



**FİTOREMEDİASYON YÖNTEMİ İLE KURŞUN
AKÜMÜLASYONUNUN GİDERİMİ: BİBERİYE
(*Rosmarinus officinalis*) ÖRNEĞİ**

Burcu KARABULUT

Yüksek Lisans Tezi

**Toprak Bilimi Ve Bitki Besleme Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Sevinç ADILOĞLU
2020**

T.C.
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİTOREMEDİASYON YÖNTEMİ İLE KURŞUN
AKÜMÜLASYONUNUN GİDERİMİ: BİBERİYE (*Rosmarinus officinalis*)
ÖRNEĞİ

Burcu KARABULUT

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Doç. Dr. Sevinç ADILOĞLU

TEKİRDAĞ-2020

Her hakkı saklıdır.



Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde eksiksiz biçimde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

Burcu KARABULUT

İMZA

Doç. Dr. Sevinç ADİLOĞLU danışmanlığında, Burcu KARABULUT tarafından hazırlanan “Fitoremediasyon Yöntemi İle Kurşun Akümülyasyonunun Giderimi: Biberiye (*Rosmarinus officinalis*) Örneği”başlıklı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından 17.12.2020 tarihinde Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Aydın ADİLOĞLU

İmza:

Üye : Doç. Dr. Sevinç ADİLOĞLU

İmza:

Üye : Dr. Öğrt. Üyesi Funda IRMAK YILMAZ

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Doç. Dr. Bahar UYMAZ
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans

FİTOREMEDİASYON YÖNTEMİ İLE KURŞUN AKÜMÜLASYONUNUN GİDERİMİ:

BİBERİYE (*Rosmarinus officinalis*) ÖRNEĞİ

Burcu KARABULUT

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Sevinç ADILOĞLU

Ağır metaller toprak kirliliğine yol açan en önemli etkenler arasındadır ve çok düşük dozlarda bile toksik etki yapmaktadır. Ağır metal kirliliği endüstri devriminden bu yana hızlı bir şekilde artmıştır. Günümüzde yeşil ıslah yöntemiyle bitki materyali kullanılarak metal kirliliği temizlenmektedir. Ayrıca fitoremediasyon tekniği doğal kaynaklara zarar vermez. Bu çalışmada amaç, fitoremediasyon yöntemi kullanılarak kirlenmiş topraklarda biriken kurşun (Pb) ağır metalinin Biberiye (*Rosmarinus officinalis*) bitkisi ile giderimi ve bu bitkinin hiperakümülatör kapasitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Araştırma Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Laboratuvarında yürütülmüştür. ‘Şansa Bağlı Tam Bloklar’ deneme desenine göre 3 tekrarlı 5 farklı dozda Pb kirleticisi ve kontrol saksıları kullanılarak yürütülmüştür. Kirleticisi olarak uygulanan Pb dozları 10 mgkg⁻¹, 20 mgkg⁻¹, 40 mgkg⁻¹, 80 mgkg⁻¹, 100 mgkg⁻¹ Pb olacak şekilde (PbNO₃) verilmiştir. Kirleticisi bulunan saksılara EDTA şelatörü (10 mmol/kg) uygulanmıştır. Daha sonra kirleticisi parametresi toprakta 30 gün doğal koşullarda bekletilmiştir. Her saksıda 3 adet bitki olacak şekilde dikim yapılmıştır. Bitkiler iki aylık büyüme periyodu sonucunda hasat edilerek her saksıdaki bitkinin ölçümleri yapılmıştır ve bitki örnekleri öğütülerek Pb ağır metal analizi ve N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn besin elementleri analizleri yapılmıştır. Ayrıca deneme toprağının da gerekli olan fiziksel ve kimyasal analizleri yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda farklı dozlarda kurşun uygulanan saksılarda biberiye bitkisinin bitki yaş ağırlığı 100 mgkg⁻¹ doz Pb uygulanan saksılarda 26,3 gr, bitki kuru ağırlığı 100 mgkg⁻¹ dozda 8,6 gr, kök yaş ağırlığı 100 mgkg⁻¹ dozda 17,6 gr, kök kuru ağırlığı 100 mgkg⁻¹ dozda 6,6 gr olarak tespit edilmiştir. Biberiye bitkisinin en yüksek kurşun dozları uygulanan saksılarda bitki boyu, kök boyu, dal sayısında azalmalar meydana gelirken SPAD değerlerindeki değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Biberiye (*Rosmarinus officinalis*) bitkisine uygulanan en yüksek dozdaki (100 mgkg⁻¹) saksılarda kurşun değerleri gövdede 2,25 mgkg⁻¹, kökte 24,85 mgkg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Ağır metallerle kirlenmiş topraklarda kirliliği temizlemek tıbbi ve aromatik bitkilerin kullanılması doğaya zarar vermeden ve ekonomi açısından olumlu sonuçlar doğurmuştur. Özellikle kolay uygulanabilirliği açısından önemli bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır.

Anahtar kelimeler: Toprak kirliliği, ağır metal, kurşun, fitoremediasyon, hiperakümülatör bitki, biberiye (*Rosmarinus officinalis*)

2020, 94 sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

FITOREMEDIATION METHOD AND REMOVAL OF LEAD ACCUMULATION:

EXAMPLE OF ROSEMARY (*Rosmarinus officinalis*)

Burcu KARABULUT

Tekirdağ Namık Kemal University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Soil Science and Plant Nutrition

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Sevinç ADİLOĞLU

Heavy metals are among the most important factors causing soil pollution and have toxic effects even at very low doses. Heavy metal pollution has increased rapidly since the industrial revolution. Today, metal pollution is cleaned by using plant material with the green breeding method. In addition, the phytoremediation technique does not harm natural resources. The aim of this study was to remove lead (Pb) heavy metal accumulated in contaminated soils by using phytoremediation method with Rosemary (*Rosmarinus officinalis*) plant and to determine the hyperaccumulator capacity of this plant. The research was carried out in Tekirdağ Namık Kemal University Agriculture Faculty Soil Science and Plant Nutrition Laboratory. It was carried out using 5 different doses of Pb pollutant and control pots in 3 repetitions according to the "Complete Blocks Based on Chance" trial design. Pb doses applied as a contaminant were given as 10 mgkg⁻¹, 20 mgkg⁻¹, 40 mgkg⁻¹, 80 mgkg⁻¹, 100 mgkg⁻¹ Pb (PbNO₃). EDTA chelator (10 mmol/kg) was applied to the pots with contaminants. Then, the pollutant parameter was kept in the soil under natural conditions for 30 days. It was planted with 3 plants in each pot. The plants were harvested at the end of a two-months growth period and the measurements of the plant in each pot were made, and the plant samples were grinded and Pb heavy metal analysis and N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn nutrient element were made. In addition, the necessary physical and chemical analyzes of the trial soil were made. As a result of this study, the plant wet weight of rosemary plant in pots with different doses of lead was 26,3 g in pots with a dose of 100 mgkg⁻¹, the dry weight of the plant was 8,6 g at a dose of 100 mgkg⁻¹, the root wet weight was 17,6 g at a dose of 100 mgkg⁻¹. dry weight was determined as 6,6 at a dose of 100 mgkg⁻¹. While the plant height, root length, and branch number decreased in pots where the highest lead doses of rosemary plant were applied, the changes in SPAD values were not found to be statistically significant. The lead values were determined as 2,25 mgkg⁻¹ in the stem and 24,85 mgkg⁻¹ in the root in pots with the highest dose (100 mgkg⁻¹) applied to the rosmarinus (*Rosmarinus officinalis*) plant. The use of medicinal and aromatic plants to clean the pollution in soils contaminated with heavy metals has produced positive results in terms of economy and without harming the nature. It is an important option, especially in terms of its easy applicability.

Key words: Soil pollution, heavy metal, lead, phytoremediation, hyperaccumulator plant, rosemary (*Rosmarinus officinalis*)

2020, 94 pages

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGE DİZİNİ	vi
ŞEKİL DİZİNİ	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
TEŞEKKÜR	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Toprak Kirliliği	2
1.1.1. Topraklarda ve Bitkilerde Kurşun Kirliliği	2
1.1.1.1. Toprakta kurşun	2
1.1.1.2. Bitkide kurşun	3
1.1.2. Toprak Kirliliği Gideriminde Kullanılan Yöntemler.....	4
1.1.2.1. İzolasyon ve immobilizasyon teknolojileri	4
1.1.2.2. Mekanik ayırma teknolojileri.....	4
1.1.2.3. Pirometalurjik teknolojiler	5
1.1.2.4. Elektrokinetik teknolojiler	5
1.1.2.5. Toprağı su/sıvı ile yerinde temizleme teknolojileri	5
1.1.2.6. Toprak yıkama teknolojileri.....	6
1.1.2.7. Biyoremediasyon yöntemleri	6
1.1.3. Toprakta Ağır Metal	6
1.2. Ağır Metaller	7
1.2.1. Ağır Metallerin Biyokimyasal Özellikleri	8
1.2.2. Bitkilerde Ağır Metal Taşınımı	9
1.3. Yeşil Islah (Fitoremediasyon).....	9
1.4. Yeşil Islah Yöntemleri	10
1.4.1. Ağır Metal Gideriminde Kullanılan Yöntemler	10
1.4.1.1. Fitoekstraksiyon (Bitkisel özümleme)	10
1.4.1.2. Rizofiltrasyon (Köklerle süzme).....	11
1.4.1.3. Fitostabilizasyon (Köklerle sabitleme)	11
1.4.2. Organik Kirleticilerin Gideriminde Kullanılan Fitoremediasyon Yöntemleri	11
1.4.2.1. Fitodegradasyon (Bitkisel bozunum).....	11

1.4.2.2. Rizodegradasyon (Köklerle bozunum)	12
1.4.2.3. Fitovolatilizasyon (Bitkisel buharlaşma)	12
1.5. Hiperakümülatör Bitkiler	12
1.5.1. Biberiye (<i>Rosmarinus officinalis</i>).....	13
1.5.1.1. Genel özellikleri.....	13
1.5.1.2. İklimsel istekleri.....	13
1.5.1.3. Ülkemizde Biberiye (<i>Rosmarinus officinalis</i>) üretiminde son gelişmeler	14
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	19
2.1. Fitoremediasyon ile İlgili Yapılmış Çalışmalar	19
2.2. Uluslararası İndekslerde Taranan Biberiye ve Fitoremediasyon ile İlgili Çalışmalar ..	22
3. MATERYAL ve YÖNTEM	24
3.1. Materyal	24
3.1.1. Araştırmanın Hazırlanması ve Denemenin Kurulması.....	24
3.1.2. Araştırmada Uygulanan EDTA Şelatu ve Özellikleri	25
3.1.3. Araştırmada Kullanılan Biberiye Bitkisinin Özellikleri	25
3.1.4. Araştırma Toprağının Özellikleri	26
3.1.5. Araştırmada Kullanılan Kirletici	27
3.2. Yöntem	27
3.2.1. Toprağa Kirletici ve EDTA Uygulamaları	27
3.2.2. Biberiye Bitkisinin Bazı Biyolojik Verilerinin Elde Edilmesi	29
3.2.3. Biberiye Bitkisinin Bitki Analizlerine Hazırlanması.....	30
3.2.4. Toprak Analizleri.....	31
3.2.4.1. Toprak reaksiyonu (pH) tayini	31
3.2.4.2. Elektriki iletkenlik (EC) tayini.....	31
3.2.4.3. Toprak tekstürü	31
3.2.4.4. Kireç tayini.....	32
3.2.4.5. Fosfor tayini	32
3.2.4.6. Organik madde tayini.....	32
3.2.4.7. Makro element tayini (K, Mg, Ca, Na).....	32
3.2.4.8. Mikro element (Fe, Mn, Cu, Zn) ve Pb tayini	32
3.2.5. Verilerin İstatistiksel Olarak Analiz Edilmesi	32
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	33
4.1. Biberiyenin Bazı Biyolojik Özelliklerinin Belirlenmesi	33

4.2. Biberiye Bitkisinin Kurşun (Pb) İçerikleri	39
4.2.1. Biberiye Bitkisinde Kurşunun Makro Besin Elementleriyle İntreaksiyonu	39
4.2.1.1. Azot içeriği (%).....	43
4.2.1.2. Fosfor içeriği (%).....	45
4.2.1.3. Potasyum içeriği (%).....	46
4.2.1.4. Kalsiyum içeriği (%).....	48
4.2.1.5. Magnezyum içeriği (%)	50
4.2.2. Biberiye Bitkisinde Kurşunun Mikro Besin Elementleriyle İntreaksiyonu.....	52
4.2.2.1. Demir içeriği (mgkg ⁻¹)	53
4.2.2.2. Bakır içeriği (mgkg ⁻¹)	55
4.2.2.3. Çinko içeriği (mgkg ⁻¹).....	57
4.2.2.4. Mangan içeriği (mgkg ⁻¹)	59
4.3. Fitoremediasyon Yöntemine Göre Toprakta, Gövdede ve Kökte Kurşun Ağır Metali Değişimi.....	61
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	67
KAYNAKLAR.....	69
ÖZGEÇMİŞ	83

ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 1.1 Bazı ağır metallerin toplam miktarları	8
Çizelge 1.2. Toprakların ekstrakte edilebilir bazı ağır metal değerleri	8
Çizelge 3.1. Araştırmada kullanılan toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri	26
Çizelge 4.1. Kurşun ağır metali ile kirletilmiş saksılardaki biberiye bitkisinin toprak üstü aksamının yaş ve kuru ağırlık ölçüm verileri	33
Çizelge 4.2. Kurşun ağır metali ile kirletilmiş saksılardaki biberiye bitkisinin kök aksamının yaş ve kuru ağırlık ölçüm verileri	34
Çizelge 4.3. Kurşun ağır metali ile kirletilmiş saksılardaki biberiye bitkisinin bitki ve kök boyu uzunlukları	36
Çizelge 4.4. Kurşun ağır metali ile kirletilmiş saksılardaki biberiye bitkisinin dal sayısı ve SPAD verileri	38
Çizelge 4.5. Kurşun ile kontamine olan topraklarda yetişen biberiye bitkisinin gövde aksamındaki makro besin elementleri içerikleri ve önemlilik grupları	40
Çizelge 4.6. Kurşun ile kontamine olan topraklarda yetişen biberiye bitkisinin kök aksamındaki makro besin elementleri içerikleri ve önemlilik grupları	41
Çizelge 4.7. Kurşun ile kontamine olan saksılardaki toprakların hasat sonrası makro besin elementleri içerikleri ve önemlilik grupları	42
Çizelge 4.8. Kurşun uygulanan biberiye bitkisinde gövde mikro besin elementleri içerikleri ve önemlilik grupları	52
Çizelge 4.9. Kurşun uygulanan biberiye bitkisinde kök mikro besin elementleri içerikleri ve önemlilik grupları	53
Çizelge 4.10. Kurşun uygulanan biberiye bitkisinde hasat sonrası toprak mikro besin elementleri içerikleri ve önemlilik grupları	53
Çizelge 4.11. Kurşun ağır metalinin topraktaki sınır değerleri	61
Çizelge 4.12. Analiz sonuçlarına göre deneme sonrası toprakta, bitki gövde ve kök aksamında biriken Pb değerleri ve önemlilik grupları	62

ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 1.1. Türkiye'de 2015 yılına ait biberiye üretim miktarının illere göre dağılımı.....	14
Şekil 1.2. Türkiye'de 2016 yılına ait biberiye üretim miktarının illere göre dağılımı.....	15
Şekil 1.3. Türkiye'de 2017 yılına ait biberiye üretim miktarının illere göre dağılımı.....	16
Şekil 1.4. Türkiye'de 2018 yılına ait biberiye üretim miktarının illere göre dağılımı.....	17
Şekil 1.5. Türkiye'de 2019 yılına ait biberiye üretim miktarının illere göre dağılımı.....	18
Şekil 1.6. Biberiye bitkisinin yıllara göre üretim miktarı.....	18
Şekil 3.1. Artan dozlarda kurşun uygulanan biberiye bitkileri görüntüsü.....	24
Şekil 3.2. Pb çözeltilerinin hazırlanışı.....	28
Şekil 3.3. Pb çözeltilerinin uygulamaya hazır hale getirilmesi.....	29
Şekil 3.4. Hasat sonrası bitkilere ait bir görüntü.....	30
Şekil 3.5. Biberiye bitkisinin analiz için hazırlanması.....	31
Şekil 4.1. Kurşun ağır metali uygulanan saksılardaki biberiye bitkisinin bitki yaş ve kuru ağırlıkları ve kök yaş ve kuru ağırlıkları verilerine ait ortalamalar.....	35
Şekil 4.2. Kurşun ağır metali ile kirletilmiş saksılarda biberiye bitkisinin bitki ve kök boyu, dal sayısı ve SPAD değerlerine ilişkin ortalamalar.....	39
Şekil 4.3. Kirletici olarak kurşun uygulanan saksılarda yetiştirilen biberiye bitkisinin gövde ve kök azot içerikleri.....	43
Şekil 4.4. Kirletici olarak kurşun uygulanan saksılardaki topraklara ait azot içeriği.....	44
Şekil 4.5. Kirletici olarak kurşun uygulanan saksılarda yetiştirilen biberiye bitkisinin gövde ve kök fosfor içerikleri.....	45
Şekil 4.6. Kirletici olarak kurşun uygulanan saksılardaki topraklara ait fosfor içeriği.....	46
Şekil 4.7. Kirletici olarak kurşun uygulanan saksılarda yetiştirilen biberiye bitkisinin gövde ve kök potasyum içerikleri.....	47
Şekil 4.8. Kirletici olarak kurşun uygulanan saksılardaki topraklara ait potasyum içeriği.....	48
Şekil 4.9. Kirletici olarak kurşun uygulanan saksılarda yetiştirilen biberiye bitkisinin gövde ve kök kalsiyum içerikleri.....	49
Şekil 4.10. Kirletici olarak kurşun uygulanan saksılardaki topraklara ait kalsiyum içerikleri.....	50
Şekil 4.11. Kirletici olarak kurşun uygulanan saksılarda yetiştirilen biberiye bitkisinin gövde ve kök magnezyum içerikleri.....	51
Şekil 4.12. Kirletici olarak kurşun uygulanan saksılardaki topraklara ait magnezyum içeriği.....	52
Şekil 4.13. Kirletici olarak kurşun uygulanan topraklarda yetiştirilen biberiye bitkisinin gövde ve kök demir içerikleri.....	54
Şekil 4.14. Kirletici olarak kurşun uygulanan saksılardaki topraklara ait demir içerikleri.....	55
Şekil 4.15. Kirletici olarak kurşun uygulanan topraklarda yetiştirilen biberiye bitkisinin gövde ve kök bakır içerikleri.....	56

Şekil 4.16. Kirlletici olarak kurşun uygulanan saksılardaki topraklara ait bakır içeriği	57
Şekil 4.17. Kirlletici olarak kurşun uygulanan saksılarda yetiştirilen biberiye bitkisinin gövde ve kök çinko içerikleri	58
Şekil 4.18. Kirlletici olarak kurşun uygulanan saksılardaki topraklara ait çinko içeriği.....	58
Şekil 4.19. Kirlletici olarak kurşun uygulanan saksılarda yetiştirilen biberiye bitkisine ait gövde ve kök mangan içerikleri.....	60
Şekil 4.20. Kirlletici olarak kurşun uygulanan saksılardaki topraklara ait mangan içeriği.....	61
Şekil 4.21. Biberiye bitkisinin gövde ve kök aksamlarında kurşun içeriklerinin değerlendirilmesi	63
Şekil 4.22. Kurşun uygulanan biberiye bitkisi saksılarına ait topraklardaki kurşun içeriklerinin değerlendirilmesi	64



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

%	: Yüzde oranı
°C	: Santigrat derece
µg	: Mikrogram
µm	: Mikrometre
AAS	: Atomik Absorbsiyon Spektroskopisi
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ADP	: Adenozin difosfat
Ag	: Gümüş
Al	: Alüminyum
ANOVA	: Tek Yönlü Varyans Analizi
Ark	: Arkadaşları
ATP	: Adenozin trifosfat
B	: Bor
Ca	: Kalsiyum
Cd	: Kadmiyum
CdCl ₂	: Kadmiyum klorür
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
Cs	: Sezyum
Cu	: Bakır
Dk	: Dakika
DTPA	: Dietilen Triamin Penta Asetik Asit
EDTA	: Etilendiamin Tetra Asetik Asit
EPA	: Environmental Protection Agency
FAO	: Food and Agriculture Organization
Fe	: Demir
G	: Gram
H ₃ BO ₃	: Borik asit
HA	: Hümik Asit
Hg	: Civa
I	: İyot
ICP	: İndüktif Eşleşmiş Plazma
ICP-OES	: Inductively Coupled Plasma

K	: Potasyum
Kg	: Kilogram
Km	: Kilometre
mg	: Miligram
mm	: Milimetre
mmol	: Milimol
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
NaHCO ₃	: Sodyum bikarbonat
NH ₄ ⁺	: Amonyum
Ni	: Nikel
NO ₃ ⁻	: Nitrat
P	: Fosfor
Pb (NO ₃) ₂	: Kurşun nitrat
Pb	: Kurşun
pH	: Asitlik Alkalilik Derecesi
ppm	: Milyonda bir kısım
S	: Kükürt
Sb	: Antimon
Se	: Selenyum
Sn	: Siyanür
SPAD	: Klorofil ölçer
Sr	: Stronsiyum
Ti	: Titanyum
U	: Uranyum
V	: Vanadyum
vd	: ve diğerleri
WHO	: World Health Organization
Zn	: Çinko

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez dönemim boyunca tez konumum belirlenmesinden laboratuvar çalışmalarına kadar her konuda bana her zaman yardımcı olan, bilgi ve deneyimlerini her zaman benimle paylaşan ve kendisini tanımaktan büyük onur duyduğum danışmanım Sayın Doç. Dr. Sevinç ADİLOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca hoşgörüsünün yanında fikir ve görüşleriyle bana yol gösteren ve birçok konudaki katkılarından dolayı bölüm başkanımız Sayın Prof. Dr. Aydın ADİLOĞLU'na teşekkür ederim.

Biberiye bitkisi fidesini temin etmekte bana yardımcı olan Lüleburgaz Orman Fidanlığı Şefliğine teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışma dönemimde maddi manevi yardımlarını hiç esirgemeyen her zaman yanımda olan en kıymetli dostlarım Emel ÇARŞAMBALI, Rûveyda İTİK, Seda PAMAY ve Merve KIRAL'a teşekkür ederim.

Ayrıca hayatımın her anında yanımda olan hiçbir zaman maddi manevi desteklerini esirgemeyen babama, anneme ve kardeşime yürekten teşekkür ederim.

Aralık, 2020

Burcu KARABULUT

Ziraat Mühendisi

1. GİRİŞ

Kentsel nüfus artışına paralel olarak artan evsel atıklar, sürekli gelişen endüstriden ortaya çıkan çeşitli endüstriyel ve kimyasal atıklar, tarımda kullanılan metal içerikli suni gübreler, pestisitler, herbisitler, fungusitler ve verim artırıcı diğer kimyasallar uzun yıllar içerisinde toprakta, yer altı ve yer üstü sularında ağır metal birikimine neden olmuştur. Ağır metaller çevrede kendiliğinden yıkıma uğrayamazlar, bu nedenle kirlenmiş bir çevreden ancak bu amaçla geliştirilmiş özel yöntemler kullanılarak uzaklaştırılabilirler. Tarihsel süreç içerisinde ağır metalleri çevreden uzaklaştırmak amacıyla birçok farklı yöntem kullanılmıştır. Kullanılan yöntemlerin çoğunluğunun en önemli dezavantajı, düşük derişimdeki metal iyonlarını uzaklaştırmada yetersiz kalmaları, uzaklaştırma verimlerinin düşük olması veya ekonomik olmamalarıdır (Gaballah ve Kilbertus, 1998). Bununla birlikte, son dönemlerde yapılan araştırmalar kirlenmiş bölgeleri onarmak ve daha düşük bir maliyetle kirlilikleri çevreden uzaklaştırmak için geleneksel temizleme teknolojilerine alternatif olarak canlı bitkilerin (fitoteknoloji) kullanılabileceğini göstermektedir (Ghosh ve Singh, 2005).

Kirlenmiş toprakların temizlenmesinde fiziksel, kimyasal, termal ve biyolojik süreçleri ele alan bazı teknikler kullanılmaktadır. Fitoremediasyon yöntemi diğer yöntemlere kıyasla daha ekonomik ve daha memnun edicidir (Turan ve Bringue, 2007).

Türkiye’de son zamanlarda, Avrupa Birliği uyum sürecine paralel olarak çevre kirliliğine karşı alınan önlemler artmıştır ve kirlenmiş bölgelerin temizlenmesi gündemdedir. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerin kullandığı çevresel arıtma teknolojileri yüksek kurulum ve işletim maliyetleri içermektedir. Yeşil ıslah yöntemi umut veren ve gelişen bir teknolojidir. Bitki materyalinin kullanıldığı bu yöntemin işletme, uygulama, giderim potansiyelleri gibi özelliklerinden dolayı çok avantajlı bir yöntem olduğu görülmüştür. Toprakta yer alan mikroorganizmalar sayesinde bitkiler azot, fosfor, mineraller gibi inorganik maddeleri bünyesine alırken aynı zamanda çevre sağlığını etkileyen ağır metalleride bünyesine alır ve toprak kirliliğini minimize etmekte katkı sağlar (Ali vd., 2013; Wang vd., 2012).

Bu araştırma ile ülkemiz ve bölgemizdeki tarım topraklarında kurşun kirliliğinin gideriminde yeni ve ekonomik bir yöntem olan Fitoremediasyon yöntemi kullanılarak katma değeri yüksek olan biberiye bitkisinin kurşun kirliliğinin gideriminde hiperakümülatör kapasitesi ve topraklardan kurşun giderimi incelenmiştir.

1.1. Toprak Kirliliği

Genellikle insan aktiviteleri toprak yapısını bozarak toprak kirliliğine neden olmaktadır. Doğru şekilde uygulanmayan tarımsal uygulamalar, gereğinden çok gübre ve tarım ilaçlarının kullanılması, zehirli maddelerin toprakta birikmesiyle ortaya çıkar (Karaca ve Turgay, 2013). Analiz yapmaksızın toprak bünyesinde biriken kontaminasyonu anlamak mümkün değildir. Son yıllarda yapılan tarımsal faaliyetler ve sanayi kaynaklı kirleticilerin çeşidi ve konsantrasyonu artmaktadır (FAO ve ITPS, 2015). Topraklardaki bulaşma toprak kimyası, fiziği ve biyolojisine göre değişmektedir (FAO ve ITPS, 2015).

Türkiye topraklarının kirlilik düzeylerini değerlendirdiğimizde 1970'ten sonra diğer ülkelerde olduğu gibi hızlı sanayileşme, nüfus artışı, kentleşme gibi olaylar sebebiyle verimli tarım arazileri tahrip edilmiştir. Son 25 yılda binlerce hektar tarım arazisi tekrar kullanılmayacak hale gelmiştir. Gizli erozyon olarak isimlendirilen bu olay yeteri kadar önemsenmemektedir ve ülkemizdeki tüm toprakları tehdit eder hale gelmiştir (Karaca ve Turgay, 2013).

Ülkemizde sanayileşme belirli yerlerde yoğunlaşmıştır. Ekonomik sebepler sonucunda tarım arazileri asıl amaçlarının dışında kullanılmaya başlanmıştır. Bu tarım arazilerine kurulan tesisler çevrelerinde bulunan tarım arazileri içinde büyük bir tehlike oluşturmaktadır. Ürünün kalitesini ve miktarını arttırmak için bilinçsizce kullanılan tarım ilaçları, hormonlar, gübreler vb. maddeler de toprağı kirletmektedir. Aynı zamanda tarımsal sulamada kullanılan kirli sular da toprak bünyesine girerek kirliliği arttırmaktadır.

1.1.1. Topraklarda ve Bitkilerde Kurşun Kirliliği

1.1.1.1. Toprakta kurşun

Tarım topraklarında ekstrakte edilebilir kurşun miktarı 4 mg/kg iken total içerik ise 100 mg/kg olarak ifade edilmiştir (Adiloğlu, 2013). Yüksek Pb içeriği, özellikle insanların kirlettiği topraklarda görülür. Kurşun işletilen endüstriyel kuruluşların yakınlarında yer alan topraklarda 3000 mg/kg dolayında Pb saptanmıştır (Özbek vd., 1993; Eren, 2010).

Trafiğin yoğun olduğu yollara yakın yörelerde ise 700 mg/kg Pb saptanmıştır. Kontamine olmuş akarsu sedimentlerinde de önemli miktarda Pb birikimi olduğu bildirilmiştir. Kurşun özellikle hava hareketi ile toprağa ulaşmaktadır. Kurşun içeren toz

partikülleri ve aerosoller rüzgar ile oldukça uzak mesafelere taşınırlar ve böylece endüstriden uzak bölgelerde yüksek Pb birikimi meydana gelebilir (Özbek vd., 1993; Eren, 2010).

Kayaçlarda kurşun içerikleri çoğunlukla bazik kayalardan asit püskürük kayalardaki içerik artmaktadır. Sülfid ile Pb arasında çok güçlü bir interaksiyon vardır. Bu nedenle sülfidin fazlarında Pb yoğun olarak bulunmaktadır. En çok kurşun içeren minerallerden galen %87 oranında kurşun içerebilmektedir (Alloway, 1990; Eren, 2010).

Kurşun yarayışlılığını etkileyen faktörler toprakların kimyasal özelliklerinden pH, organik madde, fiziksel özelliklerinden kil minerallerinin cinsi ve miktarı, katyon ve anyonların cinsi ve miktarı, tekstürüyle toprak drenajı gibi özellikleridir (Özbek vd., 1993; Eren, 2010).

Toprak reaksiyonu, toprak parçacıkların büyüklüğü, KDK (katyon değişim kapasitesi) katyon değişim kapasitesi ve bunların yanı sıra kökün yüzey alanı, kök salgıları ve mikorizal taşınma miktarı gibi bitki faktörleri kurşunun yararlanılabilirliği ve alımını etkilemektedir (Sharma ve Dubey, 2005).

Kadmiyum, çinko ve nikelin aksine kurşun topraklarda son derece hareketsiz bir elementtir ve pH>5'te çözünürlüğü çok düşüktür. Ancak pH 4-4,5'ta kurşunun çözünürlüğü ve buna bağlı olarak da bitki tarafından alınabilirliği artmaktadır. Ayrıca organik maddesi yüksek olan toprakların organik maddesi düşük olan topraklara göre Pb çözünürlüğü daha azdır. Topraklardaki organik madde, mineral bileşenlere oranla asidik ortamda Pb çözünürlüğünü önemli ölçüde azaltmaktadır (Özbek ve ark., 1993; Eren, 2010).

1.1.1.2. Bitkide kurşun

Kurşun genellikle kök sistemiyle, az miktarda da olsa yapraklar yolu ile bitki tarafından alınır. Bitki içinde ise Pb köklerde birikir fakat köklere giren Pb'nin çok az miktarı yeşil aksama taşınmaktadır (Sharma ve Dubey, 2005; Eren, 2010). Kurşun birçok iyonun kökler tarafından absorbe edilmesini bloke etmektedir. Kurşuna maruz kalmış köklerin ucunda Ca, Fe, Zn düzeyleri azalmaktadır. Örneğin iğne yapraklı Norveç ladinin Ca ve Mn düzeyleri Pb uygulaması ile azalmıştır. Bu durum, kök ve kök uçlarının zarar görmesi ve buna bağlı olarak besin elementlerinin alımının azalmasından kaynaklanabilir (Sharma ve Dubey, 2005; Eren, 2010).

Kurşun kirliliği bitkilerde moleküler ve hücresele seviyede oluşmaktadır. Kurşun iyonu farklı enzim aktivitelerinde rol oynar. Kurşun, proteinin sülfidril (-SH) grubuna bağlanarak ya da başka metal iyonlarıyla yer değiştirip bazı enzim içeriklerini azaltmaktadır. Genellikle ferrokelataz enziminin aktivitesini bozar ve hemoglobin sentezinde görev alan aminolavulinasit-dehidraz, porfirinsentez enzimlerini engellemekte ve böylece anemi meydana getirmektedir (Özçelik, 2000; Özbek, 1993).

1.1.2. Toprak Kirliliği Gideriminde Kullanılan Yöntemler

Ağır metallerle kirlenmiş topraklarda yapılması gereken ilk olarak toprakta bulunan ağır metalin giderilmesini sağlamaktır. Fakat giderim maliyetinin fazla olması sebebiyle veya kirlenen bölgenin giderilmeyecek kadar büyük alanlara yayılması sonucunda öncelikle yayılımın engellenmesi gerekir ve tarımda kullanılması önlenmelidir. Kirlenmiş alanın kullanımı yasaklanmalı, kirliliğin giderilmesi için toprağın bölge dışında ya da yerinde giderimi sağlanmalıdır. Kirletilmiş toprakların temizlenmesi için uygulanan fiziksel, kimyasal, termal ve biyolojik yöntemler vardır. Bu teknolojiler sırasıyla şunlardır (Vanlı ve Yazgan, 2008).

