

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

Veli ÇELİKTAŞ

**ADANA İLİ ALADAĞ İLÇESİNDEKİ KROM MADEN
YATAKLARINDA BULUNAN BİTKİLERİN FİTOREMEDİASYON
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

ADANA-2020

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ADANA İLİ ALADAĞ İLÇESİNDEKİ KROM MADEN YATAKLARINDA
BULUNAN BİTKİLERİN FİTOREMEDİASYON ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ**

Veli ÇELİKTAŞ

DOKTORA TEZİ

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 13/01/2020 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

.....
Prof. Dr. Necattin TÜRKMEN
DANIŞMAN

.....
Prof.Dr. Halil ÇAKAN
ÜYE

.....
Prof.Dr. Selim EKER
ÜYE

.....
Dr.Öğr.Üyesi Yusuf Ziya KOCABAŞ
ÜYE

.....
Dr.Öğr. Üyesi Mustafa PEHLİVAN
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Biyoloji Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

**Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü**

**Bu Çalışma, Ç. Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: FDK-2016-4906**

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

ÖZ

DOKTORA TEZİ

**ADANA İLİ ALADAĞ İLÇESİNDEKİ KROM MADEN YATAKLARINDA
BULUNAN BİTKİLERİN FİTOREMEDİASYON ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ**

Veli ÇELİKTAŞ

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI**

Danışman : Prof. Dr. Necattin TÜRKMEN
Yıl: 2020, Sayfa: 105
Jüri : Prof. Dr. Necattin TÜRKMEN
: Prof. Dr. Halil ÇAKAN
: Prof. Dr. Selim EKER
: Dr. Öğr. Üyesi Yusuf Ziya KOCABAŞ
: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa PEHLİVAN

Bu çalışmada, Adana ili Aladağ ilçesi sınırlarında bulunan krom maden sahaları floristik açıdan değerlendirilmiştir. Tespit edilen bitki türleri dominant, sık, seyrek ve nadir olarak gruplandırılmıştır. Göreceli bulunuşları dominant ve sık olan 9 tür (*Aethionema spicatum*, *Alyssum alyssoides*, *Alssum oxycarpum*, *Alyssum floribundum*, *Thlaspi oxyceras*, *Convolvulus compactus*, *Fumana arabica*, *Onosma cappadocicum* ve *Salvia cryphantha*) remediasyon özelliklerinin değerlendirilmesi için seçilmiştir. Bu bitkilerin fitoremediasyon potansiyellerini değerlendirmek amacıyla bitkilerin kök, gövde, yaprak ve kök bölgesi topraklarında metal analizleri (Cr, Ni, Co, Pb, Zn, Mn, Cu ve Fe) gerçekleştirilmiştir. Metal konsantrasyonları kullanılarak biyokonsantrasyon faktörü, zenginleştirme faktörü, transfer faktörü ve translokasyon faktörü değerleri hesaplanmış ve bitkiler fitostabilizasyon ve fitoekstraksiyon kabiliyetleri yönünden değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda Cr için *Convolvulus compactus* ve *Onosma cappadocicum*; Co için *Aethionema spicatum*; Zn için *Thlaspi oxyceras*; Mn için *Aethionema spicatum* fitoekstraksiyon potansiyeli olan türler olarak tanımlanmıştır. Nikel için *Salvia cryphantha*; Cu için *Onosma cappadocicum* fitostabilizasyon potansiyeli olan türler olarak nitelendirilmiştir. *Aethionema spicatum*, *Alyssum oxycarpum*, *Alyssum floribundum* ve *Thlaspi oxyceras* türlerinin ise Ni metali için hiperakümülatör oldukları saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fitoremediasyon, hiperakümülatör, ağır metal

ABSTRACT

PhD THESIS

THE DETERMINATION OF THE PHYTOREMEDIATION CHARACTERISTICS OF PLANTS WHICH FOUND IN CHROMIUM MINING AREAS IN ALADAĞ DISTRICT OF ADANA PROVINCE

Veli ÇELİKTAŞ

CUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL VE APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF BIOLOGY

Supervisor : Prof. Dr. Necattin TÜRKMEN
Year: 2020, Pages: 105
Jury : Prof. Dr. Necattin TÜRKMEN
: Prof. Dr. Halil ÇAKAN
: Prof. Dr. Selim EKER
: Assist. Prof. Dr. Yusuf Ziya KOCABAŞ
: Assist. Prof. Dr. Mustafa PEHLİVAN

In this study, chromium mine sites located in Aladağ district of Adana province were evaluated floristically. The identified plant species were grouped as dominant, frequent, sparse and rare. According to this, 9 species (*Aethionema spicatum*, *Alyssum alyssoides*, *Alssum oxycarpum*, *Alyssum floribundum*, *Thlaspi oxyceras*, *Convolvulus compactus*, *Fumana arabica*, *Onosma cappadocicum* ve *Salvia cryphantha*), which are relatively dominant and frequent, were selected for using in remediation assessments. Metal analyzes (Cr, Ni, Co, Pb, Zn, Mn, Cu and Fe) of root, stem, leaf and rhizosphere-soil of plants were performed to evaluate phytoremediation potential of these plants. BKF, ZF, TF and TLF values were calculated using heavy metal concentrations and plants were evaluated for phytostabilization and phytoextraction. As a result of this study following plant species were found to be potential plants for phytoextraction: for Cr *Convolvulus compactus* and *Onosma cappadocicum*; for Co *Aethionema spicatum*; for Zn *Thlaspi oxyceras*; for Mn *Aethionema spicatum*. And the following plant species were found to be potential plants for phytostabilization: for Ni *Salvia cryphantha*; for Cu *Onosma cappadocicum*. *Aethionema spicatum*, *Alyssum oxycarpum*, *Alyssum floribundum* and *Thlaspi oxyceras* were found to be hyperaccumulators for Ni.

Key Words: Phytoremediation, hyperaccumulator, heavy metal

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Maden sahalarında yapılan arazi gezilerinde doğrudan açık maden sahaları (Kızılyüksek, Çanak Pınarı, Abdullah Deresi) içerisinde yayılış gösteren 17 familya ve 25 cinse ait toplam 31 bitki türü tespit edilmiştir. Çalışma alanında yayılış gösteren bitkilerden açık maden alanlarında dominant olan 5, alanda sık bulunan 4, alanda seyrek olarak bulunan 12 ve alanda nadir bulunan 10 bitki saptanmıştır. Açık maden alanlarında göreceli bulunuşları dominant veya sık olan 9 bitki türü (*Aethionema spicatum*, *Alyssum alyssoides*, *Alssum oxycarpum*, *Alyssum floribundum*, *Thlaspi oxyceras*, *Convolvulus compactus*, *Fumana arabica*, *Onosma cappadocicum* ve *Salvia cryptantha*) belirlenmiştir.

Çalışma sahası topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Buna göre çalışma sahası topraklarının kum yüzdesi ortalama % 69 (51,24-86,47), kil yüzdeleri ortalama %7,72 (1,34-27,16) ve silt yüzdesi ise ortalama % 22.3 (8,58-27,86) olarak saptanmıştır. Çalışma sahası toprakları için toplam azot ortalama %0,14 bulunurken organik karbon ortalama %4,43 olarak saptanmıştır. Çalışma alanı topraklarında tüm sahalarda ağır metal konsantrasyonlarının (mg/kg) ortalama ve minimum-maksimum değerleri şu şekilde saptanmıştır: Cr 148 (82,9-212,8), Ni 875,45 (737,47-896,98), Co 255,86 (192,5-372,3), Pb 19,92 (1,84-46,58), Zn 67,13 (42,61-85,74), Mn 630,22 (508,4-761,4), Cu 12,45 (5,3-36,42), Fe 3949,50 (3805-4189).

Ortalama krom metali konsantrasyonları bitkilerin topraklarında 103,83-203,28 mg/kg, köklerinde 2,15-5.47 mg/kg, gövdelerinde 0,74-13.71 mg/kg, ve yapraklarında 1.01-8,86 mg/kg olarak bulunmuştur. Bitkilere ait BKF, ZF, TF ve TLF hesaplamalarına bakıldığında BKF ve ZF için tüm bitkilerin 1 sınırının altında kaldığı görülmüştür. *C. compactus* ve *O. cappadocicum* türlerine ait TF ve TLF değerleri 1'den büyük olmasından dolayı bu bitkilerin uygun koşullarda krom metalinin fitoekstraksiyonunda kullanılabilecekleri öngörülmektedir.

Ortalama nikel metali konsantrasyonları bitkilerin topraklarında 791,78-896,21 mg/kg, köklerinde 11,68-1425 mg/kg, gövdelerinde 24,13-1190,03 mg/kg, ve yapraklarında 19,61-1539,39 mg/kg olarak bulunmuştur. Bitkilere ait BKF, ZF, TF ve TLF değerlerine bakıldığında *Aet. spicatum*, *A. oxycarpum*, *A. floribundum*, *T. oxyceras* türlerinin BKF ve ZF değerlerinin sınır değeri olan 1 in üzerinde olduğu saptanmıştır. *S. crypthantha* dışındaki türlerde TF ve TLF değerleri 1'in üzerinde bulunmuştur. Bu verilere göre *Aet. spicatum*, *A. oxycarpum*, *A. floribundum*, *T. oxyceras* türlerinin nikel ağır metalinin fitoekstraksiyonunda kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. *Salvia crypthantha* türünün özellikle köklerinde Ni birikimi saptandığından bu türün, Ni fitostabilizasyonunda kullanılabilibilme potansiyeli gösterdiği söylenebilir.

Ortalama kobalt metali konsantrasyonları (Çizelge 4.7) çalışma sahası topraklarında 235-310 mg/kg, bitkilerin köklerinde 0,67-10,48 mg/kg, gövdelerinde 1,40-11,66 mg/kg, ve yapraklarında 1,40-128,61 mg/kg olarak saptanmıştır. BKF ve ZF değerlerinde tüm bitkiler 1 sınır değerinin altında kalmıştır. *A. alyssoides*, *A. oxycarpum*, *C. compactus*, *O. cappadocicum* türlerine ait TF değerleri 1 sınır değerinin üzerinde bulunmuştur. TLF değerleri için *Aet. spicatum*, *A. alyssoides*, *A. oxycarpum*, *A. floribundum* ve *T. oxyceras* türlerinin sınır değerin üzerinde olduğu tesbit edilmiştir. *Aet. spicatum* türünün bu metal için uygun ortamlarda fitoekstraksiyon potansiyelinde olabileceği söylenebilir.

Ortalama kurşun metali konsantrasyonları topraklarda 4,39-30,11 mg/kg bitkilerin köklerinde 1,13-4,86 mg/kg, gövdelerinde 0,64-3,63 mg/kg, yapraklarında 1,12-3,01 mg/kg olarak saptanmıştır. BKF ve ZF değerleri açısından tüm bitkilerin 1 sınır değerinin altında kaldığı görülmüştür. Bitkilere ait faktör değerlerinin homojen dağılmamasından dolayı bitkilerin Pb açısından değerlendirilmesi mümkün olmamıştır.

Ortalama çinko metali konsantrasyonları bitkilerin topraklarında 52,57-82,39 mg/kg, köklerinde 4,60-20,57 mg/kg, gövdelerinde 7,99-21,69 mg/kg, ve yapraklarında 7,21-33,06 mg/kg olarak saptanmıştır. BKF ve ZF değerleri sadece

T. oxyceras türünde 1 sınır değerine yakın olarak bulunmuştur. TF değerlerine bakıldığında *T. oxyceras*, *C. compactus*, *F. arabica*, *O. cappadocicum*, *S. crypthantha* türlerine ait değerlerin bariz şekilde 1'in üzerinde olduğu belirlenmiştir. TLF değerleri; *Aet. spicatum*, *T. oxyceras*, *F. arabica*, *O. cappadocicum* türlerinde sınır değer üzerinde bulunmuştur. *T. oxyceras* türünün bu metal için uygun koşullar altında fitoekstraksiyon potansiyeli gösterebileceği söylenebilir.

Ortalama mangan konsantrasyonları bitkilerin topraklarında 560,15-725,43 mg/kg, köklerinde 10.30-58.95 mg/kg, gövdelerinde 11,52-75,11 mg/kg, ve yapraklarında 27,44-207,93 mg/kg, olarak bulunmuştur. BKF ve ZF değerlerinin tüm bitkiler için 1 sınır değerinin altında olduğu belirlenmiştir. *Aet. spicatum*, *A. oxycarpum*, *A. floribundum*, *T. oxyceras*, *C. compactus*, *F. arabica* ve *O. cappadocicum* türlerinde TF ve TLF değerleri sınır değerlerin üzerinde olmasından dolayı bu metali toprak üstü organlarına taşıyabildiği görülmüştür.

Ortalama bakır metali konsantrasyonları topraklarda 6,08-19,72 mg/kg, bitkilerin köklerinde 0,52-1,44 mg/kg, gövdelerinde 0,48-1,31 mg/kg, ve yapraklarında 0,56-1,38 mg/kg olarak saptanmıştır. Tüm bitkilere ait BKF değerlerinin sınır değeri olan 1'in altında olduğu belirlenmiştir. TF değerleri için *A. floribundum* ve *T. oxyceras*, TLF değeri için *T. oxyceras* ve *F. arabica* türlerinin sınır değer üzerinde bulunduğundan bu bitkilerin Cu ağır metalini toprak üstü kısımlarına taşıdıkları; *O. cappadocicum* türünün ise bu metal için fitostabilizasyon potansiyelinde olduğu söylenebilir.

Ortalama demir metali konsantrasyonları bitkilerin topraklarında 3848,25-4166,75 mg/kg, köklerinde 66.70-276,57 mg/kg, gövdelerinde 33,65-235,60 mg/kg, ve yapraklarında 58,67-248,89 mg/kg olarak saptanmıştır. BKF ve ZF değerleri 1 sınır değerinin altındadır. TF ve TLF değerlerine bakıldığında ise *A. oxycarpum*, *A. floribundum*, *C. compactus* türlerinin hem TF hem de TLF için sınır

değerin üzerinde olduğu bulunduğundan bu bitkilerin Fe ağır metalini toprak üstü kısımlarına taşıyabildikleri görölmüştür.



TEŞEKKÜR

Tez konusunun belirlenmesi ve yönetilmesi aşamalarında bana yol gösteren Sayın Prof. Dr. Necattin TÜRKMEN ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Sema DÜZENLİ hocalarıma, tez çalışması boyunca, bilgilerine ihtiyaç duyduğum her süreçte, yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Selim EKER ve Sayın Prof. Dr. Halil ÇAKAN hocalarıma minnetle teşekkürlerimi sunarım.

Bilimsel anlamda temel görüşlerimin oluşmasında büyük pay sahibi olan Sayın Prof. Dr. Atabay DÜZENLİ hocama teşekkürlerimi sunarım.

Arazi çalışmalarında desteğini esirgemeyen Sayın Öğ. Gör. Tuncay ÇALIŞKAN'a tez çalışmasının her aşamasında yanımda olan çalışma arkadaşım Sayın Ar. Gör. Hande OTU BORLU'ya teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatımın en başından bugüne kadar manevi desteklerini esirgemeyen ve hep yanımda olan annem Güler ÇELİKTAŞ ve babam Nihat ÇELİKTAŞ'a ve bu süreçte beni yalnız bırakmayan değerli eşim Canan ÇELİKTAŞ'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER	SAYFA
ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	III
TEŞEKKÜR.....	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ	XII
ŞEKİLLER DİZİNİ	XIV
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XVIII
1. GİRİŞ	1
1.1. Çevre ve Çevre Kirliliği.....	1
1.1.1. Hava Kirliliği	1
1.1.2. Su Kirliliği.....	3
1.1.3. Toprak Kirliliği	3
1.2. Toprak Kirleticisi Olarak Ağır Mataller	6
1.2.1. Ağır Metallerle Kirlenmiş Toprakların Temizlenmesinde	
Fitoremediasyon Yöntemleri.....	7
1.2.1.1. Fitoekstraksiyon	7
1.2.1.2. Fitostabilizasyon	8
1.2.1.3. Fitofiltrasyon (Rizofiltrasyon)	8
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	11
2.1. Bitkileri Yerinde Değerlendirme ile İlgili Çalışmalar	11
2.2. Remediasyon Potansiyeli Olan Bitkilerin Laboratuvar Koşullarında	
Denenmesi ve Remediasyon Özelliklerinin Ortaya Konulması ile İlgili	
Çalışmalar	17
3. MATERYAL VE METOD	27
3.1. Materyal.....	27
3.1.1. Çalışma Alanının Konumu	27

3.1.2. Çalışma Sahasının Genel Jeolojik Özellikleri ve Toprak Yapısı	28
3.1.3. Çalışma Sahasının Genel İklimsel Özellikleri	31
3.1.4. Çalışma Sahasının Genel Floristik Yapısı	32
3.2. Metod.....	34
3.2.1. Arazi Çalışmalarıyla Maden Sahalarında Yayılış Gösteren Bitkilerin Belirlenmesi	34
3.2.2. Alanda Yayılış Gösteren Bitkilerden Toleranslı Olanların Belirlenmesi	35
3.2.3. In-Situ Remediasyon Çalışmalarında Değerlendirilecek Bitkilerin Örneklerek Laboratuvara Taşınması	35
3.2.4. Laboratuvara Getirilen Bitkilere Uygulanan İşlemler	35
3.2.5. Bitki ve Toprak Örneklerinin Mikrodalga Yöntemiyle Yakılması ve Ağır Metal Okumaları	37
3.2.6 Toprakların Fiziksel ve Kimyasal Analizleri	38
3.2.7. Verilerin Değerlendirilmesi	39
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	43
4.1. Bulgular	43
4.1.1. Açık İşletme Olarak Faaliyet Gösteren Maden Sahalarında Yayılış Gösteren Bitkiler.....	43
4.1.2. Çalışma Alanı Topraklarının Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri ile Ağır Metal Konsantrasyonları	45
4.1.2.1. Toprakların Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	45
4.1.2.2. Çalışma Sahası Topraklarının Ağır Metal Konsantrasyonları .	47
4.1.2.3. Maden Sahası Topraklarının Ağır Metal Konsantrasyonlarının Karşılaştırılmasına İlişkin Bulgular	48
4.1.3. Bitkilerin Remediasyon Özelliklerinin Değerlendirilmesi.....	50
4.1.3.1. Krom Ağır Metaline İlişkin Bulgular	50
4.1.3.2. Nikel Ağır Metaline İlişkin Bulgular	53
4.1.3.3. Kobalt Ağır Metaline İlişkin Bulgular.....	55

4.1.3.4. Kurşun Ağır Metaline İlişkin Bulgular.....	59
4.1.3.5. Çinko Ağır Metaline İlişkin Bulgular.....	61
4.1.3.6. Mangan Ağır Metaline İlişkin Bulgular	64
4.1.3.7. Bakır Ağır Metaline İlişkin Bulgular	67
4.1.3.8. Demir Ağır Metaline İlişkin Bulgular	71
4.2. Tartışma	73
4.1.2. Çalışma Alanı Topraklarının Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri ile Ağır Metal Konsantrasyonları.....	73
4.1.3. Bitkilerin Remediasyon Özelliklerinin Değerlendirilmesi	75
4.1.3.1. Krom Ağır Metali İçin Bitkilerin Değerlendirilmesi.....	75
4.1.3.2. Nikel Ağır Metali İçin Bitkilerin Değerlendirilmesi	76
4.1.3.3. Kobalt Ağır Metali İçin Bitkilerin Değerlendirilmesi	77
4.1.3.4. Kurşun Ağır Metali İçin Bitkilerin Değerlendirilmesi	78
4.1.3.5. Çinko Ağır Metali İçin Bitkilerin Değerlendirilmesi	79
4.1.3.6. Mangan Ağır Metali İçin Bitkilerin Değerlendirilmesi.....	80
4.1.3.7. Bakır Ağır Metali İçin Bitkilerin Değerlendirilmesi	80
4.1.3.8. Demir Ağır Metali İçin Bitkilerin Değerlendirilmesi.....	81
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	83
5.1. Sonuçlar	83
5.1.1. Maden Sahaları ile İlgili Gözlemlere Dayalı Sonuçlar	83
5.1.2. Arazi Gözlemlerine ve Bulgulara Dayalı Sonuçlar.....	85
5.2. Öneriler	89
5.2.1. Gözlemlere Dayalı Öneriler	89
5.2.2. Çalışmanın Gelişimine İlişkin Öneriler	89
KAYNAKLAR.....	91
ÖZGEÇMİŞ	105



ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 1.1.	Havada bulunan gazlar ve hacimsel dağılımları	2
Çizelge 1.2.	Toprakta kimyasal kirleticilerin sınıflandırılması.....	4
Çizelge 1.3.	Bazı ağır metallerin canlılık ve çevre için durumları.....	6
Çizelge 4.1.	Açık maden sahalarında (Kızılyüksek, Çanak Pınarı, Abdullah Deresi) yayılış gösteren bitki türleri	44
Çizelge 4.2.	Çalışma sahası bitkilerinin kök bölgesi topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri	46
Çizelge 4.3.	Çalışma sahası topraklarının ağır metal konsantrasyonu (mg/kg) ortalamaları ve standart sapma değerleri	47
Çizelge 4.4.	Maden sahası topraklarının ağır metal konsantrasyonlarının korelasyon katsayıları (r) tablosu.....	49
Çizelge 4.5.	<i>Aethionema spicatum</i> , <i>Alyssum alyssoides</i> , <i>Alsum oxycarpum</i> , <i>Alyssum floribundum</i> , <i>Thlaspi oxyceras</i> , <i>Convolvulus compactus</i> , <i>Fumana arabica</i> , <i>Onosma cappadocicum</i> ve <i>Salvia crypthantha</i> türlerinin kök, gövde yaprak ve topraklarında krom ağır metali konsantrasyonları (mg/kg).....	50
Çizelge 4.6.	<i>Aethionema spicatum</i> , <i>Alyssum alyssoides</i> , <i>Alsum oxycarpum</i> , <i>Alyssum floribundum</i> , <i>Thlaspi oxyceras</i> , <i>Convolvulus compactus</i> , <i>Fumana arabica</i> , <i>Onosma cappadocicum</i> ve <i>Salvia crypthantha</i> türlerinin kök, gövde yaprak ve topraklarında nikel ağır metali konsantrasyonları (mg/kg).....	53
Çizelge 4.7.	<i>Aethionema spicatum</i> , <i>Alyssum alyssoides</i> , <i>Alsum oxycarpum</i> , <i>Alyssum floribundum</i> , <i>Thlaspi oxyceras</i> , <i>Convolvulus compactus</i> , <i>Fumana arabica</i> , <i>Onosma cappadocicum</i> ve <i>Salvia crypthantha</i> türlerinin kök, gövde yaprak ve topraklarında kobalt ağır metali konsantrasyonları (mg/kg).....	56
Çizelge 4.8.	<i>Aethionema spicatum</i> , <i>Alyssum alyssoides</i> , <i>Alsum oxycarpum</i> , <i>Alyssum floribundum</i> , <i>Thlaspi oxyceras</i> , <i>Convolvulus compactus</i> , <i>Fumana arabica</i> , <i>Onosma cappadocicum</i> ve <i>Salvia</i>	

	<i>crypthantha</i> türlerinin kök, gövde yaprak ve topraklarında kurşun ağır metali konsantrasyonları (mg/kg)	59
Çizelge 4.9.	<i>Aethionema spicatum</i> , <i>Alyssum alyssoides</i> , <i>Alssum oxycarpum</i> , <i>Alyssum floribundum</i> , <i>Thlaspi oxyceras</i> , <i>Convolvulus compactus</i> , <i>Fumana arabica</i> , <i>Onosma cappadocicum</i> ve <i>Salvia crypthantha</i> türlerinin kök, gövde yaprak ve topraklarında çinko ağır metali konsantrasyonları (mg/kg)	62
Çizelge 4.10.	<i>Aethionema spicatum</i> , <i>Alyssum alyssoides</i> , <i>Alssum oxycarpum</i> , <i>Alyssum floribundum</i> , <i>Thlaspi oxyceras</i> , <i>Convolvulus compactus</i> , <i>Fumana arabica</i> , <i>Onosma cappadocicum</i> ve <i>Salvia crypthantha</i> türlerinin kök, gövde yaprak ve topraklarında mangan ağır metali konsantrasyonları (mg/kg)	65
Çizelge 4.11.	<i>Aethionema spicatum</i> , <i>Alyssum alyssoides</i> , <i>Alssum oxycarpum</i> , <i>Alyssum floribundum</i> , <i>Thlaspi oxyceras</i> , <i>Convolvulus compactus</i> , <i>Fumana arabica</i> , <i>Onosma cappadocicum</i> ve <i>Salvia crypthantha</i> türlerinin kök, gövde yaprak ve topraklarında bakır ağır metali konsantrasyonları (mg/kg)	68
Çizelge 4.12.	<i>Aethionema spicatum</i> , <i>Alyssum alyssoides</i> , <i>Alssum oxycarpum</i> , <i>Alyssum floribundum</i> , <i>Thlaspi oxyceras</i> , <i>Convolvulus compactus</i> , <i>Fumana arabica</i> , <i>Onosma cappadocicum</i> ve <i>Salvia crypthantha</i> türlerinin kök, gövde yaprak ve topraklarında demir ağır metali konsantrasyonları (mg/kg)	71
Çizelge 5.1.	Çalışmada kullanılan bitkilerin remediasyon kabiliyetleri ve potansiyelleri (FE: Fitoekstraktör, FEPOT: Fitoekstraksiyon potansiyeli olabilecek tür, FSPOT: Fitostabilizasyon potansiyeli olabilecek tür)	89

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1.	<i>Fitoekstraksiyon yönteminin işleyişi</i>	8
Şekil 1.2.	Fitostabilizasyon yönteminin işleyişi	8
Şekil 1.3.	Rizofiltrasyon yönteminin işleyişi.....	9
Şekil 3.1.	Çalışma kapsamında değerlendirilen maden sahaları.....	27
Şekil 3.2.	Açık maden sahalarının genel görünümü	28
Şekil 3.3.	Çalışma alanı ve civarının sadeleştirilmiş genel jeoloji haritası.....	30
Şekil 3.4.	Aladağ ilçesi meteoroloji verilerine göre oluşturulmuş Walter iklim diyagramı	32
Şekil 3.5.	Aladağ Pos ormanlarında mevcut bitki türlerinin dahil olduğu familyalar ve oranları	33
Şekil 3.6.	Araştırma alanında yayılış gösteren bitkilerin bitki coğrafyalarına göre gruplandırılması	34
Şekil 3.7.	Arazi çalışmaları ile belirlenen bitkilerin GPS kayıtlarının tutulması ve fotoğraflanmaları	34
Şekil 3.8.	Bitki örneklerinin beş tekrarlı olarak örneklenmesi ve laboratuvara taşınması	35
Şekil 3.9.	Maden alanlarından laboratuvara getiren bitkilerin kök, gövde, yaprak kısımlarının ayrılması ve toprakların kurutulmak üzere hazırlanması.....	36
Şekil 3.10.	Bitki örneklerinin porselen havanlarda öğütülmesi.....	37
Şekil 4.1.	İn-situ remediasyon değerlendirmesi yapılacak bitkiler a) <i>Alyssum oxycarpum</i> , b) <i>Thlaspi oxyceras</i> , c) <i>Alyssum alyssoides</i> , d) <i>Alyssum floribundum</i> , e) <i>Salvia cryptantha</i> , f) <i>Convolvulus compactus</i> , g) <i>Fumana arabica</i> , h) <i>Aethionema cordatum</i> , i) <i>Onosma cappadocicum</i>	43
Şekil 4.2.	Maden sahası topraklarında ağır metal konsantrasyonlarının korelasyonları	48

- Şekil 4.3. Krom ağır metaline ait kök, gövde, yaprak, toplam bitki ve topraklardaki konsantrasyonların karşılaştırılması ve korelasyon katsayıları (**önem düzeyi 0,01, * önem düzeyi 0,05)..... 51
- Şekil 4.4. *Aethionema spicatum, Alyssum alyssoides, Alssum oxycarpum, Alyssum floribundum, Thlaspi oxyceras, Convolvulus compactus, Fumana arabica, Onosma cappadocicum ve Salvia crypthantha* türlerinde krom ağır metali için hesaplanan BKF, ZF, TF ve TLF değerleri 52
- Şekil 4.5. Nikel ağır metaline ait kök, gövde, yaprak, toplam bitki ve topraklardaki konsantrasyonların karşılaştırılması ve korelasyon katsayıları (**önem düzeyi 0,01, * önem düzeyi 0,05)..... 54
- Şekil 4.6. *Aethionema spicatum, Alyssum alyssoides, Alssum oxycarpum, Alyssum floribundum, Thlaspi oxyceras, Convolvulus compactus, Fumana arabica, Onosma cappadocicum ve Salvia crypthantha* türlerinde nikel ağır metali için hesaplanan BKF, ZF, TF ve TLF değerleri 55
- Şekil 4.7. Kobalt ağır metaline ait kök, gövde, yaprak, toplam bitki ve topraklardaki konsantrasyonların karşılaştırılması ve korelasyon katsayıları (**önem düzeyi 0,01, * önem düzeyi 0,05)..... 57
- Şekil 4.8. *Aethionema spicatum, Alyssum alyssoides, Alssum oxycarpum, Alyssum floribundum, Thlaspi oxyceras, Convolvulus compactus, Fumana arabica, Onosma cappadocicum ve Salvia crypthantha* türlerinde kobalt ağır metali için hesaplanan BKF, ZF, TF ve TLF değerleri 58
- Şekil 4.9. Kurşun ağır metaline ait kök, gövde, yaprak, toplam bitki ve topraklardaki konsantrasyonların karşılaştırılması ve korelasyon katsayıları (**önem düzeyi 0,01, * önem düzeyi 0,05)..... 60
- Şekil 4.10. *Aethionema spicatum, Alyssum alyssoides, Alssum oxycarpum, Alyssum floribundum, Thlaspi oxyceras, Convolvulus*

	<i>compactus, Fumana arabica, Onosma cappadocicum ve Salvia crypthantha</i> türlerinde kurşun ağır metali için hesaplanan BKF, ZF, TF ve TLF değerleri	61
Şekil 4.11.	Çinko ağır metaline ait kök, gövde, yaprak, toplam bitki ve topraklardaki konsantrasyonların karşılaştırılması ve korelasyon katsayıları (**önem düzeyi 0,01, * önem düzeyi 0,05).....	63
Şekil 4.12.	<i>Aethionema spicatum, Alyssum alyssoides, Alssum oxycarpum, Alyssum floribundum, Thlaspi oxyceras, Convolvulus compactus, Fumana arabica, Onosma cappadocicum ve Salvia crypthantha</i> türlerinde çinko ağır metali için hesaplanan BKF, ZF, TF ve TLF değerleri	64
Şekil 4.13.	Mangan ağır metaline ait kök, gövde, yaprak, toplam bitki ve topraklardaki konsantrasyonların karşılaştırılması ve korelasyon katsayıları (**önem düzeyi 0,01, * önem düzeyi 0,05).....	66
Şekil 4.14.	<i>Aethionema spicatum, Alyssum alyssoides, Alssum oxycarpum, Alyssum floribundum, Thlaspi oxyceras, Convolvulus compactus, Fumana arabica, Onosma cappadocicum ve Salvia crypthantha</i> türlerinde mangan ağır metali için hesaplanan BKF, ZF, TF ve TLF değerleri.....	67
Şekil 4.15.	Bakır ağır metaline ait kök, gövde, yaprak, toplam bitki ve topraklardaki konsantrasyonların karşılaştırılması ve korelasyon katsayıları (**önem düzeyi 0,01, * önem düzeyi 0,05).....	69
Şekil 4.16.	<i>Aethionema spicatum, Alyssum alyssoides, Alssum oxycarpum, Alyssum floribundum, Thlaspi oxyceras, Convolvulus compactus, Fumana arabica, Onosma cappadocicum ve Salvia crypthantha</i> türlerinde bakır ağır metali için hesaplanan BKF, ZF, TF ve TLF değerleri	70

Şekil 4.17. Demir ağır metale ait kök, gövde, yaprak, toplam bitki ve topraklardaki konsantrasyonların karşılaştırılması ve korelasyon katsayıları (**önem düzeyi 0,01, * önem düzeyi 0,05).....	72
Şekil 4.18. <i>Aethionema spicatum</i> , <i>Alyssum alyssoides</i> , <i>Alssum oxycarpum</i> , <i>Alyssum floribundum</i> , <i>Thlaspi oxyceras</i> , <i>Convolvulus compactus</i> , <i>Fumana arabica</i> , <i>Onosma cappadocicum</i> ve <i>Salvia crypthantha</i> türlerinde demir ağır metali için hesaplanan BKF, ZF, TF ve TLF değerleri	73
Şekil 5.1. Krom maden sahasında işleme öncesi ve sonrası atıkların biriktirilmesi	84
Şekil 5.2. Krom maden sahalarında 2013-2018 yılları arasında gözlemlenen değişimler.....	85

SİMGELER VE KISALTMALAR

TLF	: Translokasyon faktörü
BKF	: Biyokonsantrasyon Faktörü
TF	: Transfer faktörü
ZF	: Zenginleştirme faktörü
FE	: Fitoekstraktör
FS	: Fitostabizatör
FEPOB	: Fitoekstraksiyon potansiyeli olan bitki
FSPOB	: Fitostabilizasyon potansiyeli olan bitki
r	: Korelasyon katsayısı
Cr	: Krom
Ni	: Nikel
Co	: Kobalt
Zn	: Çinko
Pb	: Kurşun
Mn	: Mangan
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
Mo	: Molibden
Ag	: Gümüş
Hg	: Civa
Sn	: Kalay
Ar	: Argon
As	: Arsenik
U	: Uranyum

V : Vanadyum

Ti : Titanyum

W : Tungsten



1. GİRİŞ

1.1. Çevre ve Çevre Kirliliği

Çevre kanununda çevre, canlıların yaşamları boyunca ilişkilerini sürdürdükleri ve karşılıklı olarak etkileşim içinde buldukları biyolojik, fiziksel, sosyal, ekonomik ve kültürel ortam” olarak tanımlanmıştır. Yine aynı kanunda “çevre kirliliği, çevrede meydana gelen ve canlıların sağlığını, çevresel değerleri ve ekolojik dengeyi bozabilecek her türlü olumsuz etki” olarak ifade edilmiştir (Çevre Kanunu, 1983).

Sanayi devrimiyle birlikte ivme kazanan teknolojik faaliyetler çevresel tahribatların hızla artmasına sebep olmuştur. Son 50 yıl içerisinde küresel ısınma ve iklim değişikliklerinin ön plana çıkması çevre kirliliği ve ekonomik büyüme ilişkisinin sorgulanmasına yol açmıştır. Çevre kirliliği problemleri ülkelerin teknolojik faaliyetlerde daha temiz teknolojilere yönelmesini bir gereklilik haline getirmiştir. Gelişmekte olan ülkelerin ekonomik kaygıları, bu çevreci politikanın uygulanmasını sınırlasa da gelişmiş ülkeler bu yönde adımlar atmıştır (Artan ve ark., 2015). Bu bağlamda atılan ilk ciddi adım 1972 tarihinde Stockholm’de 113 ülkenin katılımıyla düzenlenen “Birleşmiş Milletler Çevre Konferansıdır”. Bu konferans çevre konusunun dünya çapında ele alınmasını ve ülkelerin gündemlerine girmesini sağlamıştır.

