

**AĞIR METALLERİN TOPRAK-BİTKİ-HAYVAN METABOLİK SİSTEMİNDE
SİRKÜLASYONU: KADMIUM ÖRNEĞİ**

Yalçın BOZKURT*

Eumorfia ZACHOU**

ÖZET

Ağır metallerin neden olduğu çevre kirliliği, insanlar üzerindeki potansiyel toksik etkilerinden dolayı geniş çapta ilgi çekmektedir. Kadmiyum, volkanik emisyonlar sonucunda havada doğal olarak bulunur. Fosfatlı gübreler, özellikle uzun yıllar aşırı derecede kullanıldığı topraklarda tarım topraklarında kadmiyum birikimine neden olmuştur.

Kadmiyum esansiyel olmayan zehirli bir iz elementtir. Çevrede kadmiyum kirliliğine, fabrika bacaları, otomobil lastikleri ve petrol ürünlerinin yakılması neden olmaktadır. Kadmiyum topraklara fosfat ve hayvan gübreleri yoluyla karışmaktadır. Toprak ve bitkilerin toprak üstü aksamları özellikle maden artma tesislerinin olduğu alanlarda ayrıca atmosferden de ilave kadmiyum alırlar.

Topraklarda kadmiyum aktivitesini ve bitkiler tarafından alınabilirliğini etkileyen faktörler olarak; toprak pH'sı, toprakta mevcut kadmiyum miktarı, toprağın metal tutma kapasitesi, toprakta mikro besinlerin ve mikro elementlerin mevcudiyeti ile toprak sıcaklığı, nem oranı ve toprak havalandırması sayılabilir.

Ayrıca, suda çözülebilir kadmiyum bileşikleri deriye uygulandıklarında deriye nüfuz edebilmeleri minimal da olsa mümkündür, ancak vücuda kadmiyum alımının asıl şekli deri yolu ile değildir. Solunum ve sindirim sistemleri hayvan ve insanlarda kadmiyum absorpsiyonunun temel yollarıdır. Havadaki kadmiyum hayvanlar için solunum yoluyla değil, otladıkları meralarda birikmesi yoluyla potansiyel bir tehlike oluşturmaktadır. Kadmiyum toprak, bitki ve hayvanlar yoluyla insanlara transfer edilen kümülatif bir zehir olup insan ve hayvan popülasyonları günlük hayatta çevre ve gıdalardan düşük seviyelerde bile olsa kadmiyuma maruz kalmaktadırlar.

Anahtar Kelimeler : Ağır metaller, kadmiyum, toprak, bitki, hayvan, absorpsiyon

ABSTRACT

**CIRCULATION OF HEAVY METALS IN SOIL-PLANT-ANIMAL METABOLIC
SYSTEM WITH SPECIAL REFERENCE TO CADMIUM**

Environmental pollution with heavy metals draws widespread concern due to the potentially toxic effect on humans. Cadmium is present naturally in the air mainly as a result of volcanic emissions and release by vegetation. Furthermore, extensive use of phosphate fertilisers has accumulated cadmium in agricultural land especially in countries where they are used for many years.

* Dr., General Directorate of Agricultural Researches, Ankara, Turkey

** MSc., University of Thessaloniki, Faculty of Agriculture, Thessaloniki, Greece

Cadmium (Cd) is a non-essential trace element and is considered as a pollutant. Cadmium pollution in the environment occurs from smelting industries, attrition of automobile tyres, and burning of diesel and heating oil. Cadmium is added to soils with phosphatic fertilisers and with sewage sludge application to agricultural land. Soil and the above-ground parts of plants also receive additions through the atmosphere, particularly in areas near metal smelters.

Several factors affect the activity of cadmium in soils and its availability for plant uptake such as soil pH; the amount of Cd present; the metal sorption capacity of the soil; the presence of micro-elements and of macro-nutrients; soil temperature, moisture content and soil aeration.

Certain skin penetration of soluble cadmium compounds can take place when they are applied as a solution to the skin. Skin is not though the main route of cadmium uptake. The respiratory and gastrointestinal tracts are the two main routes of absorption in man and animals.

