

TARIM TOPRAKLARINDA AĞIR METAL KİRLİLİĞİ VE ÇEVRE SAĞLIĞI ÜZERİNE ETKİLERİ

Rıdvan KIZILKAYA, Tayfun AŞKIN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü - SAMSUN

1. GİRİŞ

Yeni bir bin yıl yaşayan dünyamızda, hem bilimsel çevreler hem de diğer kesimler çevre ile ilgili olarak çok sayıda sorundan, çok sık bahsetmeye başlamışlardır. İnsanlar, böylesi sorunlardan bahsederken hep geçmişteki bozulmamışlığa özlem duymaktadırlar. İnsanoğlunun çağımızda duyduğu karamsarlığın temelinde, insanlık tarihi ile kıyaslandığında çok kısa bir süreye karşılık gelen zaman dilimi içinde ekolojide bizzat kendisinin neden olduğu olumsuz gelişmelerin baş döndürücü hızı yatmaktadır. Bu noktada, insanın neden olduğu evrensel bir çelişki yatmaktadır. Bu çelişkinin temelinde ise, gelişme ile çevre kirliliği arasındaki vazgeçilmez ilişki yatmaktadır. Diğer bir ifadeyle uygarlıklar ne kadar gelişmişlerse, çevreyi de oransal olarak aynı şekilde kirletmişlerdir. Oysa çoğunluğumuz, hem modern teknolojinin sunduğu tüm olanaklardan hem de bu olanakları sağlayan doğal kaynakların bozulmadan korunmasından vazgeçmek istemiyoruz. Böylesi bir durum mümkün olmamakla birlikte, çevrenin daha az oranda kirlenmesinin sağlanması hususu mümkün görülmektedir. Çevre kalitesinde son yıllarda giderek artan bozulmalar, haklı olarak ekolojik dengenin uzun vadede korunması hususunda endişeler doğurmuştur. Bu endişeyi haklı kılan bilimsel analiz ve gözlemler, insan ve diğer canlıların biyolojik yaşam döngülerini de önemli oranda etkilemektedir. Bu durum, sürdürülebilir gelişmenin temel ögesini oluşturan tarımsal faaliyetleri de olumsuz etkilemiştir. Ayrıca modern tarımsal faaliyetlerin gerektirdiği yüksek enerjik yapı da bu olumsuz gelişmeyi kamçulamaktadır (Tok, 1997).

Ekolojik düşünce, özellikle son çeyrek yüzyılda güncellik kazanmış, insan-toplum-çevre etkileşimini oluşturan fiziksel, kimyasal ve sosyal ilişkiler yumağını tanımlamak ve düzenlemek için itici bir nitelik kazanmıştır. Bu nedenle, ekolojik bilinçlenme artmış, insan doğanın bir parçası olduğunu ve onunla sistemli bir etkileşim içinde olduğunu kavramaya başlamıştır. Buna bağlı olarak, ekoloji için yeni düşünce tarzını ortaya koyan, yeni tanımlamalar yapılmıştır. Ekolojik düşüncenin temelinde

“doğa düzeninin sürekliliğini sağlama ilkesi” bulunmaktadır. Esas olarak ekolojinin uğraşı alanı, doğanın yapı ve işlevlerini tanımlamaktır (Haktanır ve Arcak, 1998).

Birbirlerine ayrılamaz bir şekilde bağlı ve biri diğerine sürekli tesir eden toprak, su, bitki, hava ve diğer ekolojik faktörler yaşadığımız çevreyi meydana getirir. Bilindiği gibi, çevre canlıların yaşamını sağlayan ve onları sürekli etkisi altında bulunduran faktörler kompleksidir. Çevreyi oluşturan temel unsurlardan hava, su ve toprakta doğal koşullar altında, ekolojik bir denge söz konusudur. Bu denge sonucu, canlılar gelişim süreçlerini herhangi bir aksaklık göstermeden, bu ortamlarda yürütürler. Bu ortamlar için yabancı olan maddeler ve ortamda bulunup da konsantrasyonları alışılmış değerlerin üzerine çıkanlar belirli değerlerden sonra kirletici olarak nitelendirilirler. Bunların ekolojik çevreye olan zararları sadece ortamda bulunup bulunmamalarıyla ilgili olmayıp, aynı zamanda bulunma miktarlarıyla da ilgilidir. Bu anlamda kirlilik, ortamın doğal özelliklerinin canlılar ile çevreyi, doğal dengeyi bozacak ve ortamda yaşamı olumsuz yönde etkileyecek biçimde değişimi olarak tanımlanabilir (Korkmaz ve Kızılkaya, 1998).

Tarımsal faaliyetleri yürüten çiftçilerimiz flor gibi baca gazları ve metal tozları ile kirletilmiş havadan, bitki ve hayvanları zarar gören bir kesim olduğu kadar, toprak, su, tarımsal mücadele ilaçları ve gübreleri kendilerine tavsiye edilen miktar ve şekillerde kullanmadıklarında çevreyi kirleten kesim de olabilirler (Korkmaz ve Kızılkaya, 1998).

Ekolojik çevrede cereyan eden doğal nitelikli olaylar dikkate alınmadığında, çevre kirliliği insanların doğrudan ve dolaylı etkileri sonucu ortaya çıkmaktadır. Son yıllarda, kirliliğin, teknolojiadaki hızlı artışlarla oluşturulduğuna dair pek çok görüş ortaya atılmıştır. Burada önemli olan husus, son yıllarda bazı arzu edilmeyen ve etkileri çok uzun süreli olan kirleticilerle karşılaşmış olduğumuz gerçeğidir.

