

# AĞIR METAL TOKSİSİTESİNİN BİTKİ METABOLİZMASI ÜZERİNE ETKİLERİ

Filiz ÖKTÜREN ASRİ

Sahriye SÖNMEZ

Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü, Antalya

## ÖZET

Günümüzde toprakta ağır metal kirliliği önemli çevresel problemlerden birisidir. Ağır metallerin toprakta birikmesinin sadece toprak verimliliği ve ekosistem fonksiyonları üzerinde değil aynı zamanda besin zinciri yoluyla hayvan ve insan sağlığı üzerinde de önemli etkileri vardır. Bitki bünyesine ulaşan ağır metaller bitkilerin fizyolojik aktivitelerini engellemekte, verimliliklerini azaltmakta ve ölümlerine neden olmakta dolayısıyla ürün kalite ve miktarının azalmasına yol açmaktadırlar. Bitkilerin ağır metal toksisitesine karşı toleransları bitki türüne, element türüne, strese maruz kalma süresine ve strese maruz kalan doku veya organın yapısına bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle ağır metalin tür ve miktarı, yayılgınlığı, zararın şiddeti ve türü ayrıca zarar oluşum sürecinin bilinmesi bitkilerin gelişimi ve canlılığı açısından oldukça önemlidir.

**Anahtar Kelimeler:** Ağır metal, toksisite, stres, bitki metabolizması

## THE EFFECT OF HEAVY METAL TOXICITY ON PLANT METABOLISM

### ABSTRACT

Heavy metal pollution of soils is one of the most important environmental problem. Heavy metal accumulation in soils has an important influence not only on the fertility of soils and functions of ecosystem but also on the health of animals and human beings via food chains. Heavy metals in plant structure causes important decreases in crop quality and yield due to inhibition of plant physiological activity, decrease of fertility and die. Tolerance of plant to heavy metal toxicity depends on plant variety, element type, time of stress, plant tissue and organ. Therefore, knowing heavy metal type and quantity, availability, damage strength and type, and as well as damage formation process is important for plant growth and development.

**Keywords:** Heavy metal, toxicity, stress, plant metabolism

## 1. GİRİŞ

Günümüzde, ekosistemlerin toprak, su ve hava gibi ortamlarında yaygın bir şekilde birikmeye başlayan ağır metaller, Dünya yüzeyindeki tüm organizmaların yaşamını tehdit eden önemli bir çevre sorunu haline almıştır. Ağır metallerin çevreye yayılmasına neden olan etmenlerin başında endüstriyel faaliyetler, motorlu taşıtların egzozları, maden yatakları ve işletmeleri, volkanik faaliyetler, tarımda kullanılan gübre ve ilaçlar ile kentsel atıklar gelmektedir

(Stresty ve Madhava Rao, 1999). Ekosfere ulaşan ağır metallerden çinko, mangan, kobalt, bakır, nikel ve molibden bitki gelişimi için mutlak gerekli iken alüminyum, vanadyum, arsenik, civa, kurşun, kadmiyum ve selenyum toksik etkilidir. Bitki gelişimi için mutlak gerekli element olsun veya olmasın ağır metallerin doku ve organlardaki aşırı birikimi bitkilerin vejetatif ve generatif organlarının gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir (Gür ve ark., 2004). Ağır metaller bu toksik etkileri nedeniyle bitkilerde transpirasyon, stoma hareketleri, su alımı, fotosentez, enzim aktivitesi, çimlenme, protein sentezi,

membran stabilitesi, hormonal denge gibi birçok fizyolojik olayın bozulmasına neden olmaktadır (Kennedy ve Gonsalves, 1987). Toksikite, metalden metale değişebildiği gibi, organizmadan organizmaya da değişebilmektedir. Olumlu veya olumsuz (toksik) etkiler yalnızca elementin tipi ve konsantrasyonuna bağlı olmayıp değişik türlerin genetik esaslı fizyolojik davranışları ile de ilgilidir (Haktanır ve Arcak, 1998).

Bitkilerin çevresel stres faktörlerine karşı toleransları bitki türüne, stres faktörüne, strese maruz kalma süresine ve strese maruz kalan doku veya organının yapısına bağlı olarak değişmektedir (Gür ve ark., 2004). Bu nedenle bitkilerin bu stres koşullarına tepkilerinin ve geliştirdikleri uyum mekanizmalarının bilinmesi gerekmektedir. Bitkilerin ağır metal toksisite tolerans sınırlarının bilinebilmesi için metal tür ve miktarı, yarayışlılığı, zararın şiddeti ve türü ayrıca zarar oluşum süreci göz önüne alınmalıdır. Bu özelliklerin bilinmesi, bitkilerin gelişimi ve canlılığı açısından oldukça önemlidir (Paschke ve ark., 2005).

Dünya nüfusunun hızla artması nedeniyle birim alandan elde edilen bitkisel ürün miktar ve kalitesinin arttırılmasının hedeflendiği bitkisel üretimde (özellikle mevsim dışı yetişen ürünlerde) verimin arttırılması, kalite standartlarının yakalanmasının yanı sıra insan sağlığını etkileyebilecek uygulamalardan da kaçınılması gerekmektedir. Bu nedenle; bu çalışmada, hava, su ve toprak kirliliğine yol açması nedeniyle insan, hayvan ve bitki sağlığını olumsuz yönde etkileyen ağır metallerin bitki metabolizması üzerine etkilerine değinilmiştir.

