

İster içme suyu olsun ister kullanma suyu, diğer kalite standartlarının yanında, ağır metal kapsamlarının da belirli dönmelerde mutlaka izlenmesi gerekmektedir.

4. AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN ÇEVRE SAĞLIĞI ÜZERİNE ETKİLERİ

4.1. Ağır Metal Kirliliğinin Toprak Özellikleri Üzerine Etkisi

Çeşitli şekillerde tarım topraklarına ulaşan ağır metaller daha ziyade toprakların biyolojik özelliklerinde bir yıkım oluşturmaktadır. Bu durum toprak verimliliğinin azalmasını ve bitkilerin ağır metallerce zenginleşmesini beraberinde getirmektedir. Toprak mikroorganizmaları, organik maddenin mineralizasyonundan, bitki besin elementlerinin yarayışlı forma dönüşmesine kadar toprakta çereyan eden biyokimyasal süreçlere aktif olarak iştirak etmektedir. Bununla beraber, bu canlıların aktiviteleri ve metabolizma ürünleri, toprakta iyi bir agregat ve stürüktür oluşumunu da sağlamaktadır. Dolayısıyla, toprakların mikrobiyolojik aktivitesi en önemli verimlilik unsurlarındandır.

Topraklarda doğal olarak bulunan veya diğer bir deyişle, jeojenik karakterli olan ağır metaller, normal olarak mikroorganizmalar tarafından kolay alınabilir durumda değildir. Bu nedenle, toprakların mikrobiyolojik özelliklerine etkili olabilecek ağır metal dozu, sadece tahmin edilebilmektedir. Etkili temel faktör, bu metallerin topraktaki toplam miktarları ve çözelti fazındaki metal iyonları arasındaki dengeyi tayin eden kimyasal özelliklerdir. Topraklara ulaşan ağır metallerin mikrobiyal popülasyonlar ile temasa geçtikten sonra bu metallere dirençli organizmaların ortaya çıkışı, önemli bir çevresel sorun oluşturmaktadır. Bu nedenle canlı hücre sayımlarına dayalı bir yaklaşım ile deneysel olarak topraklar, ağır metaller ile zenginleştirildikten sonra maksimum tolere edilebilir konsantrasyonlarının tayini de çok anlamlı bir yaklaşım olmamaktadır.

Toprakların ağır metallerce zenginleşmesinden sonra meydana gelebilecek etkilenmenin düzeyi, enzim aktiviteleri, toprak solunumu gibi kriterler ile değerlendirilmektedir. Genel olarak bu ağır metaller toprakların biyolojik özelliklerini olumsuz yönde etkilemekte, ekileme düzeyleri ise ağır metallerin cins ve konsantrasyonlarına bağlı olarak değişmektedir. Tablo 16'da topraklara ilave edilen çeşitli ağır metallerin enzim aktiviteleri üzerine etkisi verilmiştir.

Tablo 16. Topraklara ilave edile çeşitli ağır metallerin enzim aktiviteleri üzerine etkisi, (Haktanır, 1989)

Ağır metal iyonları ve değeri	Toprakta enzim inhibisyonu %'si		
	Fosfataz (10 $\mu\text{mol.g}^{-1}$)	Arilsülfataz (25 $\mu\text{mol.g}^{-1}$)	Üreaz (5 $\mu\text{mol.g}^{-1}$)
Ag (I)	39	96	93
Cd (II)	6	37	54
Hg (II)	10	94	88
Cr (III)	5	41	27
W (VI)	7	25	0
Cu (II)	-	24	68
Mo (VI)	59	54	12
Sn (II)	-	37	26
Zn (II)	5	27	39
V (IV)	-	88	23

4.2. Ağır Metal Kirliliğinin Bitki Gelişmesi Üzerine Etkisi

Topraklarda ağır metal birikimi daha çok yüzeylerde meydana gelmektedir. Bu durum, ağır metallerin kil minerallerinin yüzeyinde adsorbe olması yada organik bileşiklerle kileylet oluşturmamasından kaynaklanmaktadır. Toprakların kil miktarı, organik madde miktarı, su miktarı ve diğer elementlerin konsantrasyonları ağır metallerin bitkiler tarafından alınımını direkt olarak etkilemektedir.