1.1.2.1. İzolasyon ve immobilizasyon teknolojileri

Bu teknolojiler, toprakta bulunan ağır metallerin hareketlerini sınırlamak amacıyla uygulanır. Çelik, çimento, bentonit ve harç duvarlardan yapılan fiziksel bariyerler kirletilmiş yerlerin üstünü kaplama ve ağır metalin toprak içerisinde düşey ve yatay şekildeki hareketliliğini minimize etmek amacıyla kullanılmaktadır (Kocaer ve Başkaya, 2003). Bu teknolojinin maliyetinin fazla olmasından dolayı geniş yerlere uygulanması pek olumlu değildir. Bu yöntem kirliliğin giderilmesinden ziyade daha çok yayılmasını engellemek amacıyla uygulanmaktadır. Toprakta metal oranının %25'den (ağırlıkça) fazla olduğu, inorganik kirletici içeriğinin %20'den (hacimce) fazla olduğu yörelerde de bu teknoloji tavsiye edilmemektedir (Anonim, 1998).

1.1.2.2. Mekanik ayırma teknolojileri

Kirlenmiş topraklarda temizlenme faaliyetlerinde uygulanan bir diğer yöntem, mekaniksel olarak yapılarına ve kirlilik düzeylerine göre proses seçimi olayıdır. Temel prensip kirleticilerin partikül boyutu ve çeşididir. Ayırıştırma işlemine baz alınan santrüfj,

gravimetrik prensipler ve manyetik etki alanları ile gerçekleştirilmektedir. Yöntemin etkinliği diğer yöntemlerle beraber kullanılması ve fiziksel yöntemlerin kullanılmasıdır (Mulligan vd., 2001).

1.1.2.3. Pirometalurjik teknolojiler

Bu teknolojilerde kirli topraklardaki metalleri buharlaştırılması amacıyla yüksek sıcaklık fırınları kullanılır. Kirleticinin buharlaşması 200-700° C ile olur ve buharlaşmadan sonra metaller tekrar kazanılır. Bu yöntemler genellikle yüksek sıcaklıklarda metalik forma basit bir şekilde çevrilen Hg için uygun olduğu belirlenmiştir.

Kurşun, kadmiyum, arsenik ve krom gibi bazı ağır metallere erimesi için yardımcı olan ve uniform besleme sağlayan indirgeyici maddelerle ön arıtım yapılmasına ihtiyaç duyulabilir (Mulligan vd., 2001; Demir, 2007).

1.1.2.4. Elektrokinetik teknolojiler

Bu teknolojilerde ince tanecikli ve geçirgenliği yüksek olan topraklarda bulunan ağır metallerin emiliminde oldukça etkindir. Kirleticinin mobilitesini çoğaltmak ve teknolojinin verimini artırmak amacıyla su veya uygun olan tuz çözeltileri eklenebilir. Elektrotlara ulaşabilen kitleticiler elektrota elektro-kaplama ya da çökeltim prosesi uygulanması ile elektrotun yakınında suyun yüzeye pompalanması ile ya da iyon değiştirici reçineler sayesinde alandan uzaklaştırılabilir (Mulligan, 2001; Demir, 2007).

1.1.2.5. Toprağı su/sıvı ile yerinde temizleme teknolojileri

Kirleticilerin toprak yapısından ayrılmasını sağlayacak bir sıvıyla uygulama yapılır. Bu teknolojiye toprakta bulunan kirletici suyla ya da sulu çözeltiler ile giderilir (Kocaer ve Başkaya, 2003). Bu yöntem sadece suda çözünebilen metallerin giderilmesinde etkili olur. Diğer bazı metallerde ise daha değişik çözücülerin kullanılması gerekir. Bunun haricinde daha büyük bölgelerde uygulanması önerilmemektedir.

1.1.2.6. Toprak yıkama teknolojileri

Bu teknolojiye kazılan toprakta uygulanan, toprakta fazlaca bulunan kirleticilerin giderilmesinde etkin, geleneksel fiziko-kimyasal ekstraksiyon ve ayırma proseslerini bulunduran su temelli arıtım yöntemidir (Kocaer ve Başkaya, 2003).

1.1.2.7. Biyoremediasyon yöntemleri

Biyoremediasyon, diğer yöntemler gibi kirleticiler bir fazdan başka bir faza dönüşmediği için daha uygun ve kalıcı olan şeklidir. Biyoremediasyon yöntemiyle kirleticiler biyolojik faaliyetlerle CO₂ ve H₂O gibi son ürünlere dönüşmektedirler. Proses biyolojik faaliyete bağlı şekilde gerçekleşmesi sebebiyle ortamda uygun miktarda organizmanın olması, biyoremediasyon süresince oluşan ürünün toksisite oluşturmaması, organizmalar azaltıcı kimyasalların mevcutsa seyreltilmesi önem arz etmektedir. Organizmaların gelişmesini ve faaliyetini arttıran elementleri, O₂, diğer elektron alıcılar, belirli nem oranı, uygun sıcaklık, karbon ve enerji kaynağı sağlanmalıdır (Dindar vd., 2010). Bu sebeple canlının yaşamını sürdüreceği toprak koşullarının uygunluğu yeterli değil ise bu yöntem başarılı bir şekilde uygulanmamaktadır. Biyoremediasyon yöntemleri kapsamında toprak ve suda oluşan kirliliğin giderilmesini sağlamak için bitkilerin kullanılması, yeşil ıslah yöntemi şeklinde isimlendirilir (Tandy vd., 2009).

1.1.3. Toprakta Ağır Metal

Toprak kirliliği kaynaklarını doğal ve antropojenik olmak üzere 2'ye ayırabiliriz. Genellikle doğal kaynaklar kayaç ve toprakta olan radyoaktif maddeler ya da asbest gibi metaloitlerdir. As kirliliği en çok çevreye sorun çıkaranlardandır. Volkanik patlamalar, As içeren minerallerin aşınması gibi birçok sebepten kirlilik oluşabilir (Scott vd., 2001).

Antropojenik kaynakların ise en önemli kaynağı endüstriyel aktiviteler sonucu çevreye yayılan kirleticilerdir. Gaz formundaki kirleticiler, asit yağmurlarıyla toprak kirliliğine sebep olabilir. Toprak kirliliğine sebep olan en önemli olaylardan biride madenciliktir. Madencilikte yapılan metal eritme işleminden sonra çok fazla oranda kirleticiler bölgeye yayılır. Gübreleme yapmak için kullanılan fosfat içeren kayaçlar etrafa fazla oranda ²³⁸U yarılanmış şekli olan %80 oranında radyoaktif olan ²²⁶Ra ve ²¹⁰Po yayılmasına sebebiyet verir. Ham petrolün çevreye yayılması esnasında bölgesel kirlenmeler meydana gelebilmektedir (Rodriguez-Eugenio, 2018).

Çevrenin ve toprağın kirlenmesinde ulaşım ile ilgili yapılan çalışmalar kentsel yapılanmalar gibi birçok olay da çevrenin bozulmasında etkilidir. Genellikle bacadan çıkan gazlar, ağır metaller, lastik kökenli bileşikler çevreyi olumsuz etkilemektedir (Kumar ve Kothiyal, 2016). Yine en önemli olayların başında belediyelerin atık için kullandığı araziler, atık suların çevreye verilmesi gibi birçok olay kirleticilerin toprağa geçmesine sebep olur. Ayrıca deterjanlar, bakım ürünleri, boyalar, plastik malzemeler gibi birçok olay çevre kirliliğine sebep olmaktadır (Rodriguez-Eugenio, 2018).

1.2. Ağır Metaller

Yoğunluğu 5 g/cm³'den daha fazla olan, canlılar üzerinde toksik etki yapan metallere ağır metal denir (Lars Jarup, 2003). Pb, Cd, Co, Cu, Zn, Fe, Ni ve Hg gibi metallere birlikte 60'a yakın metal ağır metal olarak adlandırılır (Kahvecioğlu vd., 2001). Çok fazla denk gelen ve en fazla bilinen ağır metallere Alüminyum (Al), Mangan (Mn), Civa (Hg), Kobalt (Co), Demir (Fe), Bakır (Cu), Nikel (Ni), Kadmiyum (Cd), Çinko (Zn), Krom (Cr), Arsenik (As), Gümüş (Ag) Kurşun (Pb), Selenyum (Se) ve Vanadyum (V) örnek verilebilir (Özbolat ve Tuli, 2016).

Ağır metaller hem doğal olarak hem de insan aktiviteleri sonucunda doğada bulunmaktadır. Ağır metallerin doğada artık göstermeleri çoğunlukla insan kaynaklıdır (Daşdemir, 2015). İnsan aktiviteleri sonucunda doğaya katılan ağır metalleri Pb, Cd, Cu, Cr, Fe, Hg, Ni, Ag, Sn, Zn ve As oluşturmaktadır (Çelebi ve Gök, 2018). Madencilik aktiviteleri, çimento ve cam üretimi, termik santraller, demir çelik, katı atık yakma tesisleri ağır metallerin doğada artık göstermesinde rol oynayan en önemli endüstriyel faaliyetlerdir (Kahvecioğlu vd., 2001).

Toprak katmanı pek çok olayda, kirleticiler açısından en son biriken yeridir (Yıldız, 2001). Toprak çözeltisinde serbest durumda yer alan metaller, bitki kökleri ve topraktaki mikroorganizmalar sayesinde ya da yerin altındaki suya sızar yer altı suyunun özelliklerinin değişmesine sebep olur böylece besin zinciri kirliliğine neden olurlar (Yıldız, 2001). Kirleticilerin büyük bir kısmı canlıların üstünde birikir. Bu birikimin sonucunda canlıların bünyesinde artan bu elementler önemli seviyelere ulaştıklarında, çok önemli hastalıklara hatta ölümlere sebep olurlar (Akyıldız ve Karataş, 2018). Ağır metallerin bazıları canlılar için gereklidir fakat yüksek düzeylere eriştiklerinde toksik etki yaratırlar. Bu metaller bakır, krom, demir, mangan, molibden, çinko ve nikeldir. Diğer taraftan Cd, Hg ve Pb gibi metaller

canlılar için az miktarlarda da olsa toksik etki yaratabilir (Akyıldız ve Karataş, 2018). Toprak bünyesinde bulunan bazı ağır metal toplam içerikleri Çizelge 1.1.'de belirtilmiştir. Ayrıca Çizelge 1.2.'de Toprakların ekstrakte edilebilir bazı ağır metal değerleri gösterilmiştir

Çizelge 1.1 Bazı ağır metallerin toplam miktarları (Anonim, 2005)

Ağır Metal (Toplam)	mg/kg Fırın Kuru Toprak pH 5-6	mg/kg Fırın Kuru Toprak pH>6
Kurşun	50	300
Kadmiyum	1	3
Çinko	150	300
Nikel	30	75
Civa	1	1,5
Krom	100	100
Bakır	50	140

Çizelge 1.2. Toprakların ekstrakte edilebilir bazı ağır metal değerleri

Ağır Metal	mgkg ⁻¹	Değerlendirme	Referanslar
Kurşun	< 4	İzin verilebilir	Chapman, (1971); Dürüst ve ark., (2004)
	> 4	Toksik	
Kadmiyum	< 0,2	İzin verilebilir	Alloway, (1995)
	> 0,2	Toksik	
Kobalt	< 0,09	İzin verilebilir	Carrigan ve Erwin , (1951)
	> 0,09	Toksik	
Krom	< 1	İzin verilebilir	Bowen, (1966); Tok, (1997)
	> 1	Toksik	
Nikel	< 10	İzin verilebilir	Gerendas ve ark., (1999)
	> 10	Toksik	

1.2.1. Ağır Metallerin Biyokimyasal Özellikleri

Elementlerin bazıları çok az miktarda da olsa çoğu yaşayan organizmalar için gereklidir. Bu elementlerin noksanlığında canlılar olumsuz etkilenir. Bitkiler ve hayvanlar için gerekli olan çinko, demir, mangan, bakır iken sadece hayvanlar için gerekli olan kobalt, selenyum, iyot, krom; sadece bitkiler için gerekli olan ise bor ve molibden'dir.

Biyokimyasal özellikleri belli olmayan ve toksik etki yapan elementlerde bulunur. Bu elementler kurşun, kadmiyum, arsenik, antimon, titanyum ve uranyumdur. Bu elementler belirli bir seviyenin üstüne çıktığında toksisiteye neden olmaktadır. Bu elementlerin birçok olumsuz etkiye sebebiyet verirler. Organizmaların yaşadığı ortam ile madde alışverişi sağlayarak kendi iç ortamını belirli sınırlarda dengede tutması gibi özellikleri birçok elementin alınmasında meydana gelen düzensizlikleri tolere edebilirler (Alloway ve Ayres, 1993).

1.2.2. Bitkilerde Ağır Metal Taşınımı

Ağır metaller genellikle bitkilerde kökler vasıtasıyla alınıp yapraklara geçer. Çözünebilir ağır metaller kök endodermis hücrelerinin zarından geçerek simplastik veya apoplastik yolla köke girebilirler. Eğer bir ağır metal, toprak üstü bitki kısımlarına taşınacaksa ksilem içine girmelidir. Ksileme girmek için de kasparian şeridindeki kanallardan geçmelidir. Bir ağır metal, bir kez ksileme girerse ksilem sıvısı vasıtası ile yapraklara kadar taşınır (Peng vd., 2005).

1.3. Yeşil İslah (Fitoremediasyon)

Fitoremediasyon 1991'de terminolojide yerini alarak toprak kirliliği olan yerlerde bitkiler vasıtasıyla kirliliğin giderilmesinde uygulanan bir yöntemdir. Yeşil ıslah, bitkisel ıslah anlamında gelen fitoremediasyon hem ekolojik hem de ekonomik bir yöntemdir. Ekstra bir masraf gerektirmez ve kullanılan yerlerde yeniden kullanılabilir. İklimsel değişiklikler ve kökün derinliği fitoremediasyon yönteminin kullanılabilmesinde önem arz eder. Toprak özelliklerinin toprakların şartlarına uygun olması bitkilerin kirliliği topraktan almasında etkin olmaktadır. Topraktaki pH düzeyi 5,8-6,5 aralığında olması besin elementlerinin bitkiler tarafından alınmasında önemli olmaktadır (Vanlı, 2007).

1986 da meydana gelen nükleer patlama sonucu Çernobil'de çevre kirliliğine neden olmuştur. Bunun sonucunda fitoremediasyon yani yeşil ıslah yöntemi gündeme gelmiştir. Çapı yüz kilometreyi aşan bir bölgede meydana gelen kirliliğin giderilmesinde bitkiler başrol oynamıştır ve bu şekilde kirlilik olan yerlerde bitkilerin kullanılmasının araştırılması hızlanmıştır (Özbek, 2011).

Günümüzde toprak kirliliğinin giderilmesinde bitkiler kullanılarak ağır metalle kirlenmiş topraklardaki maddeler temizlenmektedir. Yeşil ıslahın etkili özellikleri arasında

yerinde arıtımın sağlanması ve fazladan enerjiye ihtiyaç olmaması önemli bir etkidir. Diğer bir olumlu özelliği ise doğaya olumsuz bir etki göstermemesi ve insanlar tarafından daha çok tercih edilmesidir (Hamutoğlu vd., 2012).

Toprağın temizlenmesi için kullanılan fizikokimyasal yöntemlerin pekçoğu toprağın biyolojik faaliyetini büsbütün yok edilmesine neden olur. Ayrıca toprağı uygunsuz bir ortama dönüştürdüğü için bitkinin büyümesi zorlaşır. Yeşil ıslah yöntemi ise toprağa zarar vermemektedir (Khan vd., 2000).

Fitoremediasyonun olumlu yönleri şu şekilde sıralanabilir: diğer ıslah çalışmalarından daha ucuzdur, alanı tekrar istila etmede yeni bitkilere gerek kalmaz, atık döküm için fazla alana gerek kalmaz, başka yöntemlerle kıyaslandığında insanlar bu yöntemi tercih eder, yerinde ıslah özelliğiyle kirli olan bölgenin farklı yere taşınmasına ihtiyaç duymadan ağır metallerin yayılımını önlenmiş olur, tek tip kirleticiler haricinde çoğu kirleticiyle aynı zamanda savaşarak bölgenin temizlenmesi sağlanmış olur.

Fitoremediasyonun olumsuz yönleri ise şu şekilde sıralanabilir: hızlı sonuç vermesi bölgede kullanılacak bitkinin bölgeye uyum göstermesiyle birlikte kirleticiye olan direnciyle bağlantılıdır, yapraklarda birikmiş olan ağır metaller sonbaharın gelmesiyle dökülerek tekrardan toprağa karışabilir, yakacak olarak kullanılacak bitkilerin içerisinde ağır metal birikimi olmuş olabilir, diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında ıslahın zamanı daha uzundur ve kirleticiler çözünerek toprağa karışma ihtimalleri vardır (EPA, 1995).

1.4. Yeşil Islah Yöntemleri

1.4.1. Ağır Metal Gideriminde Kullanılan Yöntemler

1.4.1.1. Fitoekstraksiyon (Bitkisel özümleme)

Bazı bitkiler kök veya gövdelerinde organik ve inorganik kirleticileri toprak kirliliği olan yerlerde bünyelerine alabilir. Bu ağır metal kirliliği olan yerlerde fitoekstraksiyon diğer bir ismiyle bitkisel özümleme yöntemiyle toprak kirliliği giderimi sağlanabilir. Kirli yörelerde bu bitki materyalinin toprak üstü aksamı hasat edilerek ya da kökünden sökülerek bu metalleri bölgeden uzaklaştırmak mümkündür. Bu bitkilerin alınan yerlerinde biriken metaller tekrar ağır metal olarak elde edilebilir ve gübre olarak da kullanılabilir. Nikel ve altının bu şekilde ABD' de geri kazanımı yapılmaktadır (Sutherson, 1999; EPA, 2000; Pivetz, 2001).

1.4.1.2. Rizofiltrasyon (Köklerle süzme)

Ağır metallerin giderilmesinde uygulanan başka bir yöntemde köklerle süzme yöntemidir. Bu yöntemde bitkiler, canlı organizmalar, su, hava, toprak gibi etmenlere bağlı olarak ağır metalleri bitki köklerine alırlar ya da bitki köklerinin üzerine yapışarak kalırlar. Böylece kirleticileri bitkiler bünyesine almaktadır. Burada temel olan şey ağır metallerin bitki üstünde ya da içinde hareketsizliğinin sağlanmasıdır. Bünyesine ağır metalleri alan bitkilerden daha sonra bu ağır metaller alınabilir. Köklerde süzme yöntemi yerin altındaki sularda, yüzey sularında ve atık sularda da uygulanır. Bu yöntemin bir avantajıda karasal ve sucul bitkilerin kullanılmasına olanak sağlamasıdır. Bu yöntem aynı zamanda yapay alanlarda yani gölet, havuz gibi yerlerde de uygulanabilmektedir (Pivetz, 2001).

1.4.1.3. Fitostabilizasyon (Köklerle sabitleme)

Fitostabilizasyon, ağır metali bünyesine alabilen ve tolerans gösterebilen bitkiler kullanılarak bu elementlerin hareketliliğini sınırlamak, kirli olan bölgeleri stabilize etmek ve tekrar kullanabilmek için bitki materyalinin kullanılmasını gerektirir. Fitostabilizasyon aynı zamanda topraklarda kirleticilerin hareketini azaltmak için kullanılacak bir mekanizmadır. Bitki kökleri aynı zamanda toprakta pH ve toprağın nem içeriği gibi şartları da değiştirmektedir. Kirleticinin bitkilerle yerinde stabilizasyon yöntemi, kirlenmiş ortamın gerçekten arındırılması için bir teknoloji değil, potansiyel toksik kirleticileri etkisizleştirerek risk azaltma yöntemidir. Metallerin fitostabilizasyonunda en iyi sonuç ağaçlar ve otlar bir arada olduğunda elde edilmektedir. Erozyon ve toprak sızdırması sık sık toprakta kirletici maddeleri harekete geçirerek hava veya suyla taşınan kirliliğe neden olmaktadır. Fitostabilizasyon süresince bitki kökleri tarafından toprakta çökme veya aşırı su sızması önlenerek toprağın kirlenmesi azaltılır. Bununla birlikte, kirlenmiş arazilerde büyüyen bitkiler toprağı stabilize ederek rüzgar ve su erozyonunu azaltmaktadır (Aliyeva, 2014).

1.4.2. Organik Kirleticilerin Gideriminde Kullanılan Fitoremediasyon Yöntemleri

1.4.2.1. Fitodegradasyon (Bitkisel bozunum)

Bitki yapısına alınan ağır metalleri metabolik işlemler sırasında değiştirilmesi olarak tanımlanır. Kirletici etmeni fitodegradasyonda yapısında bulundurması gerekir. Kökün uç kısımları ve kök civarı ile bu işlem sınırlıdır. Bitki yapısına alınabilen organik formdaki

bileşiklerin bitki türü, toprakta kirlilik etmeninin ne kadar süre kalabileceği ve eriyebilirliği ile fiziksel ve kimyasal yapısına bağlıdır. Bitki tarafından alınan bileşiklerin eriyebilir olması sıkıntıdır. Toprak, çamur ve yer altı sularında fitodegradasyon kullanılabilir. Bu yöntemin önemli avantajı indirgenme ya da bozulmanın mikroorganizmalara bağlı olmadan bitki içinde gerçekleşmesidir. Zehirli ara ve son ürünler oluşarak bunların zor tespit edilmesi bu yöntemin dezavantajını oluşturmaktadır. Kavak taban suyunda bulunan nitrati uzun kökleriyle alarak bir kısmını atmosfere gaz şeklinde bırakır (Pivetz, 2001).

1.4.2.2. Rizodegradasyon (Köklerle bozunum)

Bitki kökleri etrafındaki kirleticiler mikroorganizmalar sayesinde ayrışır bu duruma rizodegradasyon denir. Bu yöntemin olmazsa olması mikroorganizmalardır. Bu yöntemde bitki kökleri ve mikroorganizmalar beraber çalışarak kirleticinin etkinliğini düşürür. Kirleticilerin yapılarını kök sistemiyle değiştirirler. Yaşamsal faaliyetlerini sürdürmek amacıyla bu birliktelik devam eder ve zehirli etmenleri devamlı parçalayarak bu döngü sürer. Kirleticileri mikroorganizmalar ayrıştırarak biriktirirler. Kirleticilerin doğal ortamda yok edilmesi bu yöntemin avantajlarından biridir. Ancak atmosfer de ya da bitkide düşük oranda da olsa taşınmaları dezavantajı olarak karşımıza çıkar (Söğüt vd., 2004).

1.4.2.3. Fitovolatilizasyon (Bitkisel buharlaşma)

Bu yöntemde ağır metaller bitkinin kökleri aracılığıyla alınır ve bitkisel buharlaşma yoluyla atmosfere bırakılır. Bitkinin köklerindeki kirleticiler terleme yoluyla yani diğer bir ifadeyle transpirasyon ile doğaya bırakılır. Özellikle kavak ağaçlarında uygulanan bu yöntem ile başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Ghosh ve Singh, 2004). Bitki köklerinde kirleticilerdeki zehirli olan bileşikler daha az zehirli forma dönüştürülür ve atmosfere salınır. Bu durumda bu yöntemin dezavantajı olarak görülmektedir. Yer altı suları, çamur, toprak gibi alanlarda da bu yöntem uygulanabilmektedir (EPA, 2000).

1.5. Hiperakümülatör Bitkiler

Doğada bulunan bitkilerin bazıları yüksek düzeylerde metal ve metaloidleri doğal olarak kendi bünyelerinde biriktirme yeteneklerine sahiptirler. Bu biriktirmeyi yaprak ve dallarında veya kök dokularında yüksek konsantrasyonlarda gerçekleştirebilirler. Baker ve Walker (1990) bitkileri, doğrudan bünyesine alamayan (hiperakümülatör olmayan), alabilen

(belirtgen) ve aşırı miktarda alabilen (akümülatör/hiperakümülatör) olmak üzere üç grupta incelemiştir. Metalleri bünyesine alabilen bitkiler ağır metal kirliliğinin ortadan kaldırılması için kullanılmaktadır.

Bitkiler yaşam sürecinde hem makro-nutrientlere hem de mikro-nutrientlere gereksinim duymaktadırlar. Bitkilerin bazıları kendileri için gerekli olan bakır, mangan, nikel, çinko gibi mineralleri aldığı gibi gerekli olmayan arsenik, kadmiyum, selenyum, kobalt gibi metalleride bünyelerinde biriktirmektedir (Alford vd., 2010; Lasat, 2014). Bu gibi bitkilere hiperakümülatör bitkiler denilmektedir.

1.5.1. Biberiye (*Rosmarinus officinalis*)

1.5.1.1. Genel özellikleri

Türkiye’de kuşdili, hasanbal gibi adlandırılan biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.) Lamiaceae familyasına bağlı önemli tıbbi ve aromatik bitkilerdendir. Yıl boyunca yapraklarını dökmeyen biberiye; soluk mavi çiçek rengine sahip olup 1 metreye kadar boylanabilen ve çalı görünümünde çok yıllık bir bitkidir (Baytop, 1999).

Biberiye bitkisinin yeni sürgünleri pamuksu ve tüylü yapıda olup, çok kısa bir sap ile gövdeye bağlanan yaprak iğne şeklindedir. Yaprakların uzunluğu 1,5-3,5 cm arasında, genişliği ise 1,5-3,5 mm arasında değişim göstermektedir. Yaprakların üst yüzeyinde güçlü kutikula tabakası mevcut olup yeşil renkli ve kaygan yapıdadır. Yaprak alt yüzeyinde uçucu yağ keseleri bulunur ve bu yüzey grimsi tüylere sahiptir. Alt ve üst olmak üzere 2 loplu olan çanak yapraklar çan şeklinde ve üzerlerinde gri tüyler taşımaktadır. Taç yapraklar ise açık maviden mavi viyole kadar değişen renklere sahiptir. Genel olarak kısa sürgünlerde 10’a yakın çiçek teker teker bulunur. Bitki birden fazla dallanma gösteren odunlaşmış kök yapısına sahiptir (Ceylan, 1997).

1.5.1.2. İklimsel istekleri

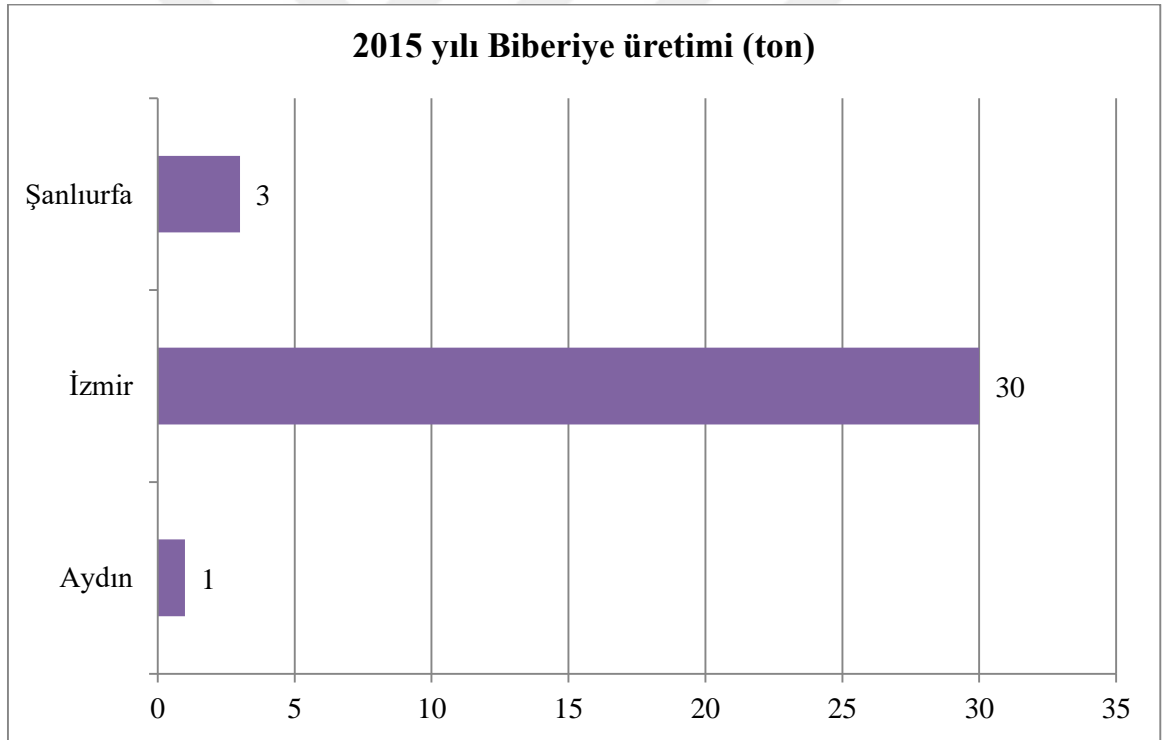
Akdeniz ile bağlantısı olan ülkelerin sahile bakan dağ yamaçlarında doğal olarak yayılış gösteren biberiye bitkilerinin kültüre alınmış en önemli türü *Rosmarinus officinalis* L.’dir. Avrupa ve Afrika ülkeleri ile ABD ve Meksika gibi farklı ülkelerde kültürlü yapılmaktadır. Latince kökenli olan *Rosmarinus* kelimesi “denizin çiği” anlamına gelmektedir. Bitkinin deniz kenarında bulunması ve deniz iklimini sevmesinden dolayı bu adı

aldığı düşünülmektedir. Türkiye’de Ege ve Akdeniz sahillerinden başlayarak 1000 m yüksekliğe kadar uzanış göstermektedir (Baydar, 2013).

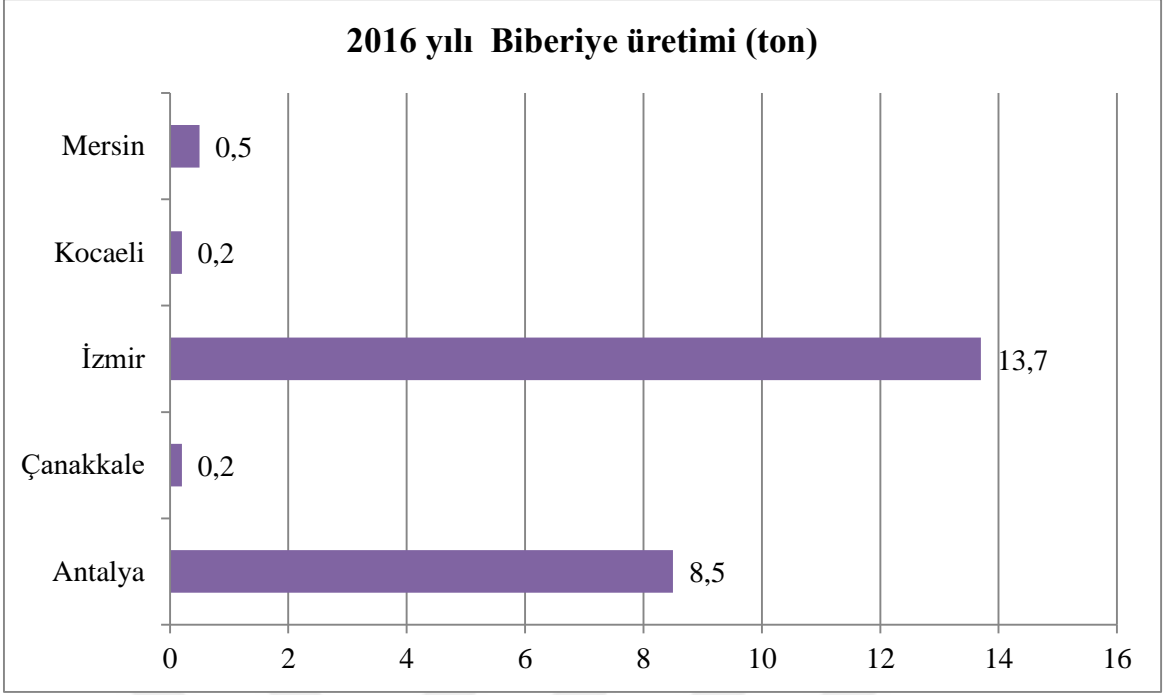
Türkiye’de başta Mersin ve Adana olmak üzere Çanakkale, Tarsus ve Hatay’ı da kapsayan Batı ve Güney kıyılarında doğal olarak yetişmektedir. Biberiye makilik ve orman içi boşluk alanlar ile koruma altındaki ağaçlandırma bölgelerinde yayılış alanları bulmuştur (Malayoğlu, 2010).

