



T.C.

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

**TOKAT KAZOVA BÖLGESİNDEN ALINAN TOPRAK
ÖRNEKLERİNİN (BAĞ, SEBZE, MEYVE VE ÇAYIR-MERA)
MİKRO ELEMENT İÇERİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa KILINÇ

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Seda BİCE

TOKAT-2025

ETİK SÖZLEŞME

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Dr. Öğr. Üyesi Seda Bice Danışmanlığında Hazırlamış Olduğum “Tokat Kazova Bölgesinden Alınan Toprak Örneklerinin (Bağ, Sebze, Meyve Ve Çayır-Mera) Mikro Element İçeriklerinin Belirlenmesi” adlı yüksek lisans tezinin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

.../.../2025

Mustafa KILINÇ

JÜRİ KABUL VE ONAY

Mustafa KILINÇ tarafından hazırlanan “**Tokat Kazova Bölgesinden Alınan Toprak Örneklerinin (Bağ, Sebze, Meyve Ve Çayır-Mera) Mikro Element İçeriklerinin Belirlenmesi**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 10/06/2025 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı Soyadı)

İmzası

ONAY

...../...../.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

TEŞEKKÜR

Bu kıymetli çalışmanın hazırlanma ve tamamlanma sürecinde bilgisi ve deneyimleriyle bana yol gösteren, öneri ve rehberlikleriyle çalışmalarımı şekillendirmeme yardımcı olan ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Seda BİCE'ye en içten teşekkürlerimi sunarım. Bununla birlikte, çalışmamın yürütülmesi sırasında katkıları ve her daim hissettirdiği destekleri için Sayın Prof. Dr. Sezer ŞAHİN'e de samimiyetle teşekkür ederim.

Ayrıca bu süreçte karşılıklı dayanışma ve destek ile çalışmamı ve bu sürecin her anında yanı başımda yer alan, çalışmalarım boyunca her konuda desteğini hissettiren sevgili dostum Ziraat Yüksek Mühendisi Berkay ARSLAN'a büyük bir teşekkür iletmek isterim.

Tez çalışmalarım boyunca, bana maddi ve manevi anlamda sonsuz desteklerini sunan, gösterdikleri fedakârlık, anlayış ve sabırla bu zorlu süreci kolaylaştıran sevgili aileme özel bir teşekkürü borç bilirim. Babam Muhlis KILINÇ, annem Nüveyde KILINÇ ve ağabeyim Sefa KILINÇ'a verdikleri manevi güç ve eksilmeyen destekleri için gönülden şükranlarımı sunarım.

ÖZET

TOKAT KAZOVA BÖLGESİNDEN ALINAN TOPRAK ÖRNEKLERİNİN (BAĞ, SEBZE, MEYVE VE ÇAYIR-MERA) MİKRO ELEMENT İÇERİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Kılınç, Mustafa

Yüksek Lisans, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Seda BİCE

Haziran 2025, vii + 64 sayfa

Günümüzde giderek artan sanayileşme ve kentleşme ile beraber çeşitli çevre kirlilikleri artmış ve birçok çevresel problemler ortaya çıkmış olup bu problemlerin başında gelen ağır metaller, toprak, hava ve su kaynaklarında kirlilik meydana getirmektedir. Ülkemizde elverişli toprak miktarı tarıma çok fazla uygun olmadığından dolayı ülkemizde toprak sağlığını tehdit eden ağır metallerin toprakta birikimini engellemek için önceden gerekli tedbirler alınmalıdır. Bu tedbirlerin başında şüphesiz sahip olduğumuz tarım arazilerinin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin mevcut durumlarını belirlemektir. Toprakta oluşan kirliliği azaltmak bitki ve insan sağlığı için son derece önemlidir.

Bu araştırmada; farklı ürünlerin yetiştiği alanlardan alınan toprak örnekleri ile yapılan tarımsal uygulamalara bağlı olarak topraktaki mikro kapsamları hakkında araştırma yapılmıştır. Bu araştırma sonucunda toprak analizlerine dayalı bilinçli gübrelemenin halen sınırlı olduğu Tokat ilinde, yetiştirilen ürünlerin sağlıklı beslenip beslenemediklerinin toprak ve bitki analizleri ile ortaya konması, yörede yaygın olan farklı bitki türlerinin beslenme durumlarının karşılaştırılması, elde edilecek olan bulgular eşliğinde etkili gübreleme programlarına yön verilmesi, bilinçli ve sürdürülebilir tarım açısından önemli kazanımlar sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Toprak Kirliliği, Ağır Metal, Toprak Analizi

ABSTRACT

DETERMINATION OF MICRO ELEMENT CONTENT OF SOIL SAMPLES (VINEYARD, VEGETABLE, FRUIT AND MASSAGE-PASTURE) TAKEN FROM TOKAT KAZOVA REGION

KILINÇ, Mustafa

Master's Thesis, Department of Soil Science and Plant Nutrition

Advisor: Assist. Prof. Seda BİÇE

June 2025, vii + 64 page

Today, with the increasing industrialization and urbanization, various environmental pollutions have increased and many environmental problems have emerged, and heavy metals, which are at the forefront of these problems, cause pollution in soil, air and water resources. Since the amount of suitable soil in our country is not very suitable for agriculture, necessary precautions should be taken in advance to prevent the accumulation of heavy metals that threaten soil health in our country. The first of these precautions is undoubtedly to determine the current status of the physical, chemical and biological properties of the agricultural lands we have. Reducing the pollution in the soil is extremely important for plant and human health.

In this study; research was conducted on the heavy metal contents in the soil depending on the agricultural practices carried out with soil samples taken from the areas where different products are grown. As a result of this research, in Tokat province, where conscious fertilization based on soil analysis is still limited, revealing whether the products grown are healthy or not with soil and plant analysis, comparing the nutritional status of different plant species common in the region, and directing effective fertilization programs with the findings to be obtained will provide important gains in terms of conscious and sustainable agriculture.

Key Words: Soil Pollution, Heavy Metal, Soil Analysis

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK SÖZLEŞME.....	i
JÜRİ KABUL VE ONAY.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ	x
1.GİRİŞ.....	1
2.LİTERATÜR TARAMASI	4
2.1.Ağır Metal Nedir.....	4
2.2.Ağır Metallerin Toprakta Bulunuş Kaynakları ve Toprağa Etkileri.....	5
2.3.Ağır Metallerin Toksik Etkileri.....	8
2.4.Toprakta Yüksek Düzeyde Toksik Etkilere Neden Olan Bazı Ağır Metaller.....	13
2.4.1. Çinko (Zn).....	13
2.4.2. Bakır (Cu).....	14
2.4.3. Demir (Fe).....	15
2.4.4. Mangan (Mn).....	17
2.4.5. Molibden (Mo).....	18
2.4.6. Bor (B).....	19
2.5.Ağır Metal Kirliliği Giderim Yöntemleri.....	23
2.6.Önceki Çalışmalar.....	28
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	39
3.1. Materyal	39
3.1.1. Çalışma Yeri.....	39
3.1.2. Araştırmada Kullanılan Toprak Materyali.....	42
3.2. Yöntem.....	43

3.2.1. Toprak Numunelerinin Alınması.....	43
3.2.2. Toprak Numunelerinin Analize Hazırlanması.....	43
3.2.3. Analiz Yöntemleri.....	44
3.2.3.1.Bünye Tayini.....	44
3.2.3.2.Toprak Reaksiyonu (pH) Analizi.....	45
3.2.3.3.Elektriksel İletkenlik (EC) Tayini (mmhos/cm).....	45
3.2.3.4.Kireç Tayini.....	45
3.2.3.5.Organik Madde Miktarı.....	46
3.2.3.6.Yarayışlı Fosfor (mg.kg-1).....	47
3.2.3.7.Yarayışlı Potasyum (mg.kg-1).....	47
3.2.3.8.Topraklarda Ağır Metallerin Belirlenmesi.....	47
3.2.3.9.Toprak Örneklerinde Ağır Metal Kirlilik Parametrelerinin Değerlendirilmesi.....	48
3.2.3.10. İstatiksel Analizler.....	49
4. BULGULAR	50
4.1. Toprak Örneklerinde Bazı Fiziksel ve Kimyasal Parametrelere Ait Veriler.....	50
4.2. Bitki Besin Elementi Analizleri.....	53
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	56
6. KAYNAKÇA.....	59

ÇİZELGELER LİSTESİ

<u>Çizelge No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Başlıca ağır metallerin ekolojik sınıflandırması.....	9
Çizelge 3.1. Çayır-mera arazilerinden alınan toprakların konum ve kullanılan ilaç – gübre bilgileri.....	40
Çizelge 3.2. Bağ arazilerinden alınan toprakların konum ve kullanılan ilaç – gübre bilgileri.....	40
Çizelge 3.3. Meyve (kiraz) arazilerinden alınan toprakların konum ve kullanılan ilaç – gübre bilgileri.....	41
Çizelge 3.4. Sebze (fasülye) arazilerinden alınan toprakların konum ve kullanılan ilaç – gübre bilgileri.....	42
Çizelge 4.1. Toprak örneklerine ait fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları.....	51
Çizelge 4.2. Toprak örneklerine ait bünye analiz sonuçları.....	53
Çizelge 4.3. Bitki besin elementi konsantrasyonları.....	55

ŞEKİLLER LİSTESİ

<u>Şekil No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Toprak örneklerinin alındığı bazı alanlar.....	39
Şekil 3.2. Toprak örneklerinin tartılması.....	44
Şekil 3.3. Bünye analizi.....	44
Şekil 3.4. pH ve EC analizleri.....	45
Şekil 3.5. Kireç tayini.....	46
Şekil 3.6. Organik madde analizi.....	47

KISALTMALAR

%: Yüzde

°C: Santigrat derece

CO₂: Karbondioksit

M: Molar

N: Normalite

m³: Metreküp

kg: Kilogram

g : Gram

mg: Miligram

EC: Kontrol örneklerinin elektriksel iletkenliği,

µm: Mikrometre

ml: Mililitre

Cm: Santimetre

Ppm: Parts Per Million

HCl: Hidroklorik Asit

H₃BO₃: Borik Asit

K₂O: Potasyum Oksit

DTPA: Dietilenpentaasetikasit

Pb: Kurşun

Cr: Krom

Cd: Kadmiyum

Co: Kobalt

Ni: Nikel

Cu: Bakır

Zn: Çinko

Hg: Cıva

Fe: Demir

Mn: Mangan

Mo: Molibden

Si: Silisyum

B: Bor

Se: Selenyum

I : İyot

V: Vanadyum

U: Uranyum

Sn: Kalay

Ag : Gümüş

Be : Berilyum

Tl : Talyum

As: Arsenik

Pt: Platin

Al : Aliminyum

Zr : Zirkonyum

1. GİRİŞ

Toprak, yeryüzünün büyük bir kısmını sarmalayan bir örtü halinde bulunur ve zamanın yanı sıra iklim koşulları, canlıların etkisi ve topografik özellikler gibi çeşitli faktörlerin ana materyal üzerinde birlikte etkisiyle şekillenmiş bir yapıdadır. Bu yapının temel özellikleri, belirli bir karakteristik sergileyen, dinamik ve açık yapıya sahip olan, üç boyutlu bir bütün oluşturmasıdır. Toprak, aynı zamanda fiziksel yapısında gaz, sıvı ve katı gibi üç ayrı faz bulunduran doğal bir sistemdir. Toprağın pH seviyesine karşı gösterdiği direnci yani toprağın tamponlama kapasitesini göz önünde bulundurarak, kirleticilerin toprak bünyesinde tutulduğu anlaşılmaktadır. Özellikle ağır metallerin parçalanamayan doğaları nedeniyle (Kirpichtchikova ve ark., 2006), bu metallerin besin zincirine biyolojik birikim yoluyla dahil olabilmesi mümkündür ve tüm halkalar boyunca taşınımı gerçekleşebilir. Bu durum, besin zinciri içerisindeki ekolojik kirliliğin artmasına yol açar ve çeşitli hastalıklara ve zehirlenmelere sebep olabilir (Adriano ve ark., 2004; Vareda ve ark., 2016; Almasi ve ark., 2016). Bu kirlilik sorunları, çevresel sağlık açısından ciddi tehditler oluşturan faktörlere dönüşebilir.

Tarım toprakları, ülkemizin ekonomik açıdan gelişmesini ve vatandaşlarımızın refah düzeyini artırmanın en kritik unsurlarından biri olarak kabul edilmektedir. Tarım alanlarımız ekonomik yapının temel dayanaklarından birini oluşturduğu için, bu alanların korunması ve verimliliğinin devamlılığı son derece önemlidir. Ancak, uzun süredir ülkemizde yeni tarım arazilerinin açılmadığı düşünüldüğünde, mevcut tarım alanlarının üzerindeki baskı giderek artmaktadır. Artan nüfus ve hızlı teknolojik gelişmeler doğrultusunda yükselen insan ihtiyaçlarını karşılamak üzere tarım sektörüne duyulan talep de aynı oranda büyümektedir. Bu gelişmeler sonucunda, özellikle nüfus artışının getirdiği gıda talebi ve tüketimi ile beraber endüstriyel ürünlerin üretimindeki yükselmeler, çevre kirliliğinin daha da ciddi boyutlara ulaşmasına neden olmaktadır (Mikhailenko ve ark., 2020). Çevresel kirliliğin bu denli yoğun bir şekilde artması hem ekosistemlerin doğal dengesini bozmakta hem de insan sağlığını tehdit etmektedir. Yeni tarım alanlarının açılma olasılığının giderek azaldığını ve mevcut alanların tükenme eşiğine geldiğini göz önüne aldığımızda, topraklarımızın korunması ve sürdürülebilir kullanımı için acil önlemler alınması kaçınılmaz olup, bu kirlilik kaynaklarının

azaltılması için etkili stratejilerin geliştirilmesi gerekliliğini daha da belirgin hale getirmektedir (Özkan, 2017).

Toprak kirliliği, esas itibarıyla toprağın doğal taşıma kapasitesini aşan ve toprağın kimyasal bileşiminde kayda değer değişimlere yol açan zehirli maddeleri içermektedir. Bu durum, çevresel dengenin bozulmasına yol açarak doğal ekosistemler üzerinde ciddi olumsuz etkiler yaratmaktadır (Golui ve ark., 2019). Toprak kirliliğine yol açan temel etkenler arasında, özellikle sanayi kaynaklı kentsel atıklar bulunmaktadır. Bu atıklar, toprağa yayılan ağır metallerin yanı sıra, kentleşme ve endüstrileşmenin bir yan ürünü olarak karşımıza çıkmakta, bunların etkileri uzun vadede toprak yapısında ciddi tahribatlara neden olabilmektedir. Ayrıca, kanalizasyon sistemlerinden kaynaklanan kirlilik de toprak sağlığını tehdit eden başlıca unsurlar arasında yer almaktadır. Tarım alanlarında ise, mahsul verimini artırma amacıyla uygulanan yoğun gübre ve kimyasal pestisit kullanımı, toprak kirliliğine katkı sağlamakta, bu durum hem ürün kalitesini hem de çevre sağlığını tehlikeye sokmaktadır (Chen ve ark., 2015).

Günümüzde ağır metallerin neden olduğu kirlilik, küresel ölçekte giderek artan bir endişe konusu haline gelmiştir. Bu mesele, toplumların gündeminin üst sıralarında yer almakta ve akademik çevrelerde geniş çapta tartışılmaktadır. Birçok farklı bilim dalı ve multidisipliner çalışmalar, toprak, su ve hava kirliliğine yol açan ağır metallerin etkileri üzerine kapsamlı bir şekilde yoğunlaşmıştır. Ağır metallerin atmosfer, toprak, bitki, su ve canlı sağlığı üzerinde birbirinden farklı olumsuz etkiler yaratmasına karşın, bu etkiler bir bütün olarak ele alındığında karşımıza ciddi bir çevre sağlığı sorunu çıkmaktadır. Hızla artan sanayileşme ve kentleşme süreçleri, sürekli artan nüfus, fosil yakıtların aşırı tüketimi ile egzoz gazlarının yayılması, çevresel duyarsızlık, maden yataklarının kontrolsüz işletilmesi, atık suların denetimsiz bırakılması, tarımda bilinçsizce ilaç ve gübre kullanımı gibi etkenler, hava, toprak ve su kaynaklarında ağır metal kirliliğinin yayılmasına neden olarak canlı yaşamını tehdit etmektedir. Toprak, bitkiler için hem durak hem de besin kaynağı olan önemli bir unsurdur ve tamponlama özelliği sayesinde çevre kirliliğine karşı doğal bir filtre işlevi görebilmektedir. Ancak ağır metal kirliliği toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik yapılarının bozulmasına ya da tümüyle değişmesine yol açmaktadır. Toprakta meydana gelen bu kirlenme, toprak

ekosistemdeki faaliyetlerin engellenmesine neden olarak ekosistemin üzerinde kaçınılmaz bir olumsuz etkiye bulunur. Bu olumsuz durum ise kolaylıkla diğer ekosistemlere yansiyabilir. Ağır metallerin toprağın içinde oluşturduğu kompleks yapılar, toksisitenin canlılar üzerindeki etkisini artırarak daha zararlı hale gelmesine sebep olur. Toprak mikroorganizma aktivitelerini olumsuz yönde etkileyen ağır metaller; nitrifikasyon, toprak solunumu, enzim aktiviteleri ve organik maddelerin mineralizasyonu süreçlerini aksatarak toprağın biyolojik aktivitesini bozar. Dolayısıyla toprağın verimliliği azalır ve öz nitelikleri değişir. Bu koşullar altında tarımsal üretim geriler, bitkilerin verimi ve kalitesi ciddi oranda düşer. Bu karmaşık sorunların çözümü için geniş kapsamlı ve sürdürülebilir politikalar geliştirilmesi gerekmektedir. Sonuç olarak, bu durum, gıda güvenliği ve sürdürülebilir tarımın geleceği için önemli zorluklar yaratmaktadır (Yerli ve ark., 2020).

Tokat Kazova bölgesinde gerçekleştirdiğim bu araştırmanın amacı, bölgedeki bağ, sebze (fasülye), meyve (kiraz) ve çayır-mera topraklarının ağır metal içeriklerini saptamak ve farklı tarımsal ürünlerin yetiştirildiği alanlarda yapılan uygulamaların topraktaki ağır metal seviyelerine etkilerini incelemektir. Bu doğrultuda, araştırma alanını temsil edecek şekilde her bir tarımsal ürün için 20 farklı araziden toplamda 80 toprak örneği alınarak bazı fiziksel ve kimyasal özellikler analiz edilecektir. Yapılacak analizler, toprağın bünye, pH, tuz, kireç, organik madde ve toplam P, K, Na, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn, B ve Mo içeriklerini kapsayacaktır. Araştırma çıktıları doğrultusunda ise bölgedeki topraklar sınıflandırılarak ağır metal içerikleri ve verimlilik durumları ortaya konacaktır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Ağır Metal Nedir

Yoğunluğu 5 g/cm³'ten daha fazla olan metaller, bilimsel literatürde genellikle "ağır metal" kategorisi altında sınıflandırılmaktadır. Bu metaller, başka bir bakış açısıyla değerlendirilirse, canlı organizmalara yüksek miktarlarda girdiklerinde toksik etkilere neden olan metaller olarak da bilinmektedir. Örneğin, kurşun (Pb), krom (Cr), kadmiyum (Cd), kobalt (Co), nikel (Ni), bakır (Cu), çinko (Zn), cıva (Hg) ve demir (Fe) gibi metaller bu grubun içinde yer almaktadır ve bunların sayısı 60'tan fazladır. Doğal yapıları ve kimyasal özellikleri gereği, bu elementler genellikle yerkürede oksit, karbonat, sülfür gibi stabil bileşikler veya çeşitli silikatlar halinde bulunmaktadır (Özbek, 2010).

Normal yaşam aktivitelerini sürdürebilmek amacıyla tüm canlılar, buldukları çevrede yer alan ağır metallere ihtiyaç duymaktadır. Bakır (Cu), demir (Fe), manganez (Mn), kadmiyum (Cd), molibden (Mo), silisyum (Si) ve bor (B) gibi metaller, özellikle bitkiler açısından metabolik süreçlerinde büyük önem taşımaktadır. Benzer şekilde, bakır (Cu), kobalt (Co), demir (Fe), manganez (Mn), molibden (Mo), çinko (Zn), selenyum (Se) ve iyot (I), hayvan metabolizması için gerekli elementler arasında yer almaktadır. Ancak, kobalt (Co), bakır (Cu), krom (Cr), demir (Fe), manganez (Mn), nikel (Ni), molibden (Mo), çinko (Zn), uranyum (U) ve vanadyum (V) gibi metaller, aynı zamanda toksik etkiler göstererek çevresel ve organizma üzerinde risk oluşturabilirler. Ağır metallerin ortamda yaygın bulunma nedenleri arasında başlıca, mineral gübrelerin kullanımı, bazı anataş özellik gösteren maddeler, kanalizasyon atıkları, biyositler, endüstriyel atık sular, kentsel atıklar, motorlu araçların egzoz emisyonları ve madencilik faaliyetleri yer almaktadır. Çevredeki ağır metaller, biyolojik ve jeolojik işlemler sonucunda transformasyona uğrayarak orijinal formlarından farklı kompozisyonlarda taşınabilmektedirler. Bu tür süreçler, metallerin başlangıç yerlerinden çok daha uzak bölgelere yayılmasına ve buralarda birikerek ağır metal konsantrasyonlarının artış göstermesine neden olabilir. Örneğin, geçmiş yıllara kıyasla Grönland buzullarında kurşun (Pb) konsantrasyonlarının artış göstermesi, bu metalin atmosferik yolculuklar ve taşınma süreçlerine maruz kaldığını kanıtlayan önemli bir göstergedir. Endüstriyel atık suların etkisiyle toprak ekosistemine ulaşan ağır metaller,

zaman içinde toprak katmanlarında birikim göstermektedir. Bu toprakta biriken elementlerin çözünürlüğü ise çevresel koşullardan, özellikle de toprağın pH değerinden önemli ölçüde etkilenmektedir. Genellikle topraktaki ağır metal aktivitesi, pH değeri ile ters orantılı bir şekilde değişim göstermekte olup bu durumu belirlemek için pek çok araştırma yapılmıştır (Sarı, 2009).