## 2. AĞIR METALLER VE BİTKİ METABOLİZMASI ÜZERİNE ETKİLERİ

### 2.1. Çinko

Çinko, insan ve hayvanlarda olduğu gibi bitkilerde de çok çeşitli ve önemli metabolik işlevlere sahiptir. Protein ve karbonhidrat sentezine katılmasının yanı sıra, enzim aktivasyonu, fotosentez, solunum ve biyolojik membran stabilitesi üzerine etkileri nedeniyle üretilen ürün miktarı ve kalitesini direkt olarak etkilemektedir (Rout ve Das, 2003). Endüstride metal kaplama ve alaşımlarda kullanılan önemli bir elementtir. Ayrıca; mürekkep, kopya kâğıtları, kozmetik, boya, lastik, muşamba, maden sanayi gibi pek çok sanayide kullanılır. Çinko, yoğun endüstri alanlarından bırakılan atık sularla, kanalizasyon sularıyla ve asit yağmurları aracılığıyla toprağa ulaşmaktadır (Vaillant ve ark., 2005). Topraklardaki toplam Zn konsantrasyonu 10-300 ppm, bitkiler tarafından alınabilir Zn konsantrasyonu 3.6-5.5 ppm arasında değişmektedir. Bitkilerdeki Zn konsantrasyonları normal bitkilerde 5-100 ppm arasındadır. Görülen toksisiteler genellikle 400 ppm'den sonra başlamaktadır (Özbek ve ark., 1995).

Çinko toksisitesinde bitkilerin kök ve sürgün büyümesi azalır, kökler inceler, genç yapraklar kıvrılır ve kloroz görülür, hücre büyümesi ve uzaması engellenir, hücre organelleri parçalanır ve klorofil sentezi azalır (Rout ve Das, 2003).

Çinkonun, fasulye bitkisinin kök, gövde ve yaprak büyümesi üzerine etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada artan çinko (kontrol, 1.5 mM, 2.0 mM ve 2.5 mM) konsantrasyonlarıyla ilişkili

olarak kök (kontrole göre %29.23, %34.03 ve %14.57), gövde (kontrole göre %26.79, %30.93 ve %33.62) ve yaprak (kontrole göre %17.49, %20.99 ve %24.94) büyümesinin azaldığı tespit edilmiştir (Zengin ve Munzuroğlu, 2005).

Çinkonun kök meristem hücrelerinde bölünecek olan hücrelerde birikerek profazın sonundaki olayları engelleyerek mitoz bölünmeyi engellediği ayrıca hücrelerin ligninleşmesini sağlayarak hem kök hem de gövde büyümesini engellediği ifade edilmiştir (El-Ghamery ve ark., 2003).

Artan çinko dozlarının (kontrol, 1 mM, 2.5 mM ve 5 mM) klorofil sentez, miktar ve dağılımı üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada Solanacea familyasının herbaceous türlerinden biri olan Datura bitkisinin farklı varyeteleri (Datura innoxia, Datura metel, Datura sanguinea ve Datura tatula) kullanılmıştır. Çalışmada çinkonun toksik etkisinin türlere bağlı olarak değiştiği, 5 mM Zn dozu uygulanan bitkilerde klorofil içeriğinin D.innoxia %32, D.sanguinea %84, D.metel %89 ve D.tatula'da %83 oranında azaldığı tespit edilmiştir (Vaillant ve ark., 2005).

Yüksek dozlardaki çinkonun klorofil sentezini etkilemesinin nedeni olarak yeterli demir bulunması halinde bile bitkinin bundan yararlanmasını engellemesi ve klorofilin merkezinde bulunan magnezyumun yerine geçmesi gösterilmektedir (Van Assche ve Clijsters, 1990).

## 2.2. Bakır

Bakır bitki bünyesinde enzim aktivasyonu, karbonhidrat ve lipid metabolizmasında yer alması nedeniyle önemli bir elementtir (Kacar ve Katkat,

2006). Bakır kirliliği insan aktivitesi sonucu oluşan emisyon ve atmosferik depositler, pestisid kullanımı, kanalizasyon atıklarının gübre olarak değerlendirilmesi, kömür ve maden yataklarından kaynaklanmaktadır. Toprakta 100 mg/kg, bitki kuru maddesinde ise 15-30 mg/kg'dan fazla bakır toksik etkilidir. Bakır toksisitesi genellikle bitki kök sistemlerinde açığa çıkar ve bitki bünyesinde protein sentezi, fotosentez, solunum, iyon alımı ve hücre membran stabilitesi gibi bazı fizyolojik olayların bozulmasına neden olur (Sossé ve ark., 2004).