1.5.1.3. Ülkemizde Biberiye (*Rosmarinus officinalis*) üretiminde son gelişmeler

Ülkemizde biberiye yetiştirilen şehirlerde 2015 yılı biberiye üretim miktarları Şekil 1.1’de gösterilmiştir. İzmir ilinin biberiye üretim miktarı 2015 yılında 30 ton, Şanlıurfa ilinin 3 ton ve Aydın ilinin 1 tondur (Anonim, 2020)

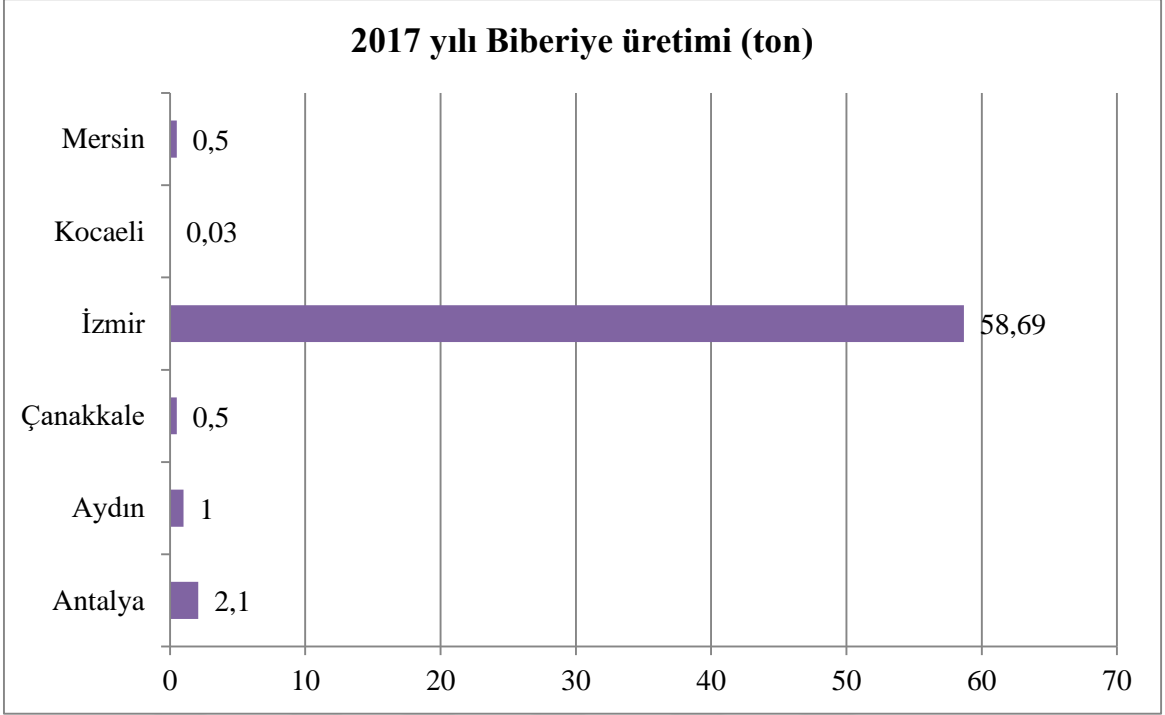


Şekil 1.1. Türkiye’de 2015 yılına ait biberiye üretim miktarının illere göre dağılımı



Şekil 1.2. Türkiye'de 2016 yılına ait biberiye üretim miktarının illere göre dağılımı

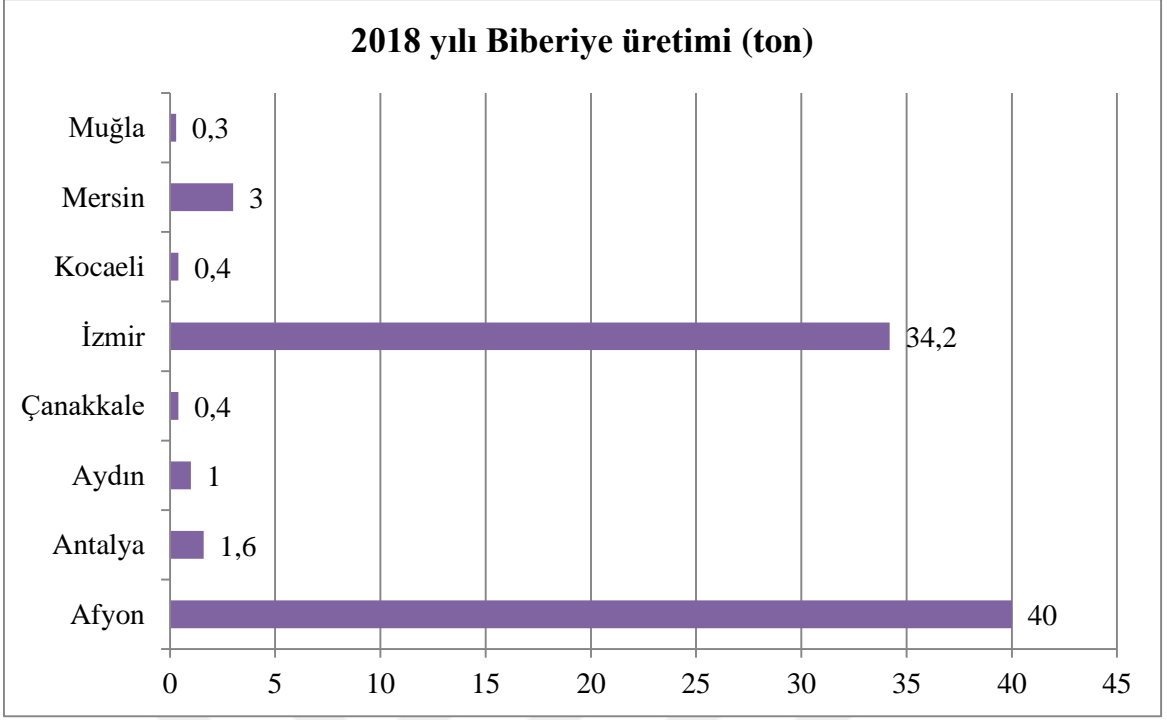
Şekil 1.2'de Türkiye'de 2016 yılına ait biberiye üretiminin illere göre dağılımı gösterilmiştir. 2016 yılının illere göre biberiye üretim miktarları Antalya 8,5 ton, Çanakkale 0,2 ton, İzmir 13,7 ton, Kocaeli 0,2 ton ve Mersin 0,5 tondur (Anonim, 2020). 2015 yılı ile karşılaştırdığımızda 2016 yılında Şanlıurfa'da üretim yapılmamış ve 2016 yılında Antalya, Çanakkale, Kocaeli ve Mersin illerinde de üretim yapılmaya başlanmıştır. İzmir ili 2016 yılında 2015'e göre %50 'den daha fazla oranda üretim miktarının azaldığı belirtilmektedir.



Şekil 1.3. Türkiye'de 2017 yılına ait biberiye üretim miktarının illere göre dağılımı

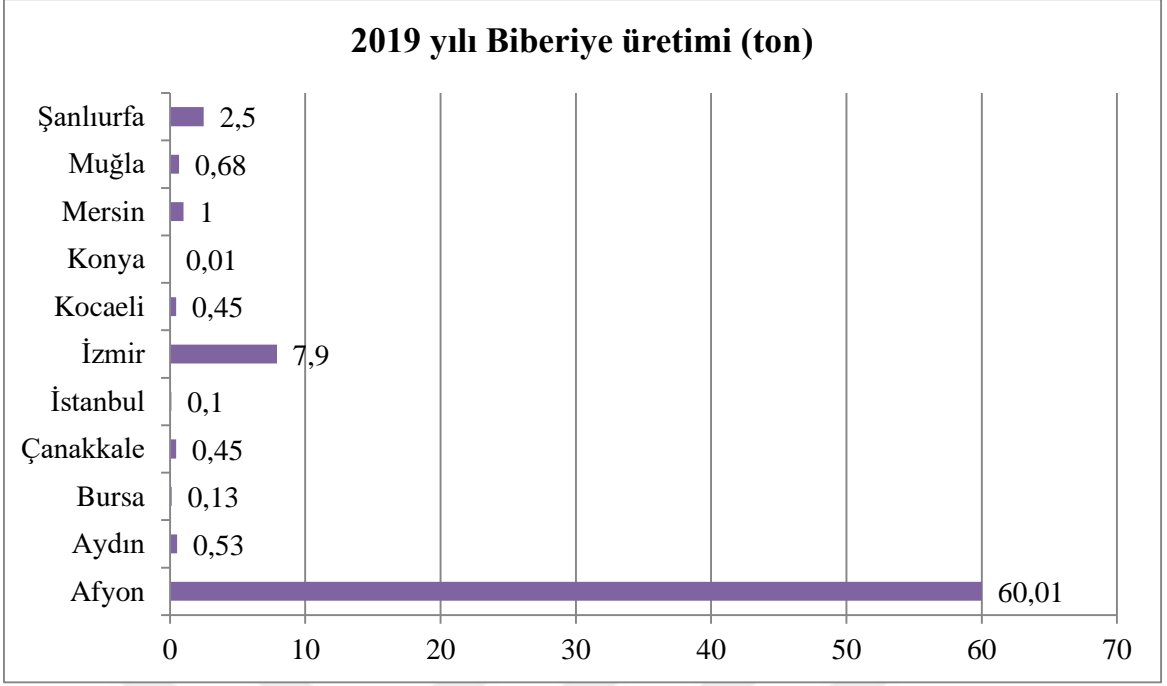
Türkiye’de 2017 yılı biberiye üretiminin illere göre dağılımı Şekil 1.3’te gösterilmiştir. 2017 yılının illere göre biberiye üretim miktarları Antalya 2,10 ton, Aydın 1 ton, Çanakkale 0,5 ton, İzmir 58,69 ton, Kocaeli 0,03 ton, Mersin 0,5 ton ve Muğla 0,31 tondur (Anonim, 2020). Bir önceki yıla göre Antalya’nın üretim miktarı azalmış (8,5 tondan 2,1 tona düşmüş), İzmir ve Çanakkale’nin üretim miktarları artmıştır.

Türkiye’de 2018 yılı biberiye üretiminin illere göre dağılımı Şekil 1.4’te gösterilmiştir. 2018 yılının illere göre biberiye üretim miktarları Afyon 40 ton, Antalya 1,6 ton, Aydın 1 ton, Çanakkale 0,4 ton, İzmir 34,2 ton, Kocaeli 0,4 ton, Mersin 3 ton ve Muğla 0,3 tondur (Anonim, 2020). 2018 yılının biberiye üretim miktarı ile 2017 yılının biberiye üretim miktarları kıyaslandığında 2018 yılında İzmir’in üretim miktarı azalmıştır (58,69 ton iken 34,2 tona düşmüş). Ayrıca Afyonkarahisar ilinde de 2018 yılında biberiye üretimi (40 ton) gerçekleşmiştir.



Şekil 1.4. Türkiye'de 2018 yılına ait biberiye üretim miktarının illere göre dağılımı

Türkiye'nin 2019 yılına ait biberiye üretim miktarının illere göre dağılımı Şekil 1.5'te gösterilmiştir. 2019 yılı verileri incelendiğinde Afyonkarahisar 60,01 ton, Aydın 0,53 ton, Bursa 0,13 ton, Çanakkale 0,45 ton, İstanbul 0,1 ton, İzmir 7,9 ton, Kocaeli 0,45 ton, Konya 0,01 ton, Mersin 1 ton, Muğla 0,68 ton ve Şanlıurfa 2,50 ton biberiye üretimi yapmıştır (Anonim, 2020). 2019 yılı 2018 yılı karşılaştırıldığında Afyonkarahisar'ın 2019 yılındaki biberiye üretim miktarı 20 ton artmıştır. İzmir ilinin biberiye üretim miktarı 2019 yılında 26,3 ton azalmıştır.



Şekil 1.5. Türkiye'de 2019 yılına ait biberiye üretim miktarının illere göre dağılımı



Şekil 1.6. Biberiye bitkisinin yıllara göre üretim miktarı

Şekil 1.6'da biberiye bitkisinin yıllara göre üretim miktarı (ton) gösterilmiştir. 2015 yılının toplam biberiye üretim miktarı 34 ton, 2016 yılının 23,1 ton, 2017 yılının 63,13 ton, 2018 yılının 80,9 ton ve 2019 yılının 73,76 tondur. En az 2016 yılında en fazla 2018 yılında biberiye üretimi yapılmıştır (Anonim, 2020).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Fitoremediasyon ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Fitoremediasyon yöntemlerinin geliştirilmesi amacıyla birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalar tek ya da birden çok metallerle yapılmaktadır. Çalışmaların birçoğu başarıya ulaşmıştır fakat kültür bitkileri bu teknolojide yeni kullanılmaya başlanmıştır. Bu konuda yapılmış araştırmalara ait literatür çalışmalarından bir kısmı aşağıda kronolojik olarak verilmiştir.

Etiyopya'nın merkezinde yapılan bir çalışmada Rift Vadisi'ndeki Mojo bölgesi tarım alanlarından toplanan sebzeler ve toprak örneklerindeki ağır metallerin seviyelerini değerlendirmek amacıyla çalışma yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda, As, Pb, Cd, Cu, Hg ve Co metallerinin tarım toprağında önerilen değerleri aştığını saptamıştır. Domates ve lahana sebzelerinin tüketildiği Etiyopya'nın Mojo bölgesinde potansiyel kanser riskinin varlığı tespit edilmiştir (Gebeyehu ve Bayissa, 2020).

Dinh, Van Der Ent, Mulligan ve Nguyen (2018), hidroponik ortamda farklı Zn^{2+} ve Pb^{2+} işlem kullanarak hiperakümülatör *Noccaea caerulescens* (*Brassicaceae*) bitkisinin Zn ve Pb akümülyasyonunu araştırmıştır. Sonuçlar, *N. Caerulescens* bitkisinin Zn^{2+} birikimi için yüksek bir kapasiteye sahip olduğunu, bunun yanında yüksek düzeyde Pb^{2+} toleransına sahip olduğunu doğrulamıştır. Ayrıca çalışmada, genç bitkilerin yaşlı bitkilerden Zn^{2+} ve Pb^{2+} 'ye karşı daha fazla toleranslı olduğu bulunmuştur.

Yıldırım ve Şaşmaz (2017), yaptıkları çalışmada Kütahya ilinde bulunan Gümüşköy gümüş maden yataklarında bulunan 11 karasal bitkiyi maden topraklarında bulunan As, Zn ve Pb açısından değerlendirmişlerdir. Bu amaçla kök ve gövdelerde zenginleştirme faktörü ($ZF = \text{kök veya gövde metal konsantrasyonu} / \text{toprak metal konsantrasyonu}$) değerlerini hesaplamışlardır. Çalışılan bitkilerin toprağı, kökleri ve gövdelerindeki ortalama metal konsantrasyonları sırasıyla As için 4771, 2320 ve 1340 mg/kg, Ag için 35,93, 10,19 ve 11,51 mg/kg ve Pb için 4180, 1424 ve 1050 mg/kg olarak belirtilmiştir. *Glaucium flavum* kökleri, *Phlomis sp.* kök ve gövdeleri, *Verbascum thapsus* gövdeleri As metali için, *Glaucium flavum* kökleri, *Silene compacta* kök ve gövdeleri, *Verbascum thapsus* gövdeleri Ag metali için ve *Phlomis sp.* kök ve gövdeleri Pb için zenginleştirme faktörü değerlerinin yüksek bulunduğu belirtilmiştir.

Mingorance vd., (2017) İspanya'nın Riotinto bölgesindeki maden sahasındaki kirlenmiş toprak ıslahı için iki farklı bitki türü olan *Cistus ladanifer* L. ve *Medicago sativa* L.'yi incelemişlerdir. Toprak özelliklerini vurgulamak ve bitkilerin çevreye verdikleri tepkileri değerlendirmek için pH, organik karbon, mikrobik biyokütle, enzim aktiviteleri, toprak solunumu gibi çeşitli toprak parametrelerini ve besin, biyolojik birikim ve aktarım faktörü gibi çeşitli bitki göstergelerini kullanmışlardır. Çalışma sonucuna göre her iki bitki türü de, her durumda K eksikliği dışında yeterli bir besleyici özelliğe sahiptir ve As, Cr ve Pb'nin toksik konsantrasyonlarını ve *Medicago sativa*'da da Cu içermektedir.

Yashim vd., (2016) çalışmalarında *Ricinus communis* L. (hint yağı bitkisi) kullanmışlardır. Bu bitkinin fitoremediasyon kapasitesini ölçmek için Cd, Co, Ni ve Pb kirleticileri ile kirletilmiş, (pH 6,78) olan toprak kullanılmıştır. EDTA uygulanmış topraktaki metal seviyeleri işlenmemiş toprağa göre daha fazla çıkmıştır. Hasat edilen bitkilerde metal değerleri Cd-1,9, Co-1,8, Cu-1,5, Ni-8,8, Pb-2,1 ve Zn-1,4 mg/kg'dır. Metaller için Biyoakümülyasyon faktörü (BAF) ve Translokasyon faktörü (TF) bulunmuştur. Metallerin hepsinde TF 1'den fazla bulunmuştur. Metaller için BAF ve TF sırasıyla: Ni > Cd > Co > Pb ve Ni > Cd > Co > Pb olarak tespit edilmiştir. *Ricinus communis* L. (hint yağı bitkisi) kirliliği topraklarda fitoremediasyon kapasitesi olduğu bildirilmiştir (Yashim vd., 2016).

Toprakta bulunan kurşun (Pb), bor (B) ve kadmiyum (Cd) elementlerinin, kolza (*Brassica napus* L.) bitkisi kullanılarak şelatör desteğiyle yeşil ıslah yöntemiyle giderilmesi adlı çalışmada, toprakta kirliliğe neden olan Pb, Cd, B metallerinin çözünürlüğü hümik asit (HA), Etilen Diamin Tetra Asetik Asit (EDTA) ve *Bacillus M3* (MO) şelatörleri ile bitki olarak kolza (*Brassica napus* L.) yetiştirilerek giderimi hedeflenmiştir. Araştırma sonucunda bitki kısımlarının Pb, Cd ve B element içerikleri ve remediasyon parametrelerine dikkat edildiğinde toprak üstü ve altı aksam, tohum kısımlarının elementlerin alınmasında en etkili şelat ve dozun 12 mmol kg⁻¹ EDTA dozu olduğu belirlenmiştir. Kurşun, kadmiyum ve bor elementlerinin gideriminde HA 500 mg/kg doz verilmesinin daha etkili olduğu tespit edilmiştir (Vanlı, 2015).

Kulaç (2015), fitoremediasyon çalışmasında Pb, Cd ve Zn ile kirlenmiş toprakta ayçiçeği, kanola ve mısır bitkilerini kullanmıştır. Bu bitki türleri karşılaştırıldığında en yüksek fitoremediasyon potansiyeline sahip olan bitkinin kanola olduğu belirtilmiştir. Ayrıca mısır, ayçiçeği ve kanola bitkileri ağır metal olarak topraktan en çok Cd metalini aldığını bildirmişlerdir. Bu çalışmada EDTA şelatörü de kullanılmış olup EDTA'nın bitkiler

aracılığıyla metalin alımını arttırdığıda bildirilmiştir. Bunun sonucunda kurşun, çinko ve kadmiyum ile kirli olan topraklarda toprağı başka yere taşımaya gerek kalmadan kanola bitkisini kullanarak yerinde yapılan fitoremediasyon çalışması daha etkili olacağı belirtilmiştir.

Tabrizi ve ark. (2015), *Calendula officinalis* L. bitkisinin fitoremediasyon kapasitesini araştırmışlardır. Ağır metal olarak Pb (150 ve 300 mg/kg) ve Cd (40 ve 80 mg/kg) metallerini uygulamışlardır. Bunun yanında arbusküler mikorizal mantarlarının bitkiler üzerindeki etkilerinde araştırmışlardır. Uygulanan Pb ve Cd ağır metallerinin artışına bağlı olarak bitkinin gelişimi ve veriminde azalmalar meydana gelmiştir. Pb'ye göre Cd'nin bitkiye daha fazla zarar verdiği tespit edilmiştir. Mikorizal mantar ise bitkinin gelişimi ve verimi üzerine olumlu etki gösterdiği görülmüştür. Aynısefa bitkisi incelendiğinde kök ve sürgünlerinde Pb ve daha yüksek seviyede Cd miktarı tespit edilmiştir. Mikoriza kirleticilerin alımını artırmış ve aynısefa çiçeği içerisinde bulunan tıbbi olarak önemli olan aktif maddelerin artışını sağlamıştır. Ayrıca bitki büyümesini, çiçek kalitesini artırmıştır. Bu çalışmanın sonucunda mikoriza mantarı bitkinin ağır metal alımını ve bitkinin büyümesini, verimini artırmıştır. *Calendula officinalis* L.'nin fitoremediasyon potansiyelini artırmıştır.

Çalışkan (2007), Tekirdağ Çorlu ilçesi ve çevresinde yetişen bitkilerdeki ağır metal konsantrasyonunu belirlemek amacıyla Çorlu'daki sanayi kuruluşları ve yoğun araç trafiğı yakınındaki ekim alanlarında yetiştirilen bitkilerden örnekler almıştır. Analiz sonucunda bu bitkilerde kurşun, kadmiyum ve krom düzeyleri oldukça yüksek çıkmıştır. Hatta birçok bitki örneğı için Türk Gıda Kodeksi limitlerini aşan değerler olmuştur. Yazara göre bazı yenilebilir bitki örneklerinde bulunan ağır metal düzeylerinin halk sağlığı açısından risk oluşturma olasılığı vardır.

Kurşun, bor ve kadmiyum kirliliğı bulunan toprakların Vanlı (2007)'nin yaptığı bir çalışmada fitoremediasyon yöntemi kullanılarak giderilmesi amaçlanmıştır. Mısır, kanola ve ayçiçeğı bitkileri ile kurşun, kadmiyum, bor elementleri topraklara ilave edilerek fitoremediasyon yöntemi uygulanmıştır. Şelat verilerek fitoremediasyon etkinliğini yükseltip bitkilerin elementleri temizleme oranları incelenmiştir. Toprağı kg başına 400 mg CdCl₂, 250 mg Pb(NO₃)₂, 100 mg H₃BO₃ verilerek mısır, kanola, ayçiçeğı tohum ekimi ve sulamaları yapılarak büyümeleri incelenmiştir. EDTA bitki hasat edilmeden 1 hafta öncesinde toprağı verilmiştir. Gövde ve kökteki bitkilerin bünyesine aldıkları elementlerin tespit edilmesi amacıyla ICP ve AAS cihazları kullanılmıştır. Bitkilerin aldıkları element içerikleri okunan

sonuçlara göre belirlenmiştir. Uygulanan Pb, Cd, B kirletici elementlerinin mısır, ayçiçeği ve kanola bitkileri kullanılarak topraktan uzaklaşabileceği anlaşılmıştır. Diğer bir sonuçta bu araştırmada bitkiler karşılaştırıldığında kanola en etkili bitki olduğu ortaya konulmuştur.

Axtell vd., (2003) laboratuvarında yetiştirilen *Lemna minor* bitkisini kullanarak kurşun ve nikelin kaldırma kabiliyetini incelemiştir. Ayrıca *Microspora*'nın kurşunu kaldırma potansiyeli de araştırılmıştır. Sonuç olarak *L. minor* kurşunu ve nikeli sırayla % 76 ve % 82 oranında kaldırırken *Microspora* kurşununun % 97'sini kaldırmıştır.

2.2. Uluslararası İndekslerde Taranan Biberiye ve Fitoremediasyon ile İlgili Çalışmalar

Moreno-Jimenez ve ark. (2011) yürüttükleri araştırmada Güney İspanya'nın Guadiamar nehri vadisindeki kirletilmiş topraklarda farklı Akdeniz bitki çeşitlerini (*R. officinalis* ve *R. sphaerocarpa*) kullanmışlardır. *R. officinalis* bitkisini hiçbir uygulama yapmadan bu bölgede büyümeye bırakmışlardır. Bu çalışmanın sonucunda kirleticiyi stabil hale getirmek için birçok bitki türünün olduğu ancak araştırmaların yeterli olmadığı sonucuna ulaşmıştır.

Kaveh ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada eczacılık ile kozmetik endüstrisinde kullanılan her zaman yeşil ve aromatik bir bitki olan *Rosmarinus officinalis* L. bitkisini kullanmışlardır. *Rosmarinus officinalis* bitkisini belediyenin katı atık ve sığır gübresinde yetiştirmişler ve biyolojik kütle üretimini ve ağır metal içeriğini incelemiştir. Bu bitkinin sera üretimi hakkındaki çalışmaları oldukça azdır. Çalışmada biberiye bitkisi sera koşullarında saksıda belediyenin katı atık kompostunda ve sığır gübresinde yetiştirilerek gelişimi incelenmiştir. Çalışmalarında kullandıkları katı atık kompostu ve sığır gübresi İran'ın Kerman şehrine aittir. Bu katı atık ve sığır gübresini %0,2 ve 4 kuru madde içeren toprakla karıştırmışlardır. Bitkinin metal birikimini ve besin değerini incelemek için mikro besin elementlerini ve ağır metal değerlerini analiz ettirmişlerdir. Bunun sonucunda katı atık kompostunda ve sığır gübresinde yetiştirilen bitkilerin biyokütle üretimini oldukça artırdığını gözlemlemişlerdir. Topraklarda yetiştirilen bitkiler, mikro besin elementleri (Fe ve Zn) kullanarak bitkilerin aktivasyonunu artırmış olup fakat ağır metal (Pb ve Cd) değerlerinde ciddi bir farklılık olmadığını belirtmişlerdir. Bitki bünyesinde bulunan ağır metallerin topraklardan insanlara transferinin ciddi ölçüde artırdığı belirtilmiştir.

Madejon vd., (2009) yürüttükleri araştırmada maden alanların sızıntısında kimyasal ve biyokimyasal kirlenmiş toprakların orta vadede bu sahaların *R. officinalis* bitkisiyle fitostabilizasyonunu değerlendirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada iz elementler ile kirli olan toprakları kullanarak saksı denemeleri yapmışlardır. Denemede dört farklı materyal kullanılmıştır. Biyo-katı kompost, şeker pancarı kspesti, bitkili kontrol ve bitkisiz kontroldür. Biberiye bitkisi toprak zltisinde bulunan Cd içeriğinden etkilenmediği tesbit edilmiştir.

El-Rjoob vd., (2008) alışmalarında, Ürdün'de yetiştirilen *Rosmarinus officinalis* bitkisinin bazı kısımlarında kurşun, bakır, çinko, kadmiyum, nikel ve demir bulunan ağır metal konsantrasyonlarını değerlendirmişlerdir. Farklı alanlardan alınan *R. officinalis* bitkisi ve toprak örneklerinde Pb, Zn, Cu, Cd, Ni, Fe içerikleri değerlendirilmiştir. Bitkinin st aksamında; Pb, Ni ve Fe akümüle olduğu grlmştir.

Cala vd., (2005) yaptıkları araştırmada, organik atık kompostunu kirlenmiş toprakların saksılarda *Rosmarinus officinalis*'in gelişmesi değerlendirilmiştir. Kurutulmuş biyolojik kompostu ve belediye katı atıkları 0,20 ve 40 mg ha⁻¹ dozlarında toprak ile birlikte karıştırmıştır. Bitkiler iek açmadan hemen önce hasat edilerek biyokütle ve biberiye yağı elde edilmiştir. Bitkinin ağır metal seviyesini ve besin durumunu tespit etmek için bitkinin bütün aksamlarının makro besleyici ve mikro besin elementlerini ayrıca ağır metal içeriklerini analizlerini yapmışlardır. Kontamine olan alanlarda 40 mg ha⁻¹ dozunda güvenle uygulanabileceği ortaya koyulmuştur.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu denemede bitki materyali olarak biberiye (*Rosmarinus officinalis*) bitkisi kullanılmıştır. Ağır metal olarak kurşun uygulanmıştır. Sulama yapmak için içilebilir şebeke suyu kullanılmıştır. Bu çalışma boyunca yapılan bilgiler alt başlık şeklinde aşağıda sunulmuştur.

3.1.1. Araştırmanın Hazırlanması ve Denemenin Kurulması

Deneme Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi-Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölüm Laboratuvarlarında 2019 Kasım 2020 Şubat tarihleri arasında yürütülmüştür. Deneme de kullanılan biberiye bitkisi fide şeklinde Lüleburgaz Orman Fidanlığı Şefliğinden alınmıştır.

Denemede topraklar 4 mm elekten geçirilmiş ve 4 kg kapasiteli saksılara doldurulmuştur. Biberiyenin etkin kök derinliğine göre dikim yapılmıştır. Artan dozlarda uygulanan kurşun ağır metali Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Artan dozlarda kurşun uygulanan biberiye bitkileri görüntüsü

3.1.2. Araştırmada Uygulanan EDTA Şelatı ve Özellikleri

Chele kelimesi Yunancada pençe anlamına gelmektedir ve etilendiamin tetraasetik asit'in (EDTA) pençeyi andıran organik yapısını göstermektedir. Böyle yapısı sayesinde EDTA stabil bir dairesel yapı oluşturma amacıyla iki ve üçlü valent metalik iyonları bağlar. Sadece metalik iyonları olan Şelatlar suda çözünebilirler ve EDTA da suda çözünür.

Organik kimyada metal 2 ya da 2'den çok elektron veren gruplarla bir molekül oluşturmak için bir araya gelirse halka bir strüktür ortaya çıkarır. Kilyet halkasına gelen metaller iyonik faaliyet özelliklerini gösteremezler. Bu yüzden kilyet formundaki bu metaller, bitkilere faydalı olamayan Şekle getirici kimyasal reaksiyonlarda az bulunurlar. Bu aktiviteleri sebebiyle genel olarak EDTA Şelatının ağır metallerle kirletilmiş topraklara erken uygulanmasıyla bitkilerce bu metallerin daha basit bir Şekilde alındıkları ve toprağın ağır metallerden temizlenmesinde yararlı olduğunda belirlenmiştir (Huang vd., 1997).

Bu araştırmada biberiyenin ağır metalden biyoyararlılığını sağlamak için saksıların her birine 10 mmol/kg EDTA uygulanmıştır.

3.1.3. Araştırmada Kullanılan Biberiye Bitkisinin Özellikleri

Biberiye, *Lamiaceae* familyasına ait olan bir bitkidir. Yöresel ismi Rosmarin, süpürge çalışı, pürem ve kuşdili olarak ifade edilen Biberiye çok yıllık bir bitkidir. Sürekli yeşil kalabilen kireçli topraklarda ve Akdeniz bölgesinde yaygın olarak görölmektedir. Tıbbi-Aromatik bir bitki olan Biberiye çalışmsı bir yapıya sahiptir. Birçok alanda kullanılan bitkinin antioksidan içeriği oldukça yüksektir (Öz, 2017).

Biberiye yaygın bir kullanım alanına sahip olmasının nedeni antioksidan ve antimikrobiyal, antimikrobiyal, antioksidan, antifungal ve insektisit gibi özellikleri nedeniyle tedavilerde, kozmetik ve gıda sanayi gibi birçok alanda kullanılmaktadır. İçerisinde bulunan bazı maddelerden dolayı bazı gıda maddelerinin bozulmasını engellemektedir (Sasikumar, 2004; Kırpık, 2005; Borrás-Linares vd., 2014).

3.1.4. Araştırma Toprağının Özellikleri

Deneme toprağı Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi'nde uygulama alanından 0-30 cm derinlikten alınmıştır. 4 mm'lik eleklerden geçirilmiştir ve hava kuru ortamda kurutulmuş toprak kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri izelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Araştırmada kullanılan toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Parametre	Sonuç	Değerlendirme
pH	6,34	Hafif asit
Tuz (ECx10 ⁶)	254	Tuzsuz
Kireç	% 1,00	Az kireçli
Tekstür	Kum %44, Kil %36, Silt %20	Kumlu Killi Tınlı
Toplam Azot	% 0,10	çok az
Yarayışlı Fosfor	19,46 mgkg ⁻¹	Yeterli
Değersebilir Potasyum	133,17 mgkg ⁻¹	Az
Değersebilir Kalsiyum	2321 mgkg ⁻¹	Yeterli
Değersebilir Magnezyum	179,48 mgkg ⁻¹	Yeterli
Yarayışlı inko	0,29 mgkg ⁻¹	Az
Yarayışlı Mangan	9,97 mgkg ⁻¹	Yeterli
Yarayışlı Bakır	1,30 mgkg ⁻¹	Yeterli
Yarayışlı Demir	8,53 mgkg ⁻¹	Yüksek
Alınabilir Kurşun (Pb)	0,65 mgkg ⁻¹	İzin verilebilir

Çizelge 3.1'de görüldüğü gibi araştırmada kullanılan toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerine bakıldığında pH değerı hafif asit, tuzsuz, az kireçli, kumlu killi tınlı bir topraktır. Yarayışlı fosfor, değersebilir kalsiyum, değersebilir magnezyum ve yarayışlı bakır yeterli düzeydedir.

3.1.5. Araştırmada Kullanılan Kirletici

Yer kabuğunda doğal olarak bulunan mavimsi- gri renge sahip bir ağır metal olan kurşun, iki veya daha fazla elementle birleşik şekilde doğada bulunmaktadır. Doğada yaygın bulunması, erime noktasının ve yoğunluğunun düşük olması, kolay işlenebilir olması, madenlerden çok miktarda elde edilebilmesi ve diğer elementlerle kolaylıkla alaşım oluşturabilmesi nedeniyle yaygın olarak değişik alanlarda kullanılmakta ve insan faaliyetlerinin sonucu olarak da bol miktarda doğaya salınmaktadır (ATSDR, 2007).

Çevrede doğal olarak bulunan kurşunun başlıca maruziyet kaynağı insan faaliyetleridir. Maden ve fabrika kaynaklı atıklar kurşun maruziyetinin başlıca çevresel maruziyet sebebi iken; kömür, petrol ve atıkların yakılması sonucunda da doğaya kurşun salınımı olmaktadır. Sanayi devriminin gerçekleşmesinden itibaren geçen son birkaç yüzyıl içerisinde çevredeki kurşun miktarı yaklaşık 1000 kat artış göstermiştir. Kurşun, toprak ile temas ettiği zaman toprak partikülleri ile sıkı bir şekilde birleşir. Ayrıca biyolojik açıdan bozulmaya ve parçalanmaya uğramadığından toprakta birikme özelliği göstermektedir. Böylelikle zaman içinde toprağın fiziksel kimyasal özelliklerine ve kurşun bileşiklerinin tipine bağlı olarak kurşun yer altındaki derin sulara dahi karışabilmekte veya yağmur suları aracılığı ile nehir ve denizlere kadar ulaşabilmektedir. Bugün özellikle şehir içi bölgelerinde kurşunun konsantrasyonunun fazla olmasının başlıca nedeni; geçmiş yıllarda kurşunlu boyaların, kurşunlu benzinin, pestisitlerin yaygın bir şekilde kullanılmış olmasıdır. Çevrede kurşun maruziyetinin en yoğun olduğu dönem kurşunlu benzinin kullanıldığı 1950- 2000'li yıllar arası olup 1979 yılında Amerika'da taşıtlardan çevreye yayılan kurşun miktarı 94,6 milyon kilogram iken bugün bu değer kurşunlu benzinlerin yasaklanması ile 2,2 kilograma kadar düşürülmüştür. Bunların yanı sıra tıp alanında kullanılan bazı ilaçlar, kozmetik ürünler, vinil içeren maddeler, sigara dumanı gibi çeşitli kaynaklar da kurşun içerikleri nedeniyle çevresel maruziyete neden olabilmektedir (ATSDR, 2007; Paustenbach vd., 2006).

