

**T.C.  
IŞIK ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
PEYZAJ MİMARLIĞI ANA BİLİM DALI  
PEYZAJ MİMARLIĞI PROGRAMI**

**Habibe NACAĞ**

**HİPERAKÜMÜLATÖR BİTKİLERİN PEYZAJ  
TASARIMINDA KULLANILMASI**

**DANIŞMAN  
Prof. Dr. Adnan UZUN**

**İSTANBUL, Ocak 2025**

**T.C.  
IŞIK ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
PEYZAJ MİMARLIĞI ANA BİLİM DALI  
PEYZAJ MİMARLIĞI PROGRAMI**

**Habibe NACAĞ  
(22PEYZ5003)**

**HİPERAKÜMÜLATÖR BİTKİLERİN PEYZAJ  
TASARIMINDA KULLANILMASI**

**DANIŞMAN  
Prof. Dr. Adnan UZUN**

**İSTANBUL, Ocak 2025**

**T.C.  
IŞIK ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
PEYZAJ MİMARLIĞI ANA BİLİM DALI  
PEYZAJ MİMARLIĞI PROGRAMI**

**Habibe NACAĞ  
(22PEYZ5003)**

**HİPERAKÜMÜLATÖR BİTKİLERİN PEYZAJ  
TASARIMINDA KULLANILMASI**

Tezin Savunulduğu Tarih: 16 .01.2025

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Adnan UZUN / Işık Üniversitesi

Tez Jüri Üyeleri: Doç.Dr. Mert EKŞİ / İstanbul Üniversitesi

Dr.Öğretim Üyesi Emre ÇUBUKÇU / Işık Üniversitesi

**İSTANBUL, Ocak 2025**

## ÖZET

### HİPERAKÜMÜLATÖR BİTKİLERİN PEYZAJ TASARIMINDA KULLANILMASI

Dünya genelinde hızla artan nüfus ve sanayileşme faaliyetleri, doğal kaynakların sürdürülemez şekilde tüketilmesine ve çevreye verilen zararın artmasına yol açmaktadır. Özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde, yenilenemeyen kaynaklar üzerindeki olumsuz etkilerin azaltılması ve bu etkilerin oluşmadan önlenmesi, son yılların en kritik araştırma ve politika konularından biri haline gelmiştir. Bu bağlamda, çevre kirliliğinin en ciddi boyutlarda görüldüğü alanlardan biri olan sanayi bölgeleri, özel bir ilgi odağı haline gelmiştir.

Peyzaj uygulamaları, sürdürülebilirlik ve çevre koruma açısından kritik işlevler üstlenmektedir. Son yıllarda, doğal kaynakların korunmasına yönelik geliştirilen yenilikçi yaklaşımlar arasında, hiperakümülatör bitkiler ile yapılan çalışmalar dikkat çekmektedir. Hiperakümülatör bitkiler, ağır metal kirliliğine toleranslı ve bu metallerin birikimini sağlayarak çevreyi temizleyebilen bitki türleri olarak bilinmektedir. Bu bitkiler, sanayi alanlarının neden olduğu çevresel kirliliği azaltmak için doğal bir çözüm sunmakta ve çevre mücadelesinde umut vadetmektedir.

Bu çalışma, Kocaeli'nin Dilovası Sanayi Bölgesi'nde ağır metal kirliliğine maruz kalan topraklarda yetişen üç bitki türünün (*Ligustrum vulgare*, *Tilia tomentosa*, *Olea europaea*.) bünyelerinde biriktirdikleri Çinko (Zn), Kurşun (Pb), Bakır (Cu), Krom (Cr) ve Nikel (Ni) oranlarını incelemeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, bu bitkilerin aynı türlerinin kirlilik barındırmayan kontrol bölgelerindeki örnekleriyle karşılaştırılarak, mevcut çevresel koşullarda gelişmelerinin nasıl etkiledikleri gözlemlenecektir.

Araştırmanın her aşaması, literatür taramaları ile desteklenmiş; alan seçimi, örneklerin toplanması, tanımlanması ve laboratuvar analizleri yoluyla

yürütülmüştür. Sonuç olarak, ağır metal kirliliğine sahip bölgelerde uygulanacak uygun bitkilendirme tasarımları ile çevre kirliliğinin azaltılabileceği, bu uygulamaların ekolojik ve ekonomik açıdan nasıl fayda sağlayabileceği değerlendirilmiştir.

Bu çalışma ile, çevre kirliliği ile mücadelede yeni yaklaşımlar geliştirilmesine ve sürdürülebilir peyzaj uygulamaları ile ekosistemlerin korunmasına katkıda bulunması hedeflenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Metal Birikimi, Hiperakümülatör Bitkiler, Fiteremediasyon, Ağır Metal kirliliği, Biyoremediasyon.

## **ABSTRACT**

### **USE OF HYPERACCUMULATORY PLANTS IN LANDSCAPE DESIGN**

The rapidly increasing global population and industrialization activities have led to the unsustainable consumption of natural resources and a rise in environmental damage. Particularly in developed and developing countries, reducing the negative impacts on non-renewable resources and preventing these effects before they occur have become some of the most critical research and policy issues in recent years. In this context, industrial zones, which are among the areas where environmental pollution is observed at its most severe levels, have gained special attention.

Landscape applications play a significant role in sustainability and environmental protection. Among the innovative approaches developed in recent years to preserve natural resources, studies involving hyperaccumulator plants have attracted attention. Hyperaccumulator plants are known as plant species that are tolerant to heavy metal pollution and can accumulate these metals, thereby cleaning the environment. These plants offer a natural solution to mitigate environmental pollution caused by industrial zones and hold promise in the fight against environmental degradation.

This study aims to examine the levels of Zinc (Zn), Lead (Pb), Copper (Cu), Chromium (Cr), and Nickel (Ni) accumulated in three plant species (*Ligustrum vulgare*, *Tilia tomentosa*, *Olea europaea*) growing in soils exposed to heavy metal pollution in the Dilovası Industrial Zone of Kocaeli. Furthermore, by comparing these plants with samples of the same species from non-polluted control areas, the study observes how their growth is affected under current environmental conditions.

Every phase of the research was supported by literature reviews and conducted through site selection, sample collection, identification, and

laboratory analyses. As a result, the study evaluated how appropriate planting designs in areas with heavy metal pollution can reduce environmental pollution and assessed the ecological and economic benefits of such applications.

This study aims to contribute to the development of new approaches in combating environmental pollution and to the preservation of ecosystems through sustainable landscape practices.

**Keywords:** Metal Accumulation, Hyperaccumulator Plants, Phytoremediation, Heavy Metal Pollution, Bioremediation

## TEŞEKKÜR

Çalışma konumu belirlediğim ilk andan itibaren bana her türlü katkıyı veren, kıymetli vaktini benden esirgemeyen bu çalışmanın sonuca ulaşması için beni yüreklendiren ve heyecan duymamı sağlayan değerli hocam Prof. Dr. Adnan Uzun'a, tüm eğitim hayatım boyunca en zor koşullarda beni destekleyen anne ve babama ve aileme, Yüksek lisans eğitim sürecinde her koőulda yardımcı olan sevgili eőim Ertuğrul NACAĞ'a ve kızım Ela Destan NACAĞ'a, Örnek toplama sürecimde benimle sahada çalıőan Ablam Vera Helen DEMİRĐÖZ ve Kardeőim Ali DEMİRĐÖZ'e sonsuz teőekkürlerimi sunmayı borç bilirim.

Habibe NACAĞ

# İÇİNDEKİLER

	<u>SAYFA NO</u>
ONAY SAYFASI.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
TABLolar LİSTESİ.....	xi
KISALTMALAR LİSTESİ .....	xii
BÖLÜM 1.....	1
1. GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2.....	3
2. HİPERKÜMÜLATÖR BİTKİLER.....	3
2.1 BİTKİLER VE FİTOREMEDİASYON KAVRAMINA GENEL BAKIŞ.....	3
2.1.1 Bitkiler .....	3
2.1.2 Kök Yapısı.....	5
2.1.3 Taşıma Dokuları.....	5
2.1.4 Yaprakların Rolü .....	6
2.1.5 Metal Depolama .....	7
2.1.6 Biyokimyasal Etkileşimler .....	7
2.1.7 Fitoremediasyon Kavramı .....	8
2.1.8 Yeşil Islah (Fitoremediasyon).....	10
2.1.9 Fitoremediasyon Tekniği İle Ağır Metal Giderimi Esasları.....	10
2.1.10 Yerinde Biyoremediasyon Yöntemi .....	11

2.1.11 Yerinde Olmayan Biyoremediasyon Yöntemi.....	12
<b>2.2 TOPRAK VE TOPRAK KİRLİLİĞİ TANIMINA GENEL BAKIŞ</b> .....	<b>13</b>
2.2.1 Toprağın Yapısı ve Tarifi .....	13
2.2.2 Toprak Kirliliği ve Önemi .....	14
2.2.3 Türkiye’de Toprak Kirliliği .....	14
2.2.4 Topraktaki Kirlilik Kaynakları.....	15
2.2.5 Kentsel Kaynaklı Kirlilik.....	15
2.2.6 Endüstriyel Kaynaklı Kirlilik.....	15
2.2.7 Topraktaki Kirleticileri Tipleri.....	16
2.2.8 Topraktaki Metal Tuzları ve Metal Grupları.....	16
2.2.9 Anorganik Diğer Kirletici Grupları.....	17
<b>2.3 METALLER .....</b>	<b>17</b>
2.3.1 Ağır Metallerin Bitki Anatomisi ile İlişkisi.....	18
2.3.2 Bitkilerin Ağır Metal Bileşiklerine Karşı Tolere Edici Mekanizmaları .....	18
<b>2.4 FİTOREMEDIASYON İLE İLGİLİ YAPILMIŞ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>19</b>
<b>2.5 AĞIR METAL BİLEŞİKLERİNİN BİTKİLER ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ .....</b>	<b>24</b>
2.5.1 Çinko (Zn) .....	24
2.5.2 Bakır (Cu).....	25
2.5.3 Kadmiyum (Cd) .....	25
2.5.4 Kurşun (Pb).....	26
2.5.5 Krom (Cr).....	27
2.5.6 Nikel (Ni) .....	28
<b>BÖLÜM 3.....</b>	<b>29</b>
<b>3. MATERYAL VE METOD.....</b>	<b>29</b>

<b>3.1 UYGULAMA ALANI SEÇİMİ</b> .....	<b>29</b>
<b>3.2 ÖRNEK BİTKİLER</b> .....	<b>35</b>
3.2.1 Olea europaea.....	36
3.2.2 Ligustrum vulgare .....	37
3.2.3 Tilia tomentosa .....	38
<b>3.3 ÖRNEKLERİN TOPLANMASI</b> .....	<b>39</b>
3.3.1 Örneklerin Labaratuvara Teslimi .....	44
3.3.2 Analiz Aşaması .....	44
3.3.3 Ağır Metal Analizlerinin Ön İşlem Basamakları .....	44
3.3.4 Toprak Konsantrasyonlarının TS EN 12457-4 Metodu İle Ön İşlemi.....	45
3.3.5 Alınacak Örnek Miktarının Hesaplanması .....	46
3.3.6 Ağır Metal Analizlerinin Yapılması.....	46
3.3.6.1 Partikül Boyut Azaltma (Redüksiyon).....	46
3.3.6.2 Parçalama Aşaması .....	47
3.3.6.3 Katıdan Sıvıya Ayrıştırma Aşaması .....	48
3.3.6 Özütleme ( Eluat ) Hazırlama.....	48
3.3.7 Cihaz Okumaları .....	49
<b>BÖLÜM 4</b> .....	<b>50</b>
<b>4. BULGULAR</b> .....	<b>50</b>
<b>4.1 AĞIR METAL ANALİZ SONUÇLARI</b> .....	<b>50</b>
<b>SONUÇ VE ÖNERİLER</b> .....	<b>62</b>
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>67</b>
<b>EKLER</b> .....	<b>71</b>
<b>EK A: TÜBİTAK AKREDİTASYON SONUÇLARI</b> .....	<b>71</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>75</b>

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Fitoremediasyon Tiplerinin Şematik Gösterimi .....	10
Şekil 2.2 Bioventing Sisteminin İşleyişi.....	12
Tablo 2.2 Farklı Cinsteki Metallerin Cd İçerikleri .....	26
Şekil 3.1 1 No'lu Uygulama Alanı.....	31
Şekil 3.2 2 No'lu Uygulama Alanı.....	31
Şekil 3.3 3 No'lu Uygulama Alanı.....	32
Şekil 3.4 No'lu Uygulama Alanı.....	32
Şekil 3.5 Referans Noktası Uygulama Alanı .....	33
Şekil 3.6 Tüm Uygulama Alanlarının Uydu Gösterimi .....	33
Şekil 3.7 <i>Olea europaea</i> .....	36
Şekil 3.8 <i>Ligustrum vulgare</i> .....	37
Şekil 3.9 <i>T. Tomentosa</i> .....	38
Şekil 3.10 1 No'lu Örnek Sahası Örnek Toplama Çalışması Görselleri.....	39
Şekil 3.11 1 No'lu Saha Görseli.....	40
Şekil 3.12 2 No'lu Saha Görseli .....	41
Şekil 3.13 3'No'lu Saha Örneği.....	41
Şekil 3.14 4 No'lu Saha Görseli .....	42
Şekil 3.15 Referans Sahası Örnek Toplama.....	42
Şekil 3.16 Referans Sahası Görseli.....	43
Şekil 3.17 Toplanan Örneklerin Gösterimi .....	43

## TABLULAR LİSTESİ

<b>Tablo 2.1</b> Fitoremediasyon Sistemlerinin Çeşitliliğine Göre Sınıflandırılması .8	
<b>Tablo 3.1</b> Uygulaması Yapılan Alanların Koordinat Bilgiler .....	30
<b>Tablo 3.2</b> Çalışma Bölgesinde Gözlemlenen Bitki Türleri.....	34
<b>Tablo 3.2</b> Çalışma Bölgesinde Gözlemlenen Bitki Türleri (Devamı) .....	35
<b>Tablo 4.1</b> Ağır Metal Sonuçlarının Alanlara Göre Dağılımı .....	50
<b>Tablo 4.2</b> Krom (Cr) mg/kg Sonuçlarının Dağılımı .....	51
<b>Tablo 4.3</b> Krom (Cr) mg/kg Değerlerinin Dağılım Grafiği.....	51
<b>Tablo 4.4</b> Mangane (Mn) mg/kg Sonuçlarının Dağılımı.....	52
<b>Tablo 4.5</b> Mangane (Mn) mg/kg Değerlerinin Dağılım Grafiği.....	53
<b>Tablo 4.6</b> Nikel (Ni) mg/kg Sonuçlarının Dağılımı.....	53
<b>Tablo 4.7</b> Nikel (Ni) mg/kg Değerlerinin Dağılım Grafiği .....	54
<b>Tablo 4.8</b> Bakır (Cu) mg/kg Sonuçlarının Dağılımı .....	56
<b>Tablo 4.9</b> Bakır (Cu) mg/kg Sonuçlarının Dağılım Grafiği .....	57
<b>Tablo 4.10</b> Çinko (Zn) mg/kg Sonuçlarının Dağılımı .....	58
<b>Tablo 4.11</b> Çinko (Zn) mg/kg Değerlerinin Dağılım Grafiği .....	58
<b>Tablo 4.12</b> Baryum (Ba) mg/kg Sonuçlarının Dağılımı .....	59
<b>Tablo 4.13</b> Baryum (Ba) mg/kg Değerlerinin Dağılım Grafiği.....	60
<b>Tablo 4.14</b> Kurşun (Pb) mg/kg Sonuçlarının Dağılımı.....	60
<b>Tablo 4.15</b> Kurşun (Pb) mg/kg Değerlerinin Dağılım Grafiği .....	61

## KISALTMALAR LİSTESİ

**EPA:** United States Environmental Protection Agency

**TPH:** Toplam Petrol Hidrokarbonları

**PAH:** Poliaromatik Hidrokarbonlar

**DNA:** Deoksiribo Nükleik Asit

**mg/L:** Miligram Litre

**WHO:** Uluslararası Sağlık Örgütü

**ppm:** Parts Per Million

**mm:** Milimetre

**mg/kg:** Miligram/Kilogram

**m<sup>2</sup> :** Metrekare

**km:** Kilometre

**Fe:** Demir

**Mn:** Mangan

**Zn:** Çinko

**Cu:** Bakır

**V:** Vanadyum

**M:** Molibden

**Co:** Kobalt

**Ni:** Nikel

**Cr:** Krom

**Pb:** Kurşun

**Be:** Berilyum

**Cd:** Kadmiyum

**Tl:** Talyum

**Sb:** Antimon

**Se:** Selenyum

**Sn:** Kalay

**Ag:** Gümüş

**As:** Arsenik

# BÖLÜM 1

## 1. GİRİŞ

Çevre, insanların, hayvanların, mikroorganizmaların ve diğer canlıların etkileşim içinde bulunduğu, yaşamları boyunca bu ilişkileri sürdürdüğü dış ortamdır. Doğanın temel unsurları olan hava, su ve toprak üzerinde gerçekleşen doğal ya da yapay faaliyetler, olumsuz etkiler doğurarak bu çevredeki canlıların hayati işlevlerini ve aktivitelerini olumsuz yönde etkileyebilir. Bu duruma çevre kirliliği denir. Çevre kirliliği, insan sağlığı ve ekosistem için ciddi tehditler oluşturur. Sanayi Devrimi'nden (1760-1830) günümüze kadar her dönemde çevre kirliliği ile karşılaşmıştır. Motorlu taşıt sayısının artması, teknolojinin gelişmesi ve endüstriyel faaliyetlerin genişlemesi, artan enerji ihtiyacını fosil yakıtlarla karşılamaya yönlendirmiştir. Bu durum da toprak kirliliği gibi riskli çevre sorunlarını beraberinde getirmiştir.

Bilimsel araştırmalar, toprak kirliliğinin hava ve su kirliliği ile bağlantılı döngüsel bir süreç olduğunu ve bu durumun hem insan sağlığını hem de ekosistemleri tehdit ettiğini göstermiştir. Toprak, organik ve inorganik maddelerden oluşan ve farklı yaşam döngülerinin sürdürüldüğü karmaşık bir yapıya sahiptir. İnsanlar tarafından tarım, hayvancılık ve yaşam alanı olarak kullanılması nedeniyle toprak her dönem kritik bir öneme sahiptir. Toprak Yapısı ve içeriğindeki mineraller sayesinde, çeşitli bitki ve hayvan türlerine ev sahipliği yaparak ekolojik açıdan zengin bir ortam sunar. Toprak, sağlıklı ağaçlar aracılığıyla oksijen ihtiyacımızı karşılar, yetiştirdiği meyve ve sebzelerle de gıda ihtiyacımızı giderir. Ayrıca, gıda ürünlerine geçiş yapan vitamin ve minerallerin kaynağıdır.

Ağır metal kirliliği, endüstriyel faaliyetlerin ve insan etkilerinin doğal ekosistemler üzerindeki olumsuz sonuçlarından biridir. Bu kirlilik, bitkilerin verimliliğini düşürmekte ve ürün kalitesinde kayıplara yol açmaktadır. Bazı ağır metaller, düşük seviyelerde bitkiler için gerekli olsa da, yüksek

konsantrasyonlarda stres yaratmakta; örneğin, Bakır, Çinko, Kobalt, Mangan, Molibden ve Nikel gibi elementler bu gruptadır. Diğer taraftan, alüminyum, Arsenik, Cıva, Kadmiyum, Krom ve Kurşun gibi metaller, bitki gelişimi için zararlıdır ve çok düşük seviyelerde bile toksik etkiler gösterebilir.

Ağır metal stresinin etkileri, metal türüne, konsantrasyona, maruziyet süresine ve bitki türüne bağlı olarak değişir. Bu stres, bitkilerde sürgün ve kök gelişiminin yanı sıra biyokütle, fotosentez hızı ve su kaybını etkileyebilir. Ayrıca, bitkilerde kloroz (klorofil yetersizliği) ve nekroz(hücre ve dokuların ölümü) gibi belirtiler ortaya çıkabilir. Oksidatif stresin artması ve DNA'da hasar oluşumu, genetik bütünlüğü tehlikeye sokmaktadır. Bitkiler, bu olumsuz etkilerle başa çıkmak için hem enzimatik hem de enzimatik olmayan antioksidan savunma mekanizmaları geliştirmiştir. Hiperakümülatör bitkiler, yüksek ağır metal seviyelerine rağmen büyüebilme yetenekleri sayesinde, kirlenmiş toprakların temizlenmesinde ve transgenik bitki (bitkiler arası gen aktarımı) araştırmalarında kritik bir rol oynamaktadır.

Çalışmanın amacı, referans olarak seçilen temsili noktalarda hiperkümülatör bitkilerin tanımlanarak, bölgenin yapısındaki değişikliklerin nedeni ölçüde düzenleyici/önleyici etkilere sebebiyet verdiğinin belirlenmesini amaçlamaktadır. Bu bağlamda, örnek ülkelerde gerçekleşen çalışmalar referans alınarak, Türkiye'de uyarlanabilir ve kullanılabilir rekreasyon sisteminin tanımlanabilirliğini ve uygulanabilirliğini sağlayarak, gelecekteki potansiyel alanlarda tez çalışmasının uygulanabilirliğini ve öncü olabirliğinin sağlanması hedeflenmektedir.

## BÖLÜM 2

### 2. HİPERKÜMÜLATÖR BİTKİLER

Hiperakümülyasyon; bitkilerin çevrelerinden ağır metalleri ve diğer zararlı maddeleri yüksek oranlarda emme yeteneğini ifade eder. Bu özellikteki bitkiler, toprak veya su kaynaklarındaki kirleticileri absorbe ederek çevresel temizlikte kritik bir rol oynar. Özellikle ağır metallerin (örneğin, Kurşun, Çinko, Kadmiyum, Nikel) azaltılması amacıyla bu bitkiler, biyoremediasyon (kirlenmiş toprakların ve suların çevre dostu bir yöntemle kirliliğinin giderilmeye çalışılması) adı verilen daha geniş bir temizlik stratejisinin parçası olarak kullanılır.

#### 2.1 BİTKİLER VE FİTOREMEDİASYON KAVRAMINA GENEL BAKIŞ

##### 2.1.1 Bitkiler

Bitkiler, kendi besinlerini üretebilen ve fotosentez yapabilen canlı organizmalardır. Bu gruba yosunlar, eğreltiler, otlar, sarmaşıklar, çalılar ve ağaçlar dahildir. Bitkilerin yapısı, kök, gövde, yaprak, çiçek ve meyve gibi çeşitli bölümlerden oluşur.

Kökler, bitkiyi toprağa sabitleyerek su ve mineralleri alır; bu maddeler odunsu borular aracılığıyla diğer kısımlara iletilir. Gövde, bitkinin dik durmasına yardımcı olurken, yapraklar fotosentez süreciyle enerji üretir. Burada su, mineraller ve karbondioksit bir araya gelerek besin ve oksijen oluşturur; bu besin daha sonra bitkinin diğer bölümlerine dağıtılır.

