



## Ağır Metallerin Toprak, Bitki, Su ve İnsan Sağlığına Etkileri

Caner YERLİ<sup>1\*</sup>, Talip ÇAKMAKCI<sup>1</sup>, Üstün ŞAHİN<sup>2</sup>, Şefik TÜFENKÇİ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Van, Türkiye

<sup>2</sup> Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Erzurum, Türkiye

Caner YERLİ ORCID No: 0000-0002-8601-8791

Talip ÇAKMAKCI ORCID No: 0000-0001-5815-1256

Üstün ŞAHİN ORCID No: 0000-0002-1924-1715

Şefik TÜFENKÇİ ORCID No: 0000-0002-3350-1085

\*Sorumlu yazar: [caneryerli@yyu.edu.tr](mailto:caneryerli@yyu.edu.tr)

(Alınış: 11.04.2020, Kabul: 18.08.2020, Online Yayınlanma: 23.10.2020)

### Anahtar

### Kelimeler

Ağır metal,  
Çevre kirliliği,  
Toprak  
kirliliği,  
Toksosite,  
Bitki  
fizyolojisi

**Öz:** Günümüzde artan sanayileşme ve kentleşme ile beraber çeşitli çevre kirlilikleri artmış ve birçok çevresel problem ortaya çıkmıştır. Bu problemlerin başında gelen ağır metaller, hava, toprak ve su kaynaklarında kirliliklere neden olmaktadır. Bitki fizyolojisini olumsuz etkileyerek, bitkisel üretimin azalmasına neden olan ağır metaller, besin zinciri yoluyla canlı sağlığını da tehdit altına alırlar. Ağır metallerin toprağa ve bitkiye etkisi, toprak ve bitki özelliklerine göre değişiklik gösterebilmektedir. Ağır metaller toprak biyolojik aktivitesini olumsuz etkileyerek toprak verimliliğini azaltırlar. Bitkide protein sentezi, DNA, RNA, kök-su ilişkisi, çimlenme, gelişme ve fotosentezin olumsuz etkilenmesine neden olan ağır metaller toprak, bitki ve suda kompleks yapılar oluşturarak doku ve organların zarar görmesine neden olabilirler. Bu nedenlerle ağır metallerin toprak, bitki, su ve insan sağlığı üzerindeki etkisi tam olarak anlaşılmalıdır. Bu derlemede; ağır metallerin ortaya çıkışı, toprağa-suya etkisi ve toprak özelliklerinin ağır metallerle olan ilişkisi, ağır metallerin bitki fizyolojisine etkisi ve bitkinin ağır metallere karşı savunma ve tolerans mekanizmaları ile ağır metallerin insan sağlığı üzerindeki etkileri irdelenmeye çalışılmıştır.

## The Effects of Heavy Metals on Soil, Plant, Water and Human Health

### Keywords

Heavy metal,  
Environmental  
pollution, Soil  
pollution,  
Toxicity,  
Plant  
physiology

**Abstract:** Nowadays, various environmental pollution has increased with industrialization and urbanization and many environmental problems have emerged. Heavy metals, the leading of these problems, cause pollutions in air, soil and water resources. Heavy metals, which negatively affect plant physiology and cause decrease in plant production, also threaten human health through the food chain. The effect of heavy metals on soil and plant may vary according to soil and plant characteristics. Heavy metals negatively affect soil biological activity and reduce soil fertility. Heavy metals, which protein synthesis, DNA, RNA, root-water relationship, germination, growth and photosynthesis adversely affected in the plant, can create complex structures in soil, plants and water, causing damage to tissues and organs. For these reasons, the impact of heavy metals on soil, plant, water and human health should be fully understood. In this review; the emergence of heavy metals, the effect of heavy metals on soil-water and relationship between soil properties and heavy metals, the effect of heavy metals on plant physiology, defense and tolerance mechanisms of the plant against heavy metals and the effects of heavy metals on human health were investigated.

### 1. GİRİŞ

Hızla artan sanayileşme, kentleşme, nüfus, fosil yakıtların aşırı kullanımı, motorlu taşıtların egzoz gazları, çevreye olan duyarlılık, volkanik faaliyetler, maden yatakları, atık sular, arıtma çamurları, tarım

alanlarında aşırı gübre ve ilaç kullanımı hava, toprak ve su kaynakları üzerinde olumsuz etkiler oluşturan ve canlı sağlığını tehdit eden ağır metal kirliliğine neden olmaktadır. Fiziksel açıdan ağır metal terimi, 5 g/cm<sup>3</sup>'den büyük özgül ağırlığa ve 20'den büyük atom numarasına sahip metaller için kullanılmaktadır. Biyolojik olarak ise ağır metaller, çevre üzerinde kirlilik

yaratan ve toksisite etkisi yüksek olan kirleticilere verilen isimdir [1]. Ağır metaller, yüksek yoğunlukları sebebiyle düşük konsantrasyonlarda bile toksik ve zehirleyici etki gösterebilmektedirler. Bu sebeple de ABD Çevre Koruma Ajansı tarafından ağır metaller, 650 toksik ve kirleticinin bulunduğu kimyasal listede 129 tane öncelikli çevre kirleticilerin arasında gösterilmiştir [2]. Hava, toprak ve su kaynakları ile canlı metabolizmalarına etkileri farklı olmakla beraber 70'e yakın ağır metal bulunmaktadır. Bakır, çinko, demir, mangan, molibden ve nikel gibi ağır metaller izin verilebilir sınırı aşmadığı sürece bitkiler için mikro besin elementi olarak görev almaktadırlar. Ayrıca bazı ağır metaller, eşik değerleri aşmadığında, insan ve hayvan metabolizmalarında önemli roller üstlenirler. Bor ve arsenik özgül ağırlığı ve atom numarası ile ağır metal tanımına uymasa da yüksek oranda toksik etkileri sebebiyle bir ağır metal olarak değerlendirilebilmektedirler.

Ağır metaller genellikle toprakta en fazla toprak taneceklerine bağlı olarak bulunmakla beraber, organik bileşikler oluşturarak, minerallerin yapısına bağlanarak, şelatlı bileşiklerin yapısında eriyik halde, farklı formlarda bütünleşik katı veya iyon halinde çözümler şeklinde bulunabilmektedirler [3]. Ağır metaller yer kürede karbonat, silikat ve sülfür halinde stabil bileşikler olarak veya silikatlar içerisinde bağlanarak yer alabilmektedirler [4].

**Tablo 1.** Bazı ağır metallerin ekolojik olarak sınıflandırılması

Element	Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	Canlılar İçin Gerekliği	Kirleticilik Durumu
As	2,3	X	✓
Cu	8,9	✓	✓
B	2,3	✓	✓
Hg	13,6	X	✓
Zn	7,1	✓	✓
Fe	7,9	✓	✓
Cd	8,5	X	✓
Co	8,9	✓	✓
Cr	7,2	✓	✓
Pb	11,3	X	✓
Mn	7,4	✓	X
Mo	10,2	✓	✓
Ni	8,9	✓	✓

Bitkiler için durak yeri olan ve besin sağlayan toprak, tamponlama özelliği sayesinde filtrasyon sağlayarak çevre kirliliğini önleyebilmektedir. Fakat bu durumda oluşan toprak kirliliği toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik gelişiminin engellenmesine veya değişmesine neden olmaktadır. Toprak kirliliği, toprakların oluşum aşamasında ana materyalden meydana gelen doğal kirlilik ve insan kaynaklı etkilerle meydana gelen yapay kirlilik olarak ikiye ayrılabilir [5]. Toprak kirliliğinin asıl ve en önemli nedeni insan kaynaklı etkilerden kaynaklanmaktadır. Bunların başında aşırı gübre ve tarım ilacı kullanımı, atık suların ve arıtma çamurlarının tarım alanlarında kullanılması, endüstriyel, evsel, tıbbi ve nükleer atıkların önlem alınmadan toprağa bırakılması sıralanabilir. Atmosfere ve toprağa ağır metal bırakılan endüstrilerin başında gübre üretimi, atık su arıtma tesisleri, termik santraller, petrol tesisleri, ulaşım

sektörleri, demir, çelik, cam, çimento üretim tesisleri gelmektedir [6]. Toprakta var olan kirleticiler, biyolojik ayrışma ile ortadan kaldırılabılırken, ağır metaller ayrışmadıkları için topraktan giderilimi zor olmaktadır. Kimyasal çöktürme ve filtrasyon, ağır metalleri yüksek sıcaklıklarda yakarak buharlaştırma, toprakta iyon değişimi, toprağı yıkama, biyo ve fito remediasyon vb. teknikler kullanılarak ağır metallerin topraktan giderimi mümkün olsa da çoğu zaman yüksek maliyet ve işgücünü beraberinde getirmektedir.

Mancosu ve ark. [7], 2050 yılında artan nüfusun besin ihtiyaçlarının karşılanması için tarım arazilerinin % 38, sulama için harcanan su miktarının % 53 artırılması gerektiğini belirtmişlerdir. Artan besin talebi karşısında şiddetini arttıran küresel ısınma ve su kaynaklarının yetersizliği marjinal su kaynaklarının başında gelen atık suların sulamada kullanılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Önemli bir su kaynağı olan atık sular ile sadece sulama ihtiyacı değil, ayrıca kaynakların etkin kullanımı, kimyasal gübrelere ihtiyacın azalması, atık yönetimi ve atık suların deşarj problemlerinin çözülmesi de sağlanabilmektedir. Ayrıca zengin besin içeriğinden dolayı gübre olarak kullanılabilen ve toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini geliştirerek, toprak ıslahında ön plana çıkan arıtma çamurları da bitkisel verimi arttırarak, toprak gelişimine büyük katkılarda bulunur. Atık sular ve arıtma çamurları için değinilen olumlu özelliklerin yanı sıra yüksek miktarda ağır metal içeriklerinden dolayı başta toprak ve bitki olmak üzere insan ve hayvan sağlığı üzerinde de negatif etkiler ortaya çıkararak, ağır metal kirliliğine neden olabilmektedirler.