Ağır metallerin bitkiler tarafından alınımında en muhtemel yol toprak çözeltisidir. Normal olarak Pb, Hg, Cr ve Co toprakta çok kuvvetle bağlanıp bitki köklerine kolayca alınamazlar. Bunun aksine Cd, Tl, Zn ve daha az olmak üzere Cu ve Ni daha mobil olup kolaylıkla alınabilirler. Bu durum bu elementlerin toprak - bitki sisteminde birikimine sebep olmaktadır. Ağır metallerin bitkilerce alınımı metal çözünürlüğü ile ilgili olmayıp, zamanla bitki türüne göre de değişiklik gösterebilmektedir. Tablo 17’de bazı ağır metallerin transfer katsayılarına ilişkin ortalama değerler ile bitkideki kritik konsantrasyonları verilmiştir. Tablo 17’den de görüleceği gibi Cd, Tl, Zn, Cu ve Ni yüksek transfer katsayıları göstermektedir. Bu nedenle, besin zincirindeki en sorunlu elementler de bunlardır.

Tablo 17. Bazı ağır metallerin transfer katsayılarına ilişkin ortalama değerler ile bitkideki kritik konsantrasyonları

Element	Toprak – Bitki Transfer katsayısı	Derişim, mgkg ⁻¹ / kuru madde	
		Genel kapsam	Kritik değer
Cd	1 – 10	< 0.1 – 1	5 – 10
Co	0.01 – 0.1	0.01 – 0.5	10 – 20
Cu	0.1 – 1	3 – 15	15 – 20
Hg	0.01 – 0.1	0.1 – 0.5	0.5 – 1
Ni	0.1 – 1	0.1 – 5	20 – 30
Pb	0.01 – 0.1	1 – 5	10 – 20
Tl	1 – 10	< 0.5 – 5	20 – 30
Zn	1 – 10	15 – 150	150 – 200

Bitkilerin toksik seviyedeki ağır metallere karşı gösterdiği semptomları sistematik bir şekilde sınıflandırmak mümkün değildir. Ancak tüm toksik etkilerde görülen semptomlar kloroz, kahverengi beneklerin oluşumu, yaprak ve gövde kısımlarının deformasyonu ile çeşitli nekrotik belirtilerdir. Fakat söz konusu olan belirtilerin başlangıç ve sonuç aşamaları da farklılıklar göstermektedir. Bazı özel ağır metallere karşı oldukça yüksek bir direnç gösterebilmektedirler. Tablo 18'de bazı ağır metallerin toksik seviyelerinde bitkilerde ortaya çıkarabileceği belirtiler ile toksisiteye duyarlı bitkiler verilmiştir.

4.3. Ağır Metallerin İnsan Sağlığı Üzerine Etkisi

Ağır metal kirlenmesine maruz kalmış topraklarda yetişen bitkilerin gıda zincirine girmesi diğer canlı yaşamlarını da etkilemektedir. Bitkilerde biriken ağır metallerin besin yoluyla insan ve hayvanlar tarafından alınması tehlikeli boyutlara ulaşabilmektedir. Ağır metallerin insanda meydana getirdiği toksisiteler ağır metallerin türlerine göre değişiklik gösterebilmektedir. Tablo 19'da bazı ağır metallerin insan bünyesine alındıktan sonra meydana getirdiği olumsuzluklar özet bir şekilde verilmiştir.

Tablo 18. Ağır metallerin toksik seviyelerde yansıttıkları belirtiler ile toksisiteye duyarlı bitkiler (Tok, 1997)