Günümüzde, çevre koruma, insan ve toplum sağlığı bilinci ülkelere göre farklı olmakla birlikte çok büyük gelişmeler göstermiştir. Çevre kirliliği denildiğinde, genellikle hava kirliliği, endüstriyel atıklar, nükleer atıklar, ses kirliliği gibi kirlilik konuları öncelikle akla gelmektedir. Fakat çevreyi sömüren ve kirleten, sentetik kimyasal girdileri çoğu zaman kontrolsüzce kullanan konvansiyonel tarımın yarattığı kirlilik, doğal dengenin bozulmasına olan etkileri, çevre kirliliği ve besin zincirleriyle

tüm canlılara ulaşabilen hayati tehlike, diğer kirlilikler kadar dikkat çekmemektedir (İlter ve Altındışli, 1996).

Ağır metallerin hava kirlenmesi yoluyla su, toprak ve bitkisi örtüsü üzerinde meydana getirdiği kimyasal, biyolojik ve biyokimyasal değişimler sürekli ve ilgili bir şekilde değişik kesimler tarafından izlenmektedir. Bitki gelişimi için lüzumlu sayılan düşük konsantrasyonlardaki Fe, Cu, Zn, Mn gibi elementler, yüksek konsantrasyonlarda ekolojik çevredeki canlı yaşamı üzerine zararlı etkiler yapmaktadır.

Çevre kirliliği terimi, bu derlemede tartışılmasına olanak bulunmayacak kadar geniş bir anlamı ifade eden bir terimdir. Bu nedenle bu çalışmada, kirlilik ve kirlenme kavramları tartışılırken sadece toprak ve buna bağlı olarak ta su kirliliği konularına yer verilecek ve ağır metal olarak adlandırılan elementlerin tarım alanlarında meydana getirebileceği kirlilik ile ilgili etkinlikleri tartışılacaktır.

2. KİRLLENME VE TOPRAK KİRLİLİĞİ

Kirlenme çeşitli tanımlara sahiptir. Örneğin çevrenin bilinçli veya kaza yolu ile insan atıkları ile bulaştırılması veya maddenin yanlış yerde bulunuşu şeklinde tanımlanabilir. Çevre sözlüğündeki tanımı ise şu şekildedir: “Kirletici, insan yaşamına ait değerlerde konfor, sağlık ve güzelliklerde girişim yaratan veya toksik olan, besin zincirinde girişim yapan ve türlerin gelişme oranını değiştirmek yolu ile çevreyi şiddetle etkileyen/değiştiren madde veya etkidir”. Buna ilave olarak bazı “atık enerji” türleri de (örneğin ısı, gürültü, vibrasyon) kirlenme kavramı içinde düşünülür. Çok genel bir ifade ile kirlenme biyosferin doğal işlevinin zarar görmesine veya bozulmasına neden olur.

Her türlü kirletici sonuçta katılmış olduğu ortamda belirli sürelerde ve değişik süreçlerde etkiler oluşturur. Bu etki mekanizması sistemin fiziksel, kimyasal ve biyolojik niteliklerine göre değişiklik gösterir. Temel olarak üç fiziksel alıcı ortam bulunmakla birlikte, kirlilik niteliklerini farklı boyutlarda örneklemek de gerekmektedir. Örneğin bir gürültü kirliliği doğrudan bir alıcı ortamı hedeflemediği halde kendine özgü bir grup oluşturmaktadır. Kirlenme ortamlarını ve ana hatları ile kirletici faktörleri şu şekilde özetleyebiliriz:

A. Hava Kirliliği

Meteoroloji ve klimatoloji (Endüstriyel ve fotokimyasal sis, sera gazları)

İnsan sağlığı (Endüstriyel emisyonlar)

Ekosistem sağlığı (Endüstriyel emisyonlar, iklim değişikliği, ozon sorunu)

B. Su kirliliği

Kentsel sıvı atıklar (kolay ayrışabilir organik maddeler, tuzlar, deterjanlar, vb.)

Endüstriyel sıvı atıklar (asitler, bazlar, fenoller, çeşitli organik maddeler, toksik bileşikler, termal atıklar, vb.)

C. Toprak Kirliliği

Tarımsal kirlenme (pestisidler, ticari gübreler, hayvan atık ve dışkıları)

Katı atıklar (çöpler, endüstriyel atıklar, açık maden işletmeciliği atıkları)

Kirli sulardan oluşan kirlilik yükleri (ağır metaller, patojen mikroorganizmalar, tuzlar, vb.)

Radyasyon

Petrol ve petrol ürünleri kirliliği

Günümüzde gelişen teknoloji, pek çok ürün ve hizmet sağlarken diğer taraftan çevre kirleticisi sorunların çoğalmasına da etken olmuştur. En fazla tartışılan konu, gelişme ve teknolojik yeniliklerin çevre sorunlarını oluşturduğu yaklaşımı üzerine olmakla birlikte, asıl sorun kaynak kullanımındaki yanlış planlamalar ve çevre ile uyumlu olmayan teknoloji seçimidir.

Toprağın değerini düşürecek her türlü doğal ya da antropojen olay, toprak kirlenmesinin kapsamına girer. Tarımda yanlış uygulamalar, erozyon, maden kirliliği, sanayi atıklarının boşaltılması, şehirseller atıkların rasgele bırakılması vb. olaylar toprak kirlenmesi içinde yer alır (Güney, 1995).

Toprak sistemi ilişkili olduğu su ve hava sistemlerinin içerdiği kirleticisi unsurlar için son depolanma noktasıdır. Diğer taraftan toprak, karasal ekosistemin taşıyıcı unsurudur ve toprak kalitesindeki değişim, gerek doğal ve gerekse tarım ekosisteminin verimliliğini etkilemektedir. Topraklar, kirli hava ve suyun taşımış olduğu unsurlar tarafından kirlendiği gibi, tarımsal uygulamalar ve endüstriyel aktivitelerle de yaygın veya yerel ölçeklerde nitelik değiştirmektedir (Haktanır ve Arcak, 1998).