2.2. Ağır Metallerin Toprakta Bulunuş Kaynakları ve Toprağa Etkileri

Toprak, insanoğlunun ve diğer canlıların hayatta kalabilmesi için gerekli olan temel bir çevresel bileşen olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu önemli ekosistem parçası, insanların ve birçok organizmanın günlük yaşamları boyunca sürekli ve doğrudan etkileşimde bulunduğu bir ortamdır. Ancak, toprakta meydana gelen olaylar ve etkileşimlerin, su ve hava gibi diğer çevresel unsurlarda olduğu kadar hızlı ve gözle görülür bir şekilde algılanması genellikle söz konusu değildir. Bunun nedeni, toprağın toksik bileşenlere karşı tampon görevi gören doğal direncinin yüksek olmasıdır. Bu direnç, kimyasal yollarla meydana gelebilecek kirlilik türlerinin belirlenmesini ve izlenmesini oldukça zorlaştırır. Tarımsal uygulamalar ile sanayi faaliyetleri sonucunda toprak, kendi doğal yapısını kısmî ya da bütünüyle yitirerek, çeşitli yabancı maddelerle kirlenme riski taşımaktadır. Bu kirletici maddeler, toprak yapısında değişen yoğunluklarda ve genellikle düşük miktarlarda bulunur. Kimyasal kirlilikten bahsedildiğinde ilk akla gelen kirleticilerin çoğu ise yoğun olarak ağır metaller olarak bilinmektedir. Bu metaller, çevreye verdikleri kalıcı zararlar ve biyolojik sistemler üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle özellikle dikkat çekmektedir (Özbolet ve Tuli, 2016)

Tarımda verimliliği artırmak amacıyla kullanılan DAP, TSP ve diğer fosforlu gübrelerin aşırı ve kontrolsüz bir şekilde toprağa uygulanması, zamanla toprağın en verimli üst katmanlarında, özellikle de kadmiyum gibi bazı ağır metallerin önemli ölçüde birikmesine yol açabilmektedir. Bu durum, gübrelerin yanlış ve dengesiz kullanımının uzun vadede toprak sağlığı üzerinde yaratabileceği potansiyel tehlikeleri gözler önüne sermektedir (Cüre, 2022).

Topraklar, kendi doğal bileşimlerine bağlı olarak çeşitli oranlarda ve formda ağır metaller içermekte olup, bu elementlerin yer aldığı doğal dağılım, jeolojik faktörlerle şekillenir. Ancak son yıllarda, tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan insan müdahalesi, bu doğal dağılımın giderek daha fazla bozulmasına neden olmaktadır. Özellikle sanayi, yoğun tarım uygulamaları ve yanlış yönetim politikalarının etkisiyle ağır metal birikimi toprağın ekolojik dengesi ve sağlığını tehdit eder hale gelmiştir. Bu değişimler, toprak ekosisteminin direncini zayıflatarak doğal döngüler üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır (Başkaya ve Teksoy 1997).

Toprakta bulunan ağır metallerin hareketliliği, bitkilerin sağlıklı bir biçimde gelişebilmesi ve yeraltı sularının kalite seviyesinin korunabilmesi açısından son derece önemlidir. Bu metaller, zamanla taban sularına doğru hareket ederken, bu süreç boyunca toprağın fiziksel yapısı, kimyasal bileşenleri ve sahip olduğu biyolojik özellikler önemli roller üstlenir. Toprağın kimyasal bileşenleri arasında özellikle dikkat çeken unsurlar pH değeri, redoks potansiyeli, katyon değişim kapasitesidir; bu faktörler, metallerin hareketine doğrudan ve dolaylı etki eder. Buna ek olarak, toprağın içinde bulunan organik madde miktarı ve bu maddenin türü de ağır metallerin hareketliliğini etkileyen belirleyici faktörler olarak öne çıkar (Yerli ve ark.,2020).

Ağır metaller, doğrudan topraklardaki biyokimyasal süreçlere müdahale ederek bu süreçleri önemli ölçüde etkilerler. Özellikle organik maddenin mineralizasyonu, topraktaki solunum aktiviteleri, nitrifikasyon süreçleri ve çeşitli enzim aktiviteleri, ağır metallerin etkilediği başlıca mekanizmalar arasında yer alır. Topraktaki mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilen bazı biyokimyasal tepkimeler, örneğin karbon dioksit (CO₂) üretimi, enzim aktiviteleri ve nitrifikasyon, ağır metallerin toprak ve bitkiler üzerinde oluşturduğu toksik etkileri değerlendirmek için önemli göstergeler olarak kabul edilir. Bununla birlikte, ağır metallerin bu biyokimyasal reaksiyonlar üzerindeki toksik etkilerinin derecesi, metallerin topraktaki hareketliliği ve yoğunlukları ile doğrudan doğruya ana materyalin kimyasal bileşimine bağlıdır (Dağdeviren, 2007).

Toprak pH seviyesinin düşmesi, çoğunlukla ağır metallerin aktivitesinin artmasına yol açar. Ancak, organik bileşiklerin immobilizasyon süreci bu durumu önleme potansiyeline sahiptir. Böylece, Cd, Mn, Ni ve Zn gibi metallerin

kullanılabilirliği azaltmakla beraber yarayışlılık bakımından olumsuz etki yapabilmektedir (Yerli ve ark.,2020).

Asit yağmurlarının etkisini gösterdiği bölgelerde, toprakların asitleşmesi ciddi bir şekilde artış göstermekte ve bu durum, topraklarda ağır metal hareketliliğini önemli ölçüde artırmaktadır. Bunun sonucu olarak, Mo hariç olmak üzere, bitkiler tarafından ağır metallerin alınması da önemli ölçüde artış göstermektedir. Asit yağmurları, toprakta kimyasal dengeleri bozduğu için bitki kökleri üzerinden taşınabilme yeteneği kazanan metallerin biyoyararlanımı artmakta, bu da bitki sağlığını ve ekosistem dengesini etkileyen önemli bir çevresel sorun oluşturmaktadır (Kant ve Kızıloğlu, 2003).

Toprak, doğal koşullar altında, yapısında barındırdığı yüksek miktardaki çeşitli elementleri etkili bir şekilde nötrale etme kabiliyetine sahiptir. Bu özelliği sayesinde, topraktaki elementlerin potansiyel toksik etkilerini, üzerinde yaşayan bitki ve hayvanlar için zararsız hale getirir ve bu canlıların sağlıklı bir şekilde yaşamalarını destekler. Ancak tarım alanlarında yaygın olarak karşılaşılan evsel ve endüstriyel atıkların kontrolsüz bir şekilde çevreye bırakılması, yoğun ve bilinçsiz gübre kullanımı ve özellikle trafikten kaynaklanan yoğun karayolu taşımacılığı gibi faktörler bu dengeyi bozar ve toprakta ağır metal kirliliğine neden olabilir (Mikanova 2006). Otoyollar boyunca sabit bir şekilde artan araç trafiği, otoyol kenarında yer alan tarımsal toprakları alarm verici düzeyde ağır metal kirlenmesine karşı savunmasız hale getirmektedir. Özellikle bu tür tarım alanlarında kadmiyum (Cd), kurşun (Pb) ve nikel (Ni) gibi ağır metallerin kirlilik seviyelerinde önemli bir artış gözlemlenmiştir (Şimşek ve ark., 1995).

Toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri, özellikle tekstür, katyon değişim kapasitesi, pH seviyesi ve organik madde içeriği, ağır metallerin toprakta birikim süreçlerinde hayati bir rol üstlenmektedir. Yüksek katyon değişim kapasitesine sahip ağır bünyeli topraklar, ağır metalleri büyük oranda absorbe etme yeteneğine sahiptir. Ayrıca, organik madde içeriği yönünden zengin topraklar, ağır metallerin daha fazla absorbe edilmesine katkıda bulunarak, zor çözünebilen bileşiklerin meydana gelmesine sebep olmaktadır (Demir ve ark., 2016).

2.3. Ağır Metallerin Toksik Etkileri

Genel olarak değerlendirildiğinde, canlı organizmalara girdiklerinde zarar verebilecek metallere toksik veya ağır metaller denir. Bu metaller, periyodik tablodaki 2A ve 6A gruplarında yer alan elementler olarak bilinir. Fiziksel özellikler bakımından katı, sıvı ve gaz aerosol formlarında bulunabilirler ve genellikle yoğunlukları 5 g/cm³'ten büyük olan metallerdir. Kurşun, kadmiyum, krom, demir, kobalt, bakır, nikel, cıva ve çinko gibi 60'tan fazla farklı ağır metal mevcuttur. Bu elementler doğada genellikle karbonat, oksit, silikat ve sülfür formlarında stabil bileşikler olarak veya silikatlar içinde sıkışmış halde bulunurlar. Doğal yapıları gereği, yeryüzünde çeşitli şekillerde dağılırlar ve sağlık açısından olumsuz etkileri nedeniyle dikkatle ele alınmaları önemlidir (Kahvecioğlu ve ark., 2007).

Ağır metallerin, diğer toksik elementlerden ayırt edilmesini sağlayan en belirgin ve önemli niteliklerinden biri, insanlar tarafından yapay yollarla oluşturulamaz veya yok edilemez olmalarıdır (Karakaş, 2000). Bu sebeple, bu metaller toprak, sediment, temiz su kaynakları ve deniz suyu gibi çevresel ortamlarda birikmeye eğilim gösterirler. Bunun yanı sıra, ağır metaller çevre kirliliğinde kritik ve kayda değer bir rol üstlenirler. Çevresel kirlilik açısından değerlendirildiğinde, bu metallerin doğal döngüsünden sapmalar ve sonuçtaki birikimler, ekosistemler üzerindeki uzun vadeli etkileri göz önüne alındığında önemli bir tehdit oluşturabilir (Demirezen ve Aksoy, 2005).

Ekolojik açıdan son derece önemli rolleri bulunan ve doğadaki dengeyi korumada etkin olan 20 element arasında en dikkat çekenler arasında demir (Fe), manganez (Mn), çinko (Zn), bakır (Cu), vanadyum (V), molibden (Mo), kobalt (Co), nikel (Ni), krom (Cr), kurşun (Pb), berilyum (Be), kadmiyum (Cd), talyum (Tl), antimon (Sb), selenyum (Se), kalay (Sn), gümüş (Ag), arsenik (As), cıva (Hg) ve alüminyum (Al) yer alır. Bu elementlerden bazıları, bitkiler ve hayvanlar için mikro besin maddesi olarak önemli işlevlere sahip olabilir ve sistem içinde izin verilen sınırların ötesine geçmediklerinde toksik özellikler taşımayarak ekosistemlerin dengeli şekilde sürmesine yardımcı olabilirler (Yıldız, 2004). Çizelge 1'de önemli ağır metallerin ekolojik sınıflandırması verilmiştir.

Çizelge 2.1. Başlıca ağır metallerin ekolojik sınıflandırması

Element	Özgül ağırlık (g/cm ³)	Bitki ve hayvan için gereklilik	Kirletici olup olmadığı
Gümüş (Ag)	10.5	-	Kirletici
Kadmiyum (Cd)	8.5	-	Kirletici
Krom (Cr)	7.2	Gerekli	Kirletici
Kobalt (Co)	8.9	Gerekli	Kirletici
Bakır (Cu)	8.9	Gerekli	Kirletici
Demir (Fe)	7.9	Gerekli	Kirletici
Civa (Hg)	13.6	-	Kirletici
Mangan (Mn)	7.4	Gerekli	-
Kurşun (Pb)	11.3	-	Kirletici
Molibden (Mo)	10.2	Gerekli	Kirletici
Nikel (Ni)	8.9	Gerekli	Kirletici
Platin (Pt)	21.5	-	-
Talyum (Tl)	11.9	-	Kirletici
Kalay (Sn)	7.3	-	Kirletici
Uranyum (U)	19.1	Gerekli	Kirletici
Vanadyum (V)	6.1	Gerekli	Kirletici
Tungsten (W)	19.3	Gerekli	Kirletici
Çinko (Zn)	7.1	Gerekli	Kirletici

(Yıldız, 2004)

Bitkilerde ağır metal birikimi, genellikle su alımı sırasında toprak ve su kaynaklarında bulunan ağır metallerin bitki dokularına taşınması yoluyla meydana gelmektedir. Bunun yanı sıra, atmosferdeki ağır metallerin toz partikülleri aracılığıyla bitki yüzeyine taşınması ile de bu birikim süreci gerçekleşebilmektedir. Bitki dokularına ulaşan ağır metaller, bitkinin fizyolojik aktivitelerini bozmakta ya da değiştirmekte ve bu durum, ilerleyen süreçlerde bitkinin ölümüne sebep olabilmektedir. Bu bağlamda, bitkilerde ağır metal birikimi hem bitkisel verimliliği hem de kaliteyi olumsuz etkileyen kritik bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır (Jayakumar ve ark., 2007).

Toprakta ağır metal birikiminin artması durumunda, bitkiler temel ihtiyaçları olan besin elementlerini topraktan yeterli düzeyde alamamaktadır. Ağır metaller, bitki kökleri tarafından alınması gereken besin elementlerinin emilimini doğrudan engelleyerek besin eksikliklerine yol açmaktadır. Ağır metale maruz bırakılan bitkilerde, bu besin eksiklikleri kök ve gövde uzunluğunda kısılma, yaprak sayısında azalma ve toplam yaprak alanında küçülme gibi gelişim bozukluklarına neden olmaktadır. Bu süreçler literatürde çeşitli çalışmalarda da rapor edilmiştir. Ağır metallerin bitki kök uzunluğu üzerindeki olumsuz etkisi, oksidatif stres ile ilişkilendirilmektedir. Bu durum, hücre zarlarının hasar görmesi ve kök yüzeyini kaplayan epidermis hücrelerinin zarar görmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Epidermal hücrelerin yapısal bütünlüğündeki bozulmalar, hücre bölünmesi ve çoğalmasını engelleyerek kök gelişimini kısıtlamaktadır (Soudek ve ark., 2010).

Özellikle kök yüzeylerinde suberin adı verilen ve su alımını sınırlandırıcı özelliğe sahip bileşiğin artışı gözlemlenmektedir. Bu birikim, köklerin kahverengileşmesine, bitki ile su arasındaki ilişkisinin bozulmasına ve bitkinin genel gelişiminin aksamasına neden olmaktadır. Dolayısıyla, ağır metal stresinin bitki fizyolojisi üzerindeki etkileri oldukça kapsamlı ve yıkıcı olabilmektedir (Mohanpuria ve ark., 2007).

Ağır metallerin toksik etkileri, bitki fizyolojisi üzerinde ciddi bozulmalara yol açarak çimlenme, büyüme, stomatal hareketler, su alımı ve taşınması, transpirasyon, protein sentezi ile bitki doku ve organlarının olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır. Ağır metal toksisitesine maruz kalan tohumlarda alfa ve beta amilaz aktivitelerinin

azalması, embriyonun gelişimi için gerekli olan şeker metabolizmasının sağlanamaması sonucunda çimlenmeye engel teşkil etmektedir (Yıldız ve ark., 2011).

Bu durum, bitkilerin gelişimini doğrudan tehdit eden bir faktör oluşturmaktadır. Ayrıca, ağır metallerin etkisiyle bu bitkilerin DNA yapısında mutasyon benzeri değişiklikler gözlemlenmekte ve RNA, çözünen protein ile şeker miktarlarında azalmalar meydana gelmektedir (İbrahim ve ark., 2013).

Bitki yapısına serbest iyon formunda dahil olan ağır metaller, hücre içindeki plazmanın sertleşmesine, proteinlerin çökmesine ve solunum yoğunluğunun düşmesine bağlı olarak oksijen tüketiminin azalmasına neden olmaktadır. Kloroplast yapısını hedef alan bu ağır metaller, klorofil miktarını azaltarak fotosentezi olumsuz yönde etkilemektedir. Bu zehirli maddeler, aynı zamanda stomatal iletkenliği bozarak fotosentetik faaliyetin devamlılığını engellemekte ve bitkinin su tüketimini düşürerek verim ile kaliteyi önemli ölçüde azaltmaktadır. Ağır metal toksisitesinin artışıyla birlikte toprakta su bulunmasına rağmen bitkiler suyu absorbe edemez hale gelmektedir. Yapraklarda su kaybı yaşanması stomaların kapanmasına yol açarken, yükselen yaprak sıcaklıkları membran sistemlerine zarar vermekte ve nihayetinde hücre ölümlerine neden olmaktadır (Gür ve ark., 2004).

Ağır metallerin toksisitesinin, bir stres faktörü olarak bitkiler üzerindeki etkisi; bitki türüne, spesifik stres kaynağına ve maruz kalma süresine bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Bununla birlikte, ağır metallerin farklı türleri arasında ve bu metallerin etki ettiği organizmalara göre de önemli farklılıklar mevcuttur. Bitkilerin ağır metallere karşı duyarlılığı ve söz konusu metallerin bitki dokularına alımı, birçok faktörün etkileşimiyle belirlenmektedir. Bu faktörler arasında toprak pH'ı, toprağın kation değiştirme kapasitesi, toprakta bulunan diğer metallerin miktarı ve bu metallerin dağılımı, iklimsel koşullar, bitkilerin kimyasal seçiciliği ve bitki türünün özellikleri gibi değişkenler yer almaktadır. Ayrıca, ağır metallerin topraktaki mevcut bulunma formları ile ağır metallerin birbirleriyle ve bitki besin elementleriyle olan etkileşimleri, bitkilerin ağır metal alımında belirleyici bir rol oynamaktadır (Çağlarırnak ve Hepçimen, 2010).

Bazı bitki türleri, özel metabolik adaptasyonları sayesinde, herhangi bir zarar görmeksizin yapılarında bir veya daha fazla ağır metali biriktirme yeteneğine sahiptir. Örneğin, eğrelti otu, toprakta bulunan arseniği yüksek miktarlarda bünyesine depolayabilirken, bu durum bitkinin büyüme ve veriminde herhangi bir olumsuz etkiye neden olmamaktadır. Metal biriktirme kapasitesine sahip olan ve hiperakümülatör bitkiler olarak adlandırılan bu canlılar, toprak ve su kaynaklarının ağır metal kirliliğinden arındırılmasında hayati bir role sahiptir (Özay ve Mammadov, 2016).

Bitkiler, genetik yapılarının kazandırdığı özellikler sayesinde, çevresel stres faktörlerinden biri olan ağır metal toksisitesine karşı birtakım tolerans ve savunma mekanizmalarına sahiptirler. Bu mekanizmalar, her ne kadar bitkilerin büyüme ve gelişme süreçlerinde verim kaybına yol açsa da yaşamlarını sürdürebilmelerini mümkün kılmaktadır. Ağır metallerin zararlı etkileri karşısında bitkilerin devreye soktukları bu biyolojik mekanizmalar hem toksik etkilere direnç gösterme hem de bu maddelerin çevreden alınmasını düzenleme işlevi görmektedir. Aşağıda, bu tür tolerans ve savunma mekanizmalarının detaylı bir açıklaması verilmektedir:

- a) Hücre duvarlarının ağır metal iyonlarını bağlayarak bir tür bariyer görevi üstlenmesi, bu şekilde toksik maddelerin bitki hücrelerine girişinin kısıtlanması veya tamamen engellenmesi,
- b) Ağır metallerin hücre sitoplazmasında bulunan kofullarda (vakuoller) depolanarak inaktif hale getirilmesi ve bunların bitki dokularına yayılımının sınırlandırılması,
- c) Özellikle kök sisteminde ağır metallerin alınmasının kontrol edilmesi ve bu metallerin gövde, meyve ve sürgün gibi üst dokulara taşınmasının önlenmesi; böylece bitkinin hayati organlarının toksisiteye maruz kalma düzeyinin minimize edilmesi,
- d) Bazı bitki dokularında toksik ağır metallerin birikmesi yoluyla, bu metallerin bitkinin diğer kritik bölgelerine ulaşmasının engellenmesi,
- e) Ağır metallerin proteinler, amino asitler ya da organik asitlerle bağlanarak farklı bileşikler oluşturulması sayesinde, toksik etkilerin hem etkisizleştirilmesi hem de bu şekilde zararlı maddelerin taşınabilir veya depolanabilir bir forma dönüştürülmesi,

- f) Bitkinin organik asitler, çeşitli proteinler, antioksidan enzimler ve prolin gibi bileşikler üretmesi yoluyla, ağır metal toksisitesinin etkilerinin azaltılması ya da bu maddelerin bitki için daha az zarar veren bir forma dönüştürülmesi.

Bu mekanizmalar, bitkilerin zorlu çevresel koşullara adaptasyon kabiliyetlerini artırarak ekosistemdeki rollerini sürdürebilmeleri için kritik bir önem taşımaktadır (Aksu ve Yıldız, 2004).

2.4. Toprakta Yüksek Düzeyde Toksik Etkilere Neden Olan Bazı Ağır Metaller

2.4.1. Çinko (Zn)

Topraklarda çinko (Zn) miktarı genel olarak 10 ila 300 mg/kg arasında değişmekte olup, ortalama olarak 30-50 mg/kg düzeyindedir. Ancak, yüksek yıkanmaya maruz kalan bazı asit topraklarda Zn içeriği genellikle 10-30 mg/kg gibi düşük seviyelerde bulunur. Çinko, yalnızca yüksek konsantrasyonlarda toksik etki gösterir. Buna karşılık, kanalizasyon atıkları Zn miktarını 50.000 mg/kg düzeyine kadar artırabilir. Bu tür materyaller toprağa eklendiğinde, toprakta çinko birikimi meydana gelebilir. Çinko toksisitesi, bakır (Cu) ve nikel (Ni) toksisitesinde olduğu gibi büyük ölçüde toprak pH 'sına bağlıdır; düşük pH seviyelerinde Zn'nin toksisitesi daha belirgin hale gelir (Leblebici, 2020).

Bitkilerdeki çinko konsantrasyonu, genellikle kuru madde temelinde 5-100 mg/kg arasında değişir. Ancak, çinko toksisitesi bitkilerde çoğunlukla 400 mg/kg'ın üzerindeki değerlere ulaştığında ortaya çıkar. Toksikiteye maruz kalan bitkilerde kök ve sürgün gelişimi yavaşlar, kökler inceler, genç yapraklar kıvrılır ve kloroz gözlemlenir. Ayrıca, hücre büyümesi ve uzaması engellenir, hücre organelleri zarar görür ve klorofil sentezi azalır (Rout ve Das, 2003; Asri ve Sönmez, 2006).