Genel Simptomlar	Duyarlı bitkiler
As Yaşlı yapraklarda kırmızı – kahverengi nekrotik lekeler, köklerde kahverengi lekeler, sürgün gelişiminin sekteye uğraması	
Cd Yaprak kenarlarında kahverengi renk farklılığı gösteren belirtiler ve kloroz, yaprak sapı ve damarlarda kızarma, kök gelişiminin durması ve köklerin kahverengi renk alması	Sebzeler
Co Üst yapraklarda damar aralarında başlayan kloroz ve daha sonra Fe noksanlığına bağlı olarak çıkan kloroz, yaprak kenarlarının ve ucunun beyaz bir görünüm alması, zarar gören kök	
Cr Genç yapraklarda kloroz şeklindeki simptomlar yanında kök gelişiminin durması	
Hg Aşırı derecede bodurlaşma ve çimlenme zorluğu, yaprakta kloroz ve yaprak uçlarında kahverengi renk farklılıkları	Şeker pancarı, mısır ve gülgiller
Pb Koyu yeşil yapraklar, yaşlı yapraklarda kıvrılma, bodurlaşma ve küçük yaprak oluşumu, küçük kök oluşumu	Turp, marul
Ni Genç yapraklarda damarlar arasında sararma, grimsi yeşil yapraklar, kök gelişiminin azalması ve dengesiz kök sistemi, diğer besin elementlerinin alımının engellenmesi	Tahıllar
Cu Koyu yeşil yaprak ve daha sonra demire bağlı kloroz, kısa ve ince kılcal kök sistemi, kötü kardeşlenme	Tahıllar ve sebzeler, narenciye
Zn Yaprak ucu ve kenarlarında kloroz ve daha sonra nekrotik lekeler, genç yapraklarda damarlar arası sararma, bitkinin genelde geç büyümesi, dengesiz kök sistemi	Tahıllar ve ıspanak

Tablo 19. Ağır metallerin insan bünyesine alındıktan sonra meydana getirdiği bazı olumsuzluklar

Cd	➤ 3 ppm'den daha fazla Cd içeren bitkilerle beslenen insanlarda yüksek kan basıncı (hipertansiyon) etkisine sebep olmaktadır. ➤ Üst solunum yollarındaki mukozaların tahriş olmasına ve nefes darlığına yol açmaktadır. ➤ Cd, karaciğer ve dalakta birikim eğilimi göstermekte, daha çok böbrek kanalcıklarında zedelenmelere yol açmaktadır. ➤ Cd, kemiklerin kalsiyum ve fosfor metabolizmasını olumsuz şekilde etkileyip kemiklerin kırılmasına neden olmaktadır. ➤ Kadmiyumun biyolojik ömrünün insanlarda uzun olması nedeniyle (19-38 yıl) ciğer ve böbreklerdeki Cd miktarı yaşlılığa bağlı olarak artmaktadır. Bu nedenle yüksek Cd'nun neden olduğu böbrek rahatsızlıkları genelde 50 yaşın üzerinde ortaya çıkmaktadır.
As	➤ Arseniğin insanlardaki akut toksik belirtisi ishal ve kramp şeklindedir. ➤ Arsenik ile uzun süreli temaslar sonunda kronik As toksisitesi (anemi, felç ve deri tümörleri) oluşmaktadır.
Pb	➤ Pb'nin fazla miktarda alınması ciğerde, böbrekte, kemiklerde ve dişlerde toplanarak toksik etkiye yol açmaktadır. ➤ kalsiyumun metabolik işlevlerini taklit etmektedir. Bu durum Pb'nin kemiklerde ve ➤ insanda hipertansiyon nedeni olarak da etki etmektedir. ➤ Kurşunun biyolojik ömrünün insanlarda uzun olması nedeniyle (5-20 yıl) insan bünyesindeki Pb miktarı yaşlılığa bağlı olarak artmaktadır.
Hg	➤ Civalı bileşikler tüm canlılar için kuvvetli bir zehirdir. Özellikle organik civalı bileşikler (metilciva) beyin bölümlerine ve merkezi sinir sistemlerine zarar vermektedir. Körlüğe, hareketsizliğe ve ölüme neden olmaktadır. ➤ Metil civanın mutajenik ve teratojenik etkileri de bulunmaktadır. ➤ İnorganik civa bileşikleri özellikle böbrek rahatsızlanmalarına neden olmaktadır. ➤ Civanın biyolojik ömrünün insanlarda kısa olması nedeniyle (70 gün) insan bünyesindeki civa toksisitesi çok kısa bir sürede ortaya çıkabilmektedir.
Ni	➤ Nikelce zenginleşmiş bitkileri yiyen insanlarda toksisiteye çok sık rastlanmamasına karşın, insanların nikel tozlarını solunumla alması sonucu insanlarda akciğer kanseri oluşabilmektedir.