3.2. Yöntem

3.2.1. Toprağa Kirletici ve EDTA Uygulamaları

Günümüzde birçok etmenden dolayı toprakta kurşun metali birikmesi insan sağlığını tehdit eder bir hal almıştır. Aynı zamanda bitkilerinin büyüme ve gelişim sürecine de olumsuz etki eder. Bu araştırmada da bu toksik etkiye sahip metalin topraktan giderilmesinde yarar

sağlayacak şekilde araştırma yapılmıştır. Kurşun metalinin topraktan giderilmesinde maksimum kapasiteyi belirlemek amaçlı saksılara farklı dozlarda kurşun metali uygulanmıştır. Ayrıca çözeltilerin hazırlanma aşaması da Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Pb çözeltilerinin hazırlanışı



Şekil 3.3. Pb çözeltilerinin uygulamaya hazır hale getirilmesi

Denemede kontrol saksıları ve 1 bitki x 3 tekerrür x 5 farklı doz Pb kirleticisi uygulanmıştır. Pb kirleticisi uygulandıktan sonra 1 hafta beklenmiş ve 1 haftadan sonra 10 mmolkg^{-1} EDTA şelatı saksılara uygulanmıştır. Kirletici olarak $\text{Pb}(\text{NO}_3)$ uygulanmıştır. Kirletici artan dozları 10, 20, 40, 80 ve 100 mgkg^{-1} şeklindedir. Daha sonra kirletici parametresi toprakta doğal şartlarda kirlilik unsuru göstermesi ve kirleticinin toprak tarafından alınması için 30 günlük inkübasyon süresi beklenmiştir.

3.2.2. Biberiye Bitkisinin Bazı Biyolojik Verilerinin Elde Edilmesi

Biberiye bitkileri 2 aylık gelişme dönemi sonunda hasat edilmiştir. Hasat edilen biberiye bitkileri Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Her saksıdaki biberiye bitkisinin; toprak üstü aksamın uzunluğu, toprak üstü aksamın yaş ağırlığı, kök uzunluğu, kök yaş ağırlığı ve klorofil miktarı ölçülmüştür. Sonra aynı örnekler 1 hafta hava kuruda, 48 saat 65°C etüvde kurutulmuştur. Kurutulan 18 biberiye bitkisinin toprak üstü ve toprak altı aksamı hassas terazide tartılmış ve kuru ağırlıkları belirlenmiştir.



Şekil 3.4. Hasat sonrası bitkilere ait bir görüntü

3.2.3. Biberiye Bitkisinin Bitki Analizlerine Hazırlanması

Kuruyan bitki aksamaları öğütüldükten sonra kurşun ağır metali analizi ve makro-mikro besin elementi analizi yapılması için NABİLTEM'e (Namık Kemal Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi) gönderildi. Ayrıca çalışma öncesinde toprağın bazı kimyasal analizleri de NABİLTEM'de yapılmıştır.

Hasat sonrasında saksılardan alınan topraklar ve hava kuruda bekletilen topraklar tekrardan 2 mm' lik elekten geçirildi. Pb ağır metali analizi ve makro-mikro besin elementi analizi yapılmak üzere NABİLTEM'e gönderildi. Biberiye bitkisinin analiz için hazırlanması Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Biberiye bitkisinin analiz için hazırlanması

3.2.4. Toprak Analizleri

3.2.4.1. Toprak reaksiyonu (pH) tayini

pH değerinin elektrometrik tayini, hidrojen iyonu için spesifik olan elektrot (cam elektrotu) ile 1:2,5'lük toprak-su karışımında belirlenmiştir (Sağlam, 2012).

3.2.4.2. Elektriki iletkenlik (EC) tayini

Toprak tuzluluğu, elektriki iletkenlik cihazının (Wheatstone Bridge) elektrotu 1:2.5'lük toprak-su karışımına daldırılarak ölçülmesiyle belirlenmiştir (Sağlam, 2012).

3.2.4.3. Toprak tekstürü

Denemenin toprak örneğinin toprak sınıfını belirlemek için Bouyoucos'un yöntemi kullanılmıştır (Tuncay, 1994).

3.2.4.4. Kireç tayini

Topraktaki kireç miktarı Scheibler kalsimetresi ile volümetrik olarak tespit edilmiştir (Sağlam, 2012).

3.2.4.5. Fosfor tayini

Kurutulmuş ve elekten geçirilmiş toprak örnekleri NaHCO_3 ile çalkalanıp filtre kağıdından geçirilmiştir. Elde edilen süzük ICP-OES cihazına okutulmuştur (Sağlam, 2012).

3.2.4.6. Organik madde tayini

Denemede kullanılan toprak örneğinin organik madde içeriği Smith-Weldon yöntemiyle tespit edilmiştir (Sağlam, 2012).

3.2.4.7. Makro element tayini (K, Mg, Ca, Na)

Kurutulmuş ve elekten geçirilmiş toprak örnekleri amonyum asetatla çalkalanıp filtre kağıdında süzülmüştür. Elde edilen süzük ICP-OES cihazına analiz edilmiştir (Sağlam, 2012).

3.2.4.8. Mikro element (Fe, Mn, Cu, Zn) ve Pb tayini

Kurutuluş ve elekten geçirilmiş toprak örnekleri yarıyıllı Fe, Mn, Cu, Zn ve ekstrakte edilebilir Pb içerikleri DTPA yöntemine göre ICP-OES cihazında belirlenmiştir (Lindsay ve Norvel, 1978).

3.2.5. Verilerin İstatistiksel Olarak Analiz Edilmesi

Araştırma sonucunda tespit edilen veriler bilgisayar ortamında PASW®Statistics 18 for Windows istatistik paket programı ile analize tabi tutulmuştur. Uygulamalardaki farklılığı belirlemek amacıyla verilerde varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Ortalamaların önemlilik kontrolü Duncan Multiple Range testine göre değerlendirilmiştir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Biberiyenin Bazı Biyolojik Özelliklerinin Belirlenmesi

Araştırma sürecinde farklı Pb dozlarının uygulandığı saksılarda yetiştirilen biberiye bitkisinin hasat sonrası toprak üstü aksamının yaş ağırlığı ve kuru ağırlığı Çizelge 4.1’de verilmiştir. Deneme sonrası biberiye bitkisinin kök kuru ve yaş ağırlık verileri Çizelge 4.2.’de gösterilmiştir. Uygulanan kirleticinin biberiye bitkisinin bazı biyolojik verilerden bitki boyu ve kök uzunluğu, dal sayısı ve SPAD değerlerine ilişkin etkileri ve gruplar arasındaki farklılığı gösteren Duncan analiz sonuçları Çizelge 4.4.’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Kurşun ağır metali ile kirletilmiş saksılardaki biberiye bitkisinin toprak üstü aksamının yaş ve kuru ağırlık ölçüm verileri

Dozlar (Pb)	Bitki yaş ağırlığı (gr)	Bitki Kuru Ağırlığı (gr)
Kontrol	58,3±4,8a	24,0±0,5a
10 mgkg⁻¹	41,3±1,7ab	24,3±4,4a
20 mgkg⁻¹	42,3±1,8ab	20,6±3,7ab
40 mgkg⁻¹	33,6±6,8b	19,3±4,2ab
80 mgkg⁻¹	25,3 ±7,3b	10,6±2,1bc
100 mgkg⁻¹	26,3±8,6b	8,6±2,1c

*: değerler üç tekrür ortalamasıdır. **: %5 düzeyinde önemli ($p<0,05$).

Çizelge 4.1. incelendiğinde kontrol saksılarına göre artan dozda uygulanan kurşun kirleticisinin ve bu kirleticinin çözünürlüğünü artırmak amacıyla verilen EDTA şelatörü sonucu bitkinin kuru ağırlık ve yaş ağırlık verilerinde azalış olduğu belirlenmiştir. Bu ölçümlerde göstermektedir ki bitki bünyesine kirleticiyi aldıça kuru madde miktarında ve vejetatif aksamda düşmeye sebep olmuştur. Bu düşüş istatistiksel olarak 20 mgkg⁻¹ dozundan sonra anlamlı bulunmuştur. Bu durum bitkinin artan dozlarda uygulanan kurşun ağır metalini bünyesine aldığını göstermektedir. Bu azalışlar istatistiksel olarak %5 oranında önemli bulunmuştur.

Jana ve Barua (1987)'nin yaptıkları bir çalışmada *Lens culinaris* bitkisi ile yürütmüş oldukları çalışmada artan konsantrasyonlarda kurşun uygulamasının yaprak oluşumunu sekteye uğrattığını yapraklarda kloroz, nekroz ve solgunluğa neden olduğunu ve buna bağlı olarak bitki yaş ve kuru ağırlığında azalmalar meydana geldiğini bildirmişlerdir.

Eren ve Dağhan (2014)'e göre transgenik ve transgenik olmayan tütün bitkilerinde farklı dozlardaki Pb uygulamalarının bitkilerde kontrol gruplarına göre, kuru ağırlıkta azalma, Pb (mg kg⁻¹) konsantrasyonunda ise artış olduğunu belirtmişlerdir.

Çizelge 4.2. Kurşun ağır metali ile kirletilmiş saksılardaki biberiye bitkisinin kök aksamının yaş ve kuru ağırlık ölçüm verileri

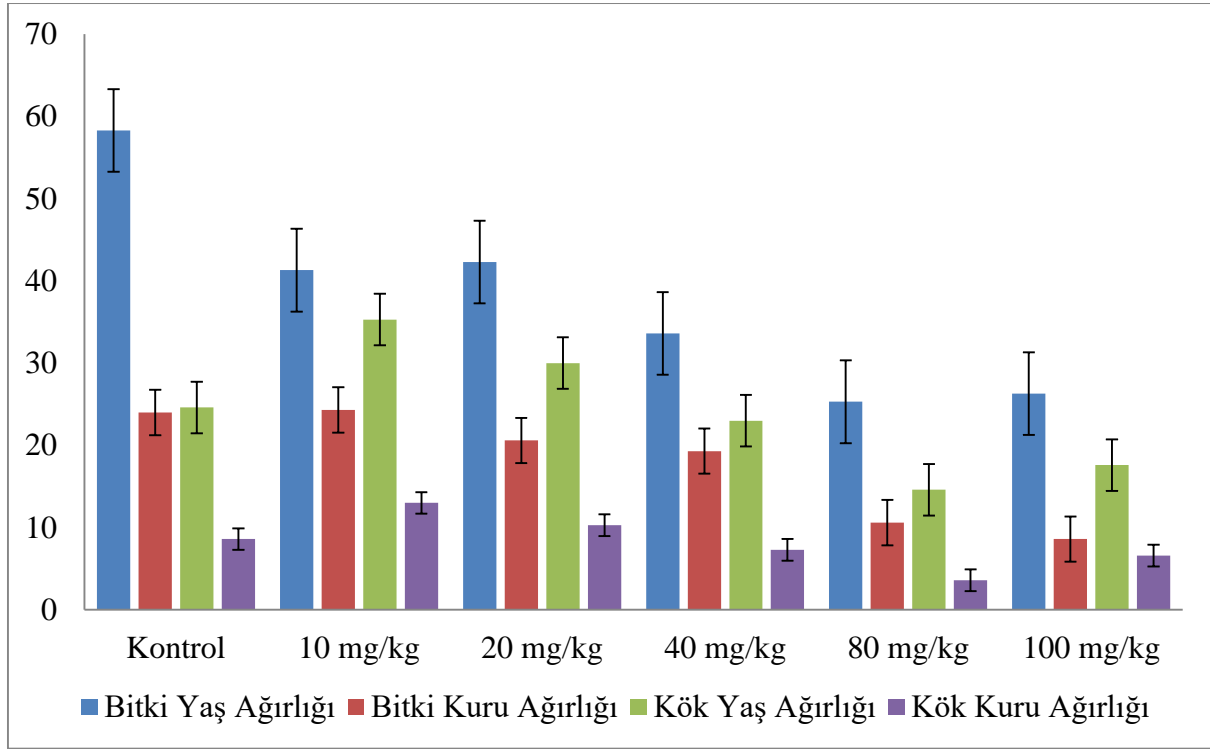
Dozlar (Pb)	Kök Yaş Ağırlığı (gr)	Kök Kuru Ağırlığı (gr)
Kontrol	24,6±2,0ab	8,6±1,7ab
10 mgkg⁻¹	35,3±2,0a	13,0±1,52a
20 mgkg⁻¹	30,0±5,0ab	10,33±2,3ab
40 mgkg⁻¹	23,0±10,2ab	7,3±4,3ab
80 mgkg⁻¹	14,6±4,6b	3,6±1,6b
100 mgkg⁻¹	17,6±1,7b	6,6±1,7ab

*: değerler üç tekrür ortalamasıdır. **: %5 düzeyinde önemli (p<0,05).

Çizelge 4.2'de ise görüldüğü üzere kurşun kirleticisi ile kontamine olan saksılarda biberiye bitkisinin kök ağırlıkları değerlendirildiğinde bitki kök yaş ağırlığı ve bitki kök kuru ağırlığında azalmalar olduğu görülmektedir. Bu azalışlar istatistik analiz sonuçlarına göre incelendiğinde kontrol saksılarına ile karşılaştırıldığında 80 mgkg⁻¹ dozundan sonra etkin olduğu belirlenmiştir. Bu durum toprakların kurşun ağır metali ile 40 mgkg⁻¹ dozuna kadar kirlenen topraklarda yetişen biberiye bitkisinin kök aksamının etkilenmediği Duncan testi ile aynı grupta olması göstermektedir. Bu sebeple artan dozlarda kurşun ağır metali uygulanan saksılarda biberiye bitkisinin üst kısmında ve kök kısmında akümüle olduğu belirlenmiştir.

Ağır metallerden olan kadmiyum, kurşun, nikel konsantrasyonlarının otsu bitkilerde, ağır metallerin dozları artıkça konu olan tüm türlerin bitki ağırlığı, kök uzunluğu ve hacmi, sürgün büyümesi gibi bitki gelişimi özelliklerinde önemli düzeylerde azalmalar meydana getirdiği rapor edilmiştir (Ewais, 1997).

Mercimeğin (*Lens culinaris*) çimlenmesi, fidelerin büyümesi ve yaş-kuru ağırlıklarındaki farklılıkları gözlemek için Cl tuzu şeklinde kullanılan kurşun ağır metalinin etkilerini araştırıldığı çalışmada, fidelere kurşun metali uygulanmış ve yaş ve kuru ağırlıklarında düşüşlerin olduğu ve fidelerde solgunluk, kloroz ve nekroz görüldüğü rapor edilmiştir (Kıran ve Munzuroğlu, 2004).



Şekil 4.1. Kurşun ağır metali uygulanan saksılardaki biberiye bitkisinin bitki yaş ve kuru ağırlıkları ve kök yaş ve kuru ağırlıkları verilerine ait ortalamalar

Biberiye (*Rosmarinus officinalis*) bitkisinin bazı biyolojik verileri incelendiğinde bazı biyolojik özelliklerinden bitki yaş ağırlığı en çok etkilenen parametredir buna paralel olarak gövdenin kuru ağırlığında da azalma görülmüştür. Toprak altı aksamını oluşturan kök yaş ağırlığı ve kuru ağırlığının Pb ve şelatör uygulanan saksılarda önemli derecede etkilendiği ve bitkinin bünyesinde kirlilik biriktirmeye devam ettiği görülmektedir (Şekil 4.1).

Kurşunun farklı dozlarının (0, 10, 50, 100 ve 150 ppm), domates ve ıspanak tohumlarının çimlenmesine etkisini inceledikleri bir çalışmada Hameed vd., (2001) kurşun dozlarındaki artışla birlikte domates ve ıspanak tohumlarının çimlenme oranının azaldığı rapor edilmiştir.

Fargašová (2001)'a göre bitkilerin biyolojik özelliklerinden bitki kök yaş ağırlığı kurşun kirletici nedeni ile azalmaya sebep olmuştur. Jiang ve Liu (2000)'nin yaptıkları bir çalışmada kurşun kirliliği olan yerde yetişen sarımsak bitkisinde bitkinin kök aksamında biriktiği ancak bitkinin kök aksamında azalmaya sebep olduğunu belirlemişlerdir.

Sharma ve Dubey (2005)' e yaptıkları araştırma ile Pb kirliliği bitkilerde bazı fizyolojik özelliklerinde azalma olduğunu bildirmişlerdir. Bitkilerde hücre duvarı stabilitesi, hücre turgoru, stoma aktivitesi ve yaprak alanındaki değerlerde düşüşler olduğunu belirlemişlerdir.

Kurşun maruziyetine yanıt olarak, kökler, yanal köklerin üretimi veya inhibisyonu ile hacim ve çaptaki değişiklikler yoluyla da yanıt verebilir. Pirinçte kök hücrelerin canlılığı Pb^{2+} iyonlarından etkilenir ve farklı Pb konsantrasyonlarında hücre ölümü artar (Huang ve Huang, 2008).

Çizelge 4.3. Kurşun ağır metali ile kirlenmiş saksılardaki biberiye bitkisinin bitki ve kök boyu uzunlukları

Dozlar (Pb)	Bitki Boyu, cm	Kök Boyu, cm
Kontrol	52,6±0,3a	39,6±2,0a
10 mgkg⁻¹	48,3±1,6ab	34,0±1,1ab
20 mgkg⁻¹	47,3±0,3ab	36,0±2,0ab
40 mgkg⁻¹	42,3±1,2b	33,6±0,3ab
80 mgkg⁻¹	43,0±1,5b	31,6±2,8b
100 mgkg⁻¹	27,0±4,1c	30,6±1,3b

*: değerler üç tekrür ortalamasıdır. **: %5 düzeyinde önemli ($p<0,05$).

Biberiye (*Rosmarinus officinalis*) kök ve gövde aksamalarının sonuçları Çizelge 4.3.'de incelendiğinde saksılardaki artan dozlarda uygulanan kurşun ağır metalinin bitki boyu ve kök boyu uzunluğuna etkisi görülmektedir. Bu etki özellikle gövde aksamında 40 mgkg^{-1} dozu ve 100 mgkg^{-1} dozlarında farklı gruplara düşerek görülmektedir. Konsantrasyon arttıkça bitkinin kirlilik karşısında etkilendiği görülmektedir. Bitkinin kök uzunluğu ise 80 mgkg^{-1} dozunda etkisini göstermiştir. Bu durum kirleticinin kök bölgesinde daha çok akümüle olduğunun bir göstergesidir. Tesbit edilen bu sonuçlar istatistiksel olarak %5 düzeyinde anlamlı bulunmuştur. Biberiye bitkisi yüksek konsantrasyonlarda yani toksisitenin artmasıyla birlikte bitkinin boyunda gözleme ve analize dayalı olarak dikkate değer değişim meydana geldiği görülmektedir. Metaller bitkilerin bünyelerinde çok fazla biriktiği takdirde önemli büyüme proseslerinde değişimler meydana gelir (Phalsson, 1989). Bitki membranlarındaki zarar (Kennedy ve Gonsalves, 1987), hormon dengesinin bozulmaya uğraması, su aktivitesinin farklılaşması gibi birçok fizyolojik faktörler de söylenebilir. Kurşun metali bitkinin diğer kısımlarına göre köklerinde daha çok birikmektedir. Çeltik bitkisi yetiştirme ortamı olarak kum tercih edilen bir denemede 10 günlük ve yirmi günlük aralıklar ile 500 ve $1000 \mu\text{M}$ $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ uygulaması yapılarak bitkilerdeki kökün büyümesinin %22-42 oranında ve sürgün büyümesinin %25 oranında düştüğü, köklerle alınan kurşun düzeyinin sürgünlerden 1,7-3,3 kat daha fazla olduğu belirlenmiştir (Verma ve Dubey, 2003).

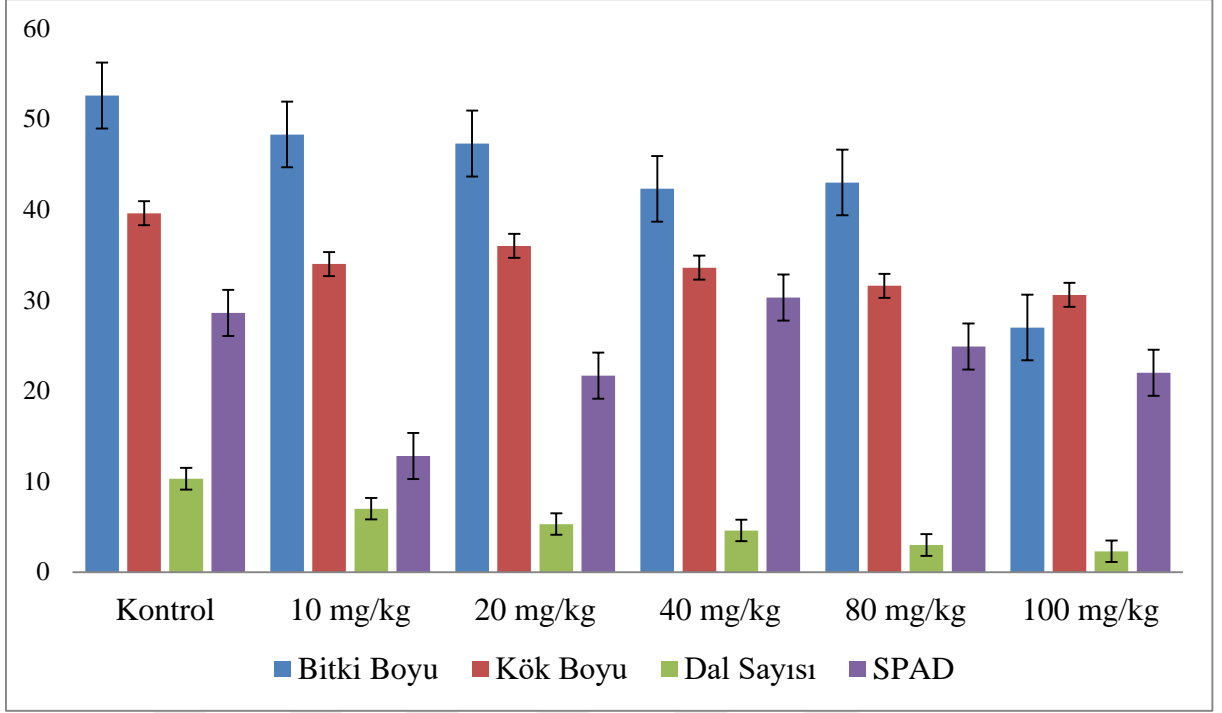
Li, Chaney, Brewer, Roseberg, Angle, Baker, Reeves ve Nelkin (2015)' nin yaptıkları çalışmada bitki olarak Aspir (*Carthamus tinctorius* L.) yetiştirerek, Cu ve Pb ağır metalleri ile kontamine olmuş toprağın giderimini değerlendirmişlerdir. Düşük konsantrasyondaki bakır içeriklerinin fide döneminde bitkide olumlu etkileri olduğunu bildirmişlerdir. Aspir (*Carthamus tinctorius* L.) bitkisinin gelişim döneminde kurşun metalinin olumsuz etkilerinin olduğunu bildirmiştir. Bitkinin biyolojik özelliklerinden köy tücüklerinde, kök ve gövde boyu üzerinde artan konsantrasyonlardaki bakır ve kurşun metallerinin gelişimi engellediği belirlenmiştir.

Çizelge 4.4. Kurşun ağır metali ile kirletilmiş saksılardaki biberiye bitkisinin dal sayısı ve SPAD verileri

Dozlar (Pb)	Dal Sayısı	SPAD
Kontrol	10,3±1,8a	28,6±2,6öd
10 mgkg⁻¹	7,0±1,5b	12,8±9,8öd
20 mgkg⁻¹	5,3±0,3bc	21,7±7,1öd
40 mgkg⁻¹	4,6±0,3bc	30,3±3,9öd
80 mgkg⁻¹	3,0±0,0c	24,9±0,8öd
100 mgkg⁻¹	2,3±0,3c	22,0±3,0öd

*: değerler üç tekrür ortalamasıdır. **: %5 düzeyinde önemli ($p<0,05$). öd: önemli değil

Çizelge 4.4. değerlendirildiğinde bitkinin dal sayısında da toksisite arttıkça azalmalar meydana gelmiştir. Bitkinin bu özelliği en düşük doz olan 10 mgkg⁻¹ dozunda bile olumsuz etkilenmiştir. Dal sayısında tesbit edilen bu olumsuzluk istatistiksel anlamda %5 oranında önemli bulunmuştur. SPAD değerleri istatistiksel olarak önemsiz bulunması bize bitkinin klorofil oluşumunun etkilenmediğini ve ototrof canlı olan Biberiye (*Rosmarinus officinalis*) bitkisinin fotosentez sürecine devam ettiğini göstermektedir. Böylece bitki yaşamsal faaliyetlerini sürdürmekte ve kirletici karşısında hiperakümülatör olmasının bir göstergesi olarak kendini göstermektedir. Hem bitki besin elementi hem fonksiyonel element olan Zn, Mn, Co, Cu, Ni ve Mo bitkinin gelişiminin sağlanması için gerekliken Al, V, As, Hg, Pb, Cd ve Se toksik etki yapar. Bitkinin gelişmesi amacıyla bitkinin ihtiyacı olan elementler ya da ihtiyacı olmayan elementler bitkinin bünyesinde fazla biriktiği zaman bitkinin vejetatif ve generatif organlarına zarar verir (Gür ve ark., 2004; Karaman vd., 2012).



Şekil 4.2. Kurşun ağır metali ile kirlenmiş saksılarda biberiye bitkisinin bitki ve kök boyu, dal sayısı ve SPAD değerlerine ilişkin ortalamalar

Biberiye (*Rosmarinus officinalis*), bazı biyolojik özelliklerinden bitki boyu, kök boyu, dal sayısı, SPAD değerleri Pb ve şelatör uygulanan saksılarda önemli seviyede değiştiği ve bitkinin bünyesine kirliliği almaya devam ettiği görülmektedir.

Çevredeki stres olaylarına karşı bitkinin direnç göstermesi gerekir. Bunun için bitki türü, stres faktörü, strese maruz kalan kısımların yapısı önem arz etmektedir (Gür vd., 2004). Bunun sonucunda bitkinin stres faktörlerine tepkisinin ve gösterdikleri uyumun bilinmesi gerekmektedir. Bitkilerin kirlenmeye gösterdikleri tolerans derecelerinin bulunması için metalin türünü, metalin oranına, zararın derecesine ve zararın oluşum zamanına bakılmalıdır. Bu faktörlerin göz önüne alınması bitkilerin gelişimi için çok önem arz etmektedir (Paschke vd., 2005).

4.2. Biberiye Bitkisinin Kurşun (Pb) İçerikleri

4.2.1. Biberiye Bitkisinde Kurşunun Makro Besin Elementleriyle İnteraksiyonu

Deneme saksılarına uygulanan artan dozlarda kurşun ağır metali ile kontamine olan saksılarda yetiştirilen Biberiye (*Rosmarinus officinalis*) bitkisi hasat edildikten sonra gövde aksamında bitkinin gelişimi için mutlak gerekli olan makro bitki besin analizleri yapılmıştır

(Çizelge 4.5). Bitkinin kök aksamında, metabolik ve fizyolojik birçok olayında görev alan bazı makro bitki besin elementleri sonuçları Çizelge 4.6’da verilmiştir. Hasat sonrası saksılardaki topraklarda bazı makro besin element içerikleri Çizelge 4.7’de değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.5. Kurşun ile kontamine olan topraklarda yetişen biberiye bitkisinin gövde aksamındaki makro besin elementleri içerikleri ve önemlilik grupları

Gövde (Pb)	N⁺	P⁺	K⁺	Ca⁺	Mg⁺
Kontrol	2,40±0,09a	0,11±0,00bc	1,09±0,05b	0,62±0,09b	0,17±0,01öd
10 mgkg ⁻¹	1,91±0,02b	0,10±0,00bc	1,05±0,04b	0,68±0,00b	0,17±0,01öd
20 mgkg ⁻¹	1,61±0,15c	0,09±0,01c	0,96±0,04b	0,68±0,03b	0,17±0,01öd
40 mgkg ⁻¹	1,34±0,08d	0,09±0,00c	0,90±0,03b	0,77±0,06ab	0,17±0,00öd
80 mgkg ⁻¹	1,25±0,01d	0,12±0,01ab	1,14±0,12b	0,93±0,13ab	0,22±0,02öd
100 mgkg ⁻¹	0,98±0,00e	0,15±0,00a	1,46±0,12a	1,13±0,20a	0,24±0,04öd

*: değerler üç tekrür ortalamasıdır. **: %5 düzeyinde önemli. +:%. öd: önemli değil

Çizelge 4.5 de değerlendirildiğinde bitkinin vejetatif aksamında görev yapan Azot makro bitki besin elementi kontrol saksılarına göre azalmıştır. Kurşun ağır metali Azot ile rekabete girmiştir. Bu durum kirleticinin ilk dozu olan 10 mgkg⁻¹ son dozu olan 100 mgkg⁻¹ dozuna kadar azalış olarak kendini göstermiştir. İstatistiksel olarak %5 düzeyinde anlamlı bulunmuş ve Duncan tesitne göre de her uygulanan kirleticinin karşısında tepki veren azot içerikleri farklı gruba düşmüştür. Bu durum Pb ve N arasında antogonist ilişki olduğunu göstermektedir. P, K ve Ca içerikleri ise en yüksek doz olan 100 mgkg⁻¹ dozunda etkilenmiş ve istatistiksel olarak %5 önemli bulunmuştur. Klorofilin merkez atomu olan Mg bitkideki içerikleri değerlendirildiğinde ise belirlenen sayısal değişim istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Bu durum SPAD değerlerini destekler niteliktedir (Şekil 4.2).

Çizelge 4.6. Kurşun ile kontamine olan topraklarda yetişen biberiye bitkisinin kök aksamındaki makro besin elementleri içerikleri ve önemlilik grupları

Kök (Pb)	N⁺	P⁺	K⁺	Ca⁺	Mg⁺
Kontrol	0,79±0,06öd	0,11±0,01öd	0,84±0,11a	0,68±0,06öd	0,18±0,01öd
10 mgkg ⁻¹	0,79±0,05öd	0,08±0,01öd	0,62±0,14ab	0,66±0,00öd	0,17±0,01öd
20 mgkg ⁻¹	0,82±0,11öd	0,11±0,01öd	0,88±0,08a	0,60±0,07öd	0,16±0,02öd
40 mgkg ⁻¹	0,99±0,06öd	0,10±0,00öd	0,71±0,07ab	0,61±0,11öd	0,15±0,01öd
80 mgkg ⁻¹	1,03±0,05öd	0,12±0,00öd	0,78±0,06ab	0,86±0,18öd	0,20±0,02öd
100 mgkg ⁻¹	0,93±0,09öd	0,10±0,01öd	0,46±0,09b	0,70±0,05öd	0,17±0,02öd

*: değerler üç tekrür ortalamasıdır. **: %5 düzeyinde önemli. +: %, öd:önemli değil

Çizelge 4.6'ı incelendiğinde bitkiler için mutlak bitki besin elementi olan N, P, Ca, Mg elementleri Biberiye (*Rosmarinus officinalis*) bitkisinin kök aksamındaki sayısal değişimler olmakla birlikte istatistiksel olarak bu durum önemsiz olarak tesbit edilmiştir. Kirlenici metal olan Kurşun kök bölgesinde birikmesine rağmen bitki yaşamsal faaliyetlerine devam etmiştir. Bitkilerin kök gelişiminde önemli görevleri olan K makro bitki besin elemnti ise 100 mgkg⁻¹ dozunda etkilenmiş ve azalmıştır. Bu durum istatistiksel olarak %5 düzeyinde anlamlı bulunmuştur.