Çevre kanuna göre doğal kaynaklar hava, su, toprak ve cansız varlıklar olarak belirtilmiştir. Çevre kirliliği denildiğinde genel olarak bu kaynaklarda meydana gelen olumsuz değişimler ve bozulmalar akla gelmektedir.

1.1.1. Hava Kirliliği

Hava atmosfer tabakasını oluşturan rengi kokusu ve tadı olamayan homojen bir karışımdır. Normal koşullarda havadaki gazların bileşimi Çizelge 1.1’de gösterildiği gibidir. Havanın normal kompozisyonunun bozularak canlılara zarar vermeye başlamasına hava kirliliği adı verilmektedir. Diğer bir deyişle havada

katı, sıvı ve gaz formunda bulunan yabancı maddelerin canlılar ve ekolojik dengeyi tehdit etmesi durumu hava kirliliği olarak tanımlanır. Hava kirliliği kaynakları doğal veya antropojenik kaynaklar olarak gruplandırılmaktadır. Volkanizma faaliyetleri ve orman yangınları gibi doğa olayları atmosferik bir kirlilik oluşturabilirken hava kalitesinin bozulmasında özellikle endüstriyel faaliyetlerin rolü büyüktür. Endüstriyel kökenli hava kirliliği kaynakları birincil ve ikincil kaynaklar olarak sınıflandırılır. Sülfür dioksit (SO₂), nitrit oksit (NO_x), hidrokarbonlar, uçucu organik bileşikler, karbon monoksit (CO) ve amonyak (NH₃) gibi doğrudan atmosfere karışan bileşenler birincil kaynakları oluştururken bu kaynakların bir araya gelmesiyle ortaya çıkan bileşenlerin oluşturduğu kaynaklar ise ikincil kaynaklar olarak adlandırılır (Tan, 2014).

Çizelge 1.1. Havada bulunan gazlar ve hacimsel dağılımları

Gazın adı	Sembolü	Hacmi %
Nitrojen	N ₂	78.084
Oksijen	O ₂	20.9476
Argon	Ar	0.934
Karbon dioksit	CO ₂	0.0314
Neon	Ne	0.001818
Metan	CH ₄	0.0002
Helyum	He	0.000524
Kripton	Kr	0.000114
Hidrojen	H ₂	0.00005
Ksenon	Xe	0.0000087

Hava kirliliği akciğer fonksiyonlarında azalma, gözler, burun, ağız ve boğaz tahrişine, astım ataklarına, öksürük ve hırıltılı solunum gibi semptomlara, bronşit, azalan enerji seviyeleri, baş ağrıları ve baş dönmesine, hormonal bozulmalara, üreme ve bağışıklık sistemleri bozukluklarına ve kardiyovasküler problemlere yol

açabilmektedir (Bayram ve ark., 2006; Kardeşoğlu ve ark., 2011 Krishna ve ark., 2017).

1.1.2. Su Kirliliği

Önemli çevre kirliliği problemlerinden birisi de su kirliliğidir. Artan nüfus ve beraberinde getirdiği endüstrileşme su üzerinde kirletici etkilere sahiptir. Artan nüfusun ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla tarımsal faaliyetlerin de artması endüstriyel kirlenmenin yanında tarımsal kirlenme sorununu da ortaya çıkartmıştır. Özellikle tarım alanlarında kullanılan gübreler ve ilaçlar yer altı suyuna karışmakta ve hem bu alanlardaki sucul fauna ve flora elamanlarını hem de bu sulardan içme suyu olarak faydalanan insanları etkilemektedir. Evsel atıklar, böcek ilaçları, gıda işleme atıkları, hayvansal çiftlik atıkları, uçucu organik bileşenler, ağır metaller, kimyasal atıklar ise diğer kirlilik kaynaklarıdır.

Kirlenmiş suyun tüketimi birçok hastalığı da beraberinde getirmektedir. Özellikle pestisitler, insektisitler, hidrokarbonlar ve ağır metaller gibi kimyasal kirliliğe maruz kalmış suyun tüketilmesi kanser, hormonal problemler, sinir sistemi problemleri, gibi ciddi sağlık sorunlarına neden olabilmektedir (Krishna ve ark., 2017; WHO, 2017).

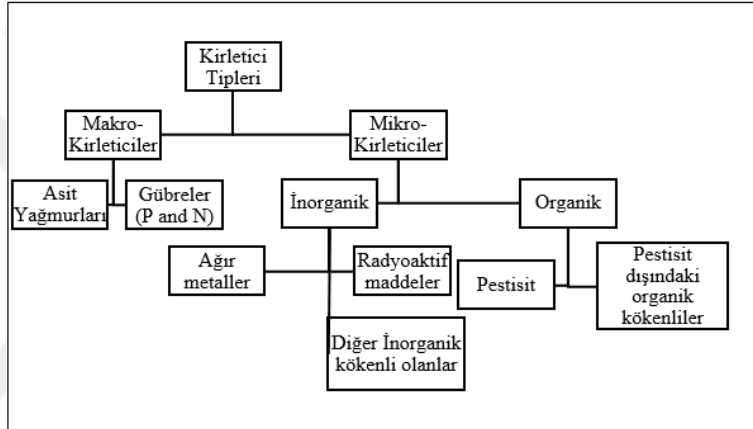
Yukarıda belirtilen kirleticilerin dışında bazı durumlarda sularda besin kirliliği de (azot, fosfor..) ortaya çıkabilmektedir. Bu durum sucul canlılarda ölümlere dolayısıyla sucul popülasyonlarda bozulmalara neden olabilmektedir. Besin kirliliği gibi petrol kökenli kirlilik sucul ekosistemlere ciddi zararlar verebilmektedir (Krishna ve ark., 2017).

1.1.3. Toprak Kirliliği

Toprak kirliliği, toksik bileşiklerin, kimyasal tuzların, radyoaktif maddelerin ve buna benzer kirleticilerin toprakta birikerek bitki gelişmesini, hayvan ve insan sağlığını tehdit etmesi durumudur (Pepper, 1996). Toprak kirleticileri inorganik, inorganik-organik kombine bileşenler ve organik yapıda olabilir (Yaron ve ark.,

1996). Tarımsal süreçler ve uygulamalar (insektisitler, herbisitler, fungusitler, tarım araçları yakıt atıkları), şehirleşme (enerji üretimi emisyonları, taşıma aktiviteleri) ve kimyasal mücadele bu kirleticilerin çevreye yayılmasında rol oynayan başlıca kaynaklardır (Mirsal, 2008). Bu kaynaklardan yayılarak toprak kirliliğine yol açan kirleticileri toprakta birikim miktarlarına göre makro ve mikro kirleticiler olarak sınıflamak mümkündür (Şekil 1.2.).

Çizelge 1.2. Toprakta kimyasal kirleticilerin sınıflandırılması (Mirsal, 2008)



Gübreler, iyonlar ve asit yağmurları yüksek miktarlarda toprağa karışarak kirliliğe sebep olur ve makro kirleticiler olarak nitelendirilir. Gübrelerin ve iyonların toprakta birikmeleri ve birikim miktarları aşağıdaki durumlarına bağlıdır (Mirsal, 2008):

- 1- Bitki ve hayvansal organizmalar tarafından alınmalarına
- 2- Toprakta tutunmaları ve farklı formlara dönüşebilmelerine
- 3- Drenaj yoluyla topraktan uzaklaşmalarına
- 4- Evaporasyon yoluyla atmosfere dönmelerine
- 5- Erozyon gibi toprak kayıpları ile toprak ortamından uzaklaşmalarına

Özellikle gübreler, dünyanın neredeyse her tarafında tarımsal faaliyetlerde kullanılmakta ve topraklarda birikerek kirliliğe neden olmaktadır. Azotlu gübreler toprakta NO_3 , NO_2 , değişebilir NH_4 , minarellere bağlı halde bulunan NH_4 , N_2 ve azot oksit türevleri halinde bulunmaktadır. Azot hem karasal ekosistemler hem de insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere yol açmaktadır. Bu etkiler toprakta özellikle NO_3 ve NO_2 varlığında ortaya çıkmaktadır (Yaron ve ark., 1996). Asidik karakterli azotlu gübreler toprak pH'nın düşmesine ve kireçlenmeye sebep olarak bitkisel verimin düşmesine yol açar (Savcı, 2012). Fosfor ise toprakta organik veya inorganik formda olabilir. Toprakta bulunan fosfor yıkanarak yer altı suyuna karışarak insan sağlığı üzerine olumsuz etkiler oluşturabilir.

Ağır metaller, radionüklidler (radyoaktif çekirdekler), pestisitler ve diğer organik kökenli bazı kirleticiler mikro kirleticiler olarak sınıflandırılır. Radyoaktif kirlenmeler gama, alfa ve beta ışınları, elektron yakalama ve pozitron emisyonları ile ortaya çıkar. Doğal radyoaktif ışınlar endüstri devrimi ile birlikte son 200 yılda artış göstermiştir. Bu artış madencilik aktiviteleri, yol yapım çalışmaları ve diğer inşaat sektörü çalışmalarının artmasıyla ivme kazanmıştır. Ayrıca çimento üretimi ve metal uygulama endüstrisi gibi endüstriler radyoaktif maddelerin atmosfere ve toprağın üst katmanına salınmasına neden olmaktadır. Bu kaynakların yanında savunma sanayilerinde kullanılan nükleer materyaller, enerji santralleri, atomik testler ve nükleer kazalar da bu kirliliği ortaya çıkarmaktadır (Mirsal, 2008).

Pestisitler, tarımsal uygulamalarda yabancı otlar, zararlı böcekler, mantarlar, bakteriler, örümcekler gibi üretim ve depolama aşamalarında zarara ve ürün kayıplarına neden olabilecek organizmalarla mücadele amacıyla kullanılan kimyasal mücadele materyalleridir. Kullanıldığı hedef organizmaya göre insektisit (böcek), fungusit (mantar), herbisit (yabancı otlar), akarisit (akarlar) gibi adlarla bilinirler ve ticari olarak bu isimlerle satılırlar. Pestisitler kimyasal yapılarına göre organik fosforlu, karbamik asit türevli, phyretroid ve klorlanmış yapıda olmak üzere sınıflandırılır. Pestisitler canlılar üzerinde kanserojen, teratojen (anne karnındaki yavruda bozukluklar), mutajenik ve alerjenik etkilere sebep

olabilmektedir (GAP-TEYAP, 2019). Yine bazı pestisitler kalıcı organik kirletici durumundadır ve uzun yıllar boyunca atmosfer ve toprakta kalabilmektedir. Özellikle aldrin, klordan, DDT, dieldrin, heptaklor, mirex ve toksafen içeren pestisitler kalıcı organik kirleticilerdir. Kalıcı organik kirleticiler toprakta 10-15 yıl kalabilmektedir (Durdu, 2018). Yukarıda sayılan sağlık etkileri göz önüne alındığında pestisitlerin yol açtığı toprak kirliliğinin önemi daha iyi anlaşılmaktadır.

1.2. Toprak Kirleticisi Olarak Ağır Mataller

Genellikle yoğunluğu 5g/cm³ den büyük olan ve doğada bozunmadan kalarak olumsuz etkiler oluşturan elementlere ağır metal denir. Bakır(Cu), demir (Fe), çinko (Zn), kurşun (Pb), civa (Hg), kobalt (Co), krom (Cr), nikel (Ni) ve kadmiyum (Cd) bunlardan bazılarıdır. (Hamutoğlu ve ark., 2012). Ağır metaller çevreye volkanizma, erozyon gibi doğal yollarla yayılabildiği gibi antropojenik yollarla da yayılabilir. Çevreye yayılan ağır metaller doğada bozulmadan uzun süre kalabildiklerinden toprakta birikerek kirliliğe neden olurlar. Bazı ağır metaller canlılar için gerekli olan elementler arasında yer alırken bazıları canlılar tarafından kullanılmazlar (Çizelge 1.3.).

Çizelge 1.3. Bazı ağır metallerin canlılık ve çevre için durumları (* çevre kirleticisi olmayanlar) (Çay, 2014)

Canlılık İçin Gerekli Ağırmetaller		Canlılık İçin Gerekli Olmayan Ağırmetaller	
Element	Özgül Ağırlık	Element	Özgül Ağırlık
Cr	7,2	Ag	10,5
Co	9	Cd	8,7
Cu	8,9	Hg	13,6
Fe	7,9	Pb	11,3
*Mn	7,4	*Pt	21,5
Mo	10,2	Tl	11,9
Ni	8,9	Sn	7,3
U	19,1		
V	6,1		
w	19,3		
Zn	7,1		

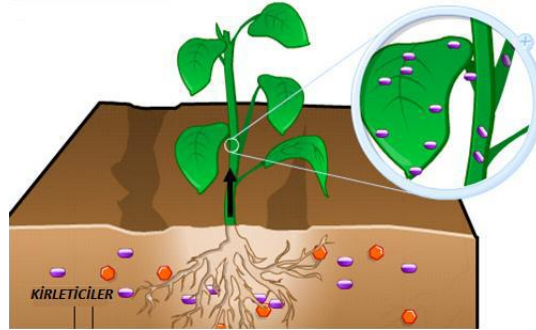
Ağır metal birikiminden kaynaklanan çevre kirliliği endüstrileşmenin artmasıyla doğru orantılı olarak artmış ve günümüzde önemli bir sorun haline gelmiştir. Ağır metaller hem fauna hemde flora için zararlı etkilere sahiptir. Madencilik, yüzey balıkçılığı, enerji ve yakıt üretimi, gübre ve pestisit kullanımı, demir ve çelik işlenmesi, elektro kaplama, metalurji çalışmaları, elektrikli aletlerin üretilmesi, atomik enerji yüklemesi gibi faaliyetler ağır metallerin birikimine dolaylı veya direkt katkı sağlar. Bu birikim bitkiler ve hayvanlar üzerine etkili olduğu kadar insan sağlığı açısından da oldukça zararlıdır (Das ve ark., 2008) .

1.2.1. Ağır Metallerle Kirlenmiş Toprakların Temizlenmesinde Fitoremediasyon Yöntemleri

Fitoremediasyon, organik ve inorganik kökenli kirleticilerin bitkiler kullanılarak ortamdan uzaklaştırılması veya dengede tutulmasını hedefleyen, farklı kirlilik türleri için farklı bitki ve yöntemlere dayalı esasları olan uygulamaların ortak adıdır. Yeşil ıslah olarakta bilinen fitoremediasyon yöntemleri kendi içerisinde fitoekstraksiyon, fitostabilizasyon, fitofiltrasyon, fitodegradasyon, fitovolatilizasyon olarak gruplanmasına karşın bunlardan özellikle fitoekstraksiyon, fitostabilizasyon, fitofiltrasyon metotları ağır metallerin remediasyonunda kullanılmaktadır (EPA, 2000).

1.2.1.1. Fitoekstraksiyon

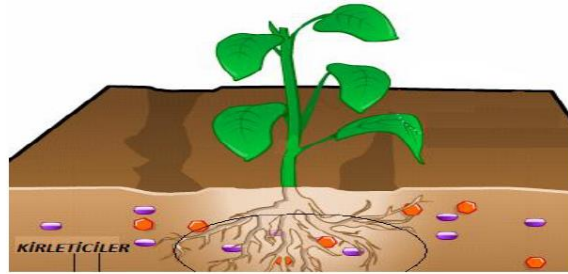
Fitoekstraksiyon metodu kirlenmiş toprakların temizlenmesinde kullanılan yöntemlerden biri olup bu yöntemin amacı bitkileri kullanarak ağır metallerin absorblanması, yoğunlaştırılması ve çöktürülmesidir. Bu yöntemde esas olan ağır metallerin kirlilik ortamından bitkinin kökleriyle alınması ve diğer bitki kısımlarına taşınmasıdır (Şekil 1.1.). Hem toprakların ve sedimentlerin hem de atık çamurun ıslahında kullanılabilir bir metottur. (EPA, 2000).



Şekil 1.1. Fitoekstraksiyon yönteminin işleyişi (Vanlı, 2007)

1.2.1.2. Fitostabilizasyon

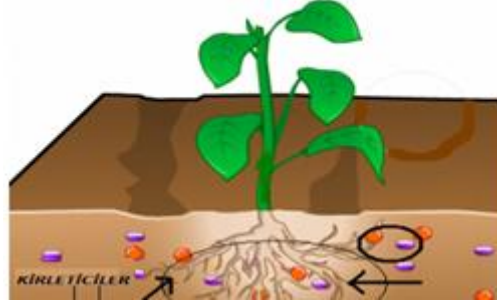
Fitostabilizasyon ağır metallerin köklerde depolanması veya kök bölgesinde tutulmaları esasına dayanan bir yöntemdir (Şekil 1.2.). Burada esas olan mevcut bitki köklerinin toprak mikroorganizma faaliyetlerinde meydana getirdiği değişiklikler veya ağır metallerin çözünme hızlarını düşürmek suretiyle metallerin çevreye yayılmasını önlemektir (EPA, 2000).



Şekil 1.2. Fitostabilizasyon yönteminin işleyişi (Vanlı, 2007)

1.2.1.3. Fitofiltrasyon (Rizofiltrasyon)

Sucul ortamlarda ağır metallerin bitki kökleriyle tutulması, çöktürülmesi veya yoğunlaştırılmasıdır (Raskin ve Ensley, 2000). Rizofiltrasyon metodu yüksek debili düşük metal yoğunluklu ortamlar için uygun olup toprak, sediment ve atık çamurun ıslahında kullanılamaz (Çay, 2014).



Şekil 1.3. Rizofiltrasyon yönteminin işleyişi (Vanlı, 2007)

Adana ili, Türkiye'nin güneyinde Akdeniz Bölgesi'nin Doğu Akdeniz Bölümü'nde yer alan gerek sanayisi gerekse ekonomisi ile Bölgenin önemli illerinden biridir. Jeolojik konumu nedeni ile Adana ili, çok çeşitli ve önemli yer altı kaynaklarına sahiptir. Başta demir olmak üzere, krom, alüminyum, bakır-kurşun-çinko, manganez, kuvars, kuvarsit, fosfat ve kum-çakıl olarak sayılabilir. İlerdeki önemli metalik madenlerden biri olan krom cevherleşmeleri Aladağ ilçesinde yoğunlaşmaktadır. Aladağ-Kızılyüksek ve Yataardıç krom yatağında % 5.37 Cr_2O_3 tenörlü 198.000.000 ton rezerv belirlenmiştir. Ofiyolitlere bağlı krom yatakları açısından dünyanın en büyük rezervine sahiptir. Bununla birlikte, Aladağ ofiyolitlerinde çok sayıda krom yatak ve zuhurları bulunmakta ve bunlar da krom açısından önemli bir potansiyel oluşturmaktadır. Bölgede özel sektör tarafından arama, araştırma ve üretim çalışmaları sürdürülmektedir. Yörede, düşük tenörlü yüksek rezervlere sahip cevherleri üretmek için özel sektör tarafından konsantre tesisleri kurulmuş olup, sayıları günden güne artmaktadır (MTA, 2010).

Bu tez çalışması kapsamında Aladağ ilçesi sınırlarında yer alan açık maden sahalarında yayılış gösteren bitkilerin değerlendirilerek bu bitkilerden fitoremediasyon kabiliyeti olanların saptanması amaçlanmaktadır.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Bitkileri Yerinde Değerlendirme ile İlgili Çalışmalar

Conesa ve ark. (2005), Güney Batı İspanya'da yer alan maden atığı alanlarında mevcut bitkilerin ağır metal biriktirme potansiyellerini araştırmışlar ve çalışma sonucunda maden atığı içeriğinin ağır metalce yoğun olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar maden atıklarında en yüksek konsantrasyona sahip metalleri Pb (5000-8000 mg/kg) ve Zn (7600-12300 mg/kg) olarak saptamışlardır. Çalışmada pH değerleri 6-7 aralığında ifade etmişler ve maden sahalarında pH değerlerinin farklılığını göstermişlerdir. Araştırılan üç bölge içinde hem Pb hemde Zn değerleri yüksek bulunmuştur. Üç ayrı sahada yürütülen çalışmada özellikle Zn konsantrasyonlarının yüksek standart sapma gösterdiği görülmüştür. Ancak araştırılan bitkilerden hiçbirisi metal biriktirme açısından önemli bulunmazken araştırmacılar bitkilerin Zn, Cu ve Pb metallerinin fitostabilizasyonunda kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Haque ve ark. (2007), Amerika Birleşik Devletleri'nin Arizona eyaletinde bulunan maden atıklarında bulunan *Baccharis sarothroides* türünün fitoremediasyon özelliklerini değerlendirmişlerdir. Bu bağlamda bitkide toprakta ve maden atıklarında metal analizleri yapmışlardır. Maden atıklarında yapılan ağır metal analizleri sonucunda bakır, kurşun, molibden, krom, çinko, arsenik, nikel ve kobalt için sırasıyla şu sonuçları bulmuşlardır: 526.4, 207.4, 89.1, 84.5, 51.7, 49.6, 39.7 ve 35.6 mg/kg. Verilen sıraya göre aynı metallerin kökteki konsantrasyonlarını 818.3, 151.9, 73.9, 57.1, 40.1, 44.6, 96.8 ve 26.7 mg/kg bulurken gövdeki konsantrasyonlarını 1214.1, 107.3, 105.8, 105.5, 55.2, 36.9, 30.9 ve 10.9 mg/kg olarak saptamışlardır. Araştırmacılar transfer faktörü (TF=gövde metal konsantrasyonu/kök metal konsantrasyonu), zenginleştirme faktörü (ZF=gövde metal konsantrasyonu/toprak metal konsantrasyonu) ve akümülyasyon faktörü (metale maruz kalmış bitkide toplam metal konsantrasyonu/normal alanlarda bulunan bitkilerde metal konsantrasyonu) hesaplamalarıyla değerlendirmeler

yapmış ve **Cu** (ZF=1-2 , TF=2-3), **Pb** (ZF=0-0.5, TF=0.5-1), **Cr** (ZF=1-1.5 , TF=1.5-2), **Zn** (ZF=0.5-1 , TF=1-1.5), **As** (ZF=0.5-1 , TF= 0.5-1) elementleri için *Baccharis sarothroides* türünün hiperakümülatör olabileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Kumari ve ark. (2011), Hindistan'ın Bihar eyaletinde bulunan bir termal güç santrali alanında yayılış gösteren *Pteris vittata* L. subsp. *vittata* türünde sekiz farklı ağır metal (Fe, Cu, Zn, Ni, Al, Cr, Pb, Si ve As) için bitki kısımlarında analizler yapmışlardır. Tüm çalışma alanlarında toprak altı kısımlarda metal konsantrasyonları araştırmacılar tarafından yukarıda verilen sırayla 413-797, 27-35.7, 66-101, 72-123, 104-124, 66-93, 92-137, 74-126, 105-173 mg/kg aralıklarında bulunurken toprak üstü kısımlarda 348-917, 34-49, 49-145, 45-141, 49-149, 43-117, 58-133, 65-138, 107-264 mg/kg aralıklarında bulunmuştur. Bitkide ağır metal birikiminin kirlilik artışıyla pozitif yönlü korelasyon gösterdiğini ifade eden araştırmacılar özellikle toprak üstü bitki kısımlarında daha fazla birikim olduğunu ortaya koymuşlardır. Bitkinin özellikle Fe, Cu, Cr, Pb, Zn, Ni, Al ve Si metali karışımına toleranslı olduğunu ve birden fazla ağır metalin sebep olduğu kirliliklerin remediasyonunda kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Nouri ve ark. (2011), İran'ın Hamadan şehrinde bulunan Ahangaran kurşun-çinko madeninde mevcut bitkilerin fitoremediasyon kabiliyetlerini belirlemeye çalışmışlardır. Araştırmacılar çalışmada biyokonsantrasyon faktörü (kök metal konsantrasyonu/ toprak metal konsantrasyonu) ve translokasyon faktörü (gövde metal konsantrasyonu/ kök metal konsantrasyonu) değerlerini baz almışlar ve iki değerinde birden büyük olması halinde bitkinin fitoekstraksiyon için kullanışlı olacağını söylemişlerdir. Çalışma sonunda biyokonsantrasyon faktörü (BF) değerlerine bakıldığında konsantrasyonları sırasıyla *Scrophularia scoparia* (BF=1,43) kurşun ağır metali için, *Centaurea virgata* (BF=1,73), *Echinophora platyloba* (BF=1,07) ve *Scariola orientalis* (BF=1,67) çinko ağır metali için ve *Centaurea virgata* (BF=1,27)ve *Cirsium congestum* (BF=1,05) mangan ağır metali için remediasyon kabiliyeti olan bitkiler olarak belirtilmiştir.

Uruioc ve ark. (2011), Romanya'nın kuzey-batısında kalan maden alanlarında spontan olarak bulunan *Dactylis glomerata*, *Dryopteris filix-mas*, *Crepis sp.*, *Equisetum arvense*, *Tussilago farfara*, *Cynodon dactylon* türlerini biyoakümülyasyon kabiliyetleri yönünden araştırmışlardır. Bu bağlamda araştırcılar toprak ve bitki kısımlarında metal konsantrasyonlarını belirlemişler ve biyokonsantrasyon faktörü (BF=topraküstü kısımların metal konsantrasyonu / toprağın metal konsantrasyonu) değerlerini hesaplayarak bitkilerin remediasyon yeteneklerini araştırmışlardır. Araştırcılar *Tussilago farfara* (BFCr=1,5, BFCd=1,13) and *Dryopteris filix-mas* (L.) Schott (BFCr=1,02, BFCd=1,35) bitkilerinin Cd ve Cr ağır metallerinin remediasyonunda kullanılabilir olduğunu ifade etmişlerdir.

Bech ve ark. (2012), Peru'da Cajamarca bölgesinde maden alanında yayılış gösteren *Bidens triplinervia* ve *Senecio sp.* türlerinin fitoremediasyonda kullanılabilme potansiyellerini araştırmışlardır. Bu bağlamda araştırcılar toprak ve bitkilerde Pb ve Zn konsantrasyonlarını saptamışlardır. Kirlenmiş alanlarda Pb ve Zn konsantrasyonlarını sırasıyla ortalama 13,105 mg/kg ve 28393 mg/kg olarak bildirmişlerdir. Araştırcılar bitkilerin remediasyon kapasitelerini ortaya koymak için TF (gövde metal konsantrasyonu/kök metal konsantrasyonu) ve GAF ((gövde metal konsantrasyonu/toprak metal konsantrasyonu) değerlerini kullanmışlardır. Araştırma sonucunda, *B. triplinervia* türünün 5000 mg/kg Pb ve 9000 mg/kg, ve *Senecio sp.* türünün ise 4000 mg/kg Zn akümüle edebildiği bildirilmiştir. Her iki tür için de hem GAF hem de TF değerlerinin 1'in üzerinde olduğu gösterilmiştir. Çalışma sonucunda özellikle *B. triplinervia* türünün Pb ve Zn ağır metalleri için fitostabilizasyonda kullanılabilereceği ifade edilmiştir.

Nan ve ark. (2013), Çin'in güneyinde yer alan Huayuan nehri civarında bulunan doğal bitkilerin remediasyon yeteneklerini araştırmışlardır. Mangan, çinko, kadmiyum ve kurşun ağır metalleri açısından bu bitkileri değerlendirmişlerdir. Bu bağlamda hem bitkilerde hem de nehir sedimentinde ağır metal analizleri yapmışlardır. Sediment analizlerinde mangan, çinko, kadmiyum ve

kurşun ortalama değerlerini 2807, 1354, 11, 114 mg/kg olarak saptamışlardır onüç bitki türünde yaptıkları araştırmaya sonucunda *Alternanthera philoxeroides* türünün daha yüksek oranlarda birikime sahip olduğunu belirten araştırmacılar bu bitkinin gövdesinde mangan, çinko, kadmiyum ve kurşun metallerinin konsantrasyonları sırasıyla 6511, 13.784, 155 ve 104 mg/kg olarak bulmuşlardır. Verilen sırayla biyoakümülyasyon etkinliği 5.08, 49.23, 36.78 ve 34.81 olarak bulunurken transfer faktörü değerleri 7.53, 3.19, 7.38 ve 1.29 olarak ifade edilmiştir. İlgili ağır metaller için *Alternanthera philoxeroides* türünün hiperakümülatör olduğu sonucuna varmışlardır. Bu bitkinin özellikle çinko ve kadmiyum için remediasyon yeteneğinde olduğunu vurgulamışlardır.

Dragović ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada *Salsola tragus* türünün remediasyon özelliklerini araştırmışlardır. Bu amaçla, Sırbistan sınırlarında bulunan Niş şehri civarında ki Nisava nehri alüvyonlarında bulunan bitkilerden ve topraklardan örnekler alarak Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn ve V ağır metalleri için biyoakümülyasyon (BF= kök metal konsantrasyonu/toprak metal konsantrasyonu) ve transfer (TF= toprak üstü organlar metal konsantrasyonu/ kök metal konsantrasyonu) faktörlerini hesaplayarak değerlendirmeler yapmışlardır. Bu değerlendirmeler sonucu Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn ve V metalleri için biyoakümülyasyon değerlerini sırasıyla 6.32, 5.42, 2.08, 0.15, 0.22, 0.06, 1.80, 1.82, 0.24, 3.18 olarak transfer faktörü değerlerini ise 1.06, 1.08, 1.18, 1.27, 1.06, 2.18, 0.96, 1.02, 1.92, 0.63 olarak bildirmişlerdir. Bu sonuçlar göre, bitkinin Cd, Co, Cr ve Pb elementleri için remediasyonda kullanılabileceği ifade edilmiştir.

Yang ve ark. (2014), Çin'in Hunan bölgesinde manganez madeninde bulunan 21 familyaya ait 51 bitki taksonu içerisinde dominant olan 12 bitki türünün ağır metal biriktirme ve fitostabilizasyon potansiyellerini araştırmışlardır. Bu kapsamda biyokonsantrasyon faktörü (BF= gövde metal konsantrasyonu/toprak metal konsantrasyonu) ve translokasyon faktörü (TF= Gövde metal konsantrasyonu/kök metal konsantrasyonu) değerlerini kullanmışlardır. Çalışma sonunda *Alternanthera philoxeroides*, *Artemisia princeps*, *Bidens frondosa*, *Bidens*

pilosa, *Cynodon dactylon*, *Digitaria sanguinalis*, *Erigeron canadensis* ve *Setaria plicata* türlerinin biyoakümülyasyon faktörü açısından değerlendirilmesiyle Cd, Mn, Pb ve Zn ağır metallerinin bitki bünyesinde az depolandığı ancak gelişimsel bir sıkıntı göstermedikleri ve ağır metal stresine karşı dayanıklı oldukları sonucuna varmışlardır.

Cudic ve ark. (2016), Batı Sırbistan'da çinko işleme tesisi içerisinde yaptıkları çalışmada mevcut alanda doğal yayılışa sahip bitkilerden beş tanesini seçerek bu bitkilerin fitoremediasyon potansiyellerini belirlemişlerdir. Kök bölgesi topraklarında Pb, Cd, Zn, Cu, Ni, Cr, ve As için ortalama metal konsantrasyonlarını 22948.6, 865.4, 85301.7, 3193.3, 50.7, 41.7 ve 617.9 mg/kg olarak saptamışlardır. Araştırmacılar değerlendirmeler için biyokonsantrasyon faktörü (kök metal konsantrasyonu/toprak metal konsantrasyonu) ile transfer faktörü (gövde metal konsantrasyonu/ kök metal konsantrasyonu) hesaplamalarını kullanmışlardır. Seçilen bitkilerden *Artemisia artemisiifolia* türünün çalışılan tüm ağır metaller için en iyi birikim değerlerine sahip olduğu belirtilmiş olup tüm çalışma alanları için BF değerlerine göre özellikle Pb, Cd ve As için fitostabilizasyonda kullanılabileceğine vurgu yapılmıştır.

Fernandez ve ark. (2017), Kuzey İspanya'da Kntabrian bölgesinde Pb-Zn ve Hg-As maden atıklarının bulunduğu alanda yayılış gösteren yerel bitkilerin fitoremediasyon kapasitelerini araştırmışlardır. Bu bağlamda 80 adet bitki türünden ve topraklarından alınan örneklerde ağır metal analizleri yapmışlardır. Toprak ve bitkilerdeki ağır metal konsantrasyonları kullanılarak biyoakümülyasyon faktörü değerlerini (BA=Bitki metal konsantrasyonu/ toprak ağır metal konsantrasyonu) hesaplanmışlardır. Cd için *Coincya monensis* (BAC=18.57), *Juncus effusus* (BAC=2.32) ve *Salix atrocinerea* (BAC=1.75), Hg için *Anarrhinum bellidifolium* (BAC=2.96), *Brassica sp.* (BAC=4.03), *Cistus salviifolius* (BAC=1.95), *Dactylis glomerata* (BAC= 3.90), *Piptatherum miliaceum* (BAC=2.24) ve *Salix atrocinerea* Brot. (BAC= 2.11), çinko için ise *Coincya monensis* (BAC=6.59), *Salix atrocinerea* (BAC= 3.73), *Pteridium aquilinum* (BAC=1.40) ve *Betula celtiberica*

(BAC=1.20) bitkileri için hesaplanan BAC değerlerini önemli bulmuşlardır. Araştırmacılar Hg, As, Zn ve Pb ağır metalleri için bölgedeki bitkilerin remediasyon potansiyelleri olduğunu ifade etmişlerdir.

Mahdavian ve ark. (2017), İran'ın Yazd şehrinde bulunan Koshk kurşun ve çinko madeninde yaptıkları çalışmada maden sahasında bulunan bitkileri kurşun, çinko ve gümüş metalleri açısından değerlendirilmişlerdir. Bu amaçla biyokonsantrasyon faktörü (kök metal konsantrasyonu/toprak metal konsantrasyonu) ve transfer faktörünü (gövde metal konsantrasyonu/ kök metal konsantrasyonu) hesaplanmışlardır. Çalışma sonucunda *Nonnea persica*, *Achillea wilhelmsii*, *Erodium cicutarium*, ve *Mentha longifolia* Pb ve Zn. İçin fitostabilizatör olarak bulunurken *Colchicum schimperi*, *Londesia eriantha*, *Lallemantia royleana*, *Bromus tectorum*, *Hordeum glaucum*, ve *Thuspeinantha persica* Ag metalinin az yoğun olduğu alanlarda fitoextraksiyonu için uygun olarak ifade edilmiştir. Ayrıca araştırmacılar *Ferula assa-foetida* türünün üç metal için de fitostabilizatör kabiliyetinde olduğunu ifade etmişlerdir.