Airborne cadmium is a potential danger for animals through its deposition to grassland which is grazed by them and not through direct inhalation. Cadmium is translocated through the food chain of soil, roots, vegetation and animals to man and is an accumulative poison and in daily life large populations of animals and man are exposed to low levels of cadmium in the environment and in food.

Key Words : Heavy metals, cadmium, soil, plant, animal, absorption.

GİRİŞ

Ağır metaller, insan oğlunun aktiviteleri yüzünden gittikçe artan bir şekilde çevreye yeniden dağılmaktadır. Son on yıl boyunca yaşayan organizmalar için genellikle zararsız olan ve yeryüzünde sıkışarak yoğunlaşmış metal tortuları işlenmekte ve böylece çevreye yayılmaktadır. Bu metaller arasında kadmiyuma olan ilgi toksik oluşundan dolayı oldukça artmıştır Çünkü kadmiyumun insan organizmasında birikme eğilimi ve zehirlilik oranı iki kat daha artmıştır.

Kadmiyumun gıdalardaki konsantrasyonu bir çok yolla artmaktadır. Bunlar,

- Rafineri ve metal eritme ocakları gibi kadmiyum emisyonu kaynaklarına yakın yerlerde yetiştirilen ürünler üzerinde ortamdan kadmiyum depolanması
- Suda depolanması ve bilahare hayvanlar tarafından alınımı ve pirinç gibi suda yetişen diğer bitkilerde birikmesi
- Yüksek oranda kadmiyum konsantrasyonu içeren fosfatlı gübrelerin kullanılması
- Metal bulaşıklı zift ve çamurların toprak ve denizlere karışması
- Gıdalarla teması olan seramik gibi kadmiyum içeren materyallerinin kullanımı
- Kadmiyumca zengin materyallerin madencilikle çevreye yayılmasıdır (Sherlock, 1986).

Gıdaların tüketimi ile akut kadmiyum zehirlenmesi oldukça enderdir. Ancak ağız yoluyla, asitli gıdalar ve kadmiyum kaplı kaplarda saklanan yiyeceklerin tüketilmesiyle meydana geldiği vakalar bildirilmiştir. Örneğin, İsveç'te okul çağı çocukları arasında,

deposu kadmiyum kaplı meyve suyu makinasındaki meyve suyuna bulaşmış kadmiyumdan zehirlenmeler görülmüştür (Nordberg ve ark. 1973). Gıda ve özellikle bitki materyallerinde fazlaca bulunan kadmiyum düzeylerine devamlı maruz kalmak, akut kadmiyum zehirlenmesinden daha sık rastlanılmaktadır. Böbrek, kadmiyumun zarar verdiği hedef organdır, özellikle renal kortekste kadmiyum konsantrasyonu yaklaşık 200 µg/g ulaştığında zararlı olmakta dolayısıyla böbrek kanalları hasar görmekte ve kalsiyum, fosfor, glikoz, amino asitler ve küçük peptidler idrarla kaybolurlar. Bu kayıplar kemiklerde önemli derecede mineral azalmasına ve kırılmalarına yol açabilir. Kadmiyum dokularda biriktiğinde böbreklere zarar vermeden kilyet terapisi (chelation therapy) ile vücuttan atılamaz. Kronik kadmiyum zehirlenmesinin en şiddetli şekli olan *itai-itai* hastalığı yaklaşık 20 yıllık bir süreyle gıdalarında kadmiyum tüketen Japon kadınlarında görülmüştür. Bu kadınların doğum yaptıkları veya düşük kalsiyum, demir, protein, yağ ve D vitamini aldıkları sanılmıştır (Fox, 1987).

Kadmiyuma atmosferik kaynaklardan maruz kalmamış insanlarda, vücutta biriken kadmiyumun ana kaynağı gıdalardır. İçme suyu ve çevreyi saran hava da az da olsa günlük kadmiyum alımına neden olur. Sigara kullanımı da kadmiyumun teneffüsle vücuda alınımında bir risk taşımaktadır. Gıda zinciri ve tiftündeki kadmiyum varlığı insan ve hayvanlara bulaştığı kaynaklardandır.