Ağır metallerin oluşturduğu çevre kirliliği, ekosistemler üzerinde büyük olumsuzlukların ortaya çıkmasına neden olur. Bu olumsuzluklar, bir ekosistemden diğer ekosisteme doğrudan veya dolaylı yollarla rahatça taşınabilir [2]. Atmosfere ulaşan ağır metaller, çökerek toprak veya su kaynaklarına karışabilmektedirler. Ağır metaller, topraklardan bitkilere ulaşmakta ve toprakla temas halinde insan ve hayvan vücuduna geçebilmektedirler. Ayrıca ağır metaller, topraktan gıda yoluyla insan vücuduna veya hayvanlara yem kaynağı olan bitkilerden hayvanlara, hayvanlarının etinden, sütünden insanlara ulaşmaktadırlar. Ağır metaller, göl, akarsu, nehir gibi yüzey üstü su kaynaklarını kirletebildikleri gibi topraktan sızarak yer altı su kaynaklarının da kirlenmesine neden olabilirler. Ağır metal miktarı fazla olan sular, tarım alanlarında kullanıldığında bitki, hayvan ve insan bünyesinde birçok olumsuzluğun kaynağı haline gelirler.

Günümüzde ağır metallerin oluşturmuş olduğu kirlilik tüm dünya gündeminde önemli bir konu olmuştur. Birçok bilim dalı ve multidisipliner çalışma toprak, su ve hava kirliliğine neden olan ağır metallerin etkileri üzerine yoğunlaşmıştır. Ağır metallerin atmosfer, toprak, bitki, su ve canlı sağlığı üzerinde farklı etkileri olsa da atmosferi kirletmesi, toprak yapısını bozması, bitkisel verimi azaltması, su kalitesini etkilemesi ve canlı sağlığını tehlike altına alması ile tüm etmenlerde doğurduğu olumsuzluklardan dolayı bir bütün olarak

değerlendirilmelidir. Bu nedenle bu çalışmada, başta bitki metabolizması olmak üzere ağır metallerin toprak, bitki, su ve insan sağlığı üzerine etkileri irdelenmeye çalışılmıştır.

## 2. AĞIR METALLERİN TOPRAKLARA ETKİSİ

Ağır metal kirliliği ile toprakta gerçekleşmekte olan faaliyetler engellenmekte, toprak ekosistemi olumsuz etkilenmekte ve bu olumsuz etki tüm ekosistemlere kolayca yansiyabilmektedir.

Ağır metaller, toprakta çok kompleks yapılar oluşturarak toksisitenin canlı yapılar için etkisini artırırlar. Toprak mikroorganizma aktivitesini olumsuz etkileyen ağır metaller, toprak faunasının bozulmasına neden olurlar. Biyolojik aktivitesi bozulan toprakta nitrifikasyon, toprak solunumu, enzim aktivitesi ve organik maddenin mineralizasyonu olumsuz etkilenir. Böylece topraklar verimsizleşir ve özellikleri değişir. Bu durum bitkisel üretime yansiyarak, bitki verim ve kalitesini de azaltır.

Toprakta en fazla bulunan ağır metaller arsenik, civa, çinko, kadmiyum, krom, kurşun ve nikel olarak belirtilmiştir [8]. Toprağa farklı yollar ile ulaşan ağır metaller, her zaman toprakta birikip, toprakta ağır metal kirliliğine neden olmamaktadır. Toprağın sahip olduğu tamponlama kapasitesi ve toprakta bulunan organik madde, kil, demir ve alüminyum oksitler sayesinde toprakta ağır metal birikimi indirgenebilir. Ayrıca toprak tekstürü, organik karbon, toprağın su içeriği, toprak sıcaklığı, fosfor, kil çeşidi, karbonat ve bikarbonatlar gibi birçok etmen de toprakta ağır metallerin hareketine etki edebilmektedir. Yüksek katyon değiştirme kapasitesine sahip killi topraklar, ağır metalleri yüksek miktarda adsorbe etme özelliğine sahiptirler. Organik maddece zengin topraklarda, yüksek katyon değişim kapasitesinden dolayı daha yüksek miktarlarda ağır metal birikimi ve bitki toksisitesi görülmektedir [9]. Ağır metallerin, kil ve organik maddeye güçlü bağlanma özelliğinden dolayı toprakta ağır metal birikimi genellikle toprağın üst katmanlarında daha yoğun olmaktadır [10].

Topraktaki ağır metallerin çözünürlüğü toprak pH'ından önemli bir şekilde etkilendiği için ağır metal toksisitesi ile toprak pH'ı arasında yakın bir ilişki vardır. Toprağa uygulanan çeşitli materyaller ve bitki aktiviteleri, toprak pH'ının değişmesine neden olabilir. Bitkilerde gerçekleşen bazı salgılar kökler vasıtasıyla rizosfere geçince, toprak pH'ını etkiler ve bu durum ağır metallerin topraktaki etkileşimini değiştirebilir. Atık suların sulamada kullanılması veya toprağa uygulanan arıtma çamurları da toprak pH'ını etkiler. Birçok araştırmacı atık suların sulamada kullanılması ile toprak pH'ının düştüğünü belirtmişlerdir [11, 12, 13]. Khurana ve Singh [14] ile Singh ve Agrawal [15], toprak pH'ının amonyum nitrifikasyonu ve farklı organik bileşiklerin oksidasyonu ile düşebileceğini ifade etmişlerdir. Toprak pH'ının düşüşüyle ağır metal toksisitesi artış göstermekte olup, bu artış metal iyonlarının hidrojen iyonlarına göre daha düşük çekim gücüne sahip olmasıyla ilişkilidir [16]. Buna göre, asidik topraklarda

ağır metal toksisitesinin daha yüksek olduğunu söylemek mümkündür. Ayrıca toprakta bulunan organik madde, toprak pH'ını değiştirerek toprakta ağır metallerin hareketini etkileyebilir. Galavi ve ark. [17], topraklarda artan organik madde içeriğiyle toprak pH'ının azalma eğilimi gösterdiği bildirmişlerdir. Organik maddenin mineralizasyonu ile azalan toprak pH'ı, ağır metal toksisitesinde önemli bir etkidir.

Arıtma çamurlarının toprağa uygulanması ve atık suların sulamalarda kullanılması durumunda, toprağın artan katyon değişim kapasitesi ağır metallerin toksisitesini azaltabilir. Yine arıtma çamuru veya atık su kullanımında, azalan toprak pH'ına bağlı olarak kireç çözünürlüğünün artmasıyla, topraktaki kalsiyum içeriğinde ve buna bağlı olarak agregatlaşmada artış, toprak kireç içeriğinde ise azalma görülmekte ve bu durum ağır metallerin topraktaki etkileşimini de değiştirebilmektedir.

Toprağa uygulanan gübreler, toprak reaksiyonuna, toprağın katyon değişim kapasitesine ve organik madde içeriğine etkide bulunacağından dolayı toprakta ağır metal toksisitesine veya ağır metallerin immobilizasyonuna neden olabilir. Asit yağmurlarıyla toprak asitliğinin artışıyla beraber ağır metal hareketliliğinin artış gösterdiği ve bitkiler tarafından ağır metal alınımının arttığı, toprakların iyon tutma gücünün azalması ile besin elementlerinin de yıkanarak topraktan uzaklaştığı belirtilmiştir [6]. Ayrıca toprağa uygulanan çeşitli müdahaleler ile daha fazla oksijen ve sıcaklığa maruz kalan toprakta, toprak verimliliğinin bir göstergesi olan organik karbon karbondioksit dönüşümüdür [18]. Karbondioksitin iki hidrojen ile birleşmesi sonucunda da karbondioksitin sulu çözeltisi ve zayıf bir asit olan karbonik asit ortaya ( $H_2CO_3$ ) çıkmaktadır. Toprak pH'ının azalmasına neden olan karbonik asit, toprakta ağır metal hareketliliğinin artışına ve böylece bitkiler tarafından ağır metal alınımının artmasına neden olabilir.

Toprakta bulunan ağır metallerin, gideriliminin zor olması ve ağır metallerin bitkiler tarafından alınamaz formlara dönüşmesi nedeniyle, ağır metal kirliliği diğer toprak kirliliklerden ayrı bir öneme sahiptir. Ağır metaller ile kirlenmiş toprakların temizlenmesi için birçok yöntem bulunmaktadır. Genel başlıklar altında bu yöntemler sıralanacak olursa;

- Ağır metaller ile kirlenmiş alanların kullanımını yasaklamak ve karantinaya almak,
- İzolasyon ve immobilizasyon teknikleriyle başka alanlara yayılımını önlemek,
- Ağır metaller ile kirlenmiş toprakları başka bir alanda depolamak,
- Ağır metaller ile kirlenmiş toprakları bölge içinde veya dışında temizlemek.

Toprağın kazılarak başka bir bölgeye taşınması ve ağır metallerden temizlendikten sonra geri bırakılması büyük oranda kirliliği ortadan kaldırmasına rağmen hem maliyetli hem de yüksek iş gücü gerektiren bir uygulamadır. Bu nedenle son yıllarda ağır metal ile kirlenmiş toprakları bölge içinde temizleme teknikleri

üzerine yapılan araştırmalar hız kazanmıştır [19]. Ayrıca daha düşük maliyet ve çevre dostu bir uygulama olması sebebiyle, mikroorganizmaların, solucanların ve bitkilerin kullanıldığı biyo ve fito remediasyon tekniklerinin de önemi oldukça fazladır. Fakat bu uygulamalardan olumlu sonuç alabilmek için uzun süreçlere ihtiyaç duyulmakta ve fito remediasyon tekniğinin kullanıldığı durumda, ağır metal giderilimi bitkinin kök derinliğiyle sınırlı kalmakta, tam anlamıyla bir bertaraf sağlanamamaktadır.