4.4. Ağır Metallerce Kirlenmiş Toprakların Temizlenmesi

Ağır metal birikimini meydana getiren faaliyetler sonucunda topraklardaki ağır metal kirliliği günden güne artmakta ve oluşan problemler ise uzun süreli olmaktadır. Topraklardaki ağır metal kirliliğini belirli bir konsantrasyonun altına indirebilmek veya ortadan kaldırabilmek için pratiğe geçirilmiş ekonomik bir uygulama günümüz

koşullarında mevcut değildir. Topraklardaki ağır metalleri uzaklaştırabilmek için başvuru yolları, araştırma konuları ve öneriler şu şekilde sıralanabilir (Salt ve ark., 1995; Will, 1995).

- a) Yoğun şekilde ağır metal bulaşması olmuş toprakların yüksek sorpsiyon kapasitesine sahip, bulaşmamış maddelerle (örneğin oksitler, killer veya zeolit) seyreltilmesi. Bu durumdaki topraklarda organik madde ile seyreltilmesi biyolojik karışabilirlik nedeniyle daha az etkilidir.
- b) Toprak pH'sının ve redoks koşullarının (örneğin kireçleme ve düşük redoks potansiyeli durumunda havalandırma) ıslahı. Bu işlemler sonunda ağır metal konsantrasyonu aynı kalmakta, fakat bağlanma kapasitesi artmakta ve buna bağlı olarak da ağır metallerin topraktaki mobilitesi azalmaktadır.
- c) Ağır metalleri bünyesinde toplayabilen bitkilerin yetiştiriciliği yapılarak bu elementlerin topraktaki konsantrasyonlarının azaltılması. Örneğin, kadmiyumca kirlenmiş topraklarda *Viola tricolor L.* ve *Hypericum perforatum* gibi tıbbi bitkiler yetiştirilerek Cd'nin topraktan uzaklaştırılması sağlanabilmektedir.
- d) Elektrokimyasallar kullanılarak topraktan toksik elementlerin uzaklaştırılması. Bu yöntem kirlenmiş toprağa yerleştirilmiş elektrotlar arasındaki doğrudan akım gücünün uygulanması mekanizması ile gerçekleştirilmektedir.
- e) Temel uygulamalı araştırmaların yoğunlaştırılması. Doğal koşullar altında ağır metallerin reaksiyon kinetikleri hakkında daha fazla bilgiye gereksinim vardır. Toprak kirliliğinin etki, risk ve nedenlerinin daha iyi belirlenebilmesi için yeni metodların geliştirilmesi ve standardize edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, bulaşmış toprakların arıtımı için yeni metodlara ihtiyaç vardır.

Günümüzde bulaşmış topraklarda ağır metallerin uzaklaştırılabilmesi için yukarıda ifade edilen çok sayıda yöntem geliştirilmeye çalışılmaktadır. Ancak uygulamada çok zor ve ekonomik olmayan bu yöntemlerin kullanılmasından daha ziyade toprakların ağır metal kirliliğinden korunması daha büyük bir önem taşımaktadır. Çünkü topraklarda ağır metal kirliliği ortaya çıktıktan sonra, toprak özellikleri etkilenmeksizin kirliliğin giderilmesi genellikle mümkün olmamaktadır.