Bakır toksisitesinin hıyar bitkisindeki fotosentez oranı üzerine etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada 0 ve 10 µg/g Cu uygulanmıştır. Hıyar yapraklarının bakır stresine karşı oluşturdukları tepkiler büyüme dönemine göre değişmiştir. Fotosentezin olgun yapraklarda kontrole göre %52, genç yapraklarda ise %27 oranında azaldığı belirlenmiş olup, fotosentez oranının olgun yapraklarda daha fazla azalmasının nedeni olarak; olgun yapraklardaki stomal hareket ve dolayısıyla CO<sub>2</sub> asimilasyonunun daha fazla azalması gösterilmiştir (Dunand ve ark., 2002). Bakırın hıyar bitkisinin karbonhidrat birikimi ve iyon içeriği üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yapılan bir başka çalışmada 0 ve 20 µg/g bakır uygulanmıştır. Genç yaprakların nişasta içeriğinin kontrole göre %155, olgun yaprakların ise %116 oranında arttığı saptanmıştır. Nişasta içeriğindeki bu artışın yüksek dozlardaki bakırın asimilat taşınmasını engellemesinden kaynaklandığı ifade edilmiştir. Bitkilerin potasyum ve magnezyum içeriklerinin hem genç hem de olgun yapraklarda kontrole göre %40 azaldığı ve bakırın kalsiyumun köklerden yapraklara taşınmasını azalttığı tespit edilmiştir

(Sossé ve ark., 2004). Bakırın hücre duvarına bağlanması direkt ya da kalsiyumu yerinden çıkarmak suretiyle iki şekilde meydana gelmektedir. Bu durumda hücre duvarı elastikiyeti bozulmakta ve turgor azalmaktadır. Böylece köklerden yapraklara kalsiyum taşınmasını azaltmaktadır (Ouzounidou, 1994). Artan bakır dozlarının ürün miktarı üzerine etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada çeltik bitkisi yetiştirilmiştir. Çalışmada toprakta 100 mg/kg bakır bulunduğunda verim %10; 300-500 mg/kg %50 ve 1000 mg/kg olduğunda %90 oranında azaldığı bildirilmektedir (Xu ve ark., 2006).

Toprak (kontrol, 1000 ve 2000 ppm) ve yapraktan (Cu oksiklorid ve metalik bakır) artan düzeylerde bakır uygulamalarının domates bitkisinin ürün miktarı ve kalitesi üzerine etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada topraktan uygulanan artan bakır dozlarının toplam verim, meyve sayısı, kuru kök ağırlığı ve bitki boyunun azalmasına neden olduğu; yaprak ve topraktan yapılan Cu uygulamalarının sadece toprak yada sadece yapraktan uygulamalara göre daha tehlikeli olduğu ifade edilmiştir (Sönmez ve ark., 2006 a).

Topraktan artan düzeylerde yapılan bakır uygulamalarının (kontrol, 1000 ve 2000 ppm CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O) toprak pH'sı ve bitki besin maddesi alımı üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada artan bakır dozlarının toprak pH'sı, değişebilir magnezyum ve bitkiye yarayışlı demirin azalmasına, toplam N, alınabilir P, değişebilir K, bitkiye yarayışlı Zn ve Cu içeriklerinin artmasına neden olduğu belirtilmiştir (Sönmez ve ark., 2006 b).

### 2.3. Kadmiyum

Kadmiyumun tarım topraklarına girişi ve yayılması endüstriyel faaliyetler, fosforlu gübreler, lağım atıkları ve atmosferik depositler yoluyla olmaktadır (Tablo 1) (Haktanır, 1987). Toprakta 3 mg/kg, bitki kuru maddesinde ise 1 mg/kg'dan fazla kadmiyum toksik etkilidir (Özbek ve ark., 1995). Bitki ve topraklara ulaşan kadmiyumun büyük kısmı kadmiyum içeren toz zerreciklerinin havadan çökmesi yolu ile olmaktadır. Trafik yoğun olduğu alanlardaki yol kenarlarındaki topraklarda toz çökmesi ile yılda m<sup>2</sup>'ye 0.2-1.0 mg kadmiyum ilavesinin olduğu ölçülmüştür (Haktanır, 1987).

Çizelge 1. Farklı Nitelikteki Materyallerin Kadmiyum İçerikleri (Haktanır, 1987).

Materyalin Cinsi	Cd Kapsamları (ppm)
Kömür	1-2
Motor Yağları	0.5
Taşı Lastikleri	20-90
Süper fosfat	38-48
Ham fosfatlar	31-90
Yer kabuğu (ort.)	0.18
Kirlenmemiş Topraklar	1
Kirlenmiş Topraklar	1-53

Bu metal insan, hayvan ve bitkiler için toksik etkili bir elementtir. Bitki bünyesinde azot ve karbonhidrat metabolizmalarını değiştirmesi nedeniyle birçok fizyolojik değişikliğe neden olmaktadır. Proteinlerin -SH gruplarındaki enzimleri inaktive etmekte, fotosentezi engellemekte, stomaların kapanmasına, transpirasyon ile su kaybının azalmasına ve klorofil biyosentezinin bozulmasına neden olmaktadır (Sheoran ve ark., 1990). Aşırı kadmiyum dozlarının klorofil biyosentezini bozmasının en önemli

nedeni klorofil biyosentezinde görev yapan protoklorofil reduktaz ile aminolevulinik asit sentezini engellemesidir. Ayrıca ağır metallerin serbest radikal oluşumuna yol açtığı ve bu yolla tilakoid membran lipidlerinin oksidatif yıkımına neden olduğu, bu gibi durumlarda ise klorofil yıkımının arttığı ve sentezinin engellendiği bilinmektedir (Zengin ve Munzuroğlu, 2005).