Yıldırım ve Şaşmaz (2017), yaptıkları çalışmada Kütahya ilinde bulunan Gümüşköy gümüş maden yataklarında bulunan 11 karasal bitkiyi maden topraklarında bulunan As, Zn ve Pb açısından değerlendirmişlerdir. Bu amaçla kök ve gövdelerde zenginleştirme faktörü (ZF=kök veya gövde metal konsantrasyonu/ toprak metal konsantrasyonu) değerlerini hesaplamışlardır. Çalışılan bitkilerin toprağı, kökleri ve gövdelerindeki ortalama metal konsantrasyonları sırasıyla As için 4771, 2320 ve 1340 mg/kg, Ag için 35.93, 10.19 ve 11.51 mg/kg ve Pb için 4180, 1424 ve 1050 mg/kg olarak belirtilmiştir. *Glaucium flavum* kökleri, *Phlomis sp.* kök ve gövdeleri, *Verbascum thapsus* gövdeleri As metali için, *Glaucium flavum* kökleri, *Silene compacta* kök ve gövdeleri, *Verbascum thapsus* gövdeleri Ag metali için ve *Phlomis sp.* kök ve gövdeleri Pb için zenginleştirme faktörü değerlerinin yüksek bulunduğı belirtilmiştir.

Aihemaiti ve ark. (2018), yaptıkları çalışmada Çin'de bulunan bir vanadium maden alanında yayılış gösteren *Setaria viridis*, *Kochia scoparia* ve *Chenopodium*

album türlerinin ağır metal akümülyasyon kapasitelerini ölçmek amacıyla farklı noktalardan aldıkları örneklere ağır metal analizleri yapmışlardır. Bitkilerin akümülatörlük durumlarını değerlendirmek amacıyla biyoakümülyasyon faktörü (BAF= kök metal konsantrasyonu/toprak metal konsantrasyonu) ve transfer faktörü (gövde metal konsantrasyonu/kök metal konsantrasyonu) değerlerini kullanılmışlardır. Çalışma sahası topraklarında vanadyum konsantrasyonunu 46.5-637.9 mg/kg, krom konsantrasyonunu 49.8- 1459.4 mg/kg olarak ifade etmişlerdir. Bitkilerde yapılan analizler sonucunda ise BAF değerlerini vanadyum için 0.1-0.3, krom için 0.3-2.9, bakır için 0.5-1.6 aralığında bulmuşlardır. Çalışma sonucunda *Kochia scoparia* (BAF=0.2-0.8, TF= 0.1-1.1) ve *Chenopodium album* (BAF=0.25-1.6, TF= 0.5-0.9) türlerinin vanadyum lu topraklarda fitoekstraksiyon veya fitostabilizasyon amacıyla kullanılabilceğini belirtmişlerdir.

Palutoglu ve ark. (2018), tarafından yapılan çalışmada Kütahya Gümüşköy Maden alanında yayılış gösteren bitkiler Cd ağır metali için fitoremediasyon özellikleri açısından değerlendirilmiştir. Bu kapsamda kök ve gövde için zengileştirme faktörü (ZF=kök veya gövde metal konsantrasyonu/toprak metal konsantrasyonu) değerlerini baz almışlardır. Çalışma sahası toprakları ile bitkinin kök ve gövdelerinde bulunan Cd konsantrasyonlarının göreceli olarak sırayla 82.8 ± 5 , 55.4 ± 6 ve 43.5 ± 4 mg/kg civarında olduğunu belirtmişlerdir. Çalışma sonucunda *Carduus nutans* (ZFkök=2.003, ZFgövde=1.67) ve *Phlomis* sp. (ZFkök=1, ZFgövde=1.05) bitkilerinin Cd elementi açısından akümülatör olabileceğini ifade etmişlerdir.

2.2. Remediasyon Potansiyeli Olan Bitkilerin Laboratuvar Koşullarında Denenmesi ve Remediasyon Özelliklerinin Ortaya Konulması ile İlgili Çalışmalar

Shen ve ark. (1997), hiperakümülatör olduğu bilinen *Thlaspi caerulescens* ve hiperakümülatör olmayan *Thlaspi ochroleucum* türlerini su kültürü ortamında kontrollü şartlar altında yetiştirerek Zn ağır metalinin bu bitkilerde alımını ve

büyümleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Dört tekerrürlü yürütülen çalışmayı 24 günde sonlandırılarak bitkileri hasat etmişlerdir. *Thlaspi caerulescens* türünün 500 mmol Zn konsantrasyonunda kök ve gövde uzunluklarında bir değişim gözlenmezken *Thlaspi ochroleucum* türünde 500 mmol konsantrasyonunda toksik etkilerin ortaya çıktığı ifade edilmiştir. Çalışma sonunda *T. caerulescens* türünün daha çok gövdesinde, *T. ochroleucum* türünün ise köklerinde birikim olduğu saptanmıştır. *T. caerulescens* gövdesinde *T. ochroleucum* türüne göre iki kat fazla Zn biriktirdiğini saptayan araştırmacılar *T. caerulescens* türünde Zn taşınmasının daha etkin olduğunu ve akümülyasyon kabiliyetinin buna bağlı olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar *T. ochroleucum* türünün akümülyatör olmasa bile indikatör bitki olarak kullanılabilceğini ifade etmişlerdir.

Tanhan ve ark. (2007), Tayland'ın batısında yer alan Kanchanaburi bölgesindeki Bo Ngam kurşun madeninde yayılış gösteren *Chromolaena odorata* bitkisinin Cd, Pb ve Zn ağır metalleri için remediasyon özelliklerini belirlemek amacıyla araziden topladıkları bitki örneklerinde kök ve gövdelerde ağır metal analizleri gerçekleştirmişlerdir. Arazi çalışmaları sonucunda bitki kök ve gövdelerinde sırasıyla 1377 ve 4236 mg/kg Pb bulunurken Cd ve Zn konsantrasyonlarının daha düşük düzeylerde olduğunu tespit etmişlerdir. Laboratuvar çalışmaları sonucunda ortamda metal konsantrasyonları arttıkça bitkilerin kök ve gövdelerinde üç metal için de birikimin arttığını saptamışlardır. Laboratuvar çalışmalarında bitkinin gövde ve köklerinde Pb konsantrasyonu 1772.3 ve 60655.7 mg /kg, Cd konsantrasyonu 102.3, 1440.9 mg/kg ve Zn konsantrasyonları 1876.0, 7011.8 mg/kg olarak ifade edilmiştir. Bu çalışmada akümülyatör bitkileri saptamak amacıyla biyoakümülyasyon katsayısı formülünü (BK=bitki toplam metal konsantrasyonu/ yetişme ortamı metal konsantrasyonu) kullanılmıştır. Biyoakümülyasyon katsayısı değerleri Cd için 2672.9-3704.7, Zn için 444.4-786.5 ve Pb için 2131-6242 olarak ifade edilmiştir. Bu sonuçlara göre araştırmacılar, söz konusu bitkinin özellikle Cd ve Pb remediasyonunda kullanılabilceğini belirtmişlerdir.

Zhang ve ark. (2007), Çin'in Guangxi bölgesinde bulunan bir galvanik fabrikası civarında yayılış gösteren *Leersia hexandra* türüyle ilgili yaptıkları arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucunda bu türün krom ağır metali için hiperakümülatör olduğunu ifade etmişlerdir. Araştırmacılar hem doğal alanlardan topladıkları hem de hidroponik kültürlerde yetiştirdikleri bitkilerde ağır metal analizleri yaparak bitkinin hem Cr III hem Cr VI formlarına karşı tolerans durumunu incelemişlerdir. Doğal alanlarda suda ve sedimentte sırasıyla ortalama 5.27 mg/kg ve 103 mg/kg Cr bulunurken, hidroponik kültür ortamlarında CrIII için 0, 5, 10, 20, 40, 60 mg/l, CrVI için ise 0, 5, 10, 15, 20, 30 mg/l konsantrasyonlarında krom bulunduğu belirtilmiştir. Bu bağlamda hidroponik kültürlerde kontrollü şartlarda 3 tekerrürlü olarak yetiştirilen bitkileri 40 gün sonunda hasat etmişler ve kök, gövde ve yaprak olarak ayırmışlardır. Ayrılan kısımlarda Cr analizleri yapılmıştır. Buna göre, krom analizi sonuçlarına göre kuru örneklerde 135-514 mg/kg aralığında Cr konsantrasyonu saptanmıştır. Araştırmacıların bulgularına göre CrIII konsantrasyonu değişimleri biyomasta önemli bir değişime yol açmazken CrVI konsantrasyonlarında ki artma biyomasta önemli bir azalma meydana getirmiştir. Çalışma sonucunda bu türün her iki Cr formu içinde toleranslı olduğu ve yeni bir hiperakümülatör olduğu ifade edilmiştir.

Liu ve ark. (2009), potansiyel bir hiperakümülatör olan *Lonicera japonica* türünde Cd ağır metali akümülyasyonu ve mekanizmasını araştırmışlardır. Bu bağlamda araştırmacılar hidroponik kültürlerde yetiştirdikleri bitkilere 5-10-25 ve 50 mg/l konsantrasyonlarında Cd uygulamışlardır. Kadmiyum (5-10 mg/l) uygulamaları sonucunda araştırmacılar gözle görülen bir toksik etki saptamazken analizler sonucunda bitki biyomasında ve klorofil içeriklerinde değişen konsantrasyonlarda farklılıklar olduğunu ifade etmişlerdir. En yüksek Cd konsantrasyonu olan 50 mg/l uygulamsında bitki biyomasında kontrole göre önemli bir azalma gözlemleyen araştırmacılar en yüksek akümülyasyon değerlerinin ise 25mg/L Cd konsantrasyonunda gövde ve sürgünlerde 344,49 ve 286,12 µg/g

olarak elde edildiğini ifade etmişlerdir. Çalışma sonucunda bu türün Cd ağır metali için hiperakümülatör olduğu vurgulanmıştır.

Adhikari ve ark. (2010), *Ipomoea sp.* ve *Typha sp.* bitkilerinin kurşun ağır metali için akümülyasyon kabiliyetlerini araştırdıkları çalışmada, bahsi geçen bitkileri kontrollü şartlar altında ve farklı konsantrasyonlarda kurşun içeren ortamlarda (0, 50, 100 200, 400, 600, 800 mg/kg) yetiştirmişlerdir. Ekimden 45 gün sonra hasat yapılmışlardır. Hasat edilen bitkilerde ağır metal analizleri yapılmışlar ve her iki bitkide de artan dozlarla birlikte kök ve gövde yapılarında kurşun birikiminin arttığını saptanmışlardır. Araştırmacılar birikim sonucu büyüme parametrelerinde bir değişim gözlememişlerdir. *Thypa SP.* bitkisinde köklerde 800 mg/kg kurşun içeren ortamda köklerde 250 mg/kg, gövdede 1200 mg/kg civarında birikim olurken *Ipomea* bitkisinde köklerde 375 mg/kg, gövdede 1500 mg/kg civarında birikim saptanmışlardır.

Buendia ve ark. (2010), tarafından yapılan çalışmada farklı konsantrasyonlarda Cr (0-3,4 mM) ve Cd (0-2,2 mM) ağır metallerine maruz bırakılmış ortamlarda çimlendirilen ve fide haline getirilen *Prosopis laevigata* türünde büyüme parametreleri ve ağır metal birikimlerini araştırmışlardır. Fidelerin gövde ve köklerinde 8176 ve 21437 mg/kg Cd ve 5461 ve 8090 mg/kg Cr biriktirdiği ifade edilmiştir. Ağır metal varlığının çimlenmeyi etkilemediği gözlemlenirken yapı olarak daha kısa boylu ve az yapraklı bitkilerin oluşmasına yol açtığı gözlenmiştir. Ağır metal birikimleri incelendiğinde, bitkinin iki metal için de iyi bir taşıyıcı olduğu ifade edilirken araştırmacılar bitkiyi biyoakümülyasyon faktörü ($BF = \frac{\text{gövde ağır metal konsantrasyonu}}{\text{ortam ağır metal konsantrasyonu}}$) değerlerine ($BFCd = 100-120$, $BFCr = 15-20$) göre bu metaller açısından hiperakümülatör olarak nitelemişlerdir.

Keeling ve ark. (2003), *Berkheya coddii* türünün Co ve Ni remediasyonu kabiliyetlerini araştırmak üzere metal içeren ortamlarda bitkiyi yetiştirerek bitkilerin organlarında ilgili ağır metallerin birikimlerini analiz etmişlerdir. Araştırmacılar bu kapsamda Co ve Ni metallerini tek tek ve karışım halinde içeren

(4, 12, 37, 111, 333, 500, 1000 µg/g) bir deneme ortamı tesis etmişlerdir. Artan metal konsantrasyonu ile bitkilerde biriken metal düzeylerinin de arttuğunu saptamışlardır. Araştırma sonucunda nikel varlığının kobalt alımını etkilemediği ancak kobalt varlığının nikel alımını azalttığı ifade edilmiştir. Co ağır metalinin 20 µg/g ve üzeri dozlarda toksik etkiler ortaya çıktığını saptayan araştırmacılar ağır metallerin tek tek bulunduğu ortamlarda daha kolay alınırken birlikte olduklarında daha zor alındığını ve bu durumun iki elementin bitkinin kök bölgesinde alım sırasında yarış içinde olduklarından kaynaklandığını vurgulamışlardır. Biyoakümülyasyon katsayısı (BK= bitki metal konsantrasyonu/ ortam metal konsantrasyonu) değerlerini değerlendiren araştırmacılar metallerin tek substrat olduğu ortamlarda Co (8) metalinin BK değerlerinin Ni (6) metaline göre daha yüksek olduğunu ifade etmişlerdir. Karışım olarak hazırlanan ortamlarda Ni biyoakümülyasyon değerinin 2.5'e düştüğü ifade edilirken Co elementinin birikiminde artış olduğu vurgulanmıştır.

Redondo-Gómez ve ark. (2010), halofit olduğu bilinen *Arthrocnemum macrostachyum* türünün Cd ağır metali için akümülyasyon kabiliyetini ve toleransını araştırmışlardır. Bu kapsamda araştırmacılar kurdukları deneme ile 0-1,35 mmol/L Cd uygulamasına maruz bırakılan bitkilerde klorofil miktarlarını ve Cd, Ca, Cu, Fe, Mn, Mg, P, Na ve Zn konsantrasyonlarını saptamışlardır. Çalışma sonuçlarına göre bitkinin Cd ağır metaline yüksek toleransının olduğu ifade edilmiştir. En yüksek doz olan 1,35 mmol/L uygulamasında fitotoksik etkiler ortaya çıkmazken bitki biyomasında %25 lik bir azalma saptanmıştır. Sonuç olarak araştırmacılar *A. macrostachyum* türünün hiperakümülyatör olarak Cd ile kirlenmiş alanlarda kullanılabilceğini vurgulamışlardır.

Ji ve ark. (2011), yaptıkları çalışmada Cd hiper akümülyatörü olduğu bilinen *Solanum nigrum* bitkisi ile bir arazi denemesi planlamışlardır. Çalışma kapsamında araştırmacılar ticari olarak elde ettikleri tohumlardan fideler elde etmişler ve sonrasında bu fideleri çalışma sahasına dikmişlerdir. Önceden analizi yapılmış olan ve 1,91 mg/Kg Cd içeren topraklarda yetiştirilen bitkilerde bitki sıklığı ve

gübrelemenin birikime etkileri değerlendirilmiştir. Araştırmacılar 30x30, 30x50, 40x40, 40x60, 50x70 olmak üzere farklı bitki sıklıklarını denemişler ve bu sıklıklarda bitkilerde Cd birikimini sırasıyla 9.69, 9.92, 9.66, 9.72, 9.80, 9.69 mg/kg olarak saptamışlardır. Bu bağlamda bitki sıklığının Cd metalinin alımı üzerinde oldukça önemli olduğunu ifade etmişlerdir.

Mohanty ve Patra (2012), yaptıkları çalışmada *Brachiaria mutica* bitkisini materyal olarak kullanmışlar ve krom ile kirlenmiş topraklarda bu bitkinin remediasyon kapasitesini araştırmışlardır. Bu kapsamda, biyokonsantrasyon (bitkide toplam metal konsantrasyonu/yetişme ortamı metal konsantrasyonu) ve transfer (yaprak metal konsantrasyonu/kök metal konsantrasyonu) faktörü değerlerini kullanarak hesaplamalar yapmışlardır. İndeks hesaplamalarına göre 100 günlük bitkilerde maksimum biyokonsantrasyon faktörü değeri 0,33 olarak bulunmuştur. Maksimum transfer faktörü 6,16 maksimum total akümülyasyon değeri ise 8.2 mg/kg gün olarak 125 günlük bitkilerde ölçülmüştür. Kromun köklerde gövdeye nazaran 1000 kat fazla olduğunu belirten araştırmacılar krom akümülyasyonunun bitkinin gelişme çağına, biyokütlesine ve yetişme ortamındaki krom miktarına bağlı olduğunu vurgulamışlardır.

Adamidis ve ark. (2014), *Alyssum lesbiacum* tünün Ni toleransı ve taşınmasını araştırmak üzere hidroponik ortamlarda deneme yapmışlardır. Bitkiye ait dört farklı lokasyondan toplanan tohumlar kullanılarak artan konsantrasyonlarda Ni ağır metali içeren ortamlar (0-250 µmol/L) oluşturmuşlardır. Bitkilerin Ni toleranslarını değerlendirmek üzere bitki kök ve gövde boyları ölçülerek bu sonuçlara göre bir değerlendirme yapılmıştır. Araştırmacılar Ni ağır metali toleransı ve akümülyasyonu ile iletimi arasında bir korelyasyon olduğunu ifade etmişlerdir. Buna göre gövdede Ni birikimi 10000-14000 mg/kg aralığında, kökte ise 6000-1000 mg/kg aralığında saptanmıştır. Araştırmacılar Ni birikimin ortam Ni konsantrasyonu artışı ile arttığını saptamışlardır.

Elektorowicz ve Keropian (2015), *Brassica juncea* bitkisinin krom, lityum ve vanadyum ağır metalleri için fitoremediasyon ve fitostabilizasyon özelliklerini

araştırmışlardır. Bu amaçla lityum maden atığı ve katı atık suyunun karıştırılmasıyla oluşturulmuş 17 mg/g vanadyum ve 0,1 mg/g krom içeren farklı oranlarda hazırlanmış ortamlar bitki yetiştirme ortamı olarak kullanılmıştır. Kontrollü şartlar altında büyütülen bitkilerde biyokütle ve metal akümüasyonu değerlerini ölçmüşlerdir. Büyüme ortamında, bitkinin yaprak, gövde ve köklerinde metal konsantrasyonları V için 34.168, 10.11, 18.8, 5.090, Li için 0.98, 0.31, 0.084, 0.005 ve Cr için 0.51, 0.15, 0.29, 0.065 olarak ifade edilmiştir. Çalışma sonunda, %25 ve %50 lityum maden atığı içeren ortamlarda en yüksek akümüasyon değerleri tespit edilmiştir. Sonuçlara göre araştırmacılar *Brassica juncea* bitkisinin söz konusu ortam için hiperakümülatör, fitoekstraktör ve fitostabilizatör olduğu ifade edilmiştir.

Ramana ve ark. (2016), *Hibiscus sabdarifa* türünde Cr ağır metali alımını ve taşınmasını araştırmışlardır. Bu kapsamda tarım alanlarından alınan topraklar kullanılarak 0-200 mg/kg Cr içeren ortamlar oluşturulmuş ve bu saksı ortamlarına tohumlar ekilmiştir. Doksan günlük büyüme periyodu sonunda bitkiler hasat edilmiş ve kök, gövde ve meyve olarak ayrılmıştır. Ayrılan yapılardaki Cr konsantrasyonları ölçülmüştür. Elde edilen değerlere göre biyokonsantrasyon faktörü (BKF=Bitki kısımları/toprak metal konsantrasyonları) ve translokasyon faktörü (TF= gövde/kök metal konsantrasyonları) değerlerini hesaplamışlardır. Artan Cr konsantrasyonlarda (5,10, 15, 20, 25 mg/kg) elde edilen TF değerlerini sırasıyla 0.55, 0.58, 0.61, 0.64, 0.70 ve BKF değerlerini ise 6.93, 5.51, 4.53, 4.44, 4.12 olarak hesaplamışlardır. Çalışma sonucunda bitkilerde özellikle 25 mg/kg Cr konsantrasyonu ve sonrasında toksik etkiler ortaya çıktığı ifade edilmiştir. Araştırmacılar *P. vittata* türünün toprak üstü kısımlarında 4106 mg/kg As, 1499.5 mg/kg Pb ve 321.5 mg/kg Sb biriktirirken *V. principis* türünün 1032 mg/kg As, 1235 mg/kg Pb ve 1201 mg/kg Cd biriktirdiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar *Hibiscus sabdarifa* türünün Cr ağır metali için hiperakümülatör olmadığı sonucuna varmışlardır.

Goswami ve ark. (2017), yaptıkları çalışmada *Tagetes erecta* türünün kadmium ve bakır ağır metalleri için remediasyon potansiyellerini laboratuvar

koşullarında araştırmışlar ve bu ağır metallerin bitkide ortaya çıkardığı stress durumlarını gözlemlemişlerdir. Araştırmacılar bitkinin toprak üstü kısımlarında yüksek miktarlarda metal birikimi (3675 mg/kg Cd ve 3948 mg/kg Cu) olduğunu saptamışlardır. Artan dozlarda Cd (0, 50, 100, 150, 200, 250, 300 mg/kg) ve Cu(0, 150, 200, 250, 300, 400 mg/kg) içeren ortamlarda yetiştirilen bitkilerde bulunan toplam metal konsantrasyonlarını 1719-3518 mg/kg Cd ve 2438-3467 mg/kg Cu olarak ifade etmişlerdir. Klorofil pigment içeriğinin artan metal konsantrasyonu karşısında azaldığını malonaldehit içeriğinin ve antioksidant enzim aktivitelerinin ise metal konsantrasyonu ile birlikte arttığını görmüşlerdir. Çalışma sonunda araştırılan türün iki ağır metal için de toleranslı olduğu sonucuna varmışlardır.

Sidhu ve ark (2017), tarafından yapılan çalışmada *Coronopus didymus* türününün kadmiyum ağır metali için tolerans kabiliyeti ve remediasyon yeteneği araştırılmıştır. Bu kapsamda, 0, 100, 200, 400 mg/kg konsantrasyonlarında Cd içeren ortamlarda bitkiler yetiştirilmiştir. Deneme sonrası kök ve gövde boyu uzunluklarını ölçmüşlerdir. Kök ve gövde boyları, artan metal konsantrasyonu karşısında 200 mg/kg konsantrasyonuna kadar artmış 400 mg/kg Cd konsantrasyonunda ise keskin şekilde azalmıştır. Kök ve gövde boyları sırasıyla 13.72-15.43 cm ve 12.62-17.42 aralığında ölçülmüştür. Bitkinin ağır metal toleransı ve remediasyon kabiliyetini ölçmek amacıyla biyokonsantrasyon faktörünü (gövde metal konsantrasyonu/ortam metal konsantrasyonu) ve transfer faktörünü (gövde metal konsantrasyonu/kök metal konsantrasyonu) kullanmışlardır. Artan dozlarda (0, 100, 200, 400) biyokonsantrasyon değerlerini 0.91, 3.12, 2.5, 2.16 olarak bulurken; transfer faktörü değerlerini 0.78, 0.81, 0.95, 1 olarak bulmuşlardır.

Wan ve ark. (2017), tarafından yapılan çalışmada Çin'in Hunan bölgesinde yer alan maden sahasındaki potansiyel metal akümülatörü olan *Pteris vittata* ve *Viola principis* türlerinin As, Pb, Zn, Cd, Cu ve Sb ağır metalleri için araştırılmıştır. Bu amaçla maden alanındaki dört bölgeyi ağır metal yönünden analiz etmişlerdir. Araştırmacılar dört bölgede iki türün bulunduğu alanların metal

içerikleri ile bitkilerdeki ağır metal içeriklerini kıyaslamışlardır. *P. vittata* türünün toprak üstü kısımlarında 4106 mg/kg As, 1499.5 mg/kg Pb ve 321.5 mg/kg Sb biriktirirken *V. principis* türünün 1032 mg/kg As, 1235 mg/kg Pb ve 1201 mg/kg Cd biriktirdiğini belirtmişlerdir. Bitkiler için biyoakümülyasyon faktörü (BAF=gövde metal konsantrasyonu /toprak metal konsantrasyonu) hesaplanmıştır. BAF değerleri *P. vittata* türünde As (3.94), Zn (1.05) ve Sb (1.21) elementleri için 1'den büyük bulunurken *V. principis* türünde Cd (3.38) 1'den büyük olarak gösterilmiştir. Çalışma sonunda araştırmacılar bu iki türün çoklu metal kirliliği durumlarında fitoekstraksiyon amacıyla kullanılabilir olduğunu ifade etmişlerdir.

Wang ve ark. (2017), *Chlorophytum comosum* bitkisinde kadmiyum ağır metalinin birikimi üzerine fosfat gübrelemesinin etkisini araştırdıkları çalışmada 0-800 mg/kg fosfat dozlarının metal alımına etkilerine bakmışlardır. Bitkinin remediasyon kabiliyetini ölçmek amacıyla biyokonsantrasyon katsayısı (Bitki ağır metal konsantrasyonu/toprak ağır metal konsantrasyonu) ve translokasyon faktörü (toprak üstü organların metal konsantrasyonu/ kök metal konsantrasyonu) değerlerini kullanmışlardır. Araştırmacılar bitki organlarında yaptıkları ağır metal analizleri sonucunda gübreleme dozu (50, 100, 200, 400, 600, 800 mg/kg P) arttıkça Cd birikiminin köklerde (343.75, 380.5, 440.00, 472.00, 462.75, 437.50, 415.75 mg/kg Cd) ve yapraklarda (247.5, 261.00, 352.50, 376.50, 274.50, 249.00, 195.00 mg/kg Cd) en düşük P dozuna göre artışlar olduğunu özellikle de 400 ppm fosfor gübrelemesi yapılan grupta bitkilerin en yüksek Cd birikim değerlerine (kök: 472.00, yaprak: 376.5 mg/kg) ulaştığını saptamışlardır. Yine bu dozda biyoakümülyasyon değeri (kök: 6.17, yaprak: 4.92) ve translokasyon değerinin de (0.80) en yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Araştırmacılar P gübrelemesinin remediasyonda önemli bir etkiye sahip olduğunu vurgulamışlardır.

Liu ve ark. (2018), tarafından yapılan bir çalışmada Mn ve Cd ağır metallerini aynı anda biriktirebilen *Celosia argentea* türünün bu davranışını anlamak üzere laboratuvar çalışması yürütülmüştür. Bu kapsamda Cd ve Mn içeren ortamları şu şekilde tesis etmişlerdir (Cd-Mn mg/kg): T1 (0 0), T2 (0-200), T3 (0-

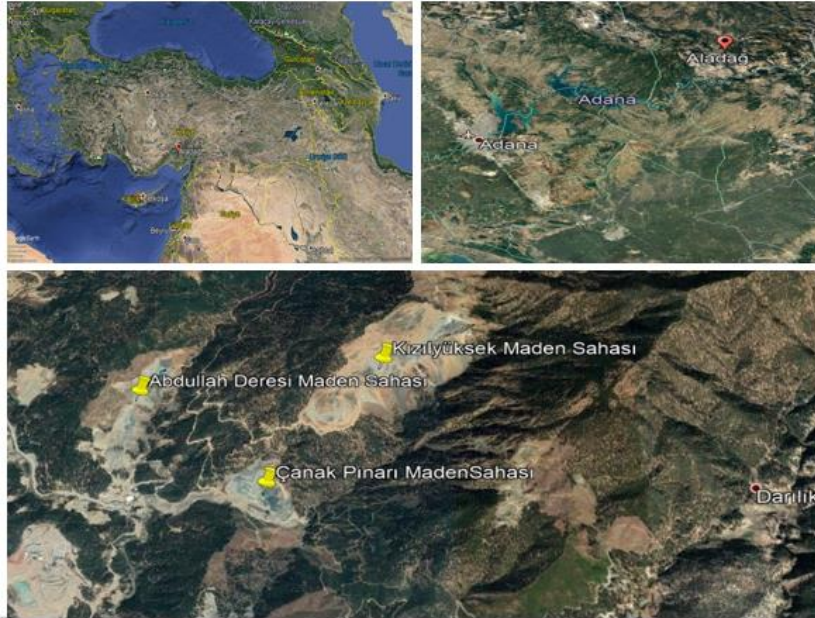
500), T4 (1-0), T5 (1-200), T6 (1-500), T7 (5-0), T8 (5-200) ve T9 (5-500). Ağır metal analiz sonuçlarına göre transfer faktörü (yaprak metal konsantrasyonu/ kök metal konsantrasyonu) ve akümülyasyon faktörü (yaprak metal konsantrasyonu/ toprak metal konsantrasyonu) değerlerini hesaplamışlardır. Buna göre Cd için akümülyasyon faktörü değerleri 1 mg/kg Cd konsantrasyonu civarında özellikle Mn konsantrasyonunun 0, 200 ve 500 mg/kg olduğu durumlarda 80-120 arafında bulunmuştur. Mangan için akümülyasyon faktörü değerlerini 200 mg/kg Mn konsantrasyonu civarında Cd konsantrasyonunun 0, 1, 5 mg/kg olduğu durumlarda 50-60 arafında bulmuşlardır. Çalışma sonucunda bitkinin söz konusu ağır metalleri rastlantısal olarak bünyesine aldığı ifade edilmiştir.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Meteryal

3.1.1. Çalışma Alanının Konumu

Bu tez çalışması kapsamında Adana ili Aladağ ilçesi sınırlarında 600-1200 metre yüksekliklerinde ve açık işletme olarak faaliyet gösteren krom maden sahalarında 2016-2017 ve 2017-2018 yılları arasında arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın amacına uygun olarak bu alanlarda yayılış gösteren bitki türleri arasından maden alanı için karakteristik ve alanda dominant olanların belirlenmesine ve seçilen bitkilerin remediasyon kabiliyetlerinin belirlenmesine çalışılmıştır. Bu kapsamda çalışmanın ilk basamağı olarak bu sahalarda arazi gezileri yapılmış ve doğrudan açık maden sahalarında (Şekil 3.2.) yayılış gösteren bitkiler belirlenmeye çalışılmıştır. Maden sahaları kendi içlerinde Kızılyüksek, Çanakpınarı, Abdullah Deresi olarak yöresel isimleriyle belirtilmiştir (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. Çalışma kapsamında değerlendirilen maden sahaları (Kızılyüksek, Abdullah Deresi, Çanak Pınarı)



Şekil 3.2. Açık maden sahalarının genel görünümü

3.1.2. Çalışma Sahasının Genel Jeolojik Özellikleri ve Toprak Yapısı

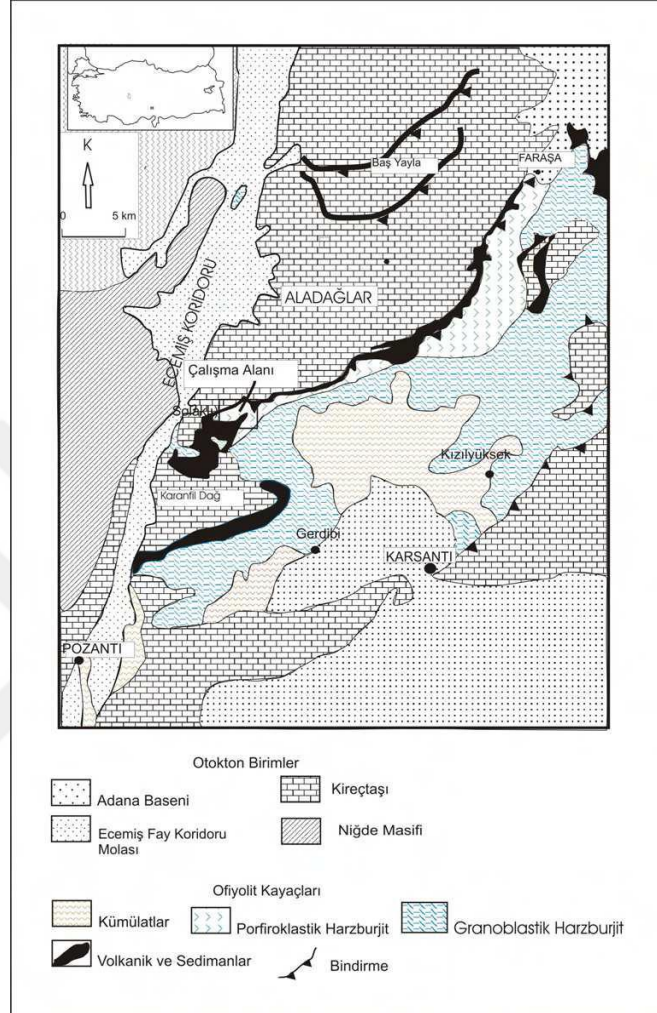
Toroslar, alp orojenik kuşağının Anadolu'nun güney ve doğu kesimlerinden geçen önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Çalışma alanı Aladağ ofiyolit Kuşağı içerisinde yer almaktadır. (Can, 2008). Bu bölge özellikle kromit minerali açısından oldukça zengindir. Kromit, minerolojik olarak spinel grubuna ait bir mineral olup, küp sisteminde kristallenir. Teorik formülü, $FeCr_2O_4$ olmakla birlikte doğada bulunan kromit mineralinin formülü $(Mg,Fe)(Cr,Al,Fe)_2O_4$ olarak

bilinmektedir. Tezin yürütüldüğü maden alanlarının bulunduğu bölge ve civarının kayaçları; Niğde Masifi, Aladağ Birliğine ait Karbonatlar ve Ecemiş Fay Koridoru kayaçlarından oluşan otokton kısım ve bunların üzerinde allokton bölüm olarak Pozantı-Karsantı Ofiyoliti tektonitleri ve kümülat kayaçları, ofiyoliti her seviyede kesen dolerit-diyabaz dayk kümeleri, metamorfik dilim, ofiyolitik melanj ofiyolitik masife ait volkanik ve derin deniz sedimanter kayaçlarından oluşmaktadır (Şekil 3.2.) (Bingöl, 1978; Can, 2008'den).

Özgül (1976), Toros'ları ayırtman stratigrafi özellikleri ve kapsadıkları kaya birimlerine göre Bolkardağı Birliği, Aladağ Birliği, Geyik Dağı Birliği, Alanya Birliği, Bozkır Birliği ve Antalya Birliği olarak sınıflamıştır.

Aladağ birliği içerisinde değerlendirilen çalışma alanımız kümülat kayaçların yoğunlaştığı Kızılyüksek ve çevresi olup bu kayaçlar dunit, verlit, olivinli klinopiroksen, klinopiroksenit ve olivinli vebsterittir. Kümülatların mineral kimyasında yer alan magnezyum ve demir oranları kayaçlar arasında değişiklikler göstermektedir. Tüm ultramafik kümülat kayaç grupları adkümülat tekstür özelliğinde ve farklı oranlarda serpantinleşme göstermektedir (Can, 2008).