Toprağa eklenen her türlü organik atıklar, gübreler, pestisitler ve kirli sular toprağın kirlenmesine neden olmaktadır. Bunlardan kimyasal gübrelerin toprak kirliliğine olan etkileri, daha çok gübrelerin bileşiminde bulunan toksik metal ve ağır metallerden kaynaklanmaktadır. Toprakların ağır metallerce kirlenmesinde özel bir tehlike vardır. Çünkü, bu elementlerin topraklara bulaşması ve birikmesi geri

dönüşümsüz niteliktedir. Tarım topraklarına giren ağır metaller, hem insanlar üzerinde hem de ekolojik çevre sağlığı üzerinde olumsuz etkilere sahiptir. Tarımsal yollarla topraklara ağır metal girdisi atık çamur, fosforlu gübreler, kireç taşları, azotlu gübreler, ahır gübreleri ve pestisitlerle olmaktadır (Korkmaz ve Kızılkaya, 1998).

3. TOPRAKLARDA AĞIR METAL KİRLİLİĞİ

3.1. Ağır Metal Kavramı

Ağır metal terimi daha ziyade atom ağırlıkları yüksek olan ve periyodik sistemin geçiş elementleri grubundaki metalleri ifade etmektedir. Bu başlık altında toplanan ve özgül ağırlıkları 5 g/cm^3 'ten daha fazla olan elementler ve onların iyonları, periyodik cetvelin geçiş elementleri olarak tanınan geniş bir grubuna aittirler. Bunlardan bazıları tarımda "iz elementler" veya "mikro besin maddeleri" olarak tanımlanmaktadır. Son yıllarda bu metaller çevreyi oluşturan zincirin her halkasında (canlı veya cansız) giderek daha fazla oranda belirlenmişlerdir. İnsan ve hayvan dokularında da bu elementlerin bir kısmı iz düzeyde gereklidir. Ancak gerek biyolojik birikim süreci ve gerekse canlıların bu elementlerin yoğun olarak bulundukları ortamlarda direkt olumsuz etkileri altında kalmaları, önemli bir çevre sorunu olarak karşımıza çıkmaktadır. Üstelik bu etkinin kalıcı olabileceği göz önünde tutulursa, sorunun boyutları daha da iyi bir şekilde anlaşılmaktadır (Tok, 1997). Aslında ağır metal terimi literatüre çevre kirliliği ile girmiştir. Ağır metal teriminin kullanımı bütünüyle tatmin edici değildir. Metaller ve metal olmayanlar arasındaki fark kesin olmadığı halde, periyodik tablonun incelenmesi sonucunda 84 elementin metal olduğu kabul edilmiştir. Yukarıda tanımlanan nitelik, çevre kirliliği dikkate alındığında ise 69 element bu kategoriye girmektedir. Genellikle tanımlar tam olmamakla birlikte, ekolojik yönden ağır metal terimi; kirlenme ve toksisite bakımından bir yan anlam olarak kullanılmakta ve çoğunlukla atom numarası 20'den büyük olan metaller bu kapsama girmektedir (Haktanır ve Arcak, 1998). Bu grubun içine 70 kadar element girmekle birlikte ekolojik bakımdan önemli 20 element dikkati çekmektedir. Önemli bazı ağır metallerin ekolojik sınıflaması Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Önemli ağır metallerin ekolojik sınıflaması (Haktanır ve Arcak, 1998).

Element		Özgül ağırlık, g.cm ⁻³	Bitki ve hayvan için gereklilik	Kirletici olup olmadığı
Gümüş	Ag	10.5	-	K
Kadmiyum	Cd	8.7	-	K
Krom	Cr	7.2	G	K
Kobalt	Co	8.9	G	K
Bakır	Cu	8.9	G	K
Demir	Fe	7.9	G	K
Civa	Hg	13.6	-	K
Manganez	Mn	7.4	G	-
Kurşun	Pb	11.3	-	K
Molibden	Mo	10.2	G	K
Nikel	Ni	8.9	G	K
Platin	Pt	21.5	-	-
Talyum	Tl	11.9	-	K
İlay	Sn	7.3	-	K
Uranyum	U	19.1	G	K
Vanadyum	V	6.1	G	K
Tungsten	W	19.3	G	K
Çinko	Zn	7.1	G	K
Zirkon	Zr	6.5	-	-

G: Gerekli

K: Kirletici

3.2. Tarım Topraklarında Ağır Metallerin Dağılımı

Ekolojik çevre içerisinde herhangi bir kirlenme sürecine maruz kalmamış topraklarda, toprakların ana materyallerinden kaynaklanan bir ağır metal kapsamı söz konusudur. Bazı kayaç ve kirlenmemiş toprak örneklerinin potansiyel toksik element içerikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Toprakların ağır metal kapsamı litojen kaynaklıdır. Bunun yanısıra, antropojonik etkiler ile özellikle de bilinçsiz ve bilgisiz tarımsal uygulamalarla toprakların ağır metal miktarları sürekli olarak artmaktadır. Tarımsal uygulamalar içerisinde gübreler, toprak düzenleyicileri ve kimyasal mücadele ilaçları önemli miktarlarda ağır metalleri bünyelerinde barındırabilmektedirler. Topraklarda genel olarak ağır metallerin dağılım

aralığı ile topraklar tarafından bu elementlerin tolere edilebilir miktarları Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 2. Kayaçlarda bazı ağır metallerin ortalama içerikleri (mg.kg⁻¹)

	Mn	Cu	Zn	Co	Cr	Ni	As	Cd	Hg	Pb
Yer kabuğunda	800	35	70	18	80	45	3.5	0.1	0.02	15
Ultrabazik kayaçlarda	1600	10	50	150	1600	2000	1	0.05	0.02	1
Bazalt/Gabro	1400	90	100	50	170	130	1.5	0.1	0.02	4
Gnays/Mika	600	25	65	13	75	25	4.3	0.1	0.02	16
Granit	325	13	50	4	12	7	1.5	0.09	0.03	32
Kil taşı	850	45	95	20	90	70	10	0.13	0.45	22
Kum taşı	50	5	15	0.3	35	2	1	0.05	0.03	7
Kireç taşı	700	4	25	2	11	15	2.5	0.16	0.03	5
Lös	300	11	40	8	-	13	-	-	-	30
Marn	400	15	40	7	35	18	8	0.3	0.4	20

Tablo 3. Tarım topraklarında bazı ağır metallerin dağılımı ve bu metallerin topraklar tarafından tolere edilebilir miktarları (Kloke, 1980).

