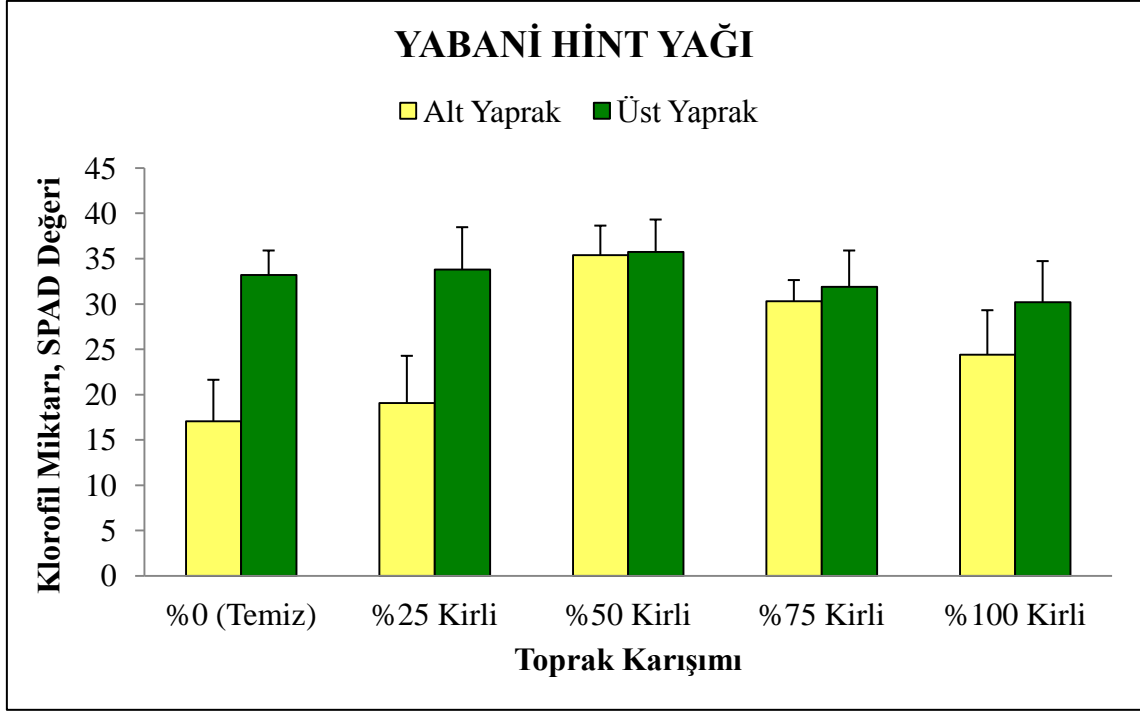
Denemede kullanılan toprak karışımlarında aspir ve yabani hint yağı bitkisinin klorofil miktarı ve standart sapmaları (n=3) sırayla Şekil 4.5. ve Şekil 4.6.'da verilmiştir. Aspir ve yabani hint yağı bitkileri kontrol bitkisinde klorofilde önemli bir azalma ile birlikte özellikle yabani hint yağı alt yapraklarda orta şiddette bir sararma göstermişlerdir. Fenolojik gözlemlerde alınan yabani hint yağı için tipik sararma (kloroz) belirtileri Şekil 4.1'de de görülebilir. Grewal vd. [1997] ve Khurana vd. [2001] kontrol bitkilerine kıyasla artan Zn uygulamasının bitki klorofil içeriğini arttırdığını bildirmişlerdir. Bu sonuç elde edilen verileri desteklemektedir. Aşırı dozlarda Zn'nun klorofil sentezini etkilemesinin asıl nedeni, toprakta yeterli Fe derişiminin bulunması halinde bile bitkinin Fe'den yararlanmasını engelleyerek klorofilin merkezinde bulunan Mg'un yerini almasıdır [van Assche ve Clijsters, 1990]. İki bitki arasında klorofil içeriği açısından alt yapraklarda istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmazken üst yapraklarda önemli bir fark ortaya çıkmıştır (Çizelge 4. 8.). Aspir üst yapraklarında yabani hint yağından daha az klorofil üretmiştir (Çizelge 4.9.). Toprak karışımlarındaki metal dozu arttıkça büyümeye paralel olarak özellikle %100 kirli toprakta klorofil içeriği önemli miktarda azalmıştır.

Toksik ağır metal alımı bitkide serbest radikal oluşumuna yol açmakta ve tilakoid membran lipitlerinin oksidatif yıkımına neden olmaktadır. Böylece klorofil yıkımı artmakta ve klorofil sentezi engellenmektedir [Zengin ve Munzuroğlu, 2005]. Özellikle Cd'un proteinlerin -SH gruplarındaki enzimleri inaktive ettiği, fotosentezi engellediği, stomaların kapanmasına, transpirasyon ile su kaybının azalmasına ve

klorofil biyosentezinin bozulmasına neden olduğu bilinmektedir [Sheoran, vd., 1990]. Aşırı Cd dozlarının klorofil biyosentezini bozmasının en önemli nedeni klorofil biyosentezinde görev yapan protoklorofil reduktaz ile aminolevulinik asit sentezini engellemesidir. Bu durum artan dozlarda bitki büyümesindeki azalmanında nedenidir.



Şekil 4.5. Denemede kullanılan toprak karışımlarında aspir bitkisinin klorofil miktarı ve standart sapmaları (n=3)



Şekil 4.6. Denemede kullanılan toprak karışımlarında yabani hint yağı bitkisinin klorofil miktarı ve standart sapmaları (n=3)

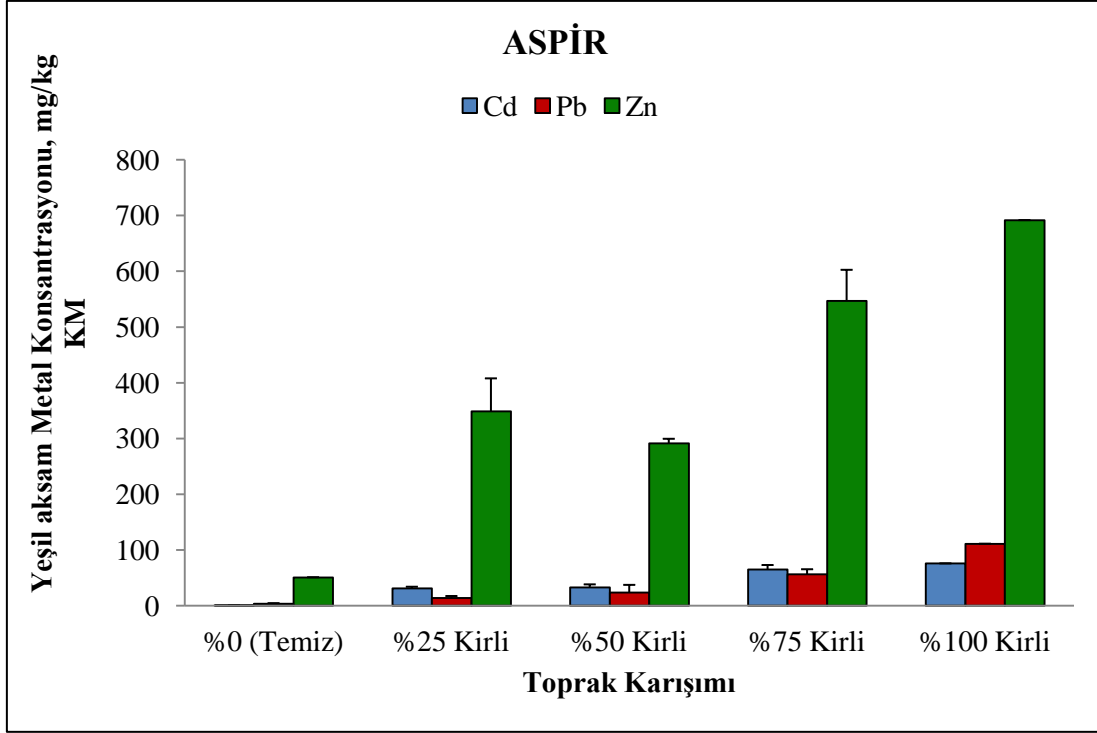
4.2.3. Artan Çoklu Metal Dozlarının Çoklu Metal Derişimi ve İçeriğine Etkisi

Ağır metallerle kirlenmiş toprakların arıtımında bitkilerin yeşil aksam metal derişimi fitoekstraksiyon yönünden önemlidir. Denemede kullanılan aspir ve yabani hint yağının bu yeteneğini belirlemek amacıyla yapılan araştırmada her bitkinin yeşil aksam ve kök çoklu metal derişimi ve içeriği belirlenmiştir. En yüksek çoklu metal derişimi %100 kirli toprak karışımında elde edilmiştir. Tüm artan dozlarda en fazla Zn, en az Cd derişimi ölçülmüştür. Her iki bitkide de kök, yeşil aksamdan daha fazla çoklu metal biriktirmiştir. Elde edilen bulgular Shi vd.'nin sonuçlarına benzer bulunmuştur [Shi ve Cai, 2009].