### 3. AĞIR METALLERİN BİTKİLERE ETKİSİ

Bitkilerde ağır metal birikimi, bitkinin su alması aşamasında, toprak ve su kaynaklarında bulunan ağır metallerin bitki bünyesine geçişiyle gerçekleşmektedir. Ayrıca, atmosferde bulunan ağır metallerin toz partikülleri vasıtasıyla bitki bünyesine geçişiyle de bitkilerde ağır metal birikimi söz konusu olabilmektedir. Bitki bünyesine geçen ağır metaller, bitkinin fizyolojik aktivitelerini engellemekte ve/veya değiştirmekte, ilerleyen aşamalarda bitkinin ölümüne neden olabilmektedir. Dolayısıyla ağır metallerin, bitkilerde birikimi, bitkisel verim ve kaliteyi azaltan önemli bir unsurdur.

Toprakta ağır metal birikimiyle, bitkiler gerek duyduğu besin elementlerini topraktan alamamakta, yani ağır metaller bitki besin elementi alınımını engellemektedir. Ağır metale maruz kalmış bitkilerde, temel besin maddelerinin eksikliğinden dolayı kök ve gövde boyları daha kısa, yaprak sayısı daha az ve yaprak alanı daha küçük olmaktadır [20, 21]. Ağır metallerin kök uzunluğu üzerindeki olumsuz etkisi, oksidatif hasar ile hücrelerin membran yapılarının bozulması ve kök yüzeyini oluşturan epidermal hücrelerin zarar görmesi [22] sonucunda bitki kök hücrelerinin bölünme ve çoğalmasının engellenmesinden kaynaklanmaktadır [23]. Ağır metale maruz kalan bitkinin kök yüzeylerinde, su miktarını sınırlandırma özelliğine sahip suberin adı verilen bileşiğin artmasıyla bitki köklerinde kahverengileşme, bitki-su ilişkisinin bozulması ve bitki gelişiminde aksaklıklar görülmektedir [24].

Ağır metaller toksik etkisi sebebiyle çimlenmeyi, gelişmeyi, stoma hareketlerini, su alımını ve taşınmasını, transpirasyonu, protein sentezini, bitki doku ve organlarını olumsuz etkileyerek bitki fizyolojisinin bozulmasına neden olurlar. Ağır metal toksisitesi ile tohumlarda alfa ve beta amilaz aktivitesi azaldığından dolayı, embriyonun gelişmesi için gerekli şeker aktivitesi sağlanamaz ve bu durum tohumların çimlenmesini engeller [25]. Ağır metaller maruz kalmış bitkilerin DNA yapısında mutasyon benzeri değişimler, RNA, çözümlü protein ve şeker miktarında azalmalar görülür [26]. Ağır metaller serbest iyon haline geçerek bitki yapısına dahil olduklarında, hücrede plazmanın sertleşmesine, protein çökmesine, solunum intensitesine ve dolaylı olarak oksijen tüketiminin azalmasına neden olmaktadır [4]. Kloroplast yapısının değişmesine neden olan ağır metallerin etkisiyle bitkide klorofil miktarı azalmaktadır. Ağır metaller, bitkinin stoma iletkenliğini etkileyerek, fotosentezin

devamlılığını engellemekte ve bitkinin su tüketimini de azaltarak [27], verim ve kaliteyi indirmektedirler. Artan ağır metal toksisitesi ile toprakta su bulursa dahi bitki su alamaz duruma gelir. Yapraklardaki suyun azalması ile stomalar kapanır, artan yaprak sıcaklığıyla membran sistemleri zarar görür ve hücre ölümleri gerçekleşir.

Bitki için bir stres faktörü olan ağır metallerin toksisitesi bitki türüne, stres faktörüne, maruz kalma süresine göre değişiklik gösterebildiği gibi [28] ağır metalden ağır metale ve etki ettiği organizmadan organizmaya göre de farklılık gösterebilmektedir. Bitkilerin ağır metalden etkilenme durumları ve bünyelerine ağır metal alımları, toprak pH'ı, toprağın katyon değiştirme kapasitesi, topraktaki diğer metallerin miktar ve dağılımı, iklim faktörleri, bitkinin kimyasal seçiciliği, bitki yağı ve türü gibi birçok etmen ile de yakından ilişkilidir [29]. Ayrıca, ağır metallerin toprakta bulunış formları, ağır metallerin birbirleriyle ve bitki besin elementleriyle etkileşimi de bitkilerin ağır metal alımını etkileyen önemli bir faktörlerdir.

Spesifik durumlara sahip olan bazı bitkiler hiçbir zarar görmeden bünyelerinde bir veya daha fazla ağır metali biriktirebilmektedirler. Örnek verilecek olursa, eğrelti otu topraktan daha fazla arseniği, veriminde hiçbir azalma olmadan bünyesinde biriktirebilmektedir [30]. Hiperakümülatör bitkiler olarak anılan metal biriktirici bu bitkiler, toprak ve su kaynaklarının ağır metallere temizlenmesinde önemli bir yere sahiptirler [31].

Bitkiler, genetik özelliklerine göre ağır metal toksisitesinde bazı tolerans ve savunma mekanizmalarına sahip olup, bu mekanizmaları verimleri azalsa dahi yaşamlarını devam ettirebilmek için kullanmaktadırlar. Ağır metal toksisitesinde bitkilerin kullandığı bu tolerans ve savunma mekanizmaları şu şekilde sıralanabilir;

- Hücre duvarlarına ağır metallerin bağlanması,
- Ağır metallerin sitoplazmalarda bulunan kofullarda (vakuol) depolanması,
- Köklerde ağır metallerin geçişi kontrol altında tutularak gövde, meyve ve sürgünlere taşınmasının engellenmesi [32],
- Bazı bitki dokularında ağır metallerin biriktirilmesi,
- Ağır metallerin proteinlere, amino veya organik asitlere bağlanarak farklı bileşikler oluşturulması [33],
- Bitkinin organik asitler, proteinler, antioksidan enzimler ve prolin üreterek, ağır metallerin etkisini azaltması veya ağır metallerin bitki için kullanılabilir hale dönüştürülmesi.

#### 3.1. Arsenik

Canlılar için elzem bir element olmayan arsenik, yeryüzünde doğal olarak bulunur. Sanayi faaliyetleri, fosil yakıtların yanması, kimyasal gübreler, belediye ve endüstriyel atıkların bertarafı gibi yapay faaliyetler nedeniyle ortaya çıkan arseniğe [34] yer üstü ve yer altı sularında, tarım alanlarında ve bitki bünyesinde rastlamak mümkündür.

Arseniğe maruz kalan bitkilerde, büyüme-gelişme engellenir ve ilerleyen aşamalarda bitkinin ölümü gerçekleşebilir. Arseniğin etkisiyle bitkide birçok fizyolojik bozukluk ortaya çıkmaktadır [35]. Arsenik, bitkide oksidatif strese neden olur [36]. Oksidatif stres sonucunda verim ve kalite azalır. Hücrelerin inhibe olmasına neden olan arseniğin artan miktarıyla dokularda zararlanmalar görülür [37]. Arsenik, kloroplast membranlarına zarar vererek, fotosentezi olumsuz etkiler [38].

Toprak işlemenin geleneksel yöntemler ile yapıldığı ve topraktaki fosfor içeriğinin yüksek olduğu koşullarda, bitki tarafından arsenik alınımının daha yüksek olduğu belirtilmiştir [39]. Arseniğin topraktaki davranışı fosfora benzediğinden dolayı fosfor alınımının artışı ile arsenik alınımı da artış göstermektedir [40].

Kadife çiçeği ve fil kulağı bitkilerinin, arseniği kök ve gövdelerinde biriktirerek, toprağı ağır metallere temizlemek için kullanılabilecek iyi bir fito remediasyon tekniğı olduğu belirtilmiştir [41].

### 3.2. Bakır

Yaşamın birçok aşamasında karşımıza çıkan bakır, bitki için gerekli bir element olmasına karşın yüksek konsantrasyonu bitkide toksik etki göstermektedir. Bakır, enzim faaliyetini gerçekleştirmede, karbonhidrat ve lipid metabolizmasında [42], DNA ve RNA üretiminde, hastalık ve zararlılara karşı direnç oluşturulmasında büyük rol alır [4].

Yüksek miktarıyla toksisite etkisi gösteren bakır, bitki fizyolojisini bozarak, protein sentezini, besin maddesi alınımını, membran stabilitesini ve solunumu olumsuz etkiler [43]. Kloroplast yapısına geçerek yapının değişmesine neden olan bakır, klorofil miktarını azaltır [44]. Azalan klorofil miktarıyla bitkide klorozis görülebilir. Bakır zehirlenmesiyle kökler özelliklerini kaybeder ve buna bağlı olarak da bitki-su dengesi olumsuz etkilenir.

Yapılan bir çalışmada, bakırın artan dozlarının, toprağın reaksiyonunu, değişebilir magnezyum ve yarayışlı demir miktarını azalttığı, azot, alınabilir fosfor ve değişebilir potasyum içeriklerini arttırdığı sonucuna varılmıştır [45]. Başka bir çalışmada artan bakır dozlarının genç yapraklarda % 27, yaşlı yapraklarda ise % 52 fotosentez azalmasına neden olduğu bildirilmiştir [46].

### 3.3. Bor

Bor, doğada sodyum, kalsiyum ve magnezyum oksitlere bağlı olarak bulunur [47]. Başta cam ve deterjan üretiminde olmak üzere kozmetik, plastik, tekstil, seramik sektörleri ve tarım ilaçları borun kullanıldığı başlıca alanlardır. Özellikle borun, herbisitlerde yabancı ot gelişimini engellemek için kullanıldığı bilinmektedir.

Bor, bitkide kök uzaması, hormon düzenlenmesi, şeker taşınımı, membran fonksiyonları, difüzyon, hücre

duvarlarının oluşumu, hücre bölünmesi [48] ve karbonhidrat, RNA, solunum, fenol metabolizmaları gibi önemli görevlere sahiptir [49]. Bor noksanlığı diğer iz elementlere göre daha yaygın görülmektedir. Bitkilerin bor ihtiyaçları çok az olmakla beraber, ihtiyaç duyulan miktarın fazlası bitkiye olumsuz etki yapmaktadır.