Kadmiyum stresi koşullarında azot metabolizmasının enzimleri olan nitrat reduktaz ve nitrit reduktazın aktiviteleri azalmaktadır. Bu durum bitkilerin nitrat asimilasyonunu azaltmaktadır (Gouia ve ark., 2000). Yapılan bir çalışmada 50 µM kadmiyum uygulanan domates yaprak ve köklerinin nitrat içeriği kontrol bitkilerine göre %24 ve %62 oranında daha düşük bulunurken, toplam amino asit miktarının arttığı belirlenmiştir (Chaffei ve ark., 2004). Bir başka çalışmada ise buğday fidelerinin yetiştirildiği ortama kadmiyum ilave edilmesinin bitkilerin potasyum ve nitrat alımını azalttığı ve sürgün gelişimini engellediği belirlenmiştir (Tablo 2).

Çizelge 2. Kadmiyum Uygulamalarının Buğday Fidelerinin İyon Alımı Üzerine Etkileri (Veselov ve ark., 2003).

Besin ortamındaki Cd konsantrasyonu (mM)	İyon alımı ( $\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$ )	
	$\text{NO}_3^-$	$\text{K}^+$
0	65	43
0.04	26	19

Kadmiyum stresi altında bitkilerin su ve iyon alımının azalmasının en önemli nedeni kök büyüme ve gelişmesini engellemesidir. Ayrıca kadmiyum stresi altındaki bitkilerde stomaların kapanması nedeniyle transpirasyonla su kaybı

azaltmakta ve kadmiyum taşınması engellenmektedir (Salt ve ark., 1995).

#### 2.4. Kurşun

Kurşun endüstriyel ve tarımsal faaliyetlerde yaygın olarak kullanılması nedeniyle çevrede sık rastlanılan bir elementtir. Otomobil endüstrisi, batarya ve benzin katkısı olarak tetraetil ve tetrametil olarak kullanılmasının yanı sıra kurşun içeren pestisidlerin kullanılmasıyla da topraklara ulaşabilmektedir. Kurşun elementi bitkiler için mutlak gerekli olmayıp, toprakta 15-40 ppm dozunda bulunur, topraktaki kurşun konsantrasyonu 150 ppm'i aşmadığı sürece insan ve bitki sağlığı açısından tehlike oluşturmaz. Ancak 300 ppm'i aştığında potansiyel olarak insan sağlığı açısından tehlikelidir (Dürüst ve ark., 2004). Kurşun elementi, hücre turgoru ve hücre duvarı stabilitesini olumsuz etkilemesi, stoma hareketlerini ve yaprak alanını azaltması nedeniyle bitki su rejimini etkilemektedir. Aynı zamanda kökler tarafından tutulması ve kök gelişimini azaltması nedeniyle bitkilerin kation ve anyon alımını azaltmakta dolayısıyla besin alımını etkilemektedir (Sharma ve Dubey, 2005).

Kurşun elementi bitki köklerinde sürgünlere göre daha fazla birikmektedir. 10 ve 20 günlük periyodlarla kum kültüründe çeltik bitkisi yetiştirilerek 500 ve 1000 µM  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  uygulanmasının yapıldığı bitkilerde kök büyümesinin %22-42 ve sürgün büyümesini %25 oranında azaldığı, kökler tarafından absorbe edilen Pb miktarının sürgünlerden 1.7-3.3 kat daha yüksek olduğu Tablo 3'te görülmektedir (Verma ve Dubey, 2003).

Çizelge 3. 500 ve 1000  $\mu\text{M}$   $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  Uygulamasının Kök ve Sürgün Uzunluğu ve Pb İçeriği Üzerine Etkileri (Verma ve Dubey, 2003)

Fide Yaşı (Gün)	Pb	Uzunluk (cm)		Pb içeriği ( $\mu\text{mol Pb/g}$ )	
		K	S	K	S
10	0	8.84	9.23	0	0
	500	6.92	8.84	0.16	0.06
	1000	6.15	6.92	0.72	0.22
20	0	11.9	17.69	0	0
	500	9.23	16.15	0.80	0.38
	1000	6.92	13.84	1.22	0.72