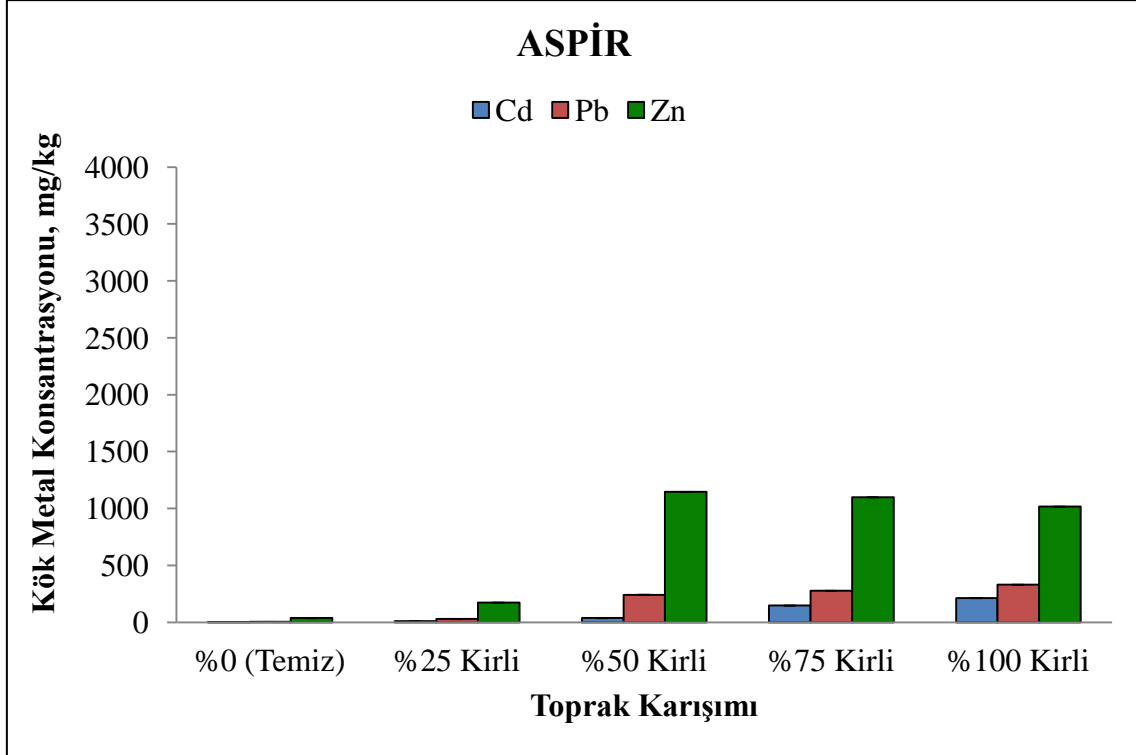
Çizelge 4.10.'de aspir ve yabani hint yağı bitkisinin topraktan aldığı metal derişimleri verilmiştir.

Çizelge 4.10. Aspir ve yabani hint yağı bitkisinin topraktan aldığı metal derişimleri (mg/kg) ve standart sapmaları (n=3)

Toprak Karışımı	ASPIR			YABANI HİNT YAĞI		
	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)
% 0	0,82±1,07	3,28±1,09	94,76±79,75	0,25±0,01	0,46±0,16	34,02±1,09
% 25	30,86±2,95	13,79±3,45	348,75±58,99	1,23±0,25	2,46±0,19	84,81±1,67
% 50	32,92±5,17	23,44±13,74	291,00±8,32	1,20± 0,12	3,64±0,35	106,52±19,64
% 75	64,93±7,90	56,10±9,13	546,78±55,75	1,61±0,22	6,41±1,00	138,25±10,03
% 100	75,75±0,00	111,05±0,00	691,75±0,00	2,64±0,10	7,85±1,01	208,13±6,51

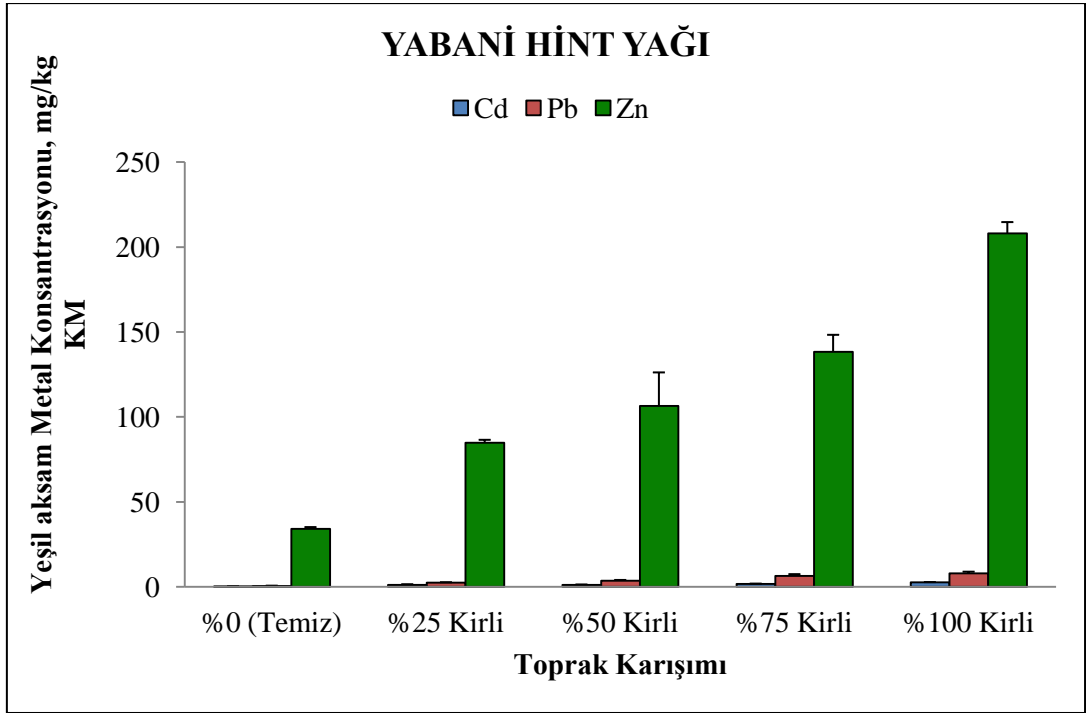


Şekil 4.7. Denemede kullanılan toprak karışımlarında aspir bitkisinin bitkisinin yeşil aksam metal derişimleri ve standart sapmaları (n=3)