Çinko, insanlar, hayvanlar ve bitkiler için vazgeçilmez bir elementtir. Çeşitli enzimlerin yapısına katılır ve özellikle enzim faaliyetlerinde hayati rol oynar. Başlıca görevleri arasında RNA ve DNA sentezi, protein üretimi, insülinin etkinleştirilmesi, Vitamin A'nın hücrelere taşınması ve kullanımı, yara iyileşmesi ve hücre bölünmesi gibi süreçler yer alır. Buna ek olarak çinko; tat alma duyusunun çalışması, sperm üretimi,

bağışıklık sisteminin güçlendirilmesi, öğrenme ve davranış performansı gibi işlevlerin yanı sıra anne karnındaki ve doğum sonrası bebek ile çocukların büyüme ve gelişimlerini destekler. Ayrıca kandaki yağların taşınması gibi birçok metabolik olayda da rol oynar (Deniz, 2003).

Diğer yandan çinko eksikliği hem Türkiye’de hem de dünya genelinde en sık rastlanan mineral eksikliklerinden biridir. Türkiye’de tarım yapılan topraklarda yararlı çinko miktarı genellikle düşüktür ve eksiklik yaygın olarak görülmektedir. Ülkemiz topraklarının %49,83’ünde çinko seviyeleri alt sınır olarak belirlenen 0,5 mg/kg değerinin altındadır; %32,76’sında ise bu değer 0,5-1,0 mg/kg arasında değişmektedir. Dünya genelinde ise topraklardaki çinko eksikliğinin yaklaşık %30 oranında olduğu tahmin edilmektedir (Eyüpoğlu, 2002).

2.4.2. Bakır (Cu)

Yaşamın birçok alanında farklı rollerde karşımıza çıkan bakır elementi, bitkilerin hayati süreçlerinde kritik bir öneme sahip olmasına rağmen, yüksek konsantrasyonlarda bitkilere ciddi zararlar verebilmektedir. Bitkiler için temel bir mikro besin olan bakır, enzimlerin görevlerini yerine getirmesinde, karbonhidrat ve lipid metabolizmalarının düzenlenmesinde, DNA ve RNA sentezinde, ayrıca bitkilerin hastalık ve zararlılara karşı savunma mekanizmalarını geliştirmesinde önemli bir yere sahiptir. Ancak, bu hayati işlevleri gerçekleştirme yeterliliğine rağmen, bakırın fazla miktarda birikimi bitki fizyolojisi üzerinde toksik etki yaratarak büyüme ve gelişim süreçlerini olumsuz yönde etkileyebilir (Okcu ve ark., 2012).

Bakırın aşırı miktarda bulunması, protein sentezi süreçlerinde aksamalara yol açarken aynı zamanda bitkilerin topraktan besin maddesi alımını sınırlandırır ve hücrel membranların stabilitesini zayıflatarak solunum faaliyetlerini sekteye uğratar (Sosse ve ark., 2004).

Özellikle bakırın kloroplast yapısına geçiş yaparak bu yapıların bozulmasına neden olduğu bilinmektedir, ki bunun sonucunda klorofil miktarının azalması gözlemlenir. Klorofil seviyesindeki düşüş, bitkilerde fotosentetik etkinliği azaltır ve

klorosis adı verilen yaprak sararması gibi belirtiler ortaya çıkar. Uzun vadede bu durum, köklerin işlevlerini kaybetmesine neden olarak bitkilerin su dengesini ciddi ölçüde bozabilir. Bilimsel araştırmalar, bakırın toprakta yüksek dozlarda birikmesi durumunda birçok olumsuz etkisinin bulunduğunu ortaya koymuştur. Yapılan çalışmalardan birinde, bakırın artan miktarlarının toprağın pH düzeyini düşürdüğü, değişebilir magnezyum ile yararlı demir içeriğini azalttığı, buna karşılık azot, alınabilir fosfor ve değişebilir potasyum miktarlarını arttırdığı belirtilmiştir (Sosse ve ark., 2004).

Başka bir araştırma ise yükselen bakır konsantrasyonunun fotosentez süreci üzerindeki zararlı etkilerini incelemiş ve genç yapraklarda fotosentezin %27, yaşlı yapraklarda ise %52 oranında azaldığını saptamıştır. Bu bulgular ışığında, bakır elementinin önemi kadar, yüksek dozlarda neden olduğu toksisite riskinin de dikkate alınması gerektiği anlaşılmaktadır. Hem bitki gelişimini hem de ekosistemlerin dengesini korumak amacıyla bakırın tarımsal ve endüstriyel kullanımlarının dikkatli bir şekilde izlenmesi ve yönetilmesi büyük önem taşımaktadır (Braz, 2005).

2.4.3. Demir (Fe)

Fotosentez, dünyamızda gerçekleşen en önemli enerji dönüşüm süreçlerinden biridir. Bu süreçte, güneş enerjisi bitkiler tarafından besin maddesi olan glikoza dönüştürülür. Dolayısıyla, bitkilerin üretkenliği büyük ölçüde güneşle olan etkileşimlerine bağlıdır. Bu bağlamda, Demir elementi fotosentez işleminde kritik bir rol üstlenir; çünkü klorofil pigmentinin sentezlenmesi için temel bir bileşendir.

Demir eksikliği durumunda kloroz adı verilen yaprak sararması meydana gelir ve bu durumun temel nedeni de budur. Bu yüzden demir, bitkiler için vazgeçilmez bir elementtir. Bitkilerde zaman zaman gözlemlenen soluk yeşil renk veya sararma, genellikle demir eksikliğini işaret eder. Ancak buna benzer bir sararma azot (N) yetersizliğinde de ortaya çıkabilir. İki eksiklik türünü ayırt edebilmek için belirtiler dikkatlice incelenmelidir: Fe eksikliği durumunda yaprak damarları genellikle koyu yeşil rengini korumaya devam ederken, diğer yaprak bölgeleri solgun ve sararmış bir görünüm alır. Bu gibi durumlar, bitkinin sağlığının tehlikede olduğunun açık bir göstergesidir. Demir eksikliğini gidermek amacıyla piyasada satılan demir içerikli gübre

ve şelatlar genellikle bu sorunu belirli ölçülerde çözebilir. Bazı gübreler yüksek oranda (%4,8-6 oranında) Fe ortho-ortho izomeri içerir ve bu form, bitkiler tarafından daha etkili bir şekilde kullanılabilir. Özellikle Ferrostrene Fe ortho-ortho, piyasada bulunan en etkili demir preparatlarından biri olarak öne çıkar. Ancak diğer demir preparatlarının, yüksek pH seviyesine sahip yani bazik özellikli alkali topraklarda yeterince faydalı olamadığı da unutulmamalıdır (Alkan ve ark., 2009).

Toprak tahlili yapılmadan rastgele şekilde kullanılan demir içerikli gübreler, bitkilerde zehirleyici etkilere (fitotoksisite) yol açabilmekte ve bu durum, gübrelemenin etkinliğini düşürerek hem çevrede kirliliğe hem de maddi kayıplara sebebiyet vermektedir. Bu tür gübreler, özellikle yüksek miktarda kireç içeren topraklarda genelde etkisiz kalmaktadır. Bunun temel sebebi, bu topraklarda bulunan yoğun kalsiyum ile demirin kimyasal bir karşıtlık (antagonistik ilişki) içerisinde olmasıdır. Ayrıca, demir içerikli gübrelerin etkili olabileceği pH düzeyi oldukça dar bir aralıkla sınırlıdır. Ancak, demir oksitli bileşiklerin çözünürlüğü oldukça yüksektir. En olumsuz çevresel koşullar altında bile kolaylıkla çözünmekte olup uzun bir süre geçmesine rağmen tortu oluşturmamaları bu durumu açık bir şekilde kanıtlamaktadır. Bu tür bileşikler, Kızıllık ve Avanos bölgesi topraklarına karakteristik renklerini kazandıran ana materyaller arasında başlıca yer almaktadır. Bitkiler açısından demir (Fe) elementinin işlevi oldukça önemlidir ve farklı görevlerle bitki gelişimine katkıda bulunur. Öncelikle, azot (N) bağlanmasının gerçekleşebilmesi için demir elzemdir.

Bunun yanı sıra Fe, aminoasit oluşumunda ve protein sentezi süreçlerinde önemli bir rol oynar. Solunumdan sorumlu enzim sisteminin ana bileşenlerinden biri olarak görev alır ve bu sistemin sağlıklı çalışmasını destekler. Bitkilerde yaprak kalınlığını artırarak daha güçlü bir bitki yapısı oluşturulmasına katkıda bulunur ve besin alımını teşvik ederek verimin artmasını sağlar. Fe ayrıca yaprakların rengini koyulaştırarak, bitkinin güneş enerjisinden daha fazla faydalanabilmesi için kritik bir role sahiptir ve bu sayede bitkinin fotosentez etkinliği yükselir, dolayısıyla genel büyüme ve gelişim performansı iyileşir. Demir eksikliği, genellikle aşırı fosfat uygulamaları sırasında ortaya çıkabilir. Bunun yanı sıra, aşırı mangan kullanımı da bitkilerin demir alımını azaltır. Toprak pH değerinin yüksek olması (>8), demirin bitki tarafından alınmasını engelleyen bir diğer önemli faktördür. Erken büyüme dönemi ve

soğuk iklim koşullarında da bitkilerde demir alımı düşüş gösterebilir. Fazla kireçleme ise topraktaki demirin yararlılığını önemli ölçüde azaltır. Demir toksisitesi, çeşitli belirtileri nedeniyle sıklıkla mangan toksisitesiyle karıştırılabilir. Benzer şekilde, toksisite durumunda yapraklarda hafif kırmızımsı kahverengi benekler veya tek yıllık bitkilerde şerit şeklinde lekeler görülebilir. Ayrıca, farklı yapısal deformasyonlar ve cılız bitki gelişimi de bu durumun dikkat çeken semptomları arasındadır. Ülkemiz topraklarında demir toksisitesine nadiren rastlansa da yapılan araştırmalar çalışma bölgemizde bu sorunun yüksek düzeyde olduğunu ortaya koymuştur(Özyürek, 2016).

2.4.4. Mangan (Mn)

Manganez (Mn), demirin de yardımıyla, bitkilerde klorofil oluşum sürecine önemli katkılarda bulunur. Genel olarak, klorofile sahip olan tüm yeşil bitki organlarının bünyesinde yoğun miktarda manganez bulunur. Manganez, bitkilerde gerçekleşen çok çeşitli enzimatik ve fizyolojik reaksiyonlarda bir katalizör görevi üstlenir ve bu süreçlerin sorunsuz işlenmesine destek sağlar. Bitki bünyesindeki mangan oranının gereğinden fazla olması ise zararlı bir etki yaratabilir. Bu durum, hem manganezin toksik özellikler göstermesine yol açar hem de demirin bitkiler tarafından alınıp işlenmesini engelleyebilir. Her ne kadar klorofil molekülünün doğrudan yapısında manganez yer almasa da, mangan eksikliği durumunda bitkilerde klorofil sentezi ciddi şekilde azalır. Son yapılan bilimsel araştırmalar, manganın yalnızca enzimatik faaliyetlerde değil, aynı zamanda fotosentez sürecinde de doğrudan etkili olduğunu ortaya koymuştur.

Bitki organları arasındaki mangan dağılımına bakıldığında ise, yaprakların mangan konsantrasyonunun diğer organlara kıyasla oldukça yüksek olduğu görülür. Çoğunlukla bataklık alanlarda yetişmekte olan bitkiler ve suya fazla ihtiyaç duyan bitki türleri, kurak koşullarda büyüyenlere kıyasla daha yüksek seviyelerde manganez içerir. Aynı şekilde, yaprak dökmeyen ağaçların manganez içeriği, yaprak döken ağaçlardan belirgin biçimde daha fazladır. Genel bir değerlendirme yapıldığında, bitki bünyesindeki mangan miktarının 20 ppm'nin altında olduğu durumlarda mangan eksikliğine bağlı sorunlar ortaya çıkmaktadır. Buna karşın, 20-550 ppm aralığındaki bir

mangan seviyesi çoğu bitki türü için yeterli görülür. Ancak 500 ppm'yi aşan mangan seviyeleri, bitkiler üzerinde toksik etkiye sebep olur ve gelişimlerini olumsuz yönde etkiler. (Karayer, 2013).

2.4.5. Molibden (Mo)

Molibden, sembolü Mo olan ve düşük toksisiteye sahip olmasıyla bilinen hem endüstriyel hem de biyolojik açıdan önemli bir element olarak dikkat çeker. Atomik ağırlığı 95.94 olan molibden, koyu gri ile siyah arasında değişen bir renge sahip olup, yanıcı özellik göstermesiyle karakterizedir. Periyodik cetvelin VI-B grubunda yer alan bu element, çözünebilir ve çözünemez bileşikler halinde doğada bulunmaktadır. Tarımsal bağlamda ele alındığında, toprağın molibden içeriği ve pH seviyesi gibi faktörler, bitkilerde biriken molibden miktarını doğrudan etkileyen en önemli unsurlardandır. Bunun yanı sıra, mevsimsel farklılıklar da topraktan bitkiye geçen molibden miktarında belirgin değişimler yaratabilmektedir (Yalçın, 2023).

Molibden, toprakta bulunan azot bakterilerinin faaliyetlerini destekleyerek, azot fiksasyonu sürecinin etkin bir şekilde gerçekleşmesine önemli katkı sağlar. Bu element, azotun atmosfere bağlanarak bitkiler tarafından kullanılabilir forma dönüşümünü hızlandıran nitrojenaz enziminin çalışması için kritik bir role sahiptir. Ancak, molibden eksikliği durumunda, topraktaki azot dinamiklerinde dengesizlikler ortaya çıkabilmektedir. Eksiklik halinde, toprağa alınamayan azot, su ve toprak ortamlarında birikme eğilimi gösterir ve bu birikim doğal dengeyi bozarak özellikle sucul ekosistemlerde eutrofikasyona yol açabilir. Yapılan araştırmalar, toprağa molibden takviyesi yapıldığında hem nitrojenaz enzim miktarının hem de bitkide kullanılan azot içeriğinin önemli ölçüde arttığını ortaya koymaktadır. Farklı dozlarda molibden uygulanması sonucunda, nohut bitkisi gibi tarımsal ürünlerde hem verim hem de kalite açısından kayda değer artışlar elde edildiği bildirilmiştir. Örneğin, bir çalışmada molibden uygulamasının nohut bitkisinde dal ve bakla sayısını çoğalttığı, bitki boyunu uzattığı, protein oranını geliştirdiği ve bitkinin su tutma kapasitesini yükselttiği belirtilmiştir. Bu tür sonuçlar, molibdenin sağladığı azot artışıyla doğrudan ilişkilendirilmiş ve tarımsal üretim üzerinde olumlu etkiler yarattığı ifade edilmiştir.

Ancak, molibden uygulamasının etkileri her zaman doğrusal bir artış göstermemekte; uygulanan miktarın belirli bir eşik değeri aşması durumunda olumsuz etkiler ortaya çıkabilmektedir. Eşik değerin üzerinde kullanılan molibden, azot fiksasyonunu engellediği gibi bitkilerde toksik bir etki yaratmakta; bu durum ise genel verimde düşüşe, yapraklarda solgunluk ve sararmaya neden olmaktadır. Daha da önemlisi, yüksek seviyelerde molibden uygulanmasının bitkide azot alımını azalttığı ve dolayısıyla verim üzerindeki pozitif etkisinin tersine dönerek üretimi olumsuz yönde etkilediği vurgulanmıştır. Bu nedenle, topraktaki molibden takviyesinin optimum düzeyde tutulması hem tarımsal verim hem de ekosistem dengesi açısından büyük önem taşımaktadır (Yerli ve ark., 2020).

2.4.6. Bor (B)

Dünya üzerinde en fazla türe sahip elementlerden biri olarak bilinen borun kökeni, dilsel olarak tarih boyunca çeşitlilik göstermiş ve Farsça'da "Burah", Arapça'da ise "Buraq" ya da "Baurach" biçimlerinde yaygınlaşmıştır. Doğada genellikle sodyum (Na) ve kalsiyum (Ca) tuzları şeklinde bulunan bu element, kimyasal yapısı itibarıyla birçok sanayi alanında kritik bir öneme sahiptir. Bor içeren malzemelerin üretilmesi sürecinde, temel olarak bor cevheri ile bu cevherlerden rafine edilen bileşiklerden faydalanılmaktadır. Bu kapsamda, bor bileşikleri ve türevleri Uluslararası Standart Sanayi Tasnifi'ne (I.S.I.C) göre 311 grup kodu altında yer almakta ve kimya sanayisi sektörünün önemli bir parçasını oluşturmaktadır (Kalafatoğlu ve ark., 2002).

Bor elementi, periyodik sistemde üçüncü grubun başında yer alır ve kimyasal özellikleri itibarıyla oldukça dikkat çekicidir. Sembolü "B" olan bu elementin atom numarası 5, atom ağırlığı ise 10.82'dir. Bunun yanı sıra, 2.34 gr/cm³ özgül ağırlığa sahip olan borun erime noktası oldukça yüksektir ve yaklaşık olarak 2,300°C seviyesine ulaşır. Bu özellikler, borun hem doğal rezervlerdeki bulunma şekli hem de endüstriyel kullanımdaki stratejik önemi açısından onu eşsiz kılmaktadır.

Doğada en nadir bulunan ve aynı zamanda kimyasal olarak en az reaktif elementlerden biri olan borun, yerkabuğundaki ortalama konsantrasyonunun 10 ppm'in altında olduğu tespit edilmiştir. Ancak tüm düşük bolluğuna rağmen, borun hemen hemen her türlü jeolojik ortamda oluşan çeşitli minerallerin yapısında bulunduğu saptanmıştır. Borun sahip olduğu bu çift yönlü kimyasal özellik, doğada oldukça sıra dışı ve nadiren karşılaşılan bileşiklerin meydana gelmesine olanak tanımaktadır (Helvacı, 2003).

Bor elementi, ilk kez 1808 yılında Fransız kimyagerler J. L. Gay-Lussac ve L. J. Thénard ile İngiliz kimyager H. Davy tarafından elde edilmiştir. Bu önemli keşif, borun bilimsel olarak tanımlanması ve sonraki süreçte çeşitli alanlarda değerlendirilmesinin önünü açtı.

Bor elementi, doğada oldukça yaygın bir şekilde bulunur ve 150'den fazla mineralin yapısında yer almaktadır. Bununla birlikte, ekonomik anlamda fayda sağlayan bor mineralleri genellikle kalsiyum, sodyum, magnezyum elementleri ve hidrat bileşikleri halinde karşımıza çıkar. Ticari değere sahip başlıca bor mineralleri arasında Tinkal (Boraks), Kolemanit, Üleksit, Probertit, Brosit, Pandemit, Szybelit, Hidroborasit ve Kernit sayılabilir. Boraks, hızlı gelişen teknoloji sayesinde yalnızca belirli alanlarda değil, gün geçtikçe daha geniş bir kullanım alanına ulaşmıştır. Bugün pek çok farklı ürünün bünyesinde boraks kullanılmaktadır ve bu durum onun sanayideki önemini sürekli artırmaktadır. Bor elementinin kullanım alanları oldukça geniş bir yelpazeye yayılmaktadır. Cam endüstrisinden deterjan ve sabun sanayisine, porselen ve seramik sektöründen emaye ve firit üretimine kadar birçok alanda bor mineralleri temel bir bileşen olarak kullanılmaktadır. Ayrıca bor; tarım sektöründe gübre sanayisinde, metalürji sanayisinde, ilaç, kimya ve tıp gibi hassas disiplinlerde, otomotiv sanayisinde, enerji üretiminde, nükleer enerji teknolojilerinde, uzay ve havacılık sanayisinde önemli bir rol oynamaktadır. Bunun yanı sıra iletişim, haberleşme, elektronik ve bilgisayar teknolojileri, inşaat sektörü, yalıtım ve izolasyon sanayisi gibi ileri mühendislik gerektiren alanlarda da geniş bir kullanım alanına sahiptir. Tekstil sektörü, deri işleme, fotoğrafçılık gibi çeşitli endüstrilerde de bor mineralleri yaygın olarak değerlendirilmektedir. Türkiye açısından bor madeninin tarihi oldukça köklüdür ve bu geçmiş Romalılara kadar uzanmaktadır. Hatta Türk madenciliğinin bilinen ilk izleri MÖ

7000 yılına kadar götürülebilir. Özellikle Doğu Anadolu'dan çıkarılan obsidyen taşlarının Cilalı Taş Devri boyunca çevre kavimlere takas yoluyla satılması, bor gibi doğal kaynakların erken dönemlerden itibaren hem ticaretin bir unsuru olarak hem de ekonomik bakımdan önemli bir madde olarak değerlendirildiğini göstermektedir(Zengin ve ark., 2023).

Bor elementi, toprakta genellikle doğal olarak Borik Asit (H_3BO_3) ya da borat formunda bulunmaktadır. Borun topraktaki varlığı, farklı fizikokimyasal süreçler sonucunda üç temel şekilde görülebilir: Birincisi, toprak parçacıkları üzerine adsorbe edilmiş halde bulunabilir; ikincisi, serbest anyon şeklinde toprak çözeltisinde yer alabilir; üçüncüsü ise, minerallerin bir parçası olarak silikat yapılarına entegre olabilir (Uygan ve Çetin, 2004). Bu çok yönlü varlık biçimleri, toprağın bor içeriğinin bitki yetiştiriciliği üzerindeki etkilerini anlamada kritik öneme sahiptir.