Gıdalardaki kadmiyum konsantrasyonu, toprakta birikmiş kadmiyum seviyesine, bitkiler tarafından kullanılabilirliğine ve yetiştirilen materyalin fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlıdır. Son zamanlarda Alüminyum silikatlar toprak katkı maddesi olarak bitkilerin kadmiyum alımını azaltmak amacıyla önerilmektedir. Örneğin Zeolitlerin kullanımı, çok yıllık çim otunun kök ve yapraklarında kadmiyumu sırasıyla %51.8 ve %73.9 oranında azaltmıştır (Gworek, 1992).

Hayvanlar gıda zincirinde orta düzey reseptörlerdir. Kadmiyum birikimi ve absorpsiyonu konusunda araştırmalara, insan sağlığına zararlı olabileceği için, insanlar üzerinde yapılması zor olmakla birlikte önem verilmelidir.

Bunun için bu makalede toprak, bitki ve hayvan metabolik sisteminde kadmiyum sirkülasyonunun temel kavramları ele alınmış ve kadmiyumun insan sağlığına zararlı bir ağır metal olarak aşırı zehirliliğine dikkat çekilmeye çalışılmıştır. Böylece bu konu üreticilerin, bilim adamlarının ve devlet politikasını belirleyicilerin dikkatine sunulmuştur.

TOPRAK VE BİTKİLERDE KADMIYUM

KADMIYUM KONTAMİNASYON KAYNAKLARI

Kadmiyum esansiyel olmayan bir iz element olup çevre kirletici olarak sayılmaktadır. Ağır metal olarak kadmiyumun yol açtığı çevre kirlenmesi, sanayi bacalarından, otomobil tekerlekleri sürtünmelerinden, dizel ve ısı yakıtının yanmasından oluşur (Haghiri, 1973).

Toprağın ana materyalleri yüksek ve düşük kadmiyum konsantrasyonlarına sahiptir. Püskürtük kayalar, kum taşlarında ve kireç taşlarında olduğu gibi kadmiyumca düşüktürler. Bunun aksine lakustrin (göl) çökeltilerinden türemiş kayalar (11 ppm) ve deniz siyahı şistler (15 ppm) kadmiyumca daha zengindirler (Peterson ve Alloway, 1979).

deposu kadmiyum kaplı meyve suyu makinasındaki meyve suyuna bulaşmış kadmiyumdan zehirlenmeler görülmüştür (Nordberg ve ark. 1973). Gıda ve özellikle bitki materyallerinde fazlaca bulunan kadmiyum düzeylerine devamlı maruz kalmak, akut kadmiyum zehirlenmesinden daha sık rastlanılmaktadır. Böbrek, kadmiyumun zarar verdiği hedef organdır, özellikle renal korteksde kadmiyum konsantrasyonu yaklaşık 200 µg/g ulaştığında zararlı olmakta dolayısıyla böbrek kanalları hasar görmekte ve kalsiyum, fosfor, glikoz, amino asitler ve küçük peptidler idrarla kaybolurlar. Bu kayıplar kemiklerde önemli derecede mineral azalmasına ve kırılmalarına yol açabilir. Kadmiyum dokularda biriktiğinde böbreklere zarar vermeden kilyet terapisi (chelation therapy) ile vücuttan atılamaz. Kronik kadmiyum zehirlenmesinin en şiddetli şekli olan *itai-itai* hastalığı yaklaşık 20 yıllık bir süreyle gıdalarında kadmiyum tüketen Japon kadınlarında görülmüştür. Bu kadınların doğum yaptıkları veya düşük kalsiyum, demir, protein, yağ ve D vitamini aldıkları sanılmıştır (Fox, 1987).

Kadmiyuma atmosferik kaynaklardan maruz kalmamış insanlarda, vücutta biriken kadmiyumun ana kaynağı gıdalardır. İçme suyu ve çevreyi saran hava da az da olsa günlük kadmiyum alımına neden olur. Sigara kullanımı da kadmiyumun teneffüsle vücuda alınımında bir risk taşımaktadır. Gıda zinciri ve tütündeki kadmiyum varlığı insan ve hayvanlara bulaştığı kaynaklardır.