Bor toksisitesi ile yapraklarda yanıklıklar görülmektedir [50]. Buna bağlı olarak klorofil pigmentlerinin zarar görmesi ve fotosentezin olumsuz etkilenmesi söz konusudur. Bor toprakta veya sulara diğer ağır metaller ile kompleks yapılar oluşturarak, bitki için daha zehirli bir hale gelebilir. Bor, toprakta bulunan diğer besin elementleri ile etkileşimde bulunur. Topraktaki borun azot, kalsiyum, magnezyum, demir ve mangan ile antagonistik; fosfor, potasyum, kükürt, bakır ve çinko ile sinerjistik bir etkisinin olduğu belirtilmiştir [51].

### 3.4. Civa

Civa çoğunlukla boya, mücevher ve kozmetik sanayisinde, elektronik eşyalarda ve tarım ilaçlarında kullanılmaktadır. Toprağı geçişiyle kil ve organik maddelere bağlanarak reaksiyonlara neden olmakta veya çözünmeyen yapılar oluşturarak çökelmektedir [4]. Bu nedenle su kaynaklarına ve bitki yapısına geçme olasılığı diğer ağır metallere nazaran daha düşüktür. Bu durum civanın bitkiler için zehir etkisini azaltsa da insanlar ve hayvanlar için tehlikesini ortadan kaldırmamaktadır.

Elemental haldeki civa, bitki yapısına geçerek kısmen oksitlenmekte ve ortaya çıkan inorganik tuzlar, proteinler ve alkalilerle birleşerek, protoplazmaya toksik etki göstermekte, bitkilerin ölümüne neden olmaktadır [52]. Ayrıca dokulara giren civa, bitkinin oksijen temin mekanizmasını bloke ederek, yaşamsal faaliyetlerini de engellemektedir [53].

### 3.5. Çinko

Çinko, metal-alaşım, boya, kozmetik, plastik, maden sanayi gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Çinko endüstriyel atık sular, kanalizasyon suları ve asit yağmurları vasıtasıyla toprağı kolayca taşınır [54]. Canlılar için mutlak gerekli bir besin elementi olmasına rağmen belli miktarları aştıktan sonra toksik etki yapmaktadır. Bitki metabolizmasına dahil olan çinko karbonhidrat, protein, fosfat oluşumunda ve enzim aktivitesinde görev alır [4].

Yüksek miktarda çinko, büyümenin gecikmesine ve bitkinin erken yaşlanmasına neden olmaktadır [55]. Çinko toksisitesinde sürgün gelişiminde azalma, klorofil sentezinin olumsuz etkilenmesi, genç yapraklarda kloroz [56], köklerde mitoz bölünmenin engellenmesine bağlı olarak hem kök hem de gövde gelişiminin azalması gibi problemler ortaya çıkmaktadır [57].

Başta fosfor olmak üzere, çinkonun bakır, demir ve kalsiyum ile yüksek oranda rekabeti vardır. Bu nedenle çinkonun bitkiye yarayışlılığı veya toksisitesini diğer besin elementleri belirlemektedir. Yapılan bir çalışmada toprağı uygulanan DAP gübresi ile bitkinin

toprakta çinko alımı artış göstermiştir [58]. Bitkinin topraktan çinko alımına kalsiyum sinerjistik demir ise antagonistik etki yapmaktadır. Yüksek miktarlarda çinko, toprakta demir bulursa dahi bitkinin demirden yararlanamamasına, dolaylı olarak da demirin görevi olan klorofil sentezini engelleyerek fotosentezin aksamasına neden olmaktadır [55].

### 3.6. Demir

Demir, bitkilerde fotosentezin başyapıtıdır. Klorofil pigmentlerinin sentezinden sorumlu olan demir, eksikliği halinde fotosentezin akmasına neden olan mutlak gerekli bir besin elementidir. Demir toksisitesi çok yaygın değildir. Genellikle toksisite etkisi, bazı bitkilerin toprak pH'ını düşüren kök salgıları salgılaması sonucu demir alımının artmasıyla gerçekleşmektedir [59]. Toksikite etkisi gösteren demir, yapraklarda yanıklıklara, kök ve gövdenin bodurlaşmasına neden olur [6]. Ayrıca demir toksisitesi ile bitkilerde aminoasit bağlanması ve protein sentezi olumsuz etkilenmektedir [60].

Toprakta yüksek mangan birikimi bitkinin demir alımını olumsuz etkiler [61]. Yüksek mangan miktarıyla demirden yararlanamayan bitkide, demir eksikliğine bağlı olarak klorofil sentezi olumsuz etkilenir ve kloroz görülür. Topraklara uygulanan demir içerikli gübreler, kirecin fazla olduğu koşullarda etkili olmamaktadır. Bu durum demir ve kalsiyumun antagonistik etkisinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca toprak pH'sının 8'den büyük olduğu koşullarda yine bitki tarafından demir alımının engellendiği belirtilmiştir [62]. Bu durum, alkali karakterli topraklarda demirin bitki için alınmaz formlara dönüşmesiyle ilişkilidir.

### 3.7. Kadmiyum

Kadmiyum, korozyona karşı koruyucu özelliğinden dolayı gemi, boya, elektronik ve sanayi gibi birçok alanda kullanılmaktadır [63]. Biyolojik ömrünün uzun olması ve düşük konsantrasyonlarda bile yüksek etkisinden dolayı en toksik ağır metallerden biridir [64]. Ayrıca kadmiyumun suda çözünme kapasitesi çok yüksektir. Bu sebeple, su kaynaklarının kirlenmesine ve su kaynaklarındaki canlı popülasyonunun azalmasına neden olur.

Kadmiyum, motorlu taşıtların yağlarının yanmasından kaynaklı olarak toz zerreciklerinin çökmesiyle bitki ve topraklara geçiş yapabilmektedir [65]. Bilinçsiz gübre ve tarım ilacı kullanımı, atık suların ve arıtma çamurlarının tarım arazilerinde kullanımı, toprak ve su kaynaklarında kadmiyum birikimine neden olmaktadır. Özellikle topraklara uygulanan fosforlu gübreler ile topraklarda biriken kadmiyum miktarının artış gösterdiği yapılan çalışmalar ile desteklenmiştir [66, 67].

Bitki bünyesine geçen kadmiyum azot ve karbonhidrat metabolizmasını değiştirir [68], enzim aktivitesini engeller, stomaların kapanmasına ve böylece transpirasyonla su kaybının azalmasına neden olur [69]. Kadmiyum stresine maruz kalan bitkilerde, potasyum ve nitrat alımı azalmaktadır. Yapılan bir çalışmada, toprağa

50 µM kadmiyum uygulamasının, bitkinin yaprak ve köklerindeki nitrat içeriğini sırasıyla % 24 ve % 62 oranında azalttığı bildirilmiştir [70]. Nitrat alımının azalması ile bitkide sürgün gelişimi zayıflayacak, birçok fizyolojik aktivite olumsuz etkilenerek, bitkide yıkım olayları gerçekleşecek ve ayrıca toprakta zamanla biriken aşırı nitrat, yer altı sularına karışarak su ve topraklarda nitrat kirliliğine neden olacaktır.

### 3.8. Kobalt

Kobalt, davranış bakımından nikel ve demire benzerlik gösteren, yer kabuğunun % 0,001'ini oluşturan bir ağır metaldir [6]. Kullanım alanları petrol, seramik, boya, mürekkep, elektronik sanayi ile askeri alanlar olarak sıralanabilir [71].

Kobalt insanlar, hayvanlar ve prokaryotlar için gerekli bir element olmasına rağmen bitkilerdeki fonksiyonu tam anlamıyla anlaşılmamıştır [72]. Fakat düşük dozlarda uygulanan kobaltın, bitki verim ve kalitesinde artış sağladığı bildirilmiştir [73]. Aynı çalışmada kobaltın artan dozuyla şeker, aminoasit ve protein içeriği ile enzim aktivitesi azalmış, bitki verimi olumsuz etkilenmiştir. Başka bir çalışmada ise artan dozlarda kobalt miktarının, bitkinin büyüme karakteristiğini, biyokütlesini ve verimini olumsuz etkilediği sonucuna varılmıştır [74]. Kobaltın yüksek miktarı toksik etki göstererek, fizyolojik ve biyokimyasal fonksiyonlara müdahalede bulunur ve bitki verimini azaltır.

### 3.9. Krom

Krom, deri, boya, cam, seramik, çelik, asit gibi birçok sanayi ve kimya dallarında kullanılan [75], bitki metabolizması için gerek duyulmayan hatta metabolizmaya dahil olduğunda toksik etki gösteren bir ağır metaldir.

Krom stresine maruz kalan bitkilerde stresten kaçınma ve savunma amacıyla üretilen reaktif oksijen türleri, bitkide lipit, protein ve DNA'nın oksidatif hasar görmesine neden olur [76]. Ayrıca kroma maruz kalan bitkilerde, membran zararlanmaları, yapı ve organlarda değişiklikler, büyüme ve gelişmenin engellenmesi [77], kökler aracılığıyla besin ve su temin mekanizmasının bloke olması, fotosentez pigmentlerinin bozulması ve enzim aktivitesinde anormallikler görülmektedir [78].

### 3.10. Kurşun

Kurşun, ilk metal özelliği taşımakla beraber insan kaynaklı faaliyetlerle doğaya zarar veren en önemli ağır metaldir [4]. İnorganik ve organik formları bulunan kurşunun, inorganik formu atmosferde partiküller halinde, organik formu ise uçucu özelliğe sahip olduğu için gıda maddelerine, toprak ve su kaynaklarına kolayca geçebilecek bir yapıdadır [79]. Bu sebeple, kurşunun atmosfer kirliliğine azımsanmayacak kadar yüksek oranda etkisi vardır.