Çalışma alanımızı kapsayan bölgede çok sayıda kromit yatağı mevcuttur. Pozantı Karsantı Ofiyoliti içerisindeki kromit yatakları, seyrek olarak 50.000-60.000 tonu aşan fakat çoğu 10.000 ton'un altında yataklar şeklinde görülmektedir. Ancak, yanal devamlılığı olan tenörleri oldukça düşük (% 9-22 Cr₂O₃) fakat rezervleri ofiyolitik kromitler için oldukça büyük (1 milyon ton'un üstünde) dunitik kümülatların tabanında kromit yatakları (Akinek dağ, Tekneli ve Sarı çoban) bulunmuştur (Anıl, 2001). Anıl (1990) tarafından kromit cevhere ait çeşitli ocaklardan alınan örneklerde yapılan kromit mineral kimyası analizlerinde Cr₂O₃ % 46.55- 60.65, Al₂O₃ % 8.44-22.20, Fe₂O₃ % 1.13-5.06, FeO % 8.35-13.63, MgO % 12.47- 16.09 ve TiO₂ % 0.00-0.24 arasında bulunduğunu gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Çalışma alanı ve civarının sadeleştirilmiş genel jeoloji haritası (Bingöl, 1978; Can, 2008'den)

Çalışma sahası topraklarını Yurdakulol (1975) kireçsiz kahverengi orman toprakları, kahverengi orman toprakları, kırmızı Akdeniz toprakları, kırmızı-kahverengi Akdeniz toprakları, kolluvyal topraklar ve karışık arazi tipleri olarak sınıflandırmıştır. Kızılyüksek ve civarında Kızıldağ (2017) tarafından yapılmış çalışmada bölge topraklarının tekstürünün %71,3 kum, %13,9 silt, %15,84 kil

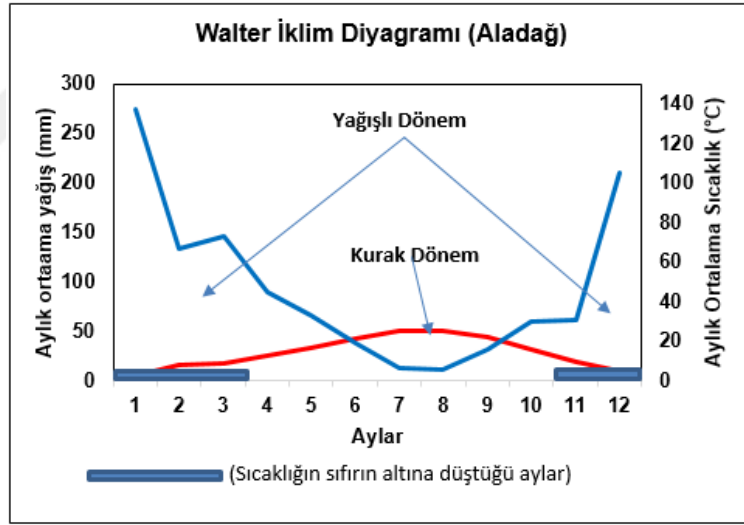
oranlarından oluştuğu gösterilmiştir. Aynı çalışmada topraklarda organik karbon %1,94, azot oranı %0,18 olarak ifade edilmiştir.

3.1.3. Çalışma Sahasının Genel İklimsel Özellikleri

Akdeniz ikliminin karakteristik özelliği kış aylarının yağışlı geçmesi ve yaz aylarında tam bir kuraklığın yaşanmasıdır. Doğu Akdeniz bölgesi, bulunduğu enlem derecesinin normaline göre daha sıcak bir görünüme sahiptir. Bunun nedeni, kuzey kısımlarının yüksek dağlarla çevrilmiş olması sonucu, kuzey rüzgarlarına oldukça kapalı bulunmasıdır (Yurdakulol, 1975). Çalışma alanımız, Adana ili merkezinden 120 km civarı uzaklıkta ve yükselti olarak daha yüksek rakımda (600-1200 m) konumlanmaktadır. Çalışma alanına en yakın meteoeroloji istasyonu Aladağ ilçesinde bulunmaktadır. Aladağ meteoroloji ölçüm istasyonu (2014-2019) verilerine göre maksimum-minimum ve ortalama sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), ortalama nispi nem ve ortalama yağış değerleri Çizelge 3.1.'de verilmiştir. Şekil 3.4.'te verilen diyagrama bakıldığında ortalama sıcaklığın Temmuz (25°C) ve Ağustos (25°C) ayında en yüksek değerlerine ulaştığı görülmektedir. Sıcaklığın Aralık($5,2^{\circ}\text{C}$), Ocak($2,3^{\circ}\text{C}$) ve Şubat($7,7^{\circ}\text{C}$) aylarında en düşük değerlere düştüğü görülmektedir. Yağış ortalamalarına bakıldığında en yağışlı ayların Aralık (209,8 mm), Ocak (273,9 mm), Şubat (134,0 mm) ve Mart (146,25 mm) ayları olduğu görülürken yağışın en az olduğu aylar ise Temmuz (12,2 mm) ve Ağustos (11,6 mm) olduğu görülmektedir. Akdeniz ikliminin en tipik göstergesi kış aylarının ılık bol yağışlı yaz aylarının ise sıcak ve kurak geçmesidir. Bu verilere göre, çalışma alanımız Akdeniz iklim kuşağı tipinde özellikler göstermektedir.

Çizelge 3.1. Adana Meteoroloji 6. Bölge Müdürlüğü, Aladağ meteoroloji istasyonu, 2014-2019 verileri tablosu

Aylar	Aylık Ort.maks. sıcaklık (C°)	Aylık Ort. Min. Sıcaklık (C°)	Aylık Ort. Sıcaklık (C°)	Aylık Ort. Nisbi nem(%)	Aylık Ort. Yağış(mm)
Ocak	13,94	-8,28	2,32	78,50	273,92
Şubat	18,95	-1,50	7,78	69,25	134,02
Mart	22,57	-2,78	9,02	72,85	146,25
Nisan	26,57	1,30	12,95	65,88	89,37
Mayıs	30,03	6,17	16,80	73,08	65,98
Haziran	34,50	10,30	21,12	70,87	38,08
Temmuz	36,55	14,98	25,08	67,42	12,28
Ağustos	36,97	15,22	25,48	65,50	11,60
Eylül	35,24	10,00	21,86	60,84	31,60
Ekim	28,54	4,38	15,86	62,10	60,18
Kasım	22,90	-1,94	9,30	63,92	61,02
Aralık	16,90	-5,22	5,24	76,38	209,82

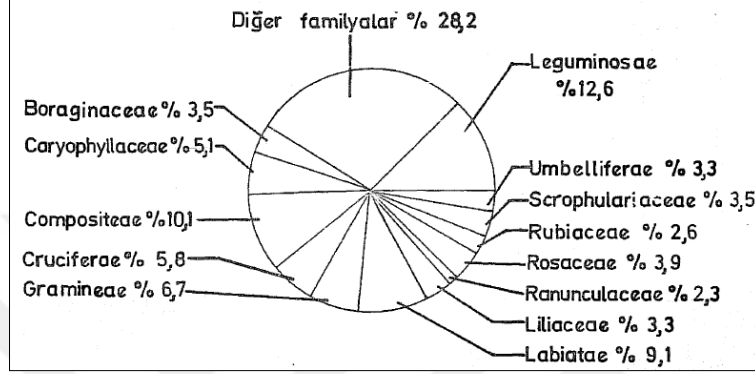


Şekil 3.4. Aladağ ilçesi meteoroloji verilerine göre oluşturulmuş Walter iklim diyagramı

3.1.4. Çalışma Sahasının Genel Floristik Yapısı

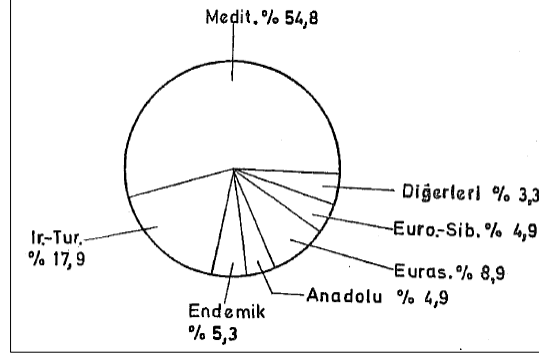
Çalışma alanımızın genel floristik yapısına ilişkin ilk çalışma Yurdakulol (1975) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma sonucunda alanda en yaygın

familyaların Fabaceae, Astareceae, Lamiaceae, Poaceae, Brassicaceae ve Caryophyllaceae olarak ifade edilmiştir. Diğer familyaların oranları ise Şekil 3.5.'te görülmektedir.



Şekil 3.5. Aladağ Pos ormanlarında mevcut bitki türlerinin dahil olduğu familyalar ve oranları (Yurdakulol, 1975).

Çalışma alanımızın bulunduğu bölge ormanlık alanlardan oluşmaktadır. Orman vejetasyonu içerisinde en yoğun türün *Pinus brutia* olduğu görülmektedir. Yurdakulol (1975) bu ormanlar içerisinde *Pinus nigra* subsp. *pallastiana*, *Juniperus excelsa*, *Cedrus libani*, *Ostrya carpinifolia*, *Carpinus orientaliis*, *Quercus infectoria* subsp. *boissieri* ve bunlar gibi taksonların yayılış gösterdiğini orman açıklıklarında ise *Quercus coccifera*, *Phillyrea latifolia*, *Myrtus communis* gibi taksonların mevcut olduğunu bildirmiştir. Araştırmacı bölge florasında mevcut bitkileri buldukları bitki coğrafyalarına göre Şekil 3.6.'da gösterildiği gibi gruplandırmıştır.

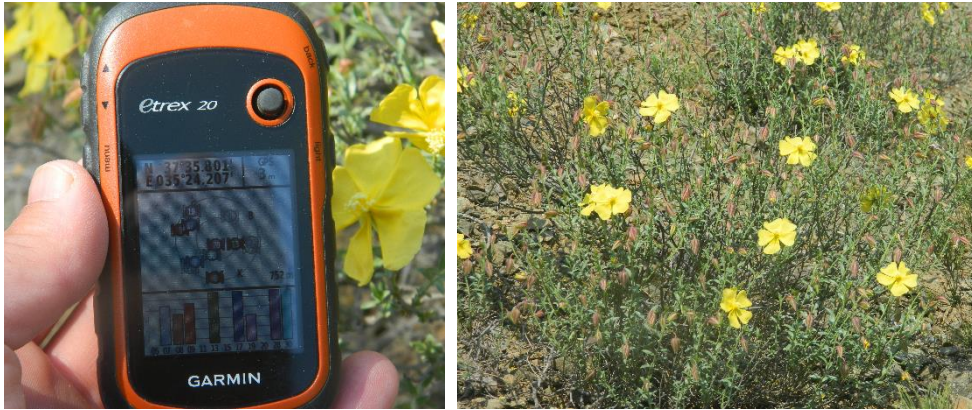


Şekil 3.6. Araştırma alanında yayılış gösteren bitkilerin bitki coğrafyalarına göre gruplandırılması (Yurdakulol, 1975).

3.2. Metod

3.2.1. Arazi Çalışmalarıyla Maden Sahalarında Yayılış Gösteren Bitkilerin Belirlenmesi

Çalışma sahasına düzenli aralıklarla arazi gezileri düzenlenmiş ve açık maden sahaları içerisinde yayılış gösteren bitkilerden herbaryum örnekleri alınarak pres tahtaları arasına yerleştirilmiştir. Laboratuvara getirilen bitki örnekleri gazete kağıtları arasında kurutulmuş ve herbaryum örneği haline getirilmiş ve Davis (1965-1982)'e göre tanımlanmıştır. Arazi gezilerinde rastlanılan bitkilere ait GPS kayıtları ve fotoğraflar dijital ortamlarda saklanmıştır (Şekil 3.7.).



Şekil 3.7. Arazi çalışmaları ile belirlenen bitkilerin GPS kayıtlarının tutulması ve fotoğraflanmaları

3.2.2. Alanda Yayılış Gösteren Bitkilerden Toleranslı Olanların Belirlenmesi

Arazi gezileri ile açık maden sahalarında yayılış gösterdiği belirlenen bitkilerin bolluk durumları arazide yapılan gözlemlere göre dominant, sık, seyrek ve nadir olarak sınıflandırılmıştır. Bu bağlamda maden sahalarında yayılış gösteren bitkilerden dominant ve sık yayılış gösterenler in-situ remediasyon değerlendirmeleri için seçilmiştir (Yang ve ark., 2014; Brunetti ve ark., 2009).

3.2.3. In-Situ Remediasyon Çalışmalarında Değerlendirilecek Bitkilerin Örneklenerek Laboratuvara Taşınması

Çalışmada söz konusu dokuz bitki türü, en yoğun ve sağlıklı olarak yayılış gösterdikleri alanlardan beş tekrarlı olarak örneklenmiştir. Her bitki örneği kendi kök bölgesi toprağı ile değerlendirileceğinden bitkiler örneklenirken buna dikkat edilmiş ve kök bölgesi toprakları da alınmıştır (Şekil 3.8.). Örnekleme sırasında özellikle sağlıklı bitkilerin seçilmesine özen gösterilmiştir. Alınan örnekler vakit geçirmeden laboratuvara taşınmıştır.

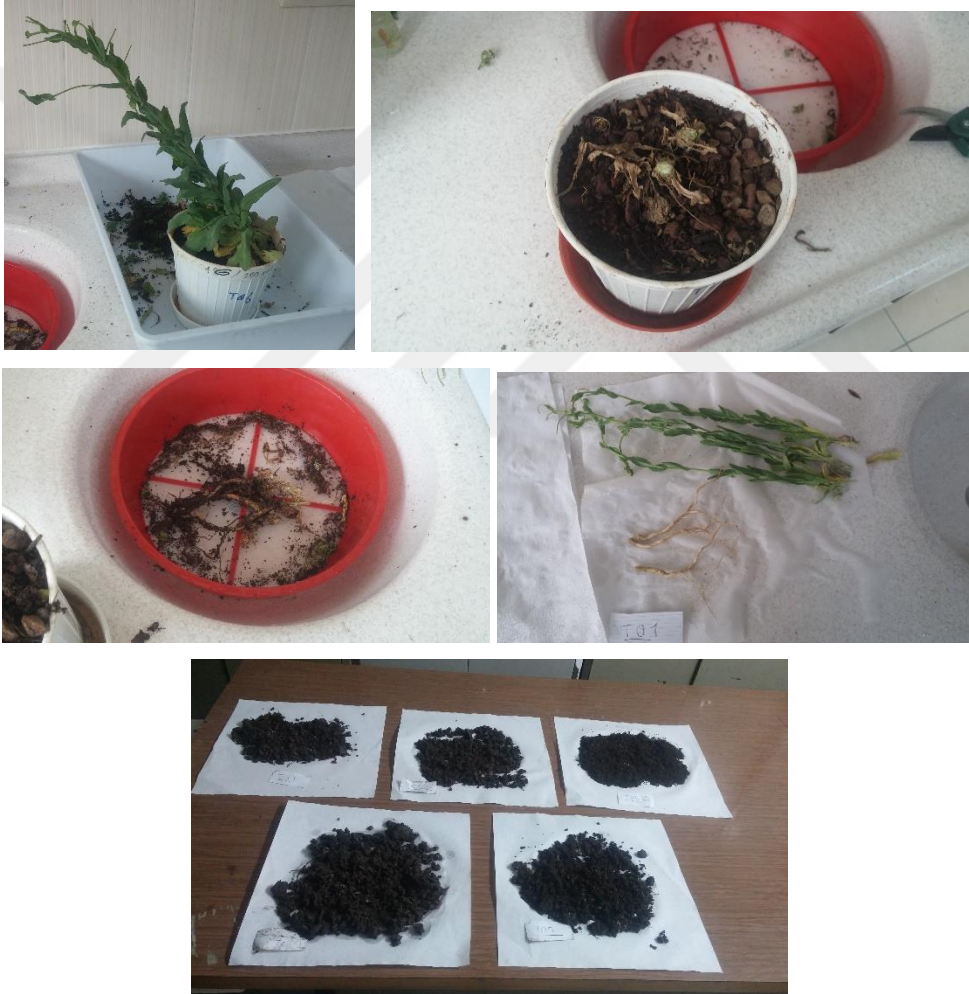


Şekil 3.8. Bitki örneklerinin beş tekrarlı olarak örneklenmesi ve laboratuvara taşınması

3.2.4. Laboratuvara Getirilen Bitkilere Uygulanan İşlemler

Arazi çalışmaları sonucu tespit edilen bitkilerde yaprak, kök ve gövde kısımları aynı gün içerisinde önce akan musluk suyunda yıkanmış ardından en az 3

kez 20 sn olacak şekilde saf su dolu kaplarda ve sonrasında akan saf su altında yıkanmış (Boularbah ve ark., 2006; Brunetti ve ark., 2008; Yang ve ark., 2014; Fernandez ve ark., 2017) ve 65 °C etüvde kurutulmuştur. Kurutulan örnekler öğütülmüş ve mikrodalga yakma için hazır halde saklanmıştır. Bitkilere ait toprak örnekleri ise kurutma kağıtları üzerine serilerek kurumaları sağlanmıştır (Şekil 3.9.).



Şekil 3.9. Maden alanlarından laboratuvara getiren bitkilerin kök, gövde, yaprak kısımlarının ayrılması ve toprakların kurutulmak üzere hazırlanması

3.2.5. Bitki ve Toprak Örneklerinin Mikrodalga Yöntemiyle Yakılması ve Ağır Metal Okumaları

Etüvde kese kağıtları içerisinde kurutulanan bitki örnekleri porselen havanlarda öğütülerek klipsli örnek poşetleri içerisinde muhafaza edilmiştir (Şekil 3.10.). Kuruyan toprak örnekleri ise önce cam şişelerle daha küçük parçalara ayrılmış sonrasında 2 mm çaplı eleklerden elenerek yakma işlemine hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.10. Bitki örneklerinin porselen havanlarda öğütülmesi

Öğütülmüş bitki örneklerinden 0,2 gr tartılarak yaş yakma yapılmıştır. Yaş yakma CEM marka mikro dalga fırınında teflon tüplere 0,2 gr örnek tartılıp üzerine 2 ml H_2O_2 - 5 ml HNO_3 asit karışımı ilave edilerek yaklaşık bir saat yakma şeklinde gerçekleştirilmiştir. Yakma işlemi biten örneklerin son hacimleri 20 ml olacak şekilde saf su ile tamamlanıp mavi bant filtre kâğıdından süzülerek analize hazır hale getirilmiştir (Kacar, 1972, Zarcinas ve ark., 1987).

Toprak örnekleri için EPA-3051 metodu kullanılmıştır. Bu metoda göre elenen örneklerden 1g alınarak 10 mL HNO_3 ile yakma işlemine maruz bırakılmıştır. Yakılan örnekler seyreltilerek mavi bant filtre kağıdı ile süzülmüş ve okumaya hazır hale getirilmiştir.

Ağır metal (Cr, Ni, Co, Pb, Zn, Mn, Cu, Fe) konsantrasyonları atomik absorpsiyon spektrofotometresi kullanılarak ölçülmüş ve sonuçlar mg/kg olarak verilmiştir.

3.2.6 Toprakların Fiziksel ve Kimyasal Analizleri

Toprak tekstürleri hidrometre yöntemi ile (Bouyoucos, 1951), toprak pH'sı 1:2.5'lük toprak-damıtık su karışımında pH-metre ile (Jackson, 1958) belirlenmiştir. Öğütülmüş topraklarda ki organik karbon içeriği (% C) Anne metodu, toplam azot içeriği (% N) Kjeldahl metodu ile saptanmıştır (Duchaufour, 1970).

Organik karbon tayini için toprak örneğinden 0,6 g tartılıp rodajlı balona konulmuş, balona 20 ml %8'lik $K_2Cr_2O_7$ ve 15 ml H_2SO_4 eklenmiştir. Rodajlı balon bek alevi üzerinde soğutucuya bağlandı ve yoğunlaşma başlayıncaya kadar beklenerek yakma işlemine devam edilmiştir. Yakma işlemi uygulanmış toprak örneğinin içinde bulunduğu balon damıtık suyla çalkalanarak $K_2Cr_2O_7$ 'in turuncu rengi kayboluncaya kadar başka bir balona alınmıştır. Balonun son hacmi 100 ml'ye tamamlandı. Balon joje çalkalandıktan sonra 20 ml alınmış ve içerisinde 200 ml damıtık su bulunan 600 ml'lik behere konulmuştur. Behere 8 damla difenilamin sülfürik ve bir spatül ucu ile NaF konulmuş. 0.2 N Mohr tuzu ile titre edilmiştir. Açık yeşil renk görülünceye kadar titrasyona devam edilmiş. (Duchaufour, 1970).ve değerler aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$T = 960 / 294 \times M$$

$$T = \text{Mohr Tuzu Titri (} T \cong 0.2 \text{ N)}$$

$$M = \text{Titrasyonda kullanılan mohr tuzu miktarı (ml)}$$

$$\% \text{ oC} = 15.375 \times T (V1' - V1) / P1$$

$$V1' = \text{Tanık için harcanan mohr tuzu miktarı (ml)}$$

$$V1 = \text{Örnek için harcanan mohr tuzu miktarı (ml)}$$

$$P1 = \text{Yakmada kullanılan fırın kurusu örnek ağırlığı (g)}$$

Azot tayini için toprak örneğinden 2 g tartılarak yakma tüpüne konulmuş ve üzerine bir kaşık Wieninger katalizörü (10 birim K_2SO_4 +1 birim Cu_2SO_4) ve 20 ml H_2SO_4 eklenmiştir. Çeker ocakta, ısıtıcıda örnek 15 dakika ısıtıldıktan sonra

420°C'ye yükseltilmiş ve örnekler tamamen yanana kadar işlem sürdürülmüştür. Distilasyon işlemi için 250 ml'lik behere 50 ml %4'lük H₃BO₃ (Borik asit) ve birkaç damla Tashiro indikatörü konulmuştur. Kjeldahl cihazının geri soğutucusu çalışır durumda iken distilasyon başlatılmıştır. Beherlerde çoğunlukla açık yeşil renk oluştu. Beherdeki çözelti 0.01 M H₂SO₄ ile başlangıçtaki mor renge dönünceye kadar titre edilmiştir. Toplam azot miktarı % N = (A x B x 28)/1000 [A: Harcanan titri miktarı, B: Titrasyonda kullanılan sülfürik asidin molaritesi, 28: Toplam azot hesabında kullanılan sabit sayı] formülü ile hesaplandıktan sonra toprağın kuru ağırlığına oranlanmıştır (Duchaufour,1970).

3.2.7. Verilerin Değerlendirilmesi

Verilerin değerlendirilmesi aşamasında bitkilerin remediasyon kabiliyetlerini belirlemek için Biyokonsantrasyon Faktörü (BKF), Zenginleştirme Faktörü (ZF), Translokasyon Faktörü (TLF), Transfer Faktörü (TF) hesaplamaları kullanılmıştır. Bu faktör değerleri bulgularına göre bitkiler gruplandırılmıştır. BKF ve ZF değerleri ile TF veya TLF değerleri 1 sınır değerinden yüksek bulunan bitkiler (toprak üstü organları metal konsantrasyonu toprak konsantrasyonundan yüksek olanlar) “fitoekstaktör (akümülatör veya hiperakümülatör) olarak; ZF, TF ve TLF değerleri sınır değerinin altında, BKF değeri 1 sınır değeri üzerinde olan bitkiler (kök metal konsantrasyonu toprak konsantrasyonundan yüksek olanlar) “fitostabilizatör” olarak sınıflandırılmıştır (Conesa ve ark., 2006; Yoon ve ark., 2006; Shengxiang ve ark., 2014). Yukarıdaki sınıflardan her ikisinde girmeyen bitki türlerini ifade etmek amacıyla “Fitoekstraksiyon potansiyeli olabilecek tür” ve “fitostabilizasyon potansiyeli olabilecek tür” terimleri türetilmiştir. Buna göre; TF veya TLF değerleri sınır değerinin üzerinde, BKF ve ZF değerleri istatistiksel anlamda önemli bulunanlar ve özellikle toprak üstü metal konsantrasyonları köklerden bariz şekilde yüksek olan türler “fitoekstraksiyon potansiyeli olabilecek tür”; ZF, TF ve TLF değerleri 1'den düşük, kök metal konsantrasyonları toprak üstü organlardan bariz

şekilde yüksek ve BKF değerleri nispeten yüksek ve istatistiksel olarak önemli bulunan türler “fitostabilizasyon potansiyeli olabilecek tür” olarak tanımlanmıştır.

Veriler SPSS 20 paket programı kullanılarak Kruskal-Wallis çoklu karşılaştırma testi ile karşılaştırılmıştır. Korelasyon analizleri Spearman Korelasyon Analizi yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.

Biyokonsantrasyon Faktörü (BKF): Bu değer fitoekstraksiyon amacıyla kullanılacak bitkileri saptamak üzere kullanılmıştır. Bitkide ve toprakta mevcut toplam ağır metal konsantrasyonu arasındaki oran baz alınarak formüle edilmiştir (Mattina ve ark., 2003; Anning ve Akoto, 2018; Korzeniowska ve Glubiak, 2019; Elshamy ve ark., 2019; Zhao ve ark., 2019; Álvarez ve ark., 2019).

$$BKF = \frac{\text{Bitkide toplam metal konsantrasyonu (mg/kg)}}{\text{Toprakta toplam metal konsantrasyonu (mg/kg)}}$$

Zenginleştirme Faktörü: Bitkilerin hiperakümülatör olma durumlarını değerlendirmede kullanılan bu faktörün hesaplanmasında gövde ve yapraklarda mevcut ağır metal konsantrasyonlarının bitkinin kök bölgesi toprağında bulunan ağır metal konsantrasyonuna oranı kullanılmıştır (Elshamy ve ark., 2019; Yanqun ve ark., 2005).

$$ZF = \frac{\text{Gövde ve yaprak toplam metal konsantrasyonu (mg/kg)}}{\text{Toprakta toplam metal konsantrasyonu (mg/kg)}}$$

Transfer Faktörü: Bu faktörün hesaplanmasında bitkilerin gövdelerinde bulunan metal konsantrasyonlarının kök metal konsantrasyonu ile oranlanması söz konusu olup ağır metalin bitkide taşınabilmesi durumu hakkında fikir vermesi amacıyla kullanılmıştır (Alaribe ve Agamuthu, 2015; Álvarez-Ayuso ve ark., 2016; Badr ve ark., 2012).

$$TF = \frac{\text{Gövde toplam metal konsantrasyonu (mg/kg)}}{\text{Kök toplam metal konsantrasyonu (mg/kg)}}$$

Translokasyon Faktörü: Bu faktörün hesaplanmasında bitkilerin yapraklarında bulunan metal konsantrasyonlarının kök metal konsantrasyonu ile oranlanması söz konusu olup ağır metalin bitkide yapraklara taşınıp taşınmadığının saptanması amacıyla kullanılmıştır (Nadimi-Goki ve ark., 2014; Concas ve ark., 2015; Buscaroli ve ark., 2017) .

$$TLF = \frac{\text{yaprak toplam metal konsantrasyonu (mg/kg)}}{\text{Kök toplam metal konsantrasyonu (mg/kg)}}$$

Maden sahaları topraklarına ait ağır metal konsantrasyonları arasında ve bitkilerin farklı organlarındaki metal konsantrasyonlarının birbirleri ve toplam metal konsantrasyonları ile korelasyonları SPSS 20 paket programı ile korelasyon analizi yapılarak karşılaştırılmıştır. Korelasyonlara ait r (Spearman korelasyon katsayısı) değerleri Microsoft Excell 2013 paket programı ile hesaplanmıştır.

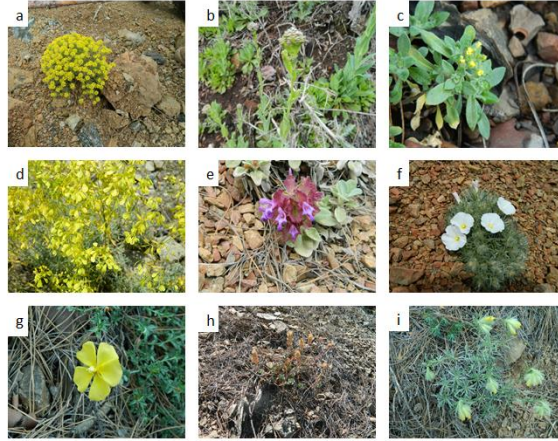


4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Bulgular

4.1.1. Açık İşletme Olarak Faaliyet Gösteren Maden Sahalarında Yayılış Gösteren Bitkiler

Maden sahalarında yapılan arazi gezilerinde doğrudan açık maden tesisleri içerisinde yayılış gösteren 17 familya ve 25 cinse ait toplam 31 bitki türü tespit edilmiştir. Bitkilerden 20 tanesi çok yıllık geriye kalan 11 tanesi ise tek yıllık veya iki yıllık bitkilerdir. Raunkiaer hayat formlarına göre bu bitkilerin 9 tanesi hemikriptofit, 3 tanesi geofit, 9 tanesi kamefit, 9 tanesi terofit ve 1 tanesi ise fanerofittir. Çalışma alanında yayılış gösteren bitkilerden açık maden alanlarında dominant olan 5, alanda sık bulunan 4, alanda seyrek olarak bulunan 12 ve alanda f4.1.). Açık maden alanlarında göreceli bulunuşları dominant veya sık olan bitki türleri gösterilmiştir (Şekil 4.1.).



Şekil 4.1. İn-situ remediasyon değerlendirmesi yapılacak bitkiler a)*Alyssum oxycarpum*, b)*Thlaspi oxyceras*, c)*Alyssum alyssoides*, d)*Alyssum floribundum*, e)*Salvia cryptantha*, f)*Convolvulus compactus*, g)*Fumana arabica*, h) *Aethionema cordatum*, i)*Onosma cappadocicum*

Çizelge 4.1. Açık maden sahalarında (Kızılyüksek, Çanak Pınarı, Abdullah Deresi) yayılış gösteren bitki türleri

Asphodelaceae	<i>Asphodeline globifera</i> J. GAY EX BAKER	x	Çok yıllık	Geofit
Asteraceae	<i>Picnoman acarna</i> (L.) CASS.	x	Tek yıllık	Terofit
	<i>Crepis sancta</i> (L.) BABCOCK	x	Tek yıllık	Terofit
Boraginaceae	<i>Onosma cappadocicum</i> SIEHE EX H. RIEDL	x	Çok yıllık	Hemikriptofit
	<i>Paracaryum lithospermifolium</i> (LAM.) GRANDE	x	Çok yıllık	Hemikriptofit
Brassicaceae	<i>Alyssum oxycarpum</i> BOISS. ET BAL.	x	Çok yıllık	Kamefit
	<i>Alyssum floribundum</i> BOISS. ET BAL.	x	Çok yıllık	Kamefit
	<i>Alyssum alyssoides</i> (L.) L.	x	Tek yıllık	Terofit
	<i>Thlaspi oxyceras</i> (BOISS.) HEDGE	x	İki yıllık	Terofit
	<i>Aethionema spicatum</i> POST	x	Çok yıllık	Kamefit
	<i>Thlaspi perfoliatum</i> L.	x	Tek yıllık	Terofit
Caryophyllaceae	<i>Silene aegyptiaca</i> (L.) L. FIL.	x	Tek yıllık	Terofit
	<i>Silene compacta</i> FISCHER	x	Çok yıllık	Hemikriptofit
Cistaceae	<i>Fumana arabica</i> (L.) SPACH	x	Çok yıllık	Kamefit
Convolvulaceae	<i>Convolvulus compactus</i> BOISS.	x	Çok yıllık	Kamefit
Ericaceae	<i>Erica manipuliflora</i> SALISB.	x	Çok yıllık	Fanerofit
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia rigida</i> BIEB.	x	Çok yıllık	Kamefit
	<i>Euphorbia aulacosperma</i> BOISS.	x	Tek yıllık	Terofit
Fabaceae	<i>Cytisopsis dorycnifolia</i> JAUB. ET SPACH	x	Çok yıllık	Kamefit
	<i>Dorycnium rectum</i> (L.) SER.	x	Çok yıllık	Kamefit
	<i>Vicia palaestina</i> BOISS.	x	Tek yıllık	Terofit
Hyacinthaceae	<i>Ornithogalum alpigenum</i> STAFF	x	Çok yıllık	Geofit
	<i>Ornithogalum narbonense</i> L.	x	Tek yıllık	Geofit
Lamiaceae	<i>Salvia cryptantha</i> MONTBRET ET TAUCHER EX BENTHAM	x	Çok yıllık	Hemikriptofit
	<i>Ziziphora capitata</i> L.	x	Tek yıllık	Terofit
Poaceae	<i>Stachys rupestris</i> BOISS. ET HELDR. APUD BENTHAM	x	Çok yıllık	Hemikriptofit
Resedaceae	<i>Melica eligulata</i> BOISS.	x	Çok yıllık	Hemikriptofit
Rosaceae	<i>Reseda balansae</i> MULLER	x	Çok yıllık	Hemikriptofit
	<i>Potentilla reptans</i> L.	x	Çok yıllık	Hemikriptofit
Santalaceae	<i>Thesium bergeri</i> ZUCC.	x	Çok yıllık	Hemikriptofit
Scrophulariaceae	<i>Veronica cinerea</i> BOISS. ET BAL.	x	Tek yıllık	Hemikriptofit
		x	Çok yıllık	Kamefit

Göreceli bolluk: Dominant(D), sık (S), seyrek (SE), nadir (N); Endemik (E)

4.1.2. Çalışma Alanı Topraklarının Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri ile Ağır Metal Konsantrasyonları

4.1.2.1 Toprakların Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Çalışma sahası topraklarının fiziksel karakterleri Çizelge 4.2.'de gösterilmiştir. Buna göre çalışma sahası topraklarının kum yüzdesi ortalama % 69 (51,24-86,47), kil yüzdeleri ortalama %7,72 (1,34-27,16) ve silt yüzdesi ise ortalama % 22.3 (8,58-27,86) olarak saptanmış olup toprak tekstürü kumlu tınlı olarak belirlenmiştir. Toprakların nem içeriği % 3,3-7,99, pH değeri ise 7,09-8,02 olarak bulunmuştur. pH verileri toprağımızın hafif bazik karakterli olduğu saptanmıştır. Çalışma sahası toprakları için toplam azot ortalama %0,14 bulunurken organik karbon ortalama %4,43 olarak saptanmıştır.