K: Kök  
S: Sürgün

## 2.5. Nikel

Günümüzde mutlak gerekli elementlerden biri olarak kabul edilen nikelin tarım topraklarındaki konsantrasyonu genelde çok azdır. Ancak, serpantin gibi ultra bazik püskürük kayalardan oluşan toprakların nikel içeriği 100-5000 mg Ni/kg arasında değişmektedir (Kacar ve Katkat, 2006). Nikel kömür (10-50 mg Ni/kg), petrol (49-345 mg Ni/kg), çelik, alaşım üretimi, galvaniz ve elektronik endüstrisinde kullanılmaktadır. Kritik toksik düzey toprakta 100 mg/kg, duyarlı bitkilerde > 10  $\mu\text{g/g}$  kuru madde ve orta düzeyde duyarlı bitkilerde ise > 50  $\mu\text{g/g}$  kuru maddedir (Özbek ve ark., 1995). Nikel, kilyet bileşiklerini kolaylıkla oluşturması nedeniyle, bitkilerdeki enzimlerde ve fizyolojik aktif merkezlerde bulunan ağır metallere yer değiştirir. Nikel üreaz ve birçok hidrogenaz enzimlerinin metal yapı maddesidir. Bu nedenle nikel içerikleri az olan bitkiler üre şeklinde uygulanan azotlu gübreden yararlanamadıkları gibi üre bu bitkilere toksik etki de yapmaktadır (Kacar ve Katkat, 2006).

Tablo 4'te görüldüğü üzere Ni içermeyen besin çözeltisinde yetiştirilen soya fasulyesi bitkisine artan miktarlarda ürenin püskürtülerek uygulanması durumunda bitkinin üre içeriği aşırı düzeyde artarken, üreaz aktivitesi çok düşük olmuş ve yaprak uçlarında şiddetli nekrozlar oluşmuştur. Buna karşın besin çözeltisine nikel uygulanması ile bitkide üre birikimi normal düzeyine inerken, üreaz aktivitesi ortalama 4.5 kat artmış ve yaprak uçlarındaki nekroz oluşumu en az düzeye inmiştir (Krogmeier ve ark., 1991).

Çizelge 4. Besin Çözeltisine Nikel Uygulaması İle Bitkiye Püskürtülerek Üre Uygulamasının Soya Fasulyesi Bitkisinde Üre Konsantrasyonu İle Üreaz Enzim Aktivitesi Üzerine Etkileri (Krogmeier ve ark., 1991)

Ni ( $\mu\text{g/l}$ )	Üre Dozları (mg)	Bitkideki üre ( $\mu\text{g/g}$ kuru ağı.)	Üreaz aktivitesi ( $\mu\text{mol NH}_3$ saat <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup> kuru ağı.)
0	0	64	2.2
	3	1038	2.7
	6	6099	2.4
100	0	0	11.8
	3	299	11.3
	6	1583	9.6

Bitkide gereğinden fazla bulunan Ni, klorofil sentezi ve yağ metabolizması üzerine olumsuz etki yapar, bitki köklerinin diğer besin elementlerini almasını engelleyerek besin elementleri noksanlıklarının ortaya çıkmasına neden olur. Fasulye bitkisine 0.1, 0.3 ve 0.5 mM dozlarında Ni uygulanan bir çalışmada bitkinin klorofil a, klorofil b, karotenoidler, total pigment I ve total pigment II miktarının azaldığı

belirlenmiştir. 0.1 mM Ni uygulanan fidelerin yapraklarındaki klorofil a, klorofil b, total pigment I ve II miktarları kontrol fidelerine göre sırasıyla %27.8, %19.3, %18.9 ve %22.4 oranlarında; 0.5 mM Ni dozunda ise, % 35.1, %26.4, %25.2 ve %29.4 oranlarında azalmıştır (Zengin ve Munzuroğlu, 2005).

### 2.6. Krom

Krom paslanmaz çelik üretimi, çeşitli lehim ve pas engelleyicilerin üretimi ile ilgili metalurji endüstrisinde, boya, cila, cam ve seramik malzemelerinde, deri endüstrisinde kullanılmaktadır. Doğal olarak toprakta bulunmaktadır. Ana materyale göre değişmekle birlikte toprakta 5-100 mg/kg oranlarında bulunur. Bitkide ise kuru madde de 100 mg/kg bulunması birçok yüksek bitki için toksiktir (Özbek ve ark., 1995).

Bitki bünyesinde toksik seviyeye ulaşan kromun bitkide etkilediği ilk fizyolojik olay tohum çimlenmesidir. Krom, amilaz aktivitesi ve embriyoya şeker taşınmasını azaltması ve proteaz aktivitesini arttırması sonucunda tohum çimlenmesini engeller. Yapılan bir çalışmada toprakta 500 ppm Cr<sup>+6</sup> bulunmasının, fasulye tohumlarının çimlenmesini % 48, 20 ve 80 ppm Cr<sup>+6</sup> bulunması ise şeker kamışı bitkisinde tomurcuk çimlenmesini %32-57 oranında azalttığı belirlenmiştir (Jain ve ark., 2000).

Krom kök hücrelerinin bölünme ve uzamasını engelleyerek kök gelişimini engeller. Bu durum topraktan alınan bitki besin maddesi ve suyun azalmasına yol açarak bitki büyüme ve gelişmesini azaltır. Dolayısıyla önemli düzeyde verim ve kalite azalması görülür (Khan ve ark., 2000).