Gıdalardaki kadmiyum konsantrasyonu, toprakta birikmiş kadmiyum seviyesine, bitkiler tarafından kullanılabilirliğine ve yetiştirilen materyalin fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlıdır. Son zamanlarda Alüminyum silikatlar toprak katkı maddesi olarak bitkilerin kadmiyum alımını azaltmak amacıyla önerilmektedir. Örneğin Zeolitlerin kullanımı, çok yıllık çim otunun kök ve yapraklarında kadmiyumu sırasıyla %51.8 ve %73.9 oranında azaltmıştır (Gworek, 1992).

Hayvanlar gıda zincirinde orta düzey reseptörlerdir. Kadmiyum birikimi ve absorpsiyonu konusunda araştırmalara, insan sağlığına zararlı olabileceği için, insanlar üzerinde yapılması zor olmakla birlikte önem verilmelidir.

Bunun için bu makalede toprak, bitki ve hayvan metabolik sisteminde kadmiyum sirkülasyonunun temel kavramları ele alınmış ve kadmiyumun insan sağlığına zararlı bir ağır metal olarak aşırı zehirliliğine dikkat çekilmeye çalışılmıştır. Böylece bu konu üreticilerin, bilim adamlarının ve devlet politikasını belirleyicilerin dikkatine sunulmuştur.

TOPRAK VE BİTKİLERDE KADMIYUM

KADMIYUM KONTAMİNASYON KAYNAKLARI

Kadmiyum esansiyel olmayan bir iz element olup çevre kirletici olarak sayılmaktadır. Ağır metal olarak kadmiyumun yol açtığı çevre kirlenmesi, sanayi bacalarından, otomobil tekerlekleri sürtünmelerinden, dizel ve ısı yaktıkların yanmasından oluşur (Haghiri, 1973).

Toprağın ana materyalleri yüksek ve düşük kadmiyum konsantrasyonlarına sahiptir. Püskürtük kayalar, kum taşlarında ve kireç taşlarında olduğu gibi kadmiyumca düşüktürler. Bunun aksine lakustrin (göl) çökeltilerinden türemiş kayalar (11 ppm) ve deniz siyahı siltler (15 ppm) kadmiyumca daha zengindirler (Peterson ve Alloway, 1979).

Ağır Metallerin Toprak-Bitki-Hayvan Metabolik Sisteminde Sirkülasyonu: Kadmiyum Örneği

Diğer kadmiyum kaynakları kanalizasyonlar ve belli başlı tarımsal kaynaklı kimyasallardaki kirletici yabancı maddelerdir. Archer ve Hodgson (1987) toplam kadmiyum konsantrasyonunun <1.0 ppm den 10.5 ppm 'e kadar değiştiğini bulmuş ve toprakların %50 den fazlasının <1.0 mg/kg toplam kadmiyum içerdiğini ve en yüksek seviyesinin toplam kadmiyumun 10.5 mg/kg kanalizasyon artıklarının karıştığı ve hayvan gübrelere uygulandığı topraklarda olduğunu gözlemlemiştir.

Fosfat gübrelere yoğun bir şekilde kullanımı, toprakta kadmiyum birikiminin potansiyel kaynağıdır. Williams ve David (1973) toprağa uygulanan süper fosfat miktarı ile toprağın 0-7.5 cm' lik tabakasındaki kadmiyum konsantrasyonu arasında lineer bir ilişkinin olduğunu gözlemlemiştir. Ayrıca aynı bilim adamları süper fosfattaki kadmiyumun, belki de kadmiyum dihidrojen ortofosfat olduğunu ve kadmiyum sülfatın; yulaflara, kadmiyum klorürdeki kadar çabuk geçtiğini bulmuşlardır. Anderson ve Hahlin (1981) bitki tarafından gübredeki kadmiyumun topraktaki kadmiyuma göre daha fazla bitki tarafından alındığını, ancak Mordvedt (1986) ise bunun aksini tespit etmiştir.

Bu sonuçlar, fosfat gübrelere kaynaklanan kadmiyum kontaminasyonu, tarımda kadmiyum birikimi ve onun gıda zincirine geçişi ile ilgili olarak büyük bir problem teşkil ettiğini göstermiştir.