Çizelge 4.2. Çalışma sahası bitkilerinin kök bölgesi topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Bitki	%Kum	%Kil	%Silt	%Nem	pH	% N	%C
<i>Aet. spicatum</i>	67,19 ± 1,33	6,08 ± 0,86	26,73 ± 1,09	4,27 ± 0,15	7,74 ± 0,23	0,05 ± 0,02	2,84 ± 0,29
<i>A. alyssoides</i>	73,03 ± 0,89	1,64 ± 0,17	25,33 ± 0,96	7,70 ± 0,04	7,36 ± 0,05	0,32 ± 0,13	8,70 ± 0,56
<i>A. floribundum</i>	71,97 ± 0,76	2,21 ± 1,02	25,82 ± 1,59	6,85 ± 0,73	7,57 ± 0,20	0,05 ± 0,01	2,71 ± 0,31
<i>A. oxycarpum</i>	65,60 ± 1,19	8,51 ± 0,50	25,89 ± 0,70	3,70 ± 0,71	7,61 ± 0,09	0,09 ± 0,03	2,39 ± 0,84
<i>T. oxyceras</i>	68,89 ± 1,80	8,36 ± 1,15	22,75 ± 0,71	7,72 ± 0,31	7,48 ± 0,14	0,38 ± 0,07	9,05 ± 0,58
<i>C. compactus</i>	52,02 ± 0,57	26,10 ± 0,78	21,88 ± 1,18	6,08 ± 0,64	7,62 ± 0,10	0,12 ± 0,00	2,66 ± 0,15
<i>F. arabica</i>	72,37 ± 1,10	9,33 ± 0,88	18,30 ± 1,73	3,80 ± 0,27	7,82 ± 0,03	0,02 ± 0,00	1,41 ± 0,22
<i>O. cappadocium</i>	85,30 ± 0,84	5,47 ± 0,44	9,23 ± 0,47	3,91 ± 0,45	7,75 ± 0,19	0,04 ± 0,00	2,21 ± 0,27
<i>S. crypthanta</i>	73,39 ± 1,68	1,83 ± 0,49	24,78 ± 1,19	5,19 ± 0,53	7,34 ± 0,18	0,11 ± 0,03	4,45 ± 0,45

4.1.2.2. Çalışma Sahası Topraklarının Ağır Metal Konsantrasyonları

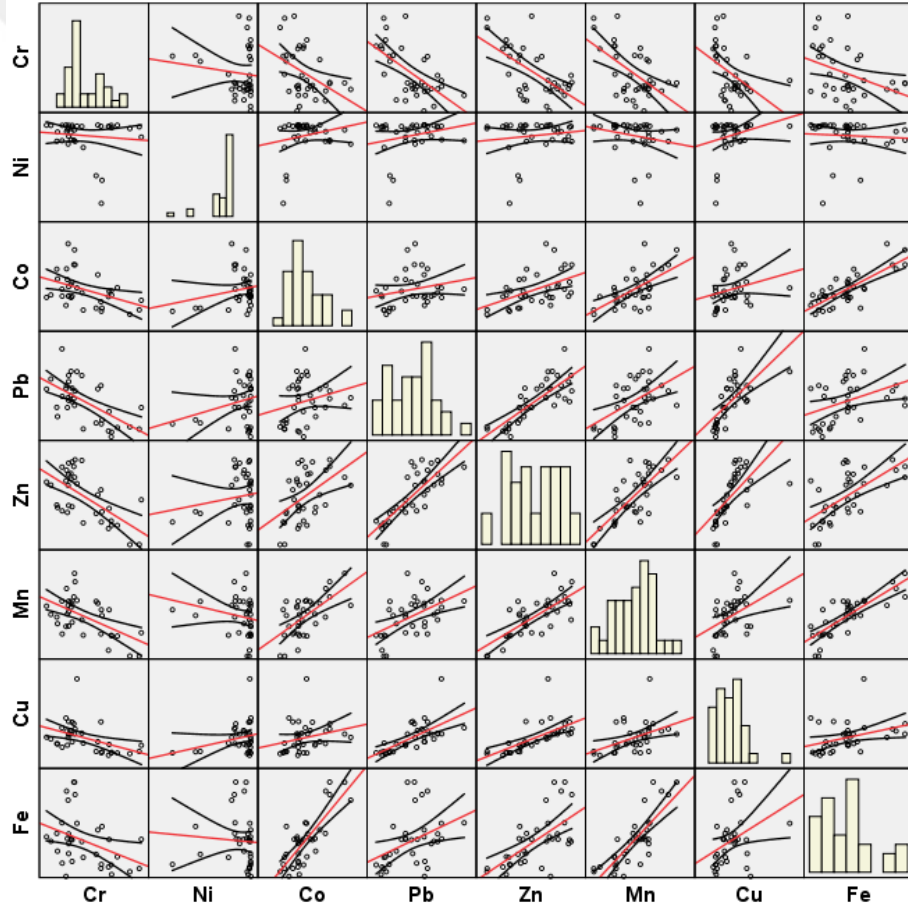
Çalışma alanı topraklarının metal konsantrasyonlarına bakıldığında (Çizelge 4.3.) maden alanları arasında ağır metallerin farklılıklar gösterdiği görülmektedir. Çalışma alanı topraklarında tüm sahalarda ağır metal konsantrasyonlarının (mg/kg) ortalama ve minimum-maksimum değerleri (mg/kg): Cr için 148 (82,9-212,8), Ni için 875,45 (737,47-896,98), Co için 255,86 (192,5-372,3), Pb için 19,92 (1,84-46,58), Zn için 67,13 (42,61-85,74), Mn için 630,22 (508,4-761,4), Cu için 12,45 (5,3-36,42), Fe için 3949,50 (3805-4189) olarak saptanmıştır.

Çizelge 4.3. Çalışma sahası topraklarının ağır metal konsantrasyonu (mg/kg) ortalamaları ve standart sapma değerleri

	Kızılyüksek	Abdullah Deresi	Çanak Pınarı	Tüm Alan
Cr	154,53 ± 41,65	168,92 ± 31,28	107,95 ± 15,17	148,97 ± 40,85
Ni	887,10 ± 10,87	853,77 ± 50,66	829,52 ± 14,50	875,45 ± 34,50
Co	243,46 ± 25,83	259,68 ± 51,23	268,94 ± 44,49	255,86 ± 42,01
Pb	25,02 ± 10,49	11,94 ± 8,41	18,30 ± 5,86	19,92 ± 10,66
Zn	70,66 ± 12,92	63,43 ± 12,99	64,50 ± 6,12	67,13 ± 12,22
Mn	624,46 ± 55,52	639,53 ± 73,55	608,52 ± 26,93	630,22 ± 58,13
Cu	15,28 ± 6,91	9,81 ± 4,48	10,95 ± 1,42	12,45 ± 5,91
Fe	3930,13 ± 67,09	3974,92 ± 143,39	3755,08 ± 75,47	3949,50 ± 102,48

4.1.2.3. Maden Sahası Topraklarının Ağır Metal Konsantrasyonlarının Karşılaştırılmasına İlişkin Bulgular

Şekil 4.2. ve Çizelge 4.4.'te maden sahalarına ait topraklardaki ağır metal konsantrasyonlarının birbirleri ile olan ilişkileri görülmektedir. Çizelge.4.4'e bakıldığında Cr ağır metalinin diğer metallerle negatif korelasyon gösterdiği Ni ağır metalinin ise korelasyon göstermediği görülmüştür. Tüm sahalar birlikte değerlendirildiğinde Co, Pb, Zn, Mn, Cu ve Fe metalleri arasında pozitif yönlü korelasyonlar bulunmuştur.



Şekil 4.2. Maden sahası topraklarında ağır metal konsantrasyonlarının korelasyonları

Çizelge 4.4. Maden sahası topraklarının ağır metal konsantrasyonlarının korelasyon katsayıları (r) tablosu

		Cr	Ni	Co	Pb	Zn	Mn	Cu	Fe
Kızılyüksek	Cr	1,00							
	Ni	0,17	1,00						
	Co	-0,30	0,05	1,00					
	Pb	-0,63**	-0,16	0,30	1,00				
	Zn	-0,62*	-0,26	0,48	0,64**	1,00			
	Mn	-0,49*	-0,20	0,75**	0,59*	0,58*	1,00		
	Cu	-0,57*	0,40	0,26	0,52*	0,42	0,35	1,00	
	Fe	-0,28	-0,32	0,73**	0,56*	0,31	0,74**	0,09	1,00
Abdullah Deresi	Cr	1,00							
	Ni	0,42	1,00						
	Co	-0,39	0,5	1,00					
	Pb	-0,82**	-0,41	0,49	1,00				
	Zn	-0,79**	-0,38	0,55	0,84**	1,00			
	Mn	-0,86**	-0,45	0,48	0,85**	0,90**	1,00		
	Cu	-0,88**	-0,4	0,49	0,80**	0,87**	0,85**	1,00	
	Fe	-0,63**	-0,26	0,62*	0,9**	0,84**	0,83**	0,81**	1,00
Çanak Pınarı	Cr	1,00							
	Ni	-0,29	1,00						
	Co	0,21	-0,98	1,00					
	Pb	-0,14	0,69	-0,62	1,00				
	Zn	-0,55	0,26	-0,14	0,57	1,00			
	Mn	-0,1	-0,1	0,19	0,1	0,55	1,00		
	Cu	-0,29	0,24	-0,12	0,5	0,93	0,71	1,00	
	Fe	-0,19	-0,48	0,55	-0,21	0,5	0,83	0,57	1,00
Tüm Sahalar	Cr	1,00							
	Ni	0,02	1,00						
	Co	-0,37*	-0,01	1,00					
	Pb	-0,60**	0,14	0,25	1,00				
	Zn	-0,54**	-0,08	0,50**	0,79	1,00			
	Mn	-0,40*	-0,35*	0,54**	0,55**	0,74**	1,00		
	Cu	-0,50**	0,08	0,35*	0,76**	0,83**	0,56**	1,00	
	Fe	-0,40**	-0,36*	0,69**	0,45**	0,62**	0,81**	0,43*	1,00

** 0,01 önem düzeyi, * 0,05 önem düzeyi

4.1.3. Bitkilerin Remediasyon Özelliklerinin Değerlendirilmesi

4.1.3.1. Krom Ağır Metaline İlişkin Bulgular

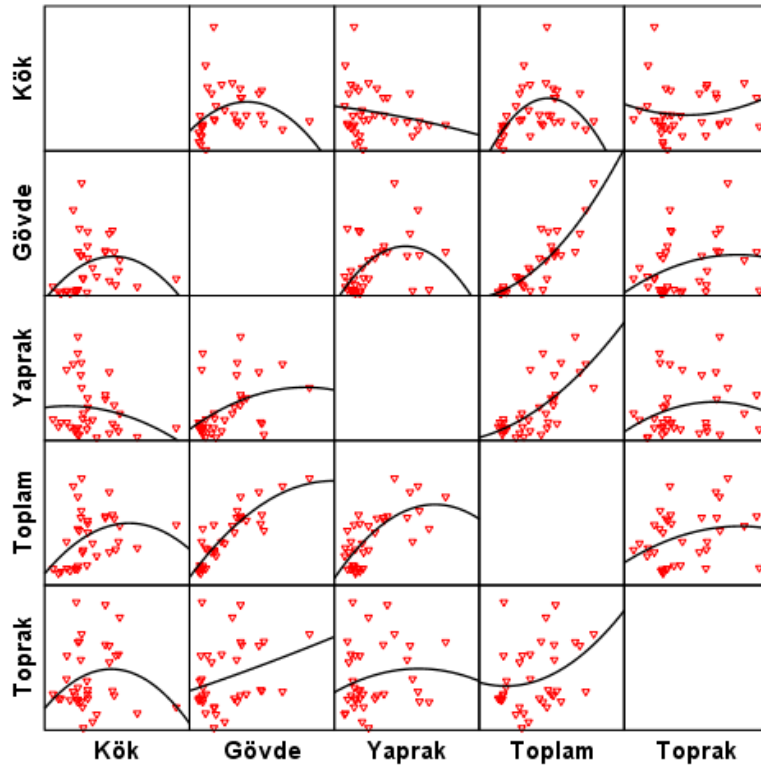
Çizelge 4.5., Şekil 4.3. ve Şekil 4.4.'de krom ağır metalinin bitkilerde ve topraklardaki ortalama konsantrasyonları, konsantrasyonlar arasındaki ilişkiler ve remediasyon kabiliyetlerini saptamak amacıyla hesaplanan biyokonsantrasyon faktörü, zenginleştirme faktörü, transfer faktörü ve translokasyon faktörü değerleri gösterilmiştir.

Ortalama krom metali konsantrasyonları bitkilerin topraklarında 103,83-203,28 mg/kg, köklerinde 2,15-5,47 mg/kg, gövdelerinde 0,74-13,71 mg/kg, ve yapraklarında 1,01-8,86 mg/kg olarak bulunmuştur (Çizelge 4.5.).

Çizelge 4.5. *Aethionema spicatum*, *Alyssum alyssoides*, *Alsum oxycarpum*, *Alyssum floribundum*, *Thlaspi oxyceras*, *Convolvulus compactus*, *Fumana arabica*, *Onosma cappadocicum* ve *Salvia cryphantha* türlerinin kök, gövde yaprak ve topraklarında krom ağır metali konsantrasyonları (mg/kg)

Bitki türü	Kök	Gövde	Yaprak	Toprak
<i>Aet. spicatum</i>	4,68 ± 2,80	1,73 ± 1,23	1,01 ± 0,65	112,08 ± 9,70
<i>A. alyssoides</i>	4,42 ± 1,33	7,13 ± 2,28	5,10 ± 1,12	123,13 ± 7,06
<i>A. oxycarpum</i>	5,47 ± 1,51	7,87 ± 0,70	6,89 ± 2,12	215,78 ± 29,99
<i>A. floribundum</i>	2,15 ± 0,84	0,99 ± 0,16	1,81 ± 0,26	161,65 ± 55,04
<i>T. oxyceras</i>	2,29 ± 1,07	0,74 ± 0,28	5,17 ± 4,77	143,18 ± 25,34
<i>C. compactus</i>	3,96 ± 1,57	12,25 ± 3,07	7,26 ± 4,56	130,53 ± 6,42
<i>F. arabica</i>	5,44 ± 2,26	2,65 ± 1,40	3,88 ± 4,05	172,95 ± 13,73
<i>O. cappadocicum</i>	3,78 ± 1,39	13,71 ± 4,85	8,86 ± 5,41	203,28 ± 5,93
<i>S. cryphantha</i>	5,31 ± 4,90	3,41 ± 1,28	3,13 ± 0,79	103,83 ± 18,23

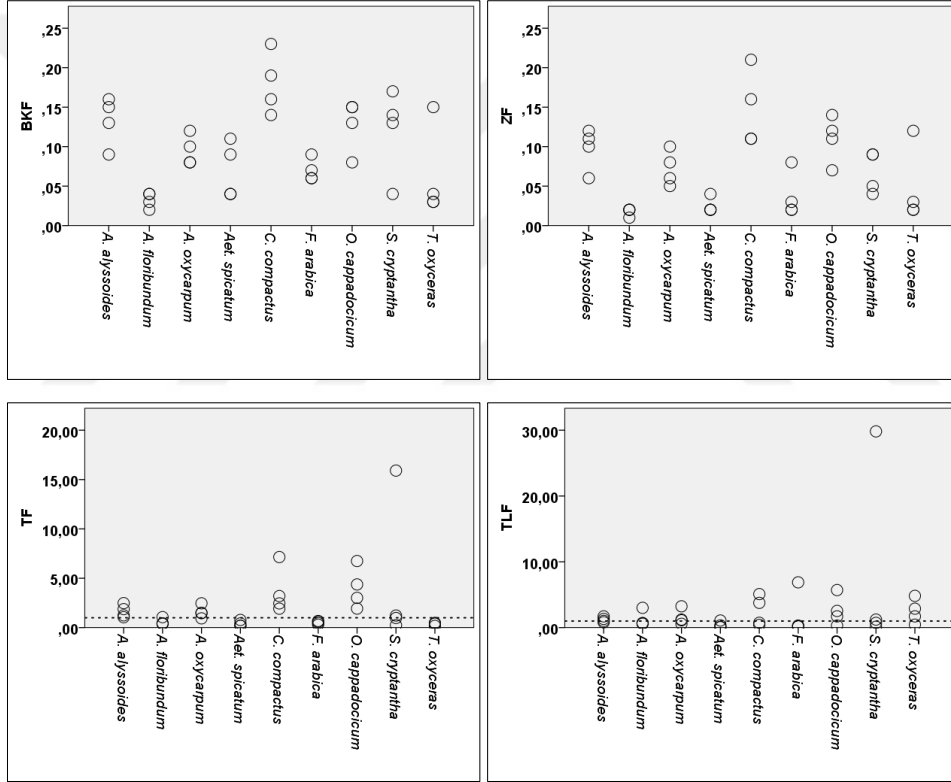
Şekil 4.3.'e bakıldığında bitkilerin gövde($r=0,86$) ve yaprak($r=0,65$) krom konsantrasyonlarının bitkilerdeki toplam Cr konsantrasyonu arasında istatistiksel olarak önemli korelasyonlar görülmektedir. Bitkilerdeki toplam metal konsantrasyonlarının topraktaki Cr ile zayıf korelasyon (%40) gösterdiği görülmektedir.



Cr	Kök	Gövde	Yaprak	Toplam	Toprak
Kök	1,00				
Gövde	0,39**	1,00			
Yaprak	-0,19	0,40*	1,00		
Toplam	0,39**	0,86**	0,65**	1,00	
Toprak	0,11	0,39	0,20	0,41*	1,00

Şekil 4.3. Krom ağır metaline ait kök, gövde, yaprak, toplam bitki ve topraklardaki konsantrasyonların karşılaştırılması ve korelasyon katsayıları (**önem düzeyi 0,01, * önem düzeyi 0,05)

Bitkilere ait BKF, ZF, TF ve TLF hesaplamalarına bakıldığında BKF ve ZF için tüm bitkilerin 1 sınırının altında kaldığı görülmektedir. BKF ve ZF değerleri arasındaki değişimler istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. *C. compactus* türüne ait ZF ve BKF değerleri sınır değerinin altında kalsada istatistiksel olarak diğer türlere ait değerlerden önemli bulunmuştur. TLF değerleri açısından bitkiler arasında istatistiksel fark görülmemiştir. TF değerlerine bakıldığında ise *C. compactus* ve *O. cappadocicum* türlerine ait değerler önemli bulunmuştur.



Şekil 4.4. *Aethionema spicatum*, *Alyssum alyssoides*, *Alssum oxycarpum*, *Alyssum floribundum*, *Thlaspi oxyceras*, *Convolvulus compactus*, *Fumana arabica*, *Onosma cappadocicum* ve *Salvia crypthantha* türlerinde krom ağır metali için hesaplanan BKF, ZF, TF ve TLF değerleri

4.1.3.2. Nikel Ağır Metaline İlişkin Bulgular

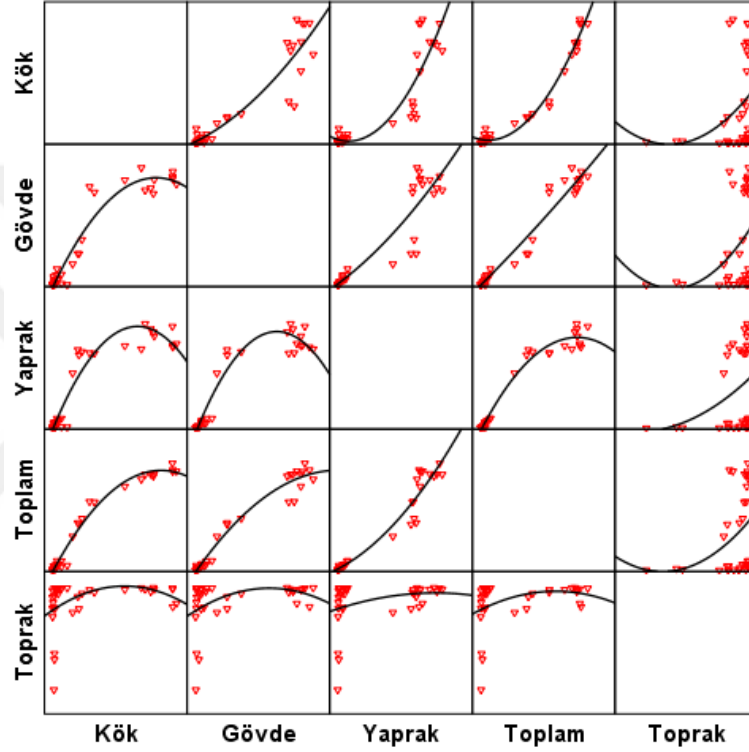
Çizelge 4.6., Şekil 4.5. ve Şekil 4.6.'da nikel ağır metalinin bitkilerde ve topraklardaki ortalama konsantrasyonları, konsantrasyonlar arasındaki ilişkiler ve remediasyon kabiliyetlerini saptamak amacıyla hesaplanan biyokonsantrasyon faktörü, zenginleştirme faktörü, transfer faktörü ve translokasyon faktörü değerleri gösterilmiştir.

Ortalama nikel metali konsantrasyonları bitkilerin topraklarında 791,78-896,21 mg/kg, köklerinde 11,68-1425 mg/kg, gövdelerinde 24,13-1190,03 mg/kg, ve yapraklarında 19,61-1539,39 mg/kg olarak bulunmuştur (Çizelge 4.6.).

Çizelge 4.6. *Aethionema spicatum*, *Alyssum alyssoides*, *Alsum oxycarpum*, *Alyssum floribundum*, *Thlaspi oxyceras*, *Convolvulus compactus*, *Fumana arabica*, *Onosma cappadocicum* ve *Salvia crypthantha* türlerinin kök, gövde yaprak ve topraklarında nikel ağır metali konsantrasyonları (mg/kg)

Bitki türü	Kök	Gövde	Yaprak	Toprak
<i>Aet. spicatum</i>	306,34 ± 39,13	369,02 ± 94,83	1115,83 ± 143,66	873,11 ± 12,39
<i>A. alyssoides</i>	11,68 ± 3,24	24,13 ± 2,14	22,77 ± 0,99	878,28 ± 10,26
<i>A. oxycarpum</i>	711,50 ± 250,71	1145,01 ± 99,49	1227,35 ± 47,90	893,44 ± 2,53
<i>A. floribundum</i>	1425,19 ± 18,97	1190,03 ± 49,80	1378,56 ± 129,42	882,58 ± 13,00
<i>T. oxyceras</i>	1159,25 ± 41,25	1076,38 ± 55,62	1539,39 ± 71,02	894,09 ± 2,19
<i>C. compactus</i>	40,40 ± 20,69	77,56 ± 18,32	85,59 ± 25,81	875,08 ± 10,38
<i>F. arabica</i>	26,30 ± 8,51	27,03 ± 14,06	19,61 ± 5,56	791,78 ± 40,43
<i>O. cappadocicum</i>	56,23 ± 15,66	119,56 ± 46,39	126,96 ± 27,74	894,45 ± 2,11
<i>S. crypthantha</i>	116,63 ± 44,93	55,50 ± 45,09	68,47 ± 55,59	896,21 ± 0,09

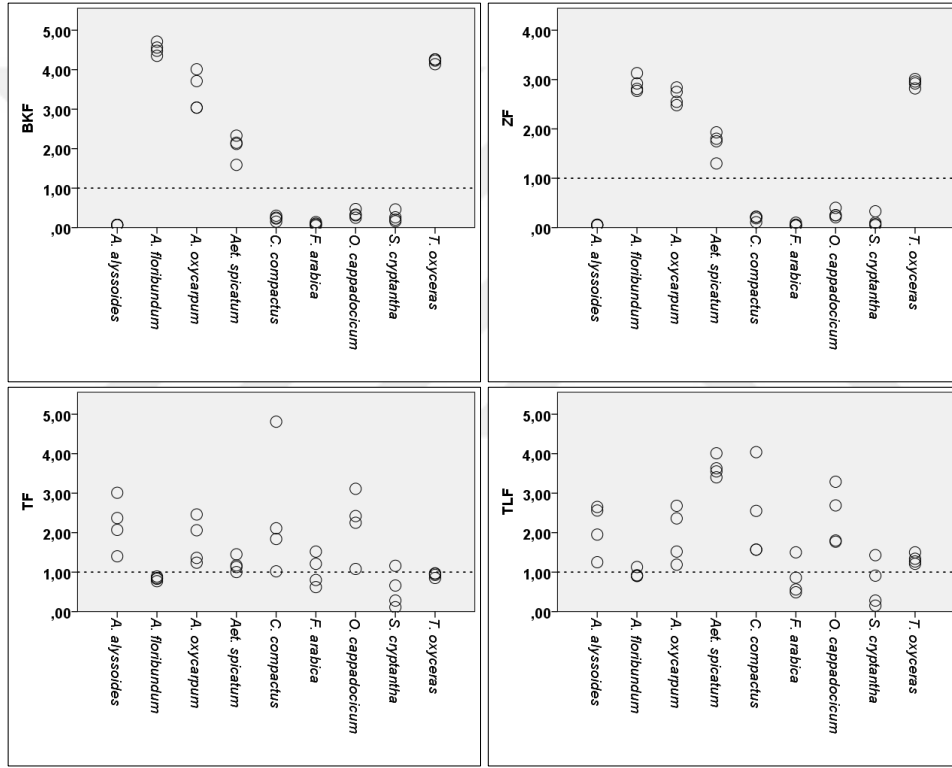
Şekil 4.5.'e bakıldığında bitkilerde toplam nikel konsantrasyonunun bitkilerin kök, gövde ve yaprak Ni konsantrasyonları ile korelasyon gösterdiği görülmektedir. Ayrıca toprakta bulunan Ni konsantrasyonu ile bitkideki toplam Ni konsantrasyonu arasında da korelasyon görülmektedir.



Ni	Kök	Gövde	Yaprak	Toplam	Toprak
Kök	1,00				
Gövde	0,88**	1,00			
Yaprak	0,91**	0,94**	1,00		
Toplam	0,96**	0,96**	0,97**	1,00	
Toprak	0,45*	0,38*	0,46*	0,46*	1,00

Şekil 4.5. Nikel ağır metale ait kök, gövde, yaprak, toplam bitki ve topraklardaki konsantrasyonların karşılaştırılması ve korelasyon katsayıları (**önem düzeyi 0,01, * önem düzeyi 0,05)

Bitkilere ait BKF, ZF, TF ve TLF değerleri arasında anlamlı istatistiksel farklılık saptanmıştır. *Aet. spicatum*, *A. oxycarpum*, *A. floribundum*, *T. oxyceras* türlerinin BKF ve ZF değerlerinin sınır değeri olan 1 in üzerinde olduğu görülmektedir. Bu türlere ait BKF ve ZF değerlerinin istatistiksel olarak diğer türlerden önemli ölçüde yüksek olduğu saptanmıştır. *S. crypthantha* dışındaki türlerde TF ve TLF değerleri 1'in üzerinde bulunmuştur.



Şekil 4.6. *Aethionema spicatum*, *Alyssum alyssoides*, *Alssum oxycarpum*, *Alyssum floribundum*, *Thlaspi oxyceras*, *Convolvulus compactus*, *Fumana arabica*, *Onosma cappadocicum* ve *Salvia crypthantha* türlerinde nikel ağır metali için hesaplanan BKF, ZF, TF ve TLF değerleri

4.1.3.3. Kobalt Ağır Metaline İlişkin Bulgular

Çizelge 4.7., Şekil 4.7. ve Şekil 4.8.'de kobalt ağır metalinin bitkilerde ve topraklardaki ortalama konsantrasyonları, konsantrasyonlar arasındaki ilişkiler ve

remediasyon kabiliyetlerini saptamak amacıyla hesaplanan biyokonsantrasyon faktörü, zenginleştirme faktörü, transfer faktörü ve translokasyon faktörü değerleri gösterilmiştir.

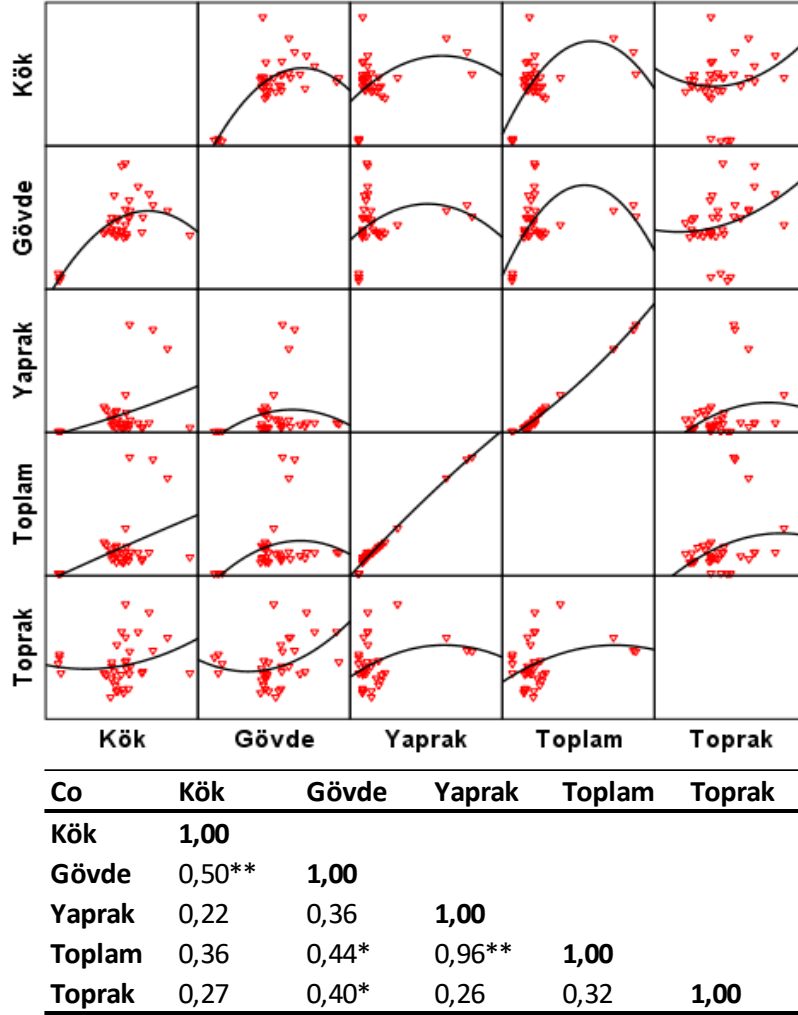
Ortalama kobalt metali konsantrasyonları (Çizelge 4.7) çalışma sahası topraklarında 235-310 mg/kg, bitkilerin köklerinde 0,67-10,48 mg/kg, gövdelerinde 1,40-11,66 mg/kg, ve yapraklarında 1,40-128,61 mg/kg olarak saptanmıştır (Çizelge 4.7.).

Çizelge 4.7. *Aethionema spicatum*, *Alyssum alyssoides*, *Alssum oxycarpum*, *Alyssum floribundum*, *Thlaspi oxyceras*, *Convolvulus compactus*, *Fumana arabica*, *Onosma cappadocicum* ve *Salvia cryphantha* türlerinin kök, gövde yaprak ve topraklarında kobalt ağır metali konsantrasyonları (mg/kg)

Bitki türü	Kök	Gövde	Yaprak	Toprak
<i>Aet. spicatum</i>	9,92 ± 1,88	8,70 ± 0,85	128,61 ± 42,99	310,93 ± 36,96
<i>A. alyssoides</i>	0,67 ± 0,11	1,40 ± 0,30	1,40 ± 0,07	259,98 ± 13,86
<i>A. oxycarpum</i>	7,18 ± 0,78	8,28 ± 0,52	18,56 ± 2,08	235,43 ± 40,18
<i>A. floribundum</i>	6,02 ± 0,37	6,68 ± 0,15	31,13 ± 6,85	240,75 ± 11,69
<i>T. oxyceras</i>	7,43 ± 0,57	6,24 ± 0,12	26,84 ± 8,38	237,70 ± 18,63
<i>C. compactus</i>	8,79 ± 1,19	11,66 ± 1,82	13,12 ± 2,56	325,65 ± 18,35
<i>F. arabica</i>	7,61 ± 0,48	6,95 ± 0,83	7,03 ± 0,14	205,33 ± 3,38
<i>O. cappadocicum</i>	7,32 ± 0,80	11,05 ± 2,27	11,54 ± 1,36	248,05 ± 9,06
<i>S. cryphantha</i>	10,48 ± 2,76	7,00 ± 0,80	7,64 ± 0,52	238,97 ± 2,12

Şekil 4.7.'a bakıldığında kök ve yaprak Co konsantrasyonunun bitkideki toplam konsantrasyonla korelasyon gösterdiği görülmektedir. Özellikle yapraklarda ki birikimle toplam birikim arasında çok yüksek (%96) bir korelasyon saptanmıştır.

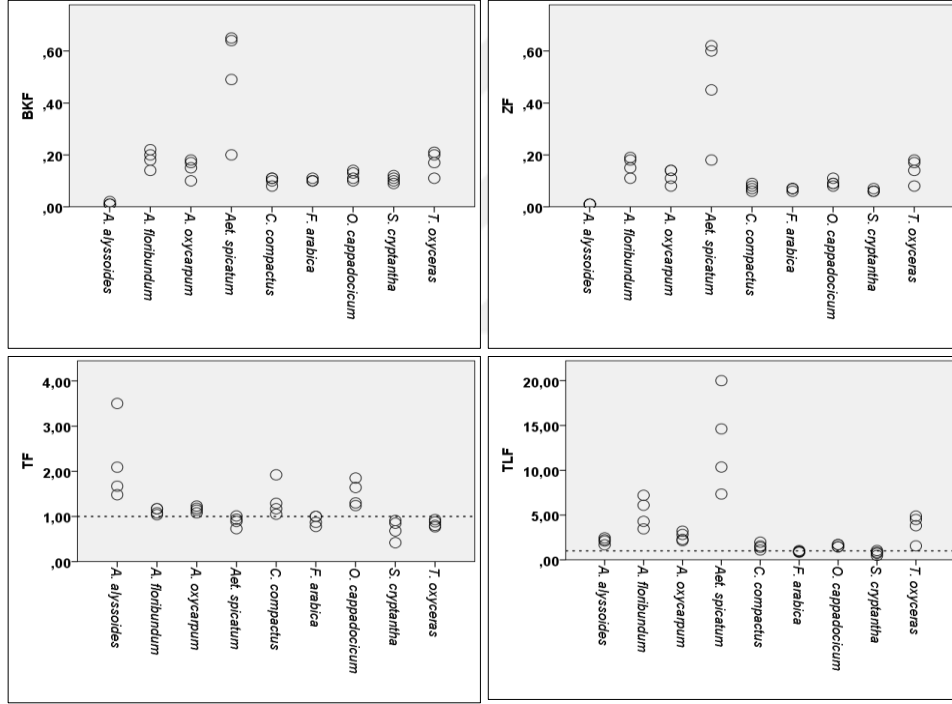
Topraklardaki Co konsantrasyonunun bitkilerdeki Co konsantrasyonları ile korelasyonu olmadığı görülmüştür.



Şekil 4.7. Kobalt ağır metaline ait kök, gövde, yaprak, toplam bitki ve topraklardaki konsantrasyonların karşılaştırılması ve korelasyon katsayıları (**önem düzeyi 0,01, * önem düzeyi 0,05)

Bitkilere ait BKF, ZF, TF ve TLF değerleri arasında anlamlı istatistiksel farklılık saptanmıştır. Şekil 4.8. incelendiğinde kobalt ağır metali için elde edilen

BKF ve ZF değerlerinde tüm bitkiler sınır değerin altında kaldığı görülmektedir. Bitkilerin BKF ve ZF değerleri arasında *Aet. spicatum* ve *A. floribundum* türlerine ait değerler diğerlerinden istatistiksel olarak önemlilik göstermiştir. TF değerleri için *A. alyssoides*, TLF değeri için *Aet. spicatum* türlerine ait değerler istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermiştir. *A. alyssoides*, *A. oxycarpum*, *C. compactus*, *O. cappadocicum* türlerine ait TF değerleri sınır değerin üzerinde bulunmuştur. TLF değerleri incelendiğinde ise *Aet. spicatum*, *A. alyssoides*, *A. oxycarpum*, *A. floribundum* ve *T. oxyceras* türlerinin sınır değerin üzerinde olduğu görülmüştür.