Element	Dağılım aralığı, mg.kg ⁻¹	Toprak tarafından tolere edilebilir miktar, mg.kg ⁻¹
Arsenik	As	2 -20
Kadmiyum	Cd	0.1-1
Kobalt	Co	1-10
Krom	Cr	2-50
Bakır	Cu	1-20
Civa	Hg	0.1-11
Nikel	Ni	2-50
Kurşun	Pb	0.1-20
Kalay	Sn	1-20
Üranyum	U	< 0.1-1
Vanadyum	V	10-100
Çinko	Zn	3-50
Zirkon	Zr	< 10-300

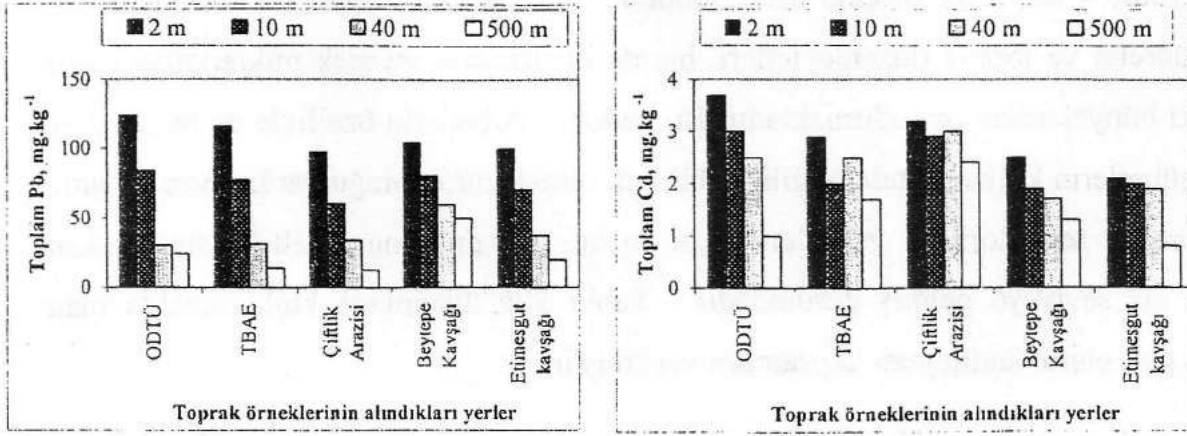
3.3. Toprakların Ağır Metal Girdisi

Toprakların ağır metal kapsamı, doğal kaynaklardan türemesi yanında antropojenik kirlenmeden de oluşur. Çok çeşitli endüstriyel baca gazları, karayollarındaki trafik yoğunluğu, ağır metallerce havanın kirlenmesine ve bu elementlerin yağışlarla toprağa iletilmesine, sonuçta da topraklarda ağır metallerin birikmesine neden olmaktadır. Endüstriyel işletmelerin baca emisyonlarından kaynaklanan kirlenmenin, sadece kükürtdioksit gazı ve tozluluktan ibaret olmadığı yapılan çalışmalarla ortaya konulmuş ve ülkemizde son yıllarda yapılan çalışmalarla da kirlenmenin boyutu daha açık bir şekilde gözler önüne serilmiştir. Topraklardaki ağır metal kirliliği özel bir öneme sahiptir. Çünkü bu kirleticiler, tarım topraklarına ulaştıktan sonra geri dönüşümsüz bir özellik kazanmakta ve topraklar üzerinde bir yıkım oluşturmaktadır (Kızılkaya, 1998). Konunun öneminin daha açık bir şekilde ifade edilebilmesi için, toprakların ağır metal kaynakları ana başlıklarla şu şekilde özetlenebilir:

3.3.1. Yol Yakınındaki Topraklarda Trafikten Kaynaklanan Ağır Metal Birikimi

Trafik yoğunluğunun fazla olduğu trafik bölgelerinde, eksoz gazları ve oto aşınmalarından kaynaklanan ağır metaller, karayolları yakınındaki topraklarda birikmektedir. Bu birikim sonucu, topraklarda önemli işlevleri olan bir çok biyokimyasal ve enzimatik reaksiyon üzerine etki oluşabilir (Arcak ve ark., 1996). Endüstriyel emisyonlar yanında, içten yanmalı motorlara ait eksoz gazları, yakıt ve yağ katkıları, motor aşınmaları nedeniyle Pb, Cu, Ni, Zn, vb. ağır metallerin çevreye yayılması ve topraklarda birikmesi söz konusudur (Ward et al, 1977).

Motorlu taşıt eksozları nedeniyle ağır trafik yükü görülen yol kenarlarındaki topraklar, bitkiler ve konutlar, giderek artan düzeylerde ağır metal bulaşmasına maruz kalmaktadır. Kurşun, benzine katılan alkali kurşun bileşiklerinin (tetra etil ve tetra metil-Pb) motorda yanması sonucu kurşun oksit partiküllerinin oluşması ve eksoz ile havaya atılmasıyla, kadmiyum ise lastik aşınması ($20-90 \text{ mg.kg}^{-1}$) ve Cd içeren dizel yağı atıklarıyla, çinko ise motorlu taşıtlardan çıkan gazlarla topraklara ulaşabilmektedir (Haktanır ve ark., 1995). Şekil 1'de Ankara'da belirli bir trafik diliminde karayoluna uzaklık esas alınarak 0-5 cm toprak derinliğindeki topraklara taşıtlardan kaynaklanan Pb ve Cd birikimi gösterilmiştir.