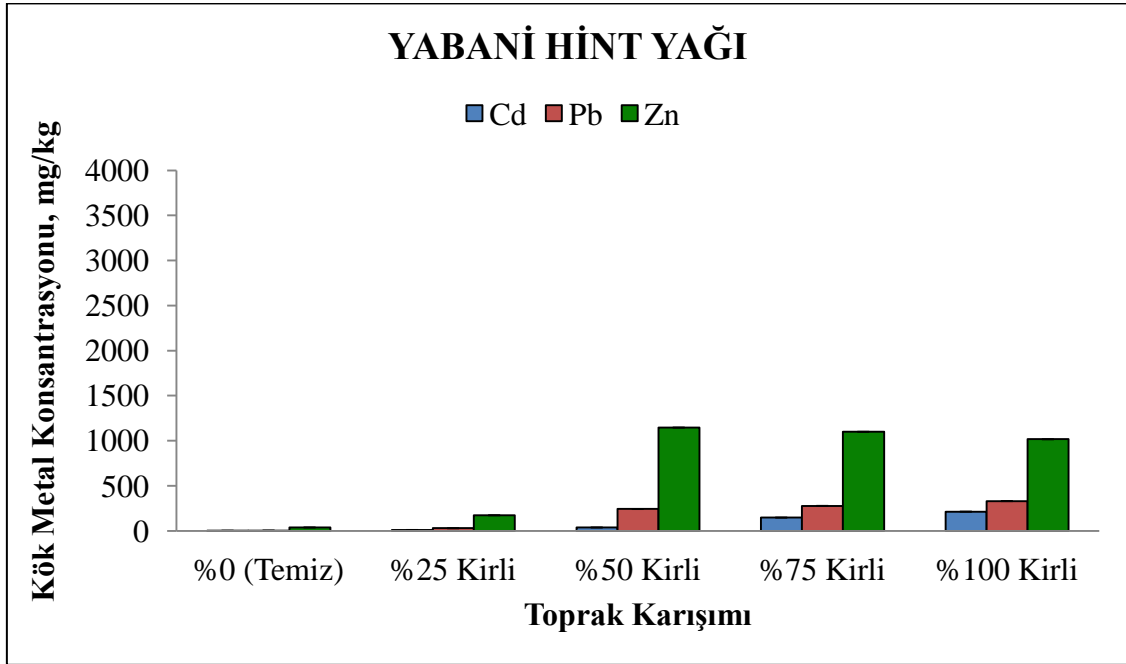


Şekil 4.8. Denemede kullanılan toprak karışımlarında aspir bitkisinin bitkisinin kök metal derişimleri ve standart sapmaları (n=3)

Denemede kullanılan toprak karışımlarında yabani hint yağı bitkisinin yeşil aksam ve kök metal derişimleri ve standart sapmaları (n=3) sırayla Şekil 4.9. ve Şekil 4.10.'da verilmiştir.



Şekil 4.9. Denemede kullanılan toprak karışımlarında yabani hint yağı bitkisinin yeşil aksam metal derişimi ve standart sapmaları (n=3)

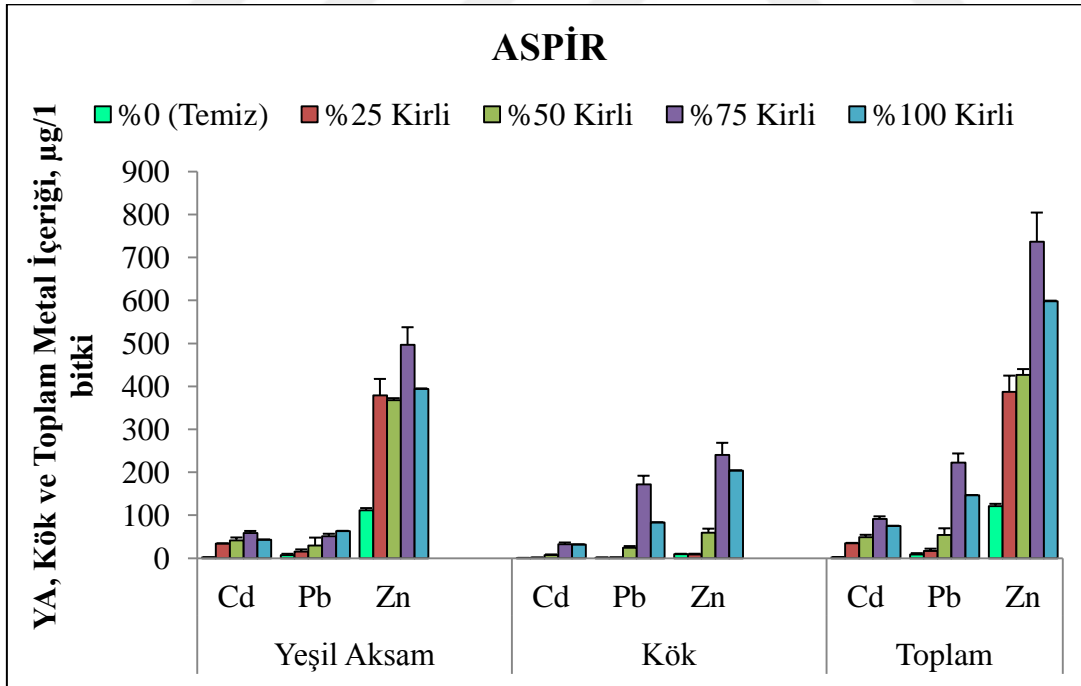


Şekil 4.10. Denemede kullanılan toprak karışımlarında yabani hint yağı bitkisinin kök metal derişimi ve standart sapmaları (n=3)

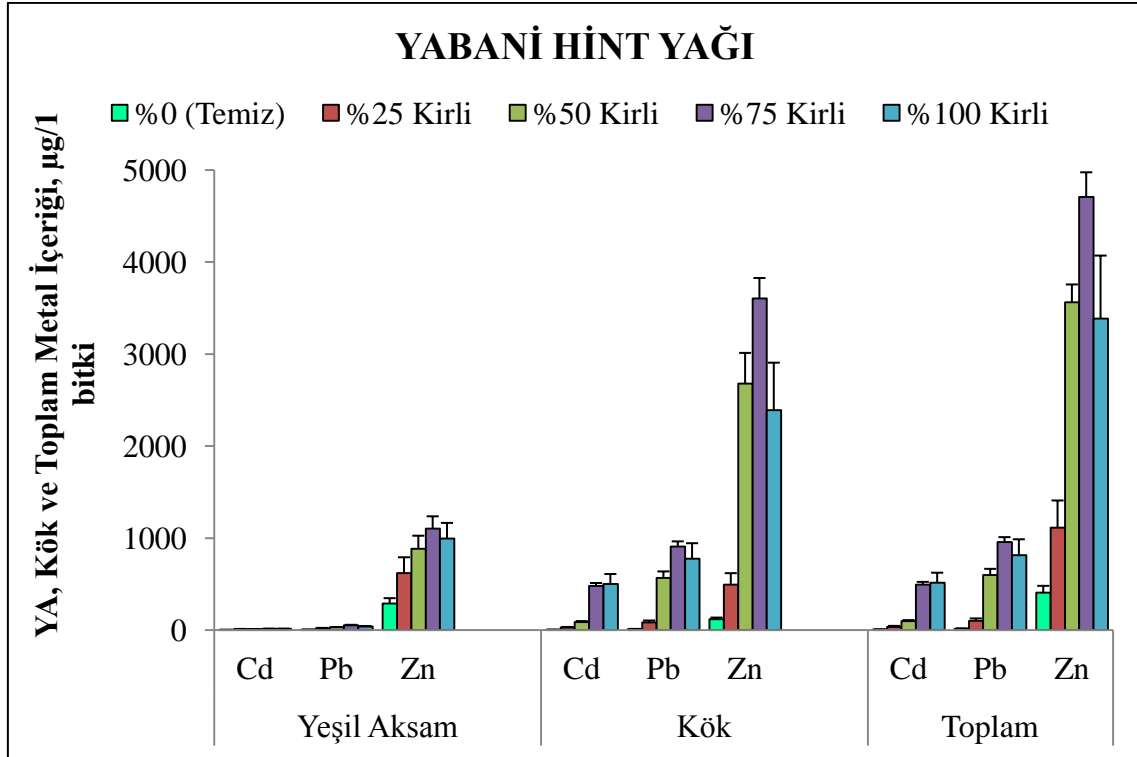
Aspir bitkisine benzer şekilde yabancı hint yağı bitkisinde de en yüksek çoklu metal derişimi %100 kirli toprak karışımında elde edilmiştir. Tüm artan dozlarda en fazla Zn, en az Cd derişimi ölçülmüştür. Kök, yeşil aksamdan daha fazla çoklu metal biriktirmiştir.

İstatistiksel olarak çoklu metal derişimi açısından iki bitki arasında Cd ve Zn için önemli bir fark var iken Pb derişimi açısından önemli bir fark görülmemiştir. Toprak karışımına bağlı olarak artan çoklu metal dozu arttıkça Cd, Pb ve Zn derişimi en fazla % 75 kirli toprakta belirlenmiştir.