Şekil 4.8. *Aethionema spicatum*, *Alyssum alyssoides*, *Alssum oxycarpum*, *Alyssum floribundum*, *Thlaspi oxyceras*, *Convolvulus compactus*, *Fumana arabica*, *Onosma cappadocicum* ve *Salvia cryphantha* türlerinde kobalt ağır metali için hesaplanan BKF, ZF, TF ve TLF değerleri

4.1.3.4. Kurşun Ağır Metaline İlişkin Bulgular

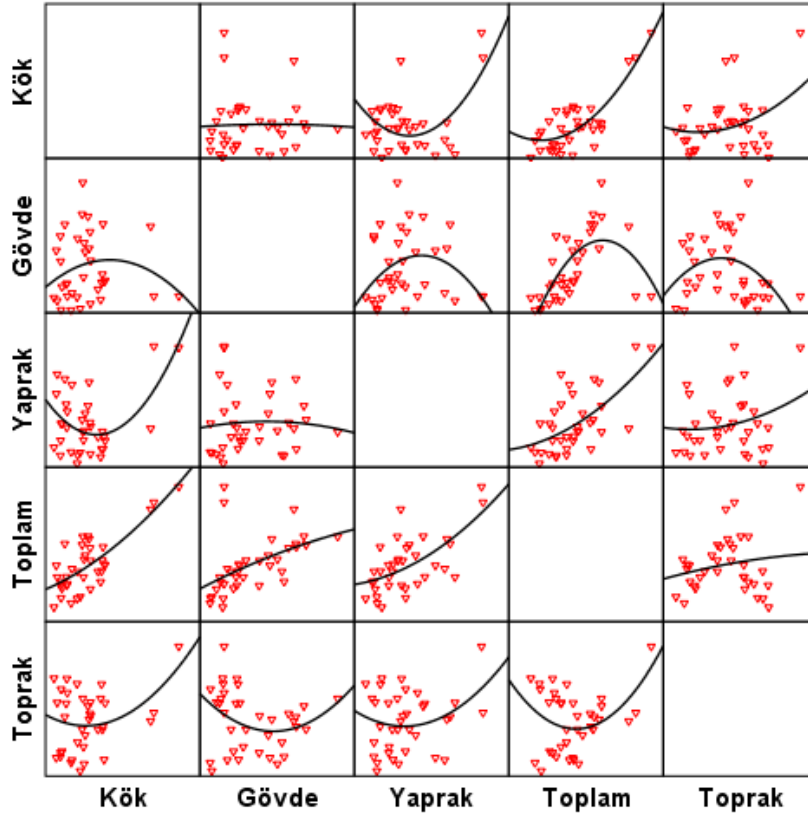
Çizelge 4.8., Şekil 4.9. ve Şekil 4.10.'te kurşun ağır metalinin bitkilerde ve topraklardaki ortalama konsantrasyonları, konsantrasyonlar arasındaki ilişkiler ve remediasyon kabiliyetlerini saptamak amacıyla hesaplanan biyokonsantrasyon faktörü, zenginleştirme faktörü, transfer faktörü ve translokasyon faktörü değerleri gösterilmiştir.

Ortalama kurşun metali konsantrasyonları topraklarda 4,39-30,11 mg/kg bitkilerin köklerinde 1,13-4,86 mg/kg, gövdelerinde 0,64-3,63 mg/kg, yapraklarında 1,12-3,01 mg/kg olarak saptanmıştır (Çizelge 4.8.).

Çizelge 4.8. *Aethionema spicatum*, *Alyssum alyssoides*, *Alssum oxycarpum*, *Alyssum floribundum*, *Thlaspi oxyceras*, *Convolvulus compactus*, *Fumana arabica*, *Onosma cappadocicum* ve *Salvia cryphantha* türlerinin kök, gövde yaprak ve topraklarında kurşun ağır metali konsantrasyonları (mg/kg)

Bitki türü	Kök	Gövde	Yaprak	Toprak
<i>Aet. spicatum</i>	1,95 ± 0,45	2,23 ± 1,00	1,17 ± 0,48	16,84 ± 3,37
<i>A. alyssoides</i>	4,86 ± 2,42	1,22 ± 1,09	3,01 ± 1,33	29,76 ± 10,39
<i>A. oxycarpum</i>	1,58 ± 0,96	1,70 ± 0,81	1,57 ± 0,97	13,40 ± 8,17
<i>A. floribundum</i>	1,43 ± 1,09	1,32 ± 0,65	1,62 ± 0,87	26,82 ± 8,36
<i>T. oxyceras</i>	1,78 ± 1,06	0,64 ± 0,27	1,12 ± 1,29	30,11 ± 3,03
<i>C. compactus</i>	1,81 ± 0,79	3,63 ± 0,62	1,82 ± 0,95	23,02 ± 3,83
<i>F. arabica</i>	1,40 ± 1,03	1,29 ± 0,34	1,15 ± 0,24	8,41 ± 1,64
<i>O. cappadocicum</i>	1,13 ± 0,62	1,25 ± 1,13	1,26 ± 0,86	4,39 ± 1,70
<i>S. cryphantha</i>	1,36 ± 0,77	1,09 ± 1,11	1,48 ± 0,64	26,58 ± 3,12

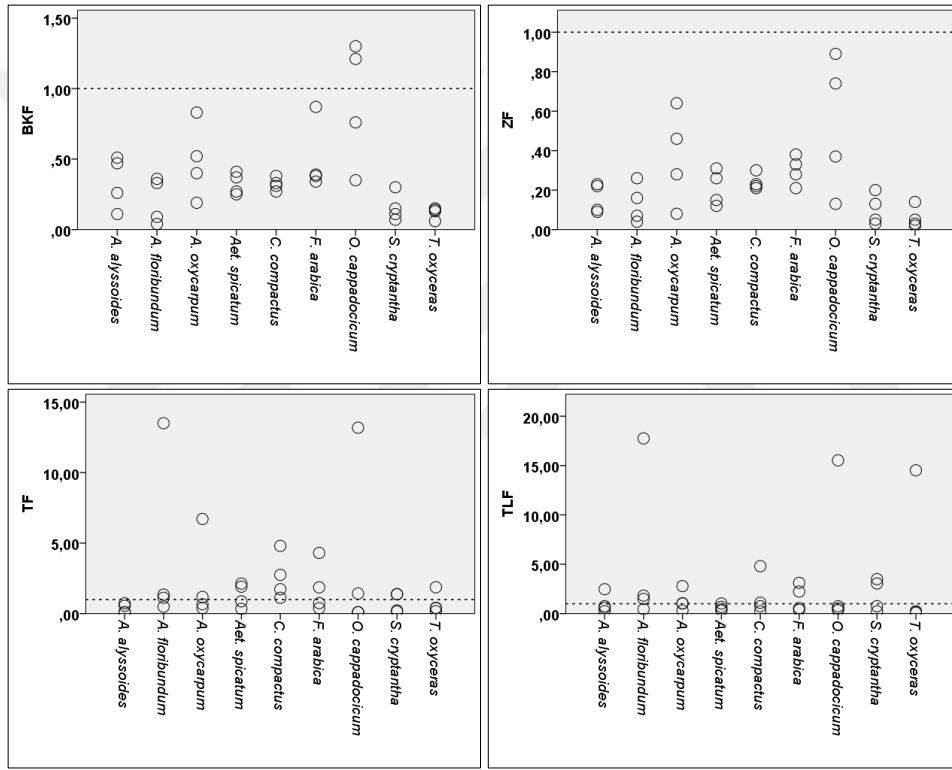
Şekil 4.9.'a bakıldığında bitkilerde toplam kurşun konsantrasyonunun bitkilerin kök, gövde ve yaprak Pb konsantrasyonları ile korelasyon gösterdiği görülmektedir. Bitkideki toplam Pb konsantrasyonu ile toprakta bulunan Pb konsantrasyonları arasında korelasyon saptanmamıştır.



Pb	Kök	Gövde	Yaprak	Toplam	Toprak
Kök	1,00				
Gövde	0,15	1,00			
Yaprak	-0,04	0,14	1,00		
Toplam	0,58**	0,68**	0,55**	1,00	
Toprak	0,11	-0,22	0,09	-0,02	1,00

Şekil 4.9. Kurşun ağır metale ait kök, gövde, yaprak, toplam bitki ve topraklardaki konsantrasyonların karşılaştırılması ve korelasyon katsayıları (**önem düzeyi 0,01, * önem düzeyi 0,05)

Bitkilere ait BKF ve ZF değerleri anlamlı istatistiksel farklılık gösterirken TF ve TLF değerleri arasında anlamlı farklılık görülmemiştir. BKF ve ZF değerleri açısından tüm bitkilerin sınır değerinin altında kaldığı görülmektedir (Şekil 4.10.). İstatistiki olarak BKF için *Onosma cappadocicum*, ZF değeri için ise *A. oxycarpum*, *F. arabica* ve *O. cappadocicum* türlerine ait değerler önemli bulunmuştur.



Şekil 4.10. *Aethionema spicatum*, *Alyssum alyssoides*, *Alssum oxycarpum*, *Alyssum floribundum*, *Thlaspi oxyceras*, *Convolvulus compactus*, *Fumana arabica*, *Onosma cappadocicum* ve *Salvia cryphantha* türlerinde kurşun ağır metali için hesaplanan BKF, ZF, TF ve TLF değerleri

4.1.3.5. Çinko Ağır Metaline İlişkin Bulgular

Çizelge 4.9., Şekil 4.11. ve Şekil 4.12.'de çinko ağır metalinin bitkilerde ve topraklardaki ortalama konsantrasyonları, konsantrasyonlar arasındaki ilişkiler ve

remediasyon kabiliyetlerini saptamak amacıyla hesaplanan biyokonsantrasyon faktörü, zenginleştirme faktörü, transfer faktörü ve translokasyon faktörü değerleri gösterilmiştir.

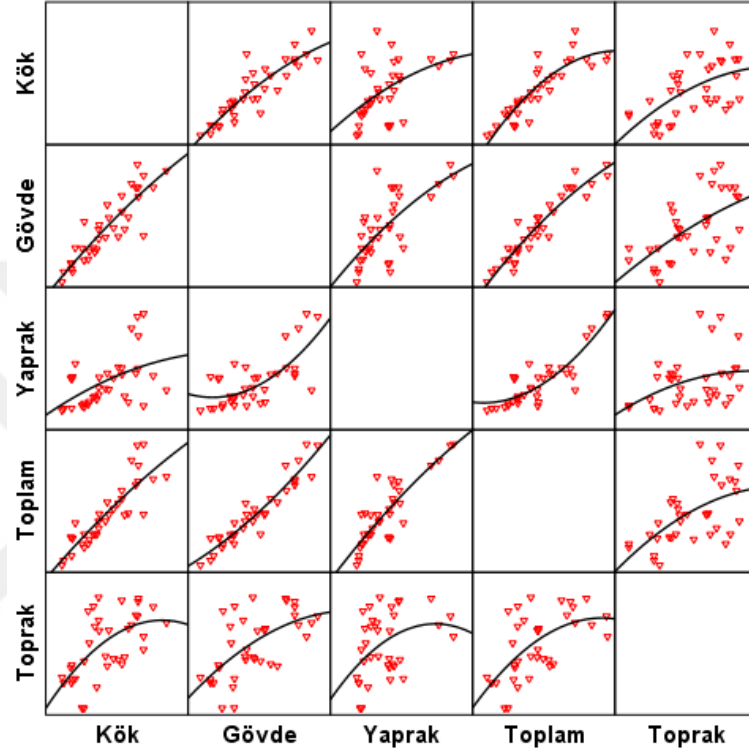
Ortalama çinko metali konsantrasyonları bitkilerin topraklarında 52,57-82,39 mg/kg, köklerinde 4,60-20,57 mg/kg, gövdelerinde 7,99-21,69 mg/kg, ve yapraklarında 7,21-33,06 mg/kg olarak saptanmıştır.

Çizelge 4.9. *Aethionema spicatum*, *Alyssum alyssoides*, *Alssum oxycarpum*, *Alyssum floribundum*, *Thlaspi oxyceras*, *Convolvulus compactus*, *Fumana arabica*, *Onosma cappadocicum* ve *Salvia cryphantha* türlerinin kök, gövde yaprak ve topraklarında çinko ağır metali konsantrasyonları (mg/kg)

Bitki türü	Kök	Gövde	Yaprak	Toprak
<i>Aet. spicatum</i>	12,79 ± 1,62	14,55 ± 2,05	16,56 ± 2,47	63,99 ± 5,22
<i>A. alyssoides</i>	19,75 ± 2,61	20,21 ± 0,55	18,19 ± 1,01	82,39 ± 2,29
<i>A. oxycarpum</i>	7,49 ± 0,63	11,53 ± 2,23	7,90 ± 0,67	53,57 ± 11,19
<i>A. floribundum</i>	20,57 ± 3,86	16,54 ± 3,97	9,68 ± 1,85	69,35 ± 5,58
<i>T. oxyceras</i>	19,86 ± 0,99	21,69 ± 1,83	33,06 ± 2,82	77,33 ± 5,45
<i>C. compactus</i>	9,79 ± 1,01	11,74 ± 1,71	10,52 ± 1,89	81,32 ± 3,21
<i>F. arabica</i>	4,60 ± 0,39	8,98 ± 1,35	17,27 ± 1,92	56,39 ± 2,53
<i>O. cappadocicum</i>	4,83 ± 3,25	7,99 ± 1,84	7,21 ± 1,35	52,57 ± 1,37
<i>S. cryphantha</i>	13,32 ± 2,31	14,33 ± 2,41	14,08 ± 2,74	67,26 ± 6,50

Şekil 4.11.'e bakıldığında bitkilerde toplam çinko konsantrasyonunun bitkilerin kök, gövde ve yaprak Zn konsantrasyonları ile korelasyon gösterdiği

görülmektedir Bitkideki ve topraktaki Zn konsantrasyonları arasında güçlü korelasyon görülmektedir.

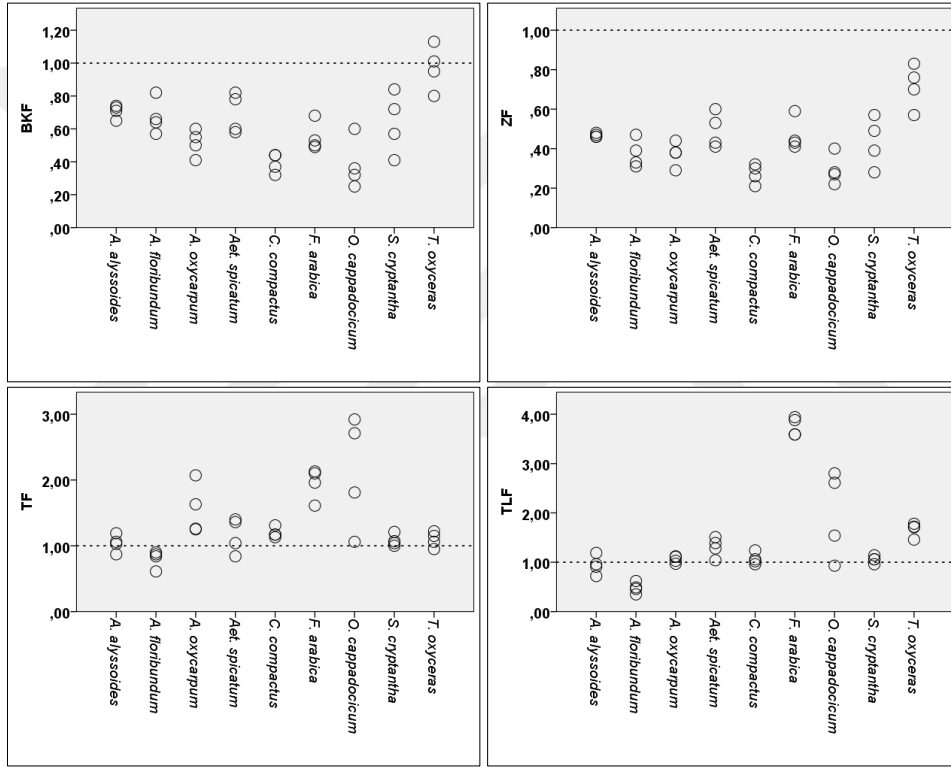


Zn	Kök	Gövde	Yaprak	Toplam	Toprak
Kök	1,00				
Gövde	0,92**	1,00			
Yaprak	0,61**	0,66**	1,00		
Toplam	0,93**	0,95**	0,81**	1,00	
Toprak	0,64**	0,61**	0,40*	0,61**	1,00

Şekil 4.11. Çinko ağır metaline ait kök, gövde, yaprak, toplam bitki ve topraklardaki konsantrasyonların karşılaştırılması ve korelasyon katsayıları (**önem düzeyi 0,01, * önem düzeyi 0,05)

Bitkilere ait BKF, ZF, TF ve TLF değerleri arasında anlamlı istatistiksel farklılık saptanmıştır. Şekil 4.12. incelendiğinde BKF ve ZF değerleri açısından *T. oxyceras* türü dışında kalan türlerin sınır değerinin altında olduğu görülmektedir.

Bu değerler istatistiki olarak değerlendirildiğinde *T.oxyceras* türünün anlamlı şekilde diğer türlerden farklı olduğu görülmüştür. TF değerlerine bakıldığında *T. oxyceras*, *C. compactus*, *F. arabica*, *O. cappadocicum*, *S. crypthantha* türlerine ait değerlerin bariz şekilde sınır değer üzerinde olduğu görülmektedir. TLF değerleri için ise *Aet. spicatum*, *T.oxyceras*, *F. arabica*, *O. cappadocicum* türlerinin sınır değer üzerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 4.12. *Aethionema spicatum*, *Alyssum alyssoides*, *Alssum oxycarpum*, *Alyssum floribundum*, *Thlaspi oxyceras*, *Convolvulus compactus*, *Fumana arabica*, *Onosma cappadocicum* ve *Salvia crypthantha* türlerinde çinko ağır metali için hesaplanan BKF, ZF, TF ve TLF değerleri

4.1.3.6. Mangan Ağır Metaline İlişkin Bulgular

Çizelge 4.10., Şekil 4.13. ve Şekil 4.14.'de mangan ağır metalinin bitkilerde ve topraklardaki ortalama konsantrasyonları, konsantrasyonlar arasındaki ilişkiler

ve remediasyon kabiliyetlerini saptamak amacıyla hesaplanan biyokonsantrasyon faktörü, zenginleştirme faktörü, transfer faktörü ve translokasyon faktörü değerleri gösterilmiştir.

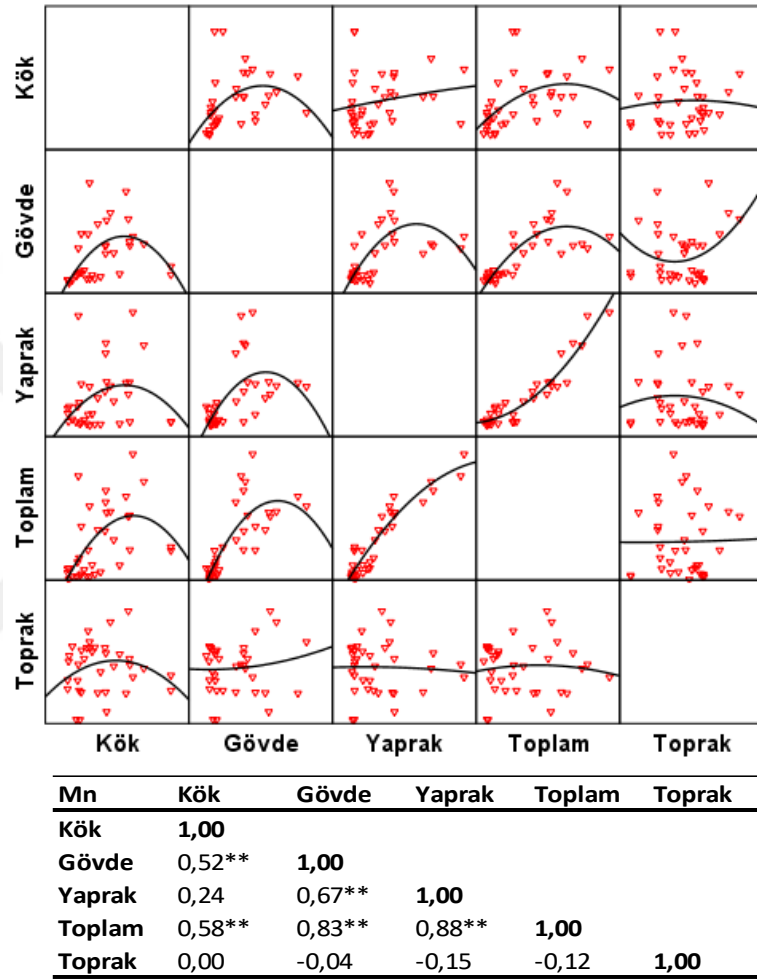
Ortalama mangan konsantrasyonları bitkilerin topraklarında 560,15-725,43 mg/kg, köklerinde 10,30-58,95 mg/kg, gövdelerinde 11,52-75,11 mg/kg, ve yapraklarında 27,44-207,93 mg/kg, olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.10. *Aethionema spicatum*, *Alyssum alyssoides*, *Alssum oxycarpum*, *Alyssum floribundum*, *Thlaspi oxyceras*, *Convolvulus compactus*, *Fumana arabica*, *Onosma cappadocicum* ve *Salvia cryphantha* türlerinin kök, gövde yaprak ve topraklarında mangan ağır metali konsantrasyonları (mg/kg)

Bitki türü	Kök	Gövde	Yaprak	Toprak
<i>Aet. spicatum</i>	38,77 ± 15,70	45,95 ± 4,04	207,93 ± 29,29	634,10 ± 19,98
<i>A. alyssoides</i>	23,75 ± 1,83	14,21 ± 1,39	28,37 ± 8,99	673,85 ± 3,94
<i>A. oxycarpum</i>	17,26 ± 1,76	18,81 ± 1,93	28,22 ± 2,78	584,50 ± 76,12
<i>A. floribundum</i>	10,30 ± 1,15	11,52 ± 1,28	47,85 ± 9,58	629,43 ± 40,36
<i>T. oxyceras</i>	17,92 ± 7,24	15,96 ± 2,72	44,20 ± 18,00	610,05 ± 24,91
<i>C. compactus</i>	31,88 ± 10,26	75,11 ± 17,29	79,74 ± 22,41	725,43 ± 26,42
<i>F. arabica</i>	37,67 ± 6,11	41,45 ± 4,70	105,41 ± 34,80	633,03 ± 37,93
<i>O. cappadocicum</i>	31,17 ± 9,98	70,26 ± 14,70	96,54 ± 12,86	560,15 ± 19,21
<i>S. cryphantha</i>	58,95 ± 14,44	25,91 ± 10,88	27,44 ± 1,52	621,48 ± 31,17

Şekil 4.13.'te yer alan korelasyon tablosuna bakıldığında bitkilerdeki toplam mangan konsantrasyonunun bitkilerin kök, gövde ve yaprak Mn konsantrasyonları ile korelasyon gösterdiği görülmektedir. Özellikle gövde (%83) ve yapraklarda

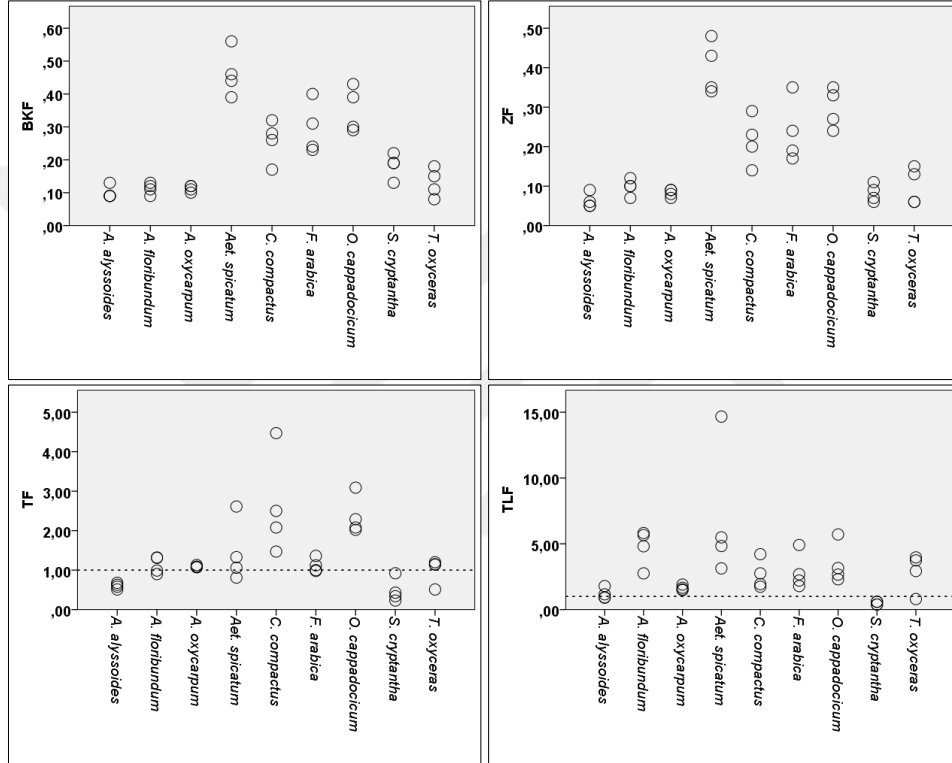
(%88) ki Mn konsantrasyonu ile toplam Mn konsantrasyonu arasında pozitif yönlü yüksek korelasyonlar bulunmuştur.



Şekil 4.13. Mangan ağır metaline ait kök, gövde, yaprak, toplam bitki ve topraklardaki konsantrasyonların karşılaştırılması ve korelasyon katsayıları (**önem düzeyi 0,01, * önem düzeyi 0,05)

Bitkilere ait BKF, ZF, TF ve TLF değerleri arasında anlamlı istatistiksel farklılık saptanmıştır. Şekil 4.14. 'de verilen grafikler değerlendirildiğinde BKF ve ZF değerlerinin tüm bitkiler için sınır değerinin altında olduğu görülmektedir.

İstatistiki olarak *Aet. spicatum* türüne ait değerlerin BKF, ZF ve TF değerleri açısından diğer bitkilerden anlamlı farklılık gösterdiği saptanmıştır. *A. alyssoides* ve *S crypthanta* türleri dışında kalan tüm türlerin TF ve TLF değerleri açısından sınır değerlerin üzerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 4.14. *Aethionema spicatum*, *Alyssum alyssoides*, *Alssum oxycarpum*, *Alyssum floribundum*, *Thlaspi oxyceras*, *Convolvulus compactus*, *Fumana arabica*, *Onosma cappadocicum* ve *Salvia cryphantha* türlerinde manganez için hesaplanan BKF, ZF, TF ve TLF değerleri

4.1.3.7. Bakır Ağır Metaline İlişkin Bulgular

Çizelge 4.11., Şekil 4.15. ve Şekil 4.16.'da bakır ağır metalinin bitkiler ve topraklardaki ortalama konsantrasyonları, konsantrasyonlar arasındaki ilişkiler ve remediasyon kabiliyetlerini saptamak amacıyla hesaplanan biyokonsantrasyon

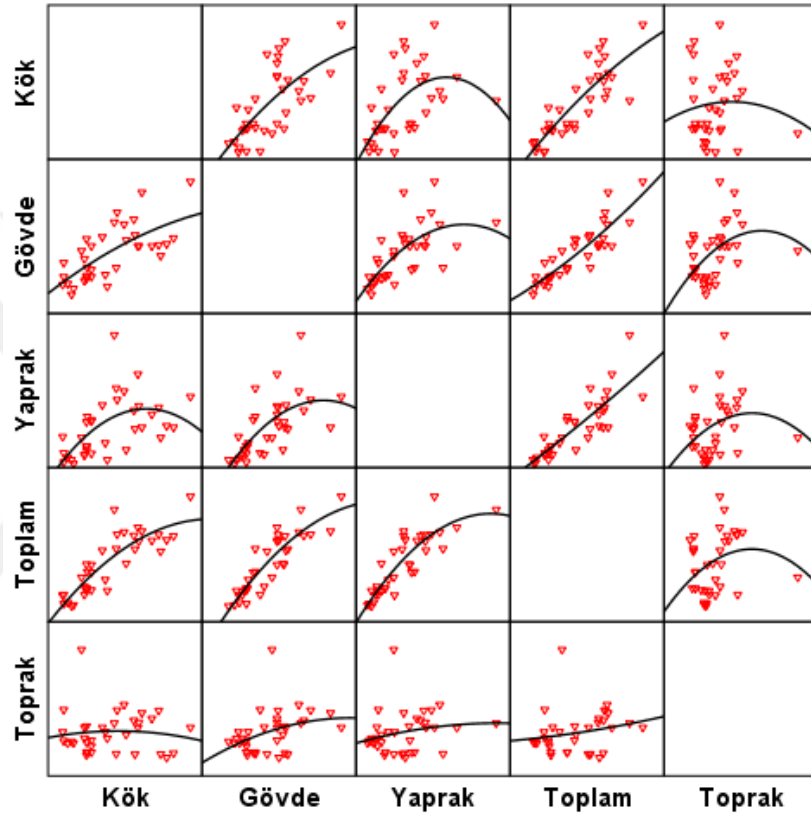
faktörü, zenginleştirme faktörü, transfer faktörü ve translokasyon faktörü değerleri gösterilmiştir.

Ortalama bakır metali konsantrasyonları topraklarda 6,08-19,72 mg/kg, bitkilerin köklerinde 0,52-1,44 mg/kg, gövdelerinde 0,48-1,31 mg/kg, ve yapraklarında 0,56-1,38 mg/kg olarak saptanmıştır (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.11. *Aethionema spicatum*, *Alyssum alyssoides*, *Alssum oxycarpum*, *Alyssum floribundum*, *Thlaspi oxyceras*, *Convolvulus compactus*, *Fumana arabica*, *Onosma cappadocicum* ve *Salvia crypthantha* türlerinin kök, gövde yaprak ve topraklarında bakır ağır metali konsantrasyonları (mg/kg)

Bitki türü	Kök	Gövde	Yaprak	Toprak
<i>Aet. spicatum</i>	0,52 ± 0,05	0,48 ± 0,07	0,56 ± 0,14	10,53 ± 1,25
<i>A. alyssoides</i>	1,32 ± 0,09	0,88 ± 0,00	1,27 ± 0,20	16,14 ± 1,78
<i>A. oxycarpum</i>	0,71 ± 0,01	0,56 ± 0,02	0,64 ± 0,05	8,35 ± 2,00
<i>A. floribundum</i>	0,59 ± 0,09	0,70 ± 0,12	0,62 ± 0,10	19,72 ± 10,24
<i>T. oxyceras</i>	0,92 ± 0,15	1,06 ± 0,11	1,22 ± 0,15	16,92 ± 2,82
<i>C. compactus</i>	1,30 ± 0,28	1,31 ± 0,17	1,38 ± 0,45	15,81 ± 1,51
<i>F. arabica</i>	0,81 ± 0,12	0,71 ± 0,10	1,13 ± 0,18	7,55 ± 1,58
<i>O. cappadocicum</i>	1,44 ± 0,15	0,91 ± 0,08	0,89 ± 0,06	6,08 ± 0,46
<i>S. crypthantha</i>	0,92 ± 0,12	0,64 ± 0,18	0,61 ± 0,08	10,99 ± 1,54

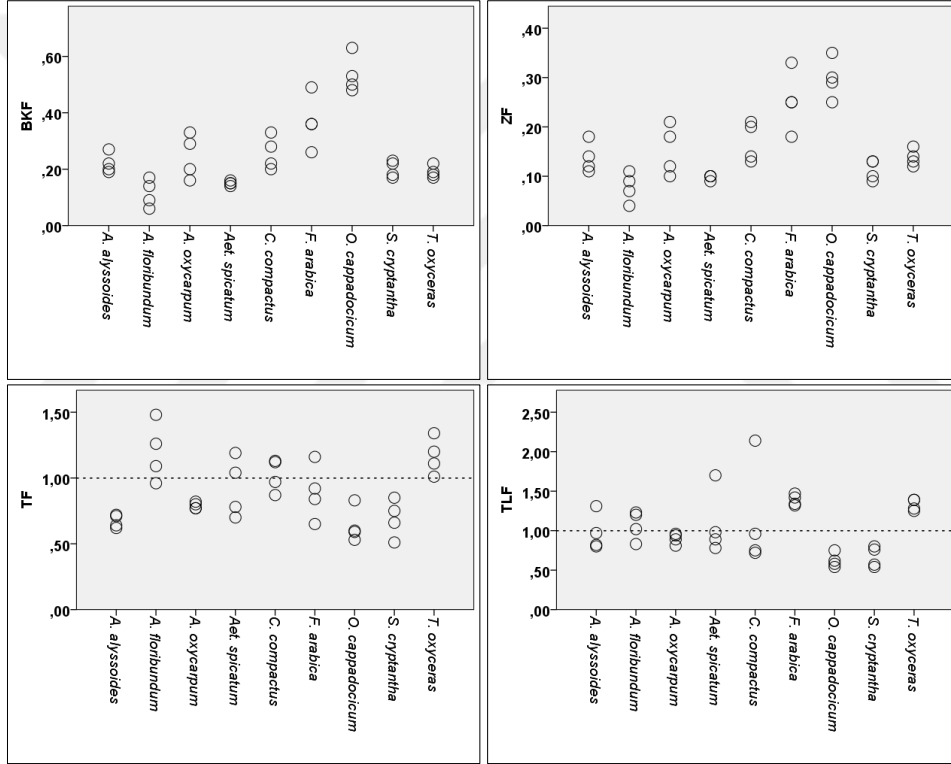
Şekil 4.15.'e bakıldığında bitkilerde toplam bakır konsantrasyonunun bitkilerin kök, gövde ve yaprak konsantrasyonları ile korelasyon gösterdiği görülmektedir.