### 3. BİTKİLERİN AĞIR METAL TOKSİSİTESİNE TOLERANS MEKANİZMALARI

Gübreleme, pestisid kullanımı, endüstriyel atık ve gazlar aracılığıyla toprağa bulaşan ağır metallerin bitkiler aracılığıyla topraktan uzaklaştırılması fitoremediation olarak adlandırılmaktadır. Fitoremediation'ın başarılı olarak yürütülebilmesi için bulaşmanın olduğu alanlarda biyokütle oluştururken önemli miktarda metal biriktiren hiperakümülatör bitki türlerinin kullanılması gerekmektedir. Hiperakümülatör bitkilerinin ağır metal içerikleri ve gereksinimleri biriktirici olmayan türlere göre daha fazladır. Bu bitkiler, 10 ppm'den daha fazla Hg, 100 ppm Cd, 1 000 ppm Co, Cr, Cu ve Pb, ve 10 000 ppm Ni ve Zn içerirler. Bugün bilinen 400 ağır metal biriktirici bitki bulunmaktadır (Reeves ve Baker, 1999). En bilinen bitki *Thlaspi caerulescens* (alpine pennycress)'dir. Bu bitkilerin tolerans mekanizmaları özetlenecek olursa,

a) Hücre duvarlarına metal bağlanması: Pb-karbonat olarak tutulur.

b) Hücre membranlarına doğru taşınımın azalması: Ağır metallerin bitki köklerinde tutulup, gövde ve sürgünlere taşınmasının engellenmesi ile taşınma azaltılmaktadır.

c) Vakuollerde depolama: Zn elementi Zn fitat, malat ve oksalat gibi düşük molekül ağırlıklı organik bileşikler halinde, Cd thiol gruplarına ve Ni histidin ile bağlanması sonucunda vakuollerde depolanır.

d) Şelatlama: Cd'un, thiol gruplarına, Pb glutathione ve aminoasitlere bağlanarak fitoşelatlar oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra organik asitlerden sitrat, malat ve malonate ile birleşerek fitoşelatları oluşturmakta-

dırlar. Metallothioneinler birçok hayvan ve bitkide bulunan proteinlerdir. Ağır metaller ile bağlanarak protein bileşikleri oluştururlar (Aksu ve Yıldız, 2004).

#### 4. AĞIR METALLERİN İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNE ETKİLERİ

Endüstriyel faaliyetler sonucunda hava, toprak ve su ortamlarına yayılan ağır metaller besin zinciri yoluyla ya da havadan aerosol olarak solunmaları sonucunda insan ve hayvanların bünyesine ulaşarak etkin olurlar. Ağır metaller biyolojik proseslere katılma derecelerine göre yaşamsal ve yaşamsal olmayan olarak sınıflandırılırlar. Yaşamsal olarak tanımlananların organizma yapısında belirli bir konsantrasyonda bulunmaları gereklidir, ancak yüksek dozları insan sağlığını olumsuz etkiler. Kurşun, insan metabolizması ve ekolojik sisteme en önemli zararı veren ilk metal özelliğini taşımaktadır. İnsan vücudundaki kurşun miktarı ortalama olarak 125-200 mg civarındadır. Kana karışan kurşun kemiklere ve diğer organlara yayılmaktadır. Kemiklerde biriken kurşun zamana bağlı olarak çözünerek böbreklerde tahribata neden olur. Beyin ve sinir sistemi fonksiyonlarının bozulmasına sebep olur (Kahvecioğlu ve ark., 2006).

Kadmiyumun suda çözünürlüğü yüksektir. Bu nedenle bitki ve deniz canlıları tarafından biyolojik sistemlere alınır. Normal olarak insan vücudunda 40 mg kadar kadmiyum bulunabilmektedir. Kadmiyum ve bileşikleri genellikle böbrekler ve karaciğerde birikirler ve ilerleyen yaşlarla böbreklerdeki birikim yüksek tansiyona da sebep olabilmektedir. Kronik kadmiyum zehirlenmesinde ortaya çıkan en önemli etki akciğer ve

prostat kanseridir. Kemik erimesi, kansızlık, diş dökülmesi ve koku duyumunun yitilmesi önemli etkilerindedir (Yağmur ve ark., 2003). Krom vücutta insulin hareketini sağlayarak karbonhidrat, su ve protein metabolizmasını etkiler. Başta insan bünyesinde olmak üzere canlı organizmalardaki davranışı oksidasyon kademesine ve oksidasyon kademesindeki kimyasal özelliklerine ve bulunduğu ortamdaki fiziksel yapısına bağlıdır. Günde krom alımı ortalama 30-200 µg'dır. Hegzavalent krom (Cr<sup>+6</sup>) trivalent kroma (Cr<sup>+3</sup>) göre daha toksiktir. Cr<sup>+6</sup>'nın hava yoluyla vücuda alınması ile burun akmaları, burun kanamaları, kaşınma ve üst solunum yollarında delinmelerin yanı sıra kroma karşı alerji gösteren insanlarda da astım krizleri görülebilir (Kahvecioğlu ve ark., 2006).