Çiçek, bitkinin üreme organıdır ve polinasyon, yani tozlaşma, böcekler ve rüzgâr aracılığıyla gerçekleşir. Bu süreç meyve oluşumunu sağlar ve meyveler tohumları taşır. Tohumlar, bitkinin soyunun devamını sağlayan kritik birimlerdir. Dünyada yaklaşık 400.000 farklı bitki türü bulunmaktadır; bu türler, küçük

düğün çiçeğinden büyük fıstık çamına kadar uzanan bir çeşitlilik sunar (Erasmus, 2019).

Ağır metal toksisitesine karşı bitkilerin tolerans seviyelerinin belirlenebilmesi için, metalin türü ve miktarı, bitkiye olan etkisi, zararın şiddeti ve türü gibi unsurların yanı sıra zarar oluşum süreci de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu bilgilerin edinilmesi, bitkilerin sağlıklı gelişimi ve canlılıkları açısından son derece kritiktir (Paschke ve vd., 2005).

Hiperakümülatör bitkiler, topraktaki ağır metaller gibi kirleticileri yüksek oranda alabilme yeteneğine sahip bitkilerdir. Bu bitkilerin kök yapıları, kirletici maddeleri etkin bir biçimde emmelerini sağlar. Hiperakümülatör bitkilerin kökleriyle ilgili öne çıkan bazı özellikler şunlardır:

**Gelişmiş Kök Sistemi:** Hiperakümülatör bitkiler genellikle geniş ve derin bir kök sistemine sahiptir. Bu özellik, daha fazla toprak alanına ulaşmalarını ve kirleticilere erişim sağlamalarını kolaylaştırır.

**Kök Hava Boşlukları:** Köklerdeki hava boşlukları, oksijen alımını artırarak köklerin sağlıklı büyümesine katkıda bulunur ve işlevselliğini korur.

**Kök Büyümesi ve Uzunluğu:** Uzun köklere sahip bu bitkiler, daha derin toprak katmanlarına erişerek kirleticileri daha etkin bir şekilde absorbe edebilir.

**Mikroorganizmalarla Etkileşim:** Hiperakümülatör bitkilerin kökleri, topraktaki mikroorganizmalarla simbiyotik ilişkiler geliştirerek, besin ve kirletici maddelerin emilimini destekler.

**Kimyasal İşlevler:** Köklerdeki belirli proteinler ve enzimler, ağır metaller gibi kirleticilerin bağlanması ve emilmesini kolaylaştırır.

**Kök Salınımı:** Bazı hiperakümülatör bitkiler, kökleri aracılığıyla organik asitler ve diğer bileşikler salgılayarak topraktaki kirleticilerin çözünürlüğünü artırabilir.

Bu özellikler, hiperakümülatör bitkileri fitoremediasyon süreçlerinde etkili kılan başlıca faktörlerdir.

### 2.1.2 Kök Yapısı

Kökler, ağır metal alımının ilk aşamasını oluşturur. Kök hücreleri, suyun yanı sıra metal iyonlarını da emerek çevreden madde alımını sağlar. Köklerin yüzey alanı, bu emme kapasitesini doğrudan etkiler.

### 2.1.3 Taşıma Dokuları

Kambiyum, bitkinin büyümesine katkıda bulunurken, metal iyonlarının taşınmasına da yardımcı olur. Köklerden başlayarak yapraklara ulaşan bu taşıma, kambiyum ve floem dokuları aracılığıyla gerçekleşir.

Ksilem ve Floem İşlevlerine bakılacak olursa; Ksilem, köklerden su ve besin taşınımında elzem bir role sahiptir. Ağır metallerin taşınması üzerine yapılan çalışmalar, bu elementlerin ksilem yoluyla nasıl iletildiğini ortaya koymaktadır (Baker ve vd., 2000).

Floem ise, genellikle bitkinin enerji taşıma sistemi olarak bilinse de, bazı çalışmalar floemin de kirleticilerin dağıtımında dolaylı olarak rol oynadığını göstermektedir (McGrath & Zhao, 2003).

Kirletici Taşınması: Hiperakümülatör bitkiler, ağır metallerin ksilem yoluyla etkin bir şekilde taşınmasını sağlamak için özel bileşenler ve yapılar geliştirmiştir. Bu özellik, bitkilerin çevresel kirleticilere karşı dayanıklılığını artırmaktadır (Zhao ve vd., 2006).

Kök ve Taşıma Dokusunun Etkileşimi: Köklerdeki mikrobiyal topluluklar, bitkilerin taşıma dokularına etki ederek kirletici alımını artırabilir. Bu etkileşim, hem ksilem hem de floem için önem taşır (Agnelli ve vd., 2016).

Bitki Fizyolojisi: Hiperakümülatör bitkilerin taşıma dokularıyla ilgili yapılan araştırmalar, kirletici taşıma mekanizmalarının bitkinin fizyolojik özellikleriyle nasıl bağlantılı olduğunu anlamamıza yardımcı olur.

Moleküler Mekanizmalar: Taşıma dokularında bulunan özel proteinler ve enzimler, ağır metalleri bağlayarak taşınmalarını kolaylaştırır. Bu konudaki çalışmalar, bitkilerin taşıma sistemlerinin moleküler düzeyde nasıl işlediğine dair bilgiler sunmaktadır (Yadav ve vd., 2014).

Bu araştırmalar, hiperakümülatör bitkilerin taşıma dokuları konusundaki bilgi birikimini artırarak, fitoremediasyon süreçlerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Bu bitkilerin çevre temizliğindeki potansiyelini artırmak için yeni stratejiler oluşturulması hedeflenmektedir.

#### **2.1.4 Yaprakların Rolü**

Yapraklar, fotosentez yaparken ağır metalleri de biriktirebilir. Bazı bitki türleri, bu metalleri yapraklarında depolayarak çevresel kirliliği azaltmada etki gösterir.

Hiperakümülatör bitkilerin yaprakları üzerine yapılan araştırmalar, bu bitkilerin çevre kirliliği ile mücadeledeki etkinliğini anlamak açısından büyük önem taşımaktadır. Yapraklar, bitkilerin fotosentez, gaz değişimi ve besin alımı gibi temel işlevlerinin yanı sıra, kirleticilerin depolanması ve işlenmesinde de kritik bir rol oynar. Bu konuda öne çıkan bulgulardan yola çıkarak;

**Kirletici Depolama:** Hiperakümülatör bitkilerin yaprakları, ağır metaller ve diğer kirleticiler için kritik bir depolama alanıdır. Yapraklar, topraktan alınan kirleticileri yoğunlaştırarak bitkinin diğer bölümlerine yayılmasını engeller (Kumar ve vd., 1995).

**Fiziksel ve Kimyasal Özellikler:** Yaprak yüzeyindeki tüyler ve diğer yapılar, kirleticilerin emilimini kolaylaştırır. Bu özellikler, yaprakların kirleticileri daha etkili bir şekilde tutmasını sağlar (Zhao ve vd., 2006).

**Fitoiklimleme:** Yapraklar, kirleticilerin metabolik olarak işlenmesinde de görev alır. Bazı bitkiler, yapraklarında ağır metallerle etkileşime girerek bunları zararsız hale getiren bileşikler üretir (Sharma ve Dubey, 2005).

**Gaz Değişimi:** Yapraklar, stomalar yoluyla gaz alışverişi yaparak fotosentezi etkiler. Ayrıca kirletici gazların alımında da rol oynarlar (Cao ve vd., 2015).

Bitki fizyolojisi üzerindeki etkiler referans çalışmalara göre şöyle açıklanmaktadır;

Yapraklar, bitkinin sağlığını ve büyümesini etkileyen faktörlerdendir. Hiperakümülatör bitkiler, ağır metal stresi altında yapraklarda çeşitli fizyolojik

tepkiler göstererek çevresel koşullara uyum sağlar (Yadav ve vd., 2014).

**Biyoakümülyasyon Mekanizmaları:** Yapraklar, biyoakümülyasyon süreçlerinde mühim bir rol oynar. Yaprak dokusundaki özel proteinler ve enzimler, ağır metal bağlama kapasitesini artırarak kirletici alımını optimize eder (Mc Grath & Zhao, 2003).

Kumar ve vd., 1995; hiperakümülatör bitkilerin kirletici depolama yetenekleri üzerine kapsamlı bir inceleme sunmuştur.

Sharma ve Dubey., 2005; yapraklardaki metabolik süreçlerin kirleticileri zararsız hale getirmedeki rolünü incelemiştir.

Yadav ve vd., 2014; hiperakümülatör bitkilerin yapraklarının ağır metal stresine yanıtlarını inceleyerek, bu bitkilerin dayanıklılık mekanizmalarını ortaya koymuştur.

Bu literatür taraması, hiperakümülatör bitkilerin yapraklarının fitoremediasyon süreçlerindeki önemini vurgulamakta ve çevre kirliliği ile mücadelede bu bitkilerin potansiyelini gözler önüne sermektedir.

### **2.1.5 Metal Depolama**

Bitkiler, çeşitli dokularda ağır metalleri depolama yeteneğine sahiptir. Bu, metalin toksik etkilerini azaltmak için bir strateji olarak işlev görür; örneğin, bazı bitkiler metal iyonlarını vakuoller içinde biriktirir.

### **2.1.6 Biyokimyasal Etkileşimler**

Ağır metallerin bitkilerde nasıl bağlanarak ve depolandığı, farklı biyokimyasal süreçler aracılığıyla gerçekleşir. Bitkiler, metal iyonlarını bağlayarak veya zararsız hale getirerek bu toksik etkileri azaltma yoluna gidebilir.

Ağır metallerin bitkilerin anatomisi üzerindeki etkisi, bitkilerin çevresel kirliliğe karşı geliştirdikleri savunma mekanizmalarını ve biyoremediasyon süreçlerindeki katkılarını anlamak açısından tanımlayıcıdır.

Çepel, N. (2008); toprak kullanımının çevresel etkileri ve bu etkinin dengelenmesi için gerekli önlemler ayrıntılı bir şekilde ele alınmaktadır. Kitap,

toprak kaynaklarının sürdürülebilir bir biçimde yönetilmesinin gerekliliğini vurgularken, çevre koruma ile bu kaynaklar arasındaki ilişkinin önemini de belirtir. Ayrıca, toprak kullanımındaki hataların ekosistem üzerinde yaratabileceği olumsuz etkiler ve bu olumsuzlukları en aza indirmek için uygulanabilecek yöntemler üzerinde durulmaktadır.

Eserin başlıca odak noktaları ise şunlardır:

**Sürdürülebilir Toprak Kullanımı:** Toprak verimliliğini ve sağlığını uzun vadede koruyabilmek için sürdürülebilir tarım yöntemlerinin önemine dikkat çekilir.

**Toprak Erozyonu ve Korunma Yöntemleri:** Toprak erozyonunun önlenmesi için doğru tarım teknikleri ve erozyona dayanıklı bitki örtüsünün kullanılması gibi stratejiler önerilir.

**Toprak Kirliliği ve Çevresel Etkiler:** Tarımda kullanılan kimyasal gübreler ve pestisitlerin toprak ve su kirliliği üzerindeki etkileri ele alınarak, bu kimyasalların zararlarını azaltacak alternatif yöntemlere, özellikle organik tarıma dair çözüm önerileri sunulur (Çepel, N., 2008).

### **2.1.7 Fitoremediasyon Kavramı**

Günümüzde, ekosistemlerdeki toprak, su ve hava gibi ortamlarda ağır metallerin birikimi, tüm canlıların yaşamını tehdit eden ciddi bir çevre sorunu oluşturmuştur. Bu kirleticilerin yayılmasına neden olan başlıca etkenler arasında sanayi faaliyetleri, motorlu araçların egzoz gazları, maden işletmeleri, volkanik patlamalar, tarımda kullanılan kimyasallar ve kentsel atıklar yer almaktadır. Bu faktörler, ağır metallerin çevreye karışmasına ve ekosistem üzerinde olumsuz sonuçlar doğurmasına sebep olmaktadır (Stresty ve Madhava Rao, 1999).

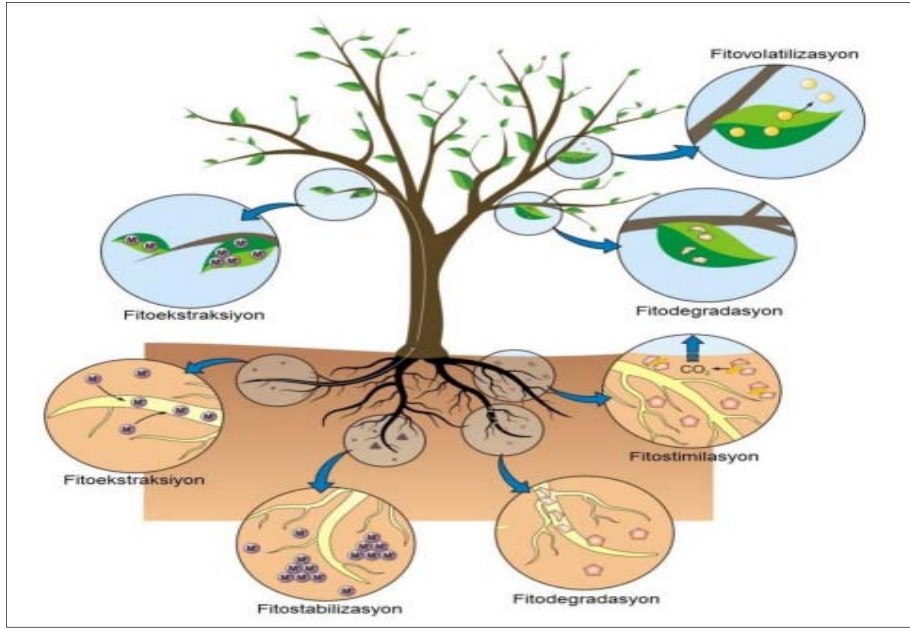
**Tablo 2.1** Fitoremediasyon Sistemlerinin Çeşitliliğine Göre Sınıflandırılması

<b>Metal Kirleticilerde Kullanılan Bazı Yöntemler</b>	<b>Organik Kirleticilerde Kullanılan Bazı Yöntemler</b>
Fitoelektrokinetik Yöntemi	Fitodegradasyon Yöntemi
Rizofiltrasyon Yöntemi	Rizodegradasyon Yöntemi
Fitostabilizasyon Yöntemi	Fitovolatilizasyon Yöntemi

Fitoremediasyon yöntemi, ağır metalleri emme kapasitesine sahip hiperakümülatör bitkilerin kullanılmasını içerir. Bu bitkiler, kirleticileri dokularında biriktirip daha sonra zararsız hale getirme yeteneğine sahiptir. Son dönemlerde birçok ülkede popüler hale gelen bu pasif yaklaşım, ağır metal kirlenmesi yaşayan toprakların temizlenmesinde etkili bir çözüm sunmaktadır. Fitoremediasyon, bitkilerin çevredeki kirleticileri almak veya bu maddeleri etkisiz hale getirmek amacıyla kullanılması olarak tanımlanabilir (Raskin vd. 1997).

Fitoremediasyon, bitkilerin doğal yeteneklerinden yararlanarak çevresel kirliliği azaltma ve ekosistem sağlığını koruma konusunda hedef faktörü içeren bir yöntemdir. Bu yaklaşım, çevre temizliği ve sürdürülebilir tarım açısından büyük bir potansiyel sunar.

Kirlenmiş toprakların iyileştirilmesinde birçok farklı teknik kullanılmaktadır. Bu teknikler arasında fiziksel, kimyasal, termal ve biyolojik yöntemler yer alır. Özellikle fitoremediasyon, bitkilerin yardımıyla topraktaki kirleticileri azaltarak hem maliyet açısından uygun hem de çevresel olarak sürdürülebilir bir çözüm sunar. Bu yöntem, özel ekipman gerektirmemesi ve temizlenen alanın tekrar kullanılabilir olması gibi avantajlara sahiptir, bu nedenle günümüzde tercih edilen bir seçenek haline gelmiştir. Biyolojik temizlik yöntemleri arasında fitoremediasyon, özellikle ekonomik ve ekolojik yararlarıyla dikkat çekmektedir (Vanlı,Ö .ve Yazgan,M., 2008).



**Şekil 2.1** Fitoremediasyon Tiplerinin Şematik Gösterimi (Favas ve vd. 2014)

### 2.1.8 Yeşil Islah (Fitoremediasyon)

Fitoremediasyon, bitkiler kullanılarak çevresel kirleticilerin arındırılmasını sağlayan bir yöntemdir ve özellikle organik bileşikler ile toksik ağır metallerin giderilmesinde etkilidir. Bu yöntem, diğer arıtma tekniklerine kıyasla çeşitli avantajlar sunar. Örneğin, uygulama maliyetleri oldukça düşük olup, aktif müdahale gerektirmeyen bir süreç olması ile öne çıkar. Ayrıca, doğal bitki örtüsü kullanıldığı için çevreye estetik bir katkı sağlar. Böylece, doğal ve çevre dostu bir arıtma yöntemi olarak dikkat çeker. Ancak, fitoremediasyonun etkinliği kullanılan bitki türlerine ve çevresel koşullara bağlıdır. Uygun bitkiler seçildiğinde ve doğru şartlar sağlandığında, fitoremediasyon, kirleticilerin azaltılmasında etkili ve sürdürülebilir bir çözüm sunar (Hamutoğlu 2012).

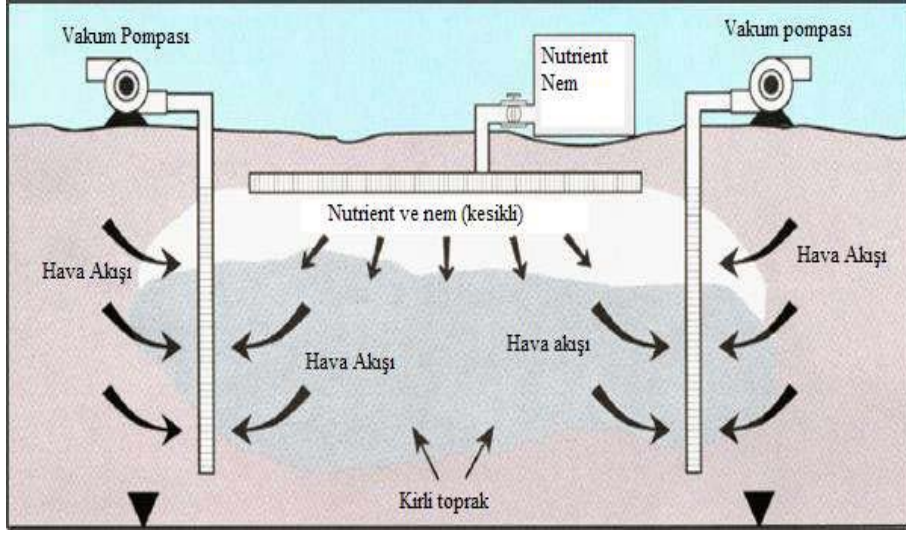
### 2.1.9 Fitoremediasyon Tekniği İle Ağır Metal Giderimi Esasları

Fitoremediasyon, bitkilerin kirleticileri topraktan uzaklaştırarak çevresel temizliği sağladığı bir süreçtir. Bu süreçte bitkilerin, metaller (Ag, Cd, Cu, Pb gibi), metalloidler (As, Se), radyoaktif izotoplar (90Sr, 137Cs) ve çeşitli organik

bileşenler (TPH, PAHs, pestisitler) gibi maddeleri emme yetenekleri kritik öneme sahiptir. Ancak bu emilim, bitkilerin bulunduğu çevresel koşulların yanı sıra toprak ve biyolojik faktörlerin uygun olmasına bağlıdır. Genellikle, yerel koşullara iyi adapte olmuş bitkiler, kirleticileri daha etkili bir şekilde alma kapasitesine sahiptir. Bununla birlikte, geniş coğrafi alanlarda yayılabilen ve fitoremediasyon uygulamalarında kullanılabilen bitkiler de mevcuttur. Araştırmalar, bu bitkilerin temizleme yeteneklerini artırmaya yönelik devam etmektedir (EPA 2000).

### **2.1.10 Yerinde Biyoremediasyon Yöntemi**

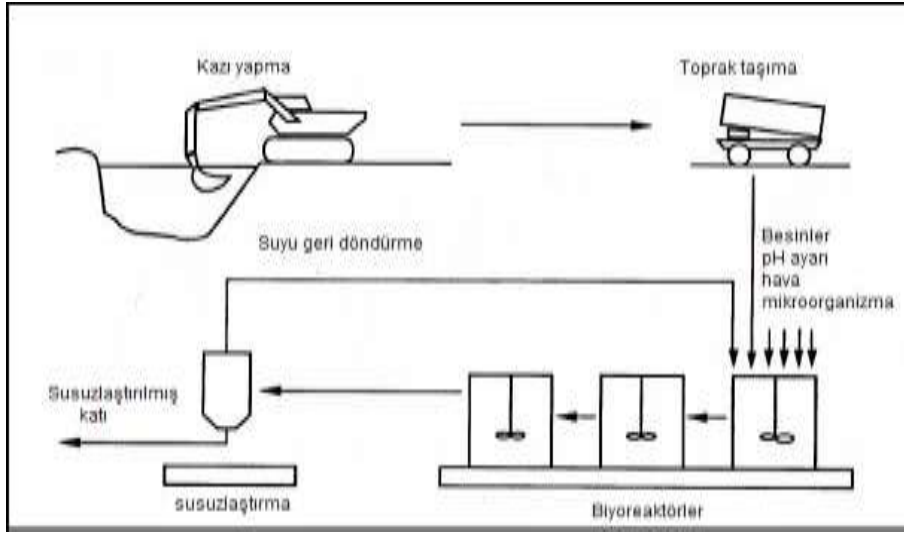
Daha çok kirli topraklarda uygulanan bu yöntem, kirleticilerin doğal ortamda bırakılarak mikroorganizmalar tarafından parçalanmasını sağlar. Ekonomik ve çevre dostu bir yöntem olan bu uygulamada, mikroorganizmalar kirleticilerin bulunduğu alanlarda hareket ederek kimyasal maddeleri daha basit bileşiklere dönüştürür. Yöntemin etkinliği, mikroorganizmaların kimyasal uyarıcılara tepki verip hareket edebilme yeteneklerine, yani kemotaksi kabiliyetlerine bağlıdır. Bu nedenle, bir organizmanın kimyasal etmenlerin yoğun olduğu bir alana göç edebilmesi önemlidir. Kirleticilerin ortadan kaldırılmasında kullanılan mikroorganizmalar, gelişimleri için daha fazla enerji ve besin maddesi gerektirebilir. Gerekli durumlarda bu maddeler ortama eklenerek mikroorganizmaların aktivitesi artırılabilir. Ancak, çevresel koşullar uygun değilse bu canlıların parçalama kapasiteleri azalır ve etkinlik düşer. Bu nedenle, biyolojik temizlik işlemi sırasında çevre koşullarının düzenli olarak kontrol edilmesi ve gerektiğinde iyileştirilmesi gerekir (Dindar ve vd. 2010).