Cu	Kök	Gövde	Yaprak	Toplam	Toprak
Kök	1,00				
Gövde	0,68**	1,00			
Yaprak	0,59**	0,71**	1,00		
Toplam	0,84**	0,89**	0,86**	1,00	
Toprak	0,01	0,42*	0,30	0,31	1,00

Şekil 4.15. Bakır ağır metale ait kök, gövde, yaprak, toplam bitki ve topraklardaki konsantrasyonların karşılaştırılması ve korelasyon katsayıları (**önem düzeyi 0,01, * önem düzeyi 0,05)

Bitkilere ait BKF, ZF, TF ve TLF değerleri arasında anlamlı istatistiksel farklılık saptanmıştır. Şekil 4.16.'ya bakıldığında BKF değerlerinin sınır değeri olan 1'in altında olduğu görülmektedir. BKF ve ZF değerleri arasında istatistiksel olarak *O. cappadocicum* türüne ait değerlerinin diğer türlerden farklılık gösterdiği saptanmıştır. TF değerleri için *Alyssum floribundum* ve *Thlaspi oxyceras*, TLF için *Thlaspi oxyceras* ve *Fumana arabica* türlerinin sınır değer üzerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 4.16. *Aethionema spicatum*, *Alyssum alyssoides*, *Alssum oxycarpum*, *Alyssum floribundum*, *Thlaspi oxyceras*, *Convolvulus compactus*, *Fumana arabica*, *Onosma cappadocicum* ve *Salvia cryphantha* türlerinde bakır ağır metali için hesaplanan BKF, ZF, TF ve TLF değerleri

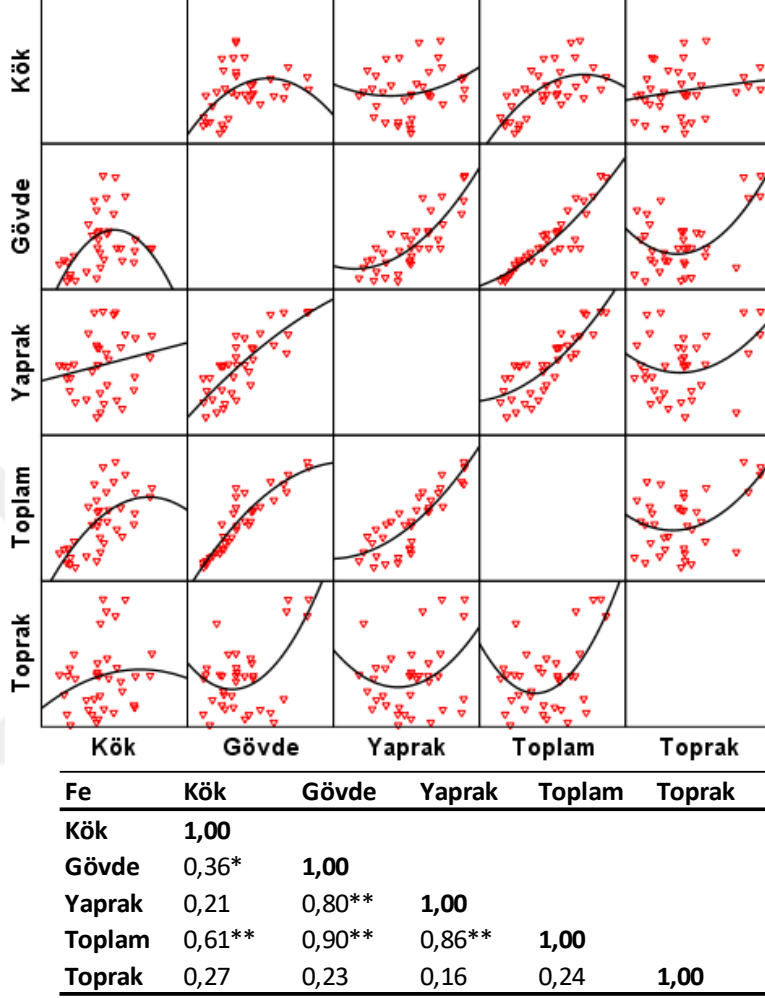
4.1.3.8. Demir Ağır Metaline İlişkin Bulgular

Çizelge 4.12., Şekil 4.17. ve Şekil 4.18.'de demir ağır metalinin bitkilerde ve topraklardaki ortalama konsantrasyonları, konsantrasyonlar arasındaki ilişkiler ve remediasyon kabiliyetlerini saptamak amacıyla hesaplanan biyokonsantrasyon faktörü, zenginleştirme faktörü, transfer faktörü ve translokasyon faktörü değerleri gösterilmiştir.

Ortalama demir metali konsantrasyonları bitkilerin topraklarında 3848,25-4166,75 mg/kg, köklerinde 66.70-276,57 mg/kg, gövdelerinde 33,65-235,60 mg/kg, ve yapraklarında 58,67-248,89 mg/kg olarak saptanmıştır (Çizelge 4.12.).

Çizelge 4.12. *Aethionema spicatum*, *Alyssum alyssoides*, *Alsum oxycarpum*, *Alyssum floribundum*, *Thlaspi oxyceras*, *Convolvulus compactus*, *Fumana arabica*, *Onosma cappadocicum* ve *Salvia cryphantha* türlerinin kök, gövde yaprak ve topraklarında demir ağır metali konsantrasyonları (mg/kg)

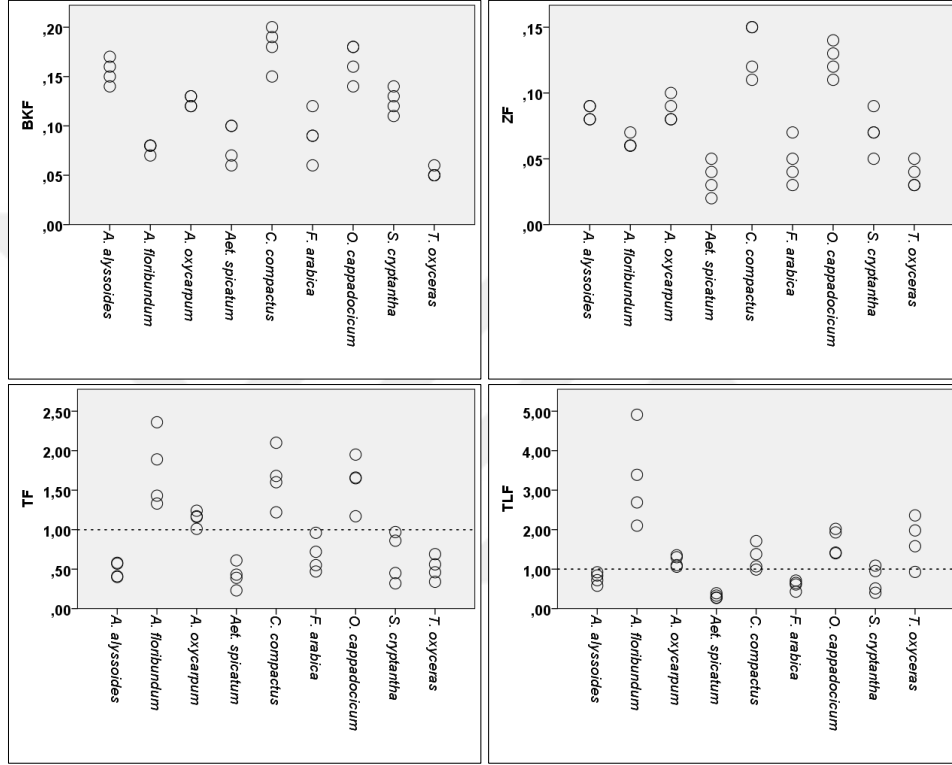
Bitki türü	Kök	Gövde	Yaprak	Toprak
<i>Aet. spicatum</i>	183,78 ± 32,52	78,80 ± 33,62	58,67 ± 14,23	3990,50 ± 76,50
<i>A. alyssoides</i>	276,57 ± 38,46	132,23 ± 11,51	207,49 ± 19,44	3967,75 ± 32,65
<i>A. oxycarpum</i>	146,40 ± 8,19	167,27 ± 9,75	176,53 ± 23,91	3902,50 ± 73,45
<i>A. floribundum</i>	53,73 ± 16,28	87,87 ± 9,48	159,49 ± 1,80	3958,25 ± 43,51
<i>T. oxyceras</i>	66,70 ± 9,23	33,65 ± 8,03	109,65 ± 22,98	3892,00 ± 72,29
<i>C. compactus</i>	194,24 ± 26,45	313,33 ± 31,26	245,54 ± 39,50	4166,75 ± 22,31
<i>F. arabica</i>	154,41 ± 24,07	107,24 ± 42,01	91,10 ± 16,26	3909,75 ± 58,63
<i>O. cappadocicum</i>	150,72 ± 28,66	235,60 ± 25,61	248,89 ± 30,97	3848,25 ± 25,66
<i>S. cryphantha</i>	213,04 ± 49,11	126,62 ± 33,87	142,79 ± 26,82	3909,75 ± 47,74



Şekil 4.17. Demir ağır metaline ait kök, gövde, yaprak, toplam bitki ve topraklardaki konsantrasyonların karşılaştırılması ve korelasyon katsayıları (**önem düzeyi 0,01, * önem düzeyi 0,05)

Bitkilere ait BKF, ZF, TF ve TLF değerleri arasında anlamlı istatistiksel farklılık saptanmıştır. Şekil 4.18. incelendiğinde demir için BKF ve ZF değerlerinin sınır değerin çok altında olduğu görülmektedir. Bu değerler açısından *A. alyssoides*, *C. compactus* ve *O. cappadocicum* türlerinin diğer türlerden istatistiksel anlamda önemli farklılık gösterdiği saptanmıştır. TF ve TLF

değerlerine bakıldığında ise *Alssum oxycarpum*, *Alyssum floribundum*, *Convolvulus compactus* türlerinin hem TF hem de TLF için sınır değer üzerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 4.18. *Aethionema spicatum*, *Alyssum alyssoides*, *Alssum oxycarpum*, *Alyssum floribundum*, *Thlaspi oxyceras*, *Convolvulus compactus*, *Fumana arabica*, *Onosma cappadocicum* ve *Salvia crypthantha* türlerinde demir ağır metali için hesaplanan BKF, ZF, TF ve TLF değerleri

4.2. Tartışma

4.1.2. Çalışma Alanı Topraklarının Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri ile Ağır Metal Konsantrasyonları

Kızıldağ (2017) tarafından yapılan çalışmada bölge topraklarının kumlu tınlı ve hafif alkali olduğu ve toprakların karbon içeriğinin %1,34-2,63 azot içeriklerinin ise % 0,15-0,18 aralıklarında olduğu ifade edilmiştir. Mbarki ve ark. (2008)

yaptıkları çalışmada bazı ağır metallerin konsantrasyonlarının kumlu tekstürlü topraklarda killi topraklara göre daha düşük konsantrasyonlarında bulunduğunu bildirmişlerdir. Kumlu toprak karakterinden dolayı metaller yıkanarak toprak profili boyunca ilerlemektedir. Killi bünyeli topraklarda ise organik madde ve kil metalleri tutmakta metallerin yıkanmasını azaltmaktadır (Madrid ve ark., 2007). Toprakta azot ve karbon konsantrasyonlarının ağır metal birikimi ile korelasyon gösterdiği bilinmektedir (Dai ve ark., 2004). Çizelge 4.2.'ye bakıldığında çalışma sahası topraklarının C ve N konsantrasyonlarının düşük seviyelerde olduğu görülmektedir. Serpentine alanlarda C ve N konsantrasyonlarının düşüklüğü önceki çalışmalarda da ifade edilmiştir (Pal ve ark., 2005; DeGrood ve ark., 2005). Rizosfer topraklarının asidik veya bazik karakterli olması hem topraktaki hemde bitkideki metal konsantrasyonlarını etkilemektedir (Lorenz ve ark., 1994; Zeng ve ark., 2011).

Şekil 4.2. ve Çizelge 4.4.'te maden sahalarına ait topraklardaki ağır metal konsantrasyonlarına bakıldığında krom konsantrasyonlarının diğer ağır metallerle güçlü negatif bir korelasyona sahip olduğu saptanmıştır. Krom için saptanan bu negatif korelasyon başka araştırmacıların çalışmalarında da bildirilmiştir (Muhammad ve ark., 2011; Krishna ve ark., 2013). Çalışma alanının krom madeni olmasından dolayı topraklarda Cr konsantrasyonunları yüksek bulunmuştur. Ayrıca maden sahası yıl içinde yağışlı bir iklim tipine sahip olup metallerin toprağın alt katmanlarına yıkanarak taşınması söz konusudur. Diğer metaller, maden sahasında mevcut potansiyellerini korurken; krom metali işleme ve taşınma gibi faaliyetler sırasında antropojenik yollarla bölge topraklarına ulaşabilir. Maden sahası kayaçlarının kromit ($FeCr_2O_4$) yapısında olmasının yüksek bir Cr rezervi oluşturması da bu tür bir korelasyona yol açabilir. Pöykiö ve ark. (2001) tarafından açık işletme krom sahaları civarında yapılan çalışmada Cr ve Ni arasında çok güçlü korelasyon olduğu ifade edilmektedir. Maden sahalarında Ni metali için önemli bir korelasyon durumu gözlenmemiştir (Şekil 4.2., Çizelge 4.4.). Toprak örneklerinin nikel akümülatörü olarak belirlenen bitkilerin dominant

olduğu sahalardan alınmış olması, toprak analizlerinde nikel konsantrasyonunda sapmalara yol açmış olabilir. Bu durum Ni ile diğer metaller arasındaki korelasyonu etkilemiş olabilir.

Kobalt metale ait korelasyon tabloları ve grafiklerine bakıldığında maden sahalarında özellikle Zn, Mn ve Fe ile güçlü ve pozitif bir ilişkiye sahip olduğu görülmektedir (Şekil 4.2., Çizelge 4.4.). Remediasyon çalışmalarında Co ile Mn ve Fe arasında güçlü korelatif ilişkiler konu ile ilgili çalışmalarda bildirilmiştir (Lum ve ark., 2014; Muhammad ve ark., 2013). Kurşun konsantrasyonlarının ise Zn, Mn, Cu ve Fe metalleri ile korelasyon gösterdiği görülmektedir. Özellikle Mn, Cu ve Fe konsantrasyonları arasında güçlü korelasyon görülmektedir. Çalışma sahaları arasında metallerin korelasyon durumlarına bakıldığında farklı sahalarda bu ilişkiler yönünden farklılıklar olduğu görülmektedir. Maden alanlarında ve serpantin kayaçların yoğun olduğu alanlarda ağır metal konsantrasyonları yakın alanlarda bile farklılıklar ve sapmalar gösterebilmektedir (Pöykiö ve ark., 2002; Muhammed ve ark., 2011; Krishna ve ark., 2013; Lago-Vila ve ark., 2015).

4.1.3. Bitkilerin Remediasyon Özelliklerinin Değerlendirilmesi

4.1.3.1. Krom Ağır Metali İçin Bitkilerin Değerlendirilmesi

Adriano (1986), otsu ve odunsu bitkilerde toplam krom konsantrasyonlarının 10 mg/kg değerinin altında olduğunu ifade ederken Pawlisz (1997), 0.006–18 mg/kg olarak bildirmiştir. Çizelge 4.5.'e bakıldığında *A. spicatum*, *A. floribundum* ve *T. oxyceras* türleri dışında kalan türlerde toplam krom konsantrasyonları 10 mg/kg ve üzerinde olduğu görülmüştür. Korelasyon analizlerine bakıldığında (Şekil 4.3.) krom metalinin seçilen bitkilerde gövdelerde birikme eğiliminde olduğu görülmektedir. Özellikle *O. cappadocicum* (26,35 mg/kg) ve *C. compactus* (23,46 mg/kg) türlerinde özellikle gövdelerinde ve literatür değerlerinden yüksek konsantrasyonlarda krom saptanmış olması bu bitkileri krom açısından önemli konuma getirmektedir.

Normal topraklarda krom konsantrasyonlarını Adriano (1986) 10-150 mg/kg olarak; Aubert ve Pinta (1980) ise 100-300 mg/kg aralığında ifade ederken, Krishna ve ark. (2013) krom maden alanı civarındaki topraklarda bu aralığı 64-4863 mg/kg olarak saptamışlardır. Bitkilerin kök bölgesi topraklarına bakıldığında (Çizelge 4.5.) krom konsantrasyonlarının normal topraklar için belirtilen değerlerden nispeten yüksek, maden alanları için saptanan değerlere göre ise normal düzeylerde olduğu görülmektedir.

BKF ve ZF değerlerinin 1 sınır değerinin altında olması seçilen bitkilerin krom metalini organlarında yeterince biriktiremediklerini göstermektedir. *C. compactus* ve *O. cappadocicum* türlerine ait TF ve TLF değerleri sınır değerinin üzerinde olması bu bitkilerin krom metalini gövde ve yapraklarına iyi taşıyabildiğini göstermektedir. Bu cinslere ait bitkilerin krom metali için toleranslı oldukları literatürlerde bildirilmiştir (Gardea ve ark., 2004; Sajad ve ark., 2019).

4.1.3.2. Nikel Ağır Metali İçin Bitkilerin Değerlendirilmesi

Adriano (1986) otsu bitkilerde toplam nikel konsantrasyonlarının 0.02-4 mg/kg değerleri aralığında olduğunu bildirmiştir. Brooks ve Radford (1978), serpantin arazilerde normal bitkilerde nikel konsantrasyonunun nadiren 50 mg/kg üzerine çıktığını ancak hiperakümülatör bitkilerde bu değer 1000 mg/kg'ın üzerinde olduğunu ifade etmişlerdir. Çizelge 4.6.'ya bakıldığında araştırılan bitki türlerinde toplam nikel konsantrasyonunun 58,58-3993,78 mg/kg aralığında olduğu görülmekte ve özellikle toplam nikel konsantrasyonunun *A. spicatum*, *A. oxycarpum*, *A. floribundum*, *T. oxyceras* türlerinde 1000 mg/kg üzerine çıktığı görülmektedir. Bahsi geçen türler Brassicaceae familyasına aittir. Bu familya içerisinde bulunan birçok türün nikel metali için hiperakümülatör olduğu bilinmektedir. *Alyssum*, *Aethionema* ve *Thlaspi* cinslerine ait birçok tür bilimsel çalışmalarda hiperakümülatör olarak nitelendirilmektedir (Cullaj ve ark., 2004; Çelik ve ark., 2018).

Korelasyon analizi sonuçlarına göre bitkideki toplam ağır metal konsantrasyonlarının (Çizelge 4.5.) kök, gövde ve yapraklardaki Ni konsantrasyonları ile korelasyon gösterdiği saptanmış olup literatürde benzer sonuçlara rastlanmıştır. Adamidis ve ark., (2014) *Alyssum lesbiacum* türü ile yaptıkları çalışmada akümülatör bitkilerde bitkilerin kök ve gövdeleri arasında nikel konsantrasyonu açısından korelasyon olduğunu ifade ederken, Galardi ve arkadaşları (2007) *Alyssum bertolonii* ile yaptıkları çalışmada köklerde yüksek metal konsantrasyonu ile bitkilerin akümülatör potansiyellerinin ilişkili olduğunu göstermişlerdir.

Şekil 4.6.'ya bakıldığında *Aet. spicatum*, *A. oxycarpum*, *A. floribundum*, *T. oxyceras* türlerinin BKF ve ZF değerlerinin sınır değeri olan 1'in üzerinde olduğu görülmektedir. Bu değerlerin yüksek olması bitkilerin nikel metalini bünyelerinde biriktirebildikleri anlamına gelmektedir. *S. cryphantha* dışındaki türlerde TF ve TLF değerleri 1'in üzerinde bulunması bitkilerin Ni metalini köklerden gövdeye ve yapraklara taşıma potansiyellerinin olduğunu göstermektedir.

4.1.3.3. Kobalt Ağır Metali İçin Bitkilerin Değerlendirilmesi

Yer kabuğu kobalt konsantrasyonu 100-220 mg/kg civarındayken, tüm kayalık tiplerinde ortalama 25 mg/kg dir. Farklı ülke topraklarında bu değerler 3,1-21,5 mg/kg arasında ifade edilmekle birlikte serpantin alanlarda bu değerlerin 10-520 mg/kg aralıklarında olduğu bildirilmiştir (Kabata-Pendias, 2000). Çizelge 4.7.'te verilen ortalama Co metali konsantrasyonlarına bakıldığında çalışma sahası topraklarının 235-310 mg/kg seviyelerinde kobalt konsantrasyonuna sahip olduğu görülmektedir. Adriano (1986) hiperakümülatör türlerin 1000 mg/kg üzerinde Co konsantrasyonuna sahip olması gerektiğini ifade etmiştir. Çizelge 4.10.'a bakıldığında bitkilerin Co konsantrasyonlarının bu değerin çok altında olduğu görülmektedir. En yüksek toplam kobalt konsantrasyonları *Aet. spicatum*, (147,24 mg/kg), *A. floribundum* (43,83 mg/kg), *T. oxyceras* (40,50 mg/kg) ve *A. oxycarpum* (34,02 mg/kg) türlerinde görülmektedir.

Şekil 4.7.'ye bakıldığında kök ve yaprak kobalt konsantrasyonunun bitkideki toplam konsantrasyonla korelasyon gösterdiği görülmektedir. Özellikle yapraklarda ki birikimle toplam birikim arasında çok yüksek (%96) bir korelasyon saptanmış ve bu durum kobalt metalinin özellikle yapraklarda akümüle olduğunu göstermiştir. Yapraklardaki kobalt konsantrasyonlarına bakıldığında en yüksek değerlere sahip bitkilerin *Aet. spicatum* (128,61mg/kg), *A. floribundum* (31,23 mg/kg) ve *T. oxyceras* (26,84 mg/kg) olduğu görülmektedir.

Şekil 4.8. incelendiğinde kobalt metali için elde edilen BKF ve ZF değerlerinde tüm bitkiler 1 sınır değerinin altında kalmıştır. BKF ve ZF değerlerinin sınırın altında kalması bitkilerin kobalt metali için akümülatör olmadığını göstermektedir. TF değerleri için *A. alysoiedes*, TLF değeri için *Aet. spicatum* türlerine ait değerler istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermiştir. *Aethionema spicatum* türü akümülatör olarak değerlendirilmezken TLF değerinin yüksekliği bitkinin kobalt metalini yapraklara taşıma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Tumi (2013) yaptığı tez çalışmasında *Aethionema saxatile* türünde kobalt konsantrasyonunun 0,1 mg/kg'dan düşük olduğunu ifade etmiştir. Çizelge 4.10'a bakıldığında kobalt konsantrasyonlarının bu çalışmaya kıyasla oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

4.1.3.4. Kurşun Ağır Metali İçin Bitkilerin Değerlendirilmesi

Adriano (1986) bitkilerde Pb konsantrasyonlarının 0,1-30 mg/kg olduğunu ifade etmiştir. Bu değerlerle kıyaslandığında bitkilerin kurşun konsantrasyonlarının nispeten düşük olduğu kanısına varılmıştır. Kurşun madeni sahalarının, özellikle kireç taşı formasyonu gösteren alanlarda bulunduğu literatürlerde mevcuttur (Davies ve ark., 1993; Ye ve ark., 2000). Çalışma sahalarının bulunduğu bölgede ofiyolit ve serpantin formasyonu olduğu bildirilmiştir (Bingöl, 1978). Bu durum kurşun varlığındaki düşüklüğün sebebi olabilir. Bununla birlikte krom maden alanlarında kurşun konsantrasyonlarının düşük olduğu bilinen bir durumdur (Olowoyo ve ark., 2013; Krishna ve ark., 2013).

BKF ve ZF değerleri bitkilerin fitoremediasyon açısından değerlendirilmesinde önemli göstergelerdendir (Zhao ve ark., 2003; Nouri ve ark., 2011). İstatistiki olarak BKF için *O. cappadocicum*, ZF değeri için ise *A. oxycarpum*, *F. arabica* ve *O. cappadocicum* türleri önemli bulunmuş ancak değerler homojen dağılmamıştır. Bu bitkilerin, Pb metalinin yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu ortamlarda remediasyon kabiliyetleri açısından kontrol edilmesi gerekmektedir.

4.1.3.5. Çinko Ağır Metali İçin Bitkilerin Değerlendirilmesi

Adriano (1986), otsu bitkilerde toplam çinko konsantrasyonlarının 1-160 mg/kg, toprakta 1000-10000 mg/kg konsantrasyonlarında olduğunu ifade etmiştir. Çizelge 4.9.'te verilen ortalama çinko metali konsantrasyonlarına bakıldığında elde edilen değerlerin literatürlerde verilen çinko değerlerinin oldukça altında olduğu görülmektedir. Baker ve Brooke (1989), çinko hiperakümülatörü olan bitkilerin bünyelerinde 10000 mg/kg Zn konsantrasyonuna sahip olması gerektiğini bildirmişlerdir. Lorenz ve ark., (1994), asidik topraklarda Zn konsantrasyonunun bazik karakterli topraklara nazaran daha yüksek olduğunu ortaya koymuşlardır. Bundan dolayı çalışma sahası topraklarının hafif bazik karakterli olması Zn konsantrasyonuna etki edebilir. Ayrıca çinko madenlerinin kireç taşı formasyonu özelliği gösteren alanlarda bulunması ve çalışma sahasının bu formasyona sahip olmaması bu durumu ortaya çıkarabilir.

BKF ve ZF değerlerine bakıldığında (Çizelge 4.12.) çinko metalinin düşük konsantrasyonlarda bulunmasının bitkilerdeki birikimi etkilediği düşünülmüştür. Özellikle nikel metali ile kök hücrelerine aynı yoldan giriş sağlamalarının (Rascio, 2011) nikel ile bir rekabet ortaya çıkardığı ve maden sahalarında daha yüksek konsantrasyonlarda bulunan Ni metalinin Zn alımının önüne geçtiği düşünülmektedir. Bu sebeple bu bitkilerin Zn konsantrasyonunun yüksek olduğu ortamlarda kontrollü olarak denenmesi gerekmektedir.

4.1.3.6. Mangana Ağır Metali İçin Bitkilerin Değerlendirilmesi

Otsu bitkilerde toplam mangana konsantrasyonları 0,3-1000 mg/kg, toprakta ise 20-10000 mg/kg konsantrasyonlarıdır (Adriano, 1986). Çizelge 4.10.'da verilen ortalama mangana konsantrasyonlarına bakıldığında bitkilere ait değerlerin normal sınırlar içinde kaldığı görülmektedir. Baker ve Brooke (1989) Mn hiperakümülatörü olan bitkilerin bünyelerinde 10000 mg/kg Mn konsantrasyonuna sahip olması gerektiğini söylemişlerdir.

Şekil 4.13.'e bakıldığında bitkilerdeki toplam mangana konsantrasyonunun bitkilerin kök, gövde ve yaprak Mn konsantrasyonları ile korelasyon gösterdiği görülmektedir. Özellikle gövde ve yapraklarla toplam Mn arasındaki pozitif yönlü yüksek korelasyonların, temel mikro elementlerden biri olan Mn metalinin fotosentez metabolizmasında (Kabata-Pandias ve ark., 2000) rol almasından dolayı yeşil bitki kısımlarında daha çok birikmesine bağlı olduğu düşünülmektedir.

Şekil 4.14. BKF ve ZF değerlerinin tüm bitkiler için sınır değerinin altında olduğu görülmektedir. TF ve TLF değerlerinin sınır değerlerinin üzerinde olması bitkilerin Mn metalini gövde ve yapraklarına iyi şekilde taşıyabildiğini göstermektedir.

4.1.3.7. Bakır Ağır Metali İçin Bitkilerin Değerlendirilmesi

Adriano (1986) yaygın tarımsal bitkilerde toplam bakır konsantrasyonlarının 6-40 mg/kg olduğunu ifade etmiştir. Dünya topraklarında bakır konsantrasyonlarının 2-250 mg/kg değerlerinde bulunmuştur (Adriano, 1980). Çalışma sahası bitkilerinin topraklarına ve organlarındaki bakır konsantrasyonlarına bakıldığında değerlerin literatür bilgilerinden düşük olduğu görülmüştür.

Korelasyon durumlarına (Şekil 4.15.) ve bitkideki konsantrasyonlarına bakıldığında bu metalin bitki organları arasındaki dağılımlarında farklılık olmadığı görülmektedir. Bakır metalini bitkilerde azot fiksasyonu, protein metabolizması ve solunum gibi temel olaylarda bitkilerin tüm kısımlarında kullanıldığından

(Fernandes ve Henriques, 1991) bitki organları arasında özelleşmiş bir birikim gözlenmediği düşünülmektedir.

BKF ve ZF değerleri arasında istatistiksel olarak *O. cappadocicum* türüne ait değerlerin anlamlı farklılık gösterdiği saptanmıştır. TF veya TLF değerleri 1'den büyük olması bitkilerin bu ağır metali bünyelerinde taşıyabileceği anlamına gelmektedir (Brunetti ve ark., 2008).

4.1.3.8. Demir Ağır Metali İçin Bitkilerin Değerlendirilmesi

Kabata-Pandias ve ark. (1984), topraklardaki Fe konsantrasyonunu 3800 mg/kg olarak belirtmişlerdir. Çalışma sahası topraklarının ortalaması bu değerden az da olsa yüksek bulunmuştur. Krom maden sahalarında doğada demirin kroma bağlı halde bulunmasından dolayı krom maden sahalarında demir konsantrasyonlarının yüksek olması beklenen bir durumdur. Istvan ve Benton (1997) 500 mg/kg Fe konsantrasyonunun bitkilerde toksik olduğunu ifade etmişlerdir. Bitkilerdeki toplam konsantrasyonlara bakıldığında demir konsantrasyonunun genel olarak 500 mg/kg değerinden düşük olduğu görülmektedir. Toplam metal konsantrasyonu ile kök, gövde ve yaprakların demir konsantrasyonları arasında korelasyon olduğu görülmektedir (Şekil 4.17.). Demir bitkilerde temel mikro elementlerden birisidir ve bitkilerin tüm kısımlarında metabolik faaliyetlerde kullanılmaktadır. Özellikle klorofil sentezi ve elektron taşıma sistemlerinde görevli olması yeşil bitki kısımlarında daha yüksek demir konsantrasyonları saptanmasıyla ilişkili olabilir.

Şekil 4.18. incelendiğinde bitkiler akümülatör olarak görülmemiştir. *A. oxycarpum*, *A. floribundum* ve *C. compactus* ve *O. cappadocicum* türlerinin hem TF hem de TLF için sınır değer üzerinde olduğu görülmüş olup bu durum türlerin Fe metalini bünyelerinde taşıyabildiğini göstermektedir.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

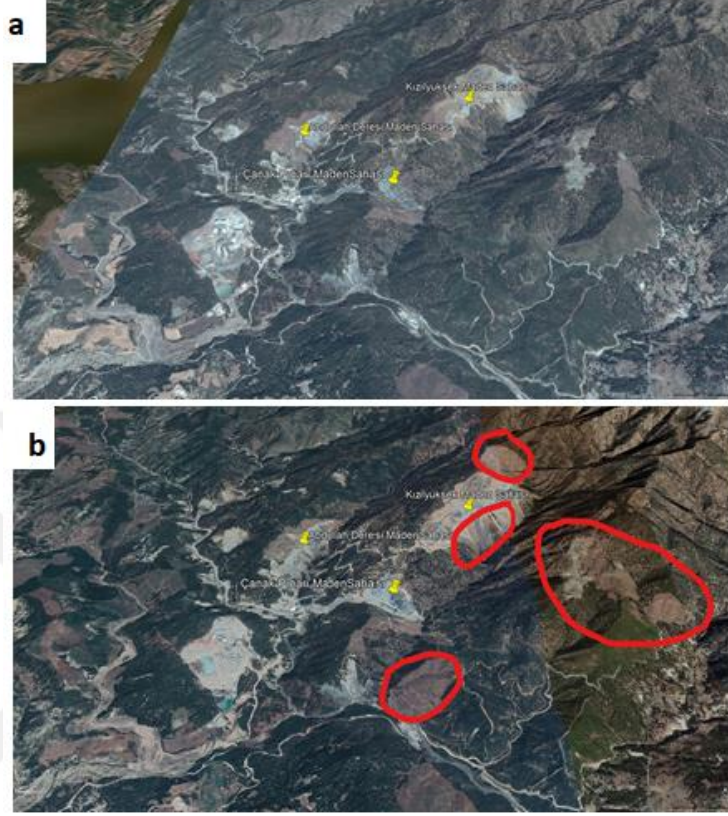
5.1.1. Maden Sahaları ile İlgili Gözlemlere Dayalı Sonuçlar

Teknolojik gelişmeler çevre kirliliği problemlerinin artışına yol açmıştır. Madencilik faaliyetleri bu anlamda ağır metal kirliliği potansiyeline sahip iş kollarından birisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Madencilikte kullanılan iş makinalarından çıkan gazlar, ormanlık alanların madencilik faaliyetleri için açılması, doğal alanlara yerleşkeler kurulması ve artan antropojenik kirlenme madencilik faaliyetlerinin çevre üzerinde ortaya çıkardığı ve çalışma kapsamında gözlemlenen dolaylı etkilerinden bazılarıdır. Madencilik faaliyetleri sırasında çıkarılan maden ham maddesinin elenmesi işlemleri sırasında açığa çıkan yoğun ağır metal içerikli atıkların çevreye ulaşması ve rüzgar etkisiyle kuru haldeki bu atık partiküllerin etrafa yayılması yoluyla ortaya çıkan çevresel problemler (bitkilerin yaprak alanlarında katmanlar oluşturması gibi), elenmiş ve ayrılmış madenlerin taşınması sırasında doğal alanlara saçılması gibi durumlar madencilik faaliyetlerinin doğrudan etkileri olarak gözlemlenmiştir. Atıkların doğrudan doğal alanlara dökülmesi veya bilinçli olarak depolanması (Şekil 5.1.) doğal estetiği bozmasının yanında maden alanları etrafındaki habitata da zararlar vermektedir.



Şekil 5.1. Krom maden sahasında işleme öncesi ve sonrası atıkların biriktirilmesi

Çalışma sahası madenleri Maden Tetkik Arama Kurumu tarafından dünyanın ofiyolitlere bağlı en büyük krom maden rezervi olarak ifade edilmektedir. Bölge halkı tarafından özellikle 1970'li yıllardan sonra ilçenin geçim kaynağının madencilik ve ormancılık yönünde olduğu bilgisi edinilmiştir. Çalışma sahamız olan Kızılyüksek ve civarında yıllar içinde devamlılık arz eden madencilik faaliyetleri doğal alanlar üzerinde bir baskı oluşturmaktadır. 2013-2018 yılları arasında maden sahalarında meydana gelen değişiklikler Şekil. 5.2.'de görülmektedir. Maden bölgesinde eski sahaların ıslahı amacıyla ağaçlandırma çalışmaları yapılmakta ancak doğal alandaki yoğun antropojenik hareketliliğin alanda baskı oluşturmasının habitat üzerinde geri dönüşü zor tahribatlara sebep olabileceği öngörülmektedir.



Şekil 5.2. Krom maden sahalarında 2013-2018 yılları arasında gözlemlenen değişimler

5.1.2. Arazi Gözlemlerine ve Bulgulara Dayalı Sonuçlar

Krom

Krom metali bulgularına bakıldığında (Çizelge 4.5., Şekil 4.3. ve Şekil 4.4.). *O. cappadocicum* ve *C. compactus* türlerinin bu metale karşı toleranslı olduğu görülmüştür. BKF, ZF, TF ve TLF faktörü değerlerinin istatistiksel anlamda diğer türlerden üstün olması ve arazi gözlemlerinde doğrudan krom maden atığına maruz kalmış alanlardan örneklenmiş olmalarından dolayı, bu bitkiler “fitoekstraksiyon potansiyeli olabilecek tür” olarak nitelendirilmiştir. *T. oxyceras* türünün TF

faktörünün 1'den büyük olması kromu gövdesine taşıma kabiliyetinde olduğunu göstermiştir.

Nikel

Nikel metali bulgularına bakıldığında (Çizelge 4.6., Şekil 4.5. ve Şekil 4.6.) *Aet. spicatum*, *A. oxycarpum*, *A. floribundum* ve *T. oxyceras* türlerinin hem BKF-ZF hem de TF-TLF değerleri 1 sınır değerinin üzerinde bulunduğundan bu türler Ni metali yönünden “hiperakümülatör” olarak nitelendirilmiştir. *A. alyssoides*, *C. compactus*, *F. arabica* ve *O. cappadocicum* türlerinin ise bu metali toprak üstü organlarına taşıyabilme potansiyelinde oldukları görülmüştür. *S. cryphantha* türünün maden sahalarında gözlemlere dayalı olarak serpantin yüzeylerde yoğunlaştığı görülmüş ve özellikle köklerindeki metal konsantrasyonunun diğer türlere nazaran yüksek olduğu saptandığından bu tür nikel metali açısından “fitostabilizasyon potansiyeli olabilecek tür” olarak nitelendirilmiştir.