Metallerin bitkiler tarafından kullanılabilirliği doğanın öz yapısından etkilendiği gibi hayvan gübresi, kireç uygulaması, hayvan gübresi/kireç interaksyonu, metal adsorbsiyonundan kaynaklanan toprak asitliğinin artışı ve organik madde uygulamalarının oranından da etkilenmektedir (John ark., 1976). Kadmiyum daha çok atmosfere, metal eritme fırınlarının ürettiği dumanlar ve tozlarla yayılırlar. Havada uçan ve kadmiyum içeren partiküller, tozların yere inmesi, kar yağması veya yağmurla bitki ve toprak yüzeyine yerleşirler. Ferdi bitki aksamlarındaki Cd içeriği kökte en yüksek olup bunu gövde, yapraklar ve tohum çanağı takip eder.

Toprak kadmiyum türleri

Kadmiyum sınırlı sayıda doğal olarak oluşan ve bazılarının nadir bulunduğu veya sonradan oluşan formasyonları içeren bileşikler oluşturur. (Street ve ark. 1977). Bunlar greenockite (CdS hegzagonal sistemde genelde çinko mineralleri üzerine kaplama şeklinde bulunur), hawleyite (CdS kübik sistemde), codmoselite (CdSe hegzagonal sistemde siyah renkte), monteponite (CaO siyah renkli) ve otovitelere (CdCO₃ siyah renkli) (Vlasov, 1966).

Kadmiyum toprakta şu şekillerde bulunur:

- a- Solüsyonda serbest iyonlar
- b- Çözülebilir inorganik ve organometalik kompleksler
- c- Alüminyum, demir ve manganez hidroksite absorbe olmuş iyonlar
- d- Suda çözülmemeyen organometalik kompleksler
- e- Suda çözülmemeyen katı (sabit) faz organometalik kompleksler
- f- Sülfatlar, fosfatlar gibi suda çözünemeyen katı faz çözümler
- g- Katyon değişim kompleksi
- h- Katı faz mineraller (biotite ve riebeckite) (Peterson ve ark. 1979).

Kadmiyum toprakta nispeten düşük olarak absorbe edilir, (Peterson ve ark. 1979) ve toprakta durmaktadır, immobilirdir (Bridges, 1989). Böylece organik kombinasyon içinde genelde kullanılmaz durumda olması ümit edilir.

Topraklarda Kadmiyum Varlığını ve Bitkiler Tarafından Absorbsiyonunu Etkileyen Faktörler

Topraklarda kadmiyum aktivitesini ve bitkiler tarafından alınımını birçok faktör etkilemektedir. Chaney ve Hornick (1977) bu faktörleri şöyle sıralamışlardır; pH, mevcut Cd miktarı, toprağın metal emme kapasitesi, Çinko (Zn), Bakır (Cu) ve Demir (Fe) gibi mikro elementlerin varlığı, Fosfat (H_2PO_4) gibi mikro besin maddelerinin varlığı, toprak ısı, nem içeriği ve toprak havalandırma ana faktörlerdir. Toprağın metal tutma kapasitesi (a) toprağın organik madde içeriğine (b) toprağın kation değişim yüzeyinin miktarına ve yapısına (c) hidrometal oksit içeriğine bağlıdır (Chaney ve ark., 1978).

1. Toprak pH'sı

Topraklarda kadmiyum mevcudiyetini ve kullanılabilirliğini etkileyen faktörler arasında en başta toprak pH'sının etkisi gelmektedir. Zira, toprak pH'sı kation değişim kapasitesini ve kadmiyum tozlarının çözünübilirliğini etkilemektedir (Bramley, 1990).

Kadmiyum, toprak pH' sını ile negatif bir korelasyona sahiptir. Kadmiyum çözünübilirliği arttıkça, dolayısıyla kadmiyum mevcudiyeti artar ve pH azalır. Böylece toprak pH sını kontrol etmek bitkiler tarafından kadmiyumun absorbe edilmesini azaltmanın en etkin yoludur. Kireç katma veya kireçleme asit topraktaki pH' ı artırır. Bingham ve ark. (1979) toprağı kireçleyerek pH' sını 5.2'den 6.7'ye çıkarmak buğday tanelerinde kadmiyumu %50 oranında azalttığını bildirmişlerdir.