Çizelge 4.7. Kurşun ile kontamine olan saksılardaki toprakların hasat sonrası makro besin elementleri içerikleri ve önemlilik grupları

Toprak (Pb)	N ⁺	P ⁺⁺	K ⁺⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
Kontrol	0,93±0,02a	17,28±1,15öd	118,9±3,02öd	1848,8±44,43öd	183,77±6,33öd
10 mgkg ⁻¹	0,74±0,01b	22,42±3,15öd	121,1±2,19öd	1782,6±181,10öd	179,11±4,78öd
20 mgkg ⁻¹	0,63±0,01c	15,72±2,90öd	123,6±3,02öd	1896,5±73,87öd	179,42±7,77öd
40 mgkg ⁻¹	0,54±0,00d	17,44±3,21öd	125,0±2,63öd	1676,8±201,51öd	160,96±5,88öd
80 mgkg ⁻¹	0,44±0,00e	17,34±2,42öd	123,1±3,34öd	1760,9±38,09öd	161,57±6,94öd
100 mgkg ⁻¹	0,27±0,01f	15,08±1,52öd	121,9±2,04öd	1719,1±134,94öd	171,5±12,43öd

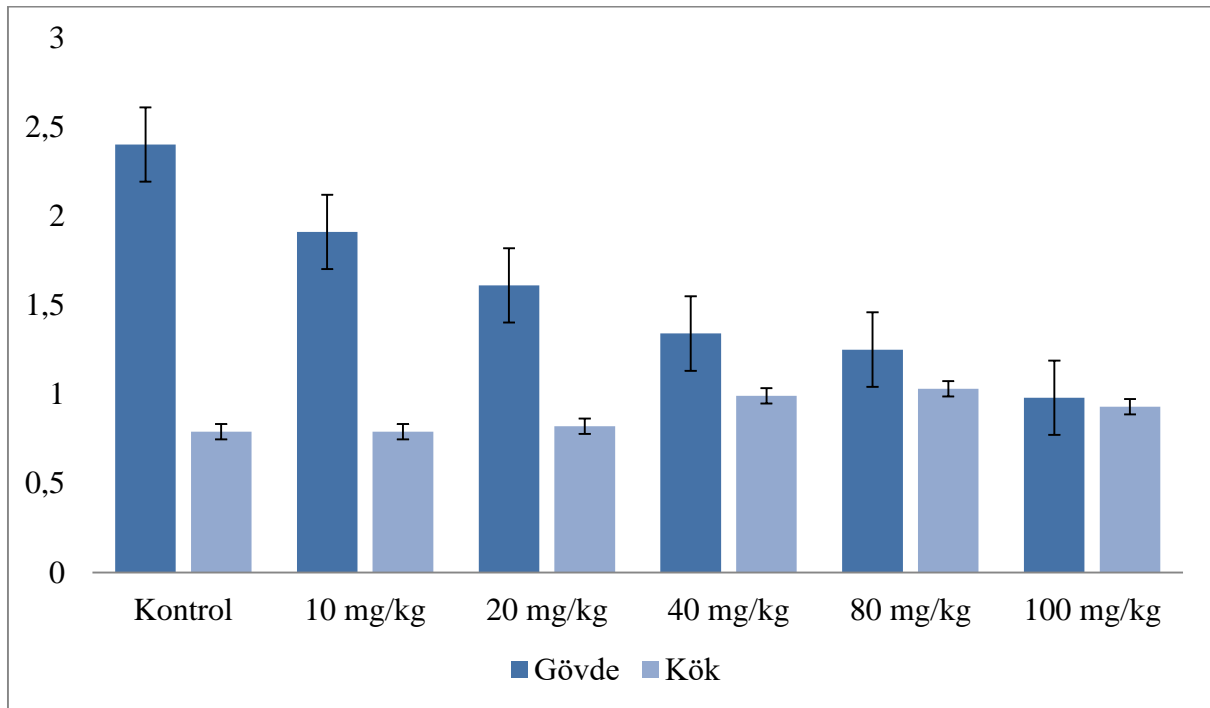
*: değerler üç tekerrür ortalamasıdır. **: %5 düzeyinde önemli. +: %. ++: mgkg⁻¹, öd: önemli değil

Deneme sonrası saksılarda kalan topraklardaki makro besin elementleri ve Kurşun ağır metali ilişkileri (Çizelge 4.7) değerlendirildiğinde Azot hariç P, K, Ca ve Mg makro elementleri etkilenmemiştir. Azot ve Kurşun arasındaki antagonist ilişki toprak koşullarında da görülmektedir.

Bitkilerde yanlış ve aşırı gübreleme sonucunda oluşan aşırı azot içeriği bitkinin vejetatif aksamını etkileyerek sürecin uzamasına neden olmaktadır. Bitkideki diğer fizyolojik olaylar olan çiçeklenme, şeker sentezi vb. faaliyetlerin azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca bitkinin hastalıklar karşısında özellikle mantari hastalıklara karşın zayıf düşmesine sebep olur (Aktaş ve Ateş, 1998; Boşgelmez vd., 2001; Fageria vd., 2011). Bununla birlikte gövde de aşırı sulu bir yapının oluşmasına neden olarak tepe kök oranının değişmesi ve bitkinin direncini azaltmaktadır ve hasat sürecinin uzamasına sebep olmaktadır (Kacar ve Katkat, 2010; Karaman vd., 2012).

4.2.1.1. Azot içeriği (%)

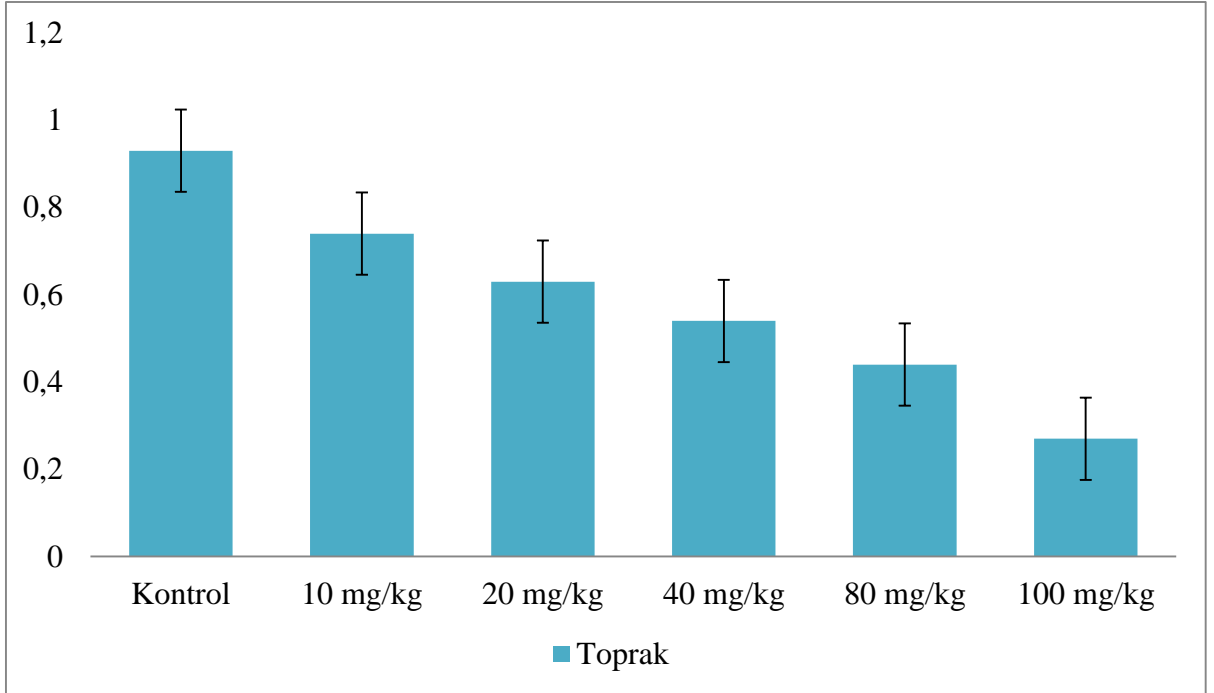
Analiz sonuçlarına göre Biberiye (*Rosmarinus officinalis*) bitkisinin gövde, kök ve toprak içerisindeki azot içeriği artan kirletici dozu arttıkça düşmüştür. Gövde içerisinde (%2,40- 0,98) arasında, kök içerisinde (%0,7- 0,9) arasında, toprak içerisinde (%0,93- 0,27) arasında değişmiştir (Şekil 4.3, Şekil 4.4, Çizelge 4.5, Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7). Bu durum istatistiksel olarak % 5 oranında önemli bulunmuştur.



Şekil 4.3. Kirletici olarak kurşun uygulanan saksılarda yetiştirilen biberiye bitkisinin gövde ve kök azot içerikleri, %

Bitki gelişimi ve metabolizması için olmazsa olmaz mutlak bitki besin elementi olan Azot bitkilerin vejetatif aksam gelişiminden hücre oluşumuna kadar birçok görevi bulunmaktadır. Bitkiler tarafından NH_4^+ ve NO_3^- formunda alınmaktadır. Fizyolojik olarak bitkiler azotun nitrat formunda almayı tercih etmektedir. Çünkü amonyum formunda bitkinin üst aksamına taşınmamaktadır. Amonyum köklerde organik yapı dönüştürülerek floem kanalcığı ile taşınmaktadır. Azotun eksikliğinde dikkate değer bitki gelişimde gerileme görülmektedir. Bitkilerde hareketli besin elementi olduğu için eksikliğini ilk olarak yaşlı yapraklarda göstermektedir. Yaprak ayasının tamamında açık yeşilden sarının tonlarına kadar değişiklik göstermektedir. Klorofilin temel yapı taşı olması nedeniyle bitkilerde fotosentez için son derece önemlidir. Nitekim azot noksanlığı durumunda klorofil molekülleri dağılır. Fotosentez sürecin önemli işlevi olan klorofilin yapısında bulunan 4 Azot molekülü

eksikliğinde fotosentezinde yavaşlamasına neden olmaktadır. Azot bitkilerde diğer besin elementlerinin alım ve kullanım etkinliği açısından da son derece önemlidir. Azot ile yeterli beslenen bitkilerin diğer besin elementlerini alım ve kullanım etkinlikleri de artmaktadır. Bitkilerde karbonhidrat-protein dengesini etkiler. Azot düzeyindeki artış ile birlikte şeker ve nişasta sentezlenmesi geriler. Yüksek azot koşullarında amidlerin birikmesi sonucu tad ve aromada bozulmalar ortaya çıkar. Hasat ve olgunluk dönemi gecikir (Foth, 1984; Aktaş ve Ateş, 1998; Boşgelmez vd., 2001; Güzel vd., 2004; Fageria, 2009; Kacar ve Katkat, 2010; Karaman vd., 2012).

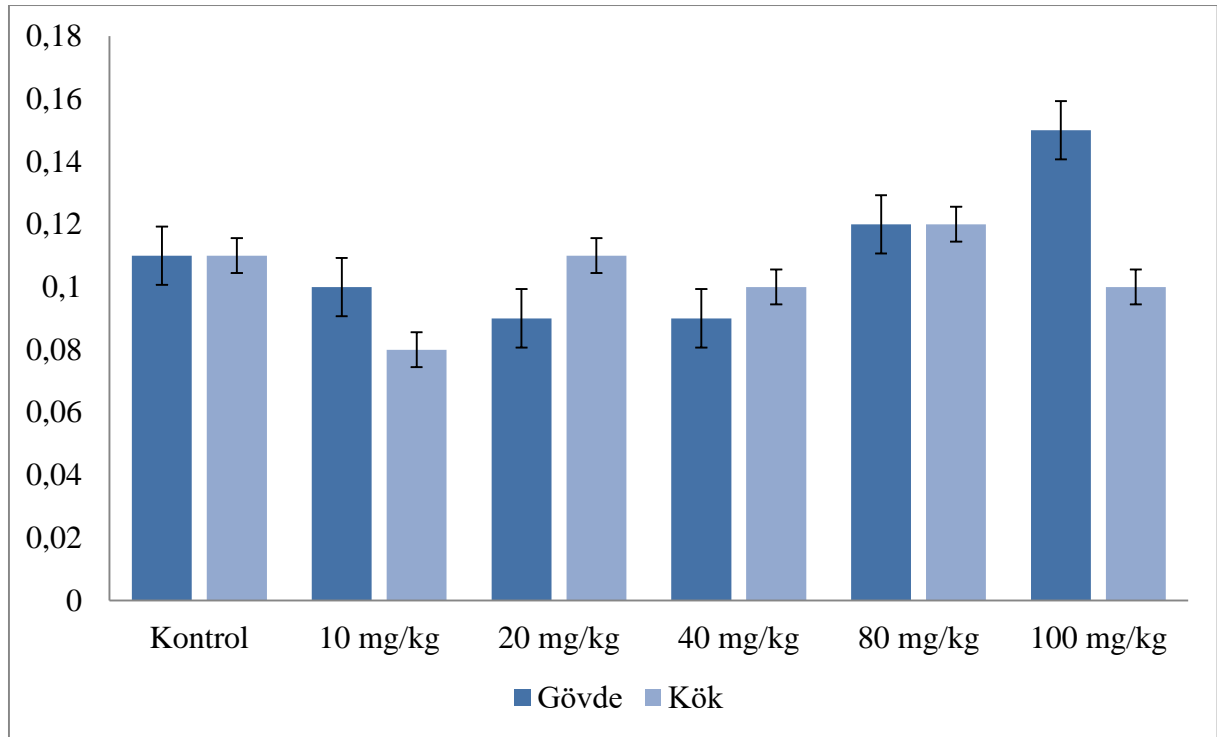


Şekil 4.4. Kirletici olarak kurşun uygulanan saksılardaki topraklara ait azot içeriği, %

Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te görüldüğü gibi kirletici olarak kurşun uygulanan saksılarda biberiye bitkisinin gövde, kök ve toprak azot içerikleri gösterilmiştir. Kirletici kökteki azot değerlerini etkilememiştir ve buda kök gelişimini olumlu etkilemiştir. Bitkinin kirletici karşısında hiperakümülatör olmasının da önemli bir nedeni olduğu düşünülmektedir. Azot eksikliği sonucunda bitkide büyüme azalır ve bitki küçük olur. Bitkinin toprak altı aksamının gelişmesi önlenir ve dallanma azalır. Azot eksikliğinde kloroplastların oluşmasında azalma görülür ve yapraklarda kloroz oluşmaktadır. Bunun yanında azot eksikliğinde bitki erken olgunlaşır (Aktaş, 1995).

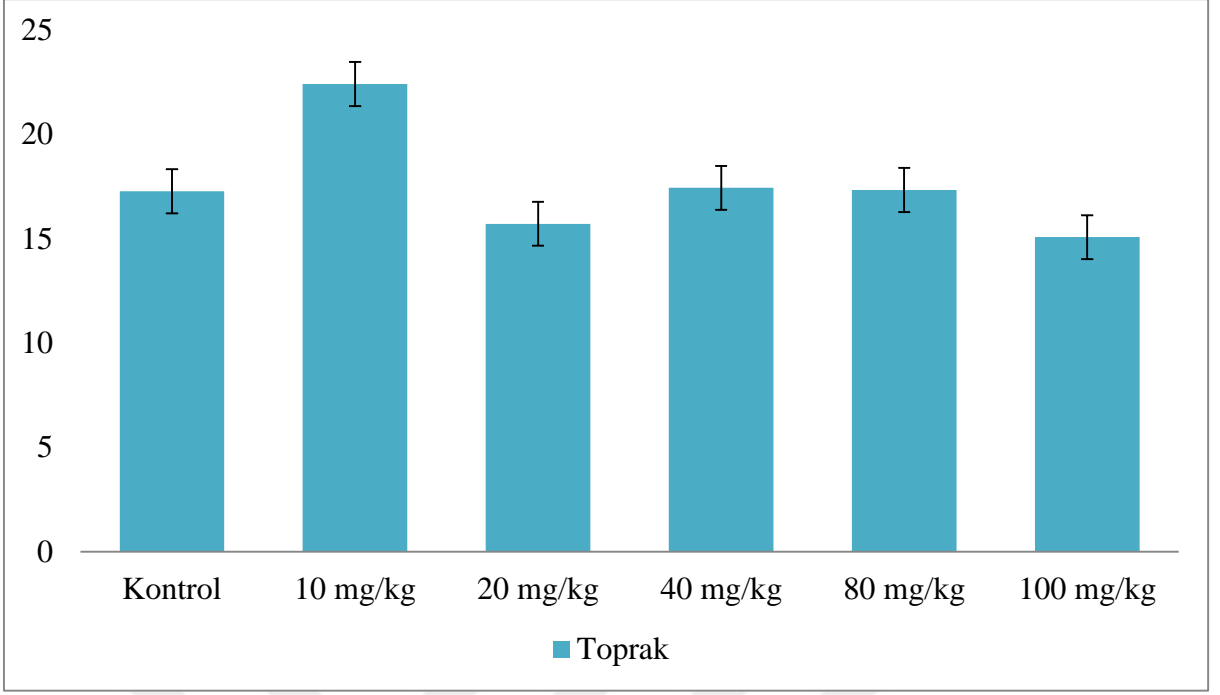
4.2.1.2. Fosfor içeriği (%)

Analiz sonuçları incelendiğinde Biberiye (*Rosmarinus officinalis*) bitkisinin gövde P içeriği kontrol saksılarında (%0,11) iken 100 mgkg⁻¹ kirletici uygulanan saksılarda (%0,15) olarak tespit edilmiştir. Bitki içerisindeki fosfor değerleri önemlilik grubu olarak farklı değerler içinde yer almıştır. Bitkinin kök kısmı incelendiğinde ise kontrol saksılarında (%0,11) 100 mgkg⁻¹ kirletici uygulanan saksılarda ise (%0,10) olarak tespit edilmiştir. Kökteki fosfor değerleri önemlilik grubu olarak aynı değerler içinde yer almıştır (Şekil 4.5, Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6). Biberiye bitkisi fosfor açısından Pb kirleticisi karşısında olumsuz etkilenmiştir.



Şekil 4.5. Kirletici olarak kurşun uygulanan saksılarda yetiştirilen biberiye bitkisinin gövde ve kök fosfor içerikleri, %

Fosforun bitkideki en önemli görevi enerjinin transferini sağlayan pirofosfat bağlarını meydana getirmektir. Ribo nükleik asit (RNA) ve deoksiribo nükleik asidin (DNA) sentezlenmesine katılan nükleotidlerde bulunur (Aktaş, 1995). Bitkilerde P; kök gelişimini, olgunlaşmayı, erken tohum teşekkülünü, döllenmeyi ayrıca hastalık ve zararlılara karşı direnci artırdığından büyük önem taşımaktadır. Fosforun fotosentez, karbonhidratların sentezi ve enerji transferi gibi bitki bünyesinde cereyan eden hayatsal olaylarda önemli rol oynadığı tespit edilmiştir (Marschner, 1995; Güneş vd., 2000).

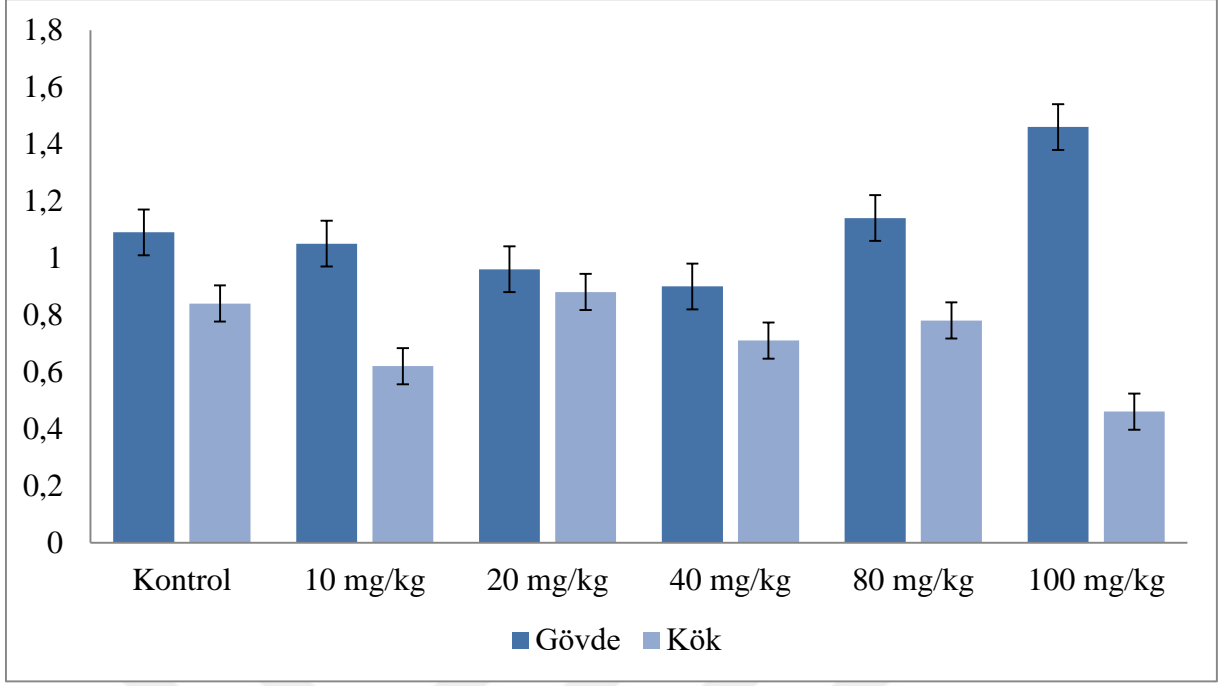


Şekil 4.6. Kirletici olarak kurşun uygulanan saksılardaki topraklara ait fosfor içeriği, (mgkg⁻¹)

Toprakta ise P içeriği kontrol saksılarında (17,28 mgkg⁻¹) 100 mgkg⁻¹ kirletici uygulanan saksılarda (15,08 mgkg⁻¹) olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.6). Önemlilik açısından aynı gruplarda yer almıştır. Şekil 4.6 ve Çizelge 4.7 incelendiğinde toprak çözeltisindeki P içeriği artış ve azalışlar olduğu ancak bu durum %5 düzeyinde önemsiz bulunmuştur. Topraktaki yarıyışlı fosfor içeriklerinin kurşun karşısında etkilenmemesi biyokütle oluşumu için önemli bir faktördür.

4.2.1.3. Potasyum içeriği (%)

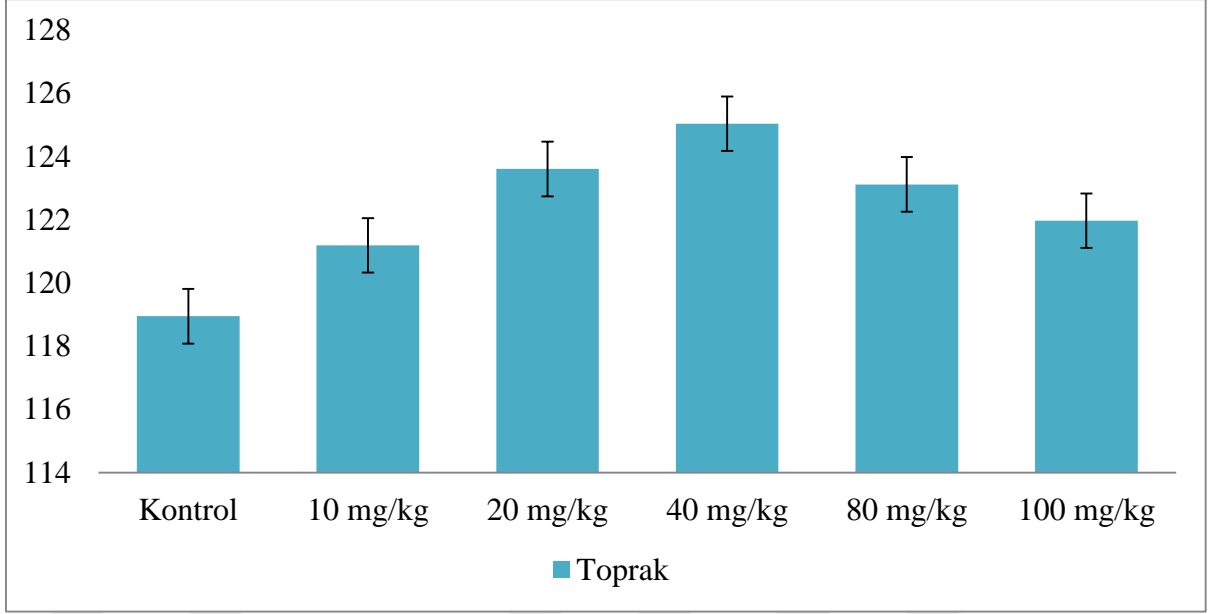
Analiz sonuçları incelendiğinde Biberiye (*Rosmarinus officinalis*) bitkisinin gövde kısmının K içeriği kontrol saksılarında (%1,09) iken en yüksek kirletici uygulanan 100 mgkg⁻¹ saksılarında (%1,46) olarak tespit edilmiştir. Kök kısmında ise kontrol saksılarında (%0,84) iken 100 mgkg⁻¹ uygulanan saksılarda (%0,46) olarak görülmüştür. Bu değerler istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (Çizelge 4.5, Çizelge 4.6 ve Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Kirlenici olarak kurşun uygulanan saksılarda yetiştirilen biberiye bitkisinin gövde ve kök potasyum içerikleri, %

Şekil 4.7 değerlendirildiğinde gövde ve kökte potasyum değerlerinde dalgalanmalar görülmüştür. Kurşunun 100 mg kg^{-1} dozunda kökte potasyumun en düşük değeri tespit edilmiştir. K bitkide kökün gelişmesinde ve büyümesinde olumlu bir etki gösterir. Bitkide yatmayı engeller, azotun faaliyetini ve soğuğa direncini artırır. Ana faaliyetlerinden biri de birçok enzimde aktivasyona olumlu etki etmesidir (Aktaş, 1995).

Potasyum makro bitki besin elementi azot ve fosfor ile karşılaştırıldığında topraklarda daha yüksek miktarlarda bulunmaktadır. Hafif bünyeli ve asit topraklarda daha çok eksikliği gündeme gelmektedir. Birçok toprak özelliği pH başta olmak üzere organik madde, kil tipi, KDK, ıslanma ve kuruma olayları, sıcaklık ve toprak işleme gibi birçok özellik potasyum içeriğini etkilemektedir. Eksikliği ilk olarak bitkilerin yaşlı yapraklarında kendini göstermektedir. Yaprak kenarlarında sararmadan koyu kahverengi tonlarına kadar görülmektedir. Bitkile K^+ formunda hem aktif hemde pasif yolla almaktadır. Bitkideki birçok enzimde kofaktör olarak görev yapmaktadır. Bitkinin özellikle kök aksamının gelişimden ve ürünün kalite parametresinden görevli makro besin elementidir. Stomaların açılıp kapanmasında görev alır. Solunumu azaltmak suretiyle enerji kaybını önler. Buna karşılık stoma aktivitesi ve fotosentezi artırır. Birçok stres faktörüne karşı bitkiyi korumasını sağlar ve su ve besin elementi taşınımından da sorumlu bitki besin elementidir (Aktaş ve Ateş, 1998; Boşgelmez vd., 2001; Karaman vd., 2012).

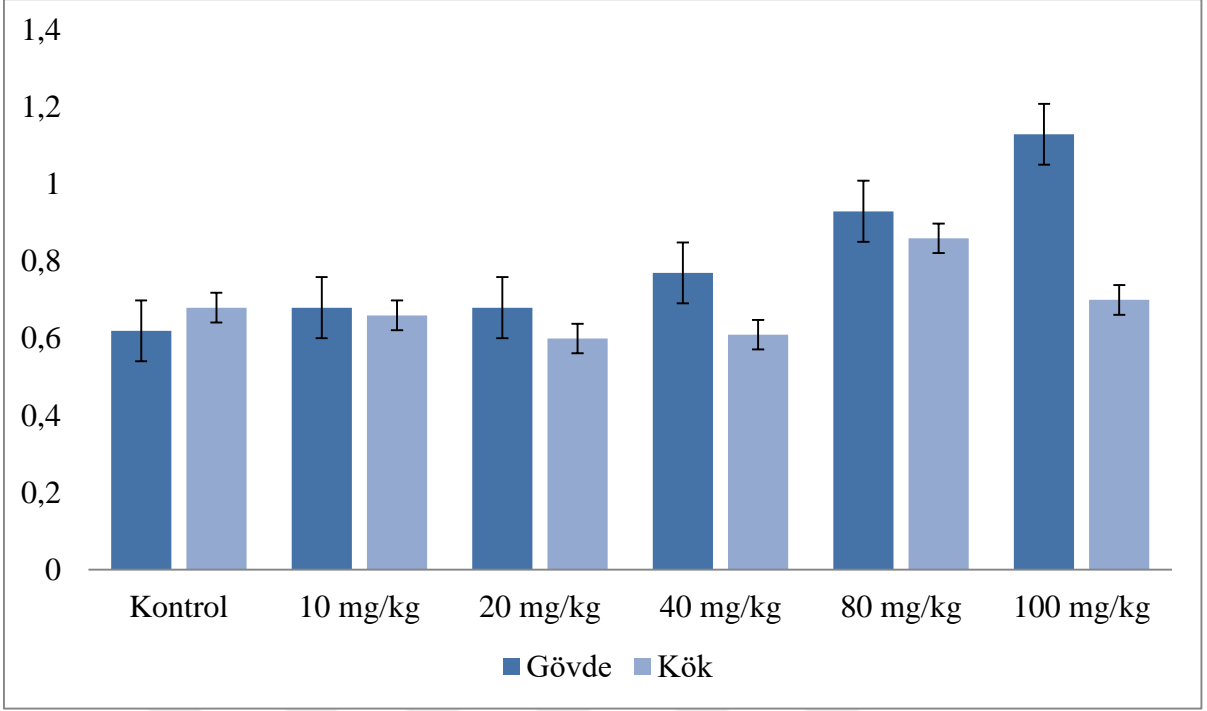


Şekil 4.8. Kirletici olarak kurşun uygulanan saksılardaki topraklara ait potasyum içeriği, (mgkg⁻¹)

Şekil 4.8 ve Çizelge 4.7’de görüldüğü gibi topraktaki potasyum değerlerindeki artmalar azalmalar önemsiz bulunmuştur. Kirletici uygulanan kontrol saksılarındaki potasyum değeri (118,95 mgkg⁻¹) iken 100 mgkg⁻¹ uygulanan saksılardaki potasyum değeri (121,97 mgkg⁻¹) olarak tespit edilmiştir.

4.2.1.4. Kalsiyum içeriği (%)

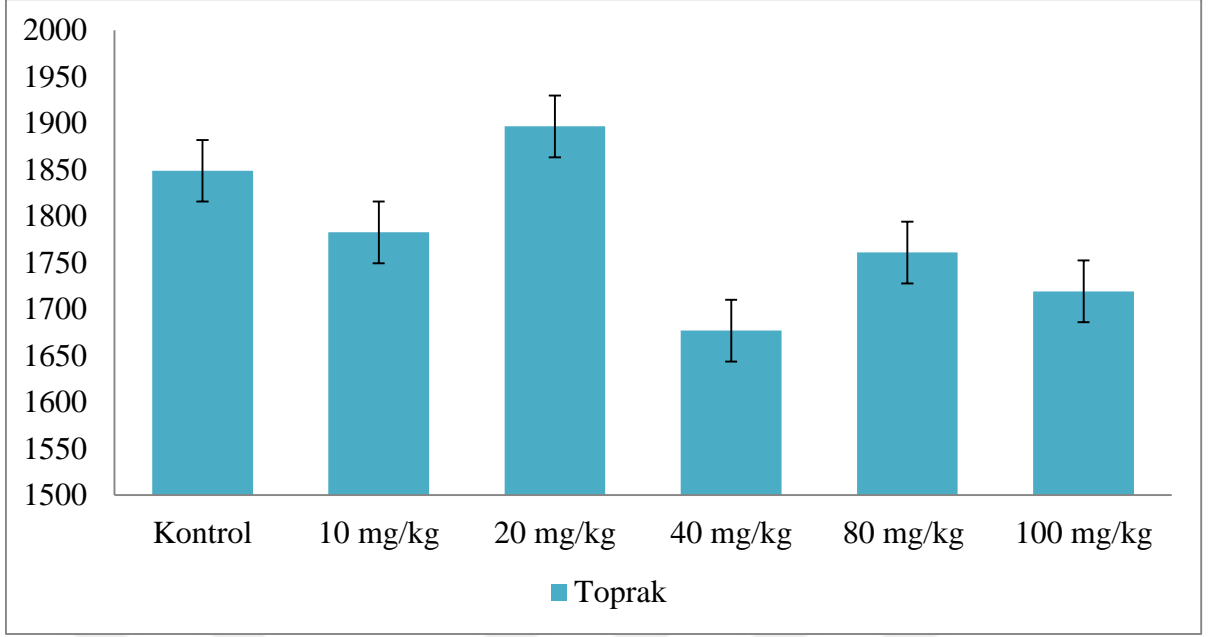
Analiz sonuçları incelendiğinde Biberiye (*Rosmarinus officinalis*) bitkisinin toprak üstü aksamının kontrol saksılarındaki Ca içeriği (%0,62) iken 100 mgkg⁻¹ yani en yüksek dozlu kirletici uygulanan saksılarda (%1,13) olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.5, Çizelge 4.6 ve Şekil 4.9). Biberiye (*Rosmarinus officinalis*) bitkisinin kök aksamının Ca değerleri incelendiğinde kontrol saksılarının Ca değeri (%0,68) iken en yüksek dozda uygulanan kirletici saksılarında Ca değeri (%0,70) olarak belirlenmiştir. Bu değerlendirme sonucunda bu veriler istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Biberiye (*Rosmarinus officinalis*) bitkisinin gövdesindeki Ca değeri artmış ve %5 düzeyinde önemli bulunmuştur. Bitkinin kök aksamındaki Ca içerikleri ise uygulanan kirletici ve EDTA şelatöründen olumsuz etkilenmemiş ve bitkinin hiperakümülatör olmasında önemli bir etkidir. Ca, sadece bitki için bir mineral besin maddesi olmayıp, aynı zamanda hücre ve bitki gelişim süreçlerine ve birçok fizyolojik özellikleri düzenler ve farklı stres koşullarına bitki tepkisine aracılık etmektedir (White ve Broadley, 2003). Kalsiyum, tohumun çimlenmesi, büyümesi ve gelişmesi, fotosentez ve daha birçok konuda düzenleyici rol oynamaktadır (Parvin vd., 2015).