Topraklar, bor içeriklerine bağlı olarak dört ana gruba ayrılarak sınıflandırılmaktadır: az borlu, orta borlu, yüksek borlu ve çok yüksek borlu topraklar. Az bor içerikli topraklar, 0,7 ppm'e kadar bor içerdiği durumlarda hiçbir bitki için toksisite veya beslenme problemi oluşturmamaktadır. Orta düzeyde bor barındıran topraklar ise 0,7 ile 15 ppm arasında bor bulundurmakta olup çoğu bitki türü için herhangi bir olumsuz etkiye yol açmamaktadır. Ancak, 15 ila 75 ppm arasında bor içeriğine sahip yüksek borlu topraklar, bitkiler açısından ciddi şekilde zararlı olabilmektedir. Daha ileri düzeyde, bor içeriği 75 ppm'i aşan çok yüksek borlu topraklar ise bitkilerin büyüme ve gelişme süreçleri açısından büyük bir tehdit oluşturmaktadır (Uygan ve Çetin, 2004). Bu sınıflandırma ve sınır değerler hem tarımsal verimliliğin değerlendirilmesi hem de bor toksisitesinin yönetimi açısından önemli bilimsel ve pratik veriler sunmaktadır. Bor içeriğinin bu denli kritik olması, tarım arazilerinin izlenmesi ve sürdürülebilir tarım politikalarının geliştirilmesi için dikkatle ele alınması gereken bir konu başlığıdır.

Yapılan araştırmalar, bitkilerin bünyesindeki bor miktarının öncelikli olarak toprağın pH seviyesiyle çok yakından ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Bununla birlikte, diğer birçok faktör de bor seviyesinin bitkiye geçişini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Bu faktörler arasında bitkinin türü, toprağın doğal bor içeriği, toprakta bulunan değişebilir iyonların yapısı ve niteliği, toprakta mevcut diğer

minerallerin miktarı ve türü gibi unsurlar ön plana çıkmaktadır(Şimşek ve Veliöğlü., 2003). Ayrıca, toprağın organik madde açısından zenginliği, toprak sıcaklığı, ıslanma ile kuruma düzeni, toprak-su dengesine bağlı oranlar, ışık yoğunluğu ve bitkilerin genetik özellikleri de bu sürece dahil olan belirleyici faktörler arasında yer alır. İlgili çalışmalara göre, bitkilerde borun alımını etkileyen başlıca toprak özelliği, toprağın pH seviyesi olmuştur. Öyle ki, pH seviyesindeki artış veya gereğinden fazla kireçleme durumları, borun bitkiler tarafından alınmasını ciddi şekilde azaltabilmektedir. Bu durum, bitki gelişiminde kritik bir rol oynayan borun yetersiz alımı nedeniyle olumsuz sonuçlar doğurabilir.

Bor elementinin bitkilerde üstlendiği metabolik işlevler oldukça önemlidir. Toprakta bor eksikliği yaşandığında ise bitkilerin gelişimi neredeyse tamamen durma noktasına gelebilir. Bunun yanı sıra, sulama sularının çeşitli toksik elementlerle kirlenmesi ve bu kirleticilerin sulanan tarım arazilerine taşınması, tarımsal üretimi kısıtlayan başlıca sorunlardan biridir. Sulama suyundaki bor konsantrasyonunun belli sınırları aşması durumunda bitkilerde bir dizi problem meydana gelir. Bitki büyümesi durabilir, yapraklarda sararma ve yanma gibi belirtiler gözlemlenebilir. Bunun yanı sıra yaşlanmış yapraklarda dökülme görülebilirken, büyüme hızında yavaşlama yaşanır ve genel olarak verim düşüşe geçer. Üstelik topraktaki toplam borun önemli bir kısmı bitkiler tarafından doğrudan kullanılamaz; yalnızca çok küçük bir yüzdesi bitkilerin faydalanabileceği formdadır. Dünyadaki toprakların toplam bor içeriği genellikle 2 ila 200 ppm arasında değişmekte olsa da bunun sadece %5'inden daha az bir kısmının bitkiler için erişilebilir olduğu bilinmektedir(Uygan ve Çetin, 2004). Ancak bitkilere zarar verme potansiyeli taşıyan bor miktarı; toprağın fiziksel kalitesine, drenaj yeterliliğine ve iklim koşullarında gerçekleşen değişimlere bağlı olarak farklılık gösterebilir. Bor hem bitki gelişimini desteklemek hem de bazı durumlarda kontrol altına almak amacıyla kullanılabilir. Özellikle yabancı otların kontrol altına alınmasında oldukça etkili olduğu gibi toprağın sterilizasyonunda da tercih edilir. Bununla birlikte borun yanmayı geciktirici özelliklerinden faydalanılarak otoyollar ve demiryollarının çevresindeki yeşil alanlarda veya petrol rafinerileri ile kereste depolarında bitkileri tamamen yok etmek için kullanıldığı da kaydedilmiştir. Borun aşırı kullanımını sonucu ortaya çıkan toksik etkiler ise genellikle bor fazlalığına dayalı gübre kullanımından kaynaklanmaktadır. Her ne kadar ılıman iklim kuşaklarında yer alan

bölgelerde bu toksisite oranları oldukça nadir görülüyor olsa da kurak ve yarı kurak iklimlerde büyük ölçüde sorun oluşturmaktadır. Böyle bölgelerde doğal olarak tuz birikimi ya da yoğun sulama sonucu toprakta bor bakımından bir zenginleşme meydana gelir. Bu durum zaman içerisinde toprağın tarımsal verimliliğini azaltabilmekte ve ekosisteme ciddi zararlar verebilmektedir (Karayer, 2013).

2.5. Ağır Metal Kirliliği Giderim Yöntemleri

Ağır metal kirliliği bulunan toprakların temizlenmesi amacıyla birçok farklı yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler temelde iki ana kategoriye ayrılmaktadır: kirlenmiş toprağın bulunduğu yerde iyileştirilmesi (in-situ) ve kirlenmiş toprağın bulunduğu alandan alınarak başka bir yerde arıtılması (ex-situ) (Gomes ve ark., 2013).

Toprak iyileştirme yönteminin seçimi, bölgenin fiziki ve kimyasal özellikleri, giderilmesi gereken kirleticilerin türü ve konsantrasyonu ile kirletilmiş ortamın nihai kullanım amacı gibi faktörler göz önünde bulundurularak belirlenmelidir. İyileştirme yöntemleri; fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemler aracılığıyla uygulanmaktadır ve her bir yöntemin uygunluğu, iyileştirilecek alanın özel koşullarına göre değerlendirilmelidir (Bhandari ve ark., 2007).

Fiziksel iyileştirme yöntemleri, toprak kirliliğini etkisiz hale getirme veya ortaya çıkan zararı gidermede etkili olan bir dizi fiziksel teknolojiyi kapsamaktadır. Bu yöntemler arasında toprak değiştirme, izolasyon, çevreleme ve ısıl işlem bulunmaktadır. Temel olarak, bu süreçler çevresel bozulmaları önlemek veya mevcut olumsuz etkileri tersine çevirmek amacıyla uygulanır. Toprak değiştirme teknolojilerinde, kirlenmiş toprak tabakasının üzerine temiz ve kirlenmemiş toprak eklenmektedir. Ancak, bu yöntem büyük ölçekte ağır iş yükü gerektirmesi ve maliyet açısından yüksek olmasından dolayı genellikle daha dar alanlarda kullanım için tercih edilmektedir (Yao ve ark., 2012).

Toprak izolasyonu teknolojileri, kirlenmiş alanların çevresinde mevcut kirliliğin çevreye yayılmasını ve taşınmasını engellemek amacıyla bariyer duvarlarla etrafının çevrelendiği ileri seviye sistemlerdir. Bu teknolojiyle tasarlanan bariyerler, genellikle

çelik, çimento, bentonit gibi geçirimsiz ve dayanıklı malzemelerin yanı sıra özel olarak tasarlanmış harçlarla oluşturulan fiziksel koruma duvarlarından meydana gelir. Bahsi geçen bu fiziksel bariyerler, yalnızca alanın çevresel etkisini kontrol altına almakla kalmaz, aynı zamanda dikey ve yatay muhafaza işlevi görerek kirlenmenin daha da yayılmasını engeller. Bununla birlikte, toprak izolasyonu veya çevreleme yöntemleri, genellikle doğrudan iyileştirme tekniklerinden biri olarak değerlendirilmemektedir (Jankaite ve Vasarevičius, 2005). Yani, bu yöntem kirlenmiş toprağı doğrudan temizlemekten ziyade kirliliğı kontrol altına almayı hedefleyen bir süreçtir. Ancak, doğrudan iyileştirme yöntemlerine örnek gösterilebilecek ısıtma işlemi gibi teknolojilerde, toprağın ısıtılarak içeriğindeki kirleticilerin uçuculuğundan faydalanılmaktadır. Isıtma işlemi yöntemi, belirli bir sıcaklıkta hedeflenen kirleticilerin uçucu hale gelmesini sağlayarak kirliliğın bertaraf edilmesinde etkili bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, toprak izolasyonu teknolojileri ile ısıtma işlemi gibi doğrudan iyileştirme yöntemleri farklı yaklaşım prensiplerine dayansa da çevresel iyileştirme süreçlerinde birbiriyle tamamlayıcı nitelik taşıyabilmektedir (Song ve ark., 2017).

Kimyasal iyileştirme yöntemleri, kirlenmiş çevresel ortamlardaki zararlı kirleticilerin etkisini azaltmayı, bu maddeleri ortamdaki tamamen uzaklaştırmayı ya da daha az zararlı bir forma stabilize etmeyi hedefleyen süreçlerde kimyasal bileşenlerin kullanımına dayanır. Bu yöntemler arasında toprak yıkama ve immobilizasyon teknikleri gibi çeşitli yaklaşımlar yer almaktadır. Immobilizasyon teknikleri, katılaştırma ve stabilizasyon süreçleri ile vitrifikasyon (camlaştırma) ve elektrokinetik yöntemleri kapsar. Özellikle toprak yıkama yöntemi, kirlenmiş toprak külesinden zararlı maddeleri ayırmak amacıyla, temiz su, kimyasal reaktifler veya diğer uygun sıvıların kullanımı ile toprağın fiziksel olarak yıkanmasından ibarettir. Bu süreçte kullanılan sıvılar, kirleticileri toprağın yüzeyinden ya da derinliklerinden fiziksel, kimyasal veya bazen biyokimyasal yollarla ayırarak toprağı temizler (Derakhshan ve ark., 2018).

Zhai ve ark. (2018) tarafından gerçekleştirilen araştırmada, toprakların arındırılması ve metallerin hareket kabiliyetinin sınırlandırılması amacıyla kireç, biochar ve siyah karbon gibi malzemeler kullanılarak hem toprak yıkama hem de yerinde hareketsizleştirme yöntemleri incelenmiştir. Çalışmada, FeC kombinasyonu

kullanılarak yapılan yıkama işlemi sonrasında toprakta bulunan kadmiyum (Cd), kurşun (Pb), çinko (Zn) ve bakır (Cu) gibi ağır metallerin miktarında sırasıyla %62,9, %52,1, %30,0 ve %16,7 oranında azalma tespit edilmiştir. Ayrıca, kireç ilavesiyle yapılan hareketsizleştirme yöntemi sonucunda bu metallerin biyoyararlanabilirliğinde önemli ölçüde düşüşler gözlemlenmiştir; bu oranlar kadmiyum için %36,5, bakır için %73,6, kurşun için %70,9 ve çinko için %53,4 olarak raporlanmıştır. Bununla beraber, uygulanan bu yöntemlerin yalnızca ağır metallerin azaltılmasında değil, aynı zamanda topraktaki mikrobiyolojik dengenin iyileştirilmesine de olumlu katkı sağladığı belirlenmiştir.

İmmobilizasyon teknikleri, çevresel kirliliğin kontrol altına alınması amacıyla kullanılan yöntemlerden biri olup, özellikle kirlenmiş topraklardaki zararlı maddelerin hareketini sınırlamaya odaklanır. Bu teknikler, su, bitki ve diğer çevresel ortamlara ağır metallerin geçişini en aza indirmek için tasarlanmıştır. Uygulama sırasında, belirli reaktiflerin veya uygun materyallerin kirlenmiş toprak ile birleştirilmesi işlemi gerçekleştirilir. Bu sayede, toksisite düzeyi düşük, hareket kabiliyeti sınırlı ve çözünmeyen maddeler oluşturularak çevreye olan olumsuz etki azaltılır. Aynı zamanda, bu yöntem toprak sağlığını ve çevresel güvenliği desteklemeye yönelik etkin bir çözüm sunar (Yao ve ark., 2012).

Vitrifikasyon teknikleri, son derece yüksek sıcaklıklarda birçok inorganik kirleticiyi kararlı ve hareketsiz bir forma dönüştürmek amacıyla geliştirilen yöntemlerdir. Bu yöntem, çevre kirliliğinin azaltılması ve toksik materyallerin daha güvenli bir şekilde bertaraf edilmesini mümkün kılmaktadır. Özellikle ağır metaller gibi çevreye ciddi zararlar verebilecek kirleticiler söz konusu olduğunda, vitrifikasyon teknikleri önemli bir rol oynamaktadır (USAEC, 2000).

Navarro ve ark. (2013) tarafından gerçekleştirilen araştırmada, İspanya'da faaliyet gösteren gümüş ve kurşun madenlerinden kaynaklanan kirleticilerin, yenilikçi bir yöntem olarak güneş enerjisi teknolojisi kullanılarak vitrifikasyon yöntemiyle iyileştirilmesi incelenmiştir. Çalışmada, vitrifikasyon işleminin 1350°C gibi yüksek bir sıcaklıkta uygulanmasıyla Mn (manganez), Zn (çinko), Cu (bakır), Fe (demir) ve Ni (nikel) elementlerinin immobilize (hareketsiz) hale geldiği tespit edilmiştir. Buna karşılık, aynı işlemin 1050°C gibi görece daha düşük bir sıcaklıkta uygulanması

durumunda ise Mn, Ni, Zn ve Cu elementlerinin mobilize olduğu, yani hareket eden veya çevrede daha aktif hale geldiği belirlenmiştir. Bu bulgular, vitrifikasyon sürecinin etkinliğinin sıcaklık gibi operasyonel parametrelere bağlı olarak önemli ölçüde değiştiğini ortaya koymakta ve uygun koşullarda bu yöntemin ağır metal kirliliğini yönetmek için kullanışlı bir teknoloji olabileceğini vurgulamaktadır.

Elektrokinetik teknikler, kirleticilerin yüklü türlerini harekete geçirerek hareket edebilmelerini sağlamak için doğru akımın elektrotlar üzerinden uygulanması prensibine dayanan yöntemlerdir. Bu teknikler, kirlilik unsurlarını kontrollü bir şekilde yönlendirme ve uzaklaştırma amacıyla yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Dindar ve ark., 2017).

Azhar ve arkadaşlarının 2016 yılında gerçekleştirdiği araştırmada, elektrokinetik yöntem ile biyoremediasyon ıslah teknikleri entegre bir şekilde kullanılmıştır. Araştırmada, 7 gün süresince 50 V m^{-1} elektrik gradyanı uygulanmış ve bu süreçte anot kısmına *Lysinibacillusfusiformis* bakterisinin eklenmesi sağlanmıştır. Bu birleşik yöntemin uygulanması sonucunda, cıva konsantrasyonunda yaklaşık olarak yüzde 78 oranında bir azalma meydana geldiği belirlenmiştir. Çalışma, çevresel kirleticilerin giderilmesinde elektrokinetik ve biyolojik süreçlerin birlikte kullanılmasının etkili bir yöntem olabileceğini ortaya koymuştur (Azhar ve ark., 2016).

Biyolojik iyileştirme teknikleri arasında önemli bir yere sahip olan biyoremediasyon işlemleri, kirlenmiş çevresel ortamların çevreye zarar vermeden, yani doğa dostu bir yaklaşım benimseyerek, bitkiler ile mikro ve makro organizmaların aktif bir şekilde kullanılması üzerine kurulu sistematik bir süreçtir (Dindar ve ark., 2017). Bu yöntemlerde temel hedef, kirleticilerin bulunduğu ortamdan uzaklaştırılması, tamamen ortadan kaldırılması ya da çevreye olumsuz etkilerini en aza indirerek hareketsiz bir forma dönüştürülmesidir. Bu amaç doğrultusunda, bitkiler ve mikroorganizmaların doğal biyolojik mekanizmalarından yararlanılarak etkili bir temizlik sağlanmaktadır (Ayangbenro ve Babalola, 2017). Biyoremediasyon teknikleri, kullanılan diğer fiziksel ve kimyasal arıtma yöntemleriyle kıyaslandığında, geniş kirlenmiş alanlarda uygulanabilirliği yüksek, daha düşük maliyetli ve ekosistemle uyum içinde çalışabilen çevre dostu bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Öyle ki, bu teknikler hem ekonomik avantajlar sağlamakta hem de çevre üzerindeki olumsuz etkileri en aza indirerek

sürdürülebilirlik açısından önemli katkılar sunmaktadır. Biyoremediasyon teknikleri, uygulandıkları çevredeki fiziksel ve kimyasal koşullara oldukça duyarlıdır ve bu nedenle sıcaklık, pH seviyesi, ortamın nem oranı ve oksijen miktarı gibi çevresel faktörlerden önemli ölçüde etkilenebilmektedir. Bu tekniklerin verimliliği ve başarısı, söz konusu faktörlerin uygun aralıkta olmasına bağlıdır (Dandan ve ark., 2007; Yao ve ark., 2012).

Kirlenmiş toprakların temizlenmesi amacıyla kullanılan mikroorganizmalar, toprak içerisinde bulunan ağır metalleri doğrudan ayrıştırma veya parçalama yeteneğine sahip değildir. Ancak, bu mikroorganizmalar, söz konusu ağır metalleri farklı fiziksel ve kimyasal formlara dönüştürerek bünyelerine dahil edebilir. Örneğin, ağır metalleri adsorbe ederek ya da onları metabolik süreçlerin bir parçası olarak biyokimyasal dönüşümlere uğratabilirler (Okcu ve ark., 2012). Ağır metallerin uzaklaştırılmasına yönelik mikroorganizmalar genellikle bakteri ve mantar türlerini içerirken, bunun yanı sıra maya ve alglerin de etkili sonuçlar verdiği bilinmektedir (Coelho ve ark., 2015). Üstelik, kirlenmiş alanlarda bitki ve mikroorganizmaların eş zamanlı kullanımı, ağır metallerin giderilme sürecinde oldukça olumlu sonuçlara yol açmaktadır. Bu tür bir kombinasyon, daha hızlı ve etkin bir temizleme işlemi sağlayarak kirlilikle mücadeleye katkıda bulunur (Vangronsveld ve ark., 2009). Ancak, çevresel koşulların söz konusu biyoremediasyon sürecine uygun hale getirilmesi ve yeterli miktarda etkin organizmanın bölgede mevcut olması, bu yöntemin başarıya ulaşabilmesi açısından son derece kritik öneme sahiptir. Biyoremediasyon süreci, çeşitli mekanizmalara dayanarak işlem gösterir. Bu mekanizmalar arasında biyobirikim (mikroorganizmaların metalleri biriktirme kapasitesi), biyoliç (metallerin çözümlü formlara dönüştürülmesi), biyosorpsiyon (metallerin mikroorganizmalar tarafından yüzeyde tutulması), biyotransformasyon (metallerin mikroorganizmalar aracılığıyla kimyasal yapısının değiştirilmesi) ve biyomineralizasyon (metallerin mineral yapıya dönüştürülmesi) sayılabilir. Bunun yanı sıra metal ile mikroorganizma arasındaki etkileşimlerin anlaşılması, biyoremediasyon çalışmalarında büyük bir rol oynamaktadır. Bu süreçlerin başarılı şekilde uygulanması için hem çevresel faktörlerin iyileştirilmesi hem de ilgili organizmaların yeterli düzeyde bulunması hayati öneme sahiptir. Ayrıca biyoremediasyon yöntemlerinin etkinliği, kullanılan mikroorganizma türlerine bağlı olduğu kadar, ortamın kimyasal ve fiziksel özellikleriyle de yakından ilişkilidir.

Dolayısıyla bu tür yöntemler, özellikle doğru tasarlandığında ve uygun şartlar sağlandığında, toprak kirliliğinin azaltılmasında sürdürülebilir ve çevre dostu bir alternatif olarak öne çıkmaktadır (Dindar ve ark., 2010).

Fitoremediasyon teknolojileri, kirlenmiş topraklarda bulunan kirleticilerin arındırılmasını hedefleyen ve bu kapsamda kirleticilerin azaltılması, sabitlenmesi veya adsorbe edilmesini sağlayan bir dizi tekniği içermektedir (Yao ve ark., 2012). Bu kapsamlı teknolojiler arasında fitoekstraksiyon, rizofiltrasyon, fitostabilizasyon, fitovolatilizasyon ve fitodegradasyon gibi yöntemler bulunmaktadır (Kong ve Glick, 2017). Topraktaki metal kirleticilerin uzaklaştırılması sürecinde genellikle rizofiltrasyon, fitostabilizasyon ve fitoekstraksiyon yöntemleri tercih edilmektedir. Öte yandan, organik kirleticilerin giderimi söz konusu olduğunda ise rizodegradasyon, fitovolatilizasyon ve fitodegradasyon tekniklerine öncelik verilmektedir (Aybar ve ark., 2015). Fitoremediasyon amacıyla kullanılacak bitki türlerinde bazı belirgin özellikler bulunması gereklidir. Bu özellikler arasında hızlı büyüme kapasitesine sahip olmaları, bol miktarda vejetatif aksam üretebilmeleri, yüksek konsantrasyonlu metallere karşı dayanıklılık gösterebilmeleri ve aynı zamanda bu metalleri yüksek miktarda biriktirme yeteneğine sahip olmaları yer almaktadır. Bu nitelikler, bitki seçiminde temel kriterleri oluşturur ve fitoremediasyon etkinliğini doğrudan etkiler (Jabeen ve ark., 2009).

2.6. Önceki Çalışmalar

Pavlova ve Alexandrov'un 2003 yılında gerçekleştirdiği araştırmada, Doğu Rodop Dağları'nda yetişen çeşitli bitki türleri ile bu bitkilerin yetiştiği toprak örneklerindeki element içerikleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çalışma kapsamında Ca, Mg, Ni, Fe, Cr, Co, Mn, Cu, Zn ve Pb gibi önemli elementlerin birikim düzeyleri analiz edilmiştir. Araştırmanın sonuçlarına göre, özellikle bitki örneklerinde bulunan kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), nikel (Ni) ve demir (Fe) birikim oranlarının, bu elementlerin toprakta bulunan oranlarına kıyasla oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, serpantinli toprakların incelemesi sonucunda, demir (Fe) birikiminin bu toprak türü için karakteristik bir özelliği olduğu ortaya konulmuştur. Çalışma hem bölgedeki

bitki-toprak ilişkisine ışık tutmakta hem de serpantinli toprakların mineral birikim özelliklerini detaylı bir şekilde ele almaktadır.