**Şekil 2.2** Bioventing Sisteminin İşleyişi (Dindar ve vd., 2010)

### 2.1.11 Yerinde Olmayan Biyoremediasyon Yöntemi

Bu yöntemde, kirlı toprağın mikrobiyal ayrışmasını hızlandırmak amacıyla toprak doğal ortamından çıkarılır. "Ex-situ biyoremediasyon" olarak bilinen bu süreç, kirlıtoxicilerin olduğu yerde gerçekleştirilen yöntemlere göre genellikle daha hızlı sonuç verir, ancak maliyeti daha yüksektir. Bazı durumlarda, yöntemin verimliliğini artırmak amacıyla kirlenmiş toprağın önceden arıtılması gerekebilir. Bu ön arıtma işleminin için iki temel yöntem bulunur. Maksimum verim elde edebilmek için, arıtma öncesinde yapılan hazırlıklar kadar, sonrasında uygulanacak iyileştirme adımları da önemlidir. Ex-situ biyolojik arıtma, işlemin özel tanklarda veya hazırlanmış platformlarda yapılmasına göre iki farklı teknolojiyi kapsar (Türkoğlu 2006).



**Şekil 2.3** Biyoreaktörler ile Toprak Islah Yöntemi Gösterimi (Türkoğlu, 2006)

## 2.2 TOPRAK VE TOPRAK KİRLİLİĞİ TANIMINA GENEL BAKIŞ

### 2.2.1 Toprağın Yapısı ve Tanımı

Farklı disiplinler, toprak kavramını çeşitli şekillerde tanımlamıştır. Bu tanımlara baktığımızda, her birinin kendi alanına göre özgün bir perspektif sunduğunu görebiliriz. Dolayısıyla, toprakla ilgili açıklamalar, disiplinlerin araştırma odakları ve yaklaşımlarına bağlı olarak farklılık arz etmektedir.

Akalan (1983) toprağın tanımını; Toprak, yeryüzünün yüzeyini ince bir tabaka olarak kaplayan, kayalar ve organik maddelerin çeşitli ayrışma ürünlerinden oluşan ve bu karışımın içinde ve üzerinde geniş bir canlılar topluluğunu barındıran, bitkilere hem barınma hem de besin kaynağı sunan, belirli miktarda su ve hava içeren üç boyutlu bir yapıdır.

Asan (1993) ise toprağın tanımında; “Hava, su, organik bileşenler ve minerallerin belirli oranlarda bir araya gelmesiyle oluşan canlı bir yapıdadır” olarak tanımlamaktadır.

Toprak, son derece karmaşık bir ekosistemdir. Bu sistemde, toprak ve üst örtüsünde, bakteriler, aktinomisetler, mantarlar, algler, protozoalar, böcekler ve toprak solucanları gibi farklı boyut ve işlevlere sahip canlılar bulunur. Verimli

tarım topraklarının bir gramında, sayıları yüzlerden binlere kadar ulaşan bu mikroorganizmalar mevcuttur (Asan, 1993). Bu organizmaların başlıca işlevleri, organik madde döngüsüne katkıda bulunmak, toprağın gözenek yapısını geliştirmek, havalanmasını sağlamak ve toprak içindeki organik maddelerin parçalanmasına yardımcı olmaktır.

### 2.2.2 Toprak Kirliliği ve Önemi

Toprak kirliliği, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik yapısının zarar görmesi olarak ifade edilir. Bu kirlenmeye neden olan süreçler, doğal etkenler ve insan faaliyetleri olmak üzere iki kategoriye ayrılabilir. En mühim kirlilik kaynakları, insanın gerçekleştirdiği aktiviteler sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bu aktivitelerin bazıları toprağı doğrudan etkilerken, bazıları önce hava veya su kirliliğine sebep olup ardından toprağın kirlenmesine yol açmaktadır.

### 2.2.3 Türkiye’de Toprak Kirliliği

Türkiye, yoğun tarım ve sanayi faaliyetleri nedeniyle toprak kirliliği ile ciddi sorunlar yaşamaktadır. Türkiye genelinde çeşitli faktörler, toprak kirliliğinin artmasına yol açmaktadır. İşte Türkiye’deki toprak kirliliği hakkında bazı elzem bilgiler:

**a. Sanayi Etkisi:** Sanayi tesisleri, özellikle kimya, metal ve tekstil sektörleri, toprak kirliliğine kritik ölçüde katkı sağlamaktadır. Fabrikalardan çıkan atıklar, kimyasal maddeler ve ağır metaller, toprağa karışarak kirliliği artırmaktadır.

**b. Tarımda Kimyasal Kullanımı:** Tarımda uygulanan kimyasal gübreler ve pestisitler, toprak kirliliği için bir diğer mühim kaynaktır. Aşırı ve yanlış kullanım, toprak yapısını bozmakta ve ekosistem dengesini olumsuz yönde etkilemektedir.

**c. İnşaat ve Altyapı Çalışmaları:** Büyük inşaat projeleri, toprak erozyonuna ve kirlenmesine neden olabilmektedir. İnşaat atıkları ve diğer yan ürünler, toprak kirliliğini artıran etkenler arasında yer almaktadır.

**d. Atık Yönetim Problemleri:** Türkiye’deki atık yönetim sistemleri genellikle yetersizdir. Katı atıkların uygun bir şekilde bertaraf edilmemesi, toprağın

kirlenmesine yol açmaktadır. Özellikle organik atıkların toprağa karışması, kirleticilerin yayılmasına neden olmaktadır.

**e. Hava ve Su Kirliliği İlişkisi:** Hava ve su kirliliği, dolaylı yoldan toprak kirliliğini artırmaktadır. Kirli su kaynakları, sulama yöntemleriyle toprağa ulaşarak kirliliği yaymaktadır.

**f. Çevresel Sonuçlar:** Toprak kirliliği, tarımsal verimliliği düşürmekte, biyoçeşitliliği tehdit etmekte ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Kirli topraklar, besin zincirine dahil olarak hem insanlara hem de hayvanlara zarar verebilir.

#### **2.2.4 Topraktaki Kirlilik Kaynakları**

Toprak, hem doğal olaylar hem de insan faaliyetleri sonucunda kirlenme riski taşımaktadır. Yapılan araştırmalar, insan etkilerinin kirliliğin en büyük kaynağı olduğunu göstermektedir. İnsan faaliyetlerinin bazıları doğrudan toprağı etkilerken, diğerleri önce hava veya su kaynaklarını kirleterek dolaylı yoldan toprağın kirliliğine neden olmaktadır.

#### **2.2.5 Kentsel Kaynaklı Kirlilik**

Yoğun kentleşmenin yaşanarkı alanlarda, inşaat çalışmalarından kaynaklanan kirleticiler ve bu süreçte kullanılan malzemelerin oluşturduğu atıklar, hem toprağın hem de yeraltı sularının kirlenmesine sebep olmaktadır. Bu durum, çevresel dengeyi olumsuz etkileyerek ekosistem üzerinde ciddi tehditler oluşturur.

#### **2.2.6 Endüstriyel Kaynaklı Kirlilik**

Sanayi süreçleri sırasında ortaya çıkan emisyonlar, atık çamurlar ve diğer yan ürünler, su, hava ve toprak kirliliğine neden olmaktadır. Özellikle petrol taşınması sırasında karada ve denizde meydana gelen kazalar, mühim kirlilik kaynakları arasında bulunmaktadır. Petrol, toprağın gözeneklerini doldurarak toprak içindeki organizmaların hava alışverişini engeller. Bunun yanı sıra, kil ve

humus gibi yüzeyleri tamamen kaplayarak bu malzemelerin filtrasyon işlevini ortadan kaldırır (Karaca ve Tugay, 2012).

Bunun yanı sıra, farklı sanayi atıklarının fabrikaların çevresine ya da daha geniş alanlara dağılması, toprak kirliliğine katkıda bulunmaktadır. Maden ocaklarını çalıştırmak için, üstteki örtü tabakasının kaldırılması şarttır. Bu süreç, yerel bitki örtüsünün zarar görmesine ve topografyanın değişmesine yol açmaktadır. Özellikle Bakır madenciliği ve mermer çıkarımı gibi bazı faaliyetler, ciddi ölçüde kirleticiler arasında yer almaktadır.

### **2.2.7 Topraktaki Kirleticileri Tipleri**

Topraktaki kirleticiler, genel olarak iki ana kategoriye ayrılmaktadır: Büyük miktarlarda toprağa bırakılan ya da hâlihazırda bulunan makro kirleticiler ve küçük veya iz miktarlarda bulunan mikro kirleticiler, çoğunlukla gübre tuzları ve iyonları gibi maddelerle birlikte asit yağmurları aracılığıyla toprağa karışmaktadır. Bu durum, yeraltı su kaynaklarının kirlenmesine ve kıtasal ile kıyusal ötrofikasyonun artmasına mühim ölçüde katkı sağlamaktadır.

Metaller, birincil kirleticiler olarak tanımlanır. Toprakta genellikle toprak partikülleri tarafından adsorbe edilmiş halde bulunurlar ve mikrobiyal aktivitelerle parçalanamazlar. Bitki ve hayvan metabolizması için hayati öneme sahip olan yaşamsal ve yaşamsal olmayan elementler bulunmaktadır. Bu elementlerin fazlalığı ya da eksikliği, toprak-bitki-hayvan sisteminde mühim dengesizliklere yol açabilir. Bitkilerin ihtiyaç duyduğu temel elementler şunlardır: bor (B), Bakır (Cu), Demir (Fe), Mangan (Mn), Molibden (Mo), Silisyum (Si) ve Kadmiyum (Cd). Hayvanlar için gerekli olan elementler ise Bakır (Cu), Kobalt (Co), İyot (I), Demir (Fe), Mangan (Mn), Molibden (Mo), Selenyum (Se) ve Çinko (Zn) şeklinde sıralanabilir (Türkoğlu, 2006).

### **2.2.8 Topraktaki Metal Tuzları ve Metal Grupları**

Periyodik cetvelde atom ağırlığı 50 ve daha fazla olan, ayrıca yoğunluğu 5 g/cm<sup>3</sup> olan elementler, ağır metaller olarak sınıflandırılır. Bu grupta yaklaşık 70 farklı element bulunmakla birlikte, ekolojik açıdan mühim olan 20 element

öne çıkmaktadır. Bu elementler arasında Demir (Fe), Mangan (Mn), Çinko (Zn), Bakır (Cu), Vanadyum (V), Molibden (Mo), Kobalt (Co), Nikel (Ni), Krom (Cr), Kurşun (Pb), Berilyum (Be), Kadmiyum (Cd), Talyum (Tl), Antimon (Sb), Selenyum (Se), Kalay (Sn), Gümüş (Ag), Arsenik (As), Cıva (Hg) ve Alüminyum (Al) yer alır. Bu elementlerin bir kısmı, bitkiler ve hayvanlar için mikrobesein maddeleri olarak işlev görmekte olup, belirlenen izin sınırlarını aşmadıkları sürece toksik etki yaratmamaktadır.

### **2.2.9 Anorganik Diğer Kirletici Grupları**

Topraktaki aşırı Alüminyum (Al), Berilyum (Be) ve Flor (F) gibi elementler, mühim çevresel kirleticiler olarak değerlendirilmektedir. Alüminyum, Alzheimer hastalığı veya böbrek yetmezliği gibi bazı sağlık sorunlarıyla ilişkilendirilmiştir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), içme suyundaki alüminyum konsantrasyonu için kabul edilebilir maksimum seviyeyi 200 mg/L olarak belirlemiştir. Flor, içme suyundaki konsantrasyonu 3-6 mg/L'ye ulaştığında “skeletal fluorosis” olarak bilinen bir hastalığın ortaya çıkmasına neden olabilir. Bu konsantrasyon 10 mg/L'yi geçtiğinde ise felç gibi ciddi sağlık sorunları meydana gelebilir (Başçı, 2009).

## **2.3 METALLER**

Ağır metaller, biyolojik işlevlere katılım seviyelerine göre yaşamsal ve yaşamsal olmayan kategorilerine ayrılmaktadır. Yaşamsal ağır metaller, organizmada belirli bir konsantrasyonda var olmaları gerektiği için düzenli olarak besinlerle alınmalıdır. Örneğin, Bakır, hem hayvanlarda hem de insanlarda kırmızı kan hücrelerinin oluşumunda ve birçok oksidasyon ile redüksiyon süreçlerinde kritik bir rol oynar. Diğer taraftan, yaşamsal olmayan ağır metaller, çok düşük düzeylerde bile psikolojik yapı üzerinde olumsuz etkiler yaratarak sağlık sorunlarına neden olabilmektedir. Bu tür metallerden biri, kükürtlü enzimlerle bağlanabilen cıvadır. Bir ağır metalin yaşamsal niteliği, değerlendirilen organizmaya bağlıdır; örneğin, Nikel bitkiler için toksik etkiler

gösterirken, hayvanlar için iz element olarak gerekli bir bileşendir (Kahvecioğlu ve vd., 2003).

### **2.3.1 Ağır Metallerin Bitki Anatomisi ile İlişkisi**

Ağır metaller, yoğunlukları yüksek ve genellikle zararlı etkileri olan metal elementlerdir. Bu metallere doğada rastlamak mümkündür, ancak insan faaliyetleri nedeniyle çevreye karışmaları çeşitli kirlilik sorunlarına yol açar. Bu durum, hem ekosistemler hem de insan sağlığı için tehlikeli sonuçlar doğurabilir.

Ağır metallerin bitki anatomisiyle olan ilişkisi, bu metallere bitkilerin nasıl tepki verdiği ve bunları nasıl yönettiği ile ilgilidir. Bitkiler, kökleri aracılığıyla toprak ve su kaynaklarından ağır metalleri alırlar. Bu süreçte bitkinin yapısal bileşenleri kritik bir rol oynamaktadır.

### **2.3.2 Bitkilerin Ağır Metal Bileşiklerine Karşı Tolere Edici Mekanizmaları**

Hiperakümülatör bitkiler, ağır metalleri yüksek miktarda toplayabilen türlerdir ve bu bitkilerin içeriği, diğer bitkilere göre belirgin şekilde fazladır. Örneğin, Cıva (Hg) 10ppm, kadmiyum (Cd) 100 ppm gibi seviyelerde bulunabilir. Bu alanda en bilinen bitki *Thlaspi caerulescens*'tir. Bu türlerin ağır metallerle karşı gösterdiği dayanıklılık çeşitli mekanizmalarla sağlanır:

**a. Hücre Duvarlarında Metal Bağlanması:** Ağır metaller, bitkinin hücre duvarlarında tutularak Pb gibi elementlerin stabil formda kalmasını sağlar.

**b. Hücre Membranlarında Taşınımın Azalması:** Köklerde metallerin birikimi, bu maddelerin bitkinin diğer kısımlarına taşınmasını engelleyerek miktarını azaltır.

**c. Vakuollerde Depolama:** Ağır metaller, organik bileşenler (örneğin, Zn için fitat, malat ve oksalat) veya Cd'nin tiol grupları ile Ni'nin histidin ile bağlanarak vakuollerde depolanır.

**d. Şelatlama:** Ağır metaller, tiol grupları, glutathione ve aminoasitler aracılığıyla bağlanarak fitoşelatlar oluşturur. Ayrıca, organik asitlerle birleşerek bu süreçleri destekler.

Ayrıca, metallothioneinler bu bitkilerde ve hayvanlarda bulunan ve ağır metalleri bağlayarak komplekse dönüştüren proteinlerdir. Bu mekanizmalar, bitkilerin ağır metal kaynaklı stresi yönetmesine olanak tanır (Aksu ve Yıldız, 2004).

## 2.4 FİTOREMEDİASYON İLE İLGİLİ YAPILMIŞ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatürde hiperakümülatör bitkiler üzerine yapılan çeşitli çalışmalar, bu bitkilerin çevre kirliliğiyle mücadeleye katkıda bulunma potansiyelini ortaya koymaktadır. İşte bazı mühim bulgular;

(Gündüz, 2005); Kuzey Kıbrıs turunçgil bahçelerinde yabancı otlar arasında, ekolojik faktörlerin göstergesi olarak bazı türleri tespit etmiştir. Ayrıca, çeşitli sebze bitkilerini ağır metal içeren sularda yetiştirerek, arsenik ve kurşun gibi ağır metalleri akümülyasyon yeteneklerini incelemiştir. Ispanak, marul ve küçük terenin arsenik ve kurşun gibi ağır metallerin fitoremediasyonunda etkili olduğunu bulmuştur.

(Çalışkan 2007); Çorlu ilçesindeki sanayi ve trafik yoğun bölgelerde yetişen bitkilerde kurşun, kadmiyum ve krom oranlarını analiz etmiş, bazı bitki örneklerinde Türk Gıda Kodeksi limitlerinin aşıldığını tespit ederek halk sağlığı açısından risk oluşturabilecek düzeylere dikkat çekmiştir.

(Kartal 2010); İstanbul'daki D-100 Karayolu çevresinde *Carpobrotus*, *Cupressus* ve *Pinus* türlerinde yaptığı ağır metal analizinde, sanayi ve trafik yoğunluğu arttıkça bitkilerde Nikel ve krom birikiminin de arttığını gözlemlemiştir. Bu bitkileri biyomonitör olarak önermiştir.

(Karayer, 2013); Eskişehir'de maden işletmesi yakınındaki bitkilerde bor, kalsiyum, magnezyum ve arsenik gibi elementlerin analizini yapmış ve borun verim kaybına neden olacak seviyelerde biriktiğini saptamıştır.

(Özay ve Mammadov 2013); Fitoremediasyonda süs bitkilerinin potansiyelini araştırmış ve bu bitkilerin çevresel iyileştirmede kullanılmasının yanı sıra estetik bir katkı sağlayabileceğini öne sürmüştür.

(Özbek ve Öztaş, 2004); Türkiye florasında farklı familyalara ait 38 hiperakümülatör türün bulunduğunu belirterek, bu bitkilerin, diğer türlerin yetişemediği alanlarda yetiştirilerek ekolojik dengenin korunmasına ve kirliliğin azaltılmasına katkı sağlayabileceğini savunmuştur.

(Dağhan, 2016); Kadife çiçeği (*Tagetes patula L.*) bitkisinin kadmiyum biriktirme kapasitesini incelemiş ve bu bitkinin kadmiyum ile kirlenmiş toprakların temizlenmesinde kullanılabileceğini göstermiştir.

(Kırat, 2017); Malatya'daki kurşun-çinko maden alanında yetişen bitkilerin Cd ve Pb akümülyasyon potansiyelini araştırmış ve bu bitkilerin kirlenmiş toprakların iyileştirilmesinde kullanılabileceğini belirtmiştir.

(Lan ve vd., 2018); *Microsorium pteropus* bitkisinin yüksek Cd konsantrasyonlarına dayanıklılığını incelemiş ve bu bitkinin Cd birikiminde etkili olduğunu göstermiştir.

(Roselfend ve vd., 2018); *N. caeruleascens* ekotiplerinin Cd alımı üzerine çalışmalar yapmış, bu bitkilerin Cd alımında toprak özelliklerinin etkili olduğunu bulmuşlardır.

(Wan ve vd., 2017); Çin'de maden sahalarında As, Pb, Zn, Cd ve Cu gibi ağır metallerin varlığını tespit ederek *Pteris vittata L.* ve *Viola principis H. de Boiss* bitkilerinin çoklu metal ekstraktörü olarak kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

(Mingorance ve vd. 2017); İspanya'nın Riotinto maden sahasında iki bitki türünü inceleyerek, bu türlerin çevresel tepkileriyle birlikte ağır metal birikim kapasitelerini araştırmışlardır.

Hiperakümülatör bitkilerle ilgili veri tabanı oluşturma girişimleri, küresel çapta sınırlı sayıda yapılmış ve kapsamları dengesiz kalmıştır. Metal ve metaloid biriktiren bitkilere dair tanımlı bir veri tabanının yokluğu, bu alandaki araştırmaların önünde mühim bir eksiklik olarak durmaktadır. Ulusal düzeyde bazı çalışmalar yürütülse de, bu girişimler genellikle sınırlı kapsamda kalmıştır.

Bu alanda öne çıkan girişimler arasında, Kanada Çevre Ajansı'nın PHYTOREM veri tabanı ve başlangıçta Sheffield Üniversitesi Çevre Danışmanlığı tarafından başlatılan METALS (metal biriktiren bitkiler) veri

tabanı bulunmaktadır. Ancak bu veri tabanları, yalnızca hiperakümülatör bitkileri değil, aynı zamanda metale dayanıklı tüm bitki türlerini kayıt altına almaya çalışmıştır. Bitki dünyasının böyle bir alt kümesi çok geniş olup on binlerce türü kapsamakta; metale tolerans da çeşitli fizyolojik adaptasyonlar gösterdiğinden, bu türlerin kapsamlı bir şekilde tanımlanması zorluk yaratmaktadır.

Bu zorluklar göz önüne alındığında, hiperakümülatörlerle sınırlı bir veri tabanı oluşturmak daha erişilebilir bir hedef olarak öne çıkmaktadır. Hâlihazırda yaklaşık 700 tür tanımlanmıştır ve araştırmalar arttıkça bu sayının 1000-1500 türe ulaşabileceği öngörülmektedir. Bu doğrultuda, 2015 yılında Queensland Üniversitesi Maden Arazileri Rehabilitasyonu Merkezi'nin yönetiminde kurulan Çevrimiçi Küresel Hiperakümülatör Veri tabanı, dünya genelinde erişime açık bir platform sağlamayı hedeflemiştir.

Bu bağlamda ele alınabilecek diğer mühim veri kaynakları şunlardır:

- 1. Global Hyperaccumulator Database (GHDB):** Bu veri tabanı, Nikel, kadmiyum ve kurşun gibi ağır metallerde hiperakümülatör yeteneği gösteren bitkiler hakkında dünya çapında bilgi sağlamaktadır.
- 2. Phytoremediation Bibliographic Database:** ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından oluşturulmuş bu kaynak, fitoremediasyon çalışmaları ve ilgili bitki türlerine ilişkin kapsamlı bilgiler sunmaktadır.
- 3. TRY Plant Trait Database:** Küresel çapta bitki özelliklerini içeren TRY veri tabanı, ağır metal birikimi yapan bazı bitkiler hakkında da veri sağlamaktadır.
- 4. Bilimsel Makaleler:** ScienceDirect, JSTOR ve Springer gibi akademik platformlarda ağır metal akümülatör konusunda yapılmış geniş kapsamlı bitki araştırmaları bulunmaktadır.

Bu veritabanları, bitkilerin ağır metal biriktirme potansiyeli üzerine kapsamlı araştırma ve bilgi sağlar.

(Pollard ve vd., 2002); hiperakümülatör bitkilerin hem temel bilimler açısından mühim bir yere sahip olduğunu hem de pratik açıdan değer taşıdığını belirtmişlerdir. Hiperakümülatör bitkiler, metal alımı, taşınması ve sekestrasyonu konularında fizyolojik süreçlerin yanı sıra aşırı çevresel koşullara

uyum ve evrim gibi meseleleri anlamak için mükemmel birer model sunmaktadır.