Şekil 4.9. Kirlenici olarak kurşun uygulanan saksılarda yetiştirilen biberiye bitkisinin gövde ve kök kalsiyum içerikleri, %

Kalsiyum genellikle kaba bünyeli ve asit topraklar hariç eksikliği ile karşılanmaz. Ancak CaCO_3 formunda bitkiye yararlı halde bulunabilmektedir. Bitkiler Ca^{+2} formunda almaktadır ve bitkide hareketsiz bir besin elementidir. Bu nedenle eksikliği bitkilerin genç yapraklarında görülmektedir. Bitkiler kalsiyumu enerji kullanmaksızın pasif yolla bünyelerine almaktadır. Bitkilerin kök salgılarının artışı ve kök uzamasını sağlamaktadır. Bazı enzimlerin aktif hale gelmesine ve bitkilerin kuraklık stresine karşı korunmasını sağlar. Özellikle meyvede kabuk yapısını ve dayanıklılığını artırarak ürünün depolanma süresini artırmaktadır. Eksikliğinde genç yapraklarda kıvrılmalar ve nekrozlar şeklinde kendini göstermektedir (Boşgelmez vd., 2001; Güzel vd., 2004; Gardiner ve Miller, 2008; McCauley vd., 2009; Karaman vd., 2012). Analiz sonuçları incelendiğinde hasat sonrası saksılardaki topraklardaki kalsiyum içerikleri Şekil 4.10.da verilmiştir.

Kalsiyum içeriği yüksek topraklarda Mg ve K makro bitki besin elementleri ve bazı mikro besin elementleri ile rekabete girmektedir. Özellikle yüksek pH içeren topraklarda fosfor ile bileşik oluşturur iken düşük pH'lı topraklarda Fe ile bileşik oluşturmaktadır (Aktaş ve Ateş, 1998; Boşgelmez vd., 2001).



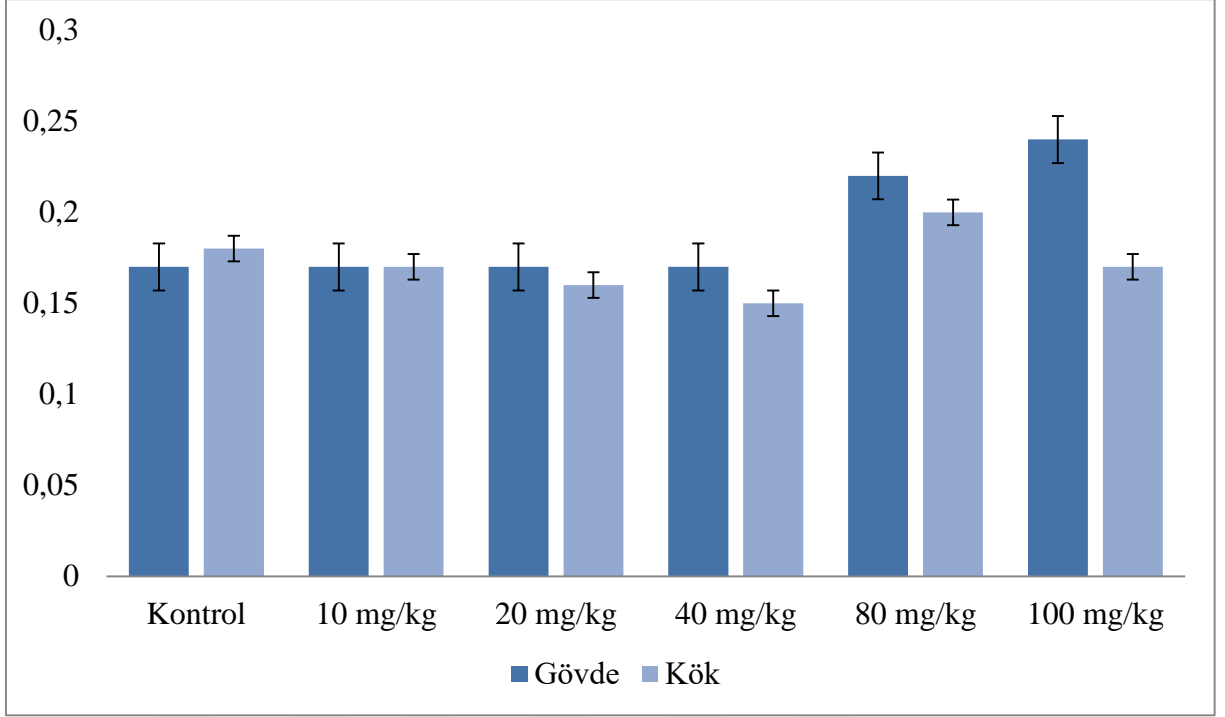
Şekil 4.10. Kirletici olarak kurşun uygulanan saksılardaki topraklara ait kalsiyum içerikleri, (mgkg⁻¹)

Analiz sonucunda hasat sonrası topraklara ait kalsiyum değerleri kontrol saksılarında (1848,86 mgkg⁻¹) 100 mgkg⁻¹ dozda ise (1719,14 mgkg⁻¹) olarak tespit edilmiştir. Bu sonuç istatistiksel anlamda önemli bulunmamıştır.

4.2.1.5. Magnezyum içeriği (%)

Analiz sonuçları incelendiğinde Biberiye (*Rosmarinus officinalis*) bitkisinin gövde magnezyum değerleri kontrol saksılarında (%0,17) iken en yüksek kirletici uygulanan saksılarda (0,24) olarak belirlenmiştir. Biberiye kök kısmında ise kontrol saksılarında (%0,18) en yüksek doz uygulanan saksılarda ise (%0,17) olarak tespit edilmiştir. İstatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Çizelge 4.5, Çizelge 4.6 ve Şekil 4.11).

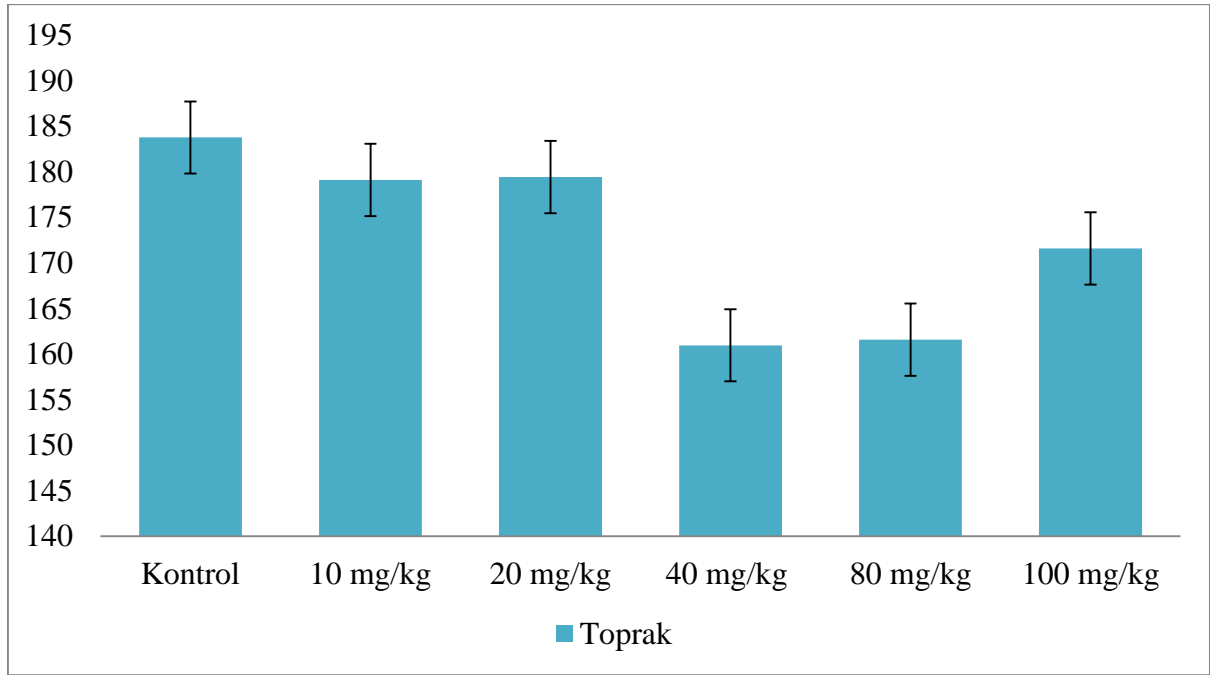
Magnezyum bitkide klorofil sentezinin ana elementidir ve fosforilasyon da etkilidir. Ayrıca Mg farklı enzim sistemlerinde aktivatör olarak görev yapar; karbon, protein metabolizması gibi olaylarda önemli etkileri vardır. Magnezyum noksanlığında protein sentezi olumsuz etkilenir. Mg noksanlığı özellikle topraklarda yıkanma durumu varsa görülür. Magnezyum noksanlığı yine bitkilere çok miktarda potasyumlu gübre verildiğinde de ortaya çıkmaktadır. Magnezyum noksanlığı sonucunda bitkide yeşil renk kaybolur, yapraklarda yukarıya doğru kıvrılma görülür ve hasattan önce meyveler dökülür. Bu şekilde birçok etkisi vardır. Mg fazlalığındaysa K alımı önlenmektedir ve magnezyumun fazla olması bitkinin kök gelişiminde azaltmaktadır (Kacar ve İnal, 2010).



Şekil 4.11. Kirlotici olarak kurşun uygulanan saksılarda yetiştirilen biberiye bitkisinin gövde ve kök magnezyum içerikleri, %

Magnezyum; olivin, piroksen, amfibol, mika gibi volkanik kökenli minerallerin yoğun olduğu topraklarda eksikliği görülmemektedir. Aşırı yağış alan bölge topraklarında magnezyum eksikliği gündeme gelmektedir. Orman ekolojisinin önemli bir bitkisi çam fidelerinde Mg eksikliği sonucunda altın uçluluk görülmektedir (Boşgelmez vd., 2001). Mg fotosentezde klorofil molekülünün merkez atomu olması nedeniyle eksikliği veya fazlalığı doğrudan fotosentez sürecini etkilemektedir. Birçok metabolik ve fizyolojik olayda rol alan Mg bitkilerde aktiftir eksikliğinde yaşlı yapraklarda ilk belirtiler görülmektedir. Bitkinin damar araları açık yeşilden sarının tonlarına kadar değişkenlik göstermektedir. Fazlalığı durumunda K ve Ca ile antagonist etki göstererek alımını engellemektedir (Kantarıcı, 2000).

Analiz sonucuna göre hasattan sonra topraklara ait olan Mg içerikleri kontrol saksılarında ($183,77 \text{ mgkg}^{-1}$), en yüksek doz uygulanan saksılarda ise ($171,59 \text{ mgkg}^{-1}$) olarak belirlenmiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Kirlotici olarak kurşun uygulanan saksılardaki topraklara ait magnezyum içeriği, (mgkg⁻¹)

4.2.2. Biberiye Bitkisinde Kurşunun Mikro Besin Elementleriyle İntreaksiyonu

Deneme saksılarına uygulanan artan dozlarda kurşun ağır metali ile yetiştirilen Biberiye (*Rosmarinus officinalis*) bitkisine hasat edildikten sonra bazı gerekli olan analizler yapılmıştır. Çizelge 4.8, Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10'da biberiye bitkisine ait olan gövde, kök ve topraktaki bazı mikro bitki besin elementi içerikleri verilmiştir.

Çizelge 4.8. Kurşun uygulanan biberiye bitkisinde gövde mikro besin elementleri içerikleri ve önemlilik grupları

Gövde (Pb)	Fe ⁺	Cu ⁺	Zn ⁺	Mn ⁺
Kontrol	285,60±20,28b	4,85±0,73a	17,50±0,79b	51,01±6,04öd
10 mgkg ⁻¹	387,68±55,83ab	3,81±0,33ab	15,98±0,81b	56,30±4,43öd
20 mgkg ⁻¹	395,80±35,48ab	3,90±0,40ab	15,01±0,36b	51,16±4,12öd
40 mgkg ⁻¹	381,66±29,73ab	3,23±0,39b	13,38±0,91b	51,45±2,69öd
80 mgkg ⁻¹	576,16±134,39a	3,86±0,18ab	18,23±1,70b	65,45±12,52öd
100 mgkg ⁻¹	619,00±131,08a	4,03±0,13ab	24,75±3,10a	66,58±10,60öd

*: değerler üç tekerrür ortalamasıdır. **: %5 düzeyinde önemli, +: mgkg⁻¹, öd: önemli değil

Çizelge 4.9. Kurşun uygulanan biberiye bitkisinde kök mikro besin elementleri içerikleri ve önemlilik grupları

Kök (Pb)	Fe ⁺	Cu ⁺	Zn ⁺	Mn ⁺
Kontrol	2695,00±327,61öd	9,05±0,35öd	19,83±1,81öd	132,74±17,80ab
10 mgkg ⁻¹	3147,63±127,51öd	9,05±0,23öd	19,33±0,55öd	136,26±9,66ab
20 mgkg ⁻¹	2706,83±730,92öd	10,46±1,36öd	17,40±2,92öd	125,86±29,72ab
40 mgkg ⁻¹	2098,65±305,28öd	9,96±1,87öd	16,03±2,83öd	101,10±15,73b
80 mgkg ⁻¹	3119,50±852,00öd	10,43±0,64öd	18,75±3,56öd	151,46±42,91ab
100 mgkg ⁻¹	4229,56±1167,88öd	10,38±0,64öd	20,76±2,99öd	205,28±35,06a

*: değerler üç tekrür ortalamasıdır. **: %5 düzeyinde önemli, +: mgkg⁻¹, öd: önemli değil

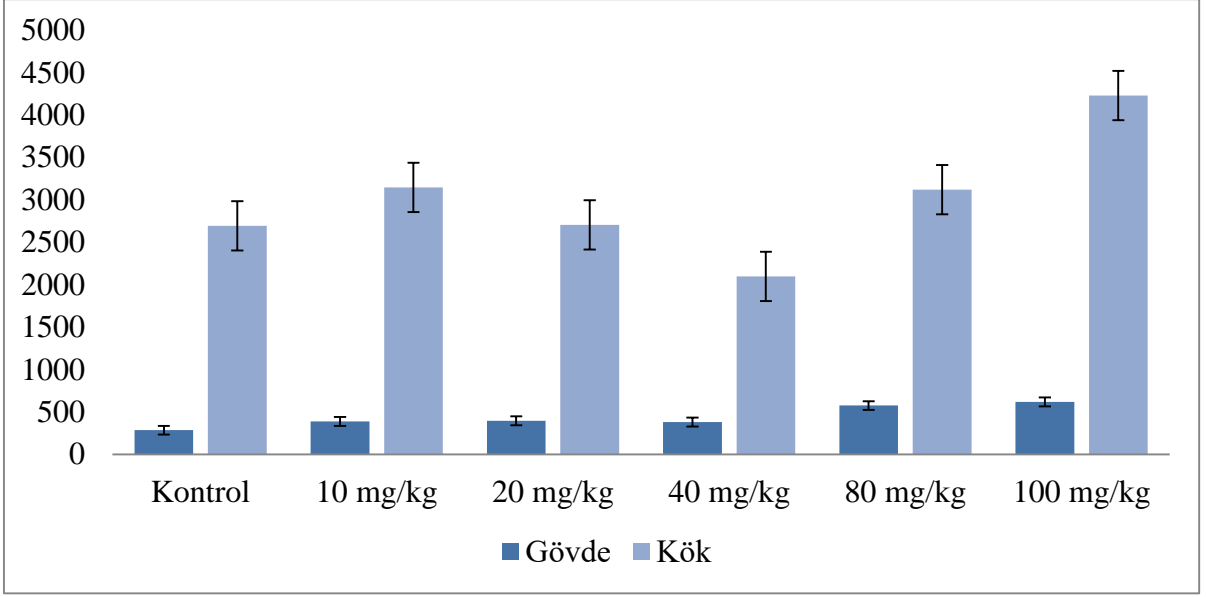
Çizelge 4.10. Kurşun uygulanan biberiye bitkisinde hasat sonrası toprak mikro besin elementleri içerikleri ve önemlilik grupları

Toprak (Pb)	Fe ⁺	Cu ⁺	Zn ⁺	Mn ⁺
Kontrol	11,76±0,77a	1,09±0,02b	0,47±0,04öd	22,40±4,72öd
10 mgkg ⁻¹	10,09±1,15ab	1,10±0,04b	0,40±0,05öd	16,61±0,59öd
20 mgkg ⁻¹	10,88±0,42ab	1,02±0,01b	0,41±0,02öd	15,50±0,45öd
40 mgkg ⁻¹	10,19±0,98ab	1,11±0,03b	0,46±0,08öd	12,90±0,33öd
80 mgkg ⁻¹	8,96±0,33b	1,13±0,00b	0,35±0,01öd	13,38±0,87öd
100 mgkg ⁻¹	10,93±0,87ab	1,27±0,08a	0,37±0,00öd	19,52±5,99öd

*: değerler üç tekrür ortalamasıdır. **: %5 düzeyinde önemli, +: mgkg⁻¹, öd: önemli değil

4.2.2.1. Demir içeriği (mg/kg)

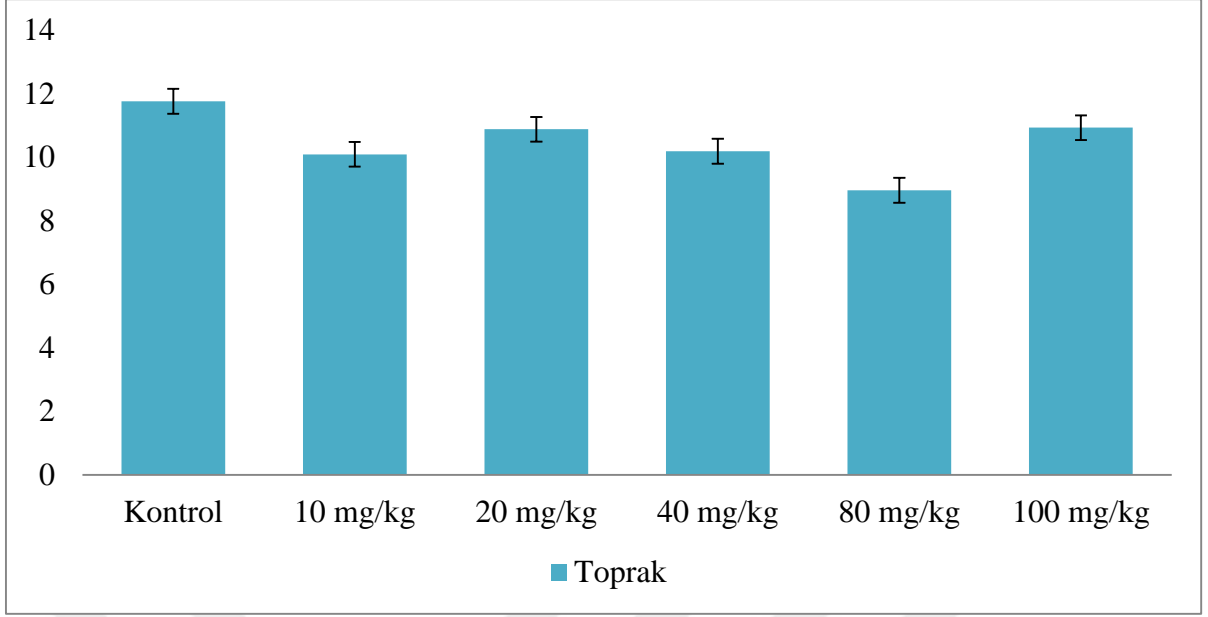
Analiz sonuçları incelendiğinde Biberiye (*Rosmarinus officinalis*) bitkisinin gövde kısmında Fe içeriği kontrol saksılarında (285,6 mgkg⁻¹), en yüksek dozda (619 mgkg⁻¹) olarak belirlenmiştir. Biberiye bitkisinin kök kısmındaki Fe içeriği kontrol saksılarındaki (2695 mgkg⁻¹) iken 100 mgkg⁻¹ dozdaki saksılarda (4229,5 mgkg⁻¹) şeklinde belirlenmiştir. (Çizelge 4.8, Çizelge 4.9 ve Şekil 4.13). Analiz sonucunda gövdenin Fe içeriği %5 oranında önemli bulunmuştur. En yüksek Fe içeriği kök aksamında 100 mgkg⁻¹ dozunda görülmüştür. Bunun sonucunda bütün yüksek Fe dozları köklerde toplandığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.13. Kirlenici olarak kurşun uygulanan topraklarda yetiştirilen biberiye bitkisinin gövde ve kök demir içerikleri, (mgkg⁻¹)

Caselles vd., (2002) İspanya'nın başkenti Madrid şehir merkezindeki parklarda Petunya yapraklarının ve toprağın içerdiği iz elementler (Fe, Mn, Cu, Zn, Al, Pb, Ni) üzerinde araştırma yapmışlardır. Madrid şehrinde, Fe, Al, Ni ve Pb elementlerinin toprak ve bitki tarafından absorbe edildiği gözlemlenmiştir.

Demir yer kabuğunun önemli bir elementi olmakla birlikte bitkiler için mutlak mikro bitki besin elementidir. Diğer canlılar özellikle insan ve hayvanlar içinde mutlak bir elementtir (Özbek vd., 2001). Demir bitki ve topraklarda şelat oluşturması nedeniyle yağışın fazla olduğu yerlerde elverişli hale gelmektedir. Toprakların kimyasal özelliklerinden pH demir bitki besin elementinin elverişli olmasında önemli etkenlerden biridir. Alkalin ve kireçli topraklarda Fe elementinin yararlanılabilirliği azalmaktadır. Elektron alma-verme yeteneği nedeniyle başta fotosentez olmak üzere bitkide meydana gelen sayısız fizyolojik olayda çok önemli rol oynar. Protein sentezinde görev alması nedeniyle, demir yetersizliğinde mevcut proteinler de tekrar parçalanır ve amino asitler açığa çıkar. Eksikliğinde mg benzer belirtiler verir ancak Fe bitkide sınırlı hareketli olduğu için genç yapraklarda noksanlık belirtileri görülmektedir (Kantarıcı, 2000; Boşgelmez vd., 2001; Güzel vd., 2004; Karaman vd., 2012; Gürkan ve Adiloğlu, 2020).

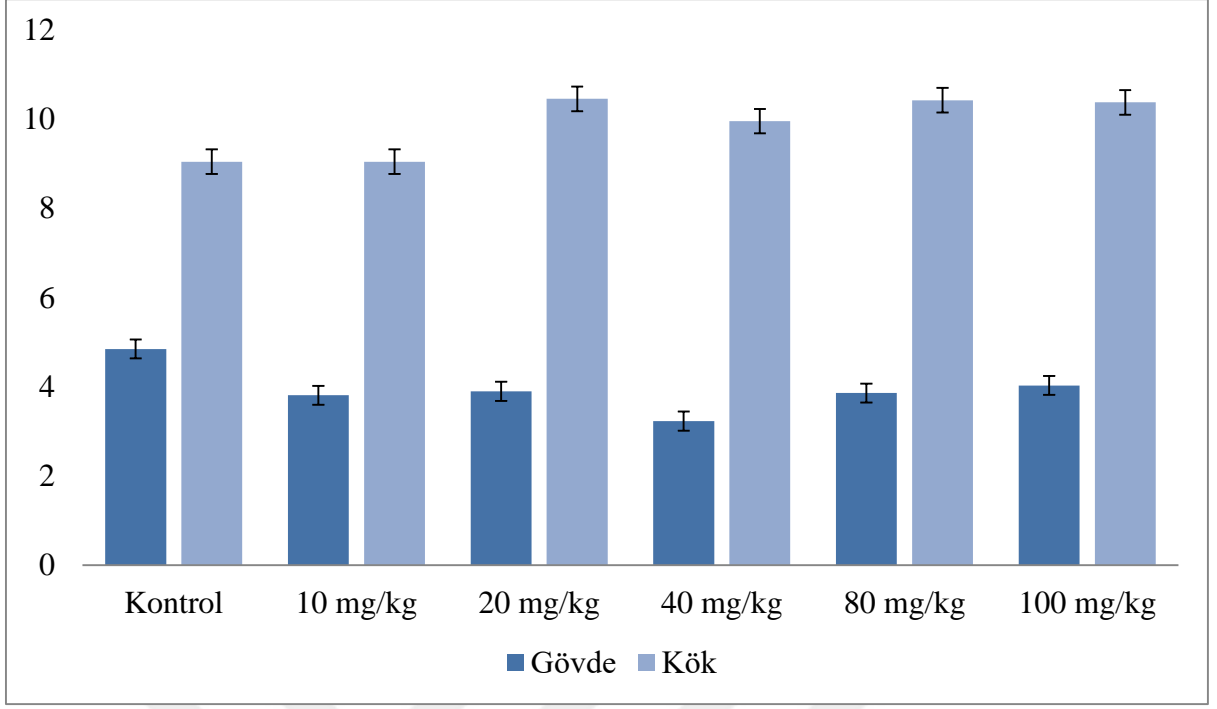


Şekil 4.14. Kirletici olarak kurşun uygulanan saksılardaki topraklara ait demir içerikleri, (mgkg⁻¹)

Analiz sonucunda kirletici olarak kurşun uygulanan topraklarda yetiştirilen Biberiye (*Rosmarinus officinalis*) bitkisi hasat edildikten sonraki topraklarda Fe içerikleri kontrol saksılarında (11,76 mgkg⁻¹) iken en yüksek dozda (10,93 mgkg⁻¹) olarak belirlenmiştir. Topraklarda bulunan bu değerler istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir (Çizelge 4.10 ve Şekil 4.14).

4.2.2.2. Bakır içeriği (mgkg⁻¹)

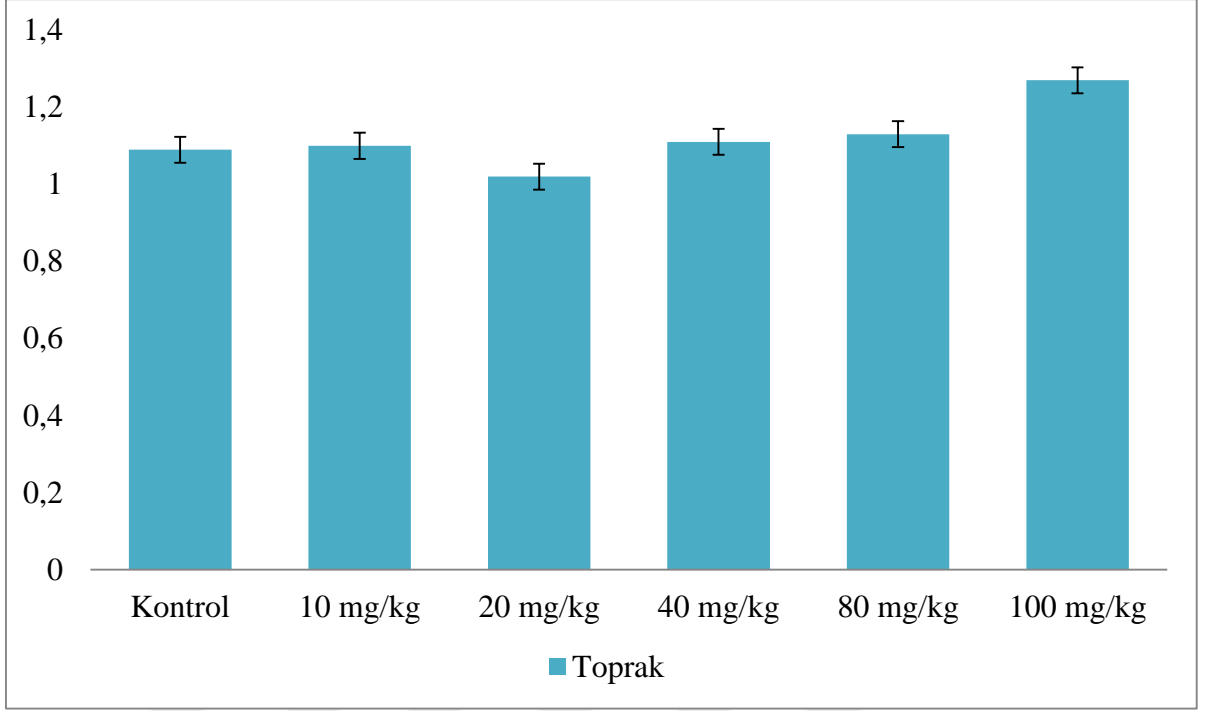
Analiz sonuçları değerlendirildiğinde kurşun uygulanan saksılarda Biberiye (*Rosmarinus officinalis*) bitkisinin gövde Cu içeriği kontrol saksılarında (4,85 mgkg⁻¹) iken 100 mgkg⁻¹ dozda (4,03 mgkg⁻¹) olarak belirlenmiştir. Biberiye bitkisinin kök Cu içerikleri ise kontrol saksılarında (9,05 mgkg⁻¹) iken 100 mgkg⁻¹ dozda (10,38 mgkg⁻¹) şeklinde olmuştur (Çizelge 4.8, Çizelge 4.9 ve Şekil 4.15). Kök kısmındaki değerler istatistiksel olarak anlamlı bulunmamış fakat gövde kısmındaki değerler anlamlı bulunmuştur.



Şekil 4.15. Kirletici olarak kurşun uygulanan topraklarda yetiştirilen biberiye bitkisinin gövde ve kök bakır içerikleri, (mg kg^{-1})

Birçok farklı metal (Se, Cd, Pb, Cu ve Zn) uygulanan *Sorghum bicolor* L. bitkisinde bitki gelişiminin engellendiği ve çimlenme olayının azaldığı görülmüştür (Zengin ve Munzuroğlu, 2004).

Bakır, fotosentezin düzenli olarak gerçekleşebilmesi A vitamini sentezi, hücre duvarlarında lignin oluşması birçok enzimin kofaktörü olarak görev yapmaktadır. Bakır bitki bünyesinde oluşan çeşitli yükseltgenme indirgenme olaylarında rol alır. Bitkiler için önem derecesi yüksek ama bitkilerin alım miktarı açısından düşük bir elementtir. Diğer mikro elementlerden B, Zn, Mn ve Fe göre daha az alınmaktadır (Boşgelmez vd., 2001; Gardiner ve Miller, 2008; McCauley vd., 2009). Bakır bitkinin stres faktörlerine karşı korunmasını sağlamaktadır (Plaster, 1992; Adiloğlu, 2020; Akay ve Adiloğlu, 2020; Dökmeci ve Adiloğlu, 2020; Adiloğlu ve Göker, 2020).

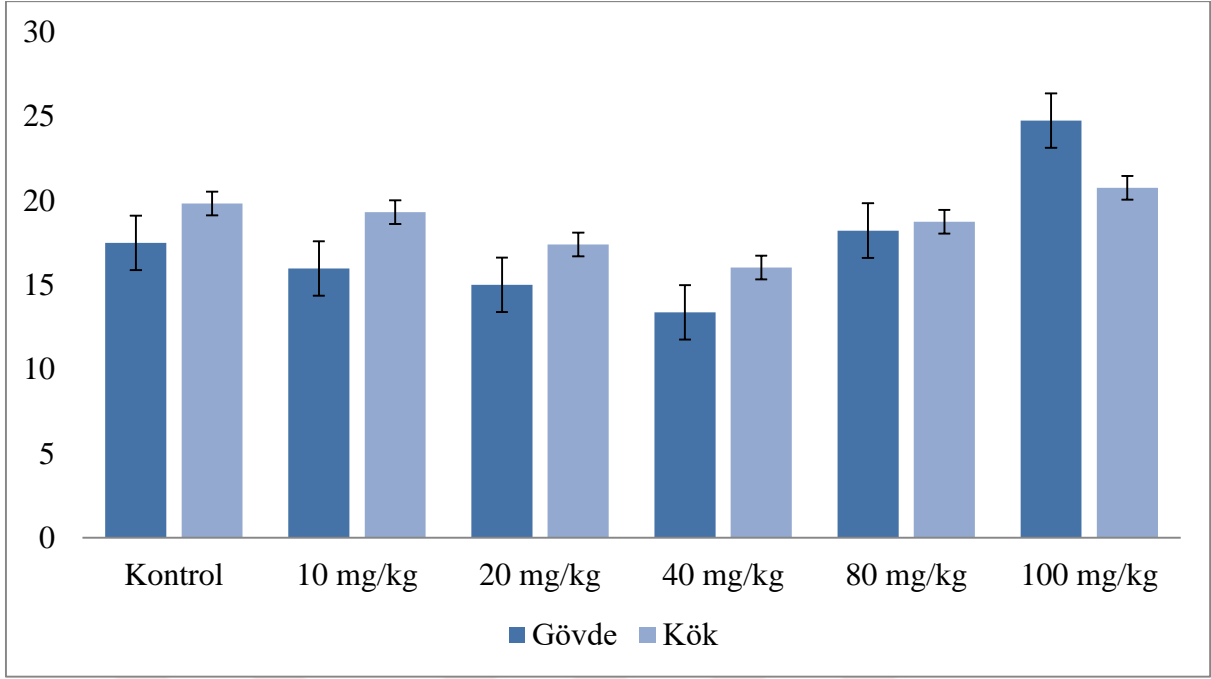


Şekil 4.16. Kirletici olarak kurşun uygulanan saksılardaki topraklara ait bakır içeriği, (mgkg⁻¹)

Analiz sonuçlarında kirletici olarak kurşun uygulanan saksılardaki toprakların bakır içeriği kontrol saksılarında (1,09 mgkg⁻¹), 100 mgkg⁻¹ dozda ise (1,27 mgkg⁻¹) olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.10 ve Şekil 4.16). İstatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

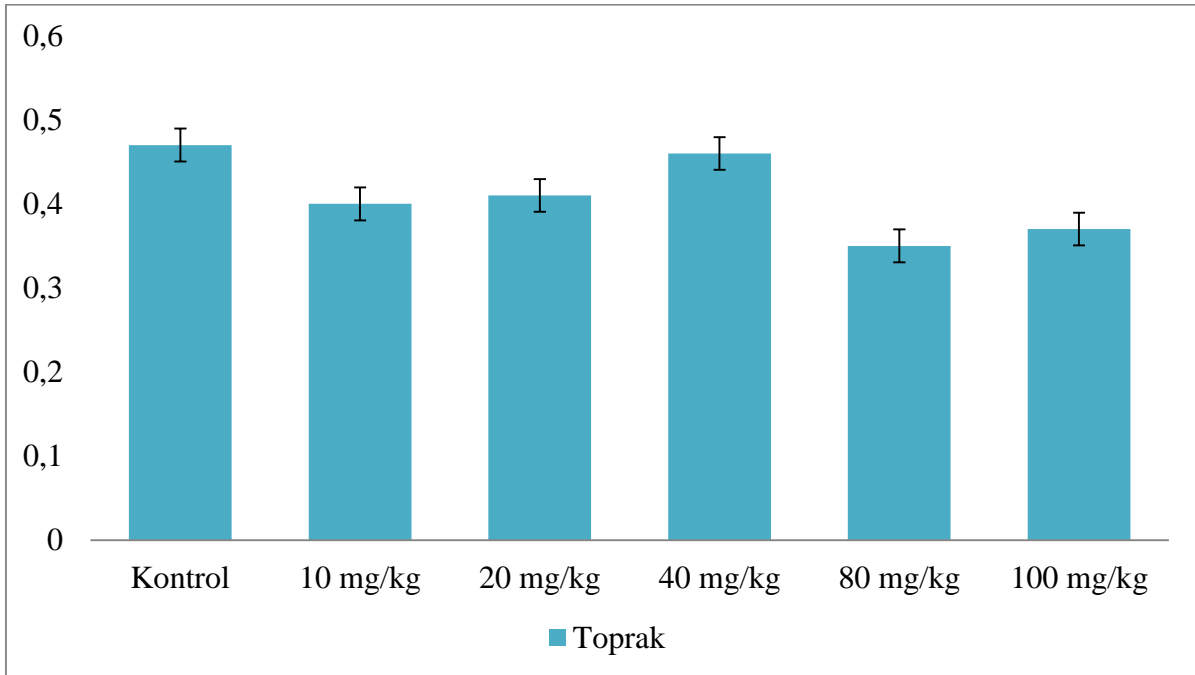
4.2.2.3. Çinko içeriği (mgkg⁻¹)

Araştırma sonuçları incelendiğinde Biberiye (*Rosmarinus officinalis*) bitkisinin gövde çinko içeriği kontrol saksılarında (17,50 mgkg⁻¹) en yüksek dozun uygulandığı saksılarda (24,75 mgkg⁻¹) olarak belirlenmiştir. Biberiye bitkisinin kökteki çinko içerikleri ise kontrol saksılarında (19,83 mgkg⁻¹) en yüksek dozun uygulandığı saksılarda ise (20,76 mgkg⁻¹) olarak gözlemlenmiştir (Çizelge 4.8, Çizelge 4.9 ve Şekil 4.17). Gövdede çinko değerleri istatistiksel olarak önemli bulunurken köklerdeki çinko değerleri önemsiz bulunmuştur.