Bakır birçok enzimin (özellikle hücrel enerji üretiminde rol oynayan sitokrom c ve bağ dokusunun oluşması için gerekli kollajen ve elastinin karşı karşıya bağlanmaları için gerekli olan lisil oksidaz) yapısında yer alması nedeniyle insan ve hayvan metabolizması için mutlak gerekli olan bir iz elementtir. Bakır toksisitesi nadiren görülür. Akut bakır zehirlenmesinin başlıca belirtileri karın ağrısı, bulantı, kusma ve ishal gibi daha fazla bakır emilimini engelleyen belirtilerdir (Anonim, 2006).



## 5. SONUÇ

Günümüzde, endüstriyel faaliyetler, motorlu taşıtların egzozları, maden yatakları ve işletmeleri, kentsel atıkların gübre olarak kullanımı, kimyasal gübre ve pestisit uygulamaları, atık su ile yapılan sulamalar ve arıtma çamuru uygulamaları ile önemli miktarda ağır metal toprağa ulaşmaktadır. Ağır metallerin toprakta birikmesi sadece toprak verimliliği ve ekosistem faaliyetleri üzerinde etkili olmayıp, bitki bünyesindeki fotosentez, solunum, büyüme ve gelişme gibi birçok metabolik olayları etkilemeleri nedeniyle bitki sağlığını, bozulan besin zinciri nedeniyle de hayvan ve insan sağlığını önemli düzeyde etkilemektedir. Ağır metal birikimi görülen topraklarda insanların yürüme veya çalışması esnasında cilt teması, solunum, yetiştirilen sebzelerin yenmesi yollarıyla ağır metaller insan bünyesine ulaşır.

Toksik düzeydeki ağır metallerin insan bünyesinde birikmesi sonucunda, metalin türüne ve miktarına bağlı olarak insanlarda kusma, kanama, sarılık, kansızlık, böbrek yetmezliği, akli bozukluklar, deri lezyonları ve kırılğan kemik yapısı gibi birçok sağlık bozukluğu görülebilmektedir. Bunun yanı sıra özellikle ihraç ürünlerimizde bulunan kalıntı ve bulaşanlar, ihracatı olumsuz yönde etkilemekte; bu da ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Bu nedenle hammadde den başlayarak depolama üretim hattı, ambalajlama muhafaza gibi aşamalarda bulaşan ve insan sağlığı için zararlı olabilecek her türlü maddenin (ağır metal, toksin vb) bulaşma yollarının ve önleme çarelerinin araştırılması gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

- Aksu, E and Yıldız, N., 2004. Heavy Metal Stress and Tolerance of Plants. International Soil Congress on Natural Resource Management for Sustainable Development. Erzurum.
- Anonim, 2006. Bakır. <http://www.food-info.net/tr/min/copper.htm>.
- Chaffei, C., Pageau, K., Suzuki, A., Gouia, H., Ghorbel, M.H and Masclaux-Daubresse, C., 2004. Cadmium Toxicity Induced Changes in Nitrogen Management in *Lycopersicon esculentum* Leading to a Metabolic Safeguard Through an Amino Acid Storage Strategy. *Plant Cell Physiol*, 45(11):1681-1693.
- Dunand, V.F., Epron, D., Sossé, A.B., Badot, P.M., 2002. Effects of copper on growth and on photosynthesis of mature and expanding leaves in cucumber plants. *Plant Science*, 163:53-58.
- Dürüst, N., Dürüst, Y., Tuğrul, D and Zengin, M., 2004. Heavy Metal Contents of *Pinus Radiata* Trees of İzmit (Turkey). *Asian Journal of Chemistry*, Vol. 16, No. 2, 1129-1134.
- El-Ghamery, A.A., El-Kholy, M.A and El-Yousser, A., 2003. Evaluation of cytological effects of  $Zn^{+2}$  in relation to germination and root growth of *Nigella sativa* L. And *Triticum aestivum* L., *Mutation Research*, 537:29-41.
- Gouia, H., Gorbil, M.H. and Meyer, C., 2000. Effects of cadmium on activity of nitrate reductase and on other enzymes of the nitrate assimilation pathway in bean. *Plant Physiol. Biochem.* 38:629-638.
- Gür, N., Topdemir, A., Munzuroğlu, Ö ve Çobanoğlu, D., 2004. Ağır Metal İyonlarının ( $Cu^{+2}$ ,  $Pb^{+2}$ ,  $Hg^{+2}$ ,  $Cd^{+2}$ ) *Clivia* sp. Bitkisi Polenlerinin Çimlenmesi ve Tüp Büyümesi Üzerine Etkileri. *F.Ü. Fen ve Matematik Bilimleri Dergisi*, 16(2), 177-182.
- Haktanır, K., 1987. Çevre Kirliliği. A.Ü. Ziraat Fakültesi Ders Notu, Teksir No:140.
- Haktanır, K ve Arcak, S., 1998. Çevre Kirliliği. Ankara Üni. Ziraat Fak. Toprak Bölümü, Ankara Üni. Yayın No: 1503, Ders Kitabı:457, Ankara.
- Jain, R., Srivastava, S and Madan, V.K.,2000. Influence of chromium on growth and cell division of sugarcane. *Indian J. Plant Physiol*, (5):228-31.