Bitkilerin çoklu metal içeriği yani bir bitkinin topraktan kaldırdığı çoklu metal miktarı, o bitkinin kuru kütesinin derişimi ile çarpımından hesaplanır. Aspir ve yabancı hint yağı için hesaplanan yeşil aksam, kök ve toplam çoklu metal içeriği sırayla Şekil 4.11. ve Şekil 4.12.'de verilmiştir. Aspire kıyasla yabancı hint yağı bitkisi daha fazla biyokütle üretmesine bağlı olarak gerek yeşil aksam gerekse kök ile topraktan daha fazla Cd, Pb ve Zn uzaklaştırmıştır. Toprak karışımına bağlı olarak artan Cd, Pb ve Zn'nun birlikte artmasıyla toplamda en fazla Zn birikmiştir.



Şekil 4.11. Denemede kullanılan toprak karışımlarında aspir bitkisinin yeşil aksam, kök ve toplam çoklu metal içeriği ve standart sapmaları (n=3)



Şekil 4.12. Denemede kullanılan toprak karışımlarında yabani hint yağı bitkisinin yeşil aksam, kök ve toplam çoklu metal içeriği ve standart sapmaları (n=3)

Çizelge 4.11. Denemede kullanılan toprak karışımlarındaki çoklu metal dozunun aspir ve yabani hint yağı bitkisinin kök kuru kütlesi, çoklu metal derişimi ve içeriği ve toplam çoklu metal içeriği üzerine etkisi

Toprak Karışımı	Kök KK* (g/bitki)	Kök Cd (mg/kg)	Kök Pb (mg/kg)	Kök Zn (mg/kg)	Toplam Pb (µg/bitki)	Toplam Zn (µg/bitki)
% 0	1,7633 aa	2,26 cc	5,96 dd	63,3 c	11,66 dd	264,0 d
% 25	1,4683 ba	13,90 cb	42,02 d	251,7 cc	58,62 d	750,4 c
% 50	1,2650 bb	46,85 bb	295,43 c	1369,8 b	325,38 c	1995,0 b
% 75	1,7017 aa	256,74 a	539,48 a	1921,5 a	590,27 a	2721,8 a
% 100	1,2067 bb	266,37 aa	429,78 b	1297,3 bb	480,02 b	1990,8 bb
LSD(0,05)	0,4055	41,852	70,172	242,3	72,654	314,92

*KK: Kuru Kütle

Çizelge 4.12. Denemede kullanılan toprak karışımlarında yetişen aspir ve yabani hint yağı bitkisinin kök kuru kütlesi, çoklu metal derişimi ve içeriği ve toplam çoklu metal içeriği yönünden ortalamalarının karşılaştırılması

Bitki	Kök KK (g/bitki)	Kök Cd (mg/kg)	Kök Pb (mg/kg)	Kök Zn (mg/kg)	Toplam Cd (µg/bitki)	Toplam Pb (µg/bitki)	Toplam Zn (µg/bitki)
Aspir	2,800a	14,66 b	56,42 b	104,31 b	50,45 b	453,92 b	89,67 b
Y. Hint Yağı	0,162b	219,79 a	468,65 a	1857,12 a	229,07 a	2634,91 a	496,71 a
LSD (0,05)	0,265	26,47	44,381	153,24	27,357	199,17	45,95
	önemli	önemli	önemli	önemli	önemli	Önemli	önemli

*KK: Kuru Kütle

4.2.4. Artan Çoklu Metal Dozlarının N, P ve K Alımına Etkileri

Aspir için N (%), K (%) ve P (%) değerlerinde kontrole kıyasla N ve P içeriğinde %50 toprak karışımında, K içeriğinde ise %75 dozunda önemli bir artış görülmüştür (Çizelge 4.13. ve Çizelge 4.14.). Çinkonun aksine Cd ve Pb; insan, hayvan ve bitkiler için toksiktir. Ayrıca bitki bünyesinde azot ve karbonhidrat metabolizmalarını değiştirerek birçok fizyolojik değişikliğe neden olmaktadır. Toksik ağır metal alımı bitkide serbest radikal oluşumuna yol açmakta ve bitkilerin daha fazla besin elementi almasına neden olmaktadır.

Çizelge 4.13. Denemede kullanılan toprak karışımlarında aspir bitkisinin N, P ve K içerikleri ve standart sapmaları (n=3)

Toprak Karışımı	N (%)	P (%)	K (%)
% 0	4,30±0,28	0,22±0,04	1,77±0,16
% 25	4,37±1,07	0,16±0,01	1,80±0,32
% 50	5,09±0,45	0,29±0,02	1,88±0,09
% 75	4,29±1,27	0,26±0,06	2,27±0,72
% 100	2,87±0,00	0,10±0,00	1,03±1,79

Çizelge 4.14. Denemede kullanılan toprak karışımlarında yabani hint yağı bitkisinin N, P ve K içerikleri ve standart sapmaları (n=3)

Toprak Karışımı	N (%)	P (%)	K (%)
% 0	3,73±1,17	0,18±0,02	1,89±0,29
% 25	3,03±0,98	0,19±0,01	1,84±0,29
% 50	3,13±0,84	0,19±0,04	1,83±0,13
% 75	3,22±0,61	0,18±0,01	1,90±0,07
% 100	3,13±1,09	0,19±0,02	1,65±0,10

4.2.5. Artan Çoklu Metal Dozlarının Diğer Elementlerin Alımına Etkileri

Artan çoklu metal dozlarının diğer element (Fe, Ni, Cu, Ca, Mg, Na, Al, Si ve Cr) etkileri aspir ve yabani hint yağı içinsırayla Çizelge 4.15. ve Çizelge 4.16.'de verilmiştir. Aspir bitkisi Fe, Ni, Ca, Mg, Na, Al ve Si ve Cr alımında artan doza bağlı olarak artış gösterirken Cu azalma göstermiştir. Aspirin aksine yabani hint yağı gerek alım gerekse doza bağlı dalgalanma göstermiştir. Demir alımı %50 toprak karışımında en yüksek bulunurken doz arttıkça tekrar azalmıştır. Ca ve Mg doz arttıkça artmasına rağmen Si, Al, Mg, Ca ve Cu alımında %75 toprak karışımında azalıp %100 dozunda daha fazla alım göstermiştir.

Çizelge 4.15. Denemede kullanılan toprak karışımlarında aspir bitkisinin Fe, Ni, Cu, Ca, Mg, Na, Al, Si ve Cr derişimleri (mg/kg KK) ve standart sapmaları

Metal Derişimi (mg/kg)	Toprak Karışımı				
	%0	%25	%50	%75	%100
Fe	202,33±23,96	322,25±164,86	201,42±67,66	429,74±44,44	510,38±0,00
Ni	3,90±0,62	2,79±0,84	2,36±0,40	4,28±0,36	4,73±0,00
Cu	10,51±0,73	10,07±2,16	8,25±0,91	8,20±0,82	7,98±0,00
Ca	15025±1057,41	25941,67±4057,81	25062,50±3692,96	36786,11±2752,88	35587,50±0,00
Mg	4266,67±496,97	5251,25±836,42	5687,08±725,35	11026,39±919,58	11656±0,00
Na	222,08±8,58	277,54±51,98	290,21±13,75	702±138,92	2101,25±0,00
Al	221,67±11,93	354,33±195,06	179,18±77,57	606,33±95,12	806,88±0,00
Si	694,58±6,25	1145,92±562,44	665,0±241,86	2139,82±332,86	2687,5±0,00
Cr	2,67±0,29	2,48±1,00	2,27±0,98	3,55±0,61	4,83±0,00

Çizelge 4.16. Denemede kullanılan toprak karışımlarında yabani hint yağı bitkisinin Fe, Ni, Cu, Ca, Mg, Na, Al, Si ve Cr derişimleri (mg/kg KK) ve standart sapmaları

Metal Derişimi (mg/kg)	Toprak Karışımı				
	%0	%25	%50	%75	%100
Fe	96,93±50,05	81,35±41,05	68,64±4,46	62,70±7,49	73,05±5,33
Ni	1,37±0,49	1,34±0,43	3,80±0,28	1,43±0,24	1,20±0,05
Cu	5,06±0,27	6,57±0,58	3,59±0,19	3,60±0,04	6,69±1,29
Ca	13448,75±1548,97	15025,00±1057,41	15707,72±390,92	13517,05±359,24	15733,33±1588,75
Mg	2614,58±228,05	3105,00±337,25	3070,99±74,97	2992,50±183,20	3979,58±541,04
Na	293,04±10,50	454,46±54,33	251,02±24,16	317,29±38,76	1160,96±330,90
Al	29,30±9,95	23,42±6,26	25,25±0,72	20,53±4,15	25,48±6,53
Si	156,72±52,84	138,38±27,15	162,49±15,47	147,23±33,54	210,38±72,09
Cr	0,84±0,05	0,87±0,25	0,96±0,25	0,86±0,06	0,87±0,18

4.2.6. Bitkilerin Fitoekstraksiyon Kapasitesi

Bitki biyokütlesi, biyokonsantrasyon faktörü ve toprak kütlesi belirli bir bitki türünün fitoremediasyonu tanımlayan üç temel değişkendir [Zhao, vd., 2003].