Maclean (1976) üç farklı asit topraklara kireç katıldığında bitkilerde kadmiyum konsantrasyonlarının azaldığı yönünde istikrarlı trendlerin olduğunu bildirmiştir. Kireçleme aynı zamanda kadmiyum uygulanmış yüksek arazi topraklarında yetişen bitkilerde element konsantrasyonunu da azalttığı gözlenmiştir.

2. Toprak Sıcaklığı

Toprak sıcaklığı, kadmiyumun bitkiler tarafından kullanımını ve mevcudiyetini etkileyen diğer önemli bir faktördür. Haghiri (1974), toprak ısısının artışı ile soya fasülyesi sürgünlerinde kadmiyum konsantrasyonunun arttığını gözlemlemiştir. Ayrıca toprak sıcaklığı 15.5'den 26.6 °C' ye arttığında soya fasülyesi kuru madde içeriğinde önemli bir artış fark edilmiştir.

3. Kation Değişim Kapasitesi (KDK)

Toprağın kation değişim kapasitesi, anyon değişim kapasitesinden daha fazla olup bitki beslemede daha önemlidir. Kation Değişim Kapasitesi, belirli bir miktar toprakta karşılıklı değişim yapabilen kationların sayısı demektir. Kumlu topraklar için 1-2 meg/100g kuru ağırlık dan 60 meg/100g kadar değişmekte olup killi topraklar için bu değer daha fazladır. Organik maddece zengin topraklar için KDK, atmosferik toprak kolloidlerinde negatif yüklü bölgelerde değişimci iyonlar tutuldukdca, artan pH ile birlikte artmaktadır.

Ağır Metallerin Toprak-Bitki-Hayvan Metabolik Sisteminde Sirkülasyonu: Kadmium Örneği

Topraklarda karşılıklı değişebilir katyonların miktarını kalsiyum (Ca^{++}), magnezyum (Mg^{++}), Potasyum (K^+) ve Sodyum (Na^+) içermektedir. Bunlardan kalsiyum iyonları, asit topraklarda değişimci katyonların büyük miktarını oluştururlar ve bu infertiliteye yol açar. Çünkü diğer esansiyel katyonlar toprak solusyonuna yerleşir ve orada filtrasyona maruz kalırlar. Değiştirilebilen önemli iyonlardan kalsiyum ve magnezyum çok sıkı bağlı olup sodyum daha zayıfca adsorbe edilir. Özellikle sodyum topraktan filtrasyona daha çok maruz kalmaktadır. İşte bunun için denizlerde sodyum birikimi daha fazladır (Sutcliffe, 1962).

Toprak solusyonu ve değişebilir iyonlar arasında bir denge söz konusudur. Örneğin, eğer bu denge toprak solusyonundan tuzların bitkiler tarafından absorpsiyonu ile bozulursa; değişebilir iyonların desorpsiyonu meydana gelir ve bu, bir denge yeniden kuruluncaya kadar devam eder. Bu şekilde değişebilir iyonlar bitkiler tarafından kullanıma hazır hale gelir (Sutcliff, 1962).

KDK, bitkiler tarafından Cd absorpsiyonunu kısıtlayıcı bir faktör olarak gözükmektedir. Artan katyon değişim kapasitesi toprağın kadmiyumu adsorbe etme kabiliyetini artırır ve böylece Cd mevcudiyeti azalır.

Haghiri (1974) katyon değişim kapasitesinin kadmiyum alımı üzerine olan etkisini incelemiştir. Katyon Değişim Kapasitesine uygulanan Cd oranları, beş farklı KDK seviyelerinde sabit bir miktarda Cd eklenerek değiştirilmiş ve Tablo 1de de gösterildiği gibi yulaf sürgünlerinde Cd konsantrasyonu, toprağın KDK'sı arttıkça azalmıştır.