Kurşun kozmetik, petrol, mücevher, tarım ilaçları gibi birçok endüstri ve sanayi dalında kullanılmasına rağmen,

çevre kirliliğine neden olan büyük miktarı, motorlu taşıtların egzoz gazlarından kaynaklanmaktadır. Bu sebeple araç trafiğinin yoğun olduğu otoyol kenarlarında bulunan topraklarda, kurşun miktarı yüksek seviyelerde olmaktadır.

Toprağa geçen kurşun, çözünebilir formdayken topraktan yıkanabilmekte ve yer altı sularına geçerek su kaynaklarının kirlenmesine neden olmaktadır. Toprakta bulunan çözünebilir formdaki kurşun, mikroorganizmalar veya topraktaki diğer ağır metaller, organik maddeler ve bileşikler tarafından hareketsiz şekle dönüştürülebilir [80]. Kurşunun bitkiler tarafından alınımını azaltmak için kalsiyum ve fosfor içerikli gübreler kullanılabilir [55].

Kurşunun yüksek miktarıyla bitki biyokütlesinde, protein içeriğinde [81], yaprak sayısında ve gövde uzunluğunda azalmalar görülmektedir [82]. Kurşun toksisitesi, hücre duvarlarının stabilitesini, hücre turgorunu, yaprak alanını ve stomaların açılıp kapanma döngüsünü olumsuz etkiler [68]. Bu olumsuz etkiler, bitkinin fotosentez yapmasını, besin maddesi ve su alımını azaltır. Yeterli su alamayan ve beslenemeyen bitkinin gelişiminde zayıflamalar görülür. Yapılan bir çalışmada, toprağa uygulanan kurşun ile bitki kök büyümesinin % 40'lara, sürgün büyümesinin ise % 25'lere kadar azaldığı ve köklerdeki kurşun birikiminin sürgünlere göre neredeyse 3.5 kat daha fazla olduğu belirtilmiştir [83]. Köklerde daha fazla kurşun birikmesinin nedeni, bitkinin gövde, meyve ve sürgünlerini kurşun toksisitesine karşı korumak için uygulamış olduğu bir savunma mekanizması olarak değerlendirilebilir.

### 3.11. Mangan

Mangan, özellikle paslanmaz çelik yapım sanayisinde kullanılmaktadır. Topraklarda organik bileşiklere bağlı olarak veya çözünebilir, değişebilir, indirgenebilir şekillerde olmak üzere farklı kimyasal formlarda bulunur [84]. Bitkiler, topraktaki manganın değişebilir formundan kolayca yararlanabilirler. Mangan, bitki dokularında yapı taşı olarak görev aldığından, bitkilerin ihtiyaç duyduğu mangan miktarı çok düşüktür [85]. Tropikal bölgelerde, kum bünyeli ve pH'ı 6'nın üzerinde olan topraklarda mangan eksikliği görülmektedir [55].

Mangan toksisitesi, demir toksisitesine benzer özellikler gösterir. Yapraklarda yanıklıklar, lekeler, buruşukluklar ve şekil bozuklukları, zamanla yapraklarda gerçekleşen mantarlaşmalar mangan toksisitesinin başlıca göstergeleridir [86]. Ayrıca artan mangan dozunun, azot alınımını azalttığı belirtilmiştir [87]. Bunun sebebi, toprakta bulunan yüksek mangan miktarının azot bakterilerinin faaliyetini indirgemesi olabilir. Mangan birikimi, toprak ve atmosferdeki azot döngüsünü ve bitkilerdeki azot hareketini olumsuz etkileyerek, atmosfer ve çevre kirliliklerine neden olabilir.

### 3.12. Molibden

Molibden, toprakta azot bakterilerine yardımcı olarak, azot fiksasyonunun gerçekleşmesine katkı sağlar [88].

Molibden noksanlığında toprakta biriken azot, su ve topraklarda azot miktarının artmasına neden olur.

Toprağa uygulanan molibden ile nitrojenizasyon enzimi miktarının ve azot içeriğinin artış gösterdiği belirlenmiştir [89]. Farklı dozlarda uygulanan molibdenin, nohut bitkisinde verim artışına neden olduğu bildirilmiştir [90]. Başka bir çalışmada, molibdenin, dal ve bakla sayısını, bitki boyunu, protein oranını ve bitkinin su tutma kapasitesini arttırdığı sonucuna varılmıştır [91]. Çalışmalardan elde edilen verim ve kalite artışlarının asıl nedeni, molibdenin bitkiye azot sağlama yönündeki olumlu etkisidir. Fakat bu olumlu etki molibden miktarıyla doğru orantılı değildir. Eşik değeri aşan molibden, azot fiksasyonunu engellediği gibi bitkiye toksik etki yapmakta, bitki verimini azaltmakta, yapraklarda solgunluk ve sararmışlığa neden olmaktadır. Toprağa uygulanan yüksek molibden miktarının, bitkide azot miktarını azalttığı ve azot miktarındaki azalmayla beraber bitki veriminin de olumsuz etkilendiği belirtilmiştir [92].

### 3.13. Nikel

Nikel, kömür, petrol, boya, elektronik, bakır ve çelik sanayisinde, madencilikte, fosil yakıtların yanmasında karımıza çıkan bir ağır metaldir [6]. Evsel ve endüstriyel atıklarda bolca bulunduğu için arıtma çamurları ve atık suların tarım alanlarında kullanılmasıyla toprağa, suya ve atmosfere rahatlıkla geçebilmektedir.

Nikel, kil bünyeli ve mineral maddece zengin topraklarda fazla, peat ve organik topraklarda ise az miktarlarda bulunur [84]. Az veya çok tüm topraklarda bulunan nikelin asıl kaynağı, fosforlu gübreler ve volkanik kökenli kayalardır [93]. Yapılan bir çalışmada, kimyasal gübre kullanılan topraklarda, bitkiler tarafından alınan nikel miktarı, gübre kullanılmayan topraklara göre daha yüksek miktarlarda bulunmuştur [67]. Bu durum, kimyasal gübrelerin, toprakları asitleştirmesi ve humus içeriğini zenginleştirmesinden kaynaklanmaktadır. Asit topraklarda nikelin çözünürlüğü arttığı için bitki tarafından alınabilirliği de artış göstermektedir [93].

Bir bitki besin elementi olan nikelin, bitkiler için mutlak gerekliliği tam anlamıyla açıklanmamıştır. Fakat, nikel bitkide üreaz ve hidrogenaz gibi enzimlerin yapı maddesini oluşturduğu için nikel eksikliği söz konusu olduğunda üreaz formundaki gübrelerden bitkiler yararlanamamaktadır [86]. Yapılan bir çalışmada, besin çözültüsüne nikel uygulanmayan bitkilere göre, nikel uygulanan bitkilerde, üreaz aktivitesi daha yüksek, yaprak yanıklığı daha düşük miktarlarda olmuştur [94].

Yüksek nikel miktarı toksik etki göstererek, bitki fizyolojisini ve biyokimyasal süreçleri olumsuz etkiler. Klorofil sentezi ve yağ metabolizmasının engellenmesi [68], total pigmentlerin, karotenoidlerin, klorofil a ve b'nin azalması, besin eksikliği ve beslenme bozukluklarının ortaya çıkması nikel toksisitesinin başlıca göstergeleridir [95].

#### 4. AĞIR METALLERİN İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ

Ağır metaller, insan vücuduna besin zinciri yoluyla, solunumla veya deriyle temas halinde geçebilmektedirler. Ağır metallerin bir kısmı insan vücudunda metabolik faaliyetler için gerekli olmakla beraber yüksek konsantrasyonlarda sağlık için olumsuz etkiler ortaya çıkararak, ölümlere neden olabilmektedirler. Bunun nedeni, ağır metallerin, lipid metabolizmasına veya protein yapılarına bağlanarak vücutta birikmelerinden kaynaklanmaktadır [96].

Arsenik, karaciğerin büyümesine, kansızlığa, deride kahverengi lekeler ve birçok cilt hastalıklarına neden olabilmektedir. Yüksek miktarda arseniğin kemik ve solunum sistemi kanserine neden olduğu belirtilmiştir [29]. Bakır, saç, deri, kemik ve bazı iç organlar için temel yapı taşı olmasına rağmen yüksek miktarı büyüme ve gelişmenin yavaşlamasına, saçların ağarmasına, vücut ısısının düşmesine ve beyin hasarlarına neden olmaktadır [97]. Bor, karaciğer, böbrek, kas gibi yapılardan daha çok kemik dokusunda tutulmaktadır [98]. Borun zehir etkisi ile bulantı, baş ağrısı, ishal, kaslarda kasılmalar, cilt lezyonları, sindirim mekanizmasında ve salgı bezlerinde düzensizlikler ortaya çıkmaktadır [99]. Civanın yüksek miktarının, böbrek hasarlarına, sinir sisteminde tahribatlara, hamilelikte düşüğe ve bebekte anormalliklere neden olduğu bilinmektedir [29]. Kronik civa zehirlenmesi, diş eti iltihaplarına, titremeye ve psikolojik bozukluklara neden olmaktadır [100]. Sularda 3 mg/L'nin üzerinde bulunan çinko, birçok sağlık problemine neden olmaktadır [101]. Çinko, ülsere, akciğerlerde ödeme, mukoz zarlarda ve solunum yollarında tahrişlere neden olmaktadır [67]. Ayrıca çinkonun etkisini belirlemek için deney hayvanları üzerinde yapılan bir çalışmada, çinkonun kanserojenik etkisi olduğu tespit edilmiştir [102]. Demir, vücutta bazı metabolik faaliyetlerin gerçekleşmesi aşamasında kullanılır. Eksikliği halinde nefes daralması, halsizlik, yorgunluk ve kansızlık görülmektedir [101]. Demirin yüksek miktarı karaciğer yetersizliği, baş dönmesi ve mide rahatsızlıkları gibi problemlere neden olmaktadır [103]. Kadmiyum, kemik erimesi ve diş hastalıklarının başlıca kaynağıdır [104]. Yapılan çalışmalar ile kronik kadmiyum zehirlenmesinin akciğer ve prostat kanserine neden olduğu belirtilmiştir [105]. Kobalt, akciğerlerde çözünerek kana ve idrara karışmaktadır [106]. Solunum yolu ile vücuda alınan kobalt, akciğer kanserine neden olduğu gibi DNA yapısında olumsuz etkiler ortaya çıkarmaktadır [107]. Krom, günlük doz sınırları içerisinde alındığında sağlık için bir problem oluşturmamaktadır [67]. Fakat yüksek miktarda kromun solunmasıyla, üst solunum yolu rahatsızlıkları, astım ve burun içinde tahribata bağlı olarak kanamalar görülmektedir [63]. Kurşun, antik çağlardan beri ilk metal özelliği taşımakla beraber insan metabolizmasına yüksek derecede zarar veren önemli bir ağır metaldir [68]. İnsan vücudunda eşik değeri aşan kurşun, kana karıştıktan sonra kemik ve diğer organlara yayılarak böbrek, beyin ve sinir sistemlerinde tahribatlara neden olmaktadır [108]. Manganın yüksek konsantrasyonları, Alzheimer hastalığına yol açabilmektedir [109]. Ayrıca