Bitkilerin fitoremediasyon kapasitesini belirlemek amacıyla elde edilen bulgulardan materyal ve metotta verilen denklemlere göre tolerans indeksi ve biyoakümülyasyon faktörü aspir ve yabani hint yağı için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Denemede kullanılan toprak karışımlarında aspir ve yabani hint yağı bitkilerinin Cd, Pb, Zn için tolerans indeksleri Çizelge 4.17. ve 4.18.'de verilmiştir. Metal uygulanan bitki büyüme parametreleri çimlenme sayısı, bitki boyu ve kök ve yeşil aksam kuru kütlesi olarak hesaplanmıştır. Metal uygulanan bitki büyüme parametrelerinin (çimlenme sayısı, bitki boyu ve kök ve yeşil aksam kuru kütlesi) kontrol bitki büyüme parametrelerine oranından hesaplanan tolerans indeksi artan çoklu metal dozuna bağlı olarak herbir parametre için farklı sonuç vermiştir.

Çizelge 4.17. Denemede kullanılan toprak karışımlarında aspir bitkisinin Cd, Pb, Zn için yeşil aksam biyokonsantrasyon faktörleri (BKF_{YA}) ve kök biyokonsantrasyon faktörleri (BKF_K)

Toprak Karışımı	Cd BKF_{YA}	Pb BKF_{YA}	Zn BKF_{YA}	Cd BKF_K	Pb BKF_K	Zn BKF_K
% 0	0,43	0,17	0,54	0,576	0,194	0,271
% 25	0,25	0,002	0,01	0,138	0,003	0,036
% 50	0,14	0,002	0,04	0,159	0,0098	0,046
% 75	0,18	0,003	0,05	0,708	0,071	0,189
% 100	0,16	0,004	0,05	1,193	0,058	0,274

YA: Yeşil Aksam

K: Kök

Çizelge 4.18. Denemede kullanılan toprak karışımlarında yabani hint yağı bitkisinin Cd, Pb, Zn için yeşil aksam biyokonsantrasyon faktörleri (BKF_{YA}) ve kök biyokonsantrasyon faktörleri (BKF_K)

Toprak Karışımı	Cd BKF_{YA}	Pb BKF_{YA}	Zn BKF_{YA}	Cd BKF_K	Pb BKF_K	Zn BKF_K
% 0	0,13	0,02	0,368	0,678	0,175	0,402
% 25	0,01	0,0004	0,025	0,0762	0,005	0,050
% 50	0,005	0,003	0,016	0,153	0,019	0,170
% 75	0,004	0,0003	0,014	0,404	0,014	0,109
% 100	0,01	0,0003	0,016	0,441	0,013	0,076

YA: Yeşil Aksam

K: Kök

Aspir ve yabani hint yağı bitkileri için bütün toprak karışımlarında Cd, Pb ve Zn için yeşil aksam ve kök biyokonsantrasyon faktörleri değerleri 1'den küçüktür. Shi vd. (2009) 0-200 mg/kg Cd içeren topraklarda BKF değerini yeşil aksamda 0,24-0,30, kökte ise 6,83-12,59 arasında bulmuştur.

Elde edilen bulgular kök ve yeşil aksam Cd için Shi vd. ile benzerdir [Shi ve Cai, 2009]. Wang vd. yaptıkları çalışmada *Ricinus communis L.*'un hızla büyüyen yüksek biyokütleyle sahip bir biyoenerji bitkisi olduğunu belirtmiştir. Tek element için BKF değerleri Cd, Cu ve Zn için sırasıyla 1.20–1.97, 0.14–0.38 ve 0.65–1.48 iken sürgünlerde sırasıyla 0.41–0.68, 0.06–0.20 ve 0.93–1.88 değerleri arasında değiştiğini belirtmişlerdir [Wang, vd., 2016].

Çizelge 4.19. Denemede kullanılan toprak karışımlarında aspir bitkisinin Cd, Pb, Zn için çimlenme sayısı, bitki boyu ve kök ve yeşil aksam kuru kütlesi Tİ ve TF değerleri ve standart sapmaları

Toprak Karışımı	Tİ _{ÇS}	Tİ _{BB}	Tİ _{KKK}	Tİ _{YAKK}	Cd TF	Pb TF	Zn TF
% 0	-	-	-	-	0,19±0,01	0,14±0,05	0,92±0,03
% 25	89	86	91	86	0,13±0,03	0,09±0,01	0,49±0,01
% 50	89	87	74	98	0,03±0,00	0,02±0,00	0,09±0,02
% 75	100	99	104	94	0,01±0,00	0,02±0,00	0,13±0,01
% 100	89	67	75	56	0,01±0,00	0,02±0,00	0,20±0,01

ÇS:Çimlenme sayısı BB:Bitki boyu KKK:Kök kuru kütlesi YAKK:Yeşil Aksam kuru kütlesi

Çoklu metal stresi altında aspir bitkisi için çimlenme sayısı için Tİ_{ÇS} değerleri % 25, %50 ve % 100 toprak karışımlarında 89 iken % 75 toprak karışımında 100 olarak bulunmuştur. Bitki boyu için Tİ değeri en fazla % 75 toprak karışımında (%99) en az ise % 100 toprak karışımında (% 67) bulunmuştur. Tİ_{KKK} değerleri en fazla % 75 toprak karışımında (%104) en az ise % 50 toprak karışımında (%74) olarak bulunmuştur. Yeşil Aksam kuru kütlesinde Tİ en fazla % 50 toprak karışımında (%98) en az ise % 100 toprak karışımında (%56) bulunmuştur. TF değerleri ise bütün toprak karışımlarında Cd, Pb, Zn için 1'den küçüktür.

Çizelge 4.20. Denemede kullanılan toprak karışımlarında yabani hint yağı bitkisinin Cd, Pb, Zn için çimlenme sayısı, bitki boyu ve kök ve yeşil aksam kuru kütlesi Tİ ve TF değerleri ve standart sapmaları

Toprak Karışımı	Tİ _{ÇS}	Tİ _{BB}	Tİ _{KKK}	Tİ _{YAKK}	Cd TF	Pb TF	Zn TF
% 0	-	-	-	-	0,74±0,02	0,88±0,30	2,01±0,02
% 25	106	97	18	49	1,84±0,18	0,64±0,16	2,80±0,47
% 50	100	95	51	57	0,86±0,13	0,19±0,11	0,94±0,03
% 75	100	83	34	41	0,25±0,03	0,04±0,01	0,29±0,03
% 100	106	53	15	26	0,13±0,00	0,07±0,00	0,19±0,00

ÇS:Çimlenme sayısı BB:Bitki boyu KKK:Kök kuru kütlesi YAKK:Yeşil Aksam kuru kütlesi

Çoklu metal stresi altında yabani hint yağı bitkisi için çimlenme sayısı için Tİ_{ÇS} değerleri % 25 ve % 100 toprak karışımlarında 106 iken % 50 ve % 75 toprak karışımlarında 100 olarak bulunmuştur. Tİ_{BB} değerleri topraktaki kirliliğin artmasına bağlı olarak azalma görülmüştür. Bitki boyu için Tİ değeri en fazla % 25 toprak karışımında (% 97) en az ise % 100 toprak karışımında (% 53) bulunmuştur. Tİ_{KKK} değerleri en fazla % 50 toprak karışımında (% 51) en az ise % 100 toprak karışımında (% 15) olarak bulunmuştur. Yeşil Aksam kuru kütlesinde Tİ en fazla % 50 toprak karışımında (% 57) en az ise % 100 toprak karışımında (%26) bulunmuştur. TF değerleri Cd için % 25 toprak karışımı hariç diğer toprak karışımlarında 1'den küçüktür. % 25 toprak karışımında ise 1,84 olarak bulunmuştur. Kurşun için bütün TF değerleri 1'den küçüktür. Zn'nun TF değerleri ise toprağın kirliliğine bağlı olarak temiz toprakta en fazla (2,01) iken kirli toprakta en azdır (0,19). Saraswat vd. (2009) 6 farklı bitki türünde yaptıkları çalışmada tüm bitkilerde Zn için translokasyon faktörü (TF) 1'den büyük bulmuştur [Saraswat, 2009]. Başka bir çalışmada ise Singh vd. kirli ve temiz toprakta yaptıkları çalışmanın sonucunda kirlenmiş toprağın yeşil aksamındaki TF değerlerini sırasıyla Mn (1,38) > Fe (1,27) > Pb (1,03) Ni (0,94) > Zn (0,85) > Cd (0,82) > Cr (0,73) tespit edilmiştir [Singh, vd., 2010]. Hadi vd. ise *Ricinus communis L.* ile yaptıkları çalışmada Translokasyon