Kobalt

Kobalt metali bulgularına bakıldığında (Çizelge 4.7., Şekil 4.7. ve Şekil 4.8.) özellikle *Aet. spicatum* türünün yapraklarında diğer türlere kıyasla daha yüksek konsantrasyonlarda olduğu görülmüştür. Bu türe ait faktör değerleri diğer türlerden istatistiksel anlamda önemli şekilde yüksek bulunmuştur. Bu sebeplerden dolayı *Aet. spicatum* türü “fitoekstraksiyon potansiyeli olabilecek tür” olarak nitelendirilmiştir. TF ve TLF değerleri sınır değerinin üzerinde olan ancak BKF ve ZF değerleri düşük olan *A. alyssoides*, *A. oxycarpum*, *C. compactus*, *O. cappadocicum* ve *T. oxyceras* türlerinin bu metali toprak üstü organlarına taşıyabilme kabiliyetleri olduğu görülmüştür.

Kurşun

Kurşun metali bulgularına bakıldığında (Çizelge 4.8., Şekil 4.9. ve Şekil 4.10.) özellikle *O. cappadocicum* türünün BKF ve ZF değerlerinin 1 sınır değeri civarında olduğu görülmüştür. Bu türe ait TF ve TLF değerlerinin sınır değerinden düşük olması bitkinin fitostabilizatör olabileceğini düşündürmüştür ancak bitkinin köklerindeki kurşun konsantrasyonlarının gövde ve yapraklardan düşük olduğu görülmüştür. Kurşun metali konsantrasyonlarında homojen bir dağılım olmadığından bitkilerin bu metal açısından değerlendirilmesi mümkün olmamıştır.

Çinko

Çinko metali bulgularına bakıldığında (Çizelge 4.9., Şekil 4.11. ve Şekil 4.12.) *T. oxyceras* türünün BKF ve ZF değerlerinin diğer türlerden önemli şekilde yüksek ve sınır değerler civarında olduğu görülmüştür. Bu türe ait TF ve TLF değerlerinin de sınır değerinin üzerinde olmasından dolayı “fitoekstraksiyon potansiyeli olabilecek tür” olarak nitelendirilmiştir. *Aet. spicatum*, *F. arabica* ve *O. cappadocicum* türlerine ait TF veya TLF değerleri 1'in üzerinde bulunmuş olup türlerin bu metali toprak üstü organlarına taşıma potansiyelinde olduğu görülmüştür.

Mangan

Mangan metali bulgularına bakıldığında (Çizelge 4.10., Şekil 4.13. ve Şekil 4.14.) BKF ve ZF değerleri açısından *Aet. spicatum* türünün anlamlı şekilde yüksek olduğu görülmüştür. Bu bitkiye ait TF ve TLF değerleri ise 1 sınır değeri üzerindedir. Bitkinin özellikle yapraklarında Mn konsantrasyonunun önemli ölçüde yüksek olduğu görülmektedir. Akümülatör bitkilerde özellikle toprak üstü kısımlarda birikim olması beklenmektedir. Bu bulgular doğrultusunda *Aet. spicatum* türünün Mn bakımından daha yüksek konsantrasyonlarda bu metali akümüle edebileceği kanaati oluşmuş ve “fitoekstraksiyon potansiyeli olabilecek tür” olarak nitelendirilmiştir. *A. oxycarpum*, *A. floribundum*, *T. oxyceras*, *C.*

compactus, *F. arabica* ve *O. cappadocicum* türlerinin mangan metalini toprak üstü organlarına taşıyabildiği görülmüştür.

Bakır

Bakır metali bulgularına bakıldığında (Çizelge 4.11., Şekil 4.15. ve Şekil 4.16.) *O. cappadocicum* türüne ait BKF ve ZF değerlerinin istatistiksel olarak diğer türlerden yüksek olduğu gözlemlenirken TF ve TLF değerlerinin sınır değer altında kaldığı görülmüş ve dikkat çekmiştir. Bakır metali konsantrasyonlarının maden sahası topraklarında düşük seviyelerde olduğu görülmüştür. Bu türün daha yoğun Cu konsantrasyonuna sahip bölgelerde daha yüksek düzeylerde Cu biriktirebileceği öngörülmüştür. *O. cappadocicum* türünün köklerinde, gövde ve yapraklara nazaran daha yüksek bakır konsantrasyonu gözlemlenmesinden dolayı bu tür “fitostabilizasyon potansiyeli olabilecek tür” olarak nitelendirilmiştir. *A. floribundum*, *T. oxyceras* ve *F. arabica* türlerinin bakır metalini toprak üstü organlarına taşıyabildiği görülmüştür.

Demir

Demir metali bulgularına bakıldığında (Çizelge 4.12., Şekil 4.17. ve Şekil 4.18.) bu metal açısından akümülyasyon yeteneği veya potansiyeli olan bir bitkiye rastlanmamıştır. TF ve TLF değerlerine bakıldığında *A. oxycarpum*, *A. floribundum* ve *C. compactus* türlerinin demir metalini toprak üstü kısımlarına iletebildiği görülmüştür.

Çizelge 5.1.’de değerlendirilen bitkilerin her bir metal için remediasyon kabiliyetleri ve potansiyelleri gösterilmiştir. Bitkilerden bazılarının özellikle Ni metali remediasyon yetenekleri ve potansiyelleri göze çarpmaktadır.

Çizelge 5.1. Çalışmada kullanılan bitkilerin remediasyon kabiliyetleri ve potansiyelleri (FE: Fitoekstraktör, FEPOT: Fitoekstraksiyon potansiyeli olabilecek tür, FSPOT: Fitostabilizasyon potansiyeli olabilecek tür)

Bitki Türü	Cr	Ni	Co	Pb	Zn	Mn	Cu	Fe
<i>Aet. spicatum</i>		FE	FEPOT			FEPOT		
<i>A. oxycarpum</i>		FE						
<i>A. floribundum</i>		FE						
<i>A. alyssoides</i>								
<i>T. oxyceras</i>		FE			FEPOT			
<i>C. compactus</i>	FEPOT							
<i>F. arabica</i>								
<i>O. cappadocicum</i>	FEPOT						FSPOT	
<i>S. cryptantha</i>		FSPOT						

5.2. Öneriler

5.2.1. Gözlemlere Dayalı Öneriler

Maden alanlarında işleme, depolama ve taşıma sırasında çevrede biriken maden atıklarının belirli noktalarda toplanılması gerekmektedir. Özellikle maden işleme tesislerinin su kaynaklarından uzakta ve işleme sonrası atıklarının suya kontamine olmayacağı yerlerde kurulması önemlidir. Bu alanların yakınındaki bölgelerde ağır metallerin çevreye yayılma durumlarının belirlenmesi önem taşımaktadır.

Ormansızlaştırılan maden alanlarının tekrar ıslah edilmesi çok önemli bir konudur. Maden sahaları içinde yayılış gösteren bitkilerin bu alanların ıslah edilmesinde kullanılabilme durumlarının araştırılması gerekmektedir.

5.2.2. Çalışmanın Gelişimine İlişkin Öneriler

İnsitu remediasyon çalışmalarında kullanılacak bitkilerin seçilmesi aşamasında, örneklik alanlar oluşturarak bitkilerin vejetasyon içindeki yüzde örtüşlerinin saptanması, bu alanlarda hakim bitki türlerinin belirlenmesinde kolaylık sağlayacaktır.

Bitkiler belirlendikten sonra maden sahalarından örnekleme yapılırken tekerrür sayısının yüksek tutulması bulguların değerlendirilmesinde kolaylık sağlayacaktır. Ayrıca bitkiler örneklenirken bitkilerin morfolojik kayıtlarının not edilmesi değerlendirmelerde daha rahat yorum yapılabilmesini sağlayacaktır.

Maden sahalarında bitkiler örneklenmeden önce maden sahasına ilişkin jeolojik veriler hangi alanların metal birikimi açısından daha önemli olacağı hakkında bilgi sunacağından çalışma öncesi alana ait ayrıntılı jeoloji haritasının temin edilmesi gerekmektedir.

Remediasyon çalışmaları sonucunda remediasyon potansiyeli olduğu belirlenen bitkilerin kontrollü koşullarda yetiştirilmesi ve takip edilmesi bitkilerin metallere karşı olan davranışlarını anlamada fayda sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Adamidis, G. C., Aloupi, M., Kazakou, E., Dimitrakopoulos, P. G., 2014. Intra-specific variation in Ni tolerance, accumulation and translocation patterns in the Ni-hyperaccumulator *Alyssum lesbiacum*. *Chemosphere*, 95: 496-502.
- Adhikari, T., Kumar, A., Singh, M. V., Rao, A. S., 2010. Phytoaccumulation of lead by selected wetland plant species. *Communications in soil science and plant analysis*, 41(22): 2623-2632.
- Adriano, D. C. (2013). Trace elements in the terrestrial environment. Springer Science & Business Media, 533s
- Aihemaiti, A., Jiang, J., Li, D. A., Liu, N., Yang, M., Meng, Y., Zou, Q., 2018. The interactions of metal concentrations and soil properties on toxic metal accumulation of native plants in vanadium mining area. *Journal of environmental management*, 222: 216-226.
- Alaribe, F. O., Agamuthu, P., 2015. Assessment of phytoremediation potentials of *Lantana camara* in Pb impacted soil with organic waste additives. *Ecological engineering*, 83: 513-520.
- Álvarez-Ayuso, E., Abad-Valle, P., Murciego, A., Villar-Alonso, P., 2016. Arsenic distribution in soils and rye plants of a cropland located in an abandoned mining area. *Science of the Total Environment*, 542: 238-246.
- Álvarez-Mateos, P., Alés-Álvarez, F. J., García-Martín, J. F., 2019. Phytoremediation of highly contaminated mining soils by *Jatropha curcas* L. and production of catalytic carbons from the generated biomass. *Journal of environmental management*, 231: 886-895.
- Anıl, M., 1990. Pozantı-Karsantı, Mersin ve Kızıldağ (Hatay) Ofiyolitlerindeki Bazı Kromit Yataklarının Morfolojik-Yapısal ve Genetik Özellikleri ile Akdeniz Bölgesindeki Benzer Kromit Yatakları ile Karşılaştırılması. *TÜBİTAK Doğa Müh. ve Çevre Bilim. Derg.*, 14: 645-675.

- Anıl, M., 2001. Ecemiş Fay Kuşağının Batı ve Doğu Bloklarında Yer Alan Ofiyolitik Kromitlerin Karşılaştırılmalı Olarak incelenmesi. Niğde Ün. Müh. Mim. Fak. Ecemiş Fay Kuşağı Çalışma Grubu WORKSHOP-I. Bildiriler 32-49.
- Anning, A. K., Akoto, R., 2018. Assisted phytoremediation of heavy metal contaminated soil from a mined site with *Typha latifolia* and *Chrysopogon zizanioides*. *Ecotoxicology and environmental safety*, 148: 97-104.
- Artan, S., Hayaloğlu, P., Seyhan, B., 2015. Türkiye’de Çevre Kirliliği, Dışa Açıklık ve Ekonomik Büyüme İlişkisi. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 13(1): 308-325.
- Aubert, H., Pinta, M., 1980. Trace elements in soils (Vol. 7). Elsevier, Oxford, 395s
- Badr, N., Fawzy, M., Al-Qahtani, K. M., 2012. Phytoremediation: An ecological solution to heavy-metal-polluted soil and evaluation of plant removal ability. *World Applied Sciences Journal*, 16(9): 1292-1301.
- Baker, A. J. M., Brooks, R., 1989. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements. A review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery.*, 1(2): 81-126.
- Bayram, H., Dörtbudak, Z., Fişekçi, F. E., Kargın, M., Bülbül, B., 2006. Hava kirliliğinin insan sağlığına etkileri, dünyada, ülkemizde ve bölgemizde hava kirliliği sorunu” paneli ardından. *Dicle Tıp Dergisi*, 33(2): 105-112.
- Bech, J., Duran, P., Roca, N., Poma, W., Sánchez, I., Roca-Pérez, L., Poschenrieder, C., 2012. Accumulation of Pb and Zn in *Bidens triplinervia* and *Senecio* sp. spontaneous species from mine spoils in Peru and their potential use in phytoremediation. *Journal of Geochemical Exploration*, 123: 109-113.
- Bingöl, A. F., 1978. Pétrologie du massif ophiolitique de Pozanti-Karsanti (Taurus cilicien, Turquie): Étude de la partie orientale. UER des Sciences de la vie et de la terre, Laboratoire de Minéralogie et Pétrographie.

- Boularbah, A., Schwartz, C., Bitton, G., Aboudrar, W., Ouhammou, A., Morel, J. L., 2006. Heavy metal contamination from mining sites in South Morocco: 2. Assessment of metal accumulation and toxicity in plants. *Chemosphere*, 63(5): 811-817.
- Bouyoucos, G.J., 1951. A Recalibration of the Hydrometer Method for Making Mechanical Analysis of Soils. *Agronomy Journal*, 43: 434-438.
- Brooks, R. R., Radford, C. C., 1978. Nickel accumulation by European species of the genus *Alyssum*. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences*, 200(1139): 217-224.
- Brunetti, G., Soler-Rovira, P., Farrag, K., Senesi, N., 2008. Tolerance and accumulation of heavy metals by wild plant species grown in contaminated soils in Apulia region, Southern Italy. *Plant and Soil*, 318(1-2): 285-298.
- Buendía-González, L., Orozco-Villafuerte, J., Cruz-Sosa, F., Barrera-Díaz, C. E., Vernon-Carter, E. J., 2010. *Prosopis laevigata* a potential chromium (VI) and cadmium (II) hyperaccumulator desert plant. *Bioresource Technology*, 101(15): 5862-5867.
- Buscaroli, A., Zannoni, D., Menichetti, M., Dinelli, E., 2017. Assessment of metal accumulation capacity of *Dittrichia viscosa* (L.) Greuter in two different Italian mine areas for contaminated soils remediation. *Journal of Geochemical Exploration*, 182: 123-131.
- Can, E., 2008. Aladağ (Adana- Kayseri arası) Krom Yataklarının Yıllara Göre Üretim Envanterinin Çıkarılması. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi.
- Concas, S., Lattanzi, P., Bacchetta, G., Barbaferri, M., Vacca, A., 2015. Zn, Pb and Hg contents of *Pistacia lentiscus* L. grown on heavy metal-rich soils: implications for phytostabilization. *Water, Air, & Soil Pollution*, 226(10): 340.

- Conesa, H. M., Faz, Á., Arnaldos, R., 2006. Heavy metal accumulation and tolerance in plants from mine tailings of the semiarid Cartagena–La Unión mining district (SE Spain). *Science of the Total Environment*, 366(1): 1-11.
- Čudić, V., Stojiljković, D., Jovović, A., 2016. Phytoremediation potential of wild plants growing on soil contaminated with heavy metals. *Archives of Industrial Hygiene and Toxicology*, 67(3): 229-239.
- Cullaj, A., Hasko, A., McBow, I., Kongoli, F., 2004. Investigation of the potential of several plants for phytoremediation of nickel contaminated soils and for nickel phytoextraction. *European Journal of Mineral Processing & Environmental Protection*, 4(2).
- Çay, S.A., 2014. Ağır Metal İyonlarıyla Kirlenmiş Toprakların Karadeniz Bölgesinde Yetişen Bazı Süs Bitkileri Kullanılarak Temizlenebilirliğinin Araştırılması. Doktora Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi.
- Çelik, J., Aksoy, A., Leblebici, Z., 2018. Metal hyperaccumulating Brassicaceae from the ultramafic area of Yahyalı in Kayseri province, Turkey. *Ecological research*, 33(4): 705-713.
- Çevre Kanunu, 1983. 9 Ağustos 1983 tarihli 2872 numaralı Çevre Kanunu. Erişim:12.09.2019<https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.2872.pdf>
- Dai, J., Becquer, T., Rouiller, J. H., Reversat, G., Bernhard-Reversat, F., Lavelle, P., 2004. Influence of heavy metals on C and N mineralisation and microbial biomass in Zn-, Pb-, Cu-, and Cd-contaminated soils. *Applied Soil Ecology*, 25(2): 99-109.
- Das, N., Vimala, R., Karthika, P., 2008. "Biosorption of heavy metals - An overview." *Indian Journal of Biotechnology* 7(2): 159-169.
- Davis, P. H., 1965-1982: *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*.
- Davies, B. E., Paveley, C. F., Wixson, B. G., 1993. Use of limestone wastes from metal mining as agricultural lime: potential heavy metal limitations. *Soil use and management*, 9(2), 47-52.

- DeGroot, S. H., Claassen, V. P., Scow, K. M., 2005. Microbial community composition on native and drastically disturbed serpentine soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(8): 1427-1435.
- Dragović, R., Zlatković, B., Dragović, S., Petrović, J., Mandić, L. J., 2014. Accumulation of heavy metals in different parts of Russian thistle (*Salsola tragus*, Chenopodiaceae), a potential hyperaccumulator plant species. *Biologica Nyssana*, 5(2).
- Duchaufour, P., 1970. *Précis de pédologie*. Paris.: Masson et Cie.
- Durdu., B., 2018. Tarıma açık alanlarda toprak kirliliğinin belirlenmesi. Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı yüksek lisans tezi, 2018.
- Elektorowicz, M. ve Keropian, Z., 2015). Lithium, vanadium and chromium uptake ability of *Brassica juncea* from lithium mine tailings. *International journal of phytoremediation*, 17(6): 521-528.
- Elshamy, M. M., Heikal, Y. M., Bonanomi, G., 2019. Phytoremediation efficiency of *Portulaca oleracea* L. naturally growing in some industrial sites, Dakahlia District, Egypt. *Chemosphere*, 225: 678-687.
- EPA (Environmental Protection Agency), 2000. *Introduction to Phytoremediation*, EPA/600/R-99/107, National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency Cincinnati, Ohio 45268, USA.
- Fernandes, J. C. ve Henriques, F. S., 1991. Biochemical, physiological, and structural effects of excess copper in plants. *The Botanical Review*, 57(3): 246-273.
- Fernández, S., Poschenrieder, C., Marcenò, C., Gallego, J. R., Jiménez-Gámez, D., Bueno, A. ve Afif, E., 2017. Phytoremediation capability of native plant species living on Pb-Zn and Hg-As mining wastes in the Cantabrian range, north of Spain. *Journal of Geochemical Exploration*, 174: 10-20.

- Galardi, F., Corrales, I., Mengoni, A., Pucci, S., Barletti, L., Barzanti, R., Gonnelli, C., 2007. Intra-specific differences in nickel tolerance and accumulation in the Ni-hyperaccumulator *Alyssum bertolonii*. *Environmental and Experimental Botany*, 60(3): 377-384.
- Gardea-Torresdey, J. L., Peralta-Videa, J. R., Montes, M., De la Rosa, G., Corral-Diaz, B. 2004. Bioaccumulation of cadmium, chromium and copper by *Convolvulus arvensis* L.: impact on plant growth and uptake of nutritional elements. *Bioresource technology*, 92(3), 229-235.
- Goswami, S. ve Das, S., 2017. Screening of cadmium and copper phyto remediation ability of *Tagetes erecta*, using biochemical parameters and scanning electron microscopy–energy-dispersive X-ray microanalysis. *Environmental toxicology and chemistry*, 36(9): 2533-2542.
- Hamutoğlu, R., Dinçsoy, A.,B., Cansaran-Duman, D., Aras, S., 2012. Biyosorpsiyon, adsorpsiyon ve fitoremediasyon yöntemleri ve uygulamaları. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 2012: 69(4): 235-53
- Haque, N., Peralta-Videa, J. R., Jones, G. L., Gill, T. E., Gardea-Torresdey, J. L., 2008. Screening the phyto remediation potential of desert broom (*Baccharis sarothroides* Gray) growing on mine tailings in Arizona, USA. *Environmental Pollution*, 153(2): 362-368.
- GAPTEYAP,2019.<https://www.gapteyap.org/wpcontent/uploads/2017/05/Pestisitler.pdf>
- Jackson, M. L., 1958. *Soil Chemical Analysis*. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, U.S.A., 1-498.
- Ji, P., Sun, T., Song, Y., Ackland, M. L., Liu, Y., 2011. Strategies for enhancing the phyto remediation of cadmium-contaminated agricultural soils by *Solanum nigrum* L. *Environmental pollution*, 159(3): 762-768.
- Kabata-Pendias, A., ve Pendias, H., 1984. Trace elements in soil and plants (No. 631.41 K3).

- Kacar, B., 1972. Bitki ve toprağın kimyasal analizleri. II. Bitki analizleri. Ankara Üniv. Zir. Fak. Yay, 453: 50-72.
- Kardeşoğlu, E., Yalçın, M., Işılak, Z., 2011. Hava Kirliliği ve Kardiyovasküler Sistem. TAF Preventive Medicine Bulletin, 10(1).
- Keeling, S. M., Stewart, R. B., Anderson, C. W. N., Robinson, B. H., 2003. Nickel and cobalt phytoextraction by the hyperaccumulator *Berkheya coddii*: implications for polymetallic phytomining and phytoremediation. International Journal of Phytoremediation, 5(3): 235-244.
- Kızıldağ, N., 2017. Doğu Akdeniz Bölgesindeki Krom Maden Alanı Topraklarında Azot Mineralizasyonu. Toprak Su Dergisi, 6(1): 52-57.
- Korzeniowska, J., ve Stanislawska-Glubiak, E., 2019. Phytoremediation potential of *Phalaris arundinacea*, *Salix viminalis* and *Zea mays* for nickel-contaminated soils. International Journal of Environmental Science and Technology, 16(4): 1999-2008.
- Krishna, A. K., Mohan, K. R., Murthy, N. N., Periasamy, V., Bipinkumar, G., Manohar, K., Rao, S. S., 2013. Assessment of heavy metal contamination in soils around chromite mining areas, Nuggihalli, Karnataka, India. Environmental earth sciences, 70(2): 699-708.
- Krishna, I. M., Manickam, V., Shah, A., Davergave, N., 2017. Environmental management: science and engineering for industry. Butterworth-Heinemann.
- Kromit Yataklarının Morfolojik Yapısal ve Genetik Özellikleri ile Akdeniz Bölgesindeki Benzer Kromit Yataklarının Karşılaştırılması. Doğa, 14: 645-675, Ankara
- Kumari, A., Lal, B., Pakade, Y. B. ve Chand, P., 2011. Assessment of bioaccumulation of heavy metal by *Pteris vittata* L. growing in the vicinity of fly ash. International journal of phytoremediation, 13(8), 779-787.

- Lago-Vila, M., Arenas-Lago, D., Rodríguez-Seijo, A., Andrade Couce, M. L. ve Vega, F. A., 2015. Cobalt, chromium and nickel contents in soils and plants from a serpentinite quarry. *Solid earth*, 6(1): 323-335.
- Liu, J., Mo, L., Zhang, X., Yao, S., Wang, Y., 2018. Simultaneous hyperaccumulation of cadmium and manganese in *Celosia argentea* Linn. *International journal of phytoremediation*, 20(11): 1106-1112.
- Liu, Z., He, X., Chen, W., Yuan, F., Yan, K., Tao, D., 2009. Accumulation and tolerance characteristics of cadmium in a potential hyperaccumulator—*Lonicera japonica* Thunb. *Journal of Hazardous Materials*, 169(1-3): 170-175.
- Lum, A. F., Ngwa, E. S. A., Chikoye, D. ve Suh, C. E., 2014. Phytoremediation potential of weeds in heavy metal contaminated soils of the Bassa Industrial Zone of Douala, Cameroon. *International journal of phytoremediation*, 16(3): 302-319.
- Madrid, F., Lopez, R., Cabrera, F., 2007. Metal accumulation in soil after application of municipal solid waste compost under intensive farming conditions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 119(3-4): 249-256.
- Mahdavian, K., Ghaderian, S. M., Torkzadeh-Mahani, M., 2017. Accumulation and phytoremediation of Pb, Zn, and Ag by plants growing on Koshk lead–zinc mining area, Iran. *Journal of soils and sediments*, 17(5): 1310-1320.
- Mattina, M. I., Lannucci-Berger, W., Musante, C., White, J. C., 2003. Concurrent plant uptake of heavy metals and persistent organic pollutants from soil. *Environmental pollution*, 124(3): 375-378.
- Mbarki, S., Labidi, N., Mahmoudi, H., Jedidi, N., Abdelly, C., 2008. Contrasting effects of municipal compost on alfalfa growth in clay and in sandy soils: N, P, K, content and heavy metal toxicity. *Bioresource Technology*, 99(15): 6745-6750.
- Mirsal, I., 2008. Sources of soil pollution. Springer, Berlin, 252s.

- Mohanty, M., Patra, H. K., 2012. Phytoremediation potential of paragrass—an in situ approach for chromium contaminated soil. *International journal of phytoremediation*, 14(8): 796-805.
- MTA, 2010. Adana İli Maden ve Enerji Kaynakları. Erişim: 13.09.2019 http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgimerkezi/maden_potansiyel_2010/Adana_Madenler.pdf
- Muhammad, S., Shah, M. T., Khan, S., 2011. Heavy metal concentrations in soil and wild plants growing around Pb–Zn sulfide terrain in the Kohistan region, northern Pakistan. *Microchemical Journal*, 99(1): 67-75.
- Muhammad, S., Shah, M. T., Khan, S., Saddique, U., Gul, N., Khan, M. U., Naz, A., 2013. Wild plant assessment for heavy metal phytoremediation potential along the mafic and ultramafic terrain in northern Pakistan. *BioMed research international*, 2013.
- Nadimi-Goki, M., Wahsha, M., Bini, C., Kato, Y., Vianello, G., Antisari, L. V., 2014. Assessment of total soil and plant elements in rice-based production systems in NE Italy. *Journal of Geochemical Exploration*, 147: 200-214.
- Nan, H., Jifang, Z., Dexin, D., Guangyue, L., Jie, Y., Xin, C., Jia, Y., 2013. Screening of native hyperaccumulators at the Huayuan River contaminated by heavy metals. *Bioremediation journal*, 17(1): 21-29.
- Nouri, J., Lorestani, B., Yousefi, N., Khorasani, N., Hasani, A. H., Seif, F., Cheraghi, M., 2011. Phytoremediation potential of native plants grown in the
- Olowoyo, J. O., Odiwe, A. I., Mkololo, N. M., Macheke, L., 2013. Investigating the Concentrations of Different Elements in Soil and Plant Composition from a Mining Area. *Polish Journal of Environmental Studies*, 22(4).
- Özgül, N., (1976). Torosla'nın Bazı Temel Jeoloji Özellikleri TJK Bült. c. 19 s. 5-78.
- Pal, A., Dutta, S., Mukherjee, P. K. ve Paul, A. K., 2005. Occurrence of heavy metal-resistance in microflora from serpentine soil of Andaman. *Journal of*

Basic Microbiology: An International Journal on Biochemistry, Physiology, Genetics, Morphology, and Ecology of Microorganisms, 45(3): 207-218.

Palutoglu, M., Akgul, B., Suyarko, V., Yakovenko, M., Kryuchenko, N., Sasmaz, A., 2018. Phytoremediation of cadmium by native plants grown on mining soil. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 100(2): 293-297.

Pawlisz, A. V., Kent, R. A., Schneider, U. A., Jefferson, C., 1997. Canadian water quality guidelines for chromium. *Environmental Toxicology and Water Quality: An International Journal*, 12(2): 123-183.

Pepper, I. L., Gerba, C. P., Brusseau, M. L. (Eds.), 1996. *Pollution science*. Academic press, 552s.

Pöykiö, R., Perämäki, P., Välimäki, I., Kuokkanen, T., 2002. Estimation of environmental mobility of heavy metals using a sequential leaching of particulate material emitted from an opencast chrome mine complex. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 373(3): 190-194.

Pöykiö, R., Tervaniemi, O. M., Torvela, H., Perämäki, P., 2001. Heavy metal accumulation in woodland moss (*Pleurozium schreberi*) in the area around a chromium opencast mine at Kemi, and in the area around the ferrochrome and stainless steel works at Tornio, Northern Finland. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 81(2): 137-151.

Ramana, S., Biswas, A. K., Ajay, Singh, A. B., Srivastava, S., Naqvi, A., 2016. Potential of Mestha (*Hibiscus sabdarifa*) for Remediation of Soils Contaminated with Chromium. *Journal of Natural Fibers*, 13(5): 597-602.

Raskin, I., Ensley, B. D., 2000. *Phytoremediation of toxic metals*. John Wiley and Sons, 304s.

Redondo-Gómez, S., Mateos-Naranjo, E., Andrades-Moreno, L., 2010. Accumulation and tolerance characteristics of cadmium in a halophytic Cd-

- hyperaccumulator, *Arthrocnemum macrostachyum*. *Journal of Hazardous Materials*, 184(1-3): 299-307.
- Sajad, M. A., Khan, M. S., Bahadur, S., Naeem, A., Ali, H., Batool, F., Batool, S., 2019. Evaluation of chromium phytoremediation potential of some plant species of Dir Lower, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Acta Ecologica Sinica*.
- Savci, S., 2012. An agricultural pollutant: chemical fertilizer. *International Journal of Environmental Science and Development*, 3(1): 73.
- Shen, Z. G., Zhao, F. J., McGrath, S. P., 1997. Uptake and transport of zinc in the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* and the non-hyperaccumulator *Thlaspi ochroleucum*. *Plant, Cell Environment*, 20(7): 898-906.
- Sidhu, G. P. S., Singh, H. P., Batish, D. R., Kohli, R. K., 2017. Tolerance and hyperaccumulation of cadmium by a wild, unpalatable herb *Coronopus didymus* (L.) Sm.(Brassicaceae). *Ecotoxicology and environmental safety*, 135, 209-215.
- Tan, Z., 2014. *Air pollution and greenhouse gases: from basic concepts to engineering applications for air emission control*. Springer.481s.
- Tanhan, P., Kruatrachue, M., Pokethitiyook, P., Chaiyarat, R., 2007. Uptake and accumulation of cadmium, lead and zinc by Siam weed [*Chromolaena odorata* (L.) King & Robinson]. *Chemosphere*, 68(2): 323-329.
- Tumi, A. F., (2013). *Bioaccumulation potential of selected plant species of the family Brassicaceae from serpentine habitats in Serbia (Doctoral dissertation, Belgrade)*.
- Uruioc, S., Măsu, S., Albulescu, M., Krstic, V., Stankovic, S., Obradovic, L., 2011. Bioaccumulation of heavy metals in spontaneous plants, developed on mining area from SW Romania. *New Frontiers in Chemistry*, 20(4): 81.
- Vanlı, Ö., 2007. Pb, Cd, B elementlerinin topraktan şelat destekli fitoremediasyon yöntemiyle giderilmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi.

- Wan, X., Lei, M., Yang, J., 2017. Two potential multi-metal hyperaccumulators found in four mining sites in Hunan Province, China. *Catena*, 148: 67-73.
- Wang, Y., Zhu, C., Yang, H., Zhang, X., 2017. Phosphate fertilizer affected rhizospheric soils: speciation of cadmium and phytoremediation by *Chlorophytum comosum*. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(4), 3934-3939. vicinity of Ahangaran lead–zinc mine (Hamedan, Iran). *Environmental Earth Sciences*, 62(3): 639-644.
- WHO, 2017. Drinking-Water Fact Sheets. Erişim: 13.09.2019. <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Xiaohai, L. I. U., Yuntao, G. A. O., Khan, S., Gang, D. U. A. N., Aikui, C. H. E. N., Li, L. I. N. G., Xuecan, W. U., 2008. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on contaminated sites and their potential accumulation capacity in Heqing, Yunnan. *Journal of Environmental Sciences*, 20(12): 1469-1474.
- Yang, S., Liang, S., Yi, L., Xu, B., Cao, J., Guo, Y., Zhou, Y., 2014. Heavy metal accumulation and phytostabilization potential of dominant plant species growing on manganese mine tailings. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 8(3): 394-404.
- Yanqun, Z., Yuan, L., Jianjun, C., Haiyan, C., Li, Q., Schwartz, C., 2005. Hyperaccumulation of Pb, Zn and Cd in herbaceous grown on lead–zinc mining area in Yunnan, China. *Environment International*, 31(5): 755-762.
- Yaron, B., Calvet, R., Prost, R., Prost, R., 1996. *Soil pollution: processes and dynamics*. Springer Science & Business Media.
- Ye, Z. H., Wong, J. W. C., Wong, M. H., 2000. Vegetation response to lime and manure compost amendments on acid lead/zinc mine tailings: a greenhouse study. *Restoration Ecology*, 8(3): 289-295.
- Yildirim, D., Sasmaz, A., 2017. Phytoremediation of As, Ag, and Pb in contaminated soils using terrestrial plants grown on Gumuskoy mining area (Kutahya Turkey). *Journal of Geochemical Exploration*, 182: 228-234.

- Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q., Ma, L. Q., 2006. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *Science of the total environment*, 368(2-3): 456-464.
- Yurdakulol, E., 1975. Toros Dağlarında Adana iline bağlı Pos Ormanlarının Bitki Ekolojisi ve Bitki Sosyolojisi Yönünden Araştırılması. TÜBİTAK projesi. Proje no: TBAG-104
- Zarcinas, B. A., Cartwright, B., Spouncer, L. R., 1987. Nitric acid digestion and multi-element analysis of plant material by inductively coupled plasma spectrometry. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 18(1): 131-146.
- Zeng, F., Ali, S., Zhang, H., Ouyang, Y., Qiu, B., Wu, F., Zhang, G., 2011. The influence of pH and organic matter content in paddy soil on heavy metal availability and their uptake by rice plants. *Environmental pollution*, 159(1): 84-91.
- Zhang, X. H., Liu, J., Huang, H. T., Chen, J., Zhu, Y. N., Wang, D. Q., 2007. Chromium accumulation by the hyperaccumulator plant *Leersia hexandra* Swartz. *Chemosphere*, 67(6): 1138-1143.
- Zhao, F. J., Lombi, E., McGrath, S. P., 2003. Assessing the potential for zinc and cadmium hytoremediation with the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. *Plant Soil*, 249: 37-43.
- Zhao, X., Joo, J. C., Lee, J. K., Kim, J. Y., 2019. Mathematical estimation of heavy metal accumulations in *Helianthus annuus* L. with a sigmoid heavy metal uptake model. *Chemosphere*, 220: 965-973.



ÖZGEÇMİŞ

07.07.1986 tarihinde Çorum'da doğdum. İlk, orta ve lise eğitimimi Çorum'da tamamladım. Cumhuriyet Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümünden 2010 yılında mezun oldum. 2011 yılında Çukurova Üniversitesinde Araştırma Görevlisi olarak atandım ve bu üniversitede 2013 yılında yüksek lisans eğitimimi tamamladım. 2019 yılında Amasya Üniversitesi Suluova Meslek Yüksekokuluna Öğretim Görevlisi olarak atandım ve halen bu görevime devam etmekteyim.