Wang ve arkadaşları, 2003 yılında gerçekleştirdikleri bir saksı çalışmasında, farklı seviyelerde ağır metal içeren toplam dört farklı toprak türü üzerinde ürün yetiştirmişlerdir. Bu araştırma kapsamında hem topraktaki hem de ürünlerin farklı bölümlerindeki ağır metal miktarlarını belirli aralıklarla detaylı bir şekilde ölçerek zaman içinde meydana gelen değişiklikleri incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda, ürünlerin çeşitli organlarına ait ağır metal konsantrasyonlarının birbirinden farklı olduğunu tespit etmişlerdir. Elde edilen bulgulara göre, ağır metal birikiminin dağılım sırası kök> gövde> tohum> yaprak şeklinde belirlenmiştir. Buna ek olarak, ağır metallerin ürün tarafından alınma sıralamasının ise Zn, Cr>Cd, Cu> Pb biçiminde gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, farklı ağır metallerin ürünlerdeki taşınım ve birikim potansiyelinin değişiklik gösterebileceğini ortaya koymuştur.

Aydemir'in 2008 yılında gerçekleştirdiği çalışmada, Afşin-Elbistan Termik Santrali'nin çevresinde bulunan tarımsal topraklarda kirlilik parametrelerini belirlemek amacıyla kapsamlı bir inceleme yapılmıştır. Bu kapsamda, bölgedeki hâkim rüzgar yönü dikkate alınarak santrale farklı uzaklıklarda ve çeşitli köylerde toprak örnekleri toplanmıştır. Toprak örnekleri; Alemdar, Balıkçıl, Güvercinlik, Hasankendi, Izgın, Kanlıkavak (Göksun yolu), Kapılı, Karaelbistan, Karahöyük, Kışla ve Küçük Kışla köylerinden alınmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, hâkim rüzgar yönünden toplanan örneklerdeki iz element ve ağır metal birikimlerinin, santralin doğrudan etkisinin az olduğu düşünülen köylerden alınan örneklere kıyasla belirgin bir şekilde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Özellikle santrale yakın mesafelerde bu element ve metallerin konsantrasyon seviyelerinin kayda değer bir artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu bulgular, santralin çevresel kirlilik üzerindeki etkisinin yakın çevreyle sınırlı kalmayarak rüzgârın taşıdığı partiküller aracılığıyla daha geniş alanlara yayıldığını ortaya koymaktadır.

Albulescu ve çalışma arkadaşları tarafından 2009 yılında Romanya'daki bağ alanlarında ağır metal kirlilik düzeyini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen araştırmada, Tirol ve Moldova gibi bağcılığın yaygın olduğu bölgelerden hem toprak hem de bitki örnekleri toplanmıştır. Araştırmanın sonuçlarına göre, toprak ve bitki örneklerinde tespit

edilen ağır metal konsantrasyonlarının sıralaması $Pb > Ni > Cr > Cd$ şeklinde belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada transfer faktörleri dikkate alındığında, Tirol bölgesinden alınan örneklerde ağır metal konsantrasyonlarının, Moldova bölgesine ait örneklerden daha yüksek seviyelerde olduğu ortaya konulmuştur. Bu durum, iki farklı bölge arasındaki çevresel karakteristikler ve bağıcılıkla ilişkili faaliyetlerin etkilerinin kirlilik düzeylerine yansımaları olarak yorumlanmıştır.

Orrono ve Lavado'nun 2009 yılında yaptığı çalışmaya göre, ağır metallerle kirlenmiş toprakların temizlenmesi amacıyla fitoremediasyon yöntemi önerilmiş ve bu süreçte süs bitkilerinin kullanımı üzerinde durulmuştur. Araştırmada, *Pelargonium hortorum* bitkisinin biyokütle üretim kapasitesi ve ağır metal birikimi ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada, *Pelargonium hortorum* bitkileri on altı hafta boyunca saksılarda yetiştirilmiş ve bu süreçte toprak, farklı ağır metaller (Cd, Cr, Cu, Ni, Zn ve Pb) ile zenginleştirilmiştir. Ağır metallerle işlenmiş bu toprakların sonuçları, herhangi bir uygulamanın yapılmadığı kontrol grubundaki topraklarla karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, ağır metal içeren topraklarda bitkinin biyokütle üretiminde belirgin azalmalar meydana gelmiştir. Ayrıca, farklı değerlendirme indeksleri yardımıyla *P. hortorum* bitkisinin bu metallerden etkilendiği açıkça ortaya konmuş ve ağır metal birikiminin sürgünlere kıyasla köklerde daha yoğun şekilde gerçekleştiği dikkat çekici bir şekilde vurgulanmıştır. Bu çalışma, kirlenmiş toprakların iyileştirilmesine yönelik önemli veriler sağlarken, bitkisel remediasyonun potansiyel etkisini de gözler önüne sermiştir.

Ergün ve Öncel'in 2009 yılında gerçekleştirdiği çalışmada, ekmeklik buğdayın erken büyüme döneminde kök ve gövde gelişimi üzerine kurşun (Pb), çinko (Zn), kadmiyum (Cd) gibi ağır metallerin ve ağır metal-hormon uygulamalarının etkileri detaylı şekilde incelenmiştir. Araştırma sonuçları, özellikle yüksek konsantrasyonlardaki bu ağır metallerin, ayrıca bu metallerle birlikte uygulanan abscisik asit (ABA) ve giberellik asit (GA3) gibi hormonların da buğday bitkisinin kök ve sürgün büyümesi üzerinde engelleyici bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bunun yanı sıra ağır metallerin konsantrasyonlarının artması ve uygulama sürelerinin uzamasıyla birlikte kök ve sürgün gelişiminin daha belirgin bir şekilde duraksadığı tespit edilmiştir. Çalışmada incelenen bazı parametreler doğrultusunda en toksik etkinin

kadmiyum (Cd) tarafından gösterildiği belirlenmiş, bunu sırasıyla kurşun (Pb) ve çinko (Zn) takip etmiştir. Bu sonuçlar, ağır metallerin buğday bitkisinin erken dönem büyüme süreçleri üzerindeki olumsuz etkilerini dikkat çekici bir şekilde gözler önüne sermiştir.

Knezeviç ve çalışma arkadaşları, 2009 yılında gerçekleştirdikleri bu araştırmada, Polonya'nın farklı bölgelerinde meydana gelen trafik kaynaklı ağır metal kirliliğinin bitki örtüsü ve toprak üzerindeki birikimini incelemeyi hedeflemiştir. Bu bağlamda, şehir merkezinden uzak olan ve trafik ağıyla etkileşimi oldukça sınırlı kabul edilen Bela Crkva bölgesinden alınan örneklerle, şehir merkezine yakın bölgelerden toplanan örnekler karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, şehir merkezine yakın bölgelerden alınan numunelerde kurşun, nikel, çinko ve mangankonsantrasyonlarının çok daha yüksek seviyelerde olduğu belirlenmiş ve bu durum trafik yoğunluğunun çevresel kirlilik üzerinde etkili olduğunu açıkça ortaya koymuştur.

Uluocak ve Yılmaz tarafından 2009 yılında yapılan araştırmada, salatalık bitkisinin nikel (Ni) ve kadmiyum (Cd) alımı üzerindeki toprakların kil minerali içeriklerinin etkisi detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu kapsamda smektit, illit ve kaolinit kil minerallerinin baskın olduğu farklı toprak tipleri deney materyali olarak seçilmiş ve salatalık bitkileri sera koşullarında yetiştirilmiştir. Araştırmacılar, bölünmüş parseller şeklinde tasarladıkları denemelerde bitkilere çeşitli konsantrasyonlarda Ni ve Cd içeren çözeltiler uygulamışlardır. Nikel uygulamaları için 0, 50, 100 ve 150 mgkg⁻¹; kadmiyum uygulamaları için ise 0, 5, 10 ve 15 mgkg⁻¹ düzeyindeki dozlar kullanılmıştır. Denemenin sonuçları, artan nikel konsantrasyonlarıyla birlikte topraklardan kaldırılma geçen Ni miktarlarında önemli farklılıkların ortaya çıktığını göstermiştir. Araştırmacılar, en yüksek nikel kaldırılma seviyelerinin tüm uygulama dozlarında kaolinitçe baskın topraklarda meydana geldiğini bildirmiş; bu toprakları sırasıyla smektitçe ve illitçe baskın olan toprakların izlediğini tespit etmişlerdir. Özellikle kaolinitçe baskın topraklarda, 100 mgkg⁻¹ doz uygulamasında en yüksek nikel kaldırılma değerlerinin elde edildiğini vurgulamışlardır. Benzer şekilde, kadmiyum uygulamalarında da artan Cd konsantrasyonlarıyla birlikte bitkiler tarafından alınan Cd miktarlarının toprakların kil minerali yapısına göre değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. Kadmiyum kaldırılma oranları bakımından da en yüksek değerlerin kaolinitçe baskın

topraklarda gözlemlendiği, bu toprakların ardından sırasıyla illit ve smektit kil minerallerinin yoğun bulunduğu toprak tiplerinin geldiği ifade edilmiştir. Araştırma, kil mineral içeriğinin ağır metal alımında belirleyici bir faktör olduğunu ortaya koymaktadır.

Akıncı ve arkadaşlarının 2010 yılında gerçekleştirdikleri çalışma, farklı konsantrasyonlarda (0, 75, 150 ve 300 mgL⁻¹) kurşun (Pb) uygulayarak, kurşun toksisitesinin domates bitkisi üzerindeki etkilerini kapsamlı bir şekilde değerlendirmeyi amaçlamıştır. Araştırma kapsamında kurşunun bitkinin kök, sürgün ve yaprak dokularına; bu dokuların klorofil miktarına ve su içeriklerine olan etkileri ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Elde edilen bulgular, artan kurşun konsantrasyonlarının kök, sürgün ve yapraklardaki element alımını belirgin bir şekilde olumsuz etkilediğini ortaya koymuştur. Bu durum özellikle 300 mgL⁻¹ kurşun konsantrasyonu düzeyinde oldukça dikkat çekici bir hale gelmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, artan kurşun dozlarının kök boyunu kısaltıcı, bitki ağırlığını azaltıcı ve kök, sürgün ile yaprakların hem yaş hem de kuru ağırlıklarına zarar verici bir etkisi olduğu belirtilmiştir. Ayrıca araştırmada, kurşun toksisitesinin bitki dokularındaki su içeriğini düşürdüğü ve bu düşüşün, bitkinin tolerans sınırını aşarak büyüme potansiyelini ciddi anlamda sınırlandırdığı vurgulanmıştır. Bununla birlikte, klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil içeriklerinde de kayda değer bir azalma olduğu saptanmıştır. Sonuç olarak, kurşun toksisitesinin sadece fiziksel büyümeyi değil, aynı zamanda bitkinin hayati fizyolojik süreçlerini sınırlayan sıkı bir kontrol mekanizması oluşturduğu ifade edilmiştir.

Kartal'ın 2010 yılında gerçekleştirdiği çalışmada, D-100 Karayolu'nun İstanbul Avrupa yakasında, ağır metal birikimi potansiyeli açısından risk taşıyan bir bölgede detaylı bir inceleme yapılmıştır. Bu çalışmada bölgede, Carpobrotus, Cupressus ve Pinus türlerine ait toplam 52 adet bitki örneği, 9 farklı noktadan özenle toplanmıştır. Araştırmanın sonuçları, kurşun (Pb), kadmiyum (Cd) ve bakır (Cu) gibi metallerin toksik etkilere neden olabilecek düzeyde birikim göstermediğini ortaya koymuştur. Ancak nikel (Ni) ve krom (Cr) açısından durum farklı gelişmiş, özellikle sanayii bölgelerinin yakın çevresi ile yoğun trafik alanlarında bu metallerin konsantrasyonlarında dikkat çekici bir artış saptanmıştır. Bu artışın, çevresel koşullar ve yoğun insan faaliyetlerine bağlı olduğu değerlendirilmiştir.

Bilge (2011), Viranşehir-Kızıltepe karayolu güzergahında yaptığı araştırmada, bu güzergahtaki topraklarda ağır metal konsantrasyonlarının karayolundan uzaklaştıkça belirgin bir şekilde azaldığını tespit etmiştir. Bu durumun, topraklarda gözlenen ağır metal birikiminin büyük ölçüde yol trafiğinden kaynaklanan bir kirlilik olduğunu ortaya koyduğunu vurgulamıştır. Araştırmanın sonuçları, trafik faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonların çevredeki toprak ekosisteminde ağır metal kirliliğine sebep olduğunu açık bir şekilde göstermektedir.

Pak, 2011 yılında gerçekleştirdiği araştırmada, Kırklareli il sınırları içinde yer alan TEM Otoyolu çevresindeki tarım arazilerinin belirli ağır metallerle olan kirlilik seviyelerini değerlendirmeyi amaçlamıştır. Bu çalışma kapsamında, toprakların çeşitli fiziksel ve kimyasal özellikleri ile bazı ağır metallerin içerikleri arasında dikkat çekici ve anlamlı istatistiksel ilişkiler ortaya konulmuştur. Araştırma, bölgedeki toprak kalitesini etkileyebilecek olası çevresel faktörlere ışık tutarken, aynı zamanda bu tür kirliliklerin tarımsal faaliyetlere ve doğal ekosistemlere yönelik olası etkilerini vurgulamıştır.

Uğur ve Kerim'in 2013 yılında gerçekleştirdiği çalışmada, Viranşehir-Kızıltepe karayolunun çevresindeki topraklarda motorlu taşıtlardan kaynaklanabilecek ağır metal kirliliği incelenmiştir. Araştırma sonuçları, çalışma alanında ölçülen ağır metal konsantrasyonlarının tümünün, topraklar için kabul edilebilir sınır değerlerin altında olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, bölgedeki topraklar üzerinde, günümüz koşulları itibarıyla, trafik kaynaklı ciddi bir ağır metal kirliliğinin mevcut olmadığını göstermektedir. Ancak, belirlenen ağır metal türleri arasında kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), nikel (Ni), krom (Cr) ve bakır (Cu) gibi elementlerin konsantrasyonları, izin verilen sınır değerleri henüz aşmamış olsalar da dikkat çekici bir eğilim sergilemiştir. Özellikle bu metallerin miktarlarının, karayoluna olan mesafeye bağlı olarak değişkenlik gösterdiği ve karayolundan uzaklaştıkça azalma eğilimi sergilediği tespit edilmiştir. Bu bulgu, trafik kaynaklı emisyonların etkisinin mesafeyle ilişkilendirilebileceğini işaret etmektedir ve uzun vadeli değerlendirmeler açısından önem taşımaktadır.

Saraçoğlu ve arkadaşlarının 2013 yılında gerçekleştirdiği "şanlıurfa İli Hilvan İlçesi kuru alanlardaki toprakların bitki besin elementi kapsamalarının belirlenmesi" başlıklı çalışmasında, Hilvan ilçesi topraklarının özellikleri kapsamlı bir şekilde analiz edilmiştir. Bu araştırmada elde edilen bulgular, bölgedeki toprakların genel olarak kil bünyeli ve kireç bakımından zengin olduğunu, ancak organik madde açısından yetersiz seviyelerde bulunduğunu ortaya koymuştur. Bununla birlikte, topraklardaki bitkiye yararılı demir (Fe) içeriğinin %65 düzeyinde yüksek olduğu saptanmıştır. Aynı şekilde, inko (Zn) bakımından %18 oranında yüksek değerlere sahip olan bu toprakların, mangan (Mn), bakır (Cu) ve potasyum oksit (K₂O) içeriği açısından %100 oranında yüksek değerler gösterdiği belirlenmiştir. Bu bağlamda, yapılan çalışmanın temel amacı, şanlıurfa İli Halfeti İlçesi topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerini detaylı olarak analiz etmek ve bu değerlendirmeler üzerinden toprakların genel anlamdaki verimlilik durumlarını ortaya koymak olmuştur. Bu sayede tarımsal faaliyetlerin sürdürülebilirliğini artıracak bilgi birikimine katkı sağlanması hedeflenmiştir.

Akyıldız ve Karataş'ın 2018 yılında gerçekleştirdiği bu çalışmada araştırma alanı, Adana şehir merkezi ile çevresindeki bölgeleri içine alacak şekilde belirlenmiştir. Bu alışma kapsamında bölgeden toplamda 52 adet toprak rneği toplanmış ve bu örnekler üzerinde çeşitli analizler yapılmıştır. İncelenen toprak rnekleri, Atomik Absorpsiyon Spektrometre cihazı kullanılarak Fe (demir), Al (alüminyum), Mn (mangan), Cu (bakır), Zn (inko), Hg (cıva), Ni (nikel), Cr (krom), Pb (kurşun), As (arsenik), Co (kobalt) ve Cd(kadmiyum) gibi ağır metallerin konsantrasyonlarına yönelik detaylı analizlere tabi tutulmuştur. Elde edilen analiz sonuçları, Türkiye evre ve şehircilik Bakanlığı tarafından yayımlanan Toprak Kirliliği Yönetmeliği'nde belirtilen standart değerlerle karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, Fe, Mn ve Pb elementlerinin konsantrasyonları yönetmelikteki standart sınır değerlerin altında kalırken, bazı toprak örneklerinde Cu, Hg, Co ve Cd elementlerinin seviyelerinin bu sınırların üzerinde olduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra Ni, As, Cr ve Al elementleri için yapılan analizlerde ise, örneklerin genellikle standart değerlerin üzerinde yoğunluklar içerdiği tespit edilmiştir. Çalışmada kirliliğe neden olan faktörlerin ağırlıklı olarak çevresel koşullardan kaynaklandığı değerlendirilirken, özellikle Cr ve Ni elementlerinde gözlemlenen artışta bölgenin jeolojik yapısının da kısmen etkili olduğu

sonucuna varılmıştır. Buna ek olarak, ele alınan toprak ve sediman örneklerinde zenginleşme faktörü, kirlilik faktörü (Cf), kirlilik derecesi (Cd) ve Jeo-birikim İndeksi (Igeo) gibi indikatör parametre değerleri hesaplanmış; bu değerler yardımıyla bölgedeki kirlilik seviyeleri detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Bu sonuçlar ışığında bölgenin çevresel açıdan durumu değerlendirilmiş ve mevcut sorunların daha etkili yönetimi için gerekli tedbirlerin belirlenmesine yönelik öneriler geliştirilmiştir.

Endüstriyel faaliyetler sırasında oluşan su ve hava kirleticileri, genellikle kimyasal süreçler aracılığıyla toprağa nüfuz etme eğilimindedir ve bu durum çevresel kirlilik seviyesini önemli ölçüde artırmaktadır. Özellikle endüstrileşme süreci, kendisiyle birlikte ağır metal kirliliğini de getirmiş ve bu sorun, zaman içinde giderek daha ciddi boyutlara ulaşmıştır. Günümüzde dış ortamda insan sağlığını tehdit edebilecek düzeyde 35'ten fazla metal bulunmaktadır ve bunların 23'ü ağır metaller sınıfına girmektedir. Teknik olarak ağır metal terimi, fiziksel yoğunlukları 5 g/cm³'ten yüksek olan metaller için kullanılmakta olup, bu gruba kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), krom (Cr), demir (Fe), kobalt (Co), bakır (Cu), nikel (Ni), cıva (Hg) ve çinko (Zn) gibi metaller dahildir. Doğal döngülerin bir sonucu olarak her yıl atmosferimize önemli miktarlarda ağır metal salınımı gerçekleşmektedir; bu miktarlar yaklaşık olarak 7600 ton kadmiyum, 18,800 ton arsenik, 3600 ton cıva ve 332,000 ton kurşun düzeyindedir. Ancak insan kaynaklı faaliyetlerin yol açtığı ağır metal emisyonları, doğal süreçlerle kıyaslandığında ciddi oranda daha yüksek seviyelerdedir. Örneğin, kadmiyum salınımı doğal seviyelere göre 8 kat daha fazla iken, cıva, kurşun ve kalay salınımları yaklaşık 6 kat daha yüksektir. Bunun yanı sıra arsenik, nikel ve krom gibi elementlerin atmosferik salınımları da doğal oranlara kıyasla 3 kat artış göstermektedir. Bu veriler, endüstriyel faaliyetlerin çevresel etkilerinin boyutlarını açıkça ortaya koymakta ve sürdürülebilir çevre politikalarının gerekliliğine dikkat çekmektedir(Kahvecioğlu ve ark. 2007).

Yapılan bilimsel araştırmalar, ağır metal kirliliğinin yoğun olduğu endüstriyel tesislerin çevresinde yetişen bitkilerin, özellikle de yapraklarında, ağır metallerin yüksek seviyelerde biriktiğini açıkça ortaya koymuştur (Shahid ve ark., 2013). Çevresel risklerin değerlendirilmesi ve bu konuda yürütülen inceleme çalışmalarında, bitki yapraklarının ağır metal içerikleri sıklıkla araştırma konusu olarak ele alınmaktadır. Bu tür çalışmalar, toprak ve hava kirliliği ile doğrudan ilişkili olan bu birikimlerin

büyükliğini ve etkilerini anlamak açısından oldukça önemlidir (Stafilou ve ark., 2010; Schreck ve ark., 2012; Schreck ve ark., 2013). Bu kapsamda elde edilen veriler hem çevresel sağlık açısından hem de kirliliğin kaynağını tespit etme yönünden kritik bir rol oynamaktadır.

Genel çerçevede, yoğunluğu 5 g/cm³'ten daha fazla olan ya da atom ağırlığı 50 ve üzerinde bulunan elementler, ağır metaller olarak adlandırılmaktadır. Normalde atmosferdeki ağır metal konsantrasyonlarının oldukça düşük seviyelerde olduğu bilinmektedir. Ancak, son yıllarda sanayi tesislerinden kaynaklanan emisyonlar ile artan taşıt kullanımı gibi insan faaliyetlerinin etkisiyle hava ortamındaki ağır metal yoğunluklarında ciddi anlamda bir artış kaydedilmiştir. Bu durum, çevre kirliliği ve ekosistem sağlığı açısından önemli bir tehdit oluştururken, aynı zamanda halk sağlığı üzerinde de olumsuz etkiler yaratmaktadır. Konuyla ilgili yapılan çeşitli çalışmalar, bu eğilimin giderek daha belirgin hale geldiğini ortaya koymuştur (Erdem, 2018; Shahid ve ark., 2017).