Faktörü (TF) kök, yeşil aksam ve yapraklarında sırasıyla 0.645-0.857 ve 0.626-0.837 arasında bulmuştur. Tüm BKF ve TF değerleri 1'den az bulmuşlardır [Hadi, vd, 2015]. Benzer bir çalışma Pandey tarafından *Ricinus communis L.* bitkisi ile yapılmıştır, çalışmada TF'ünü tüm metaller için 1'den küçük bulmuştur, bu da metallerin bitkinin kök kısmında stabilize olduğunun göstermektedir [Pandey, 2013]. Wuana vd. [2016] yabani hint yağı bitkisi (*Ricinus communis*) ile yaptıkları çalışmada kök ve yeşil aksamdaki translokasyon faktörleri ve biyoakümülyasyon faktörler sırasıyla 0,21-3,49, 0,01-0,89 ve 0,01-0,51 bulmuşlardır. Ağır metal toleransının sınıflandırılmasında kök ve yeşil aksam büyümesi önemli bir parametredir [Diwan, vd., 2010]. Wang yaptığı çalışmada Cd, Cu ve Zn için TF değerleri sırasıyla 0,45-0,61, 0.38-0.97 ve 1.02-1.59 arasında değişmektedir [Wang, vd., 2016].

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. SONUÇ

Yapılan çalışmada aspir ve yabani hint yağının aşırı düzeyde Cd, Pb ve Zn ile kirlenmiş bir toprakta büyüebildiği gözlemlenmiş ayrıca bitki yeşil aksamında ve kökte Cd, Pb ve Zn derişimleri tespit edilmiştir.

İstatistiksel olarak çoklu metal derişimi açısından iki bitki arasında Cd ve Zn için önemli bir fark var iken Pb derişimi açısından önemli bir fark görülmemiştir. Toprak karışımına bağlı olarak artan çoklu metal dozu arttıkça Cd, Pb ve Zn derişimi en fazla %75 kirli toprakta belirlenmiştir.

Aspire kıyasla yabani hint yağı bitkisi daha fazla biyokütle üretmesine bağlı olarak gerek yeşil aksam gerekse kök ile topraktan daha fazla Cd, Pb ve Zn uzaklaştırmıştır. Toprak karışımına bağlı olarak artan Cd, Pb ve Zn'nun birlikte artmasıyla toplamda en fazla Zn birikmiştir.

Aspir ve yabani hint yağı bitkileri için bütün toprak karışımlarında Cd, Pb ve Zn için yeşil aksam ve kök biyokonsantrasyon faktörleri değerleri 1'den küçüktür.

TF değerleri aspir için bütün toprak karışımlarında Cd, Pb, Zn için 1'den küçüktür. Yabani hint yağı içinse TF değerleri Cd için % 25 toprak karışımı hariç diğer toprak karışımlarında 1'den küçüktür. % 25 toprak karışımında ise 1,84 olarak bulunmuştur. Pb için bütün TF değerleri 1'den küçüktür. Zn'nun TF değerleri ise toprağın kirliliğine bağlı olarak temiz toprakta en fazla (2,01) iken kirli toprakta en azdır (0,19).

Aspir ve yabani hint yağı bitkilerinde kök, yeşil aksamdan daha fazla çoklu metal biriktirdiği için bu bitkiler fitostabilizatör olarak tanımlanabilir. Biyodizel üretiminde bu iki bitki potansiyel aday olabilir. Aspirin özellikle Cd, Pb ve Zn'un topraktan uzaklaştırılmasında ardışık olarak birden fazla ekildiğinde etkili olabileceği sonucuna varılmıştır.

5.2. ÖNERİLER

Giderim işlemi fitoremediasyon işlemi sonunda ağır metal birikimi olmuş bitki kök, yeşil aksam veya yaprakların ıslah edilmesi kapsamında yakılarak, uygun özelliklere sahip ise hayvanlar için yem bitkisi olarak kullanılarak veya uygun bir alanda depolanarak başarılı bir sonuç elde edilebilir.

Hasat edilen materyalin ne şekilde arıtılabileceğiyle ilgili detaylı çalışmalar yapılmalıdır. Ayrıca bitkilerin kirleticiyi danesine taşıyıp taşımadığı ve yağ içeriğine etkisi araştırılmalıdır.



KAYNAKLAR

Aksoy, A., and Sahin, U., "*Elaeagnus angustifolia L.* as a Biomonitor of Heavy Metal Pollution", Turkish Journal of Botany, 23(2), 83-88, (1999).

Al Chami, Z., Amer, N., Al Bitar, L., and Cavoski, I., "Potential use of Sorghum bicolor and Carthamus tinctorius in phytoremediation of nickel, lead and zinc", International Journal of Environmental Science and Technology, 12(12), 3957-3970, (2015).

Albretson, J.C., Gwaltner-Brant, S.M., and Khan, S.A., "Evaluation of castor bean toxicosis in dogs: 98 cases", Journal of the American Animal Hospital Association, 36(3), 229-233, (2000).

Altın, A., "Ağır Metaller ile Kirlenmiş Zeminlerin Elektrokinetik Yöntemle Arıtılabilirliğinin İncelenmesi", Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 151s., (2003).

Altın, A., "Yer Altı Suyu ve Toprak Kirliliği Arıtımında Kullanılan Yöntemler", I. Ulusal Çevre Kongresi Bildiri Kitabı, 173-182, Sivas, (2004).

Angelova, V. R., Akova, V. I., Krustev, S. V., & Ivanov, K. I., "Potential of Safflower (*Carthamus tinctorius L.*) for Phytoremediation of Soils Contaminated with Heavy Metals", World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering, 9(6), 580-587, (2015).

Babaoğlu, M., "Dünya'da ve Türkiye'de aspir bitkisinin tarihi, kullanım alanları ve önemi", Broşür, Trakya Tarımsal Araştırmalar Enstitüsü, Edirne, (2006).

Baker, A.J.M., and Brooks, R., “Terrestrial higher plants which hyper accumulate metallic elements: A review of their distribution, ecology and phytochemistry”, *Biorecovery* 1(2), 81-126, (1989).

Bonjean, A., “Castor Available”, <http://www.ienica.net/crops/castor.html> (11.04.2016).

Bouyoucos, G. J., “A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils”, *Agronomy journal*, 43(9), 434-438. (1951).

Centro Laboratuvarı, *Kurşun Zehirlenmesi*, DIN EN ISO 15189, (2003).

Çepel, N., “Toprak Kirliliği Erozyon ve Çevreye Verdiği Zararlar”, *TEMA Vakfı Yayınları* 14, 31-39, (1997).

Davis, PH., “Flora of Turkey and East Aegean Islands”, Vol. 1-9, Edinburgh Univ. Pres. Edinburgh, (1965-1985).

Davis, PH., Mill, R.R., Tan, K., “Flora of Turkey and East Aegean Islands”, Vol. 10, Edinburgh Univ. Press, Edinburgh, (1988).

De Souza Costa, E. T., Guilherme, L. R. G., de Melo, É. E. C., Ribeiro, B. T., Euzelina dos Santos, B. I., da Costa Severiano, E., and Hale, B. A., “Assessing the tolerance of castor bean to Cd and Pb for phytoremediation purposes”, *Biol Trace Element Res*, 145(1):93-100, (2012).

Demir, A., “Kombine Edilmiş Sürekli Bir Sistemde Topraktan Kurşun ve Nikel Gideriminin Araştırılması”, *Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 233 s., (2013).