(Baker ve Brooks, 1989); toprak yapısı ve tutucu özellikler içeren metal elementleri üzerine kapsamlı bir araştırma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, belirli bitki türlerinin Nikel hiperakümüasyonu gerçekleştirdiği ve Nikel, kobalt ile bazı durumlarda manganez açısından doğal olarak zengin ultramafik toprakların varlığına dikkat çekerek, toprak bileşenlerinin bitkilerin dokularında nasıl tutucu bir rol oynadığını incelemişlerdir.

(Reeves ve Baker 2000); başka bir çalışmada Nikel hiperakümülatör bitkilerinin dünya genelindeki dağılım merkezlerini incelemiştir. Bu bağlamda, Akdeniz Bölgesi'nde özellikle *Alyssum (Brassicaceae)* cinsine ait türler ile Brezilya, Küba, Yeni Kaledonya ve Güneydoğu Asya'daki tropikal ultramafik alanlarda yer alan *Phyllanthus (Phyllanthaceae)* cinsindeki türlerin mühim bir yer tuttuğunu vurgulamaktadır.

(Pollard ve vd., 2002); hiperakümülatör bitkilerin genellikle metal içeren topraklarla sınırlı bir dağılıma sahip olduğunu belirtmektedir. Bu topraklardan elde edilen bazı elementlerin bu bitkilerde 'zorunlu' hiperakümülatör özellikleri sergilediğini ifade ederken, bazı bitki popülasyonlarının metal içeren topraklardan hiperakümüasyon gösterdiği, ancak metal içermeyen topraklarda alışılmadık bir birikim göstermeyen diğer popülasyonların da bulunduğunu vurgulamaktadır. Bu tür bitkiler ise 'isteğe bağlı' hiperakümülatörler olarak adlandırılmakta ve bu durum, sistematik çalışmaların temelini oluşturmaktadır.

(Reeves ve Baker, 2000); hiperakümülatör bitkilerin sınırlı sayıda türde belirgin (hiper) akümüasyon özellikleri gösterdiğini ve bu durumun, türlerin metal içermeyen topraklarda büyüdüğünde hiperakümüasyonun gerçekleşmesine neden olabileceğini ifade etmektedir. Bu bağlamda, yalnızca belirli arka plan konsantrasyonlarına sahip topraklarda yetişen *Noccaea caerulea* türünün, yapraklarında %1'den fazla çinko birikimi oluşturduğuna dikkat çekerek, hiperakümülatör bitkilerin özelliklerini destekleyen bir temel oluşturmuşlardır. Ayrıca, bu bitkilerin bulunduğu bölgedeki toprak ve kayalık yapılarının da element tutulumunda mühim bir rol oynadığına işaret

etmektedirler.

(Baker ve Brooks, 1989); hiperakümülatör statüsünün tanınması ve veri tabanına eklenmesi ile ilgili olarak, bu bitkilerin doğal ortamlarda büyüdüğünde belirli elementlerin yaprak dokularındaki kuru ağırlık oranlarını belirleyerek kabul edilen eser element hiperakümülasyonu tanımlarını ortaya koymaktadır.

Bu tanımlara göre,  $100\mu\text{g g}^{-1}$ 'den fazla kadmiyum, talyum veya selenyum,  $300\mu\text{g g}^{-1}$ 'den fazla kobalt, bakır veya krom,  $1000\mu\text{g g}^{-1}$ 'den fazla Nikel, arsenik, kurşun veya nadir toprak elementleri (REE),  $3000\mu\text{g g}^{-1}$ 'den fazla çinko ya da  $10,000\mu\text{g g}^{-1}$ 'den fazla manganez içeren bitkiler, hiperakümülatör olarak kabul edilmektedir.

(Reeves, 2003); belirlenen nominal eşik kriterlerinin, hiperakümülatör bitki türlerinin tanınması için pratik bir operasyonel çerçeve sunduğunu ve aşırı fizyolojik davranışların tespitine yardımcı olduğunu belirtmektedir. Ayrıca, veri tabanının, yalnızca çözelti dozaj rejimleri altında yetiştirilen bitkilerden (örneğin hidroponik ortamlar veya 'çivili' topraklarda yetiştirilen) ya da anormal yaprak birikimi elde etmek amacıyla şelat oluşturan ajanların kullanıldığı türlerden oluşacağını vurgulayarak, veri tabanının kapsamını net bir şekilde tanımlamaktadır.

Son olarak (Faucon ve vd., 2007); yaprak örneklerinin toprak veya havadaki partiküllerle kirlenme potansiyeline dair özel bir dikkat gerektirdiğini belirtmektedir. Bu tür kirlenmeler, özellikle bakır, kobalt, kurşun ve krom açısından, tarihsel verilerde yanlış hiperakümülatör tanımlamalarının mühim bir nedeni olabilir. Bu durum, özellikle izabe tesislerine veya havadaki metal açısından zengin partiküllerle kirlenme riski yüksek aktif maden sahalarına yakın bölgelerde örneklenen bitkiler için geçerlidir. Orta Afrika'dan elde edilen bakır ve kobalt hiperakümülatör bitkilerine dair erken kayıtların çoğunun muhtemelen kirlenmiş materyallerle ilgili olduğu ifade edilmekte ve bu tür kirlenmelerin etkisini ortadan kaldırmak amacıyla yapılan deneylerin, bazı türlerde çok daha düşük konsantrasyon değerleriyle sonuçlandığı bilimsel olarak kanıtlanarak hiperakümülatör bitkilerin araştırmalarına destek sağlamaktadır. Bu çalışmalar, hiperakümülatör bitkilerin hem doğrudan hem de dolaylı olarak ağır

metal kirliliği ile mücadelede nasıl kullanılabileceğini göstermektedir. Fitoremediasyon süreçlerinde kullanılan bitkilerin çevre dostu bir yaklaşım olarak değerlendirilmesi, bu bitkilerin kirlilik kontrolünde potansiyellerini daha da vurgulamaktadır.

## **2.5 AĞIR METAL BİLEŞİKLERİNİN BİTKİLER ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ**

### **2.5.1 Çinko (Zn)**

Çinko, bitkilerde hayati öneme sahip olan birçok metabolik süreçte rol oynar. Protein ve karbonhidratların sentezine destek olmasının yanı sıra, enzimlerin etkinliğini artırarak fotosentez, solunum ve biyolojik membranların dayanıklılığı üzerinde de mühim etkiler yaratır. Bu yönleriyle Çinko, bitkilerin ürün verimliliğini ve kalitesini doğrudan etkileyen kritik bir elementtir. Yeterli Çinko seviyeleri, sağlıklı bitki gelişimini teşvik ederek daha yüksek ve nitelikli ürünlerin elde edilmesine katkı sağlar (Rout ve Das, 2003).

Topraklardaki toplam Çinko (Zn) seviyeleri genellikle 10-300 ppm arasında bulunurken, bitkilerin alabileceği Çinko miktarı 3.6-5.5ppm olarak belirlenmiştir. Normal bitki Çinko konsantrasyonları ise 5-100ppm aralığındadır. Çinkonun toksik etkileri, genellikle 400 ppm'in üzerinde görülebilmektedir. Bu durum, bitkilerin sağlıklı büyümesi için gerekli Çinko miktarının mühim olduğunu ve fazla Çinko alımının olumsuz sonuçlar doğurabileceğini göstermektedir (Özbek ve vd., 2004).

Artan Çinko dozlarının (kontrol, 1mm, 2.5mm ve 5mm) klorofil sentezi, miktarı ve dağılımı üzerindeki etkilerini belirlemek için yapılan bir çalışmada, *Solanaceae* familyasına ait *Datura* bitkisinin çeşitli türleri (*Datura innoxia*, *Datura metel*, *Datura sanguinea* ve *Datura tatula*) incelenmiştir. Sonuçlar, Çinkonun toksik etkilerinin türler arasında farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Özellikle 5 mm Çinko uygulanan bitkilerde klorofil içeriği, *D. Innoxia*'da %32, *D. sanguinea*'da %84, *D. metel*'de %89 ve *D. tatula*'da %83 oranında düşüş göstermiştir. Bu bulgular, Çinkonun bazı *Datura* türleri

üzerindeki olumsuz etkilerini vurgulamaktadır (Vaillant ve vd., 2005).

Yüksek Çinko seviyelerinin klorofil sentezine olumsuz etkisinin arkasında, bitkide yeterli demir olsa bile Çinkonun bu besin maddesinin kullanılmasını engellemesi yatmaktadır. Ayrıca, Çinko, klorofilin merkezindeki magnezyum atomunun yerini alarak klorofilin işlevini bozabilir. Bu durum, bitkilerin fotosentez kapasitesini ve genel sağlığını olumsuz yönde etkileyebilir (Van Assche ve Clijsters, 1990).

### **2.5.2 Bakır (Cu)**

Bakır kirliliği, insan faaliyetleri sonucunda oluşan emisyonlar, atmosferdeki birikintiler, pestisit kullanımı, kanalizasyon atıklarının gübre olarak değerlendirilmesi ve kömür ile maden çıkarma işlemlerinden kaynaklanmaktadır. Toprakta Bakır konsantrasyonu 100 mg/kg'ın, bitki kuru maddesinde ise 15-30mg/kg'ın üzerinde olduğunda toksik etkiler ortaya çıkabilir. Bakırın toksik etkileri genellikle bitkilerin kök sistemlerinde kendini gösterir ve bu durum, protein sentezi, fotosentez, solunum, iyon alımı ve hücre membran stabilitesi gibi temel fizyolojik olayların bozulmasına neden olur (Sossé ve vd., 2004). Artan Bakır düzeylerinin (kontrol, 1000ppm ve 2000ppm  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) toprak pH'ı ve bitki besin maddesi alımı üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla gerçekleştirilen bir çalışmada, yüksek Bakır dozlarının toprak pH'ını, değişebilir magnezyum ve bitkiye yararışlı demir seviyelerini azalttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, Toplam Azot (N), alınabilir Fosfor (P), değişebilir Potasyum (K), bitkiye yararışlı Çinko (Zn) ve Bakır (Cu) içeriklerinin ise arttığı gözlemlenmiştir. Bu bulgular, Bakır uygulamalarının toprak ve bitki besin dengesi üzerindeki karmaşık etkilerini ortaya koymaktadır (Sönmez ve vd., 2006).

### **2.5.3 Kadmiyum (Cd)**

Kadmiyum, tarım topraklarına endüstriyel faaliyetler, fosforlu gübre kullanımı, lağım atıkları ve atmosferik birikimlerle girmekte ve yayılmaktadır. Toprakta kadmiyum seviyesinin 3 mg/kg ve bitki kuru maddesinde 1mg/kg'dan

fazla olması, toksik etkilerin meydana gelmesine yol açmaktadır. Bu durum, kadmiyumun tarımsal ekosistemler üzerindeki potansiyel risklerini ortaya koymaktadır (Özbek ve vd., 1995).

Bitki ve topraklara ulaşan kadmiyumun büyük bir bölümü, havadaki kadmiyum içeren toz zerreciklerinin çökmesiyle oluşmaktadır. Özellikle trafiğin yoğun olduğu alanlarda, yol kenarındaki topraklarda yıllık olarak m<sup>2</sup> başına 0.2-1.0mg Kadmiyum ilavesi gözlemlenmiştir. Bu durum, hava kirliliğinin toprak ve bitki sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini ortaya koymaktadır (Haktanır, 1987).

**Tablo 2.2** Farklı Cinsteki Materyallerin Cd İçerikleri

<b>Materyal Cinsi</b>	<b>Kadmiyum Kapsamları (ppm)</b>
Kömür	1-2ppm
Motor Yağları	0,5ppm
Taşıt Lastikleri	20-90ppm
Süper Fosfat	38-48ppm
Ham Fosfatlar	31-90ppm
Yer Kabuğu (ortl.)	0,18ppm
Kirlenmemiş Bakir Topraklar	1ppm
Kirlilik Yükü Barındıran Topraklar	1-53ppm

#### **2.5.4 Kurşun (Pb)**

Kurşun, endüstriyel ve tarımsal uygulamalarda yaygın şekilde kullanıldığından çevrede sıkça karşılaşılan bir elementtir. Otomobil endüstrisinde bataryalar ve benzin katkıları için tetraetil ve tetrametil şeklinde kullanılması ve kurşun içeren pestisitlerin kullanımı, bu elementin topraklara sızmasına yol açmaktadır. Kurşun, bitkilerin büyümesi için zorunlu bir madde değildir ve toprakta genellikle 15-40ppm seviyelerinde bulunur. Bu konsantrasyon 150ppm'i aşmadığı sürece insan ve bitki sağlığı için ciddi bir

tehlike oluşturmaz; ancak 300ppm'i geçtiğinde insan sağlığı açısından riskli hale gelmektedir (Dürüst ve vd., 2004).

Kurşun, bitkilerin su rejimini çeşitli şekillerde olumsuz etkiler. Hücre turgorunu ve hücre duvarı stabilitesini bozarak stoma hareketlerini ve yaprak alanını azaltır, bu da su kaybını artırır. Ayrıca, kurşunun kökler tarafından tutulması, kök gelişimini engelleyerek bitkilerin katyon ve anyon alımını kısıtlar. Bu durum, besin alımını olumsuz etkileyerek bitkilerin genel sağlığını tehlikeye sokar (Sharma ve Dubey, 2005).

Kurşun elementi, bitki köklerinde sürgünlere göre daha fazla birikim yapmaktadır. 10 ve 20 günlük dönemlerde kum kültüründe çeltik bitkisi yetiştirilerek yapılan deneylerde, 500 ve 1000µM Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> uygulanan bitkilerde kök büyümesinin %22-42, sürgün büyümesinin ise %25 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, kökler tarafından alınan kurşun miktarının, sürgünlerden 1.7-3.3 kat daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar, kurşunun köklerde daha fazla birikerek bitki büyümesi üzerinde olumsuz etkiler yarattığını göstermektedir (Verma ve Dubey, 2003).

Nikel, bitkilerde şelat bileşikleri oluşturarak ağır metallerle yer değiştirme yeteneğine sahiptir. Üreaz ve birçok hidrogenaz enziminin metal yapısında yer alan Nikel, bitkilerin enzimatik işlevlerinde mühim bir rol oynar. Nikel içeriği düşük olan bitkiler, üre şeklinde uygulanan Azotlu gübrelere etkili bir şekilde yararlanamaz ve bu gübreler bu bitkilere toksik etkiler de yaratabilir. Bu durum, Nikelin bitkilerin beslenme süreçlerindeki kritik rolünü göstermektedir (Kacar ve Katkat, 2006).

### **2.5.5 Krom (Cr)**

Krom, kök hücrelerinin bölünme ve uzama yeteneklerini engelleyerek kök gelişimini olumsuz etkiler. Bu etki, topraktan alınan besin maddeleri ve su miktarının azalmasına yol açar, dolayısıyla bitkinin büyüme ve gelişimi kısıtlanır. Sonuç olarak, bu durum verim ve kalite açısından mühim bir düşüşe neden olabilir. Kromun bu olumsuz etkileri, tarımsal üretkenlik ve ürün kalitesi

üzerinde ciddi sonuçlar doğurabilir (Khan ve vd., 2000).

Bitki bünyesinde toksik seviyelere ulaşan krom, öncelikle tohum çimlenmesini olumsuz etkiler. Krom, amilaz aktivitesini azaltarak ve embriyoya şeker taşınmasını engelleyerek tohum çimlenmesini kısıtlar, ayrıca proteaz aktivitesini artırarak bu süreci daha da zorlaştırır. Yapılan bir çalışmada, toprakta 500ppm Cr<sup>+6</sup> bulunmasının fasulye tohumlarının çimlenmesini %48 oranında azalttığı, 20 ve 80ppm Cr<sup>+6</sup> seviyelerinin ise şeker kamışında tomurcuk çimlenmesini %32-57 oranında etkilediği belirlenmiştir. Bu sonuçlar, kromun bitki gelişimi üzerindeki zararlı etkilerini gözler önüne sermektedir (Jain ve vd., 2000).

#### **2.5.6 Nikel (Ni)**

Nikel (Ni), bitkiler için mühim bir mikro besin elementi olmasına rağmen, yüksek seviyeleri zararlı etkiler yaratabilir. Nikel, belirli bir miktarda bitkiler için gereklidir, ancak aşırı varlığı ciddi sorunlar yaratabilir. Tarımsal üretim ve çevre sağlığı açısından Nikel kirliliğinin izlenmesi, mühim bir konudur. Bu nedenle, topraktaki Nikel seviyelerinin düzenli olarak kontrol edilmesi ve yönetilmesi büyük önem taşımaktadır.

## BÖLÜM 3

### 3. MATERYAL VE METOD

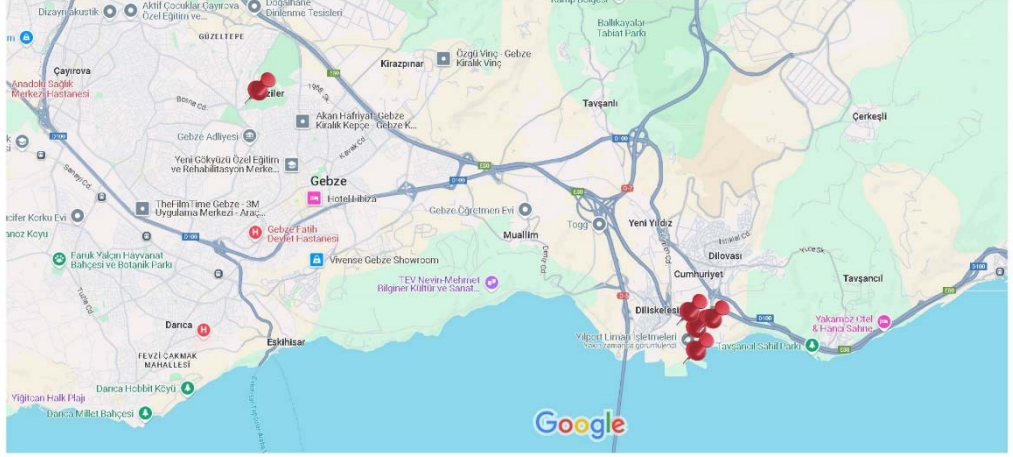
Thompson, 1997 tarafından yapılan derlemede, yaklaşık 400 bitkinin ağır metalleri toplayarak toprağı temizleme yeteneğı olduğu belirtilmektedir. Bu bağlamda, hiperakümülatör özelliklere sahip bitkilerin yoğunlukta bulunduğu familyalar şunlardır: *Asteraceae*, *Brassicaceae*, *Caryophyllaceae*, *Cyperaceae*, *Cunouniaceae*, *Fabaceae*, *Flacourtiaceae*, *Lamiaceae*, *Poaceae*, *Violaceae* ve *Euphobiaceae*.

Türkiye florasıyla ilgili birçok çalışma yapılmış olsa da, en kapsamlı referans niteliğindeki eser, (Davis, 1985) tarafından kaleme alınan "Türkiye ve Doğı Ege Adaları Florası"dır.

Çalışmanın amacı, referans olarak seçilen temsili noktalarda hiperkümülatör bitkilerin tanımlanarak, bölgenin yapısındaki değışikliklerin nedeni ölçüde düzenleyici/önleyici etkilere sebebiyet verdiğinin belirlenmesini amaçlamaktadır. Bu bağlamda, örnek ülkelerde gerçekleşen çalışmalar referans alınarak, Türkiye'de uyarlanabilir ve kullanılabilir rekreasyon sisteminin tanımlanabilirliğini ve uygulanabilirliğini sağlayarak, gelecekteki potansiyel alanlarda tez çalışmasının uygulanabilirliğini ve öncü olabirliğinin sağlanması hedeflenmektedir.

#### 3.1 UYGULAMA ALANI SEÇİMİ

Toprak ve bitki Örnekleri, bölgenin kayaç yapısı ve ortam hava kalitesinin izlenebilmesi maksadıyla indikatör olarak belirlenebilmektedir. Ayırıcı fark olarak Örnek alanlarının dışında ve hâkim rüzgâr yönün tersine seçilen referans alanda, uygulama alanına 19,47km uzaklıkta seçilmiş olup, bölgenin yükünün gerektirdiğı koşulları içermemesi açısından referans tayin edilmiştir.



Harita verileri ©2025 1 km

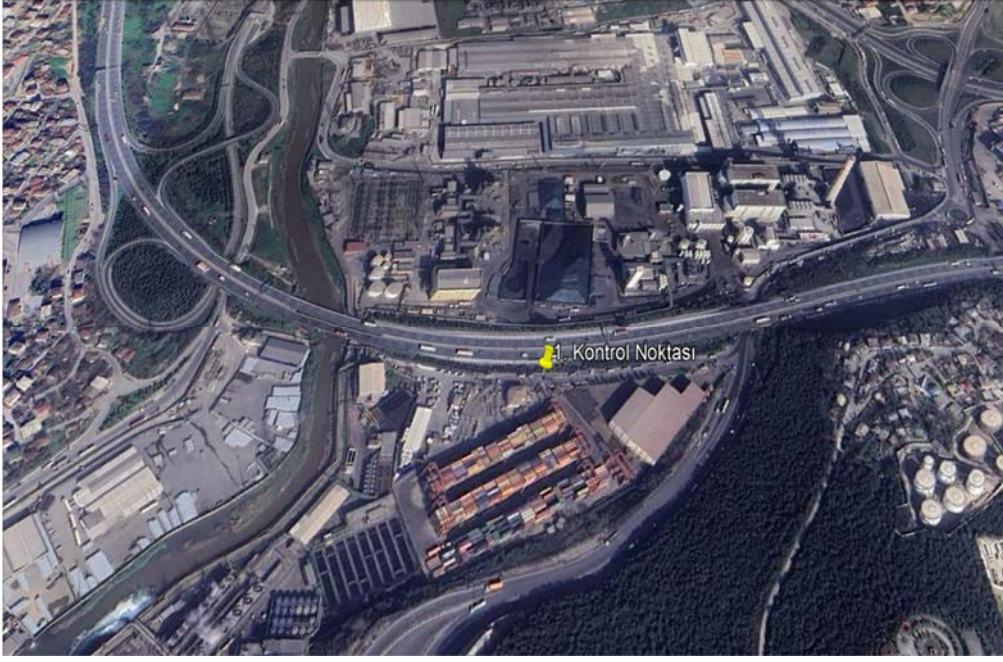
### Şekil 3.1 Örnekleme Noktalarının Harita Düzleminde Gösterilmesi.