Şekil 1. Ankara'da belirli bir trafik diliminde karayolu yakınındaki 0-5 cm derinliğindeki topraklara uzaklık esas alınarak taşıtlardan kaynaklanan Pb ve Cd birikimi (Arcak ve ark., 1996)

3.3.2. Topraklara Bazı Gübreler ve Toprak Düzenleyicileriyle Ağır Metal Girdisi

Tarımsal üretimi artırmak amacıyla toprağa eklenen her türlü organik atıklar, gübreler, pestisitler, toprak düzenleyicileri ve kirli sular toprağın kirlenmesine neden olabilmektedir. Bunlardan kimyasal gübrelerin toprak kirliliğine olan etkileri daha çok gübrelerin bileşiminde bulunan toksik ağır metallerden kaynaklanmaktadır (Korkmaz ve Kızılkaya, 1998). Tarımsal yollarla topraklara ağır metal girdisi ile ilgili özet bilgiler Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Tarımsal yollarla topraklara ağır metal girdisi, mg.kg⁻¹ (Kabata-Pendias ve Pendias, 1984)

Element	Atık çamur	Fosforlu gübreler	Kireç taşları	Azotlu gübreler	Ahır gübresi	Pestisitler(%)
As	2-26	2-1200	0.1-24	2.2-120	3-25	22-60
Cd	2-1500	0.1-170	0.04-0.1	0.05-8.5	0.3-0.8	-
Co	2-260	1-12	0.4-3	5.4-12	0.3-24	-
Cr	20-40600	66-245	10-15	3.2-19	5.2-55	-
Cu	50-3300	1-300	2-125	1-15	2-60	12-50
Hg	0.1-55	0.01-1.2	0.05	0.3-2.9	0.09-0.2	0.8-42
Mn	60-3900	40-2000	40-1200	-	30-550	-
Mo	1-40	0.1-60	0.1-15	1-7	0.05-3	-
Ni	16-5300	7-38	10-20	7-34	7.8-30	-
Pb	50-3000	7-225	20-1250	2-27	6.6-15	60
Sn	40-700	3-19	0.5-40	1.4-16	3.8	-
V	20-400	2-1600	20	-	-	45
Zn	700-49000	50-1450	10-450	1-42	15-250	1.3-25

Tablo 4'ten de görüleceği üzere modern tarım kavramı içerisinde önemli bir yer tutan gübreler ve toprak düzenleyicileri, hiç de küçümsenemeyecek miktarlardaki ağır metalleri bünyelerinde barındırmaktadır. Bu nedenle, gübrelerin özellikle de fosforlu ve azotlu gübrelerin kullanımında bilgilili ve bilinçli olmak zorunluluğu vardır. Son yıllarda gübre üretim teknolojileri, gübrelerin ağır metal kapsamının azaltılmasına imkan verecek bir seviyeye gelmiş durumdadır. Tablo 5'te ülkemizde kullanılmakta olan fosforlu gübrelerin kadmiyum kapsamı verilmiştir.

Tablo 5. Ülkemizde kullanılmakta olan fosforlu gübrelerin toplam P_2O_5 ve toplam Cd kapsamı (Karaca ve Haktanır, 1997)

Gübre türü	N- P_2O_5 - K_2O	Üretildiği yer	Toplam P_2O_5 , %	Toplam Cd, mgkg ⁻¹
DAP	18-46-0	Akdeniz Gübre	46.12	21.06
DAP	18-46-0	TÜGSAŞ	45.31	13.97
DAP	18-46-0	Toros Gübre	46.75	14.99
DAP	18-46-0	Ege Gübre	47.65	17.62
DAP	18-46-0	BAGFAŞ	46.35	17.41
DAP	18-46-0	Almanya	46.76	16.20
TSP	0-43-0	TUGSAŞ	45.85	25.31
TSP	0-43-0	Toros Gübre	46.10	17.41
TSP	0-43-0	Gübre Fab. A.Ş.	45.74	17.62
TSP	0-43-0	BAGFAŞ	46.65	21.30
TSP	0-43-0	Romanya	46.76	15.49
TSP	0-43-0	Macaristan	46.79	18.52
TSP	0-43-0	A.B.D.	47.74	18.93
Kompoze	15-15-15	Toros Gübre	14.74	3.94
Kompoze	15-15-15	Gübre Fab. A.Ş.	14.85	2.02
Kompoze	15-15-15	Ege Gübre	15.06	2.12
Kompoze	20-20-0	Toros Gübre	20.38	4.24
Kompoze	20-20-0	Gübre Fab. A.Ş.	19.10	3.64
Kompoze	20-20-0	Ege Gübre	20.13	4.05
Kompoze	20-20-0	BAGFAŞ	20.10	5.87
Kompoze	20-20-0	Romanya	19.11	3.20

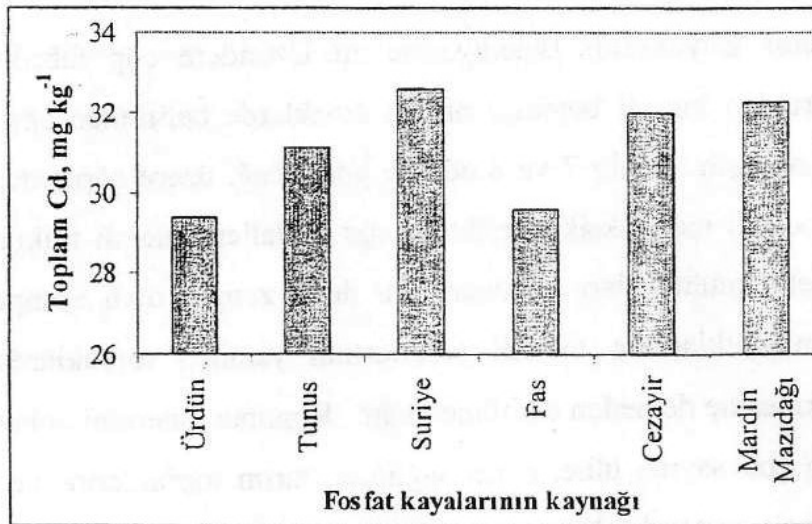
Tarım alanlarında gübre olarak kullanılan ticaret gübreleri, doğal mineraller ve organik gübreler farklı miktarlarda ağır metal kapsamaktadırlar. Bu gübrelerden özellikle fosforlu gübrelerin yapısında bulunan kadmiyum ve diğer bazı ağır metallerin

bilinçsiz ve bilgisiz gübre kullanıma bağlı olarak toprakta biriktiği ve potansiyel bir kirlilik nedeni olabildiği çok sayıda çalışmayla ortaya koyulmuş durumdadır. Fosforlu gübre üretiminde hammadde olarak kullanılan, bazı fosfat kayalarının bazı ağır metal içerikleri Tablo 6’da sunulmuştur.