manganın, mitokondriyal bozulmada ve merkezi sinir sistemi hücrelerinin ölümünde önemli bir rol oynadığı belirtilmiştir [110]. Molibden, metabolik faaliyetler için gerekli bir element olmasına rağmen eşik doz aşıldığında, amino asitlerin in-toleransına, beyin hasarlarına, bilincin zayıflamasına ve biyokimyasal anormalliklere neden olur [111]. Nikelin eşik değeri üstünde alınımı sonucunda, ishal, kusma, nefes daralması, karaciğer ve böbreklerde hasarlar oluşabileceği gibi kronik nikel zehirlenmesine bağlı olarak alerjik reaksiyonlarda ortaya çıkabilmektedir [29].

#### 4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Ağır metal birikimiyle, toprak, tarımsal üretim için verimsiz bir hal alır. Bu durumdan bitki fizyolojisi olumsuz etkilenir ve birim alandan elde edilen verim ve kalite azalır. Atmosfer kirliliğinde de önemli bir yer alan ağır metaller, toz partikülleri halinde toprak ve su yüzeylerine geçebildikleri gibi topraklardan sızarak veya erozyonla taşınarak da su kaynaklarını kirlitebilirler. Ayrıca ağır metaller canlı sağlığını da tehlikeye sokarlar. Hayvan ve insanların, ağır metalleri solması, teması veya besin zinciriyle beslenmesi aşamasında birçok sağlık problemi ortaya çıkar. Toprak, bitki, su ve atmosfer üzerinde bir kısır döngüye sahip olan ve insan sağlığını büyük oranda olumsuz etkileyen ağır metallerin, mutlak suretle riskleri minimize edilmeli ve derhal önlemler alınmalıdır.

Ağır metallerin toprağa etkisi, toprak özelliklerine göre değişiklik gösterdiği için toprağı iyi tanımak, toprak özelliklerini bilmek ve ağır metal-toprak etkileşimini iyi anlamak gerekmektedir. Bu nedenle, bu konuyla ilgili detaylı çalışmalar yapılmalı ve araştırmalar ile literatür zenginleştirilmelidir.

Toprak, insanoğlu için verimliliğin devamını arz eden bir kaynaktır. Bu sebeple, ağır metaller ile kirlenmiş toprakların temizlenmesi, sürdürülebilir tarım için önemli bir kısıttır. Topraklarda, ağır metallerin kirlilik derecesi belirlenmeli, planlı ve projeli bir şekilde aşama aşama iyileştirme çalışmaları yapılmalı, hatta toprakta ağır metal kirliliğini belirtecek haritalar oluşturulmalı ve belirli zaman aralıklarıyla yenilenmelidir. Ağır metal kirliliğiyle risk altında olan bölgeler sürekli izlenmeli ve kirlilik boyutu takip edilmelidir. Ağır metallerin, topraklardan temizlenmesi için başta fito ve biyo remediasyon teknikleri olmak üzere, çevre dostu, kolay, pratik ve ekonomik uygulamalara ihtiyaç vardır. Bu konuda çalışmaların yapılması, yeni tekniklerin geliştirilmesi ve hiperakümülatör bitkilerin fizyolojilerinin tam anlamıyla anlaşılması, büyük oranda toprak ve su kaynaklarının sürdürülebilirliğini sağlayacaktır.

Ağır metale maruz kalan bitkilerde oluşan kalite bozuklukları, tüketicinin albenisini azaltmakta, birim alandan elde edilen verimin azalması ve bitkilerde ağır metal kalıntısı ihracatı olumsuz etkilemekte ve bu durum ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Bu nedenlerle, ağır metallerin bitki fizyolojisi üzerine etkisi ve bitkilerin ağır metallere karşı savunma mekanizmaları tam olarak anlaşılmalıdır. Ağır metalleri dışlayıcı ve ağır



metallere karşı dayanıklılığı yüksek bitki genetiklerinin geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapılmalıdır.

Su kaynakları üzerinde artan baskı ve kirlilik, sadece tarım değil tüm sektörleri olumsuz etkilemektedir. Sulama amacıyla kullanılan atık sular veya toprak ıslahı amacıyla kullanılan arıtma çamurları, toprakta ağır metal birikimine neden olabilir. Özellikle uzun süreli arıtma çamuru ve atık su kullanımlarında, ağır metal birikimini çözmek için toprak ve su kaynaklarında, belli periyotlarda ağır metal analizleri yapılmalıdır. Daha kolay analiz yöntemlerinin ve arazide ölçüm tekniklerinin geliştirilmesiyle, ağır metallerin takibi hızlı ve sürekli olacağından dolayı, toprak ve sularda ağır metallerin birikim riski azalacaktır. Bunların yanı sıra doğal bir servet olan su kaynaklarının korunması ve ağır metal kirliliğinden arındırılmasına yönelik çalışmalara da ihtiyaç duyulmaktadır.

Büyük çoğunluğu insan kaynaklı faaliyetler sonucunda oluşan ağır metal kirliliğini indirmek için ilgili kişilere eğitimler verilmeli ve çevre bilinci çocuk yaşlarda aşılanmalıdır. Ağır metallerin kullanıldığı endüstri ve sanayi dallarında, kullanım miktarı azaltılmalı ve bitkisel kökenli ürünlerin kullanımı teşvik edilmelidir. Tarımsal üretimde, kimyasal gübrelerin ve ilaçların kullanımı azaltılmalı, kullanım miktarları takip altında tutulmalıdır. Vahşi çöp depolama yöntemlerinin yerine ileri teknoloji çöp işletim tesisleri kurulmalıdır. Atıkların bertarafında ileri teknolojiler kullanılmalı ve yeni teknolojiler geliştirilmelidir. Maden ocakları, nükleer tesisler, tıbbi alanlardan ortaya çıkan atıklar ve çöpler titizlikle arıtılmalı, arıtılmadan doğaya asla bırakılmamalıdır. Tüm bunlar yasal zorunluluklar ile kontrol altında tutulmalı, caydırıcı cezalar uygulanarak hukuki düzenlemeler yapılmalıdır. Ağır metal kirliliğine büyük oranda etki eden motorlu taşıtların egzoz gazları takip altında tutulmalı, araç bakımları zamanında yapılmalı ve toplu taşıma kullanımına özen gösterilmelidir. Araç yakıtı olarak kurşunlu benzin kullanımı tamamen ortadan kaldırılmalı, daha az emisyonu sahip LPG kullanımı yaygınlaştırılmalı hatta etanol gibi yenilenebilir biyoyakıtların kullanımı geliştirilmeli ve bu konuda çalışmalar yapılmalıdır.

## KAYNAKLAR

- [1] Duffus JH. Heavy metals a meaningless term? (IUPAC Technical Report). Pure and Applied Chemistry. 2002;74(5):793-807.
- [2] Batır MB. Kurşun (Pb) ve Bakır (Cu) Ağır Metal Stresi Uygulanan Enginar (*Cynara scolymus L.*) Tohumlarının Fiderlerinde Oluşan DNA Değişikliklerinin Belirlenmesi [Yüksek Lisans Tezi]. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi; 2014.
- [3] Kafadar F, Saygıdeğer S. Gaziantep İlinde Organize Sanayi Bölgesi Atık Suları İle Sulanan Bazı Tarım Bitkilerinde Kurşun Miktarlarının Belirlenmesi. Ekoloji. 2010;75:41-48.
- [4] Okcu M, Tozlu E, Kumlay AM, Pehlivan M. Ağır Metallerin Bitkiler Üzerine Etkileri. Alınları Zirai Bilimler Dergisi. 2009; 17(2): 14-26.
- [5] Taciroğlu B, Kara EE, Sak T. Toprakta Ağır Metal Gideriminde Solucanların Kullanımı. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üni. Doğa Bilimleri Dergisi. 2016;19(2):201-207.
- [6] Seven T, Can B, Darende BN, Ocak S. Hava ve Toprakta Ağır Metal Kirliliği. Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi. 2008;1(2):91-103.
- [7] Mancosu N, Snyder RL, Kyriakakis G, Spano D. Water scarcity and future challenges for food production. Water. 2015;7(3):975-992.
- [8] Wuana RA, Okieimen EF. Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation. International Scholarly Research Network ISRN Ecology. 2011;1-20.
- [9] Montiel-Rozas MM, Madejón E, Madejón P. Effect of heavy metals and organic matter on root exudates (low molecular weight organic acids) of herbaceous species: An assessment in sand and soil conditions under different levels of contamination. Environmental Pollution. 2016;216:273-281.
- [10] Kiziloglu FM, Turan M, Sahin U, Kuslu Y, Dursun A. Effects of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (*Brassica oleracea L. var. botrytis*) and red cabbage (*Brassica oleracea L. var. rubra*) grown on calcareous soil in Turkey. Agricultural Water Management. 2008;95(6):716-724.
- [11] Cherfouh R, Lucas Y, Derridj A, Merdy P. Long-term, low technicality sewage sludge amendment and irrigation with treated wastewater under Mediterranean climate: impact on agronomical soil quality. Environmental Science and Pollution Research. 2018;25(35):35571-35581.
- [12] Elfanssi S, Ouazzani N, Mandi L. Soil properties and agro-physiological responses of alfalfa (*Medicago sativa L.*) irrigated by treated domestic wastewater. Agricultural Water Management. 2018;202:231-240.
- [13] Leuther F, Schlüter S, Wallach R, Vogel HJ. Structure and hydraulic properties in soils under long-term irrigation with treated wastewater. Geoderma. 2019;333:90-98.
- [14] Khurana MPS, Singh P. Waste water use in crop production: a review. Resources and Environment. 2012;2(4):116-131.
- [15] Singh A, Agrawal M. Effects of Waste Water Irrigation on Physical and Biochemical Characteristics of Soil and Metal Partitioning in Beta vulgaris L. Agr. Research. 2012;1(4):379-391.
- [16] Singh S, Parihar P, Singh R, Singh VP, Prasad SM. Heavy metal tolerance in plants: role of transcriptomics, proteomics, metabolomics, and ionomics. Front Plant Science. 2016;6:1-36.
- [17] Galavi M, Jalali A, Ramroodi M, Mousavi SR, Galavi H. Effects of treated municipal wastewater on soil chemical properties and heavy metal uptake by sorghum (*Sorghum bicolor L.*). Journal of Agricultural Science. 2010;2(3):235-241.
- [18] Yerli C, Şahin Ü, Çakmacı T, Tüfenkçi Ş. Effects of Agricultural Applications on CO<sub>2</sub> Emission and Ways to Reduce. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Tech. 2019;7(9):1446-1456.