Bu bağlamda, çalışma alanının değerlendirilmesi ve irdelenmesi amacıyla uygulama alanı olarak seçilen bölgelerin koordinatları aşağıda listelenmiştir (Tablo 3.1);

**Tablo 3.1** Uygulaması Yapılan Alanların Koordinat Bilgiler

Uygulama Alanı İsimleri	Koordinat Düzlemleri	
1. Kontrol Alanı	40°46'30.95"K	29°32'3.63"D
2. Kontrol Alanı	40°46'25.62"K	29°32'6.85"D
3. Kontrol Alanı	40°46'10.88"K	29°31'53.94"D
4. Kontrol Alanı	40°46'46.92"K	29°32'20.66"D
Referans Kontrol Alanı	40°50'0.88"K	29°18'46.92"D

Çalışmaların gerçekleştiği alanların uydu görüntüleri aşağıdadır;



**Şekil 3.1** 1 No'lu Uygulama Alanı



**Şekil 3.2** 2 No'lu Uygulama Alanı



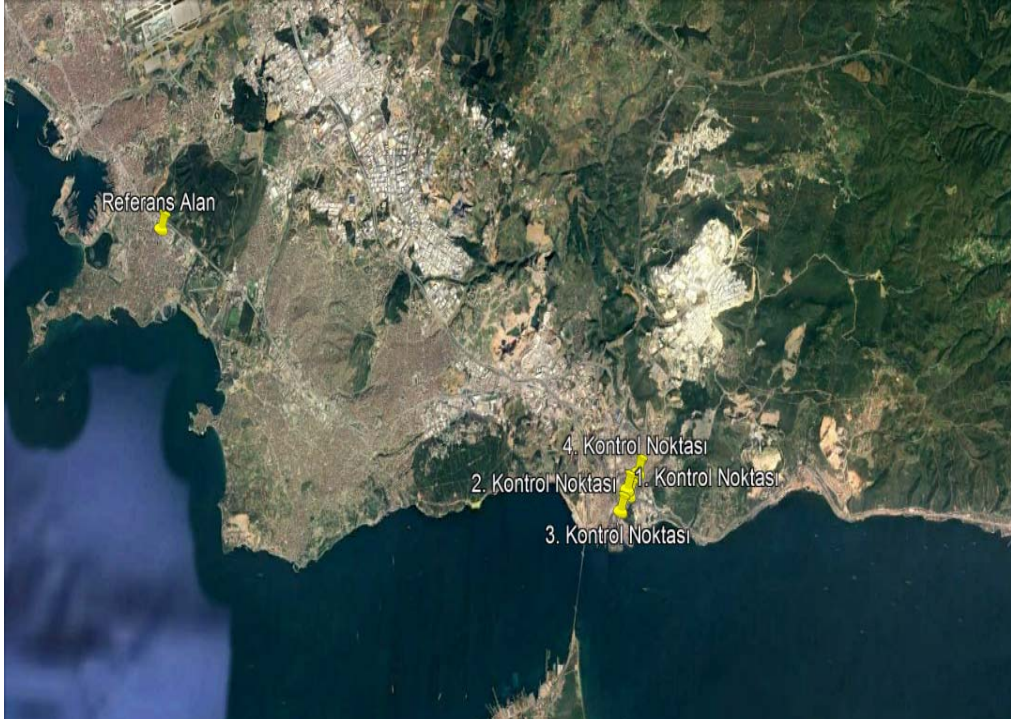
Şekil 3.3 3 No'lu Uygulama Alanı



Şekil 3.4 No'lu Uygulama Alanı



Şekil 3.5 Referans Noktası Uygulama Alanı



Şekil 3.6 Tüm Uygulama Alanlarının Uydu Gösterimi

Bu çalışmada, Kocaeli-Dilovası bölgesinde ki metal kirliliğinin toprak ve bitki yapılarındaki etkisini kontrol etmek amacıyla dört farklı bölgeden alınan örnekler incelenmiştir. Örneklerin analizi için, uzak referans noktası belirlenmiş ve bu noktalar hem izlenebilirlik hem de ulaşım kolaylığı göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Bu çalışma, bölgedeki kirlilik yükünün izlenmesine katkı sağlayacak göstergeler sunmayı hedeflemektedir.

Çalışma için seçilen bitki türlerinde ve bölgenin seçiminde etkili olan unsur, sahanın 10 yıllık fenolojik gözlem esnasında bölgeye uyum sağlayan ve uyum sağlayamayıp yaşamını yitiren bitki türlerinin incelenmesidir.

Bölgede değişik zaman dilimlerinde dikilen bitki türleri aşağıdaki tabloda yer almaktadır. Dikilen bu bitkilerin tamamında toprak özelliği aynı ve periyodik bakımları 1 hafta aralıklara düzenli yapılmıştır.

**Tablo 3.2** Çalışma Bölgesinde Gözlemlenen Bitki Türleri

<b>BİTKİ TÜRLERİ</b>	<b>BİTKİ GELİŞİMİ</b>	
<i>Cupressocyparis leylandii</i> (Melez servi)	Başarılı değil	Kuruma gözlendi
<i>Cupressus macrocarpa</i> (Limoni servi)	Başarılı değil	Kuruma gözlendi
<i>Thuja orientalis</i> (Doğu mazısı)	Başarılı değil	
<i>Bambusa aurea</i> (Bambu)	Başarılı	Bitki gelişimi normal ilerledi
<i>Lagerstromia indica</i> (Oya Ağacı)	Başarılı değil	Kuruma gözlendi
<i>Olea europaea</i> (Zaytin)	Başarılı	Bitki gelişimi normal ilerledi
<i>Tilia tomentosa</i> (Gümüşi ihlamur)	Başarılı	Bitki gelişimi normal ilerledi
<i>Ligustrum vulgare</i> (Kurtbağrı)	Başarılı	Bitki büyümesinde yoğun gelişme oldu

**Tablo 3.2** Çalışma Bölgesinde Gözlemlenen Bitki Türleri (Devamı)

<b>BİTKİ TÜRLERİ</b>	<b>BİTKİ GELİŞİMİ</b>	
<i>Lavandula angustifolia</i> (Lavanta )	Başarılı	Bitki gelişimi normal ilerledi
<i>Pittosporum tobira</i> (Pitos)	Başarılı	Bitki gelişimi normal ilerledi
<i>Buxus sempervirens</i> (Şimşir)	Başarılı	Bitki gelişimi normal ilerledi
<i>Viburnum tinus</i> (Yaprak dökmeyen kartopu)	Başarılı	Bitki gelişimi normal ilerledi
<i>Cortaderia sellona</i> (Pampas)	Başarılı değil	Kuruma gözlendi
<i>Mesembryanthemum roseum</i> (Acem halısı)	Başarılı değil	Kuruma gözlendi
<i>Nerium oleander</i> (Zakkum)	Başarılı	Bitki gelişimi normal ilerledi
<i>Parthenocissus quinquefolia</i> (Amerikan sarmaşığı)	Başarılı	Bitki gelişimi normal ilerledi
<i>Abelia grandiflora</i> (Abelya)	Başarılı	Bitki gelişimi normal ilerledi
<i>Chrysanthemum</i> (Kasımpatı)	Başarılı değil	Kuruma gözlendi

### 3.2 ÖRNEK BİTKİLER

Bu çalışmanın amacı, peyzaj düzenlemelerinde hiperakümülatör bitkiler kullanarak topraktaki ağır metal kirliliğini azaltmaktır. Bu doğrultuda, toprak örnekleri alınarak, ağır metal birikimini izlemek için *Olea europaea*. (zeytin türü) ,*Ligustrum vulgare* (kurtbağrı) ve *Tilia tomentosa* bitkileri kullanılmıştır. Bu bitkilerin topraktaki kirlleticileri nasıl etkilediği ve kirliliği ne derece azalttığı incelenmiştir.

### 3.2.1 *Olea europaea*

Zeytin ağaçları, yapraklarını dökmeyen, çok uzun ömürlü ve yaklaşık 15 metreye kadar boylanabilen bitkilerdir. Yapraklarının üst yüzeyi koyu yeşil, alt yüzeyi ise gümüşü bir renktedir ve yapraklar karşılıklı dizilir. Küçük ve açık yeşil renkteki çiçekleri, yaprakların dip kısmında salkım şeklinde toplanır. En bilinen zeytin türü *Olea europaea* olup, bu ağaç Anadolu kökenlidir ve zamanla Yunanistan, İtalya, İspanya, Fransa ve Afrika'ya yayılmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 *Olea europaea* (Nacak, H., 2024)

Zeytin ağaçları, kış sıcaklıklarının  $-8^{\circ}\text{C}$ 'nin altına düşmediği bölgelerde yetişir ve deniz seviyesinden 400 metreyi aşan yüksekliklerde nadiren görülür. Sarımtırak renkli, sert ve esmer damarları olan odunu, özellikle ahşap işçiliğinde kullanılır. Ağaçlar, tohum ya da çelikleme yöntemiyle çoğaltılabilir.

Botanikte, zeytin ağacı "ölümsüz" olarak nitelendirilir; çünkü ağaç yaşlanıp zayıflasa da, köklerinden çıkan yeni sürgünler sayesinde gövdesi yenilenir ve varlığını sürdürür.

Âlem: Plantae

Bölüm: Magnoliophyta (Kapalı tohumlular)

Sınıf: *Magnoliopsida* (İki çenekliler)

Takım: *Lamiales*

Familya: *Oleaceae* (Zeytingiller)

### 3.2.2 *Ligustrum vulgare*

Kurtbağrı, 3 metreye kadar boylanabilen, yapraklarını kısmen döken bir çalıdır ve gri renkte pürüzsüz bir kabuğa sahiptir. Genç dalları tüylü olup, olgunlaştıkça grimsi kahverengi tonlara bürünür. Yaprakları eliptik ya da ters yumurta şeklinde olup, 2,5–5cm uzunluğunda ve 0,8–2,1 cm genişliğindedir. Kısa saplı ve genellikle tüysüz olan bu yapraklar, parlak bir yapıya sahiptir. Çiçek salkımları 3–6cm uzunluğunda, tüylü ve bileşik yapıdadır. Güzel kokulu çiçeklerinin taç yaprakları 4–5mm boyundadır. Meyveleri ise 3–8 mm çapında, parlak siyah renkte, küre şeklindedir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 *Ligustrum vulgare* (Nacak, H., 2024)

Bu bitki türü, yaprak döken ya da karışık ormanlarda, açık çalılıklarda ve nemli bölgelerde yetişir. Kireçli topraklara uyum sağlar ve deniz seviyesinden 1500 metre yüksekliğe kadar olan bölgelerde bulunabilir. Mayıs ayında filiz veren dallar, Haziran ayında çiçeklenme gösterirler.

Kurtbağrı, Türkiye başta olmak üzere, Orta ve Güney Avrupa, Kuzey Afrika ve Güneybatı Asya'da yaygındır. Türkiye'de özellikle park ve bahçelerde çit bitkisi olarak kullanılır. Sert, dik gövdesi ve gri-kahverengi kabuk yapısıyla dikkat çeker. Kremsi beyaz çiçekleri ve parlak yeşil yaprakları nedeniyle peyzaj düzenlemelerinde sıklıkla tercih edilir (Yaltırık, 1978).

### 3.2.3 *Tilia tomentosa*

*Tilia tomentosa*, halk arasında "gümüş ıhlamur" olarak bilinen bir ağaç türüdür ve ıhlamurgiller familyasındandır. İşte bu ağaca dair bazı temel özellikler:

Yapraklar: Yaprakları kalp biçiminde olup, kenarları ince dişlidir. Alt yüzeylerindeki sık tüylenme nedeniyle beyazımsı bir renge sahiptir ve bu özellik, ağacın "gümüş" olarak anılmasını sağlar (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 *T. tomentosa* (Nacak, H., 2024)

Çiçekler: Yaz aylarının başında açan, hoş kokulu, sarı-beyaz renkli çiçekleri bulunur. Bu çiçekler, yüksek miktarda nektar içerdiği için arılar tarafından yoğun ilgi görür ve dolayısıyla bal üretiminde mühim bir yer tutar.

Boy: Gümüş ihlamur, genellikle 20 ila 35 metre arasında boylanabilir ve parklar ile yol kenarlarında sıklıkla süs ağacı olarak yetiştirilir.

Kullanım Alanları: Çiçekleri ve yaprakları, bitkisel çay yapımında ve alternatif tıpta kullanılmaktadır. Ayrıca, ağacın odunu, ahşap işçiliği ve mobilya yapımında da değerlendirilmektedir.

Kentsel ortamlara uyum sağlayabilen ve kirli hava koşullarına karşı dayanıklılığı ile bilinen bu ağaç, şehir peyzajlarında sıklıkla tercih edilmektedir.

### 3.3 ÖRNEKLERİN TOPLANMASI

Örnekler, 4 farklı noktada çalışma alanı ve 1 referans bölgesi seçilerek, tanık Örneklerde bölge alanında yoğunluk oluşturacak ve genel kirliliğin insani faaliyetler ve doğal koşullar neticesinde oluşabilecek metal yükü barındıran birikim yaratacak noktalardan örnekler toplanmıştır (Şekil 3.10).



**Şekil 3.10** 1 No'lu Örnek Sahası Örnek Toplama Görselleri (Nacak,H., 2024)

Örneklerin toplanmasında;

- Budama makası
- El küreği (Bahçe küreği)
- Kök Çıkarıcı (Weeder)
- Dikim şişi (Fide Sökücü)
- Toprak Örneksi alma aparatı (karot) el aletlerinden faydalanılmıştır.

1. Kontrol noktasından (Şekil 3.11), karot Örneksi ile paçal yapılan toprak örneği, budama makası yardımıyla *Tilia tomentosa* ve *Ligustrum vulgare* örnekleri,



**Şekil 3.11** 1 No'lu Saha Görseli (Nacak, H., 2024)

2. Kontrol alanında (Şekil 3.12), toprak, *Olea europaea*. ve *Ligustrum vulgare* örneklerinin alındığı saha



**Şekil 3.12** 2 No'lu Saha Görsele (Nacak, H., 2024)

3. ve 4. Kontrol alanında (Şekil 3.12 ve Şekil 3.14), karot ile paçal yapılan toprak örneği ve *Ligustrum vulgare* örnekleri,



**Şekil 3.13** 3'No'lu Saha Örneği (Nacak, H., 2024)

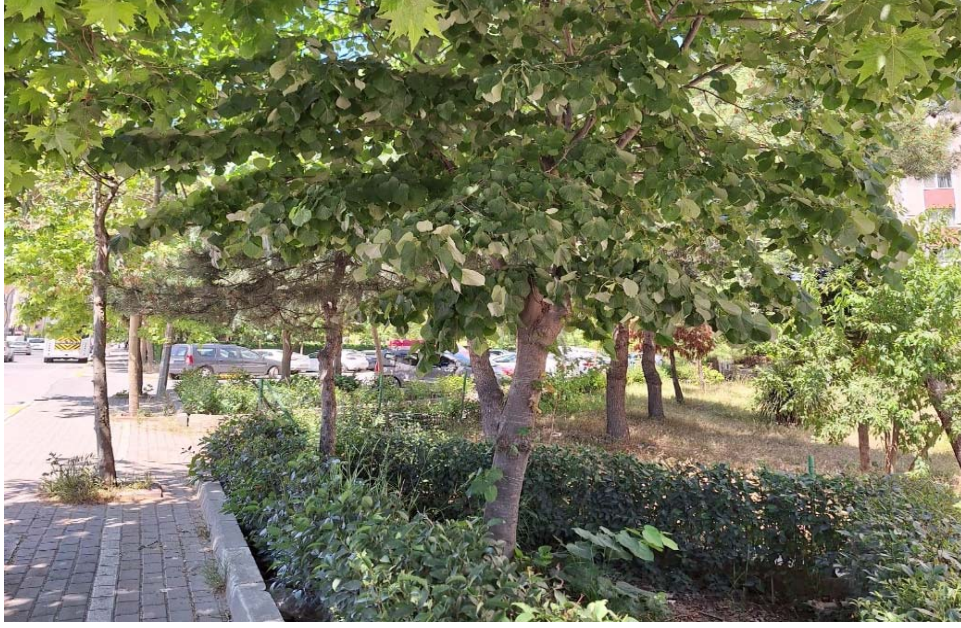


**Şekil 3.14** 4 No'lu Saha Görsele (Nacak, H., 2024)

Referans noktası olarak temsil edilen izleme alanında (Şekil 3.15 ve Şekil 3.16) paçal yapılan toprak örneği ve *Ligustrum vulgare*, *Tilia tomentosa* ve *Olea europaea* örnekleri toplanmıştır.



**Şekil 3.15** Referans Sahası Örnek Toplama (Nacak, H., 2024)



**Şekil 3.16** Referans Sahası Görseli (Nacak, H., 2024)

Örnek olarak toplanan bitki yaprak ve dalları ile toprak numuneleri Şekil 3.17'de gösterilmiştir;



**Şekil 3.17** Toplanan Örneklerin Gösterimi (Nacak, H., 2024)

### **3.3.1 Örneklerin Labaratuvara Teslimi**

Toplanan örnekler, taşıma sırasında oluşabilecek herhangi bir kontaminasyonu önlemek amacıyla kilitli poşetler içerisine yerleştirilmiştir. Örneklerin bozulmasını engellemek ve doğru bir şekilde tanımlanmasını sağlamak için poşetlerin üzerine isim, koordinat ve bölge bilgileri not edilmiştir. Analizlerde kullanılmak üzere hazırlanan bu örnekler, Çinko (Zn), Bakır (Cu), Kurşun (Pb), Krom (Cr) ve Nikel (Ni) analizlerinin yapılması amacıyla, Türkak Akreditasyon belgesine sahip olan Barem Çevre Laboratuvar Hizmetleri firmasına güvenli bir şekilde teslim edilmiştir. Bu şekilde, örneklerin taşınması ve analiz süreçleri, uluslararası kalite standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

### **3.3.2 Analiz Aşaması**

TÜRKAK Akreditasyon belgesine sahip Barem Çevre Laboratuvar Hizmetleri firmasına teslim edilen örnekler, ağır metal analizlerinin yapılması amacıyla Thermo ICP-MS cihazı kullanılarak kütle spektrometresi yöntemi ile incelenmiştir. Analiz öncesinde, doğru ve güvenilir sonuçlar elde edebilmek için örnekler bir dizi ön işleme tabi tutulmuştur. Bu işlemler, kontaminasyon riskini minimuma indirmek ve analiz sürecinde elde edilecek verilerin doğruluğunu sağlamak amacıyla özenle gerçekleştirilmiştir.

### **3.3.3 Ağır Metal Analizlerinin Ön İşlem Basamakları**

Ağır metal örneklemelerinde kullanılan ön işlem basamakları, katı ve sıvı fazdan özütleme yöntemlerine göre sınıflandırılmaktadır. Bu yöntemlerin temel amacı, örnekte bulunan metal konsantrasyonlarını kimyasal işlemlerle madde yapısından ayırarak sıvı faza geçirmektir. Böylece, metaller sıvı faza alındıktan sonra uygun asitleştirme konsantrasyonları kullanılarak, analiz yapılacak cihaza sıvı halde verilir. Bu işlem, örneğin metal içeriğinin doğru ve güvenilir bir şekilde belirlenmesini sağlar.

Thermo ICP-MS cihazının çalışma prensibi, Örnekteki metal iyonlarının

nitrik asit ile aktifleştirilmesi ve ardından bu iyonların cihaza verilerek algoritmik olarak okunması ve sayısal verilere dönüştürülmesi üzerine kuruludur. Bu bağlamda, katı veya emdirilmiş metal içeriği taşıyan maddelerin doğru bir şekilde analiz edilebilmesi için bir dizi ön işlem basamağının uygulanması gerekmektedir. Bu işlemler, metal içeriğinin güvenilir ve doğru bir biçimde belirlenmesine yardımcı olur.

### **3.3.4 Toprak Konsantrasyonlarının TS EN 12457-4 Metodu İle Ön İşlemi**

TS EN 12457-4 standardı, katı atıkların nitelendirilmesi amacıyla granül katı atıklar ve çamurların sıvıdan özütleme analizi için uygunluk deneyi sunmaktadır. Bu standart, sıvı-katı oranı 10 L/kg olan ve parçacık boyutu 4mm'den küçük, yüksek katı madde içeren malzemeler için tek aşamalı bir parti deneyine odaklanmaktadır.

Deney kapsamında kullanılan Örnek malzemesi, ya orijinal haliyle ya da ön işlem sonrası belirtilen şartlar altında su ile temas ettirilir ve boyutunun 10 mm'nin altında olması gerekir. Bu Avrupa standardı, test süresince sıvı ve katı fazlar arasında dengeli bir durumun sağlandığı varsayımına dayanmaktadır. Katı kalıntılar, filtrasyon yöntemi ile ayrıştırılır. Elde edilen özütlemenin özellikleri, özütleme analizinde kullanılan kriterlere uygun olarak, su analizi için geliştirilen yöntemler ile belirlenir.

Testin tamamlanmasının ardından, süzme (sızıntı) şartları pH, atığın iletkenliği (kondaktivite) ve isteğe bağlı olarak redoks potansiyeli açısından kaydedilir. Tüm analizler, oda sıcaklığında ( $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ ) yapılmalıdır. Analiz için en az 2 kg Örnek kullanılmakta olup, bu Örnek konik bir kap içerisine yerleştirilir ve parçalar halinde bölünür.

Analizlerde kullanılan malzemenin en az %95'inin tane boyutunun 10mm'den küçük olması gerekmektedir. Bu nedenle, Örneğin elekten geçirilmesi önemlidir. Eğer malzemenin %5'inden fazlası 10 mm'den büyükse, bu parçalar bir kırıcı ile ufaltılır. Kırılmayan malzemeler (metalik parçalar, vida, somun, civata vb.) ayrıştırılır, tartılır ve doğal durumu kaydedilir. Eğer Örnekdeki parçalar nem nedeniyle kırılmıyorsa,  $400^{\circ}\text{C}$ 'yi geçmeyecek şekilde

kurutma işlemi yapılır.

Kuru kalıntı ve su içeriğinin belirlenmesi, aşağıdaki formül kullanılarak gerçekleştirilir. Bu ölçüm, diğer işlemlerle birlikte aynı anda yapılır. Kuru madde oranı ise şu şekilde hesaplanır:

$$DR = 100 \times MD/MW$$

$$DR = \% \text{ kuru madde oranı}$$

$$MD = \text{Kurutulmuş Örneğin ağırlığı, kg}$$

$$MW = \text{Kurutulmamış Örneğin ağırlığı, kg}$$

Nem oranı ise aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$MC = 100 \times (MW - MD)/MD$$

$$MC = \text{Nem oranı, \%}$$

Belli bazı durumlarda, özellikle çok fazla uçucu organik bileşen bulunan veya istikrarsız örnekler söz konusu olduğunda, hesaplanan nem oranı güvenilir olmayabilir. Bu tür durumlarda, gerçek su miktarının doğrudan belirlenmesi önemlidir. Bu ölçümden hareketle, nem oranı daha doğru bir şekilde hesaplanmalıdır. Bu yöntem, elde edilen sonuçların geçerliliğini artıracaktır.