Tablo 6. Bazı fosfat kayalarının tipik ağır metal kapsamları, mgkg⁻¹ (Gunnarsson, 1983).

Fosfat kayaları	Cd	Hg	Pb	Ni	Zn	As	W
Khouribga (Fas)	18	0.04	2	30	270	10	30
Pebble (Florida)	5	0.09	12	13	80	5	30
Gafsa (Tunus)	34	0.03	2	16	290	2.1	-
Taiba (Senegal)	71	0.33	4	53	500	2.3	30
Kola (S.S.C.B.)	0.2	0.01	4	0.5	20	<1	110
Granges (İsveç)	1.1	0.04	3	15	21	235	270
Lkab (İsveç)	0.3	0.15	6	20	-	220	110

Tablo 6’ dan da görüleceği üzere farklı ülkelerdeki fosfat kayalarının bazı ağır metallere ait içerikleri oldukça farklılık gösterebilmektedir. Dolayısıyla bu kaynaklardan elde edilen gübrelerin de ağır metal içeriklerinin birbirlerinden çok farklı olacağı hususu gözden uzak tutulmamalıdır. Ülkemizde fosforlu gübre üretiminde kullanılan ve tamamına yakını ithal edilen ham fosfatların toplam Cd içerikleri ise Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Ham fosfatların toplam Cd içerikleri (Karaca ve Haktanır, 1997)

3.3.4. Kentsel ve Evsel Atıklar Yoluyla Topraklara Ağır Metal Girdisi

Kentsel ve evsel çöpler, kompost haline getirildikten sonra gübre olarak kullanıldıklarında içerisinde bulundurdıkları ağır metallerle tarım topraklarını kirletebilmekte ve potansiyel bir kirlilik kaynağı olabilmektedirler. Bu şekildeki gübreler, ağır metal kapsamı bakımından alındıkları yerlere, bileşimlerine ve mevsimlere göre farklılık göstermektedirler.

Kompostun tarımsal amaçlı kullanımı, bu materyallerdeki besin elementlerinin ve organik maddenin yeniden değerlendirilmesi ile çevresel ve ekonomik yararlar sağlamaktadır. Bununla birlikte aşırı miktarda kompost uygulaması, çoğu tarım alanlarında özellikle Pb, Cd, Cu ve Zn gibi ağır metallerin birikimine yol açmıştır. Toprağın bu elementlerle kirlenmesi, yüzey ve yer altı sularının kalitesini kötüleştirmekte ve aynı zamanda toksik ağır metallerin besin zincirine girişinin artmasıyla da fitotoksit etkiler oluşmaktadır (İpek ve ark., 2000).

Çoğu Avrupa ülkesi, çöplerden kompost elde etme teknolojilerini tesis etmiş ve bu kompostları tarım alanlarında kullanır hale getirilmiş durumdadır. Bu konumdaki ülkelerden Almanya'da çöplerden elde edilen kompostların ağır metal içeriklerine ait ortalama değerler Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Almanya'da çöp kompostlarının çok yıllık ortalama ağır metal içerikleri, mg.kg⁻¹ (Ergene, 1991).

	Zn	Cu	Pb	Cr	As	Cd	Hg
Çöp kompostu	1096	677	290.5	61	8	3	1

Ülkemizde İzmir Büyükşehir Belediyesine ait Uzundere çöp fabrikasında üretilen çöp kompostlarından bir yıl boyunca alınan örneklerde belirlenen ağır metal içerikleri Tablo 8'de verilmiştir. Tablo 7 ve 8'den de görüleceği üzere çöplerden elde edilen kompost, canlı yaşamı için toksik nitelikteki ağır metalleri önemli miktarlarda kapsamaktadır. Ağır metal muhtevaları yönünden bu denli zengin olan kompostlar, tarım topraklarına uygulandıklarında önemli yararlarının yanında topraklarda çok miktarda ağır metal birikmesine de neden olabilmektedir. Konunun önemini anlayan ve çözüm üretmeye çalışan çok sayıda ülke, insan sağlığını, tarım topraklarını ve diğer ekolojik unsurları korumak amacıyla, kompostların tarım alanlarında gübre ve toprak düzenleyicisi olarak kullanımları ile ilgili çeşitli standartlar geliştirmiştir.

Tablo 8. İzmir Büyükşehir Belediyesine ait Uzundere çöp fabrikasında üretilen çöp kompostlarının ağır metal içerikleri, mg.kg⁻¹

Cu	→	33.50 – 39.20
Zn	→	70.00 – 362.00
Mn	→	112.50 – 225.00
Mo	→	0.25 – 0.60
Co	→	4.00 – 8.50
Pb	→	63.50 – 340.00
Ni	→	18.50 – 51.50
Cr	→	50.00 – 205.00
Cd	→	1.13 – 4.25
Hg	→	0.009 – 5.00

Çeşitli Avrupa ülkelerinde kullanılacak kompostun bünyesinde kapsayabileceği maksimum ağır metal içerikleri Tablo 9’de verilmiştir.

Tablo 9’den de görüleceği üzere Almanya, Hollanda ve Belçika kompost kullanımıyla ilgili olarak en güçlü yönetmeliklere sahiptir. Bu konuda İspanya ise en zayıf standartları kullanmaktadır.