Şekil 4.17. Kirlenici olarak kurşun uygulanan saksılarda yetiştirilen biberiye bitkisinin gövde ve kök çinko içerikleri, (mgkg⁻¹)

Zhang vd., (2002), Cd uygulamasının fide aşamasındaki buğday genotiplerinde K, Fe, Mn, Zn ve Cu içeriklerini arttırdığını, Ca ve Mg içeriklerinde ise azalmaya sebep olduğunu bildirmiştir.



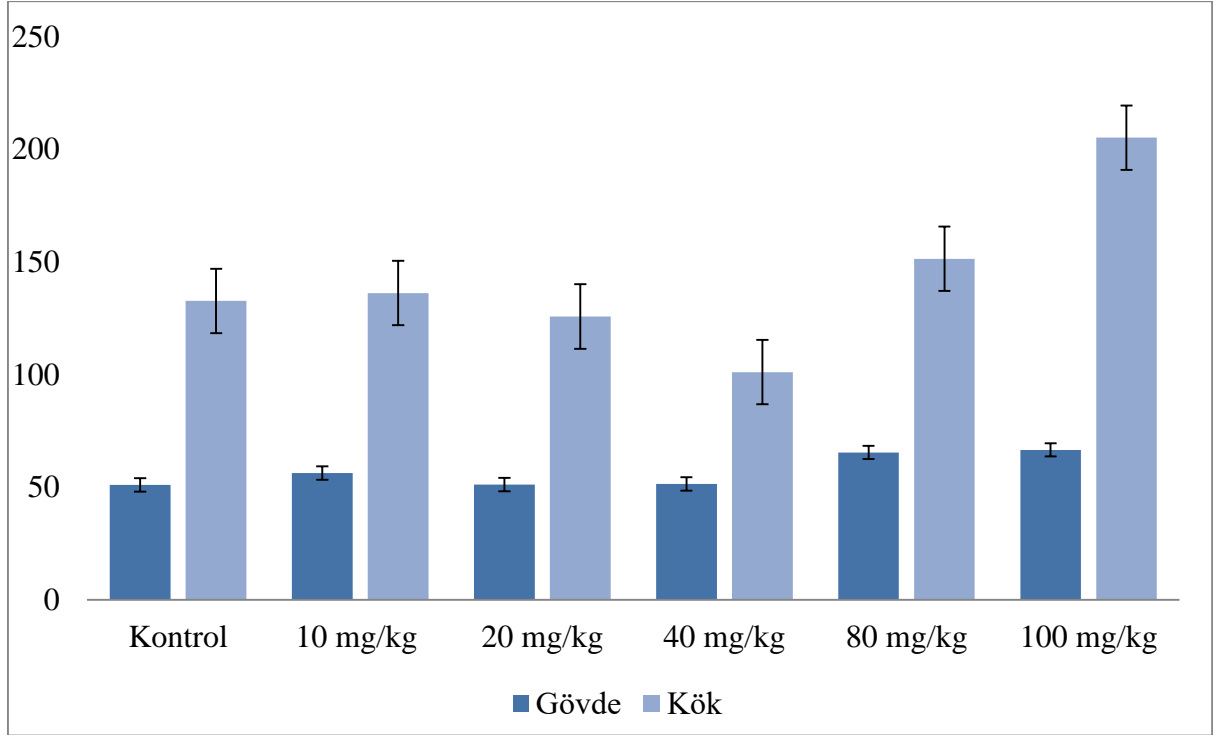
Şekil 4.18. Kirlenici olarak kurşun uygulanan saksılardaki topraklara ait çinko içeriği, (mgkg⁻¹)

Kurşun uygulanan toprakların analiz sonuçları incelendiğinde kontrol saksılarının çinko içerikleri ($0,47 \text{ mgkg}^{-1}$) iken en yüksek dozdaki saksılar incelendiğinde çinko içerikleri ($0,37 \text{ mgkg}^{-1}$) olarak tespit edilmiştir. Analiz sonuçları değerlendirildiğinde istatistiksel anlamda önemsiz bulunmuştur (Şekil 4.18 ve Çizelge 4.10).

Çinko eksikliği Ülkemiz topraklarında ve Trakya Bölgesi'nde ciddi boyutlara ulaşmış durumdadır. Bitkiler Zn^{2+} şeklinde toprak çözeltisinden almaktadır. Çinko bitkide birçok enzimin aktifleştirilmesinde kofaktör olarak görev yapmaktadır. Özellikle büyüme hormonları için gerekli bir element olup eksikliğinde bitki gelişiminde gerileme görülmektedir. Çinko eksikliği bitkilerin protein içeriklerini azaltmaktadır. Bitkilerin alt yaprakların damarları arasında hafif yeşil, sarı veya beyaz renkli alanlar oluşur. Gövde veya gövdedeki boğumlar arası kısalmır, dolayısıyla bitki bodurlaşır, yapraklar daralır ve küçülerek rozet şeklini alır. Yapraklar erkenden dökülür (Kantarıcı, 2000; Boşgelmez vd., 2001; Gardiner ve Miller, 2008; McCauley vd., 2009; Karaman vd., 2012).

4.2.2.4. Mangan içeriği (mgkg^{-1})

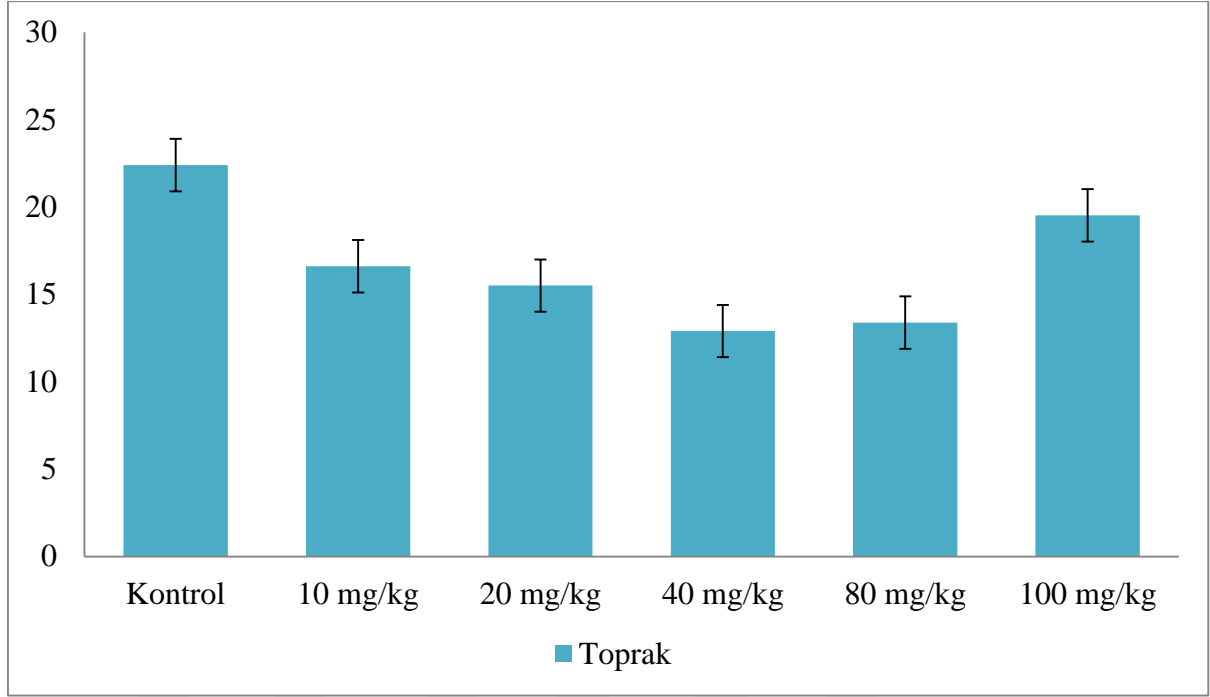
Araştırma sonuçları incelendiğinde kurşun uygulanan saksılarda yetiştirilen Biberiye (*Rosmarinus officinalis*) bitkisinin gövde mangan değerleri kontrol saksılarında ise ($51,01 \text{ mgkg}^{-1}$) iken en yüksek dozlu saksılarda ($66,58 \text{ mgkg}^{-1}$) olarak belirlenmiştir. Kökteki mangan içerikleri ise kontrol saksılarında ($132,74 \text{ mgkg}^{-1}$), en yüksek doz uygulanan saksılarda ise ($205,28 \text{ mgkg}^{-1}$) olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.8, Çizelge 4.9 ve Şekil 4.19). İstatistiksel anlamda önemli bulunmuştur.



Şekil 4.19. Kirlenici olarak kurşun uygulanan saksılarda yetiştirilen biberiye bitkisine ait gövde ve kök mangan içerikleri, (mgkg^{-1})

Mangan, toprak çözeltisindeki yarayışlılığını birçok toprak özelliği etkilemektedir. Bunların başında pH, Organik madde miktarı, diğer besin elementleri, yükseltgenme ve ceylan alınmaktadır. Birçok enzimde görev yapmakla birlikte MnSOD kofaktörü olan bitki besin elementi bitkinin zararlı bileşiklerden korunmasını sağlamaktadır. (Plaster, 1992; Boşgelmez vd., 2001; Güzel vd., 2004; Gardiner ve Miller, 2008; Kacar ve Katkat, 2010; Karaman vd., 2012).

Topraktaki Pb'un köklere alımında ve gövde aksamına transferinde EDTA'nın çok etkili ajan olduğu ileri sürülmektedir. EDTA toprakta bulunan Pb'un çözünürlüğünü artırarak seçici olmayan yapısından dolayı Ca^{+2} , Fe^{+2} , Cu^{+2} , Zn^{+2} ve Mn^{+2} gibi besin elementleri ile metal-EDTA bileşikleri oluşturarak bitkiler tarafından mineral besin elementlerinin alımına yardımcı olduğu belirlenmiştir (Geebelen vd., 2002).



Şekil 4.20. Kirlenici olarak kurşun uygulanan saksılardaki topraklara ait mangan içeriği, (mgkg^{-1})

Deneme sonuçları incelendiğinde kurşun uygulanan saksılardaki mangan içerikleri kontrol saksılarında ($22,4 \text{ mgkg}^{-1}$), en yüksek dozdaki saksılarda ($19,52 \text{ mgkg}^{-1}$) olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.10 ve Şekil 4.20). İstatistiksel olarak önemli kabul edilmemiştir.

4.3. Fitoremediasyon Yöntemine Göre Toprakta, Gövdede ve Kökte Kurşun Ağır Metali Değişimi

Kurşun toprak kirliliği sebep olan önemli bir ağır metaldir. Kurşunun toprakta ekstrakte edilebilir sınır değerleri Çizelge 4.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.11. Kurşun ağır metalinin topraktaki sınır değerleri (Adiloğlu, 2013)

Pb (mg/kg)	Değerlendirme
<4	İzin verilebilir
>4	Toksik

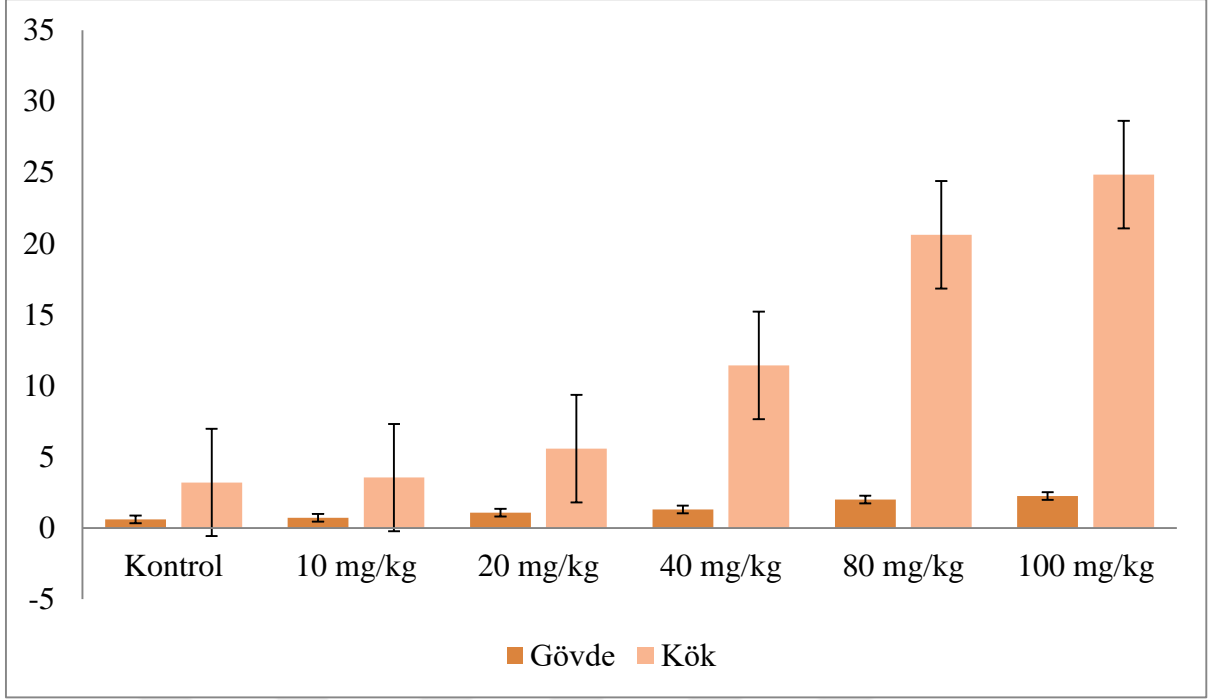
Araştırma sonrasında farklı dozlarda kurşun uygulanan saksılardan alınan toprak örneklerinin, biberiye bitkisinin gövde ve kökteki çözünebilir Pb analizi sonuçları Çizelge 4.12’de gösterilmiştir. EDTA şelatörünün faaliyeti dikkate alınarak biberiye bitkisinin topraktan kurşun ağır metalini alımı kontrol saksıları ile değerlendirildiğinde tüm tozlarda toksik seviyeye ulaşmıştır.

Çizelge 4.12. Analiz sonuçlarına göre deneme sonrası toprakta, bitki gövde ve kök aksamında biriken Pb değerleri ve önemlilik grupları, (mgkg⁻¹)

Dozlar (Pb)	Toprak	Gövde	Kök
Kontrol	0,65±0,05d	0,61±0,06c	3,21±0,54b
10 mg/kg	13,29±1,87d	0,73±0,07c	3,55±0,73b
20 mg/kg	31,79±5,21cd	1,09±0,13bc	5,58±1,51b
40 mg/kg	91,07±29,58bc	1,31±0,23c	11,44±7,45ab
80 mg/kg	142,62±41,98b	2,01±0,56ab	20,61±5,44a
100 mg/kg	217,98±22,92a	2,25±0,46a	24,85±5,57a

*: değerler üç tekerrür ortalamasıdır. **: %5 düzeyinde önemli.

Çizelge 4.12 incelendiğinde denemede uygulanan kurşun dozları sonucunda toprakta biberiye bitkisinin gövde ve kök aksamalarında kontrol saksılarıyla karşılaştırıldığında bitki bünyesinde ve topraktaki kurşun içerikleri istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu göstermektedir (P<0,05). Pb genellikle otoyol çevrelerinde kullanılan kültür bitkileri ve çayır-mera bölgelerinde yer yer toksisiteye neden olmaktadır. Pb’nin toksisite belirtilerinin, bitkilerin hücre turgoru ve duvarı üzerinde negatif etkileri vardır. Stoma hareketlerini sınırlandırır, yaprağın yüzeyini azaltır ve bitkinin suyu almasını azaltır (Asri ve Sönmez, 2006).



Şekil 4.21. Biberiye bitkisinin gövde ve kök aksamalarında kurşun içeriklerinin değerlendirilmesi

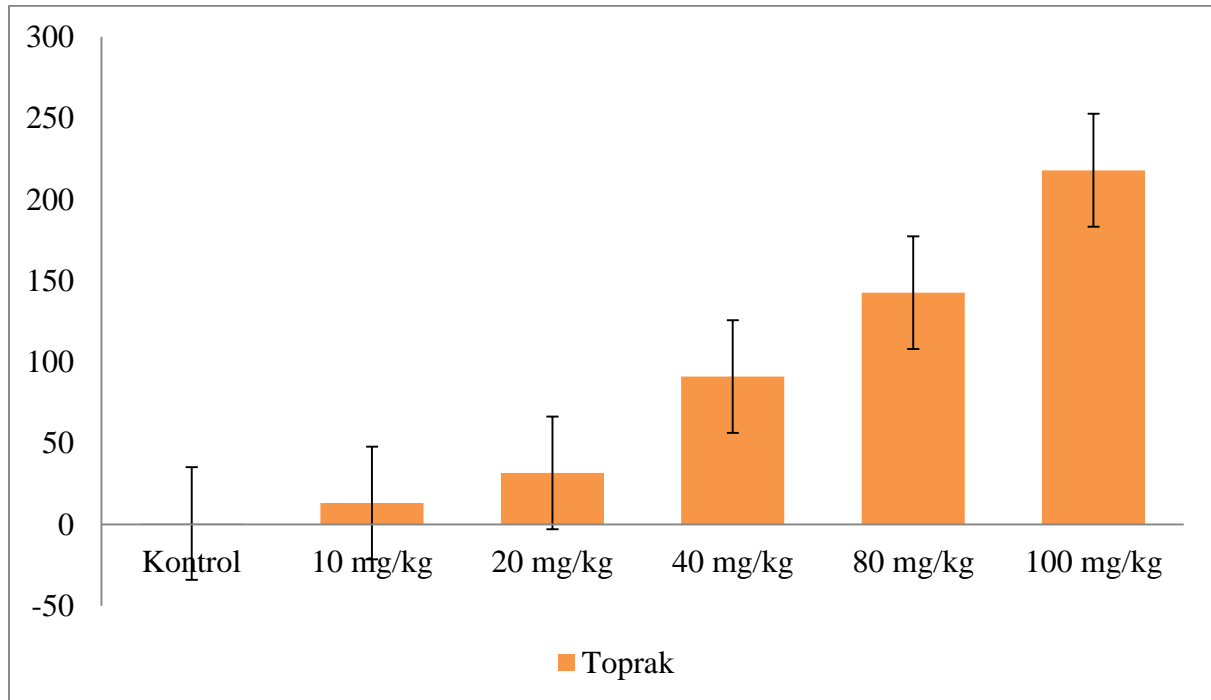
Analiz sonuçlarına bakıldığında artan dozlarda uygulanan kurşun ağır metalinin biberiye bitkisinin gövde aksamındaki içerikleri kontrol saksılarında ($0,61 \text{ mgkg}^{-1}$) iken 100 mgkg^{-1} dozda kurşun uygulanan saksılarda ($2,25 \text{ mgkg}^{-1}$) olarak tespit edilmiştir. Kök aksamında ise kontrol saksılarında kurşun içeriği ($3,21 \text{ mgkg}^{-1}$) iken en yüksek dozda kurşun uygulanan saksılarda ($24,85 \text{ mgkg}^{-1}$) olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.21). Bu durumun önemli sebeplerinden biri de kirletilen saksılara uygulanan EDTA şelatörüdür. EDTA ve DTPA gibi şelatlar, bitkinin dokularında kurşunun birikmesini sağlamak için uygulanır EDTA ve başka şelatların, toprakta ve besin çözeltisinde metal katyonların çözünmesini ve gövde içerisindeki kurşunun taşınmasını fazlaştırmak amacıyla kullanılmaktadır (Wallace vd., 1977; Checkai vd., 1987). Bu veriler %5 oranında önemli bulunmuş ve kurşun dozları arttıkça bitki bünyesindeki kurşun miktarında arttığı görülmektedir ve bitki kirleticiyi daha çok kök bölgesinde biriktirmiştir (Şekil 4.21 ve Çizelge 4.12). Bitkilerde kökler tarafından Pb'nin tutulması bitkilerin besin alımını azaltarak bitki gelişimini olumsuz etkilemektedir (Öktüren Asri ve Sönmez, 2007).

Kökte metal birikir ve hücre zarını geçer kök hücrelerine taşınır. Kökte absorbe edilen fraksiyonlar vakuolde immobil şekle dönüşür. Hücrenin içerisindeki hareketli metal, hücre zarını geçer ve kök ksilem dokusuna girer. Metal kökte hareket eder sap ve yaprağa doğru gider (Kupper vd., 1999; Li vd., 2005).

Labada (*Rumex patientia* L.) bitkisi kurşun ağır metali ile kirlenmiş alanlarda kirliliğin giderilmesinde kullanım kapasitesinin araştırılması adlı çalışmada, kurşunla kirlenmiş tarım alanlarının şelat destekli yeşil ıslah yönteminde kurşun kirliliğinin temizlenmesi için labada bitkisi kullanılarak etkisi araştırılmıştır. EDTA şelatör olarak kullanılmış ve labada bitkisinde kurşun birikiminin köklerde daha fazla olduğu, kurşun ağır metali ile kirlenmiş topraklarda labada bitkisinin kullanılabileceği belirtilmiştir (Adiloğlu, Açıkgoz, Yeniaras ve Solmaz, 2015).

Al Chami, Amer, Al Bitar ve Cavoski (2015)'nin yaptıkları araştırmada *Sorghum bicolor* ve *Carthamus tinctorius* yetiştirerek bazı ağır metallere tepkilerini (Ni, Pb ve Zn) değerlendirmiştir. Türlerin köklerin sürgünlere göre daha çok metal biriktirdiğini bildirmişlerdir. Metal toksitesi sırasıyla Ni > Zn > Pb olarak bulunmuştur. *S. bicolor* bitkisinin akümüasyonu ve biyokütle yönüyle *C. Tinctorius* bitkisine göre daha hiperakümülatör olduğunu tesbit etmiştir.

Salt vd., (1998) mısırın ve ayçiçeğinin fazla biomass içerdiğini ve bu bitkilerin önemli miktarda kurşun topladıklarını bildirmişlerdir. Mısır ve ayçiçeği bitkileri ele alınarak her sene 180-539 kg^{ha}⁻¹ kurşunu uzaklaştırarak, 2500 mgkg⁻¹'a kadar Pb ile kirlenmiş yerlerin 10 yıl içerisinde iyileştirilebileceğini belirtmişlerdir.



Şekil 4.22. Kurşun uygulanan biberiye bitkisi saksılarına ait topraklardaki kurşun içeriklerinin değerlendirilmesi

Biberiye bitkisinin yetiştirildiği farklı dozlarda kurşun uygulanan toprakların varyans analiz sonuçları incelendiğinde %5 düzeyinde etkili olduğu gözlemlenmiştir. Topraklara ait kurşun içerikleri incelendiğinde kontrol saksılarında (0,65 mgkg⁻¹), en yüksek dozda kurşun uygulanan saksılarda ise (217,98 mgkg⁻¹) tespit edilmiştir (Şekil 4.22). Kurşun ağır metalinin topraktaki sınır değerleri (Chapman, 1971; Adiloğlu, 2013) göre yüksek olduğu görülmektedir.

Wuana vd. (2016)'nın araştırmasında fitoekstraksiyon yöntemi kullanılarak bazı ağır metallerin giderimi incelenmiştir. Bitki olarak hint yağı bitkisinin (*Ricinus communis*) kullanılmıştır. Bitkinin kök ve sürgünleri incelenmiş ve Cd, Ni, Cu, Pb ve Zn ağır metalleri analiz edilmiştir. İstatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli bulunan metal içerikleri sırasıyla Cd (55,6 ve 20,9), Cu (89,5 ve 58,4), Ni (49,8 ve 19,6), Pb (32,1 ve 12,1) ve Zn (99,5 ve 46,6) dir (Wuana, vd., 2016).

Pandey (2013) yapmış olduğu çalışmada kirletici olarak Ni, Pb ve Zn ve bitki olarak da *Ricinus communis* L. kullanarak Fitoremediasyon yöntemini uygulamıştır. Bu bitkinin (*Ricinus communis* L) bahsi geçen ağır metallerin gideriminde kullanılabileceğini ortaya koymuştur (Pandey, 2013).

Kafadar ve Saygıdeğer (2010) tarımda sulama için kullanılan atık suların Pb miktarlarını farklı bitkilerde gösterdiği kirliliğin derecesini incelemiştir. Domates, biber, patlıcan ve mısır gibi bitkilerin (*Lycopersicon esculentum* L., *Capsicum annuum* L., *Solanum melongena*, *Zea mays* L.) toprak altı ve toprak üstü aksamalarına ve bitkinin yetiştiği topraklardaki Pb miktarı bulunmuştur. Bunun sonucunda bitkinin kökünde, gövdesinde, yaprağında, bitkinin yetiştirildiği toprakta ve kullanılan suda belirlenen Pb miktarı kontrole göre P< 0.05 seviyesinde ciddi bir artma olduğunu belirtmişlerdir. Bitkideki, Pb değerlerinin sıralaması kök, gövde ve yaprak şeklinde olmuştur. Pb birikimi sonucu bitki olumsuz etkilenmiş büyümesi ve su alımının azaldığı tespit edilmiştir.

Esringü (2005), saksı çalışmasında hardal ve kanolayı kullanmıştır. Ayrıca 4 şelat dozu (0, 3, 6, 12 mmolkg⁻¹ EDTA) kullanmıştır. Bitkilere önce 50 mgkg⁻¹ kirletici (Pb, Cu, Pb, Cd) uygulamıştır ve 1 ay inkübasyona bırakmıştır. EDTA'yı tohumu ekmeden 1 hafta önce ve 30 gün sonra uygulayarak 2 şekilde yapmıştır. Araştırma sonunda EDTA'nın etkisinde göz önüne alınarak kirleticilerin alınabilirliği 6 mmolkg⁻¹ dozunda kontrol saksılarına göre 2 kat olmuştur.

Bitkisel ekstraksiyon için en önemli olaylardan biride bitkinin metale dirençli olmasıdır. Bitkinin metali toprak üstü aksamına kadar iletebilmesi gerekir. Diğer istenen bitki özellikleri, toprak koşullarına toleranslı olması ve kök kısmının yoğun olmasıdır aynı zamanda bakımı kolay olmalıdır ve hastalıklara dayanıklı olması gerekir (Garbisu ve Alkorta, 2001; Alkorta vd., 2004).

Cui vd. (2004), araştırmalarında, Pb (31 000 mgkg⁻¹) ve Zn (480 mgkg⁻¹) ile kirletilmiş topraklarda yürütülen çalışmada 8 mmol kg⁻¹ EDTA uygulaması hardal otu (*Brassica juncea*) ve buğday (*Triticum aestivum*) bitkilerinde sırasıyla kurşun (3533 mgkg⁻¹ ve 479 mgkg⁻¹) ve çinko (501 mgkg⁻¹ ve 479 mgkg⁻¹) konsantrasyonlarında artış olduğu belirlenmiştir. Bitkilerdeki kök kuru ağırlığının kontrole göre sırayla (0.953-0.807 g/saksı; 1.307-0.890 g/saksı) düştüğünü göstermiştir.

Çoğu araştırmacı, fitoremediasyon için kullanılan bitkilerin yalnızca köklerinde metal biriktirmesinin gerekliliğine inanmaktadır. Birer sucül tür olan su sümbülü (*Eichhornia crassipes*); gotu kola (*Hydrocotyle umbellata* L.) ve su mercimeği (*Lemna minor* L.) sudaki ağır metalleri elemine etme kabiliyetine sahiptir. Ayrıca hint hardalı bitkisi köklerinde Cd, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn'nin biriktirmesiyle sudaki ağır metalleri bertaraf etmede etkilidir. Yine ayçiçeği bitkileri, hidrofobik çözeltilerden Pb, U, Cs ve Sr'yi bünyelerinde toplayabilmektedir (Prasad vd., 2003).

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Küresel birçok faktörün etkisi altında olan Dünya üzerinde yaşayan ve hızla artan nüfusu besleyememektedir. Birçok yol ile kaybolan topraklar günümüzde en etkin kaybetmenin başında kirlilik gelmektedir. Canlı, dinamik ve üç boyutlu olan toprakların, canlılığını ve dinamizliliğini yok etmektedir. Bu kirleticilerinde öncülüğünü ağır metaller yapmaktadır. Ağır metaller çevreye egzoz gazı kaynaklı, madencilik faaliyetleri sebebiyle, endüstrinin gelişmesi sebebiyle, pillerin üretilmesi ve kullanılması, demir-çelik sanayi atıkları, boyalar, tıbbi atıklar, termik santraller kaynaklı yayılımlar ve tarımsal kaynaklı yayılımlar şeklinde olmaktadır.

Bu çalışmanın amacı ülkemizde kimyasal ilaçlar, kimyasal gübreler, arıtma çamurları, toprak düzenleyicileri gibi birçok faktörün meydana getirdiği ağır metallerle kirlenmiş toprak kirliliğinin gideriminde bir çıkış noktası sağlamaktır. Maalesef alışılmış fiziksel ve kimyasal yöntemlerle kirlenmiş yerlerin temizlenmesi ekonomik açıdan çok büyük parasal kaynakları getirmektedir. Bu nedenle kurşun ile kirletilmiş alanların temizlenmesinde hiperakümülatör bir bitki olan biberiye bitkisi kullanılarak yeşil ıslah (fitoremediasyon) yöntemiyle daha az maliyetli bir teknolojiyle kirletilmiş alanların temizlenmesi amaçlanmıştır.

Toprak kirliliği sürekli artan bir olaydır ve arabalardan kaynaklı kirliliğin temizlenmesinde biberiye gibi tıbbi aromatik bitkilerin kullanılabilmesi doğaya zarar vermeden, ekonomik açıdan uygun olması birçok avantaj sağlamaktadır. Toprağa farklı kaynaklardan gelen kurşun ağır metalinin temizlenmesinde biberiye bitkisi gibi doğru bitkilerin kullanılması önemli bir faaliyettir.

Denemede elde edilen verilere göre kurşun ağır metali ile kirletilmiş toprakların hiperakümülatör bir bitki olan biberiye bitkisi ile temizlenmesinde EDTA şelatının verilmesi bitkinin Pb alımını arttırdığı ve bunun istatistiksel açıdan elde edilen verilere göre önemli olduğu belirlenmiştir. EDTA dozundaki artış ile birlikte bitkinin bazı makro besin elementlerinde (N,P, K, Ca, Mg) azalma olduğu, bazı mikro besin elementi miktarlarında ise EDTA şelatörünün etkisiyle kök bölgesindeki paralel bir artış gösterdiği belirlenmiştir. Bitkinin gövde ve kök kısımlarındaki bu değişimler istatistiksel açıdan önemli olduğu saptanmıştır.