### **3.3.5 Alınacak Örnek Miktarının Hesaplanması**

Analiz için hazırlanan örnek, 0,090kg±0,005kg kuru madde (MD) içermektedir. Örneğin parçalanması amacıyla bir kırıcı kullanılabilir.

$$MW = 100 \times MD/DR$$

$$DR = \% \text{ kuru madde yüzdesi}$$

$$MD = \text{Kurutulmuş Örnek ağırlığı, kg}$$

$$MW = \text{Kurutulmamış Örnek ağırlığı, kg}$$

### **3.3.6 Ağır Metal Analizlerinin Yapılması**

#### **3.3.6.1 Partikül Boyut Azaltma (Redüksiyon)**

Laboratuvar testlerinde kullanılacak malzemenin en az %95'inin kütle olarak 10mm'den küçük tanecik boyutuna sahip olması gerekmektedir. Bu nedenle, laboratuvar örneği uygun şekilde elenmelidir. Eğer büyük boyutlu

(oversize) materyalin kütlesi %5'i geçiyorsa, bu materyalin tamamı bir küçültme ekipmanı ile işlenmelidir.

Ufaltılmayan parçalar (örneğin somunlar, civatalar, hurdalar) ayrı olarak ayrılmalı ve bu malzemelerin ağırlığı ile özellikleri kaydedilmelidir. Uygulanan boyut küçültme yöntemi, test raporunda belirtilmeli ve belgelenmelidir.

Herhangi bir boyut küçültme işlemi gerekirse, ufaltılmayan malzeme hariç, farklı fraksiyonlar birleştirilerek test örneği oluşturmak için kullanılabilir. Eğer laboratuvar Örneği, içindeki nem sebebiyle elenemez veya küçültülemezse, bu durumda sadece laboratuvar Örneğinin kurutulmasına izin verilmelidir. Kurutma işlemi, 40°C'yi geçmemelidir.

### 3.3.6.2 Parçalama Aşaması

Analiz için kullanılan Örnek, kuru madde (MD) olarak 0,090 kg±0,005 kg ağırlığında olmalıdır. Bu Örnek, inceleme süreci için uygun bir şişeye yerleştirilir. Ekstraksiyon aşamasında, Örnek ile sıvı arasındaki oran (S/K) 10 l/kg ± %2 olacak şekilde distile su ilave edilmelidir. Bu aşamada, katı ve sıvının tamamen karıştığından emin olmak önemlidir.

$$L = (10 - MC/100)XM_D$$

L = Kullanılan distile suyun miktarı, l

MC = Nem oranı, %

M<sub>D</sub> = Kurutulmuş Örneğin ağırlığı, kg

Şişenin kapağı sıkıca kapatıldıktan sonra, Örnek çalkalayıcıya yerleştirilir. Çalkalama işlemi, 24 saat ± 0,5 saat boyunca gerçekleştirilmelidir. Ekstraksiyon sırasında, şişedeki katı parçacıkların çökmesini engellemek için dikkatli olunması önemlidir. Aşırı çalkalama, bazı partiküllerin kaybolmasına neden olabilir. Bazı Örnekler ıslak haldeyken gaz üretebilir; örneğin, atık yakma tesislerinde bulunan küller ve metal parçalar içeren atıklar bu duruma örnek teşkil eder. Eğer gaz emisyonu oluşuyorsa, yüksek basıncı azaltmak amacıyla şişenin kapağı birkaç dakika boyunca dikkatlice açılabilir.

### 3.3.6.3 Katıdan Sıvıya Ayırıştırma Aşaması

Örneklerin katı bileşenlerinin çökmesini sağlamak için  $15 \pm 5$  dakika süreyle bekletilir. Ardından,  $0,45 \mu\text{m}$  membran filtre kullanarak vakumlu veya basınçlı filtrasyon cihazı ile özütlemeye elde edilir. Uçucu organik bileşiklerin analizi yapılacaksa, vakumlu filtrasyon kullanılmamalıdır. Filtrasyon işleminin süresi en az 1 saat olmalıdır. Elde edilen özütlemeye akış hızı, en az  $30 \text{ ml/cm}^2/\text{saat}$  olmalıdır. Filtrelenmiş özütlemeye hacmi ölçülmeli ve hemen ardından konduktivite (suyun iletkenliği) ( $\text{mD/m}$ ), sıcaklık ve pH değerleri belirlenmelidir.

Filtrasyon öncesinde önce filtrasyon yapıp ardından santrifüj uygulamak önerilir. Bu özel sıvı-katı ayırma süreci, çökeltme, kaba filtreleme, ön filtrasyon, santrifüjleme, büyük boyutlu membran filtrasyonu, yüksek basınç altında filtrasyon ve basınçsız bir periyottan sonra artan yüksek basınçta filtrasyon gibi adımları içermelidir.

### 3.3.6 Özütlemeye ( Eluat ) Hazırlama

Çeşitli kimyasal analizler gerçekleştirilirken, örneklerin saklama koşulları dikkate alınarak uygun şekilde bölünmesi ve depolanması sağlanır.

Süzme prosedürünün doğrulanması amacıyla boş bir test uygulanmalıdır. Bu testte, özütlemeye içerisindeki her elementin konsantrasyonu, test edilen atığın özütlemesinde belirlenen konsantrasyonun %20'sinden daha az olmalıdır. Alternatif olarak, özütlemeye konsantrasyonu, karşılaştırma yapılan ölçüm sonucunun limit değerinin %20'sinden düşük olmalıdır. Dikkate alınması gereken elementler, test edilen atığın özütlemesinde bulunan tüm elementleri içermelidir.

Süzme işlemiyle elde edilen özütlemeye analizi, içindeki unsurların  $\text{mg/l}$  cinsinden konsantrasyonlarını sağlar. Nihai sonuçlar, kuru maddenin  $\text{mg/kg}$  olarak, Örneklerin toplam kütlelerine göre süzülen unsurların miktarı şeklinde ifade edilir.

### **3.3.7 Cihaz Okumaları**

Thermo ICP-MS cihazında, rak (Örnek alma küveti) yuvalarına yerleştirilen sıvı örnek, cihazın en iyi çalışma koşulları sağlandıktan sonra önce boş (blank) örneğin okunmasıyla başlar. Ardından, sıvı örnekler okunarak sonuçlar elde edilir. Sonuçlar, sıvı formda cihaza verilen numuneler için mg/L cinsinden, katı örneklerin özütlenmesi yoluyla elde edilen hesaplamalarda ise mg/kg cinsinden raporlanmaktadır.

## BÖLÜM 4

### 4. BULGULAR

#### 4.1 AĞIR METAL ANALİZ SONUÇLARI

Aşağıda Barem Çevre Lab. Hiz. ait laboratuvar ağır metal analiz sonuçları verilmiştir;

**Tablo 4.1** Ağır Metal Sonuçlarının Alanlara Göre Dağılımı

Sonuç Değerleri Birimi (mg/kg)									
Bölge	Firma Kodu	Örnek Adı	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	Ba	Pb
1 No'lu Alan	KD276	T.tomentosa	22,30	36,25	17,19	21,84	131,74	98,98	15,80
	KD277	L. vulgare	12,55	56,49	8,21	27,28	80,40	159,58	17,62
	T601	Toprak	16,43	366,73	48,70	19,64	56,51	291,98	28,06
2 No'lu Alan	KD278	Olea europaea	10,87	40,60	32,87	20,54	63,80	258,10	19,33
	KD279	L. vulgare	1,42	25,76	7,56	7,09	29,77	265,12	2,60
	T602	Toprak	169,46	1328,83	217,72	79,15	225,01	1264,05	85,16
3 No'lu Alan	KD280	L. vulgare	26,55	86,77	14,26	29,50	121,44	384,96	35,64
	T603	Toprak	135,43	958,72	139,14	48,93	216,25	1604,85	163,17
4 No'lu Alan	KD281	L. vulgare	3,31	42,73	4,72	17,00	127,24	268,18	22,90
	T604	Toprak	42,55	824,12	322,35	173,53	225,69	627,45	72,94
	KD282	Olea europaea	4,54	39,22	11,48	17,22	36,59	226,90	16,26
Referans Alan	KD283	T.tomentosa	8,26	35,23	9,13	20,05	56,55	97,26	8,05
	KD284	L. vulgare	2,47	21,94	2,72	4,44	43,62	120,40	5,47
	T605	Toprak	11,42	147,43	38,41	19,52	25,54	430,86	15,78

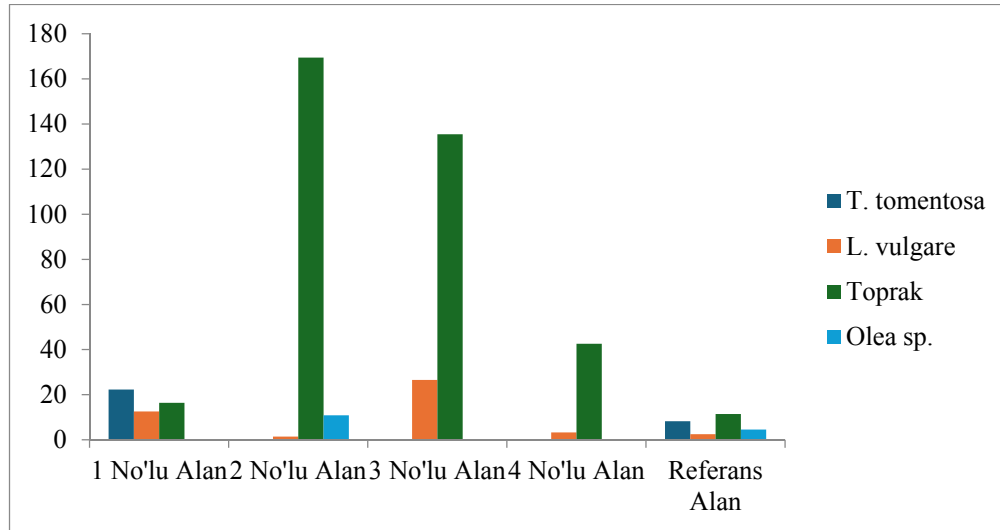
Uygulama alanları ile referans noktasından alınan Krom (Cr) ağır metal örneklerinin dağılımı aşağıda listelenmiştir (Tablo 4.2);

**Tablo 4.2** Krom (Cr) mg/kg Sonuçlarının Dağılımı

	<i>T. tomentosa</i>	<i>L. vulgare</i>	Toprak	<i>Olea europaea</i>
<b>1 No'lu Alan</b>	22,3	12,55	16,43	
<b>2 No'lu Alan</b>		1,42	169,46	10,87
<b>3 No'lu Alan</b>		26,55	135,43	
<b>4 No'lu Alan</b>		3,31	42,55	
<b>Referans Alan</b>	8,26	2,47	11,42	4,54

Yukarıdaki tablodan elde edilen bilgiler ışığında, baskın olarak toprakta bulunan Krom elementinin yanı sıra *T. tomentosa* bitkisinin depolayıcı vazife gördüğü söylenebilmektedir..

**Tablo 4.3** Krom (Cr) mg/kg Değerlerinin Dağılım Grafiği



Krom içeren minerallerin sanayide oksidasyonu ile fosil yakıtlar, odun ve kağıt ürünlerinin yanması sonucunda altı değerlikli (hexavalent) krom çevreye salınır.

Altı değerlikli krom, atmosferde ve saf suda nispeten kararlı kalırken, ekosistemdeki organik maddelerle temas ettiğinde, toprakta ve suda üç değerlikli hale indirgenir.

Krom değeri, 2,3,4 ve referans numaralı alanlarda en yüksek seviyede iken, 1 numaralı alanda *T. tomentosa* bitkisinin altında kalmıştır. Bunun nedeni; 1 no'lu alandaki bitki türleri, sahanın yerleşik bitkileri fakat toprak sahaya sonradan getirilmiş dolgu toprağıdır, Örnekler alınmadan yaklaşık 2 ay önce bölgedeki yol yapım çalışması sırasında ortalama 2 metre yükseklikte dolgu toprağı başka bölgeden taşınarak bu alana doldurulmuştur.

Bu durum, topraktaki çökeltme miktarının aksine, *T. tomentosa* bitkisinin Krom elementini tutabilme kapasitesinin yüksek olduğunu kanıtlar niteliktedir. Ayrıca referans alanında görülen Krom elementinin, topraktan ve ortamdan bünyesine nod ve internodlar aracılığıyla taşınımı ve birikimini sağlayarak depolayıcı etkiye sahip olduğu gözlemlenmektedir.

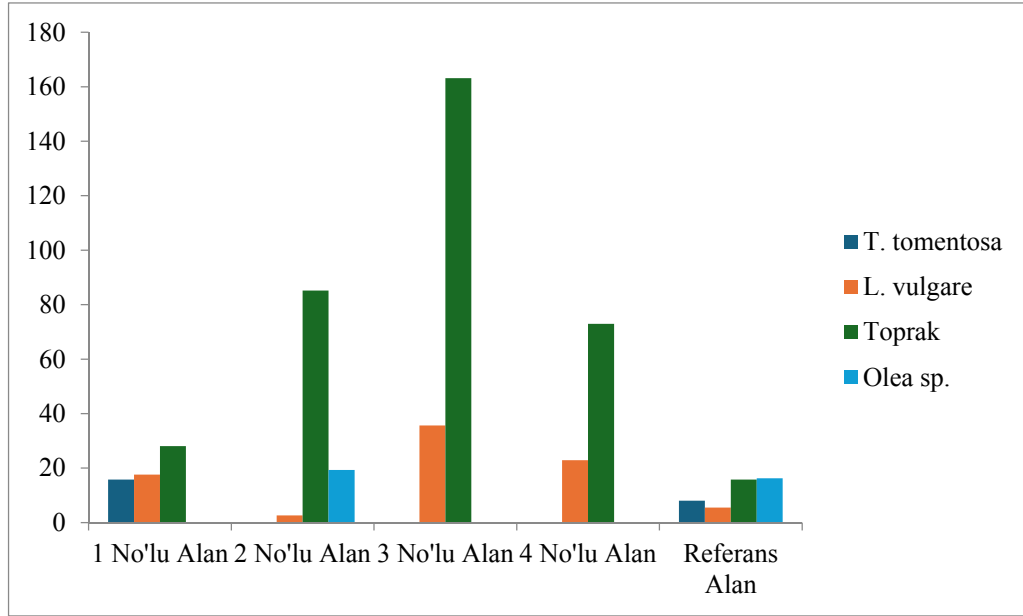
Uygulama alanları ile referans noktasından alınan Mangan (Mn) ağır metal örneklerinin dağılımı aşağıda listelenmiştir (Tablo 4.4);

**Tablo 4.4** Mangan (Mn) mg/kg Sonuçlarının Dağılımı

	T. tomentosa	L. vulgare	Toprak	Olea europaea
<b>1 No'lu Alan</b>	36,25	56,49	366,73	
<b>2 No'lu Alan</b>		25,76	1328,83	40,6
<b>3 No'lu Alan</b>		86,77	958,72	
<b>4 No'lu Alan</b>		42,73	824,12	
<b>Referans Alan</b>	35,23	21,94	147,43	39,22

Mangan elementinin her 3 bitkide de (*T. tomentosa*, *L. vulgare*, *Olea europaea*) bünyesinde tutulumu ve birikimi gözlemlenmiştir.

**Tablo 4.5** Mangane (Mn) mg/kg Değerlerinin Dağılım Grafiği



Ayrıntılı grafik değerlendirmesi üzerinde de görüleceği gibi, Mangane (Mn) elementinin 1,3,4 numaralı kontrol alanlarında birikim seviyeleri seçilen bitkilerin bünyelerinde ortamdan aldıkları elementleri tutucu özelliği gösterdiğini kanıtlamaktadır.

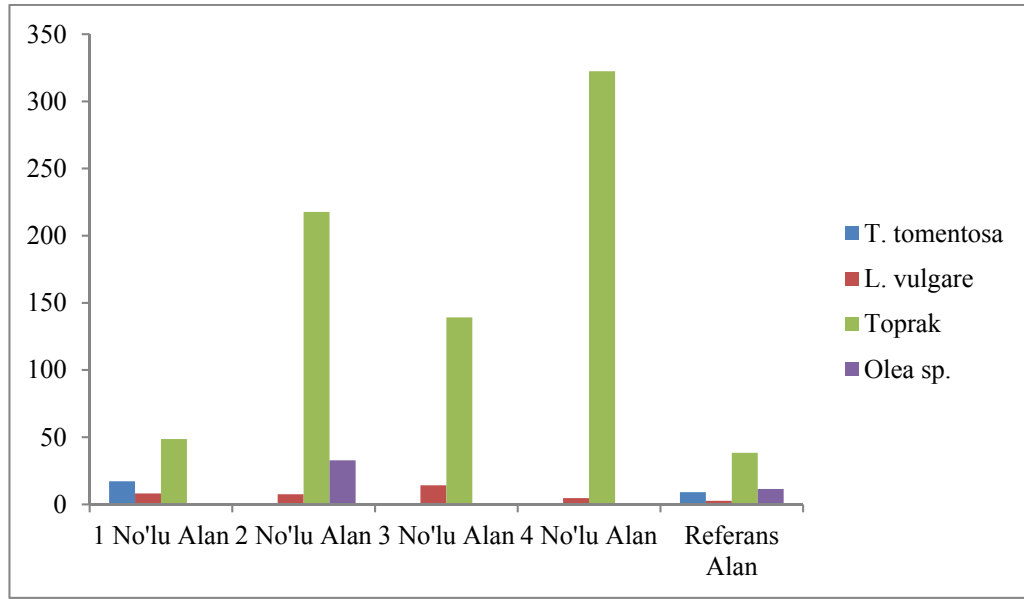
Uygulama alanları ile referans noktasından alınan Nikel (Ni) ağır metal örneklerinin dağılımı aşağıda listelenmiştir (Tablo 4.6);

**Tablo 4.6** Nikel (Ni) mg/kg Sonuçlarının Dağılımı

	<i>T. tomentosa</i>	<i>L. vulgare</i>	Toprak	<i>Olea europaea</i>
<b>1 No'lu Alan</b>	17,19	8,21	48,7	
<b>2 No'lu Alan</b>		7,56	217,72	32,87
<b>3 No'lu Alan</b>		14,26	139,14	
<b>4 No'lu Alan</b>		4,72	322,35	
<b>Referans Alan</b>	9,13	2,72	38,41	11,48

Nikel elementinin özellikle *Olea europaea* bitkisinde 2 numaralı alanda 32,87 seviyelerinde ölçülerek toprak sonucuna nazaran 1/6 gibi bir birikimi söz konusudur. Bu da *Olea europaea*'nın diğer bitkilere nazaran bu elementi biriktirebilme kapasitesinin oldukça güçlü olduğunu göstermektedir.

**Tablo 4.7** Nikel (Ni) mg/kg Değerlerinin Dağılım Grafiği



Nikel değerinin topraktaki birikimi doğal kayaç yapısından kaynaklı olduğu kadar ortam değişkenlerinin değerini de kapsamı amacıyla karşılaştırma açısından oldukça güçtür. Bunun yanında bu elementin *Olea europaea* bitkisinde birikiminin gözlemlenmesi metali depolayabilecek kapasitede olduğunu kanıtlamaktadır.

Nikel, birçok enzimin yapısında yer alır; bunlar arasında gliksilazlar, peptid deformilazları, metil CoM redüktazı ve üreazlar gibi bileşenler bulunur (Ermler ve vd., 1998; Küpper ve Kroneck, 2007). Bu durum, Nikelin üreolizis, hidrojen metabolizması, metan biyogenez ve asitogenez gibi pek çok metabolik süreçte kritik bir rol üstlenmesini sağlar. Nikel, bitki metabolizması açısından gereklidir, bu nedenle bitkilerin Nikel alımı ve taşınması için bazı ilgili fizyolojik süreçler söz konusudur (Maier ve vd., 1993, Mulrooney ve Hausinger, 2003).

Bitkiler, Nikel alımını çoğunlukla kök sistemleri aracılığıyla pasif difüzyon ve aktif taşıma yöntemleriyle gerçekleştirir (Seregin ve Kozhevnikova, 2006). Aktif ve pasif taşıma yöntemleriyle alınan Nikel oranı, bitki türlerine ve toprak veya besin çözeltisindeki Nikelin formuna ve konsantrasyonuna bağlı olarak değişiklik gösterir.

Bitkilerin Nikel alımı, çeşitli etmenlerden etkilenir; bunların en dikkat çeken noktası, Nikelin iyonik formu ve ortamda bulunan Ni konsantrasyonudur (Halstead ve vd., 1969; Miller, 1961; Dixon ve vd., 1980, Roth ve vd., 1991). Toprak pH'nın 5,6'nın altında olması, Nikelin emilimi için en elverişli koşullardan birini oluşturur. Bu durum, topraktaki asitlik seviyesinin artmasıyla, değiştirilebilir Nikel miktarının yükselmesiyle ilişkilidir (Mizuno, 1968). Ayrıca, topraktaki fosfat düzeyinin artması, Nikel alımını artırmaktadır (Halstead ve vd., 1969; Polacco, 1976). Domates ve salatalık yapraklarına Co (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> püskürtülmesi de Nikel içeriğini artıran bir uygulamadır. Ancak torf, Nikel bakımından zengin olmasına rağmen bu alımı engelleyebilmektedir. Arpa (*Hordeum vulgare*) fidelerine Nikel temin etmek, Nikel açısından zengin toprak eklenmesiyle mümkündür (Morrison ve vd., 1980). Bu engellemenin nedeni, Nikelin çözünür ve çözünmeyen formlarının diğer metallerle rekabet etmesi ya da bu formların kompleks yapılar oluşturması olabilir. Ayrıca, toprakta organik madde bulunması, bitkilerin Nikel alımını kısmen sınırlayabilmektedir (Halstead ve vd., 1969). Gübre kullanımı, Nikelin yanı sıra bakır, çinko ve kobalt gibi diğer elementlerin toplam alımını da azaltmaktadır (Miller, 1961). Nikel ile diğer elementlerin emilim oranları karşılaştırıldıklarında, topraktaki değiştirilebilir elementlerin içeriği göz önüne alındığında azalma gösterir ve sıralama Cu> Zn>Co>Ni şeklinde olur (Miller, 1961), Tiffin (1971); Nikelin bitkilerin ksilem sıvılarında anyonik kompleksler şeklinde taşındığını göstermiştir. Kültür solüsyonu içerisinde, soya ve arpa gibi bitkilerde diğer iki değerlikli katyonların varlığı, Ni<sup>2+</sup> alımını etkileyebilir. Nikel, köklerden gövdeye ve yapraklara (Krüpa ve vd., 1993) transpirasyon akımı yoluyla ksilem aracılığıyla taşınır (Neumann ve Chamel, 1986). Ayrıca, bu element, floem aracılığıyla olgun yapraklardan genç yapraklara, tomurcuklara, meyvelere ve

tohumlara yönlendirilerek bitkilerin meristematik kısımlarına ulaşır.