Ağır metaller üzerine uzun yıllardır yapılan geniş kapsamlı bilimsel araştırmalar, neredeyse tüm metallerin belirli bir konsantrasyon seviyesinin üzerine çıktığında canlı organizmalar üzerinde toksik etkiler yarattığını açık bir şekilde ortaya koymaktadır. Bu metaller arasında özellikle arsenik (As), kadmiyum (Cd), kurşun (Pb), krom (Cr) ve cıva (Hg) en tehlikeli ve toksik ağır metaller olarak öne çıkmaktadır. Özellikle sanayi kaynaklı ağır metallerden arsenik (As), kadmiyum (Cd), kurşun (Pb), krom (Cr), nikel (Ni), çinko (Zn) ve vanadyumun (V) sadece toksik olmakla kalmayıp aynı zamanda ciddi kanserojen özelliklere sahip olduğu da bilimsel çalışmalarla kanıtlanmıştır (Shahid ve ark., 2017). Bununla birlikte, çinko (Zn), manganez (Mn), bakır (Cu), krom (Cr), demir (Fe) ve nikel (Ni) gibi bazı metaller, bitkiler de dahil olmak üzere tüm yaşayan organizmalar için gerekli olan hayati mikroblesinler olarak tanımlanır. Ancak bu mikroblesinler dahi yüksek konsantrasyon seviyelerine ulaştığında zararlı etkilere yol açabilir ve canlı sistemlerin sağlığını ciddi şekilde tehdit edebilir (Shahid ve ark., 2015; Harguinteguy ve ark., 2016; Erdem, 2018). Bu nedenle, ağır metallerin çevresel yayılımı ve etkileri konusunda daha fazla farkındalık ve kontrol mekanizmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Çevre kirliliğine yol açan önemli faktörlerden biri de ağır metallerdir. Toprakta, suda ve atmosferde farklı oranlarda mevcut olabilen bumetaller, belirli bir konsantrasyonun üzerinde biriktiğinde kirlilik sorununu tetikler. Ağır metallerin çevrede geniş bir şekilde birikim göstermesi, tüm canlı organizmalar için giderek daha ciddi boyutlara ulaşan bir tehdit unsuru oluşturmaktadır. Çevre kirliliğine sebep olan tüm etmenler, bitkiler üzerinde stres yaratmaktadır. Bu stres, bitkilerin fizyolojik süreçlerini etkileyerek genetik potansiyellerinde değişimlere yol açar, büyüme ve verimlilik kapasitelerini sınırlar ve ölümlerine neden olmak suretiyle ciddi ölçülerde ürün kayıplarına sebebiyet verir. Ağır metal kirliliğinin ortaya çıkışında çeşitli nedenler bulunmaktadır ve bunların doğal ya da insan kaynaklı olabilir. Sanayi faaliyetleri, motorlu taşıtların egzoz emisyonları, maden ocakları ve işletmeleri, volkanik hareketler gibi doğal süreçlerle tarımsal gübreleme ve pestisit kullanımı gibi uygulamalar, ağır metal kirliliğine yol açan başlıca unsurlar arasında yer alır. Bu durum, çevresel ve ekolojik dengenin sürdürülebilirliği üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır (Zengin ve Munzuroğlu 2003).

Ağır metaller, modern endüstriyel üretim ve teknolojik süreçler açısından büyük bir öneme sahiptir. Ancak bu süreçlerde kullanılan kimyasal maddeler, çevreye yayıldıkları bölgelerde statik kalma eğiliminde olmazlar. Aksine, aktif veya pasif yollarla çevresel unsurlar arasında hareket ederek hava, su ve toprak ortamlarına bulaşır ve ekosistem içerisinde geniş ölçekli bir taşınım ve yayılma gösterirler. Bu taşınım süreci sonucunda, atmosferden toprağa, topraktan bitkilere ve nihayetinde bitkilerden besin zinciri aracılığıyla hayvanlara ve insanlara ulaşabilmektedirler. (Goix ve ark., 2015; Shahid ve ark., 2017, Erdem, 2018). Bu durum, ağır metallerin doğrudan ya da dolaylı yollarla biyolojik varlıklar üzerinde etkili olması nedeniyle onları halk sağlığı ve çevre açısından çok ciddi bir tehdit unsuru haline getirmektedir. Bu karmaşık etkileşimler ve dönüşümler, ekosistem dengesini bozmakla kalmayıp insan sağlığı üzerinde de önemli derecede risk oluşturmaktadır. (Aslanhan, 2012; Erdem, 2018).

Yüksek yapılı bitkiler, likenler ve yosunlar gibi organizmalardan farklı olarak, çeşitli özelliklere sahip farklı organellerden meydana gelir. Bu organellerin her biri, kimyasal yapıları ve metabolik işlevleri nedeniyle birbirinden farklı ağır metal biriktirme potansiyeline sahip olabilir. Örneğin, Norouzi ve arkadaşlarının 2016

yılındaki çalışmasında da vurgulandığı gibi, bu farklılıklar yüksek yapılı bitkilerin ağır metal akümülyasyonu açısından geniş bir kullanım potansiyeli sunmasına olanak tanımaktadır. Bundan dolayı, söz konusu bitkilerin çeşitli organelleri, çevresel ağır metal kirliliğini belirlemede etkili birer biyolojik gösterge olarak kullanılabilir. Yapılan çalışmalar, bu bağlamda bitkilerin yapraklarının (Saleh, 2018; Sevik ve ark., 2018; Özel ve ark., 2015), dallarının, tohumlarının (Elfantazi ve ark., 2018), kabuklarının (Turkyılmaz ve ark., 2018) ve odunlarının ağır metal konsantrasyonlarının analizi açısından değerlendirildiğini göstermektedir. Özellikle Clemens ve Ma'nın (2016) ile Ugulu ve arkadaşlarının (2016) çalışmaları, bu organellerin çevresel kirlilik izleme çalışmalarında önemini bir kez daha ortaya koymaktadır. Bu tür araştırmalar hem ekolojik değerlendirmelerde hem de sürdürülebilir bir çevre yönetimi planlamasında öneriler sunar.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Çalışma yeri

Çalışma 2024 Eylül ayında Kazova bölgesinde belirlenen tarımsal uygulamaların (özellikle ilaçlama ve gübreleme) düzenli olarak yapıldığı bağ, sebze, meyve ve çayır-mera arazilerinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1. Toprak örneklerinin alındığı bazı alanlar

Çizelge 3.1. Çayır-Mera arazilerinden alınan toprakların konum ve kullanılan ilaç – gübre bilgileri

ÇAYIR-MERA	KONUM	KULLANILAN GÜBRE ve İLAÇLAR
ÇAYIR MERA -1	40.299242,36.362351	-Bilinmiyor
ÇAYIR MERA -2	40.300912,36.365775	-Bilinmiyor
ÇAYIR MERA -3	40.304260,36.366095	-Bilinmiyor
ÇAYIR MERA -4	40.297688,36.361368	-İlaç ve Gübre Uygulanmamış
ÇAYIR MERA -5	40.287403,36.367567	-İlaç ve Gübre Uygulanmamış

Çizelge 3.2. Bağ arazilerinden alınan toprakların konum ve kullanılan ilaç – gübre bilgileri

BAĞ ARAZİSİ	KONUM	KULLANILAN GÜBRE ve İLAÇLAR
BAĞ -1	40.286800,36.367331	-Organik Çiftlik Gübresi -Sıvı Kükürt
BAĞ -2	40.289177,36.366080	-Bilinmiyor
BAĞ -3	40,3007720,36,3663060	-Organik Çiftlik Gübresi
BAĞ -4	40.287292,36.366235	-15-15-15 NPK Gübre -Sıvı Kükürt -Üre Gübresi
BAĞ -5	40.290112,36.369764	-İlaç ve Gübre Uygulanmamış

Çizelge 3.3. Meyve (Kiraz) arazilerinden alınan toprakların konum ve kullanılan ilaç – gübre bilgileri

KİRAZ ARAZİSİ	KONUM	KULLANILAN GÜBRE ve İLAÇLAR
KİRAZ -1	40.287339,36.368188	-İlaç ve Gübre Uygulanmamış
KİRAZ -2	40.300236,36.366666	-Organik Çiftlik Gübresi -Ağaçlara Kireç Uygulaması -Decis (İnsektisit) Tarım İlacı
KİRAZ -3	40.289595,36.370905	-DAP Gübre -Decis (İnsektisit) Tarım İlacı -Calypso Tarım İlacı
KİRAZ -4	40.289669,36.365030	-20-20-20 NPK Gübre -Bellis (Fungusit) -Mavrik 2f (İnsektisit) -Giberellik Asit
KİRAZ -5	40.295181,36.359664	-DAP Gübre -Organik Çiftlik Gübresi -Bellis (Fungusit) -Mavrik 2f (İnsektisit) -Giberellik Asit

Çizelge 3.4. Sebze (Fasülye) arazilerinden alınan toprakların konum ve kullanılan ilaç – gübre bilgileri

FASÜLYE ARAZİSİ	KONUM	KULLANILAN GÜBRE ve İLAÇLAR
FASÜLYE -1	40.288228,36.360882	-Üre Gübresi
FASÜLYE -2	40.289956,36.363968	-Üre Gübresi
FASÜLYE -3	40.300346,36.366596	-Organik Çiftlik Gübresi -İnsektisit (%20 Acetamiprid Aktif Maddeli)
FASÜLYE -4	40.290563,36.370269	-Bilinmiyor
FASÜLYE -5	40.295126,36.359151	-Organik Çiftlik Gübresi -Üre Gübresi -Hüyük ve Fulvik Asit -Yieldon - Biostimulant -Peters 10-52-10 Gübre -Solucan Gübresi -Sıvı Kükürt

3.1.2 Araştırmada kullanılan toprak materyali

Farklı kullanım alanlarını içeren (bağ, sebze, meyve ve çayır-mera) Tokat Kazova bölgesindeki toprakların ağır metal konsantrasyonunu belirlemek amacıyla 80 farklı istasyondan (20 örnek bağ, 20 örnek sebze bahçesi, 20 örnek meyve bahçesi ve 20 örnek çayır-mera alanı) toprak örnekleri alınmıştır. Bağ olarak Narince üzüm çeşidinin bulunduğu arazilerden, sebze bahçesi olarak fasulye yetiştirilen alanlar, meyve olarak

kiraz bahçelerinden ve çayır-mera arazilerinden örnekleme yapılmıştır. Toprak örnekleri sonbahar ayında alınmıştır. Bu toprak materyali alımında çiftçilerin yaptığı tarımsal uygulamaların düzeylerine bakılmıştır. Örneğin; 5 farklı bağda doğal yollarla ürün yetiştirilen, gübreleme yapılan hem gübre hem ilaç uygulaması yapılan şekilde değerlendirmeler dikkate alınarak örnekleme yapılmıştır. Aynı örnekleme şekli sebze, meyve ve çayır-mera alanları içinde geçerli olmaktadır. Bağ ve meyve bahçelerinde 0-30cm ve 30-60 cm, sebze ve çayır-mera alanlarından 0-30cm derinlikte örnekleme yapılmıştır. Toplamda 90 toprak örneğinde analizler gerçekleştirilmiştir.

3.2 Yöntem

3.2.1. Toprak numunelerinin alınması

Tespit edilen noktalardan numuneler alınırken yüzeydeki taş, çakıl, bitki örtüsü vb. temizlendikten sonra topraktaki ağır metalleri tespit etmek için, 0-20 cm'lik toprak katını temsil eden her 1 kg toprak numunesi plastik poşetlerle alınmıştır (Kaçar, 2009).

3.2.2. Toprak numunelerinin analize hazırlanması

Toprak analizleri için toprak örnekleri kurutma kağıtlarının üzerlerine serilmiş ve serilen hava kurusu toprak örnekleri 2 mm'lik elekten geçirilerek toprak analizleri için ön hazırlıkları tamamlanmıştır.



Şekil 3.2. Toprak örneklerinin tartılması

3.2.3. Analiz yöntemleri

3.2.3.1 Bünye Tayini

Toprağın % kum, silt, kil oranının ifadesi toprak tekstürü olarak ifade edilmektedir. Deneme toprağı Bouyocous yöntemi kullanılarak analiz edilip ve tekstür üçgeni kullanılarak hesaplanmıştır (Bouyocous, 1951).



Şekil 3.3. Bünye analizi

3.2.3.2. Toprak Reaksiyonu (pH) Analizi

Deneme toprağının pH'sı 1:2.5 toprak:saf su çözeltisindeki H⁺ iyonu konsantrasyonu ph metre ile potansiyometrik olarak belirlenmiştir (McLean, 1982).

3.2.3.3. Elektriksel İletkenlik (EC) Tayini (mmhos/cm)

Deneme toprağının doygun ekstraktındaki iletkenliği, iletkenlik ölçer (kondaktivimetre) aletiyle 1:5 toprak:saf su çözeltisi oranında ölçülmüştür.



Şekil 3.4. pH ve EC analizleri

3.2.3.4. Kireç Tayini

Kalsimetre yöntemi %10'luk HCL asit ile reaksiyona giren toprakta kalsiyum karbonatın parçalanması ile açığa çıkan CO₂ hacminin kapalı boruda ölçülmesi prensibine dayanmaktadır. Bu prensibe göre 0.5 g tartılan toprak örnekleri %10'luk HCL asit ile tepkimesi sonucu ortaya çıkan CO₂ hacmi scheiblerkalsimetresi ile belirlenmiştir (Nelson, 1982).



Şekil 3.5. Kireç tayini

3.2.3.5. Organik Madde Miktarı

Organik madde analizi, Walkley-Black yöntemine göre belirlenmiştir (Nelson ve Sommers, 1996). Walkley-Black tayininin prensibi; toprağın potasyum dikromat ve sülfürik asit tepkimesi sonucunda toprak içerisindeki organik karbonun potasyum dikromat ile yükseltgenmesini sağlamak ve oksitlenme için kullanılan miktardan artan potasyum dikromat çözeltisini standart demir sülfat ile titrasyon yapılmasıyla toprakta bulunan karbonu ölçerek organik madde miktarının belirlenmesine dayanmaktadır. Deneme toprağında organik madde tayini yapılmış ve sonuçları % olarak ifade edilmiştir.



Şekil 3.6. Organik madde analizi

3.2.3.6. Yarayışlı Fosfor (mg.kg-1)

Esktrakt çözeltilisi olarak kullanılan 0.5 M Sodyum bikarbonatın toprak örneği ile karıştırılması sonucu ekstrakt çözeltilisinde geçen fosfor, molibdofosforik mavi renk yöntemine göre spektrofotometre kullanılarak belirlenmiştir (Olsen ve ark., 1954).

3.2.3.7. Yarayışlı Potasyum (mg.kg-1)

Esktrakt çözeltilisi olarak kullanılan 1 N amonyum asetat'ın toprak örneği ile karıştırılması sonucu ekstrakt çözeltilisinde geçen potasyum, flamephotometer kullanılarak belirlenmiştir (Black ve ark., 1965).

3.2.3.8. Topraklarda Ağır Metallerin Belirlenmesi

Çalışma alanından örneklenen toprakların bir kileyt olan DTPA'nın (Dietilenpentaasetikasit) toprakta bulunan Kadmiyum (Cd), Kurşun (Pb), Nikel (Ni), Krom (Cr), Demir (Fe), Çinko (Zn), Bakır (Cu) ile çözülebilir kompleks oluşturur.

Topraktan süzülen süzükte bulunan elementler ICP-OES kullanılarak belirlenmiştir (Lindsay veNorwell, 1978).

3.2.3.9 Toprak Örneklerinde Ağır Metal Kirlilik Parametrelerinin Değerlendirilmesi

Bu çalışmada topraklardaki ağır metal kirlilik seviyelerini belirlemek için Zenginleştirme faktörü (EF), Jeobirikim indeksi (Igeo), Kirlilik faktörü (Cf) ve Kirlilik yük indeksi (PLI) hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplamalarda referans değer olarak Taylor, (1964) tarafından belirlenen yer kabuğu değerleri kullanılmıştır.

- A) Zenginleştirme Faktörü (EF); Çalışma alanlarında insan kaynaklı kirlenme ve kirleticilere bağlı metal kirliliğinin değerlendirilmesinde kullanılan bir yöntemdir. Normalizasyon işlemleri için özellikle Al ve Fe elementleri kullanılmaktadır. Zenginleştirme faktörü aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır (Hasan ve ark., 2013);

$$EF = \frac{(C_X/C_{Fe})_{\text{Toprak}}}{(C_X/C_{Fe})_{\text{referans}}}$$

Burada, (CX/CFe) Toprak: Toprak örneğinde incelenilen metal konsantrasyonunun Fe konsantrasyonuna oranı, (CX/CFe)Referans: Referans örneğinde incelenilen metal konsantrasyonunun Fe konsantrasyonuna oranı

- B) Jeobirikim indeksi (Igeo):Jeobirikim indeksi (Igeo) toprak örneklerinde metal kirliliğini belirlemek için kullanılacaktır. Jeobirikim indeksinin formülü aşağıdaki gibi verilir.

$$I_{\text{geo}} = \log_2 \left(\frac{C_n}{1.5 \cdot B_n} \right)$$

Burada, Cn toprak örneğinde n. ağır metalin ölçülen konsantrasyonu, Bn ise n. elementin yer kabuğu ortalamasındaki jeokimyasal background (referans) değeri ve 1.5 litojenik etkilerden kaynaklanan background matris düzeltme faktörüdür (Al-haidarey ve ark., 2010).

C) Kirlilik faktörü (Cf): Çalışma alanı toprak örneklerindeki ağır metal kirliliğinin boyutu ayrıca kirlilik faktörü (Cf) yöntemi ile hesaplanmış ve değerlendirilmiştir. Buna göre her bir örnekleme noktasındaki metal içeriğinin o metale ait yer kabuğundaki elementin bolluk değerine oranı ile kirlilik faktörü (Cf) hesaplanmıştır. Cf aşağıda verilen denklem ile bulunmaktadır (Hakanson, 1980).

$$C_f = C_{\text{metal}} / C_o$$

C_{metal}: Toprak örneğindeki metal konsantrasyonu, C_o: Yer kabuğundaki metalin bolluk değeri

D) Kirlilik yük indeksi (PLI): Kirlilik yük indeksi (PLI), farklı yerlerin kirlilik durumlarını karşılaştırmak, kirlilik boyutunu ve farklı numune istasyonları boyunca değişimi belirlemek için Tomlinson ve ark., (1980) tarafından oluşturulmuş bir indekstir. Tomlinson ve ark., (1980) tarafından geliştirilen kirlilik yük indeksi (PLI) aşağıdaki denklemle verilmektedir.

$$PLI = \sqrt[n]{C_{f1} \times C_{f2} \times C_{f3} \times \dots \times C_{fn}}$$

C_f: Kirlilik faktörü, n: Metal sayısı

3.2.3.10. İstatiksel Analizler

Tez çalışmasında elde edilen sonuçlar varyans analizi ile test edilmiş ve uygulamalar arası farklar DUNCAN gruplandırılması ile gruplandırılmıştır. Analizlerde SPSS 21.0 paket programı kullanılmıştır.

4. BULGULAR

4.1. Toprak Örneklerinde Bazı Fiziksel ve Kimyasal Parametrelere Ait Veriler

Tez çalışması kapsamında arazilerden alınan toprak örneklerine ait fiziksel ve kimyasal analizler yapılarak analiz sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Yapılan analizlerin sonucunda çayır mera arazilerinden alınan toprak örneklerinde pH değerleri 7,6 – 8,2 arasında bulunmuştur ve genel olarak alkali karakterli topraklar olarak tanımlanmaktadır. EC değeri 1,7 – 3,3 mmhos/cm arasında değişmekte olup genel olarak tuzsuz topraklar olarak belirlenmiştir. Kireç oranları 7,45 – 32,05 % arasında değişmekte olup arazilerin kireç oranları çok kireçli olarak ifade edilmektedir. Organik madde içeriklerine bakıldığında 1,90 – 3,99 % arasında değişmekte olup organik madde bakımından iyi olarak tanımlanmaktadır.

Fasülye ekimi yapılan arazilerinden alınan toprak örneklerinde pH değerleri 7,3 – 7,8 arasında bulunmuştur ve genel olarak nötr karakterli topraklar olarak tanımlanmaktadır. EC değeri 1 – 3,4 mmhos/cm arasında değişmekte olup genel olarak tuzsuz topraklar olarak belirlenmiştir. Kireç oranları 9,69 – 18,64 % arasında değişmekte olup arazilerin kireç oranları kireçli olarak ifade edilmektedir. Organik madde içeriklerine bakıldığında 0,31 – 3,12 % arasında değişmekte olup organik madde bakımından düşük olarak tanımlanmaktadır.

Kiraz ekimi yapılan arazilerinden iki farklı derinlikte 0 – 30 cm ve 30 – 60 cm olmak üzere toprak örneği alınmıştır. Alınan toprak örneklerinde 0 - 30 cm derinlikte pH değerleri 7,5 – 7,8 arasında bulunmuştur ve genel olarak nötr karakterli topraklar olarak tanımlanmaktadır. EC değeri 0,9 – 3 mmhos/cm arasında değişmekte olup genel olarak tuzsuz topraklar olarak belirlenmiştir. Kireç oranları 8,95 – 12,67 % arasında değişmekte olup arazilerin kireç oranları kireçli olarak ifade edilmektedir. Organik madde içeriklerine bakıldığında 1,07 – 2,64 % arasında değişmekte olup organik madde bakımından orta olarak tanımlanmaktadır. Alınan toprak örneklerinde 30 – 60 cm derinlikte pH değerleri 7,6 – 7,9 arasında bulunmuştur ve genel olarak alkalın karakterli topraklar olarak tanımlanmaktadır. EC değeri 0,8 – 1,6 mmhos/cm arasında değişmekte olup genel olarak tuzsuz topraklar olarak belirlenmiştir. Kireç oranları 5,22 – 11,93 % arasında değişmekte olup arazilerin kireç oranları kireçli olarak ifade

edilmektedir. Organik madde içeriklerine bakıldığında 2,03 – 3,92 % arasında değişmekte olup organik madde bakımından orta olarak tanımlanmaktadır.