Denemede kirleticiler olarak kurşun uygulanan saksılarda yetiştirilen biberiye bitkisinin bitki boyu kontrol saksılarında 52,26 gr iken en yüksek dozda 27,00 gr, kök boyu ise kontrol saksılarında 39,66 gr iken en yüksek dozda 30,66 gr olarak belirlenmiştir bu da artan dozlarda kurşun uygulanan saksılarda kurşunun bitkinin gelişimini olumsuz etkilediğini göstermektedir. Gövde ve kök kısımlarında kurşun içerikleri incelendiğinde ise kontrol saksılarında sırasıyla 0,61 mgkg⁻¹ ve 0,94 mgkg⁻¹ iken en yüksek dozda kurşun uygulanan (100 mgkg⁻¹) saksılarda gövde ve kökte sırasıyla 2,25 mgkg⁻¹ ve 24,85 mgkg⁻¹ olarak tespit edilmiştir. EDTA şelatörünün artışıyla kontrol saksıları karşılaştırıldığında kök ve gövdede alınan kurşun miktarında paralel olarak artmıştır. Bu durum istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ve biberiye bitkisinin hiperakümülatör olduğunu göstermektedir.

Bu araştırma ile bölgemiz ve ülkemizde birçok yolla bulaşan Pb kirliliğine sahip alanlarda Biberiye (*Rosmarinus officinalis*) bitkisi kullanılarak kolay uygulanabilir ve ekonomik bir yöntem olan Fitoremediasyon yöntemi ile temizlenebileceği ortaya konulmuştur. Yine bu araştırma sonucu biberiye bitkisi Fitoekstraksiyon ve Fitostabilizasyon yöntemlerinde de kullanılabilirliği saptanmıştır. Kirli toprakların temizlenmesinde kolayca uygulanabilecek olan ve birçok yerin (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Tarım ve Orman Bakanlığı, Belediyeler gibi) faydalanabileceği bu çalışma günümüzde kullanılabilir bir yöntemdir. Özellikle trafik kaynaklı kurşun kirliliğine sahip alanlarda şehir içi trafiğin yoğun olan alanlarda peyzaj bitkisi olarak kullanılabilirliğini ortaya koyduk ve önermekteyiz. Otoban kenarlarındaki yeşillendirme bölgelerinde hem görsel hem çok yıllık bir bitki olarak kurşun kirleticisini köklerde sabitleyip yakın yerlerdeki tarım alanları da koruma altına alınabileceği kanatı oluşmaktadır. Doğada Pb kirliliğine sahip alanlar kirlilik giderimi için benzer çalışmalarda hiperakümülatör bitki olan biberiye kullanımı ile değerlendirilmesinin uygun olacağı kanaatindeyiz. Bu bitkinin başka kirleticilere karşı tepkisinin değerlendirilmesi için araştırmaların devam etmesi gerekmektedir. Bu yöntemin yaygınlaştırılması için uygun politika ve desteklemeler ile toprak kirliliğinin önüne geçip sağlıklı nesiller yetiştirmek zorunluluğu doğmuştur.

KAYNAKLAR

- Adiloğlu, S. (2013). *Tekirdağ İlinde Otoban Kenarlarında Bulunan Tarım Arazilerinde Bazı Ağır Metallerin Kirliliğinin Araştırılması*. (Doktora Tezi), Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Tekirdağ.
- Adiloğlu, S. (2020). Interaction of Some Heavy Metals with Copper Content in Dock Plant. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi* 23 (4), 1078-1084.
- Adiloğlu, S. ve Göker, M. (2020). Phytoremediation: Elimination of Hexavalent Chromium Heavy Metal Using Corn (*Zea mays* L.). *Cereal Research Communications*, 48(4), doi: 10.1007/s42976-020-00070-9.
- Adiloğlu, S., Adiloğlu, A., A,çıkgöz, F. E., Yeniaras, T. ve Solmaz, Y. (2015). Labada (*Rumex patientia* L.) Bitkisinin Kurşun Kirliliğinin Gideriminde Kullanım Kapasitesinin Araştırılması. *Fen Bilimleri Dergisi*, 3(2), 1-7.
- Akay, A. ve Adiloğlu, S. (2020). Effects of Mycorrhizal Inoculation on the Zn Phytoremediation Potential of Buckwheat (*Fagopyrum esculentum*). *Fresenius Environmental Bulletin*, 29 (08), 6431-6437.
- Aktaş, M. (1995). *Bitki Besleme ve Toprak Verimliliği*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No:142, 345s.
- Aktaş, M. ve Ateş, A. (1998). *Bitkilerde Beslenme Bozuklukları Nedenleri Tanınmaları*. Nurol Matbaacılık A.Ş., Ostim-Ankara.
- Akyıldız, M. ve Karataş, B. (2018). Adana Şehir Merkezindeki Topraklarda Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(2), 199-214.
- Al Chami, Z., Amer, N., Al Bitar, L. ve Cavoski, I. (2015). Potential use of *Sorghum bicolor* and *Carthamus tinctorius* in phytoremediation of nickel, lead and zinc. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(12), 3957-3970.
- Al Ford, E. R., Pilon-Smits, E. ve Paschke, M. W. (2010). Metallophytes—a View from the Rhizosphere. *Plant Soil*, 337, 33–50.

- Ali, H., Khan, E. ve Sajad, M. A. (2013). Phytoremediation of heavy metals-Concepts and applications. *Chemosphere*, 91, 869-881.
- Aliyeva, G. (2014). *Fitoremediasyon Yöntemi (Bitki) ile Sucul Sistemlerin İyileştirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı Çevre Mühendisliği Programı, İstanbul.
- Alkorta, I., Allica, H., Becerri, J.M., Amezaga, I., Albizu, I., Onainda, M. ve Garbisu, C. (2004). Chelate-enhanced phytoremediation of soils polluted with heavy metals. *Reviews in Environmental Science and Bio/ Technology*, 3, 55-70.
- Alloway, B. J. (1990). *Heavy Metals in Soils*. John Wiley & Sons, 1 Wiley Drive, somerset, New Jersey.
- Alloway, B. J. (1995). *Cadmium* . In BJ Alloway (Ed.). Heavy metals in soils. Blackie, London.
- Alloway, B. J. ve Ayres, D. C. (1993). *Chemical Principles of Environmental Pollution*. Chapman & Hall, U.K., 291.
- Altın, A. ve Değirmenci, M. (2002). Çanakkale Kaolininden Elektrokinetik Arıtım Yöntemi İle Kurşun (II) Giderimi, *Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 19(2), 99-104.
- Anonim, (1998). Recent Development for in situ Treatment of Metal Contaminated Soils. United States Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response (5102G).
- Anonim, (2005). *Toprak Kirliliği Yönetmeliği*. 26 Aralık 2020, Erişim Adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2005/05/20050531-6.htm>
- Anonim, (2020). *T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı*. 4 Aralık 2020, Erişim Adresi: <https://www.tarimorman.gov.tr/Konular/Bitkisel-Uretim/Organik-Tarim/Istatistikler>
- Asri, F. Ö. ve Sönmez, S. (2006). Ağır Metal Toksisitesinin Bitki Metabolizması Üzerine Etkileri. *Derim, Batı Akdeniz Tarımsal Enstitüsü, Dergisi*, 23(2), 36- 45.

- ATSDR, (Agency for toxic substances and disease registry) (2007). Health Effects. In: Toxicological Profile for Lead. *Public Health Service. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, USA.* 25-276.
- Axtell, N. R., Sternberg, S. P. K. ve Claussen, K. (2003). Lead and nickel removal using *Microspora* and *Lemna minor*. *Bioresource Technology*, 89(1), 41-48.
- Baker, AJM ve Walker, PL (1990) Tolerant Bitkiler tarafından Metal Alımının Ekofizyolojisi. İçinde: Shaw, AJ, Ed., Bitkilerde Heavy Metal Tolerance: Evolutionary Aspects, CRC Press, Boca Raton, 155-177.
- Baydar, H. (2013). *Tıbbi ve aromatik bitkiler bilimi ve teknolojisi*. Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın, 51, 192-194, Isparta.
- Baytop, T. (1999). *Türkiye’de bitkilerle tedavi (geçmişte ve bugün)*. Nobel Tıp Kitapevleri II. Baskı, ISBN: 975-420-021-1, s. 480.
- Borras-Linares, I., Stojanovic, Z., Quirantes-Pine, R., Arraez-Roman, D., Svarc-Gajic, J., Fernandez-Gutierrez, A. ve Segura-Carretero, A. İ. (2014). *Rosmarinus officinalis* Leaves as a Natural Source of Bioactive Compounds. *International Journal of Molecular Sciences*, 15(11), 20585-20606.
- Boşgelmez, A., Boşgelmez, İ. İ., Savaşçı, S. ve Pashı, N. (2001). *Ekoloji – II (Toprak)*, Başkent Klişe Matbaacılık, Kızılay-Ankara.
- Bowen, H. J. M. (1966). *Trace Element in Biochemistry*, Academic Press, London.
- Cala, V., Cases, M. A. ve Walter, I. (2005). Biomass production and heavy metal content of *Rosmarinus officinalis* grown on organic waste-amended soil. *Journal of Arid Environments*, 62 (3), 401-412.
- Carrigan, R. A. ve Erwin, T. C. (1951). Cobalt Determination in Soils by Spectrographic Analysis Following Chemical Preconcentration. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.* 15, 145- 149.
- Caselles, J., Colliga, C. ve Zornoza, P. (2002). Evaluation of Trace Element Pollution from Vehicle Emissions in Petunia Plants, *Water, Air and Soil Pollution*, 136, 1–9.

- Ceylan, A. (1996). *Tıbbi Bitkiler II*. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No: 481, s. 221-224.
- Chapman, H. D. (1971). Proceedings of Int. *Symposium Soil Fert. Eval. New Delhi 1*, 927-947.
- Checka, R. T., Corey, R. B. ve Helmke, P. A. (1987). *Effects of ionic and complexed metal concentrations on plant uptake of cadmium and micronutrient metals from solution*.
- Cui, Y., Wang, Q., Dong, Y., Li, H. ve Christie, P. (2004). Enhanced uptake of soil Pb and Zn by Indian mustard and winter wheat following combined soil application of elemental sulphur and EDTA. *Plant and Soil*, 261, 181-188.
- Çalışkan, S. (2007). *Çorlu ve Civarında Yetişen Bitkilerde Ağır Metal Konsantrasyonunun Belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Çelebi, H. ve Gök, G. (2018), Topraklarda Otoyol Ve Trafik Kaynaklı Ağır Metal Kirliliğinin Değerlendirilmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(6), 1169-1178.
- Daşdemir, A. E. (2015). *İstanbul Avrupa Yakası Otopan Kenarlarındaki Tarım Arazilerinde Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması, Yayınlanmamış*. (Yüksek Lisans Tezi), Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Demir, A. (2007). *Kurşun ile Kirlenmiş Topraktan Pb(II) İyonlarının Ekstraksiyonu ve Sabit Yataklı Bir Elektrokimyasal Reaktörde Gideriminin Araştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi), Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- Dindar, E. vd. (2010). "Kirlenmiş toprakların biyoremediasyon ile ıslahı". *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 15(2), 123-137.
- Dinh, N., Van Der Ent, A., Mulligan, D. R. ve Nguyen, A. V. (2018). Zinc and lead accumulation characteristics and in vivo distribution of Zn 2+ in the hyperaccumulator *Noccaea caerulescens* elucidated with fluorescent probes and laser confocal microscopy. *Environmental and Experimental Botany*, 147, 1–12.

- Dökmeci, A. H. ve Adiloğlu, S. (2020). The Phytoremediation of Chrome From Soil Using (Cirsium Vulgare) and the Health Effects of Bioaccumulation. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 17(3), 535-541.
- Dürüs, N., Dürüst, Y., Tuğrul, D. ve Zengin, M. (2004). Heavy metal contents od pinus radiata trees of İzmit (Turkey). *Asian J. of Chemistry*, 16 (2), 1129- 1134.
- El-Rjoob, A. W. O., Massadeh, A. M. ve Omari, M. N. (2008). Evaluation of Pb, Cu, Zn, Cd, Ni and Fe levels in *Rosmarinus officinalis labaiatae* (Rosemary) medicinal plant and soils in selected zones in Jordan. *Environmental Monitoring And Assessment*, 140(1), 61-68.
- EPA. (1995). *Contaminants and remedial options at selected metal contaminated sites*, Office of research and development, EPA/540/R-95/512,USA.
- EPA. (2000). *Environmental Protection Agency, Introduction to Phytoremediation*, EPA/600/R-99/107, Cincinati, Ohio, U.S.A, p 72.
- Eren, A. (2010). *Kurşun Metali ile Kirlenmiş Toprakların Transgenik Bitki Kullanılarak Temizlenme Olanaklarının Araştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi), Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Toprak Anabilim Dalı, Antakya.
- Eren, A. ve Dağhan, H. (2014). Transgenic tobacco-bearing p-cV-ChMTIIGFP gene accumulated more lead compared to wild type. *Polish Journal of Environmental Studies*, 23(2), 569-571.
- Esringü, A. (2005) *Toprakta Kirliliğe Neden Olan Bazı Ağır Metallerin Kanola (Brassica nopus) ve Hardal (Brassica juncea) Bitkileri ile Uzaklaştırılması* (Yüksek Lisans Tezi), Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak ABD, Erzurum.
- Ewais, E. A. (1997). Effect of Cadmium, Nickel and Lead on Growth, Chlorophyll Content and Proteins of Weeds. *Biologia Plantarum*, 39(3), 403- 410.
- Fageria N. K. (2009). *The Use of Nutrients in Crop Plants*. CRC Pres, Boca Raton, Florida, New York.
- Fageria, N. K, Baligar, V. C. ve Jones. C. A. (2011). *Growth and Mineral Nutrition of Field Crops*. (3ed.), CRC Pres, Boca Raton, FL, USA.

- FAO ve ITPS. (2015). *Status of the World's Soil Resources (SWSR) - Main Report*. Rome, Italy, Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils.
- Fargasova, A. (2001). Phytotoxic effects of Cd, Zn, Pb, Cu and Fe on *Sinapis alba L.* seedlings and their accumulation in roots and shoots. *Biologia Plantarum*, 44(3), 471-473.
- Foth, H. D. (1984). *Fundamentals of Soil Science*. 7th Edition, John Wiley and Sons, New York.
- Gaballah, I. ve Kilbertus, G. (1998). Recovery of heavy metal ions through decontamination of synthetic solutions and industrial effluents using modified barks. *Journal of Geochemical Exploration*, 62, 241-286.
- Garbisu, C. ve Alkorta, I. (2001). Phytoextraction: a cost-effective plant-based technology for the removal of metals from the environment. *Bioresource Technology*, 77, 229-236.
- Gardiner, D. T. ve Miller, R. W. (2008). *Soils in Our Environment*. 11th Edition, Pearson/Prentice Hall, Upper Saddle Hill, Ne Jersey, USA.
- Gebeyehu, H. R. ve Bayissa, L. D. (2020). Levels of heavy metals in soil and vegetables and associated health risks in Mojo area, Ethiopia. *Plos One*, 15(1), e0227883. Doi: 10.1371/journal.pone.0227883.
- Geebelen, W., Vangronsveld, J., Adriano, D. C., Van Poucke, L.C. ve Clijsters, H. (2002). Effects of Pb-EDTA and EDTA on oxidative stress reactions and mineral uptake in *Phaseolus vulgaris*. *Plant Physiology*, 115(3), 377-384.
- Gerendas, J. J. C., Polacco, C., Freyermuth, S. K. ve Sattelmacher, B. (1999). Significance of nickel for plant growth and metabolism. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 162, 241-256.
- Ghosh, M. ve Singh, S. P. (2005). A Review on Phytoremediation of Heavy Metals and Utilization of its Byproducts. *Applied Ecology and Environmental Research*, 3, 1- 18.
- Güneş, A. (2000). Fosfor eksikliğine dayanıklı mısır (*Zea mays L.*) genotiplerinin belirlenmesi. A.Ü. *Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 6(3), 144-148.

- Gür, N., Topdemir, A., Munzuroğlu, Ö ve Çobanoğlu, D. (2004). Ağır Metal İyonlarının (Cu^{+2} , Pb^{+2} , Hg^{+2} , Cd^{+2}) *Clivia sp.* Bitkisi Polenlerinin Çimlenmesi ve Tüp Büyümesi Üzerine Etkileri. *F.Ü. Fen ve Matematik Bilimleri Dergisi*, 16(2), 177-182.
- Gürkan, M. ve Adiloğlu, S. (2020). Fesleğen (*Ocimum basilicum*) Bitkisinde Bazı Bitki Besin Elementleri ile Antibakteriyel Aktivitesinin İlişkisi. The Correlation of Some Nutrient Elements and Antibacterial Activity of the Basil (*Ocimum basilicum*). *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 17(3), 381-391. doi: 10.33462/jotaf.699792.
- Güzel, N., Gülüt, K. Y. ve Büyük, G. (2004). *Toprak Verimliliği ve Gübreler*. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 246, Ders Kitapları Yayın No: A-80, Adana.
- Hameed, N., Siddiqui, Z. S. ve Ahmed, S. (2001). Effects of Copper and Lead on Germination, and Phenolic Contents of Spinacea oleracea and Lycopersicum esculentum. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 4(7), 809-811.
- Hamutoğlu, R., Dinçsoy, A. B., Cansaran Duman, D. ve Aras, S. (2012). Biyosorpsiyon, adsorpsiyon ve fitoremediasyon yöntemleri ve uygulamaları. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, Sayı:4, Cilt: 69, Ankara, ss. 235-253.
- Huang, J. W., Chen, J., Berti, W. R. ve Cunningham, S. D. (1997). Phytoremediation of lead-contaminated soils: Role of Synthetic Chelates in Lead Phytoextraction. *Environ. Sci. and Technol.* 31(3), pp.800-805.
- Huang, T. L. ve Huang, H. J. (2008). Kurşuna maruz kalan pirinç köklerinde MAP kinazın ROS ve CDPK benzeri kinaz aracılı aktivasyonu. *Chemosphere* 71 1.377-1385 10.1016 / J.. *Chemosphere*. 2007.11.031.
- Jana, T. D. ve Barua, B. (1987). Effects and Relative Toxicity of Heavy Metals on *Cuscuta reflexa*, *Water, Air and Soil Pollution*, 33, 23-27.
- Jarup, L. (2003). *Hazards of Heavy Metal Contamination*. *British Medical Bulletin*, 68(1), 167-182.
- Jarup, L. (2003). Hazards of metal contamination, *British Medical Bulletin*, 68, 167-182.
- Jiang, W. ve Liu, D. (2000). Effects of Pb^{+2} on root growth, cell division, and nucleolus of *Zea mays* L. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 65(6), 786-793.

- Jiang, W., Liu, D. ve Hou, W. (2000). Hyper accumulation of lead by roots, hypocotyls, and shoots of *Brassica juncea*. *Biologia Plantarum*, 43(4), 603-606.
- Kacar B. ve İnal, A. (2010). *Bitki analizleri*. Nobel Yayınları No: 1241.
- Kacar, B. ve Katkat, V. (2010). *Bitki Besleme*. 5. Baskı, Nobel Yayın Dağıtım Tic. Ltd. Şti, Kızılay-Ankara.
- Kafadar, F. N. ve Saygıdeğer, S. (2010). Gaziantep ilinde organize sanayi bölgesi atık suları ile sulanan bazı tarım bitkilerinde kurşun (Pb) miktarlarının belirlenmesi. *Ekoloji Dergisi*, 75, 19-75.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A. ve Timur, S. (2001). Metallerin çevresel etkileri 1, *Metalurji Dergisi*, 136, 47-53.
- Kantarıcı, M. D. (2000). *Toprak İlimi*. İÜ Toprak İlimi ve Ekoloji Anabilim Dalı, İ Ü Yayın No. 4261, Orman Fakültesi Yayın No. 462, İstanbul, 420 s.
- Karaca, A. ve Turgay, O. C. (2013) Toprak. Kirliliği *Toprak Bilimi Derneği Dergisi 1*, 1.
- Karaman, M. R., Adiloğlu, A., Brohi, R., Güneş, A., İnal, A., Kaplan, M., Katkat, V., Korkmaz, A., Okur, N., Ortaş, İ., Saltalı, K., Taban, S., Turan, M., Tüfenkçi, Ş., Eraslan, F. ve Zengin, M. (2012). *Bitki Besleme*. ISBN 978-605-87103-2-0 Dumat Ofset, Matbacılık San. Tic. Ltd. Şti., Ankara.
- Kaveh, S., Fekri, M., Mahmood Abadi, M. ve Boroomand, N. (2010). Biomass production and heavy metal content of *Rosmarinus officinalis* grown on MSW compost and cattle manure. *Journal of Herbal Drugs*, 1(3), 11-18.
- Kennedy, C. D. ve Gonsalves, F. A. N. (1987). The action of divalent zinc, cadmium, mercury, copper and lead on the transroot potential and efflux of excised Roots, *J. Exp. Bot.*, 38, 800-817.
- Khan, A. G., Kuek, C., Chaudhry, T. M., Khoo, C. S. ve Hayes, W. J. (2000). Role of plants, mycorrhizae and phytochelators in heavy metal contaminated land remediation. *Chemosphere*, 41, 197-207.

- Kıran, Y. ve Munzuroğlu, Ö. (2004). Mercimek (*Lens culinaris medik.*) tohumlarının çimlenmesi ve fide büyümesi üzerine kurşunun etkileri. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(1), 1-9.
- Kırpık, M. (2005). *Çukurova Bölgesi Kıraç Ve Taban Arazi Kosullarında Yetistirilen Biberiye (Rosmarinus officinalis L.) Çesitlerinin Verim Ve Kalitesi Üzerine Arastirmalar* (Doktora Tezi), Tarla Bitkileri Anabilim Dalı Adana.
- Kocaer, F. O. ve Başkaya, S. H., (2003). Metallerle Kirlenmiş Toprakların Temizlenmesinde Uygulanan Teknolojiler. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 8(1), 121-131.
- Kulaç, A. (2015). *Ağır Metal Kirliliği Olan Toprakların Bitkilerle Arıtımı ve Bitkilerin Piroliz Yoluyla Değerlendirilmesi* (Doktora Tezi), Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Eskişehir.
- Kupper, H., Zhao, F. J. ve Mc Grath, S. P. (1999). Cellular compartmentation of zinc in leaves of the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. *Plant Physiol*, 119, 305–11.
- Li, S., Zhang, G., Gao, W., Zhao, X., Deng, C. ve Lu, L., (2015). Plant growth, development and change in GSH level in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) exposed to copper and lead. *Arch Biol Sci Belgrade*, 67(2), 385-396.
- Li, T. Q., Yang, X.E., Jin, X. F., He, Z. L., Stoffella, P. J. ve Hu, Q. H. (2005). Root Responses and Metal Accumulation in Two Contrasting Ecotypes of *Sedum Alfredii* Hance Under Lead and Zinc Toxic Stress. *J. of Environmental Science and Health*, 40, 1081-1096.
- Lindsay, W. L. ve Norvell, W. A. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42, 421- 428.
- Madejon, P., Burgos, P., Cabrera, F. ve Madejon, E. (2009). Phytostabilization of amended soils polluted with trace elements using the mediterranean shrub, *Rosmarinus officinalis*. *International Journal of Phytoremediation*, 11(6), 542-557.
- Malayoğlu, H. (2010). Biberiye'nin (*Rosmarinus officinalis* L.) antioksidan etkisi. *Hayvansal Üretim*, 51(2), 59-67.

- Marschner, H. (1995). Mineral nutrition of higher plants. Second Edition. Academic Pres., New York., USA.
- McCauley, A., Jones, C. ve Jacobsen, J. (2009). Nutrient Management. Nutrient management module 9 Montana State University Extension Service. Publication, 4449(9), 1–16.
- Mingorance, M. D., Franco, I. ve Rossini-Oliva, S. (2017). Application of Different Soil Conditioners to Restorate Mine Tailings with Native (*Cistus ladanifer* L.) and Non-Native Species (*Medicago sativa* L.). *J Geoc Exp.*, 174, 35-45.
- Moreno-Jiménez, E., Vázquez, S., Carpena-Ruiz, R. O., Esteban, E. ve Penalosa, J. M. (2011). Using mediterranean shrubs for the phytoremediation of a soil impacted by pyritic wastes in Southern Spain: a field experiment. *Journal of Environmental Management*, 92(6), 1584-1590.
- Mulligan, C. N., Yong, R. N. ve Gibbs, B. F.(2001). Remediation Technologies for Metal Contaminated Soils and Groundwater: an Evaluation. *Engineering Geology*, 60, 193-207.
- Noccea caerulescens* elucidated with fluorescent probes and laser confocal microscopy. *Environmental and Experimental Botany*, 147, 1-12.
- Öktüren Asri, F. ve Sönmez, S. (2007). Ağır Metal Toksisitesinin Bitki Metabolizması Üzerine Etkileri. *Derim Dergisi*.
- Öz A. M. (2017). *Balıkesir Yöresinde Doğal Olarak Yetişen Biberiye Ekstratları Fesleğen Bitkilerine ait Uçucu Yağların Antioksidan ve Antimikotik Özelliklerin Belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi), Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ.
- Özbek, H., Kaya, Z. ve Kaptan, H., (1993). *Toprak Bilimi*. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Ders Kitabı, Yayın No:16, 793 sayfa.
- Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M. ve Kaptan, H. (2001). *Toprak Bilimi*. 5. Baskı, ÇÜ Ziraat Fakültesi Genel Yayın No 73, Ders Kitapları Yayın No A–16, Adana.
- Özbek, K. (2011). *Hiper toplayıcı bitkilerle kadmiyumlu toprakların iyileştirilmesi ve gübre, humik asit ve şelat uygulamalarının etkinliği* (Doktora Tezi), Ankara Üniversitesi, Ankara.

- Özbolat, G. ve Tuli, A. (2016). Ağır Metal Toksisitesinin İnsan Sağlığına Etkileri. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, 25(4), 502-521.
- Özçelik, D., Toplan, S., Darıyerli, N., Gülyaşar, T. ve Dursun G. (2000). Dietle Alınan Kurşunun Eritrosit Osmotik Direnç ve Kan Viskozitesine Etkilerinin Araştırılması. *Cerrahpaşa Tıp Dergisi*, 31, 129-133.
- Pandey, V. C. (2013). Suitability of *Ricinus communis* L. cultivation for phytoremediation of fly ash disposal sites. *Ecological engineering* 57, 336-341.
- Parvin, K., Ahamed, K. U., Islam, M. M., Haque, M. N., Hore, P. K., Siddik, M. A. ve Roy, I. (2015). Reproductive behavior of tomato plant under saline condition with exogenous application of calcium. *Middle-East J Sci Res*, 23(12), 2920–2926.
- Paschke, M. W., Valdecantos, A. ve Redente, E. F. (2005). Manganese toxicity thresholds for restoration grass species. *Environmental Pollution*, 135, 313-322.
- Paustenbach, D. ve Galbrath, D. (2006). Biomonitoring and biomarkers: exposure assessment will never be the same. *Environ Health Perspect*, 114(8), 1143-9.
- Peng, K. J., Li, X. D., Luo, C. L. ve Shen, Z. G. (2005), Vegetation composition and heavy metal uptake by wild plants at three contaminated sites in Xiangxi Area, China, *Journal of Environmental Science and Health*, 41, 65-76.
- Phalsson, A. M. B. (1989). Toxicity of heavy metals (Zn,Cu,Cd,Pb) to vascular plants. *Water, Air, Soil Pollution*, 47, 287-319.
- Pivetz, B. E. (2001). Phytoremediation of Contaminated Soil and Ground Water at Hazardous Waste Sites. *United States Environmental Protection Agency EPA*, 540/S-01/500, 36p.
- Plaster, E. J. (1992). *Soil Science and Management*. (2nd) Edition, Delmar Publishers Inc., Albany, New York, USA.
- Prasad, M. N. V. ve Freitas, H. M. O. (2003). Metal Hyperaccumulation in Plants – Biodiversity Prospecting for Phytoremediation Technology. *Electronic Journal of Biotechnology*, 6(3), 286-321.

- Rodriguez-Eugenio, N., McLaughlin, M. ve Pennock, D. (2018). *Soil Pollution: a hidden reality*. Rome, FAO. 142 pp.
- Rucinska, R., Waplak, S. ve Gwozd, E. A. (1999). Free Radical Formation and Activity of Antioxidant Enzymes in Lupin Roots Exposed to Lead. *Plant Physiol. Biochem.*, 37(3), 187-194.
- Sağlam, M. T. (2012). *Toprak ve Suyun Kimyasal Analiz Yöntemleri*. Namık Kemal Üniversitesi, Yayın No: 2, Tekirdağ.
- Salt, D. E., Smith, R. D. ve Raskin, L. (1998). *Phytoremediation*. *Annu. Rev. Plant physiol. Plant Mol. Biol.* 49, 643-668.
- Sasikumar, B. (2004). *Rosemary*. In *Handbook of herbs and spices Vol. 2*, Edited by Peter, K.V. CRC Pres, Woodhead Publishing Limited. England.
- Scott, K., Ashley, P. ve Lawie, D. (2001). *The geochemistry, mineralogy and maturity of gossans derived from volcanogenic Zn–Pb–Cu deposits of the eastern Lachlan Fold*.
- Sharma, P. ve Dubey, R. S. (2005). Lead toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiol.* 17(1), 35-52.
- Söğüt, Z., Zaimoğlu, B. Z., Erdoğan R, ve Doğan, S. (2004). *Su Kalitesinin Artırılmasında Bitki Kullanımı (Yeşil Islah- Phytoremediation)*. Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları IV. Ulusal Konferansı, 5-8 Kasım, Dokuz Eylül Üniversitesi, Bildiriler Kitabı. II. Cilt, s: 1007-1016, İzmir.
- Sutherson, S. S. (1999). *Phytoremediation Remediation Engineering: Design Concepts*. (Sutherson SS, Ed.). CRC Press LLC, Boca Raton.
- Tabrizi, L., Mohammadi, S., Delshad, M. ve Moteshare Zadeh, B. (2015). Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Yield and Phytoremediation Performance of Pot Marigold (*Calendula officinalis* L.) Under Heavy Metals Stress. *International Journal of Phytoremediation*, 17(12), 1244–1252.
- Tandy, S., Healey, J. R., Nason, M. A., Williamson, J. C. ve Jones, D. L. (2009). Remediation of Metal polluted mine soil with compost: Co-composting versus incorporation. *Environmental Pollution*, 157, 690-697.

- Tok, H. H. (1997). *Çevre Kirliliği*. Anadolu Matbaacılık, İstanbul.
- Tuncay, H. (1994). *Toprak Fiziği Uygulama Kılavuzu*. E.Ü. Ziraat fak. Teksir No: 29, İzmir.
- Turan, M. ve Bringue, A. (2007). Phytoremediation based on canola (*Brassica napus* L.) and Indian mustard (*Brassica Juncea* L.) planted on spiked soil by aliquot amount of Cd, Cu, Pb, and Zn. *Plant Soil And Environment*, 53, 7-15.
- Vanlı, Ö. (2007). *Pb, Cd, B Elementlerinin Topraklardan Şelat Destekli Fitoremediasyon Yöntemiyle Giderilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Vanlı, Ö. ve Yazgan, M. (2008). *Ağır metallere Kirlenmiş Toprakların Temizlenmesinde Fitoremediasyon Tekniği*. 20 Eylül 2020, Erişim Adresi: <http://www.tarimsal.com>
- Verma, S. ve Dubey, R. S. (2003). Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants. *Plant Sci*. 164, 645-655.
- Wallace, A., Romney, E., Alexander, G. ve Kinnear, J. (1977). Phytotoxicity and some interactions of the essential trace metals iron, manganese, molybdenum, zinc, copper, and boron. *Soil Sci. Plant Anal*.
- Wang, Y., Yan, A., Dai, J., Wang, N. ve Wu D. (2012). Accumulation and tolerance characteristics of cadmium in *Chlorophytum comosum*: a popular ornamental plant and potential Cd hyperaccumulator. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184, 929-937.
- White, P. J. ve Broadley, M. R. (2003). *Calcium in plants*. *Ann Bot*, 92, 487-511.
- Wuana, R. A., Eneji, I. S. ve Naku, J. U. (2016). Single and mixed chelants-assisted phytoextraction of heavy metals in municipal waste dump soil by castor. *Advances in Environmental Research*, 5(1), 19-35.
- Yashim, Z. I., Agbaji, E. B., Gimba, C. E. ve Idris, S. O. (2016). "Phytoremediation Potential of *Ricinus communis* L. (Castor Oil Plant) in Northern Nigeria" *International Journal of Plant & Soil Science* 10(5), 1-8.

- Yıldız, N. (2001). Toprak Kirlenici Bazı Ağır Metallerin (Zn, Cu, Cd, Cr, Pb, Co Ve Ni) Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 32(2), 207-213.
- Yildirim, D. ve Sasmaz, A. (2017). Phytoremediation of As, Ag, and Pb in contaminated soils using terrestrial plants grown on Gumuskoy mining area (Kutahya Turkey). *Journal of Geochemical Exploration*, 182, 228-234.
- Zengin, F. K. ve Munzuroğlu, Ö. (2004). Fasulye Fidelerinin (*Phaseolus vulgaris L.*) Kök, Gövde Ve Yaprak Büyümesi Üzerine Kurşun (Pb⁺⁺) Ve Bakır (Cu⁺⁺)'In Etkileri. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 17(3), 1-10.
- Zhang, G. P., Fukami, M. ve Sekimoto, H. (2002). Influence of cadmium on mineral concentrations and yield components in wheat genotypes differing in Cd tolerance at seedling stage. *Field Plants Research*, 77, 93-98.

ÖZGEÇMİŞ

Kastamonu'nun Tosya ilçesinde 1992 yılında doğdu. İlköğretimi Hatay'da, ortaöğretimi ve liseyi Muğla'da bitirdi. 2012 yılında başladığı Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü'nü 2016 yılında bitirdi. Namık Kemal Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimini yapmaktadır.