Uygulama alanları ile referans noktasından alınan Bakır (Cu) ağır metal örneklerinin dağılımı aşağıda listelenmiştir (Tablo 4.8);

**Tablo 4.8** Bakır (Cu) mg/kg Sonuçlarının Dağılımı

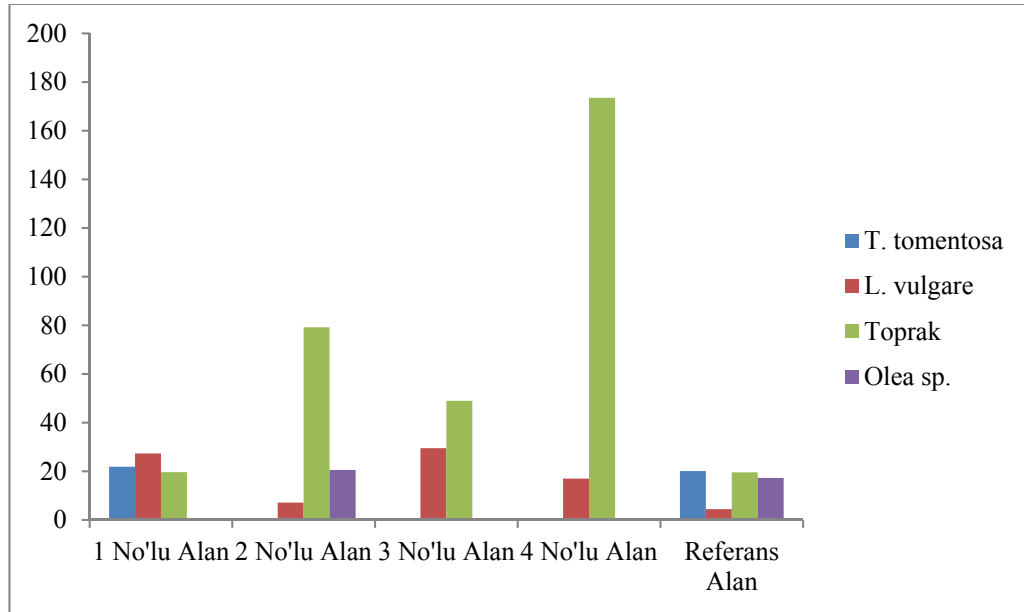
	<i>T. tomentosa</i>	<i>L. vulgare</i>	Toprak	<i>Olea europaea</i>
<b>1 No'lu Alan</b>	21,84	27,28	19,64	
<b>2 No'lu Alan</b>		7,09	79,15	20,54
<b>3 No'lu Alan</b>		29,5	48,93	
<b>4 No'lu Alan</b>		17	173,53	
<b>Referans Alan</b>	20,05	4,44	19,52	17,22

Bakır elementi, doğal olarak toprakta bulunabilen geniş dağılımı nedeniyle oldukça önem arz eden elementtir. Bu durumun yanı sıra, Hiperkümülatör olarak seçilen bitkilerin de değerleri tablodaki gibi analiz edildiğinde, *T. tomentosa*, *L. vulgare* ve *Olea europaea* üzerindeki değerleri göz önünde bulundurulduğunda tutuculuğu en verimli metal değerleri arasında görünmektedir. Özellikle seçilen alanlara ait değerlerin dağılımı, her bitki ve alan kuşağının metal birikim değerleri incelenmesinde oldukça tutarlı sonuçlar verdiği ve karşılaştırma yapılabilirliği kanıtlamaktadır.

Doğada genellikle bakır miktarı düşük düzeylerde bulunurken, maden çıkarma, işleme ve eritme işlemlerinin gerçekleştirildiği bölgelerde bu miktar artış gösterir. Topraktaki yüksek düzeydeki bakır, organik maddeler ve toprak kolloidleri ile güçlü bağlar oluşturduğundan, bitkiler için kolayca alınabilir formda değildir. Bitkilerin bakıra karşı tolerans geliştirmeleri, bakırı köklerinde biriktirmeleri, atarak uzaklaştırmaları, hücre duvarında hareketsiz hale getirmeleri, organellerde depolamaları veya metalotionin ve fitokelatin gibi içsel metal bağlayıcı kelatörler ile bağlamaları yoluyla sağlanır (Wojcik ve Tukiendorf, 2003). Bakırın çözünürlüğü düşük pH değerlerinde artarken, toprak pH'ı 5'e ulaştığında bakır toksisitesi ortaya çıkar. Bakır, oksidatif reaksiyonları

katalizleyerek bitki metabolizmasında etkileyici işlevler gören bir mikroelementtir; ancak aşırı miktarda alınması, kök gelişimini yavaşlatarak kök hücre zarlarının zarar görmesine neden olur. Aynı zamanda bakır, fotosentez için kritik olan ribulose-1,5-bis fosfat karboksilaz ve fosfoenol piruvat karboksilaz gibi enzimlerin işlevini engelleyebilir.

**Tablo 4.9** Bakır (Cu) mg/kg Sonuçlarının Dağılımı Grafiği



Grafikten de anlaşılacağı üzere, *L. vulgare* bitkisi tüm alıcı ortamlarda bünyesinde Bakır elementini barındırırken, sonraki değerlerde de *T. tomentosa* ve *Olea europaea* bitkileri birikimin sağlandığı seçici bitkiler olarak öne çıkmaktadır.

Uygulama alanları ile referans noktasından alınan Çinko (Zn) ağır metal örneklerinin dağılımı aşağıda listelenmiştir (Tablo 4.10);

**Tablo 4.10** Çinko (Zn) mg/kg Sonuçlarının Dağılımı

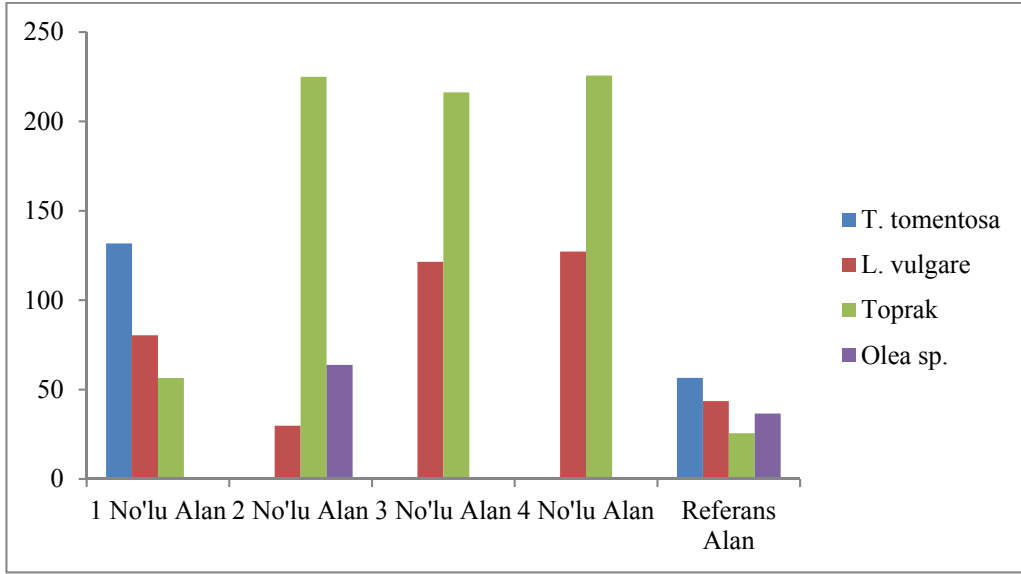
	<i>T. tomentosa</i>	<i>L. vulgare</i>	Toprak	<i>Olea europaea</i>
<b>1 No'lu Alan</b>	131,74	80,4	56,51	
<b>2 No'lu Alan</b>		29,77	225,01	63,8
<b>3 No'lu Alan</b>		121,44	216,25	
<b>4 No'lu Alan</b>		127,24	225,69	
<b>Referans Alan</b>	56,55	43,62	25,54	36,59

Yukarıdaki tabloda (Tablo 4.10), *L. vulgare* bitkisi her ortamda alıcı görev görürken, *T. tomentosa* bitkisi ve *Olea europaea* bitkisinin de sırasıyla taşıma kapasiteleri gösterilmiştir. Bu bağlamda, topraktaki Çinko değerlerinin ½'si kadar değer seçilen bitkiler tarafından absorbe edildiği gözlemlenmektedir.

Çinko, bitkilerde birçok metabolik süreç için mühim bir mikro besindir ve bu elementin alınımı, bitki türüne ve yetiştiği çevrenin koşullarına bağlı olarak değişir. Çinko alımı üzerinde çevredeki kalsiyum düzeyi gibi faktörler belirleyici rol oynar. Genellikle köklerde depolanan çinko, karbonhidrat ve protein sentezi, RNA oluşumu ve fosfat metabolizması gibi temel biyokimyasal süreçlerde etkindir. Aynı zamanda hücre zarının geçirgenliğinde görev alır ve bitkiyi bakteri ve mantar kaynaklı hastalıklara karşı koruma sağladığı da bilinmektedir.

Bitkilerde Çinko eksikliğinden söz ederken, demir-çinko dengesine dikkat etmek gerekir; çünkü bu iki element birbirinin alınımını karşılıklı olarak etkiler. Birinin yüksek konsantrasyonda bulunması, diğerinin alınımını sınırlayabilir ve benzer bir durum çinko ve bakır arasındaki ilişkide de gözlemlenir. Bazı bitki türleri, çevredeki yüksek çinko düzeylerine karşı dayanıklılık gösterir. Çinko eksikliği belirtileri hızlı bir şekilde yapraklarda klorozis, yani sararma, ve büyümede yavaşlama olarak gözlenir. Çinko toksisitesi diğer ağır metaller kadar zararlı olmasa da, etkileri yine de dikkat çekicidir.

**Tablo 4.11** Çinko (Zn) mg/kg Değerlerinin Dağılım Grafiği



Grafikte (Tablo 4.11) görüldüğü üzere, eş zamanlı olarak *L. vulgare* bitkisinin depolama kapasitesinin toprak bünyesine kıyasla hemen hemen eşdeğer yahut  $\frac{1}{2}$  kadarını absorbe ettiği gözlemlenmiştir. Bu durum, seçici bitkilerin alıcı ortamlardan bitki bünyesinde tutabildiği ve depo edebildiği kanıtlamaktadır.

Uygulama alanları ile referans noktasından alınan Baryum (Ba) ağır metal örneklerinin dağılımı aşağıda listelenmiştir (Tablo 4.12);

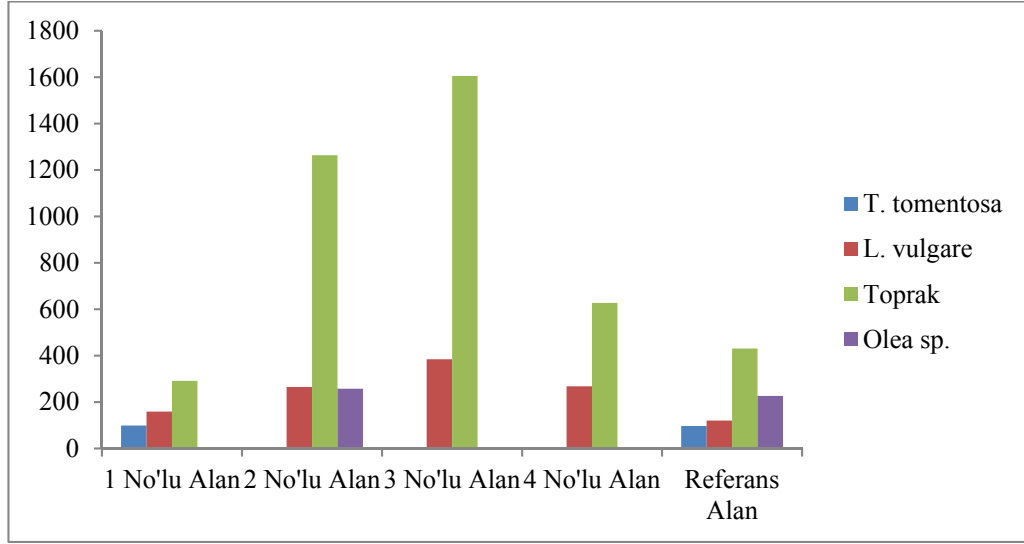
**Tablo 4.12** Baryum (Ba) mg/kg Sonuçlarının Dağılımı

	<i>T. tomentosa</i>	<i>L. vulgare</i>	Toprak	<i>Olea europaea</i>
<b>1 No'lu Alan</b>	98,98	159,58	291,98	
<b>2 No'lu Alan</b>		265,12	1264,05	258,1
<b>3 No'lu Alan</b>		384,96	1604,85	
<b>4 No'lu Alan</b>		268,18	627,45	
<b>Referans Alan</b>	97,26	120,4	430,86	226,9

Baryum, tutuculuğu itibariyle *L. vulgare* bitkisinin öncülüğünde seyrederken, toprak bünyesinin  $\frac{1}{5}$  kadarını absorblama kapasitesine sahiptir.

Bitkilerin fizyolojik olarak devamlılığına etki edebilecek bir yapı teşkil etmesi de Örnek alanından toplanan görseller ile desteklemektedir.

**Tablo 4.13** Baryum (Ba) mg/kg Değerlerinin Dağılım Grafiği



Baryum değerleri, *L. vulgare* ve *Olea europaea* bitkilerinin tutulmasında öncü bitkiler olarak gözlemlenmektedir.

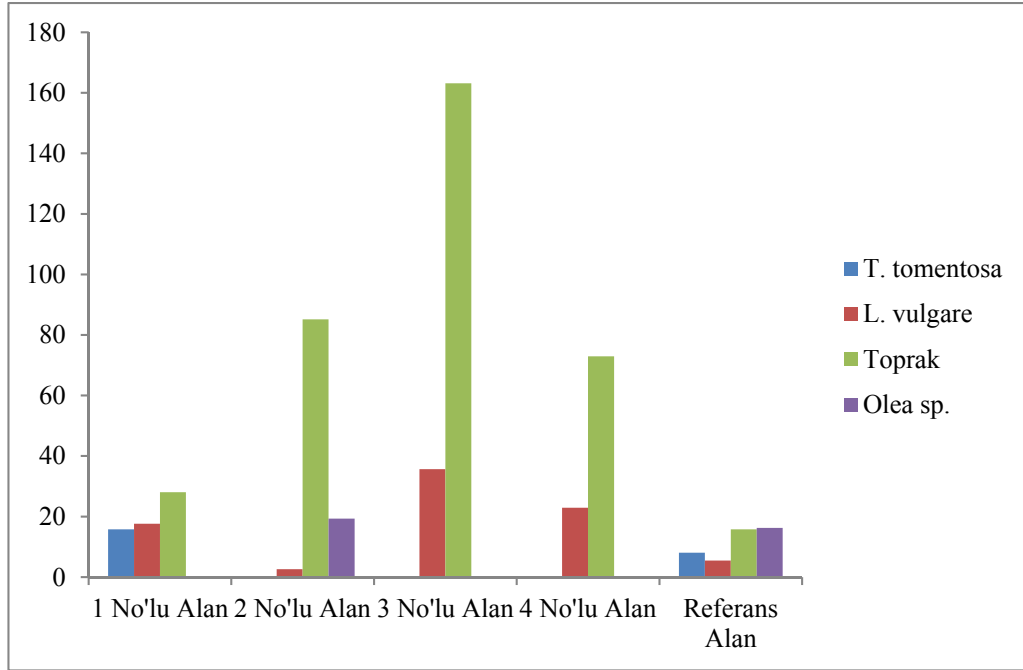
Uygulama alanları ile referans noktasından alınan Kurşun (Pb) ağır metal örneklerinin dağılımı aşağıda listelenmiştir (Tablo 4.14);

**Tablo 4.14** Kurşun (Pb) mg/kg Sonuçlarının Dağılımı

	<i>T. tomentosa</i>	<i>L. vulgare</i>	Toprak	<i>Olea europaea</i>
<b>1 No'lu Alan</b>	15,8	17,62	28,06	
<b>2 No'lu Alan</b>		2,6	85,16	19,33
<b>3 No'lu Alan</b>		35,64	163,17	
<b>4 No'lu Alan</b>		22,9	72,94	
<b>Referans Alan</b>	8,05	5,47	15,78	16,26

Kurşun elementinin en yüksek birikimini sağlayan bitki *Tilia tomentosa* ve ikinci sırada *Olea europaea* bitkisi olduğu gözlemlenmektedir.

**Tablo 4.15** Kurşun (Pb) mg/kg Değerlerinin Dağılım Grafiği



Kurşun yapısı gereği ağır elementlerden olduğu bilinmekle birlikte, alternatif hiperkümülatör olarak tutuculuğu bakımından seçici bitkilerin kullanılması oldukça büyük önem arz etmektedir.

Kurşun, yalnızca kurşunlu benzin ve boyalarda değil, aynı zamanda yiyecekler ve içme suyunda da bulunabilir. Özellikle sanayi bölgeleri ve şehir merkezlerine yakın alanlarda yetiştirilen tahıllar, baklagiller, meyveler ve bazı et türleri, normalin üzerinde kurşun içerebilir. Eski yapıların su tesisatında kullanılan kurşun borular ve bağlantılar, kurşunun suya geçmesine yol açabilir. Kozmetik ürünlerde bulunan bazı pigmentler ve temel maddeler de kurşun içerebilir. Bunların yanı sıra sigara ve bazı pestisitler de kurşun kaynakları arasında yer almaktadır.

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Sanayileşmenin ve kentsel yoğunluğun hızlanmasıyla artan endüstriyel atıklar, motorlu taşıt üretimi, çevreyi ağır metallerle kirletmekte ve tarım alanları da bu kirlilikten etkilenmektedir. Tüm Dünya da, çevreye duyarlı yaklaşımlar ile toprak ve su kaynaklarını korumak amacıyla sıkı yasalar ve yönetmelikler oluşturulmaktadır.

Topraktaki ağır metaller bitkilere taşınıp, serbest iyon formuna dönüşerek yer altı sularına karıştıklarında, suyun kalitesini olumsuz etkileyebilirler. Bu durum, mikroorganizmalara zarar vererek besin zincirinde dolaylı etkilere yol açabilir. Ağır metaller maruziyet, hücrelerde plazmanın sertleşmesine, şişmesine ve büzülmesine, proteinlerin çökmesine, solunum hızında düşüşe ve dolayısıyla O<sub>2</sub> tüketiminde azalmaya neden olabilir.

Bitkilerin ağır metallerle karşı toleransı, metal iyonlarının alımını engelleyerek, hücre dışı boşluklarda veya sitoplazmada kompleksler oluşturarak ve vakuollerde birikim yaparak toksik etkileri azaltma yeteneğini gösterir. Bu süreçte bitkiler, antioksidan enzimlerin aktivasyonu ile oksidatif strese karşı savunma sistemleri geliştirirler ve ikincil hasarları önlemeye çalışırlar. Ağır metal açısından kirlenmiş topraklarda yetişen bitkiler, metal dışlayıcılar, indikatörler ve akümülatörler olarak sınıflandırılabilir.

Hiperakümülatörler, ağır metal tolerans mekanizmalarının daha iyi anlaşılması ve toleransa dayanıklı genetiği değiştirilmiş türlerin geliştirilmesi açısından kritik bir role sahiptir. Bu bitkiler, yüksek konsantrasyonlardaki ağır metalleri bünyelerinde depolayabilmeleri için fitoremediasyon uygulamalarında sıkça kullanılmaktadır.

Bu çalışma, hiperakümülatör bitkilerin fitoremediasyon yeteneklerini, peyzaj tasarımında sürdürülebilir yaklaşımlar açısından önemini vurgulamaktadır. Fitoremediasyon, bitkilerin toprak ve su kaynaklarındaki kirliticileri doğal yollarla temizleyebilme özelliklerini kullanarak, ekosisteme zarar vermeden çevreyi iyileştirme olanağı sunar. Hiperakümülatör bitkiler, bu

bağlamda özellikle ağır metal birikimi yüksek alanlarda dikkat çeken avantajlar sağlamaktadır.

Fitoremediasyonun çevresel ve ekonomik açıdan sunduğu avantajlar şunlardır:

1. Doğal ve Sürdürülebilir: Bu süreç doğa dostudur ve sürekli uygulanabilir. Kirleticilerin uzun vadede kalıcı olarak azaltılmasına yardımcı olur.
2. Maliyet Etkinliği: Geleneksel temizleme yöntemlerine göre maliyet avantajı sağlar ve çevre koruma bütçelerinde tasarruf imkânı tanır.
3. Ekosistem Koruma: Bitkilerin doğal ekosistemi bozmadan kirleticileri ortadan kaldırabilmesi, doğa için dost bir yöntem sunar.
4. Çeşitli Kirleticilere Karşı Etkili: Farklı hiperakümülatör bitkiler, ağır metallere organik kirleticilere kadar çeşitli kirleticilere karşı etkilidir. Bu çeşitlilik, farklı çevre sorunlarına karşı çözüm sunar.
5. Estetik Kazanım ve Biyolojik Çeşitlilik: Peyzaj projelerinde kullanılan hiperakümülatör bitkiler, yeşil alanların estetik görünümünü artırarak aynı zamanda biyolojik çeşitliliği destekler.

Çalışmada, Kocaeli-Dilovası bölgesinde bulunan üç farklı hiperakümülatör bitki kullanılarak ağır metal ve toksik madde akümülyasyon düzeyleri analiz edilmiştir. Araştırma sonuçları, her bitki türünün farklı ağır metalleri etkili bir şekilde biriktirebildiğini hatta bu özelliklerinin biyoremediasyon potansiyellerini doğruladığını göstermektedir. Özellikle endüstriyel kirliliğin yoğun olduğu bölgelerde, peyzaj tasarımlarına hiperakümülatör bitkilerin dâhil edilmesinin çevresel ve estetik açıdan değer sağlayan faydalar sağladığı belirlenmiştir. Hiperakümülatör bitkiler, kirliliği azaltmanın ötesinde, estetik ve ekolojik değer sunarak yerel flora ve fauna için yaşam alanları oluşturma potansiyeline de sahiptir.

Çevresel açıdan kritik kirleticiler olan ağır metaller, düşük yoğunluklarda dahi zehirli olabilir. Sanayileşmenin etkisiyle biyosferdeki toksik metal birikimi hızlı bir şekilde artmıştır (Nriogo, 1979). Bitkilerin, toprak ve sudan ağır metal alım kapasiteleri farklılık gösterir; tüm bitkiler, gelişimleri için gerekli olan bazı ağır metalleri toplama yeteneğine sahiptir. Bu metaller Magnezyum (Mg), Demir

(Fe), Manganez (Mn), Çinko (Zn), Bakır (Cu), Molibden (Mo) ve Nikel (Ni) gibi elementleri içerir (Langille ve MacLean, 1976). Bunun yanında, bazı bitkiler biyolojik işlevi tam bilinmeyen Kadmiyum (Cd), Krom (Cr), Kurşun (Pb), Kobalt (Co), Gümüş (Ag), Selenyum (Se) ve Cıva (Hg) gibi ağır metalleri de biriktirebilir (Hana ve Grant, 1962; Baker ve Brooks, 1989). Bitki türlerine göre, ağır metallere tolere edilebilecek ve biriktirilebilecek üst sınırlar değişkenlik gösterir (Ernst ve vd., 1992).

Bu çalışmanın gerçekleştirildiği saha (Kocaeli-Dilovası Bölgesi), yaklaşık 10 yıllık bir fenolojik gözlem sürecine dayanmaktadır. Bu süre zarfında, pek çok bitki türünde büyüme geriliği, kuruma belirtileri gözlemlenirken, bazı bitkilerin bu bölgede öncü türler olarak adapte olduğu hatta kalıcı bir varlık gösterdiği tespit edilmiştir.