Çizelge 4.1. Toprak örneklerine ait fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları

Örnekler	pH	Kireç (%CaCO ₃)	EC (mmhos/cm)	Organik Madde (%)
Çayır Mera1	7,6	13,42	3,3	3,11
Çayır Mera2	7,7	17,15	1,7	3,13
Çayır Mera3	7,8	32,05	1,8	3,99
Çayır Mera4	8,2	17,89	2,2	1,90
Çayır Mera5	7,7	7,45	2	3,18
Fasülye1	7,3	18,64	3,4	0,31
Fasülye2	7,5	14,16	2,1	0,92
Fasülye3	7,8	14,91	1,1	
Fasülye4	7,6	9,69	1,4	0,96
Fasülye5	7,8	14,91	1	3,12
Kiraz1	7,6	8,95	1,4	1,07
Kiraz2	7,8	11,18	1	2,64
Kiraz3	7,7	11,18	1,1	
Kiraz4	7,6	12,67	0,9	1,87
Kiraz5	7,5	10,44	3	1,18
Kiraz1(30-60)	7,7	5,22	1	2,03
Kiraz2(30-60)	7,9	11,93	0,8	
Kiraz3(30-60)	7,7	8,95	1,2	3,92
Kiraz4(30-60)	7,6	11,18	1	3,37
Kiraz5(30-60)	7,7	11,18	1,6	2,31
Bağ1	7,6	12,67	1,4	2,59
Bağ2	7,7	14,91	1,1	0,67
Bağ3	7,7	16,40	1,9	2,85
Bağ4	7,4	14,91	2,5	3,77
Bağ5	7,6	9,69	1,1	
Bağ1(30-60)	7,7	11,18	1,4	2,64
Bağ2(30-60)	7,8	12,67	1,1	1,61
Bağ3(30-60)	7,8	17,15	2,1	
Bağ4(30-60)	7,6	16,40	1,9	0,55
Bağ5(30-60)	7,8	7,45	1	

Bağ üretimi yapılan arazilerinden iki farklı derinlikte 0 – 30 cm ve 30 – 60 cm olmak üzere toprak örneği alınmıştır. Alınan toprak örneklerinde 0 - 30 cm derinlikte pH değerleri 7,4 – 7,7 arasında bulunmuştur ve genel olarak alkalın karakterli topraklar olarak tanımlanmaktadır. EC değeri 1,1 – 2,5 mmhos/cm arasında değişmekte olup genel olarak tuzsuz topraklar olarak belirlenmiştir. Kireç oranları 9,69 – 16,40 %

arasında değişmekte olup arazilerin kireç oranları kireçli olarak ifade edilmektedir. Organik madde içeriklerine bakıldığında 0,67 – 2,77 % arasında değişmekte olup organik madde bakımından orta olarak tanımlanmaktadır. Alınan toprak örneklerinde 30 – 60 cm derinlikte pH değerleri 7,6 – 7,8 arasında bulunmuştur ve genel olarak alkalın karakterli topraklar olarak tanımlanmaktadır. EC değeri 1 – 2,1 mmhos/cm arasında değişmekte olup genel olarak tuzsuz topraklar olarak belirlenmiştir. Kireç oranları 7,45 – 17,15 % arasında değişmekte olup arazilerin kireç oranları kireçli olarak ifade edilmektedir. Organik madde içeriklerine bakıldığında 0,55 – 2,64 % arasında değişmekte olup organik madde bakımından düşük olarak tanımlanmaktadır. Araştırma yöresi toprakları organik madde bakımından fakirdir. Toprak derinliği arttıkça organik madde kapsamı azalmıştır. Üst toprakta organik maddenin çokluğu, tarımsal uygulamalar, organik materyal ilavesi, hayvansal ve bitkisel artıklar ile mikro ve makro organizma aktivitelerinin daha fazla olmasından kaynaklanabilir. Araştırma yöresi toprakları organik madde bakımından fakir olduğundan dolayı organik maddeyi artırıcı uygulamalara geçilmesi gerekmektedir. Topraklarda az miktarlarda bulunan organik madde toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine çok önemli katkılar yapmaktadır. Toprağın iyi bir strüktür kazanması, agregatların stabil hale gelmesi, toprağın su tutma kapasitesinin artması, havalanma ve tav durumunu uzun süre koruması, kation değişim kapasitesini artırması, ayrışma sonucu bünyesindeki birçok besin elementini toprağa bırakması, topraktaki biyolojik aktiviteyi artırması gibi birçok faydaları vardır.

Yapılan bünye analizlerinin sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre çayır mera alanlarında %19,43 – 30,22 kil, % 33,07 – 63,30 kum ve % 17,27 – 36,70 silt içermektedir. Ortalama olarak çayır mera alanlarındaki hakim toprak bünyesi kumlu killi tın yapısındadır. Fasülye üretimi yapılan alanlarda %21,59– 32,38 kil, % 23,75 – 28,07 silt ve % 39,55 – 54,66 kum içermektedir. Ortalama olarak bu alanlardaki hakim toprak bünyesi kumlu killi tın yapısındadır. Kiraz üretimi yapılan alanlarda %17,27– 30,22 kil, % 15,11 – 30,22 silt ve % 39,55 – 67,62 kum içermektedir. Ortalama olarak bu alanlardaki hakim toprak bünyesi kumlu killi tın yapısındadır. Bağ üretimi yapılan alanlarda %15,11– 34,54 kil, % 19,43 – 30,22 silt ve % 35,23 – 65,46 kum içermektedir. Ortalama olarak bu alanlardaki hakim toprak bünyesi kumlu killi tın yapısındadır.

Çizelge 4.2. Toprak örneklerine ait bünye analiz sonuçları

Örnekler	%Kil	%Silt	%Kum	Tekstür Sınıfı
Çayır Mera1	30,22	30,22	39,55	Killi Tın
Çayır Mera2	25,91	23,75	50,35	Kumlu killi tın
Çayır Mera3	19,43	17,27	63,30	Kumlu tın
Çayır Mera4	30,22	36,70	33,07	Tın
Çayır Mera5	21,59	25,91	52,50	Kumlu killi tın
Fasülye1	21,59	23,75	54,66	Kumlu killi tın
Fasülye2	21,59	23,75	54,66	Kumlu killi tın
Fasülye3	32,38	28,07	39,55	Killi tın
Fasülye4	23,75	25,91	50,35	Kumlu killi tın
Fasülye5	28,07	23,75	48,19	Killi tın
Kiraz1	17,27	21,59	61,14	Kumlu tın
Kiraz2	30,22	30,22	39,55	Killi tın
Kiraz3	25,91	23,75	50,35	Killi tın
Kiraz4	17,27	23,75	58,98	Kumlu tın
Kiraz5	17,27	15,11	67,62	Kumlu tın
Bağ1	25,91	23,75	50,35	Kumlu killi tın
Bağ2	15,11	19,43	65,46	Kumlu tın
Bağ3	36,70	28,07	35,23	Killi tın
Bağ4	25,91	23,75	50,35	Kumlu killi tın
Bağ5	17,27	19,43	63,30	Kumlu killi tın

4.2. Bitki Besin Elementi Analizleri

Deneme alanından alınan toprak örneklerine ait ağır metal konsantrasyonları çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çayır mera alanlarından alınan toprak örneklerinde demir içerikleri 0,63 – 3,755 ppm; bakır içerikleri 0,464 – 1,246 ppm; çinko içerikleri 0,015 – 0,105 ppm; mangan içerikleri 0,485 – 0,995 arasında değişmektedir.

Fasülye üretimi yapılan alanlardan alınan toprak örneklerinde demir içerikleri 0,606 – 1,216 ppm; bakır içerikleri 0,476 – 0,746 ppm; çinko içerikleri 0,029 – 0,224 ppm; mangan içerikleri 0,288 – 0,769 arasında değişmektedir.

Kiraz alanlarından 0 – 30 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde demir içerikleri 0,47 – 1,867 ppm; bakır içerikleri 0,722 – 2,049 ppm; çinko içerikleri 0,015 – 0,144

ppm; mangan içerikleri 0,404 – 0, 702 arasında değişmektedir. 30 – 60 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde demir içerikleri 0,492 – 1,874 ppm; bakır içerikleri 0,66 – 3,043 ppm; çinko içerikleri 0,071 – 0,128 ppm; mangan içerikleri 0,442 – 0, 783 arasında değişmektedir.

Bağ alanlarından 0 – 30 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde demir içerikleri 0,46 – 0,873 ppm; bakır içerikleri 0,512 – 1,022 ppm; çinko içerikleri 0,008 – 0,245 ppm; mangan içerikleri 0,27 – 0, 526 arasında değişmektedir. 30 – 60 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde demir içerikleri 0,0749 – 1,011 ppm; bakır içerikleri 0,703 – 0,346 ppm; çinko içerikleri 0,006 – 0,346 ppm; mangan içerikleri 0,273 – 0,58 arasında değişmektedir. Araştırma yöresinden alınan toprak örnekleri sınır değerleri ile karşılaştırıldığında mikro element içerikleri bakımından hepsi noksan düzeydedir.

Çizelge 4.3: Bitki besin elementi konsantrasyonları

Örnekler	Fe ppm	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm
Çayır – Mera 1	0,63	0,464	0,081	0,639
Çayır – Mera 2	2,222	0,961	0,087	0,995
Çayır – Mera 3	3,685	0,916	0,015	0,762
Çayır – Mera 4	3,755	1,246	0,105	0,485
Çayır – Mera 5	1,401	0,525	0,102	0,799
Fasülye 1	0,823	0,476	0,136	0,769
Fasülye 2	1,216	0,746	0,14	0,567
Fasülye 3	0,606	0,699	0,029	0,374
Fasülye 4	0,647	0,479	0,224	0,601
Fasülye 5	0,746	0,558	0,05	0,288
Kiraz 1 0-30cm	1,019	0,741	0,137	0,508
Kiraz 2 0-30cm	0,47	0,722	0,015	0,404
Kiraz 3 0-30cm	0,623	1,324	0,088	0,583
Kiraz 4 0-30cm	1,867	2,049	0,121	0,59
Kiraz 5 0-30cm	1,085	1,75	0,144	0,702
Kiraz 1 30-60cm	1,141	0,66	0,124	0,62
Kiraz 2 30-60cm	0,492	0,748		0,442
Kiraz 3 30-60cm	0,684	1,018	0,128	0,637
Kiraz 4 30-60cm	1,874	3,043	0,071	0,443
Kiraz 5 30-60cm	1,073	1,159	0,121	0,783
Bağ 1 0-30 cm	0,46	0,512	0,061	0,323
Bağ 2 0-30 cm	0,873	0,866	0,117	0,49
Bağ 3 0-30 cm	0,831	0,966	0,008	0,27
Bağ 4 0-30 cm	0,805	0,944	0,245	0,526
Bağ 5 0-30 cm	0,697	1,022	0,092	0,405
Bağ 1 30-60cm	0,749	0,703	0,087	0,517
Bağ 2 30-60cm	1,011	0,868	0,346	0,542
Bağ 3 30-60cm	0,915	0,989	0,006	0,273
Bağ 4 30-60cm	0,979	0,972	0,227	0,58
Bağ 5 30-60cm	0,806	0,935	0,067	0,523

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalışma 2024 Eylül ayında Kazova bölgesinde belirlenen tarımsal uygulamaların (özellikle ilaçlama ve gübreleme) düzenli olarak yapıldığı bağ, sebze, meyve ve çayır-mera arazilerinde gerçekleştirilmiştir.

Yapılan analizlerin sonucunda çayır mera arazilerinden alınan toprak örneklerinde pH değerleri 7,6 – 8,2 arasında bulunmuştur ve genel olarak alkali karakterli topraklar olarak tanımlanmaktadır. EC değeri 1,7 – 3,3 mmhos/cm arasında değişmekte olup genel olarak tuzsuz topraklar olarak belirlenmiştir. Kireç oranları 7,45 – 32,05 % arasında değişmekte olup arazilerin kireç oranları çok kireçli olarak ifade edilmektedir. Organik madde içeriklerine bakıldığında 1,90 – 3,99 % arasında değişmekte olup organik madde bakımından iyi olarak tanımlanmaktadır.

Fasülye ekimi yapılan arazilerinden alınan toprak örneklerinde pH değerleri 7,3 – 7,8 arasında bulunmuştur ve genel olarak nötr karakterli topraklar olarak tanımlanmaktadır. EC değeri 1 – 3,4 mmhos/cm arasında değişmekte olup genel olarak tuzsuz topraklar olarak belirlenmiştir. Kireç oranları 9,69 – 18,64 % arasında değişmekte olup arazilerin kireç oranları kireçli olarak ifade edilmektedir. Organik madde içeriklerine bakıldığında 0,31 – 3,12 % arasında değişmekte olup organik madde bakımından düşük olarak tanımlanmaktadır.

Kiraz ekimi yapılan arazilerinden iki farklı derinlikte 0 – 30 cm ve 30 – 60 cm olmak üzere toprak örneği alınmıştır. Alınan toprak örneklerinde 0 - 30 cm derinlikte pH değerleri 7,5 – 7,8 arasında bulunmuştur ve genel olarak nötr karakterli topraklar olarak tanımlanmaktadır. EC değeri 0,9 – 3 mmhos/cm arasında değişmekte olup genel olarak tuzsuz topraklar olarak belirlenmiştir. Kireç oranları 8,95 – 12,67 % arasında değişmekte olup arazilerin kireç oranları kireçli olarak ifade edilmektedir. Organik madde içeriklerine bakıldığında 1,07 – 2,64 % arasında değişmekte olup organik madde bakımından orta olarak tanımlanmaktadır. Alınan toprak örneklerinde 30 – 60 cm derinlikte pH değerleri 7,6 – 7,9 arasında bulunmuştur ve genel olarak alkalin karakterli topraklar olarak tanımlanmaktadır. EC değeri 0,8 – 1,6 mmhos/cm arasında değişmekte olup genel olarak tuzsuz topraklar olarak belirlenmiştir. Kireç oranları 5,22

– 11,93 % arasında değişmekte olup arazilerin kireç oranları kireçli olarak ifade edilmektedir. Organik madde içeriklerine bakıldığında 2,03 – 3,92 % arasında değişmekte olup organik madde bakımından orta olarak tanımlanmaktadır.

Bağ üretimi yapılan arazilerinden iki farklı derinlikte 0 – 30 cm ve 30 – 60 cm olmak üzere toprak örneği alınmıştır. Alınan toprak örneklerinde 0 - 30 cm derinlikte pH değerleri 7,4 – 7,7 arasında bulunmuştur ve genel olarak alkalın karakterli topraklar olarak tanımlanmaktadır. EC değeri 1,1 – 2,5 mmhos/cm arasında değişmekte olup genel olarak tuzsuz topraklar olarak belirlenmiştir. Kireç oranları 9,69 – 16,40 % arasında değişmekte olup arazilerin kireç oranları kireçli olarak ifade edilmektedir. Organik madde içeriklerine bakıldığında 0,67 – 2,77 % arasında değişmekte olup organik madde bakımından orta olarak tanımlanmaktadır. Alınan toprak örneklerinde 30 – 60 cm derinlikte pH değerleri 7,6 – 7,8 arasında bulunmuştur ve genel olarak alkalın karakterli topraklar olarak tanımlanmaktadır. EC değeri 1 – 2,1 mmhos/cm arasında değişmekte olup genel olarak tuzsuz topraklar olarak belirlenmiştir. Kireç oranları 7,45 – 17,15 % arasında değişmekte olup arazilerin kireç oranları kireçli olarak ifade edilmektedir. Organik madde içeriklerine bakıldığında 0,55 – 2,64 % arasında değişmekte olup organik madde bakımından düşük olarak tanımlanmaktadır.

Araştırma yapılan topraklar pH yönünden değerlendirildiğinde çayır mera alanları ve kiraz bahçesi 0-30 cm derinliğindeki topraklarda nötr karakterli olduğu için bitki besin elementi yararışlılığı açısından herhangi bir olumsuz durum söz konusu değilken, diğer alanlarda pH alkalın karakterli olduğu için bitki besin elementlerinin yararışlılık düzeyleri azalmaktadır.

Örnekleme yapılan alanların kireç içerikli genelinde yüksek olarak tanımlanmaktadır.

Yapılan bünye analizlerinin sonuçlarına göre çayır mera alanlarında %19,43 – 30,22 kil, % 33,07 – 63,30 kum ve % 17,27 – 36,70 silt; fasülye üretimi yapılan alanlarda %21,59– 32,38 kil, % 23,75 – 28,07 silt ve % 39,55 – 54,66 kum; kiraz üretimi yapılan alanlarda %17,27– 30,22 kil, % 15,11 – 30,22 silt ve % 39,55 – 67,62 kum; bağ üretimi yapılan alanlarda %15,11– 34,54 kil, % 19,43 – 30,22 silt ve % 35,23 – 65,46 kum içermektedir. Ortalama olarak bu alanlardaki hakim toprak bünyesi kumlu

killi tın yapısındadır. Kazova bölgesi toprak yapısına bakıldığında verimli topraklar olarak nitelendirilmektedir.

Çayır mera alanlarından alınan toprak örneklerinde demir içerikleri 0,63 – 3,755 ppm; bakır içerikleri 0,464 – 1,246 ppm; çinko içerikleri 0,015 – 0,105 ppm; mangan içerikleri 0,485 – 0, 995 arasında değişmektedir.

Fasülye üretimi yapılan alanlardan alınan toprak örneklerinde demir içerikleri 0,606 – 1,216 ppm; bakır içerikleri 0,476 – 0,746 ppm; çinko içerikleri 0,029 – 0,224 ppm; mangan içerikleri 0,288 – 0, 769 arasında değişmektedir.

Kiraz alanlarından 0 – 30 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde demir içerikleri 0,47 – 1,867 ppm; bakır içerikleri 0,722 – 2,049 ppm; çinko içerikleri 0,015 – 0,144 ppm; mangan içerikleri 0,404 – 0, 702 arasında değişmektedir. 30 – 60 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde demir içerikleri 0,492 – 1,874 ppm; bakır içerikleri 0,66 – 3,043 ppm; çinko içerikleri 0,071 – 0,128 ppm; mangan içerikleri 0,442 – 0, 783 arasında değişmektedir.

Bağ alanlarından 0 – 30 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde demir içerikleri 0,46 – 0,873 ppm; bakır içerikleri 0,512 – 1,022 ppm; çinko içerikleri 0,008 – 0,245 ppm; mangan içerikleri 0,27 – 0, 526 arasında değişmektedir. 30 – 60 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde demir içerikleri 0,0749 – 1,011 ppm; bakır içerikleri 0,703 – 0,346 ppm; çinko içerikleri 0,006 – 0,346 ppm; mangan içerikleri 0,273 – 0,58 arasında değişmektedir.

Sonuç olarak; yöre topraklarında verim ve kalitenin yükseltilebilmesi için diğer tarımsal uygulamalar ile birlikte bilinçli gübreleme ve dengeli beslemeye yönelik çalışmaların pratik olarak hayata geçirilmesi gerekmektedir. Toprak analizlerine dayalı bilinçli gübrelemenin halen sınırlı olduğu Tokat ilinde, yetiştirilen ürünlerin sağlıklı beslenip beslenemediklerinin toprak ve bitki analizleri ile ortaya konması, yörede yaygın olan farklı bitki türlerinin beslenme durumlarının karşılaştırılması, elde edilecek olan bulgular eşliğinde etkili gübreleme programlarına yön verilmesi, bilinçli ve sürdürülebilir tarım açısından önemli kazanımlar sağlayacaktır.

6. KAYNAKÇA

- Adriano DC, Wenzel WW, Vangronsveld J and Bolan NS (2004). Role of assisted natural remediation in environmental cleanup. *Geoderma*, 122: 121-142.
- Akıncı, İ. E., Akıncı, S., Yılmaz, K., 2010. Response of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) to Lead Toxicity: Growth, Element Uptake, Chlorophyll and Water Content, *African Journal of Agricultural Research*, 5(6): 416-423
- Aksu E, Yıldız N. Heavy Metal Stress and Tolerance of Plants. *International Soil Congress on Natural Resource Management for Sustainable Development*. Erz.: 2004. p. 54.
- Akyıldız, M., & Karataş, B. (2018). Adana Şehir Merkezindeki Topraklarda Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(2), 199-214.
- Albulescu, M., Turugaa, L., Popovicia, H., Masub, S., Uruioaca, S., Kiralya, L. 2009., Study Regarding The Heavy Metals Content (Lead, Nickel, Chromium, Cadmium) In Soil.
- Al-haidarey, M.J.S., Hassan, F.M., Al-kubaisey, A.R A., ve Douabul, A.A.Z., (2010). The geoaccumulation index of some heavy metals in Al-Hawizeh Marsh, Iraq. *E. Journal of Chemistry*, 7, 157–162.
- Alkan, A., Serdar S., Zengin B., Yeşilırmak ve Kızılırmak Nehirlerinde Su Kalite Kriterlerinin İncelenmesi. *Su Ürünleri Merkez Araştırma Enstitüsü, Trabzon*, 2009.
- Almasi A, Dargahi A, Ahagh MMH, Janjani H, Mohammadi M and Tabandeh L (2016). Efficiency of a constructed wetland in controlling organic pollutants, nitrogen, and heavy metals from sewage. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, 9: 2924-2928.
- Aslanhan, E. (2012). Çevresel Kirliliklerin Takibinde Kullanılacak Yeni Biyomonitör Bitkiler. Yüksek Lisans Tezi, Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kırşehir.
- Asri, FÖ. ve Sönmez, S. ,2006. Ağır Metal Toksisitesinin Bitki Metabolizması Üzerine Etkileri. *Derim, Batı Akdeniz Tarımsal Enstitüsü, Dergisi, Cilt 23 (2): 36-45.*

- Ayangbenro AS and Babalola OO (2017). A new strategy for heavy metal polluted environments: A review of microbial biosorbents. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(1): 94
- Aybar M, Bilgin A ve Sağlam B (2015). Fitoremediasyon yöntemi ile topraktaki ağır metallerin giderimi, *Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 1(1-2): 59-65
- Aydemir, G., 2008. Afşin-Elbistan Termik Santrali Emisyonlarının Yöre Topraklarına Etkilerinin Belirlenmesi. Ankara Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara. Yüksek Lisans Tezi.
- Azhar ATS and Nabila ATA, Nurshuhaila MS, Zaidi E, Azim, MAM and Farhana SMS (2016). Assessment and comparison of electrokinetic and electrokinetic bioremediation techniques for mercury contaminated soil. *International engineering research and innovation symposium (IRIS) IOP Publishing IOP Conference Series. Materials Science Engineering*, 160: 1-8.
- Başkaya, HS ve Teksoy, A,1997. Topraklarda ağır metaller ve ağır metal kirliliği, I. Uludağ Çevre Mühendisliği Sempozyumu, s:763-771, Bursa
- Bhandari A, Surampalli, RY, Champagne P, Ong SK, Tyagi RD and Lo IMC (2007). Remediation technologies for soils and groundwater. *Remediat. Remediation Technologies for Soils and Groundwater*, 60: 1-449.
- Bilge, U., 2011. Viranşehir-Kızıltepe Karayolu Kenarındaki Topraklarda Motorlu Taşıtlardan Kaynaklanan Ağır Metal Kirliliği. Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van.
- Black CA, Evans DD, White, JL (1965) *Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties* (No. 631.410287/B627 V. 2). ASA.
- Bouyoucos, G.H. (1951) A Recalibration of the Hydrometer for Making Mechanical Analysis of Soils. *Agronomy Journal*, 43, 434-438.
- Braz J. Copper in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 2005; 17:145-146.