Demirezen, D., and Aksoy, A., “Heavy metal levels in vegetables in Turkey are within safe limits for Cu, Zn, Ni and exceeded for Cd and Pb”, *Journal of food quality*, 29(3), 252-265, (2006).

Diwan, H., Khan, I., Ahmad, A., Iqbal, M., “Induction of phytochelatin and antioxidant defence system in *Brassica juncea* and *Vigna radiata* in response to chromium treatments”, *Plant Growth Regulation*, 61(1), 97-107, (2010).

Doğan, B. S., “İki Farklı Yıkama Çözeltisi (EDTA ve HCl) ile Ağır Metal Giderimi Sonucu Toprak Yapısındaki Değişimlerin Araştırılması”, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 68 s., (2012).

Düzgüneş, O., Kesici, T., Kavuncu, O., ve Gürbüz, F., “Araştırma ve Deneme Metodları”, (İstatistik Metodları-II), Ankara. Üniversitesi Ziraat Fak. Yayınları 1021, (1987).

EPA Method 3051, “Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils and Oils, in: Test Methods for Evaluating Solid Waste, third ed, 3rd Update”, U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC, (1995).

EPA, U. "Introduction to Phytoremediation. EPA-report EPA." (2000).

Erika-Andrea, L., Mirela, M., Marin, Ş., Oana, C., Cecilia, R., and Valer, M., “Assessment of Pb, Cd, Cu and Zn availability for plants in Baia Mare mining region”, *Journal of Plant Development*, 17:139-144, (2010).

Etim, E. E., “Phytoremediation and Its Mechanisms: A Review *International Journal of Environment and Bioenergy*”, 2(3): 120-136, (2012).

Gilbert, J., Knights, S. E., and Potter, T. D., “International safflower production – An Overview, *Agri-MC Marketing and Communication*, 1-7,(2008).

Grewal, H.C., and Graham R.D., “Content Influences Early Vegetative Growth and Zinc Uptake In Oil Seed Rape (*Brassica napus* and *juncea*), Genotypes On Zinc Deficient Soil”, *Plant and Soil*, 192:191-197, (1997).

Grispen, V. M., Nelissen, H. J., and Verkleij, J. A., “Phytoextraction with *Brassic napus* L.: a tool for sustainable management of heavy metal contaminated soils”, *Environmental Pollution*, 144(1), 77–83, (2006).

Güner, A., Özhatay, N., Ekim, T., and Başer, KHC., *Flora of Turkey and East Aegean Islands*. Vol. 11, Second Supplement, Edinbrugh, (2000).

Hadi, F., Arifeen, M. Z. U., Aziz, T., Nawab, S., and Nabi, G., “Phytoremediation of Cadmium by *Ricinus communis* L. in Hydroponic Condition” *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 15 (6): 1155-1162, (2015).

Heavy Metal Symptoms and Sources, <http://www.livelongercleanse.com/heavy-metal-sources.html> (10.06.2016).

<http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/minimize/cadmium.pdf/html> (18.05.2016)

Huang, H., Yu, N., Wang, L., Gupta, D. K., He, Z., Wang, K., and Yang, X. E. “The phytoremediation potential of bioenergy crop *Ricinus communis* for DDTs and cadmium co-contaminated soil”, *Bioresource Technology* 102 (23), 11034–11038, (2011).

International Cadmium Association, <http://www.cadmium.org/html> (18.04.2016)

Kabata-Pendias, A., and Mukherjee, A.B, “Trace Elements from Soil to Human”, Springer Berlin Heidelberg and Business Media, 1-519, (2007).

Kabata-Pendias, A., and Pendias, H., “Trace Elements in Soils and Plants”, 2nd ed. CRC Pres, (1992).

Kacar, B., “Bitki besleme uygulama kılavuzu”, *Ankara Üniversitesi Ziraat Fak. Yayınları*, 900, (1984).

Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., ve Timur, S., “Metallerin çevresel etkileri-I”, *Metalurji Dergisi*, 136, 47-53, (2003).

Karami, A., and Shamsuddi, Z.H., “Phytoremediation of heavy metals with several efficiency enhancer methods”, *Afr. J. Biotechnol.* 9(25), 3689-3698, (2010).

Kartal, S., Elçi, L., and Kılıçel, F. “Investigation of soil pollution levels for zinc, copper, lead, nickel, cadmium and manganese at around of cinkur plant in Kayseri”, *Fresenius Environmental Bulletin*, 2(10), 614-619, (1993).

Khurana, N., and Chatterjee, C., “Influence of Variable Zinc on Yield, Oil Content, and Physiology of Sunflowers”, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32:3023-3030, (2001).

Kılıçel, F., "Çinkur Çevresindeki Topraklarda Ağır Metal Kirliliğinin (Cu, Ni, Cd, Pb, Mn, Zn) Atomik Absorpsiyon Spektrometri Yöntemiyle Tayini", *Kayseri Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.*, (1992).

Knowles, P.F., “Safflower: Genetics and breeding. in: improvement of oilseed and industrial crops by induced mutations”, *International Atomic Energy Agency*, 89-101, Vienna, (1982).

Kocaer, F. O., ve Başkaya, H. S., “Metallerle Kirlenmiş Toprakların Temizlenmesinde Uygulanan Teknolojiler”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 8 (1): 121-131, (2003).

Lasat, M. M., “Phytoextraction of metals from contaminated soil: A review of plant/soil/metal interaction and assessment of pertinent Agronomic Issues”, *Journal of Hazardous Substance Research*, 2 (5): 1 – 25, (2000).

- Lenntech, Water Treatment Solutions, <http://www.lenntech.com/Periodic-chart-elements/Zn-en.html> (15.03.2016).
- Li, S., Zhang, G., Gao, W., Zhao, X., Deng, C., and Lu, L., “Plant growth, development and change in GSH level in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) exposed to copper and lead”, *Arch Biol Sci Belgrade*, 67(2), 385-396, (2015).
- Lindsay, W.L., and Norvell, W.A., “Development of a DTPA Test for Zinc, Iron, Manganese, and Copper”, *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 42:421-428, (1978).
- Loeppert, R. H., and Suarez, D. L., Carbonate and Gypsum, “*In Methods of Soil Analysis Part 3 Chemical Methods* ed”, Spark Madison, Wisconsin, USA, 437-474, (1996).
- Lombi, E., Zhao, F. J., Dunham, S. J., and Mc Grath, S. P. “Cadmium accumulation in populations of *Thlaspi caerulescens* and *Thlaspi goesingense*”, *New Phytologist*, 145(1), 11-20, (2000).
- Luseba, D., Elgorashi, E. E., Ntloedibe, D. T. and Van Staden, J., “Antibacterial, anti-inflammatory and mutagenic effects of some medicinal plants used in South Africa for treatment of wounds and retained placenta in livestock”, *South African Journal of Botany* 73(3). 378–383, (2007).
- Malik, R.N., Husain, S.Z., and Nazir, I., “Heavy metal contamination and accumulation in soil and wild plant species from industrial area of Islamabad”, *Pakistan. Pak. J. Bot.*, 42(1), 291-301, (2010).
- Markwell, J., Osterman, J. C., and Mitchell, J. L., “Calibration of the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter”, *Photosynthesis research*, 46(3), 467-472, (1995).

Melo, E. E. C., Costa, E. T. S., Guilherme, L. R. G., Faquin, V., and Nascimento, C. W. A., “Accumulation of arsenic and nutrients by castor bean plants grown on an As-enriched nutrient solution”, *Journal of hazardous materials*, 168(1), 479-483. (2009).

Movahhedy-Dehnavy, M., Modarres-Sanavy, S. A. M., and Mokhtassi-Bidgoli, A., “Foliar application of zinc and manganese improves seed yield and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown under water deficit stress”, *Industrial Crops and Products*, 30(1), 82-92, (2009).

Munzuroğlu, Ö., ve Gür, N., “Ağır metallerin elma (*Malus sylvestris* Miller cv. Golden)’da polen çimlenmesi ve polen tüpü gelişimi üzerine etkileri”, *Turk J Biol*, 24, 677-684. (2000).

Nosrati, S., Asli, E. D., and A. Pazoki., “Studying the resistance, absorption and accumulation of cadmium in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) plant”, *Ann. Biol, Res.* 4, 169-173, (2013).