Bölgede yapılan peyzaj uygulama çalışmalarında özellikle yoğun kirlilik bulunan bölge yakınında yapılan uygulamalarda değişik dönemlerde dikilen çok sayıda *Cupressocyparis leylandii*, *Cupressus macrocarpa*, *Lagerstroemia indica*, *Thuja orientalis* türleri max. 6 ay içinde kurumaya başlamış ve yaşamını yitirmiştir. Bunun üzerine aslında bu çalışmanın da temelini oluşturan araştırma süreçleri başlamıştır, araştırmalar sonucu sahada kalıcı olabileceği öngörülen *Ligustrum vulgare*, *Tilia tomentosa* ve *Olea europaea* türleri kullanılarak yapılan uygulamalar başarılı ve kalıcı peyzaj çalışmaları olmuştur. Şöyle ki özellikle *Ligustrum vulgare* bitkisi aynı hafta içerisinde aynı boyda hem çalışma bölgesine hem de kontrol sahasına dikilmiş ve çalışma bölgesine dikilen bitki, 6 ay sonunda tüm bakım ve sulama işlemleri aynı olmasına rağmen kontrol noktasına oranla yaklaşık 50 cm daha fazla büyüme göstermiştir.

Sahadan alınan bitki ve toprak örnekleri üzerinde yapılan ağır metal analizleri, bu durumun nedenlerini daha iyi anlamaya yönelik kritik veriler sağlamıştır.

Yapılan analizler, 1. Bölge toprağının yerleşik toprak değil, dolgu malzemesi olarak alana getirildiğini ortaya koymuştur. Bu bölgede topraktaki ağır metal değerlerinin düşük olmasına rağmen, yetişmiş bitki örneklerinde ağır metal birikimi tespit edilmiştir. Buna karşılık, 2, 3. ve 4. Bölgelerde hem toprak

hem de bitki örneklerinde ağır metal değerlerinin yükseldiği, topraktaki bu artışa paralel olarak hiperakümülatör bitki türlerinde de anlamlı bir birikim artışı olduğu gözlemlenmiştir.

Her metal türü için ayrı ayrı bakılacak olursa;

Krom ; Topraktaki Krom miktarı arttıkça, *Tilia tomentosa* bitkisindeki Krom miktarının arttığı,

Mangan ; Analiz sonuçlarına göre, örnek bitki türleri arasında Mangan elementini en fazla biriktiren türün *Ligustrum vulgare* olduğu belirlenmiştir. Bu bulgu, Mangan kirliliğinin yoğun olduğu bölgelerde *Ligustrum vulgare* bitkisinin kullanımıyla çevresel iyileştirme çalışmalarında etkili sonuçlar alınabileceğini göstermektedir. Dolayısıyla, bu bitki türü, hem biyoremediasyon potansiyeli hem de ekolojik uyumu nedeniyle önerilebilir.

Nikel elementinin; Özellikle *Olea europaea* bitkisi, 2 numaralı alanda yapılan ölçümlerde 32,87 seviyelerinde Mangan birikimi göstermiştir. Bu değer, topraktaki ölçümlere kıyasla yaklaşık 1/6 oranında bir birikime işaret etmektedir. Diğer örnek bitkilerde anlamlı bir artış gözlenmezken, *Olea europaea*'nın bu elementi biriktirme kapasitesinin diğer türlere kıyasla oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, *Olea europaea*'nın hedeflenen metaller için biyoremediasyon projelerinde etkin bir seçenek olabileceğini ortaya koymaktadır.

Bakır açısından; Toprak değerlerine en yakın değer *Olea europaea* bitkisinde gözlemlenmiştir.

Çinko ; Toprakta bulunan oranın yarısı oranında biriktirebilen bitki türü *Olea europaea* bitkisidir.

Baryum; Tutuculuğu itibarıyla *L. vulgare* bitkisinin öncülüğünde seyrederken, toprak bünyesinde ki Baryumun 1/5 kadarını absorblama kapasitesine sahiptir.

Kurşun metalinin en yüksek birikimini sağlayan bitki *Tilia tomentosa* ve ikinci sırada *Olea europaea* bitkisi olduğu gözlemlenmektedir.

Hiperakümülatör bitkilerin peyzaj tasarımına entegrasyonu, sürdürülebilir kirlilik yönetimi açısından etkili bir strateji sunmaktadır.

Gelecek alışmalarda, Türkiye'ye zgu hiperakümülatör bitkilerin haritasının çıkarılması öncül bir adım olabilir. Bu sayede, ağır metal kirliliğinin yoğun olduğu bölgelere uygun nc bitki türleri belirlenebilir. Elde edilecek bu veri ve haritalar, yeni peyzaj tasarımlarında ilgili bitkilere öncelik verilerek çevresel sürdürülebilirliğin desteklenmesine katkı sağlayabilir. Böyle bir yaklaşımın hem kirliliğin azaltılmasında hem de ekolojik ve estetik açıdan daha sağlıklı yaşam alanlarının oluşturulmasında etkili olacağı düşünülmektedir.

Hiperakümülatör bitkilerin tespiti ve kullanımı yaygınlaştırılmalı ve peyzaj tasarımcılarının bu bitkileri etkin bir Şekilde kullanmaları teşvik edilmelidir. Ayrıca, toplumsal farkındalık artırılarak evre bilincine katkıda bulunulması ilerleyici adımdır.

İlgili konuya ilişkin Türkiye'de hiperakümülatör bitkilerin kullanımı hakkında örnek referans teşkil eden bir çalışma bulunmamaktadır. Bu bağlamda, yazılan bu teze ilişkin açıklamalar, özgün ve nc olarak gelecek yıllarda izlenebilirlik ve sürdürülebilirlik çalışmalarında tez konusunun referans olarak kullanılabilmesine imkn sağlayacaktır. Çalışmalarda elde edilen bulgular eşliğinde, Türkiye'de gelecek planlama birimlerinin hiperakümülatör bitkilerin peyzaj alanlarında bölge ve referans olarak nokta teşkili yapmaları açısından temsili örnek bir kaynak olarak çalışma basamaklarının izlenebilmesine imkn vermektedir.

## KAYNAKLAR

- Agnelli, A., Bol, R., Trumbore, S. E., Dixon, L., Cocco, S., & Corti, G. (2016). Carbon And Nitrogen In Soil And Vine Roots İn Harrowed And Grass-Covered Vineyards. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 193, 70–82.
- Akalan, İ. (1983). Toprak Ve Su Muhafazası. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları* 1(3), 532–177.
- Aksu, E., & Yıldız, N. (2004). Heavy Metal Stress And Tolerance Of Plants. *International Soil Congress On Natural Resource Management For Sustainable Development*, 27-202
- Asan, Ü. (1993). Mistik Ve Folklorik Yönüyle Anıt Ağaçlarımız. *Yeşil Çerçeve*, 23, 13–15.
- Baker, A., Reeves, R., & Smith, J. (2000). Metal Hyperaccumulator Plants: A Review Of The Ecology And Physiology Of A Biological Resource For Phytoremediation Of Metal-Polluted Soils, *Journal of Environmental Science*, 3(1), 202–457.
- 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.
- Cao, J., Li, X., Chen, L., He, M., & Lan, H. (2015). The Developmental Delay Of Seedlings With Cotyledons Only Confers Stress Tolerance To *Suaeda Aralocaspica* (Chenopodiaceae) By Unique Performance On Morphology, Physiology, And Gene Expression. *Frontiers İn Plant Science*, 13, 844430. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.844430>
- Çalışkan, A. F. (2007). *Kabak Sarı Mozayik Virüsü (Zucchini Yellow Mosaic Virus, ZYMV) 'Nün Tanısı Ve Bitki Aktivatörleri Kullanılarak Mücadele Olanaklarının Araştırılması* Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çepel, N. (2008). *Toprak Kullanımı ve Çevre Koruma: Tarım ve Orman Bakanlığı Yayınları*.
- Dağhan, H. (2016). *Tagetes Patula L.* Bitkisinin Fitoremediasyon Amaçlı Kullanım Potansiyelinin Su Kültürü Koşullarında Araştırılması. *Tarla Bitkileri Araştırma Dergisi*, 5(2), 25–31.
- Davis, F. D. (1985). *A Technology Acceptance Model For Empirically Testing New End-User Information Systems: Theory And Results* Yayınlanmamış Doktora Tezi, MIT.

- Dindar, E., Şağban, F. O., & Başkaya, H. S. (2010). Kirlenmiş Toprakların Biyoremediasyon İle Islahı. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 15(2), 123–137.
- Dürüst, N., Dürüst, Y., Tuğrul, D., & Zengin, M. (2004). Heavy Metal Contents Of *Pinus Radiata* Trees Of İzmit (Turkey). *Asian Journal Of Chemistry*, 16(2), 1129–1134.
- EPA (Environmental Protection Agency). (2019). *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.
- ERASMUS. (2019). *Bitkiler Rehber El Kitabı*. KA205 Gençlik Alanında Kapasite Geliştirme Proje Referans No: 2016-2-TR01-KA205-036224.
- Ernst, W. H. O., Verkleij, J. A. C., & Schat, H. (1992). Metal Tolerance İn Plants. *Acta Botanica Neerlandica*, 41(3), 229–248.
- Faucon, J. P., & Mathieu, L. (2000). Changes İn The Response Time For *Varroa Jacobsoni* Exposed To Amitraz. *Journal Of Apicultural Research*, 39(3–4), 155–158.
- Favas, P. J. C., Pratas, J., Varun, M., D'Souza, R., & Poul, M. S. (2014). Phytoremediation Of Soils Contaminated With Metals And Metalloids At Mining Areas: Potential Of Native Flora. In M. C. Hernandez-Soriano (Ed.), *Environmental Risk Assessment Of Soil Contamination*, (485–517). Intech Press.
- Gündüz, Ş. (2005). *Turunçgil Bahçelerindeki Yabancı Otlar Ve Bazı Bitkilerin Ekolojik Faktörlere Tepkileri*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Eğitim Bilimleri Enstitüsü Üniversitesi.
- Haktanır, K. (1987). *Çevre Kirliliği*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Notu, Teksir No: 140.
- Hamutoğlu, R. (2012). Biyosorpsiyon, Adsorpsiyon Ve Fitoremediasyon Yöntemleri Ve Uygulamaları. *Türk Hijyen Ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 69(4), 235–253.
- Jain, R., Srivastava, S., & Madan, V. K. (2000). Influence Of Chromium On Growth And Cell Division Of Sugarcane. *Indian Journal Of Plant Physiology*, 5(3), 228–231.
- Kacar, B., & Katkat, V. (2006). *Bitki Besleme*. Nobel Yayıncılık.
- Karaca, A., & Turgay, O. C. (2012). Toprak Kirliliği. *Toprak Bilimi Ve Bitki Besleme Dergisi*, 17(1), 17–23.

- Khan, F. I., Husain, T., & Hejazi, R. (2000). An Overview And Analysis Of Site Remediation Technologies. *Journal Of Environmental Management*, 71(2), 95–122.
- Özbek, A. K., & Öztaş, T. (2004). Tarım Arazilerinin Amaç Dışı Kullanımı: Erzurum Örneği. *Ekoloji*, 52(1), 1–6.
- Paschke, M. W., Valdecantos, A., & Redente, E. F. (2005). Manganese Toxicity Thresholds For Restoration Grass Species. *Environmental Pollution*, 135(2), 313–322.
- Pollard, A. J. (2002). Hyperaccumulators Of Metal And Metalloid Trace Elements: Facts And Fiction. *Plant And Soil*, 262(1), 319–324.
- Raskin, R. G., Sutton, P. M., & Belt, V. D. (1997). The Value Of The World's Ecosystem Services And Natural Capital. *Nature*, 387(1), 253–260.
- Reeves, R. D., & Baker, A. J. M. (2000). Metal-Accumulating Plants. In I. Raskin & B. D. Ensley (Eds.), *Phytoremediation Of Toxic Metals: Using Plants To Clean Up The Environment*, (193–230), John Wiley & Sons.
- Rout, G. R., & Das, P. (2003). Effect Of Metal Toxicity On Plant Growth And Metabolism: I. Zinc. *Agronomie*, 23(1), 3–11.
- Seregin, I., & Kozhevnikova, A. (2005). Distribution Of Cadmium, Lead, Nickel, And Strontium In Imbibing Maize Caryopses. *Russian Journal Of Plant Physiology*, 52(4), 565–569. <https://doi.org/10.1007/S11183-005-0084-8>
- Sharma, P., & Dubey, R. S. (2005). Lead Toxicity In Plants. *Brazilian Journal Of Plant Physiology*, 17(1), 1–19.
- Sossé, B. A., Genet, P., Dunand-Vinit, F., Roussaint, L. M., Epron, D., & Badot, P. M. (2004). Effect Of Copper On Growth In Cucumber Plants (*Cucumis Sativus*) And Its Relationships With Carbohydrate Accumulation And Changes In Ion Contents. *Plant Science*, 166(5), 1213–1218.
- Sönmez, S., Kaplan, M., Sönmez, N. K., Kaya, H., & Uz, İ. (2006). High Level Of Copper Application To Soil And Leaves Reduce The Growth And Yield Of Tomato Plants. *Scientia Agricola*, 63(3), 213–218.
- Stresty, T. V. S., & Madhava Rao, K. V. (1999). Ultrastructural Alterations In Response To Zinc And Nickel Stress In The Root Cells Of Pigeonpea. *Environmental and Experimental Botany*, 41(3), 203–213.
- Thompson, D. J., & Stout, D. G. (1997). Mixtures Of Persian Clover With Italian Ryegrass Or Barley-Italian Ryegrass For Annual Forage. *Canadian Journal Of Plant Science*, 77(4), 579–585.

- Tiffin, T. (1971). The Uptake And Accumulation Of Heavy Metals By Plants. *Plant Physiology*, 48(3), 273–277.
- Türkoğlu, B. (2006). *Toprak Kirlenmesi Ve Kirlenmiş Toprakların Islahı* Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Vaillant, N., Monnet, F., Hitmi, A., Sallanon, H., & Coudret, A. (2005). Comparative Study Of Responses In Four *Datura* Species To A Zinc Stress. *Chemosphere*, 59(7), 1005–1013.
- Van Assche, F., & Clijsters, H. (1990). Effects Of Metals On Enzyme Activity In Plants. *Plant, Cell And Environment*, 13(2), 195–206.
- Vanlı, Ö., & Yazgan, M. (2008). Ağır Metallerle Kirlenmiş Toprakların Temizlenmesinde Fitoremediasyon Tekniği. *Toprak ve Çevre Dergisi*, 15(2), 25-32.
- Verma, S., & Dubey, R. S. (2003). Lead Toxicity Induces Lipid Peroxidation And Alters The Activities Of Antioxidant Enzymes In Growing Rice Plants. *Plant Science*, 164(4), 645–655.
- Wan, A. M., & Chen, X. M. (2017). Virulence Characterization Of *Puccinia Striiformis* F. Sp. *Tritici* Using A New Set Of Yr Single-Gene Line Differentials In The United States In 2010. *Plant Disease*, 98(11), 1534–1542.
- Yadav, A., Et Al. (2014). *Saccharomyces Cerevisiae* Gpi2, An Accessory Subunit Of The Enzyme Catalyzing The First Step Of Glycosylphosphatidylinositol (GPI) Anchor Biosynthesis, Selectively Complements Some Of The Functions Of Its Homolog In *Candida Albicans*. *Glycoconjugate Journal*, 31(6–7), 497–507.
- Yaltırık, F. (1978). *Olea L.* In P. H. Davis (Ed.), *Flora Of Turkey And East Aegean Islands* (Vol. 6), 155–156. Edinburgh University Press.
- Zhao, Et Al. (2006). *Shewanella Halifaxensis*. GBIF Secretariat. <https://doi.org/10.15468/39omei>

## EKLER

### EK A: TÜBİTAK AKREDİTASYON SONUÇLARI

Aşağıdaki ekte bulunan ölçüm ve analiz sonuçları Barem Çevre Lab. Hiz. tarafından yapılmış olup, sonuçlar TÜRKAK akreditasyonu belgelenmesi tarafından teknik olarak betimlenmiştir.

NUMUNE BİLGİLERİ			
Adı ve Tarif	Diğer Numunesi	Alınma Tarihi/Saati	-
Alan/Getiren	Firma Personeli / Firma Personeli	Lab. Kabul Tarihi/Saati	06.06.2024 13:10
Alınma Amacı	Kontrol	Analiz Başlama-Bitiş Tarihi	06.06.2024 - 24.06.2024
Standart Numarası	-	Şahit Numune Bilgisi	Şahit numune yoktur.
Alınış Şekli	-	Ortam Koşulları	-
Alma Noktası	5 bölgeden numune alımları yapılmıştır.	Mevzuat/Tablosu	-
Kap Cinsi	9 * 100gr Plastik	Mühür No.	Mühürsüz - Korumasız - Şartlı Kabul (İşlem Yok) Şartlı Kabul Nedeni : , Numunenin firma personeli tarafından alınması
Numune Miktarı		Koruma	

**Açıklamalar:**

Feragat Beyanı: Yetkili laboratuvar personelimiz tarafından alınmayan numunenin alınışından, laboratuvara teslim edilmesine kadar geçen sürede uygulanması gereken prosedürlere dair teknik ve hukuki sorumluluk numuneyi alana, bakılması istenen parametrelerin belirlenmesine dair teknik ve hukuki sorumluluk ölçümü/analizi talep edene aittir. Numune bilgileri tablosunda veilen tüm bilgiler müşteri tarafından sağlanmıştır.

Numunede analizi istenen parametrelerin sonuçları aşağıda verilmiştir.

\* ile işaretli parametre ve ilgili metotlar Y-41/135/2020 Nolu T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Çevre Ölçüm ve Analizleri Yeterlilik Belgesi ve AB-0315-T Nolu TÜRKAK Akreditasyon Sertifikası kapsamında değildir.

**Tablo 1. Analiz Metotları**

Parametre	Analiz Metodu
* Ağır Metal Ön İşlem	EPA 3051 A (Mikrodalga ile Özütleme)
* Çinko (Zn)	
* Kurşun (Pb)	
* Nikel (Ni)	
* Krom (Cr)	EPA 6020 B (ICP-MS Metodu)
* Manganez (Mn)	
* Bakır (Cu)	
* Baryum (Ba)	

	KOD	TÜR	Birim	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	Ba	Pb
1.BÖLGE	KD276	İHLAMUR	mg/kg	22,3	36,3	17,19	21,84	131,74	99,0	15,8
	KD277	LİGÜSTRUM	mg/kg	12,55	56,5	8,21	27,28	80,4	159,6	17,62
2.BÖLGE	KD278	ZEYTİN	mg/kg	10,87	40,6	32,87	20,54	63,8	258,1	19,33
	KD279	LİGÜSTRUM	mg/kg	1,42	25,8	7,56	7,09	29,77	265,1	2,6
3.BÖLGE	KD280	LİGÜSTRUM	mg/kg	26,55	86,8	14,26	29,5	121,44	385,0	35,64
4.BÖLGE	KD281	LİGÜSTRUM	mg/kg	3,31	42,7	4,72	17	127,24	268,2	22,9
5.BÖLGE	KD282	ZEYTİN	mg/kg	4,51	39,2	11,48	17,22	36,59	226,9	16,26
	KD283	İHLAMUR	mg/kg	8,26	35,2	9,13	20,05	56,55	97,3	8,05
	KD284	LİGÜSTRUM	mg/kg	2,47	21,9	2,72	4,44	43,62	120,4	5,47



NUMUNE BİLGİLERİ				
Adı ve Tarihi	Toprak Numunesi		Alınma Tarihi/Saati	-
Alan/Getiren	Firma Personeli / Firma Personeli		Lab. Kabul Tarihi/Saati	06.06.2024 13:00
Alınma Amacı	Kontrol		Analiz Başlama-Bitiş Tarihi	06.06.2024 - 24.06.2024
Standart Numarası	-		Şahit Numune Bilgisi	Şahit numune yoktur.
Alınış Şekli	-		Ortam Koşulları	-
Alma Noktası	5 noktadan numune alınmıştır.		Mevzuat/Tablosu	-
Kap Cinsi	5 * 100gr Plastik		Mühür No.	Mühürsüz - Korumasız - Şartlı Kabul (İşlem Yok) Şartlı Kabul Nedeni : , Numunenin firma personeli tarafından alınması
Numune Miktarı			Koruma	
Açıklamalar:	<p>Deney laboratuvarı olarak faaliyet gösteren BAREM ÇEVRE, TÜRKAK'tan AB-0315-T ile TS ISO/IEC 17025:2017 standardına göre akredite edilmiştir.</p> <p>Türk Akreditasyon Kurumu (TÜRKAK) deney raporlarının tanınırlığı konusunda Avrupa Akreditasyon Birliği (EA) ile Çok Taraflı Anlaşma ve Uluslararası Laboratuvar Akreditasyon Birliği (ILAC) ile karşılıklı tanıma anlaşması imzalamıştır.</p> <p>Feragat Beyanı: Yetkili laboratuvar personelimiz tarafından alınmayan numunenin alınışından, laboratuvara teslim edilmesine kadar geçen süreçte uygulanması gereken prosedürlere dair teknik ve hukuki sorumluluk numuneyi alana, bakılması istenen parametrelerin belirlenmesine dair teknik ve hukuki sorumluluk ölçümü/analizi talep edene aittir. Numune bilgileri tablosunda veilen tüm bilgiler müşteri tarafından sağlanmıştır.</p> <p>Numunede analizi istenen parametrelerin sonuçları aşağıda verilmiştir.</p> <p>* ile işaretli parametre ve ilgili metotlar AB-0315-T Nolu TÜRKAK Akreditasyon Sertifikası kapsamındadır.</p>			
<b>Tablo 1. Analiz Metotları</b>				
	Parametre		Analiz Metodu	
	* Ağır Metal Ön İşlem		EPA 3051 A (Mikrodalga ile Özütleme)	
	* Çinko (Zn)			
	* Kurşun (Pb)			
	* Nikel (Ni)			
	* Krom (Cr)		EPA 6020 B (ICP-MS Metodu)	
	* Mangany (Mn)			
	* Bakır (Cu)			
	* Baryum (Ba)			

	KOD	TÜR	Birim	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	Ba	Pb
1. BÖLGE	T601	TOPRAK	mg/kg	16,43	366,7	48,7	19,64	56,51	292,0	28,06
2. BÖLGE	T602	TOPRAK	mg/kg	169,46	1328,8	217,72	79,15	225,01	1264,1	85,16
3. BÖLGE	T603	TOPRAK	mg/kg	135,43	958,7	139,14	48,93	216,25	1604,9	163,17
4. BÖLGE	T604	TOPRAK	mg/kg	42,55	824,1	322,35	173,53	225,69	627,5	72,94
5. BÖLGE	T605	TOPRAK	mg/kg	11,42	147,4	38,41	19,52	25,54	430,9	15,78





## ÖZGEÇMİŞ