5. SONUÇ

Havaya, yüzey sularına ve direkt olarak toprağa bırakılan her türlü kirleticinin izlenmesi, bu kirleticilerin topraktaki ve bitkilerdeki miktarlarının belirlenmesi, birikim potansiyellerinin araştırılması ve bitkisel üretimdeki yerinin ortaya konulması ülkemiz için çok incelenmemiş bir durumdur. Ülkemizde kirlilik denilince, kalitesiz ve kontrolsüz yakıt kullanımı sonucu oluşan kükürtdioksit gazı ve toz partiküllerinin sebep olduğu hava kirliliği anlaşılmaktadır. Çevre sorunlarına çözüm diye önerilen yada uygulanan seçeneklerin büyük bir kısmı, etkin olmayıp dar kapsamlı bir ekonomi anlayışının uzantısı olmaktan öteye gidemeyen önlemlerdir. Örneğin hava kirliliğinin önlenmesi amacıyla, fabrikalara baca süzgeçlerinin önerilmesi gibi. 19. Yüzyıldan günümüze kadar, büyük bir hızla gelişen sanayi ile bütün sorunların çözümünde bir kurtuluş olarak görülen teknolojiye tapınma derecesinde bağlanmak ve her çözümü bunların sırtına yüklemek, çevre tasarımı anlayışını ister istemez özünden saptırmıştır. Sorun, kuşkusuz sanayi yada teknolojiye değildir. Sanayi kuruluşlarının tesis edildikleri yerler, bunların kullanılış amaçları ve biçimlerini saptayan ekonomik modellerdir. Kısa ve orta vadede kalkınma modelleri ve dar kapsamlı ekonomik arzular, tüketim anlayışını ve bunun etkilediği çevre tasarımı anlayışını oluşturmaktadır (Kızılkaya, 1998).

Ağır metallerin hava kirlenmesi yoluyla toprak, su ve bitki örtüsünde oluşturdıkları kimyasal, biyokimyasal ve biyolojik değişimler mutlaka gözönünde tutulmalıdır. Çünkü, düşük konsantrasyonlarda bitkilerin mutlak surette ihtiyaç duyduğu bazı elementler, yüksek konsantrasyonlarda bitkide, toprakta ve dolayısıyla da her türlü canlıda zararlı etkiler yapabilmektedir.

Topraklarda birikim gösteren ağır metaller, yıkanma gibi faktörlerle su sistemlerine bulaşmakta ve erozyon gibi doğal veya hızlandırılmış olaylarla birikim noktalarından ayrılıp daha geniş alanlarda miktar ve çeşit olarak zenginleşebilmektedir. Ağır metal kirliliğine bir şekilde maruz kalmış tarım topraklarında yetiştirilen bitkilerde bu metallerin birikimi sözkonusudur. Bitkilerdeki bu birikim, ya doğrudan atmosferden çökeltme yoluyla yaprakların yüzeylerinde ya da bu elementlerin bitki kökleri vasıtasıyla topraktan alınması şeklinde gerçekleşmektedir. Hangi şekilde gerçekleşirse gerçekleşsin, burada önemli olan husus, tarım topraklarının sürekli olarak ağır metallerce kirletildiği, bu kirliliğin potansiyel çevre kirlenmesine ve sonuçta da insan sağlığına zararlı olduğu geçesidir.

Endüstriyel üretimlere bağlı olarak tarım alanlarına yayılan kirleticilerin özellikle de ağır metallerin bitkisel üretime ve canlı yaşamına olan olumsuz etkilerini önlemek yada azaltmak amacıyla etkin nitelikteki önlemlerin bir an önce alınması zorunluluğu vardır. Bu önlemleri tarımsal ve endüstriyel denetim önlemleri olarak iki ana başlık altında toplayabiliriz. Ülkemizde özellikle son yıllarda artan hava, su ve toprak kirliliğini ortaya çıkaran faktörlerin sürekli olarak Türkiye genelinde izlenmesi ve veri tabanının oluşturulması zorunluluk haline gelmiştir. Daha iyi bir yaşamı sağlamak için bu konuda başta üniversitelerimiz, araştırma kuruluşlarımız olmak üzere herkese çok önemli görev ve sorumluluklar düşmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Anaç, S., Çolak, A., 1996. Tarımsal sulama uygulamalarından kaynaklanan kirlilik ve alınacak önlemler. Ekolojik (Organik, Biyolojik) Tarım. Ekolojik Tarım Organizasyonu Derneği, s:75-82, İzmir.
- Arcak, S., Haktanır, K., Karaca, A., 1996. Karayolları yakınındaki topraklarda trafikten kaynaklanan ağır metallerin üreaz enzim aktivitesine etkisi. Tr. J. Of Agriculture and Forestry. 20 : 101 – 107.
- Arcak, S., Karaca, A., Haktanır, K., 2000. Investigations on Sewage Sludges: Chemical Composition and Effects on Some Chemical Properties of Soil. Proceedings of International Symposium on Desertification. 1-17 June 2000. Konya-Turkey. 339-344.
- Anonymous, 1973. Water Quality Criteria 1972. U. S. Environmental Protection Agency. Ecolog. Res. Ser. EPA/R3/73/033, Washington DC, USA.
- Anonymous, 1991. Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, T.C. Çevre Bakanlığı, 20814 sayılı Resmi Gazete, Ankara.
- Arcak, S., Haktanır, K., Karaca, A., 1996. Karayolları yakınındaki topraklarda trafikten kaynaklanan ağır metallerin üreaz enzim aktivitesine etkisi. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 20, 101-107.
- Cameron, A. J., Nickless, G., 1977. Use of Mosses as Collectors of Airborne heavy Metals Near a Smelting Complex. Water Air Soil Pollt. 7 : 117 – 125.
- Ergene, A., 1991. Çöplerin ve kanalizasyon artıklarının gübre olarak değerlendirilmesi ve bunun çevre sağlığı bakımından önemi. II. Ulusal Gübre Kongresi, Ankara.
- Gunnarsson, O., 1983. Heavy metals in fertilizers do they cause environmental health problems. Fertilizer and Agriculture., 85:27-42.