Tablo 9. Çeşitli Avrupa ülkelerinde kullanılacak kompostun izin verilebilir ağır metal içerikleri, mg.kg⁻¹

Ülke	Cd	Cu	Cr	Pb	Hg
Avusturya	4	400	150	500	4
Belçika	5	100	150	600	5
Danimarka	1.2	1000	100	80	1.2
Almanya	1	75	100	100	1
İtalya	3	200	150	200	2
Hollanda	0.7	25	50	65	0.2
İspanya	40	1750	750	1200	25
İsviçre	3	150	150	150	2

Türkiye’de kompost kalite standartları “Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği” ile gösterilmiştir (Anonymous, 1991). Bu yönetmeliğe göre, çeşitli atıklardan elde edilen kompostun tarımda kullanılması halinde, istenen kalite kriter ve standartları ayrıntılı bir şekilde sunulmuş durumdadır. Bu kriterlerden topraklara uygulanmasına izin verilebilecek en yüksek ağır metal içerikleri (kuru toprakta ppm olarak) ve bir yılda

araziye verilmesine müsaade edilen ağır metal yükleri (yılda hektar başına gram olarak) Tablo 10'da gösterilmiştir.

Tablo 10. Toprakta izin verilen ağır metal içerikleri (İpek ve ark., 2000)

Ağır metal	Topraktaki sınır değer (mg.kg ⁻¹ kuru toprak)	Sınır yük değeri (g.ha ⁻¹)
Kurşun	100	2000
Kadmiyum	3	33
Krom	100	2000
Bakır	100	2000
Nikel	50	330
Civa	2	42
Çinko	300	5000

3.3.5. Arıtma Çamurlarının Boşaltılması İle Topraklara Ağır Metal Girdisi

Arıtma çamurları, önemli miktarlarda organik madde ve bir miktar da kireç ile makro ve mikro besin elementlerini bünyesinde barındırmaktadır. Bu nedenle bu türdeki substratlar, toprakları ıslah edici madde veya gübre olarak kabul edilmekte ve kullanılmaktadır. Atık çamurlar, önemli miktarlarda besin elementini kapsamaları yanında kurşun, kadmiyum, krom, nikel, civa, bakır ve çinko gibi toksik olabilecek ağır metalleri de fazla miktarlarda bünyesinde barındırabilmektedir. Herhangi bir arıtma işlemine tabi tutulmayan endüstriyel işletmelerin atık çamurları, doğrudan toprağa bırakıldığında potansiyel bir ağır metal kirliliğini de beraberinde getirebilmektedir. Almanya'da gerçekleştirilen bir çalışmada, 7400 adet arıtma çamuru örneğine ait bazı ağır metal içerikleri Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11. Almanya'da 7400 arıtma çamuru örneğine ait ortalama ağır metal içerikleri, mg.kg⁻¹

	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Hg	Zn
Arıtma çamuru	160	4	90	330	40	2.5	1320

Bununla beraber, özellikle şehir atık sularının arıtılması esnasında elde edilen arıtma çamurları da N, P gibi besin maddelerini içermelerinden dolayı, tarımda gübreleme materyali olarak kullanılmaktadır. Bu şekilde elde edilen arıtma çamurları, tıpkı fabrikalardan dışarı atılan çamurlar gibi önemli oranda ağır metal kapsamaktadır.

Tablo 12’de Ankara Büyükşehir Belediyesinin atık su arıtma tesislerinden elde edilen arıtma çamurlarının ağır metal içerikleri verilmiştir.

Tablo 12. Ankara Büyükşehir Belediyesinin atık su arıtma tesislerinde üretilen arıtma çamurlarının ağır metal içerikleri, mg.kg⁻¹ (Arcak ve ark., 2000).

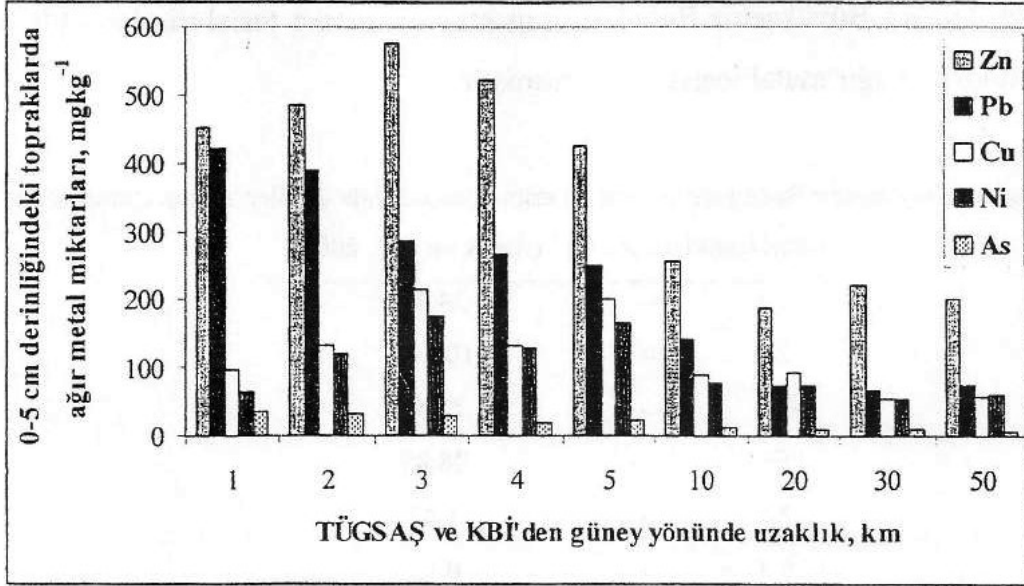
Cu	→	14.40
Zn	→	109.00
Mn	→	72.50
Fe	→	28.80
Ni	→	1.47
Co	→	0.53
Cd	→	0.12