- [19] Liu L, Li W, Song W, Guo M. Remediation techniques for heavy metal-contaminated soils: principles and applicability. *Science of the Total Environment*. 2018;633:206-219.
- [20] Mengoni A, Gonnelli C, Galardi F, Gabbriellini R, Bazzicalupo M. Genetic diversity and heavy metal tolerance in populations of *Silene paradoxa* L. (*Caryophyllaceae*): a random amplified polymorphic DNA analysis. *Molecular Ecology*. 2009;19:1319-1324.
- [21] 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.
- [22] Souza-Santos P, Ramos RS, Ferreira ST, Carvalho-Alves PC. Iron-induced oxidative damage of corn root plasma membrane H<sup>+</sup>ATPase. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)*. 2001;1512:357-366.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] Tunc T, Sahin U. The changes in the physical and hydraulic properties of a loamy soil under irrigation with simpler-reclaimed wastewaters. *Agricultural Water Management*. 2015;158:213-224.
- [28] 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.
- [29] Çağlarırnak N, Hepçimen AZ. Ağır metal toprak kirliliğinin gıda zinciri ve insan sağlığına etkisi. *Akademik Gıda Dergisi*. 2010;8(2):31-35.
- [30] Wei CY, Chen TB. Arsenic accumulation by two brake ferns growing on an arsenic mine and their potential in phytoremediation. *Chemosphere*. 2006;63(6):1048-1053.
- [31] Özay C, Mammadov R. Ağır metaller ve süs bitkilerinin fitoremediasyonda kullanılabilirliği. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 2016;15(1)68-77.
- [32] Emamverdian A, Ding Y, Mokhberdorran F, Xie Y. Heavy metal stress and some mechanisms of plant defense response. *The Sci. World J*. 2015;5:1-20.
- [33] 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.
- [34] Requejo R, Tena M. Maize response to arsenic toxicity as revealed by proteome analysis of plant shoots. *Proteomics*. 2006;6:156-162.
- [35] Stoeva N, Berova M, Zlatev Z. Effect of arsenic on some physiological parameters in bean plants. *Biological Plant*. 2005;49:293-296.
- [36] Güneş A, Alpaslan M, İnal A. Bitki Besleme ve Gübreleme. 6. Baskı. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No: 1581, Ders Kitabı No: 533, Ankara, 2013.
- [37] Abedin MJ, Cotter-Howells J, Meharg AA. Arsenic uptake and accumulation in rice (*Oryza sativa* L.) Irrigated with contaminated water. *Plant and Soil*. 2020;240(2):311-319.
- [38] Miteva E, Merakchiyska M. Response of chloroplasts and photosynthetic mechanism of bean plants to excess arsenic in soil. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2002;8:151-156.
- [39] Anita S, Rajesh KS, Madhoolika A, Fiona MM. Health risk assessment of heavy metals via dietary intake of foodstuffs from the wastewater irrigated site of a dry tropical area of India. *Food and Chemical Toxicology*. 2010;48(2):611-619.
- [40] Öztürk M, Aslan Ş, Demirbaş A. Sulama sularındaki arseniğin bitkilerde birikimi. *Pamukkale Üni. Müh. Derg.* 2017;23(3):289-297.
- [41] Imamul Huq SM, Joardar JC, Parvin S. Marigold (*Tagetes patula*) and ornamental arum (*Syngonia sp.*) as phytoremediators for arsenic in pot soil. *Bangladesh Journal of Botany*. 2005;34(2):65-70.
- [42] Raven JA, Evans MCW, Korb RE. The role of trace metals in photosynthetic electron transport in O<sub>2</sub>-evolving organisms *Pho. Res.* 1999;60:111-149.
- [43] 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.
- [44] Braz J. Copper in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 2005;17:145-146.
- [45] Sönmez S, Kaplan M, Sönmez NK, Kaya H, Uz İ. High level of copper application to soil and leaves reduce the growth and yield of tomato plants. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*. 2006;63(3):213-218.
- [46] Dunand VF, Epron D, Sossé AB, Badot PM. Effects of copper on growth and on photosynthesis of mature and expanding leaves in cucumber plants. *Plant Science*. 2002;163:53-58.
- [47] Doğan G, Sabah E, Erkal T. Borun çevresel etkileri üzerine Türkiye’de yapılan bilimsel araştırmalar. Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi. İzmir.
- [48] Marschner H. Mineral nutrition of higherplants. 2nd ed. Acad. Press. San Diego. CA, USA; 1999.
- [49] Lukaszewski KM, Blevins DG. Root growth inhibition in boron deficit aluminium stressed scumash may be a result of impaired ascorbate metabolism. *Plant Physiol*. 1996; 112:1135-1140.
- [50] Demirtaş A. Bitkide bor ve etkileri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fak. Derg. 2005;36(2):217-225.
- [51] Gezgin S, Hamurcu M. Bitki beslemede besin elementleri arasındaki etkileşimin önemi ve bor ile diğer besin elementleri arasındaki etkileşimler.

- Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences. 2006;20(39):24-31.
- [52] Messer RL, Lockwood PE, Tseng WY, Edwards K, Shaw M, Caughman GB, et al. Mercury (II) alters mitochondrial activity of monocytes at sublethal doses via oxidative stress mechanisms. Journal Biomed Mat. Res. B. 2005;75:257-263.
- [53] Zhou ZS, Huang SQ, Guo K, Mehta SK, Zhang PC, Yang ZM. Metabolic adaptations to mercury-induced oxidative stress in roots of *Medicago sativa* L. Journal Inorganic Bio. 2006; 101:1-9.
- [54] Vaillant N, Monnet F, Hitmi A, Sallanon H, Coudret A. Comparative study of responses in four *Datura* species to a zinc stress. Chemosphere. 2005;59:1005-1013.
- [55] Asati A, Pichhode M, Nikhil K. Effect of heavy metals on plants: an overview. International J. of Application or Innovation in Engineering & Management. 2006;5:2319-4847.
- [56] Rout GR, Das P. Effect of metal toxicity on plant growth and metabolism: I. Zinc. Agronomie. 2003;23:3-11.
- [57] El-Ghamery AA, El-Kholy MA, El-Yousser A. Evaluation of cytological effects of Zn<sup>+2</sup> in relation to germination and root growth of *Nigella sativa* L. and *Triticum aestivum* L. Mutation Research. 2003;537:29-41.
- [58] McGowen SL, Basta NT, Brown GO. Use of Diammonium Phosphate to Reduce Heavy Metal Solubility and Transport in Smelter Contaminated Soil. Journal of Environmental Quality. 2001;30:493-500.
- [59] Becker M, Asch F. Iron toxicity in rice conditions and management concepts. Journal Plant Nutrient Soil Science. 2005;168:558-573.
- [60] Pak O. Kırklareli Sınırları İçerisindeki Otoban Kenarlarında Bulunan Tarım Arazilerinde Bazı Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması [Yüksek Lisans Tezi]. Namık Kemal Üni., Tekirdağ; 2011.
- [61] Kacar B, Katkat V. Bitki Besleme. 1. Baskı. Nobel Yayın No:849, İstanbul; 2006.
- [62] San N. Ağır metal ve boyar madde içeren atıksuların *Rhodotorula* sp. ile arıtımı [Yüksek Lisans Tezi]. Ankara Üniversitesi, Ankara; 2007.
- [63] Kahvecioğlu Ö, Kartal G, Güven A, Timur S. Metallerin çevresel etkileri-I. Metalurji Dergisi 2003;136:47-53.
- [64] Singh A, Sharma RK, Agrawal M, Marshall F. Effects of wastewater irrigation on physicochemical properties of soil and availability of heavy metals in soil and vegetables. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 2009;40(21- 22):3469-3490.
- [65] Yılmaz T. Ağır metallerin (kurşun, çinko, bakır ve kadmiyum) bazı karayosunu türlerinin klorofil içeriği üzerine etkisi [Yüksek Lisans Tezi]. Ömer Halis Demir Üniversitesi, Niğde; 2015.
- [66] Kabala C, Singh BR. Fractionation and Mobility of Copper, Lead, and Zinc in Soil Profiles in the Vicinity of a Copper Smelter. Journal of Environmental Quality. 2001;30:485-492.
- [67] Kara EE, Pırlak U, Özdilek HG. Evaluation of Heavy Metals'(Cd, Cu, Ni, Pb and Zn) Distribution in Sowing Regions of Potatofields in the Province of Niğde, Turkey. Water, Air and Soil Pollution. 2004;153:173-186
- [68] Asri FÖ, Sönmez F. Ağır metal toksisitesinin bitki metabolizması üzerine etkileri. Derim. 2006;23(2):36-45.
- [69] Guo J, Dai X, Xu W, Ma M. Over expressing GSHI and AsPCSI simultaneously increases the tolerance and accumulation of cadmium and arsenic in *Arabidopsis thaliana*. Chemosphere. 2008;72:1020-1026.
- [70] Chaffei C, Pageau K, Suzuki A, Gouia H, Ghorbel MH, Masclaux-Daubresse C Cadmium Toxicity Induced Changes in Nitrogen Management in *Lycopersicon esculentum* Leading to a Metabolic Safeguard Through an Amino Acid Storage Strategy. Plant Cell Physiol. 2004;45(11):1681-1693.
- [71] Okudan M. Kobalt ve Molibden İçeren Kullanılmış Hidrodesülfürizasyon (HDS) Katalizör Atıklarına Asidik ve Alkali Liç Uygulaması [Yüksek Lisans Tezi]. Süleyman Demirel Üni. Isparta; 2009.
- [72] Khan MR, Khan MM. Effect of varying concentration of nickel and cobalt on the plant growth and yield of chickpea. Australian Journal of Basic and Applied Science. 2010;4(6):1036-1046.
- [73] Jayakumar K, Jaleel CA, Azooz MM. Impact of cobalt on germination and seedling growth of *Eleusine coracana* L. and *Oryza sativa* L. under hydroponic culture. Global Journal of Molecular Sciences. 2008;3(1):18-20.
- [74] Khan MAA, Siddhu KG. Phytotoxic effects of Cadmium (Cd) on Physiology of Urdbean [*Vigna mungo* (L.) Hepper.]. Advances in Plant Sciences. 2006;19(2):439-451.
- [75] Shanker AK, Cervantes C, Loza-Tavera H, Avudainayagam S. Chromium toxicity in plants. Environment international. 2005;31(5):739-753.
- [76] Vajpayee P, Rai UN, Ali MB, Tripathi RD, Yadav V, Sinha S, et al. Chromium-induced physiologic changes in *Vallisneria spiralis* L. and its role in phytoremediation of tannery effluent. Bulletin of Env. Cont. and Toxicology. 2006;67(2):246.
- [77] Kimbrough DE, Cohen Y, Winer AM, Creelman L, Mabuni C. A critical assessment of chromium in the environment. Critical Reviews in Environmental Science and Technology. 2009;29(1):1-46.
- [78] Ali S, Bai P, Zeng F, Cai S, Shamsi IH, et al. The ecotoxicological and interactive effects of chromium and aluminum on growth, oxidative damage and antioxidant enzymes on two barley genotypes differing in Al tolerance. Environmental and Experimental Botany (EEB). 2011;70(2-3):185-191.
- [79] Karademir M, Toker MC. Ankara'nın Bazı Kavşaklarında Yetişen Çim ve Bitkilerde Egzoz Gazlarından Gelen Kurşun Birikimi. II. Ul. Ekoloji ve Çevre Kirliliği. Ank.: 1995. p. 699-711.
- [80] Tornabene TG, Edwards HW. Microbial uptake of lead. Science. 1972;176:1334-1335.
- [81] Hussain A, Abbas N, Arshad F. Effects of diverse doses of lead (Pb) on different growth attributes of *Zea mays* L. Agricultural Sci. 2013;4(5):262-265.

- [82] Kabir AM, Iqbal MZ, Shafiq M. Effects of lead on seedling growth of *Thespesia populnea* L. *Advances in Env. Biology*. 2009;3(2):184-190.
- [83] Verma S, Dubey RS. Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants. *Plant Science*. 2003;164:645-655.
- [84] Kacar B. *Toprak Analizleri*. 2. Baskı. Nobel Yayınları No:1387, Ankara; 2009.
- [85] Kacar B, İnal A, Bitki Analizleri. 1. Baskı. Nobel Yayınları No: 1241. Ankara; 2010.
- [86] Kacar B, Katkat AV, Gübreler ve Gübreleme Tekniği. 1. Baskı. Nobel Yayınları No: 1119. Ankara; 2007.
- [87] Kasmuri N, Sabri SNM, Wahid MA, Rahman ZA, Abdullah MM, Anur MZK. Using zeolite in the ion exchange treatment to remove ammonia-nitrogen, manganese and cadmium. In *AIP Conference Proceedings*; AIP Publishing; 2008. p. 020004.
- [88] Ergene A. İz elementlerin bitki, hayvan ve insan hayatı bakımından önemi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 2010;3(3):1-12.
- [89] Hafner H, Ndunguru BJ, Bationo A, Marschner H. Effect of nitrogen, phosphorus and molybdenum application on growth and symbiotic N<sub>2</sub>-fixation of groundnut in an acid sandy soil in Niger. *Fertilizer Research*.1992;31(1):69-77.
- [90] Oğuz F. Sulu ve Kuru Tarım Koşullarında Farklı Dozlarda Uygulanan Molibdenin Bazı Nohut (*Cicer arietinum* L.) Çeşitlerinde Verim ve Verim ile İlgili Karakterlere Etkilerinin Araştırılması [Yüksek Lisans Tezi]. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van; 2004.
- [91] Mut Z, Gülümser A. Bakteri aşılması ile birlikte çinko ve molibden uygulamasının Damla-89 nohut çeşidinin bazı kalite özellikleri üzerine etkileri. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*. 2005;20(2):1-10.
- [92] Akkuş E. Farklı Dozlarda Uygulanan Molibdenin Nohut (*Cicier Arietinum* L.) Bitkisinin Azot İçeriğine Etkisi [Yüksek Lisans Tezi]. Çanakkale Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Çanakkale; 2009.
- [93] Brohi AR, Aydeniz A, Karaman MR. *Toprak Verimliliği*. G.O.P. Üniv., Zir. Fak. Yay:5 Kitaplar Serisi: 5, Tokat:1995.
- [94] Krogmeier MJ, Mccarty GW, Shogren DR, Bremner JM. Effect of nickel deficiency in soybeans on the phototoxicity of foliar applied urea. *Plant and Soil*. 1991;135:283-286.
- [95] Zengin FK, Munzuroglu O. Effects of some heavy metals on content of chlorophyll, proline and some antioxidant chemicals in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*. 2005;47(2):157-164.
- [96] Özmert S. Cu(II), Zn(II) ve Cd(II) Metallerini Sulu Çözeltilerinden Pomza ve Kompozit Kullanarak Uzaklaştırma [Yüksek Lisans Tezi]. Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta; 2005.
- [97] Özbolat G, Tuli A. Ağır metal toksisitesinin insan sağlığına etkileri. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*. 2006;25(4):502-521.
- [98] Velioğlu S, Şimşek A. İnsan sağlığı ve beslenme açısından bor. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*. 2003;4(2):123-130.
- [99] Turkez H, Geyikoglu F, Tatar A, Keles MS, Kaplan İ. The effects of some boron compounds against heavy metal toxicity in human blood. *Experimental and Toxicologic Pathology*. 2012;64(1-2):93-101.
- [100] Bakar C, Baba A. *Metaller ve İnsan Sağlığı: Yirminci Yüzyıldan Bugüne ve Geleceğe Miras Kalan Çevre Sağlığı Sorunu*. 1.Tıbbi Jeoloji Çalıştayı. Nevşehir; 2009. p. 10-25.
- [101] Atıcı AA, Gültekin A, Şen F, Elp M. Erciş (Van) İlçesi İçme Sularının Su Kalitesi Özellikleri. *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*. 2016;26(4):517-528.
- [102] Vural H. Ağır metal iyonlarının gıdalarda oluşturduğu kirlilikler. *Ekoloji*. 1993;8: 3-8.
- [103] Finkelman RB, Skinner HCW, Plumlee GS, Bunnell JE. *Medical geology*. *Geotimes*. 2001;46(11):20-23.
- [104] Aksoy Ö. Sulu Çözeltilerden Bazı Boyarmaddelerin ve Bakır Metalinin Uzaklaştırılmasında Yeni Bir Adsorplayıcı Olarak Nar Posasının Değerlendirilmesi [Yüksek Lisans Tezi]. Dicle Üniversitesi, Diyarbakır; 2012.
- [105] Asri FÖ, Sönmez F, Çıtak S. Kadmiyumun Çevre ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri. *Derim*. 2007;24(1):32-39.
- [106] Yamada K. Cobalt: its role in health and disease. In: Astrid S, Helmut S, Roland KOS, editors. *Interrelations between Essential Metal Ions and Human Diseases*. Springer: Dordrech; 2013. p. 295-320.
- [107] Boğa A. Ağır Metallerin Özellikleri ve Etki Yolları. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*. 2007;16(3):218-234.
- [108] Matta G, Gjyli L. Mercury, lead and arsenic: impact on environment and human health. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*. 2016;9(2):718-725.
- [109] Schroeter JD, Nong A, Yoon M, Taylor MD, Dorman DC, Andersen ME, et al. Analysis of manganese tracer kinetics and target tissue dosimetry in monkeys and humans with multi-route physiologically based pharmacokinetic models. *Toxicological Sciences*. 2010;120(2):481-498.
- [110] Bowman AB, Kwakye GF, Hernández EH, Aschner M. Role of manganese in neurodegenerative diseases. *J. of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2011;25(4):191-203.
- [111] Gupta CU, Srivastava C, Gupta CS. Role of micronutrients: Boron and molybdenum in crops and in human health and nutrition. *Current Nutrition & Food Science*. 2011;7(2):126-136.