- Chen M, Xu P, Zeng G, Yang, C, Huang D and Zhang J (2015). Bioremediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons, petroleum, pesticides, chlorophenols and heavy metals by composting: Applications, microbes and future research needs. *Biotechnology Advances*, 33: 745-755.
- Clemens, S., & Ma, J. F. 2016). Toxic heavy metal and metalloid accumulation in crop plants and foods. *Annual review of plant biology*, 67, 489-512.
- Coelho M, Luciene M, Rezende HC, Coelho Luciana M, de Sousa PAR, Melo DFO and Coelho NMM (2015). Bioremediation of polluted waters using microorganisms. *Adv. Bioremediation Wastewater Polluted Soil*, 1-22
- Cüre, B. (2022). Kimyasal ve Organik Gübrelerin Çevre Üzerine Etkisi. *Uluslararası Biyosistem Mühendisliği Dergisi*, 3(2), 98-107.
- Çağlarırnak N, Hepçimen AZ. Ağır metal toprak kirliliğinin gıda zinciri ve insan sağlığına etkisi. *Akademik Gıda Dergisi*. 2010;8(2):31-35.
- Çimrin, K. (2013). Heavy Metal Pollution in Soils Adjacent to the Kızıltepe- Viranşehir Road. *Journal of Agricultural Sciences*, 19(4), 323-329.
- Elfantazi, M.F.M., Aricak, B. & Baba, F.A.M. (2018). Changes in Concentration of Some Heavy Metals in Leaves And Branches of Acer Pseudoplatanus Due to Traffic Density. *International Journal of Trend in Research and Development*,5(2): 704-707.
- Erdem, T. (2018). Ağır Metal Konsantrasyonlarının Bazı Bitkilerde Tür, Organel ve Trafik Yoğunluğuna Bağlı Değişimi, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi
- Dağdeviren, S. (2007). Çorlu ve civarındaki topraklarda ağır metal konsantrasyonunun belirlenmesi ve sonuçların yapay sinir ağları ile değerlendirilmesi. T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Edirne
- Dandan W, Huixin L, Feng H and Xia W (2007). Role of earthworm-straw interactions on phytoremediation of Cu contaminated soil by ryegrass. *Acta Ecologica Sinica*, 27: 1292-1298.

- Derakhshan NZ, Jung MC and Kim KH (2018). Remediation of soils contaminated with heavy metals with an emphasis on immobilization technology. *Environmental Geochemistry and Health*, 40: 927-953.
- Demir, Y., Canbolat, M. Y., & Doğan Demir, A. (2016). Assessment of Some Heavy Metals of Change that Processed and Unprocessed in Lands Throughout Soil Profile. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 26(4), 614-620.
- Demirezen, D., Aksoy A., 2005. Plazma Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES) Kullanılarak Bal Örneklerinde Ağır Metal Tayini, G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 18, 569-575.
- Deniz, M.,2003. Ağır metal kirliliği ve ekosistem üzerine olan etkileri. Trakya Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü
- Dindar E, Şen CN, Topaç ŞFO ve Başkaya HS (2017). Topraklarda organik azot fraksiyonlarının belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32: 767-775.
- Ergün, N., Öncel, Işıl., 2009. Ekmeklik Buğdayda (*Triticum aestivum* L.) İlk Gelişme Döneminde Kök ve Gövde Büyümesi Üzerine Bazı Ağır Metal ve Ağır Metal Hormon Uygulamalarının Etkileri, *Yü Tar Bil Derg*, 19(1): 11-17
- Eyüpoğlu, F.,2002. Türkiye Gübre Gereksinimi, Tüketimi ve Geleceği. Köy Hizm. Gen. Müd. Genel Yay. No: 2, Ankara.
- Goix, S., Mombo, S., Schreck, E., Pierart, A., Lévêque, T., Deola, F. & Dumat, C. (2015). Fieldisotopic study of lead fate and compartmentalization in earthworm-soil-metal particle systems for highly polluted soil near Pbrecycling factory. *Chemosphere* 138,10–17.
- Golui D, Datta SP, Dwivedi BS, Meena MC, Varghese E, Sanyal SK, Ray P, Shukla AK and Trivedi VK (2019). Assessing soil degradation in relation to metal pollution—a multivariate approach. *Soil and Sediment Contamination*, 28: 630-649.

- Gomes HI, Dias FC and Ribeiro AB (2013). Overview of in situ and ex situ remediation technologies for PCB-contaminated soils and sediments and obstacles for full-scale application. *Science of The Total Environment*, 237-260
- Gür N, Topdemir A, Munzuroğlu Ö, Çobanoğlu D. Ağır Metal İyonlarının (Cu, Pb, Hg, Cd) *Clivia sp.* Bitkisi Polenlerinin Çimlenmesi ve Tüp Büyümesi Üzerine Etkileri. *Fırat Üniversitesi Fen ve Matematik Bilimleri Dergisi*. 2004;16(2):177-182.
- Hakanson, L., (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control a sedimentological approach. *Water Research*, 14(8), 975–1001.
- Harguinteguy, C.A., Cofré, M.N., Fernández-Cirelli, A., Pignata, M.L. (2016). The macrophytes *Potamogeton pusillus* L. and *Myriophyllum aquaticum* Vell.) Verdc. as potential bioindicators of a river contaminated by heavy metals. *Microchem. J.* 124 ,228–234.
- Hasan, B.A., Kabir, S., Selim, R.A.H.M., Zaman, M.N., Ahsan, A. and Rashid, M., (2013). Enrichment factor and geo-accumulation index of trace metals in sediments of the ship breaking area of Sitakund Upazilla (Bhatiary–Kumira), Chittagong, Bangladesh, *Journal of Geochemical Exploration*, 125, 130-137.
- Helvacı, C. (2003). Türkiye Borat Yatakları Jeolojik Konumu, Ekonomik Önemi ve Bor Politikası. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1), 4-41.
- Ibrahim ZM, Ghazi SM, Nabawy DM. Alleviation of heavy metals toxicity in waste water used for plant irrigation. *International Journal of Agronomy and Plant Production*. 2013;4(5):976-983
- Jabeen R, Ahmad A and Iqbal M (2009). Phytoremediation of heavy metals: Physiological and molecular mechanisms. *The Botanical Review*, 75: 339-364.
- Jankaite A and Vasarevičius S (2005). Remediation technologies for soils contaminated with heavy metals. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 13: 109-113.

- Jayakumar K, Jaleel CA, Vijayarengan P., Changes in growth, biochemical constituents, and antioxidant potentials in radish (*Raphanus sativus* L.) under cobalt stress. *Turkish Journal of Biology*. 2007;31(3):127–136.
- Kaçar, B., 2009, Toprak Analizleri, Genişletilmiş 2. Baskı, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- Kahvecioğlu, Ö. Kartal G., Güven A., Timur S., 2007 Metallerin Çevresel Etkileri –İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Dergisi 136,137,138
- Kalafatoğlu, Ersan ve Nuran Örs. Tübitak Marmara Araştırma Merkezi, Bor Bileşikleri Durum Değerlendirmesi, Bandırma, 2002.
- Kant, C., & Kızıloğlu, T. (2011). Asit Yağmurlarının Canlılar Üzerine Etkileri / The Effects on Organsms of Acid Rains. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 34(2).
- Karayer, A. (2013). Kırka (Eskişehir) ve çevresindeki bazı tarım alanlarındaki topraklarda ve bitkilerde ağır metal içeriklerinin belirlenmesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir, 2013.
- Kartal, E., 2010. İstanbul Avrupa Yakası D-100 Karayolu Çevresindeki Bazı Ağır Metal Birikimi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Kirpichtchikova TA, Manceau A, Spadini L, Panfili F, Marcus MA and Jacquet T (2006). Speciation and solubility of heavy metals in contaminated soil using X-ray microfluorescence, EXAFS spectroscopy, chemical extraction, and thermodynamic modeling. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70: 2163-2190
- Knezevic, M., Stankovic, D., Krstic, B., Nikolic, M. S., and Dragica, 2009. Concentrations of heavy metals in soil and leaves of plant species *Paulownia elongata* S.Y. Hu and *Paulownia fortunei* Hemsl, *African Journal of Biotechnology*, 8 (20): 5422-5429.
- Kong Z and Glick BR (2017). The role of plant growth-promoting bacteria in metal phytoremediation. *Advances in microbial physiology*, 71: 97-132.
- Lelebici, S. (2020). Bakır ve Çinko Uygulamasının Karbuğdayın (*Fagopyrum Esculentum* Moench.) Bazı Ekofizyolojik Özellikleri Üzerine Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* (19), 796-802.

- Lindsay WI, Norwell WA (1978) Development of DPTA test for Zn Mn Fe and Cu. *Soil Sci Soc Am J*, 42: 421-425
- McLean, E., 1982. Soil pH and Lime Requirement, *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties (methodsofsoilan2)*, 199-224.
- Mikanova, O, 2006. Effects of heavy metals on some biological parameters, *Journal of Geochemical Exploration* 88, 220-223.
- Mikhailenko AV, Ruban DA Ermolaev VA and Loon AJ (2020). Cadmium pollution in the tourism environment: A literature review. *Geosciences*, 10: 1-18.
- Mohanpuria P, Rana NK, Yadav SK. Cadmium induced oxidative stress influence on glutathione metabolic genes of *Camellia sinensis* (L.). *Environmental Toxicology*. 2007; 22: 368-374.
- Navarro A, Cardellach E, Cañadas I and Rodríguez J (2013). Solar thermal vitrification of mining contaminated soils. *International Journal of Mineral Processing*, 119: 65-74
- Nelson, R., 1982, Carbonate and Gypsum, *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties (methodsofsoilan2)*, 181-197.
- Nelson, D.W., Sommers, L.E., 1996. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. *Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods*, 5, 961-1010.
- Norouzi, S., Khademi, H., Cano, A.F., Acosta, J.A. (2016). Biomagnetic monitoring of heavy metals contamination in deposited atmospheric dust, a case study from Isfahan Iran, *J. Environ. Manage.* 173, 55–64.
- Okcu, M., Tozlu, E., Kumlay, A., Pehlivan, M. (2012). Ağır Metallerin Bitkiler Üzerine Etkileri. *Alinteri Journal of Agriculture Science*, 17(2), 14-26.
- Olsen SR, Dean LA (1965) Phosphorus. Ed.: C.A. Black. In: *Methods of soil analysis, Part II. American society of agronomy Inc. Publisher Madison. Wisconsin. USA.1965: 1035 – 1049.*

- Orroño D.I. and Lavado R.S., 2009. Heavy metal accumulation in *Pelargonium hortorum*: Effects on growth and development. *International Journal of Experimental Botany*, 78: 75-82.
- Ozel H. B., Ozel H. U., Varol T. (2015) Using Leaves of Oriental Plane (*Platanus orientalis* L.) to Determine the Effects of Heavy Metal Pollution Caused by Vehicles. *Pol. J. Environ. Stud.* 24 (6), 2569.
- Özay C, Mammadov R. Ağır metaller ve süs bitkilerinin fitoremediasyonda kullanılabilirliği. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi.* 2016;15(1)68-77.
- Özbek, Z., 2010, Topraktaki Ağır Metaller İçin Sınır Değerlerin Uygulanabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 9-10.
- Özbolat G, Tuli A. Ağır Metal Toksisitesinin İnsan Sağlığına Etkileri. *akt. Aralık* 2016;25(4):502-521.
- Özkan A (2017). Antakya-Cilvegözü karayolu etrafındaki tarım arazilerinde ve bitkilerdeki ağır metal kirliliği. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3): 9-18.
- Özyürek F., Nevşehir’de Farklı Su Kaynaklarıyla Sulanan Sebzelerde Ağır Metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn) Birikimi. *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.* Nevşehir, 2016
- Pak, O., 2011. Kırklareli Sınırları İçerisindeki Otoban Kenarlarında Bulunan Tarım Arazilerinde Bazı Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ.
- PAVLOVA, D. K., ALEXANDROV, S. N. 2003. Metal Uptake in Some Plants Growing on Serpentine Areas in the Eastern Rhodopes Mountains (Bulgaria). *Ot Sistematič Botanič Dergisi.* 10(2):13,30.
- Rout, GR. and Das, P., 2003. Effect of metal toxicity on plant growth and metabolism: I. Zinc. *Agronomie* 23: 3- 11.

- Saleh, E.A.A. (2018). Determination of heavy metal accumulation in some landscape plants, kastamonu university institute of science department of forest engineering, ph.d. Thesis
- Saraçoğlu M, Anlağan Taş M, Koşar İ, Aydoğdu M, Kara H, Sürücü A, Oğur Özkan N. (2013) Şanlıurfa ili Hilvan ilçesi kuru alanlardaki toprakların bitki besin elementi kapsamlarının belirlenmesi. 6. Ulusal Bitki Besleme ve Gübreleme Kongresi. 3-7 Haziran 2013. Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü- Nevşehir
- Sarı, T., 2009, Edirne ve Çevresinde Otoban Kenarlarındaki Topraklarda Bazı Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 5-1,45.
- Sauerbeck, D., 1985. Funktionen, Güte and Belastbarkeit des Bodens aus agrikulturchemi scher Sicht. Kohlhammer, Stuttgart.
- Sevik, H., Ozel, H. B., Cetin, M., Özel, H. U., & Erdem, T. (2018). Determination of changes in heavy metal accumulation depending on plant species, plant organism, and traffic density in some landscape plants. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 1-7.
- Shahid, M., Xiong, T., Castrec, R. M., Leveque, T. & Dumat, C., (2013). Water extraction kinetics of metals, arsenic and dissolved organic carbon from industrial contaminated poplar leaves. *J. Environ. Sci. (China)* 25 ,2451 2459.
- Shahid, M., Khalid, S., Abbas, G., Shahid, N., Nadeem, M., Sabir, M., Aslam, M., Dumat C. (2015). Heavy metal stress and crop productivity, in: K.R. Hakeem Ed.), *Crop Production and Global Environmental Issues SE – 1*, Springer International Publishing, 1–25.
- Shahid, M., Dumat, C., Khalida, S., Schreck, E., Xiong, T. & Nabeel N. K. (2017). Foliar heavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: A comparison of foliar and root metal uptake. *Journal of Hazardous Materials*, 325, 36-58.
- Schreck, E., Foucault, Y., Sarret, G., Sobanska, S., Cécillon, L., Castrec R. M. & Uzu Dumat C. (2012). Metal and metalloid foliar uptake by various plant species exposed to

- atmospheric industrial fallout: mechanisms involved for lead. *Sci. Toplam Environ.* 427–428, 253–262.
- Schreck, E., Laplanche, C., Guédard, L.M., Bessoule, J.J., Austruy, A., Xiong, T., Foucault, Y. & Dumat, C. (2013). Influence of fine process particles enriched with metals and metalloids on *Lactuca sativa* L. leaf fatty acid composition following air and/or soil-plant field exposure. *Environ. Pollut.* 179, 42–249.
- Sosse BA, Genet P, Dunand-Vinit F, Toussaint LM, Epron D, Badot PM. Effect of copper on growth in cucumber plants (*Cucumis sativus*) and its relationships with carbohydrate accumulation and changes in ion contents. *Plant Science.* 2004;(166):1213-1218.
- Soudek P, Katrusakova A, Sedlacek L, Petrova S, Koci V, Marsik P, et al. Effect of heavy metals on inhibition of root elongation in 23 cultivars of flax (*Linum usitatissimum* L.). *Archives of Env. Contamination Toxicology.* 2010; 59:194–203.
- Song B, Zeng G, Gong J, Liang J, Xu P, Liu Z, Zhang Y, Zhang C, Cheng M, Liu Y, Ye S, Yi H and Ren X (2017). Evaluation methods for assessing effectiveness of in situ remediation of soil and sediment contaminated with organic pollutants and heavy metals. *Environment International*, 105: 43-55.
- Stafilov, T., Šajin, R., Pančevski, Z., Boev, B., Frontasyeva, M. V., & Strelkova, L. P. (2010). Heavy metal contamination of topsoils around a lead and zinc smelter in the Republic of Macedonia. *Journal of Hazardous Materials*, 175(1-3), 896-914.
- Şimşek, A., Velioglu, S., Cokun, A.L., aylı, B.S., 2003, Boron concetrations of selected foods from borateproducin regions in Turkey, *J.Sei. Food Agr.*Vol:83(6). Pp 586592.
- Şimşek, T., Kalkancı, N., & Büyük, G. (2021). Tarım topraklarındaki ağır metallerin kirlilik düzeylerinin belirlenmesi: Osmaniye örneği. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 26(1), 106-116.
- Taylor, S.R., (1964). Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 28, 1273-1285.

- Tomlinson, D.L., Wilson, J.G, Harris, C.R. and Jeffrey, D.W., (1980). Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgoländer Meeresuntersuchungen*, 33, 566-575.
- Turkyilmaz, A., Cetin, M., Sevik, H., Isinkaralar, K., & Saleh, E. A. A. (2018). Variation of heavy metal accumulation in certain landscaping plants due to traffic density. *Environment, Development and Sustainability*, 1-14.
- Ugulu, I., Unver, M. C., & Dogan, Y. (2016). Determination and comparison of heavy metal accumulation level of *Ficus carica* bark and leaf samples in Artvin, Turkey. *Oxidation Communications*, 391-II), 765-775.
- Ulrich, B,1980. Chemical Changes due to acid precipitation in a losses-derived soil in central Europe. *Soil Science*. 130: 193-199.
- Uluocak, E., Yılmaz, K., 2009. The Effect of Varying Clay Mineral Composition Uptake Nickel and Cadmium by Cucumber, *Proceedings of 14th National Clay Symposium*, p.548-558, October 1-3, Trabzon, TURKEY.
- USAEC (2000). In-situ electrokinetic remediation of metal contaminated soils technology status report US Army Environmental Center.
- Uygan, D., ve Çetin, Ö., 2004, Bor'un Tarımsal ve Çevresel Etkileri:Seydisuyu Su Toplama Havzası, II. Uluslararası Bor Sempozyumu, 2325 Eylül 2010,Eskişehir.
- Vangronsveld J, Herzig R, Weyens N, Boulet J, Adriaensen K, Ruttens A, Thewys T, Vassilev A, Meers E, Nehnevajova E, Lelie D and Mench M (2009). Phytoremediation of contaminated soils and groundwater: Lessons from the field. *Environmental Science and Pollution Research*, 16: 765-794
- Vareda JP, Valente AJM and Durães L (2016). Heavy metals in Iberian soils: Removal by current adsorbents/amendments and prospective for aerogels. *Advances in Colloid and Interface Science*, 237: 28-42.

- Yalçın, M. (2023). Kırıkhan–Reyhanlı Bölgesi Tarım Topraklarının Molibden İçeriği ve Topraktaki Bazı Ağır Metaller ile İlişkilerinin Belirlenmesi. *Eurasian Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6(2), 63-72.
- Yao Z, Li J, Xie H and Yu C (2012). Review on remediation technologies of soil contaminated by heavy metals. *Procedia Environmental Sciences*, 16: 722-729.
- Yerli C., Çakmakçı T., Şahin Ü., Tüfenkçi Ş. (2020) Ağır Metallerin Toprak Bitki Su ve İnsan Sağlığına Etkileri. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 9: 103-114.
- Yıldız M, Terzi H, Uruşak B. Bitkilerde krom toksisitesi ve hücrel cevaplar. *Erciyes Üni. Fen Bilimleri Ens. Fen B. Dergisi*. 2011;27(2):163-176.
- Yıldız, N. (2004). Toprak ve Bitki Ekosistemindeki Ağır Metaller. ZT-531. Yüksek Lisans Ders Notları. Erzurum
- WANG, C.X., MO, Z., WANG, H., WANG, Z.J., CAO, Z.H. 2003. The Transportation, Time-Dependent Distribution of Heavy Metals in Paddy Crops. *Chemosphere*. 50: 717–723.
- Zengin, A., Aka, B., Gençay, S., Uzun, M. (2023). Bor Madeni ve Endüstriyel Uygulamaları. *Avrupa Bilim Ve Teknoloji Dergisi* (46), 161-178.
- Zengin, F. ve Munzuroğlu Ö., 2003. Fasulye Fidelerinin (*Phaseolus vulgaris* L.) Kök, Gövde ve Yaprak Büyümesi Üzerine Kadmiyum (Cd^{++}) ve Civa (Hg^{++})'nın Etkileri. C.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi (2003) Cilt 24 Sayı 1.
- Zhai X, Li Z, Huang B, Luo N, Huang M, Zhang Q and Zeng G (2018). Remediation of multiple heavy metalcontaminated soil through the combination of soil washing and in situ immobilization. *Science of the Total Environment*, 635: 92-99.