Olivares, A. R., Carrillo-González, R., González-Chávez, M. D. C. A., and Hernández, R. M. S., “Potential of castor bean (*Ricinus communis* L.) for phytoremediation of mine tailings and oil production ”, *Journal of environmental management*, 114, 316-323, (2013).

Olsen, S.R. and Sommers, L.E. “Phosphorus soluble in sodium bicarbonate”, Pages 421-422 in A. L. Page, R. H. Miller, D. R. Keeney, eds. *Methods of Soil Analysis. Part 2.* Madison, WI: America Society of Agronomy, (1982).

Özbek, K., “Hiperakümülayon ve Türkiye florasındaki hiperakümülatör türler, Ankara, (2015).

Pandey, V.C., “Suitability of *Ricinus communis* L. cultivation for phytoremediation of fly ash disposal sites”, *Ecological engineering* 57, 336-341, (2013).

- Pinto, E., Sigaud-kutner, T., Leitao, M. A., Okamoto, O. K., Morse, D., and Colepicolo, P. "Heavy metal-induced oxidative stress in algae", *Journal of Phycology*, 39(6), 1008-1018, (2003).
- Pisani, P. L., and I. A. Mirsal., "Soil pollution: Origin, Monitoring and Remediation", 149- 149, (2004).
- Pivetz, B. E., "Ground water issue: phytoremediation of contaminated soil and ground water at hazardous waste sites", National Risk Management Research LAB ADA OK, (2001).
- Rether A., "Entwicklung und Charakterisierung wasserlöslicher Benzoylthioharnstoff-funktionalisierter Polymere zur selektiven Abtrennung von Schwermetallionen aus Abwässern und Prozesslösungen", Diss. Universität München, (2002).
- Richards, L. A., "Diagnosis and Improvement Saline and Alkaline Soils", U.S. Dep. Agr. Handbook 60, (1954).
- Rout, G. R., and Das, P., "Effect of metal toxicity on plant growth and metabolism: I. Zinc", In *Sustainable Agriculture*, 873-884, (2009).
- Saraswat, R. J.P.N., "Phytoextraction potential of six plant species grown in multimetal contaminated soil", *Chem. Ecol.*, 25, 1-11, (2009).
- Sas-Nowosielska, A., Kucharskia, R., Ma_Kowskib, E., Pogrzebaa, M., Kuperbergc, J.M., Kryn'ski, K., "Phytoextraction crop disposal-an unsolved problem", *Environmental Pollution*, 128(3), 373-379 (2004).
- Shanker, A.K., Cervantes, C., Loza-Tavera, H., and Avudainayagam, S., Chromium toxicity in plants, *Environment International*, 31(5), 739-753, (2005).

Sharma, H., “Metal Hyperaccumulation in Plants: A Review Focusing on Phytoremediation Technology”, *Journal of Environmental Science and Technology*, 4 (2): 118 – 138, (2011).

Sheoran, I. S., Singal, H. R., and Singh, R., “Effect of Cadmium and Nickel on Photosynthesis and Enzymes of the Photosynthetic Carbon Reduction Cycle in Pigeon Pea (*Cajanus cajan* L.) ”, *Photosynthesis Research*, 23:345-351, (1990).

Shi, G., and Cai, Q., “Cadmium tolerance and accumulation in eight potential energy crops” *Biotechnology Advances*, 27(5), 555–561, (2009).

Shi, G., Liu, C., Cai, Q., Liu, Q., and Hou, C., “Cadmium accumulation and tolerance of two safflower cultivars in relation to photosynthesis and antioxidative enzymes”, *Bull Environ Contam Toxicol*, 85(3): 256–263, (2010).

Singh, R., Singh, D.P., Kumar, N., Bhargava, S.K., Barman, S.C., “Accumulation and translocation of heavy metals in soil and plants from fly ash contaminated area”, *Journal of Environmental Biology*, 31, 421-430, (2010).

Söğüt, Z., Zaimoğlu Z., Erdoğan, R.K., ve Doğan, S., “Su kalitesinin artırılmasında bitki kullanımı”, (yeşil ıslah-Phytoremediation), Çukurova Ü., (2004).

Soil Survey Staff, *Soil Survey Manual*. USDA Agriculture Handbook No. 18, Soil Conservation Service, Washington. D.C. U.S, Department of Agriculture, (1962).

Sposito, G., “The Chemistry of Soils”, Oxford University Press, New York, (1989).

Tangahu, B. V., Sheikh Abdullah, S. R., Basri, H., Idris, M., Anuar, N., and Mukhlisin, M. “A review on heavy metals (As, Pb, and Hg) uptake by plants through phytoremediation”, *International Journal of Chemical Engineering* 21, 1- 31, (2011).

Tarradellas, J., Bitten, G., and Rossel, D., *Soil Ecotoxicology*, Lewis publishers, (1997).

Türkoğlu, B., “ Toprak Kirlenmesi ve Kirlenmiş Toprakların Islahı Çukurova Üniversitesi”, Fen bilimleri Enstitüsü, Ziraat Fakültesi Toprak Anabilim Dalı, Yüksek lisans Tezi, 134 s., (2006).

Vaillant, N., Monnet, F., Hitmi, A., Sallanon, H and Coudret, A., “Comparative study of responses in four *Datura* species to a zinc stress”, *Chemosphere*, 59(7), 1005-1013, (2005).

Van Assche F., and Clijsters, H., “Effects of Metals on Enzyme Activity in Plants”, *Plant Cell, Environ.*,13:195-206, (1990).

Vanlı, Ö., ve Yazgan, M., “Ağır Metallerle Kirlenmiş Toprakların Temizlenmesinde Fitoremediasyon Tekniği”, İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul, (2000).

Vwiooko, D E., Anoliefo G.O.,and Fashemi, S. D., “Metal Concentration in Plant Tissues of *Ricinus communis* L. (Castor Oil) Grown In Soil Contaminated With Spent Lubricating Oil”, *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, Vol. 10 (3) 127 – 134, (2006).

- Wang, S., Zhao Y., Guo, J., and Zhou, L., “Effects of Cd, Cu and Zn on *Ricinus communis* L. Growth in single element or co-contaminated soils: Pot experiments” *Ecological Engineering* 90, 347–351, (2016).
- Wilkins, D.A., “The measurement of tolerance to edaphic factors by means of root growth”, *New Phytology* 80(3), 623-633, (1978).
- Wuana, R. A., Eneji, I. S., and Naku, J. U., “Single and mixed chelants-assisted phytoextraction of heavy metals in municipal waste dump soil by castor”, *Advances in Environmental Research*, 5(1), 19-35, (2016).
- Yashim, Z. I., Agbaji, E. B., Gimba, C. E, and Idris, S. O., “Phytoremediation Potential of *Ricinus communis* L. (Castor Oil Plant) in Northern Nigeria” *International Journal of Plant & Soil Science* 10(5): 1-8, (2016).
- Zayed, A., Lytle, C. M., Qian, J. H., and Terry, N., “Chromium accumulation, translocation and chemical speciation in vegetable crops”, *Planta*, 206(2), 293-299, (1998).
- Zengin, K. F., ve Munzuroğlu, Ö., “Fasulye Fidelerinin (*Phaseolus vulgaris* L.Strike) Klorofil ve Karotenoid Miktarı Üzerine Bazı Ağır Metallerin (Ni^{+2} , Co^{+2} , Cr^{+3} , Zn^{+2}) Etkileri”, *F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(1);164-172, (2005).
- Zhao, F. J., Lombi, E., and McGrath, S. P., “Assessing the potential for zinc and cadmium phytoremediation with the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*”, *Plant Soil*, 249, 37–43, (2003).

ÖZGEÇMİŞ VE ESERLER LİSTESİ

Adı Soyadı: ALİ ÇİFTÇİ

Doğum Tarihi: 02.07.1987

Öğrenim Durumu: Lisans

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lise	Samsun 100. Yıl Lisesi (YDA)		2001-2005
Lisans	Çevre Mühendisliği Bölümü	Mersin Üniversitesi	2008-2013

(Varsa) Görevler:

Görev Unvanı	Görev Yeri	Yıl
Çevre Müh.	İzmit Tüpraş-KOCAELİ	2013
Çevre Müh.	ÇEV DOSAN Geri Dönüşüm-MERSİN	2014
Çevre Müh.	Başkale Atıksu Arıtma Tesisi-VAN	2015
Çevre Müh./İG Uzmanı	Van Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (VASKİ) - VAN	2016-