- Kacar, B ve Katkat, V., 2006. Bitki Besleme. Nobel Yayın No:849.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A ve Timur, S., 2006. Metallerin Çevresel Etkileri-I. www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136\_4753.pdf.
- Kennedy, C.D. and Gonsalves, F.A.N., 1987. The action of divalent zinc, cadmium, mercury, copper and lead on the trans-root potential and efflux of excised roots, J.Exp. Bot., 38, 800-817.
- Khan, A.G., Kuek, C., Chaudhry, T.M., Khoo, C.S. and Hayes, W.J., 2000. Role of plants, mycorrhizae and phytochelators in heavy metal contaminated land remediation. Chemosphere (41):197-207.
- Krogmeier, M.J., McCarty, G.W., Shogren, D.R and Bremner, J.M., 1991. Effect of nickel deficiency in soybeans on the phototoxicity of foliar applied urea. Plant and Soil 135:283-286.
- Ouzounidou, G., 1994. Root growth and pigment composition in relationship to element uptake in *Silene compacta* plants treated with copper. J.Plant Nutr, 17:933-943.
- Paschke, M.W., Valdecantos, A and Redente, E.F., 2005. Manganese toxicity thresholds for restoration grass species. Environmental Pollution, 135:313-322.
- Reeves, R.D and Baker, A.J.M., 1999. Metal-accumulating plants. In Phytoremediation of toxic Metals: Using Plants to Clean up the Environment, eds, I Raskin, BD Ensley, pp 193-229, John Wiley&Sons Inc, New York.
- Rout, G.R. and Das, P., 2003. Effect of metal toxicity on plant growth and metabolism: I. Zinc. Agronomie 23:3-11.
- Salt, D., Price, R., Pickering, I and Raskin, I., 1995. Mechanisms of cadmium mobility and accumulation in Indian mustard. Plant Physiol., 109, 1427-1433.
- Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M ve Kaptan, H., 1995. Toprak Bilimi. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fak. Genel Yayın No: 73 Ders Kitapları Yayın No:16, ADANA.
- Sharma, P and Dubey, R.S., 2005. Lead toxicity in plants. Braz. J. Plant Physiol., 17(1):35-52.
- Sheoran, I.S., Singal, H.R and Singh, R., 1990. Effect of cadmium and nickel on photosynthesis and enzymes of the photosynthetic carbon reduction cycle in pigeon pea (*Cajanus cajan* L.). Photosynthesis Research, 23, 345-351.
- Sossé, B.A., Genet, P., Dunand-Vinit, F., Toussaint, L.M., Epron, D and Badot, P.M., 2004. Effect of copper on growth in cucumber plants (*Cucumis sativus*) and its relationships with carbohydrate accumulation and changes in ion contents. Plant Science (166):1213-1218.
- Sönmez, S., Kaplan, M., Sönmez, N.K., Kaya, H and Uz, İ., 2006 a. High level of copper application to soil and leaves reduce the growth and yield of tomato plants. Sci. Agric.(Piracicaba, Braz.), 63(3):213-218.
- Sönmez, S., Kaplan, M., Sönmez, N.K ve Kaya, H., 2006 b. Toprakta yapılan bakır uygulamalarının toprak pH'sı ve bitki besin maddesi içerikleri üzerine etkisi. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 19(1):151-158.
- Stresty, T.V.S. and Madhava Rao, K.V., 1999. Ultrastructural alterations in response to zinc and nickel stress in the root cell of pigeonpea, Environ Exp Bot., 41, 3-13.
- Xu, J., Yang, L., Wang, Z., Dong, G., Huang, J and Wang, Y., 2006. Toxicity of copper on rice growth and accumulation of copper in rice grain in copper contaminated soil. Chemosphere 62:602-607.
- Vaillant, N., Monnet, F., Hitmi, A., Sallanon, H and Coudret, A., 2005. Comparative study of responses in four *Datura* species to a zinc stress. Chemosphere, 59: 1005-1013.
- Van Assche, F.V and Clijsters, H., 1990. Effects of metals on enzyme activity in plants. Plant Cell Environ. 13, 95-206.
- Verma, S ve Dubey, R.S., 2003. Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants. Plant Sci. 164:645-655.
- Veselov, D., Kudoyarova, G., Symonyan, M and Veselov, St., 2003. Effect of Cadmium on Ion Uptake, Transpiration and Cytokinin Content in Wheat Seedlings. Bulg. J. Plant Physiol., Special Issue, 353-359.
- Yağmur, B., Hakerlerler, H ve Kılınc, R., 2003. Gübreler ve İnsan Sağlığı. Çiftçi Dergisi sayı:2.
- Zengin, K.F ve Munzuroğlu, Ö., 2005. Fasulye Fidelerinin (*Phaseolus vulgaris* L.Strike) Klorofil ve Karotenoid Miktarı Üzerine Bazı Ağır Metallerin ( $Ni^{+2}$ ,  $Co^{+2}$ ,  $Cr^{+3}$ ,  $Zn^{+2}$ ) Etkileri. F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17(1); 164-172.