3.3.6. Endüstriyel İşletmelerden Topraklara Ağır Metal Girdisi

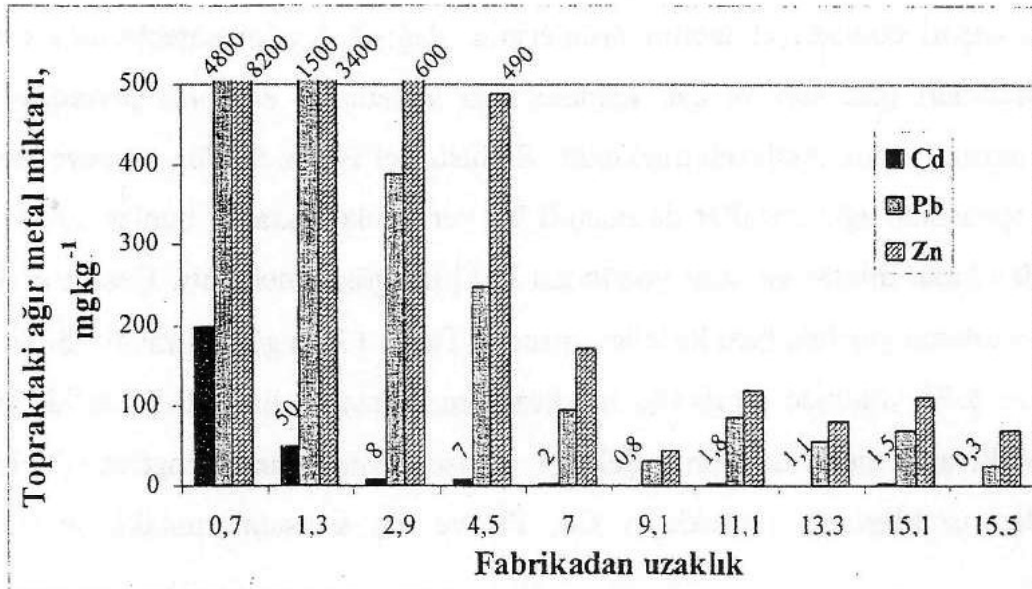
Çok çeşitli endüstriyel üretim ürünlerinin, değişik üretim süreçlerinde ortama bırakmış oldukları gaz, sıvı ve katı haldeki bazı kirleticiler ekolojik çevredeki tüm canlıları olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Endüstriyel işletmelerden çevreye yayılan kirleticiler içerisinde ağır metaller de önemli bir yer kaplamakta ve bunlar, işletmenin türüne bağlı olarak miktar ve çeşit yönünden farklılık göstermektedir. Çeşitli endüstri alanlarından ortama yayılan, bazı kirletici unsurlar Tablo 13’de gösterilmiştir. Şekil 3’te TÜGSAŞ ve KBİ yönünde fabrikalar merkez olmak üzere alınan 0-5 cm’lik yüzey topraklarındaki ağır metal dağılımı Şekil 4 ‘te ise Avonmounth (İngiltere)’daki Zn işletmesinden uzaklaştıkça toprakların Cd, Pb ve Zn kapsamlarındaki değişimler verilmiştir.

Tablo 13. Çeşitli endüstri alanlarında ortama yayılan kirletici unsurlar.

Endüstri alanı	Parçacık	SO _x	NO _x	NH ₃	SO ₄	Ağır metal	Klorür	Asitlik
Alüminyum üretimi	X							
Çimento üretimi	X					X		
Bakır üretimi	X	X			X	X		X
Gübre üretimi	X	X	X	X	X	X		
Demir ve çelik	X	X		X	X	X	X	X
Kurşun ve çinko	X	X			X	X		
Deri işleme		X		X	X	X	X	



Şekil 3. TUGSAŞ ve KBI yönünde fabrikalar merkez olmak üzere alınan 0-5 cm'lik yüzey topraklarındaki ağır metal dağılımı (Kızılkaya, 1998).



Şekil 4. Avonmouth (İngiltere)'deki Zn işletmesinden uzaklaştıkça toprakların Cd, Pb ve Zn kapsamlarındaki değişimler (Cameron ve Nickless, 1977)

3.3.7. Tarımsal Sulama Uygulamalarından Topraklara Ağır Metal Girdisi

Tarımsal kirlenmeye yol açan kaynaklar çoğunlukla noktasal olmayan yaygın kaynaklardır. Tarımsal üretimde daha yüksek verim ve kalitenin elde edilmesi için kullanılan tüm kimyasallar ve sulama noktasal olmayan kirlenmenin ana nedenlerindendir (Anaç ve Çolak, 1996). Yeryüzünde farklı amaçlar için kullanılan (içme, sulama ve diğer kullanımlar) su kaynakları, gün geçtikçe biraz daha fazla kirlenmektedir. Bu kirlilik, hem yer altı ve hem de yer üstü su kaynaklarını etkilemiş

durumdadır. Bu nedenle, atık su arıtma sistemlerinin neden olduğu maliyet unsurlarının boyutları bugün için oldukça geniştir. Gelişmekte olan ve gelişmiş ülkelerdeki yerleşim yeri atık sularının ağır metal içeriklerinin en düşük ve en yüksek değerleri Tablo 14’de verilmiştir.

Tablo 14. Yerleşim yeri atık sularının ağır metal kapsamı (Tok, 1997)

Ağır metal	Değişim aralığı, ppm
Arsenik	2-5
Kadmiyum	2-5
Krom	15-40
Kobalt	1-2
Bakır	40-100
Demir	600-1500
Kurşun	40-100
Mangan	60-150
Civa	1-3
Nikel	15-40
Gümüş	4-10
Çinko	130-300

Bazı ağır metallerin sulama ve içme sularında bulunmasına izin verilen en yüksek konsantrasyonları Tablo 15’de verilmiştir.

Tablo 15. İçme ve sulama sularında izin verilebilir ağır metal sınırları (Anonymous, 1973).

Ağır metal	İçme suyunda, ppm	Sulama suyu, ppm
Arsenik	0.1	0.1
Kadmiyum	0.01	0.01
Kobalt	-	0.25
Krom	0.05	0.01
Bakır	-	0.2
Civa	0.002	-
Mangan	0.05	0.2
Molibden	-	0.01
Kurşun	0.05	5
Çinko	-	2