- Güney, E., 1995.** Çevresel Bozulma. Standard Özel Sayı. Türk Standardları Enstitüsü, s:53-58, Ankara.
- Haktanır, 1989.** Pestisidlerin ve Ağır Metallerin Topraktaki Biyolojik Olaylar üzerine Etkileri. Türkiye Çevre Sorunları Vakfı Yayını. Ankara.
- Haktanır, K., Arcak, S., Erpul, G., Tan, A., 1995.** Yol kenarlarındaki topraklarda trafikten kaynaklanan ağır metallerin birikimi. Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 19, 423-431.
- Haktanır, K., Arcak, S., 1998.** Çevre Kirliliği. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Yayın No:1503, Ders Kitabı:457, Ankara.
- İlter, E., Altındışli, A., 1996.** Ekolojik Tarım ve İlkeleri. Ekolojik (Organik, Biyolojik) Tarım. Ekolojik Tarım Organizasyonu Derneği, s:1-6, İzmir.
- İpek, U., Öbek, E., Çınarcı, B., 2000.** Kompost kalite standartları. Standard. Türk Standardları Enstitüsü, 39:457, 31-37, Ankara.
- Kabata-Pendias, A., Pendias, H., 1984.** Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Inc., Florida.
- Karaca, A., Haktanır, K., 1997.** Determination of cadmium Contents of Phosphate Fertilizers and Raw Phosphates. Tr. J. of Agriculture and Forestry. 21: 327-333.
- Kloke, A., 1980.** Orientierungsdaten für tolerierbare. Gesamtgehalte einiger Elemente in Kulturboden. Mitt. VDLUFAH. 1, 9-11.
- Kızılkaya, R., 1998.** Samsun Azot Sanayi (TÜGSAŞ) ve Karadeniz Bakır İşletmeleri (KBI) Çevresindeki Tarım Topraklarında Ağır Metal Birikiminin Toprakların Bazı Biyolojik Özellikleri Üzerine Etkisi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi (yayınlanmamış), Ankara.
- Korkmaz, A., Kızılkaya, R., 1998.** Çevresel Toprak Sorunları ve Gübrelerin Çevre Kirliliğine Katkısı. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 13(1):147-164.
- Salt, D.E., Blaylock, M., Kumar, N., Dushenkov, V., Ensley, B., Chet, I., Raskin, I., 1995.** Phytoremediation : a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. Bio-Techonology. 13 : 5, 468 - 474.
- Tok, H. H., 1997.** Çevre Kirliliği. Trakya Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölüm, Tekirdağ.
- Ward, N. I., Brooks, R. R., Roberts, E., Bosweel, C. R., 1977.** Heavy metal pollution from automotive emissions and its effects of roadside soils and pasture species in New Zealand. Environ. Sci. Tech., 11.
- Will, F.G., 1995.** Removingtoxic substances from the soil using electrochemistry. Chemistry and Industry. 10 : 23, 376 – 379.