Tablo 1-Toprak KDK'nın Yulaf Sürgünlerinde Cd Konsantrasyonuna Etkisi

K.D.K (meq/100 g)	Bitki Cd (ppm)
17.1	13.7 ^a
18.9	12.9 ^a
23.1	11.0 ^b
26.9	9.5 ^c
30.5	7.9 ^d

Aynı harfli ortalamalar % 5 önem seviyesinde farklı değildir

Kaynak: Haghiri (1974).

4. Toprak Organik Maddesi

Birçok bilim adamı toprağın organik madde içeriğinin artması ile mevcut kadmiyumun azaldığını bildirmiştir. Organik madde hem metal kenetleme (chelation) ve hem de adsorpsiyon mekanizmaları vasıtasıyla toprakta kadmiyumun tutulmasında büyük rol oynamaktadır. Toprak organik kolloidleri kenetleme kabiliyetine sahip olup belirli bazı metaller önemli kenetleme grupları ile birleşme eğiliminde olup sabit hale gelirler. Bu da kenetlemenin adsorpsiyondan daha az önemli olduğunu göstermektedir. Böylece organik maddenin kadmiyumu hareketsiz kılma kabiliyeti onun KDK' sına bağlıdır (Haghiri, 1974).

Cd/KDK oranının sabit tutulması ve KDK etkisinin ortadan kaldırılması halinde ne yulaf sürgünlerindeki Cd konsantrasyonu ne de topraktaki değişimci Cd, organik madde ilavesinden etkilenmiştir. Bu gözlemler kadmiyuma yönelik organik maddenin gücünün korunması onun KDK' sına bağlı olduğunu göstermiştir.

Her ne kadar organik madde, yüksek KDK' ya sahip olsa bile büyük miktarlarda kadmiyum adsorbe etme kabiliyetine sahip olup etkisi geçici değildir. Örneğin, kadmiyum içeren ve organik maddece yüksek hayvan gübrelerinin büyük miktarlarda yıllık tarlaya uygulanması ile kadmiyumdan herhangi bir bitki hasarı veya zararı beklenemez. Ancak bu uygulama ile yıllar geçtikçe toprakta kadmiyum konsantrasyonu, bitkiler Cd' u kullanmasa bile, artacaktır. Organik madde ilavesi durdurulduğu zaman toprağın organik madde içeriği azalacak ama bu sırada toprak solüsyonundaki kadmiyum konsantrasyonu belki de artmaya devam edecek ve bitki üretimini etkileyecek seviyelere ulaşabilecektir (Haghiri, 1974).

KADMIYUM VE DİĞER MİNERALLER ARASINDAKİ İNTERAKSİYONLAR

Jarvis ve ark. (1976) solüsyon kültürdeki çayır otunun canlı kökleri tarafından kısa dönem kadmiyum alımı kalsiyum, manganez ve çinko tarafından oldukça azaltılmış olduğunu bildirmişlerdir. Kalsiyum iyonu, Cd iyonu ile aynı yarıçapa sahip olup bitki hücre membranlarında seçici transport mekanizmalarının fonksiyonu için gerekli olduğu addedilmektedir (Epstein, 1972). Böylece kalsiyum hücre zarları üzerindeki etkileri ve kök yüzeyindeki değişim sitelerine olan rekabetten dolayı kadmiyum alımını azaltmaktadır.

Kalsiyum normalde toprak solüsyonunda dominant katyon olup topraktan alımını önemli bir biçimde etkilemektedir. Mn^{++} ve Zn^{++} iyonları, Ca^{++} gibi kök yüzeyindeki değişim siteleri için olan rekabetten dolayı kadmiyum alımını bastırabilirler.

Jarvis ve ark. (1976) ayrıca kadmiyum ilaveli solüsyonların fosfat içeren besin madde solüsyonu ile değiştirildiği zaman köklerden sürgünlere olan kadmiyum transportunun durduğunu gözlemlemişlerdir. Buda bitki içinde kadmiyum mobilitesi veya transportunun onların fosfatlarının çözünülebilirliği ile ilgili olduğunu göstermektedir. Hatta fosforun (P), toprakta kadmiyumlu zor çözünebilir tuzlar oluşturarak bitkiler tarafından kadmiyum alımını sınırlayabilmektedir (Takijima ve Katsumi, 1973).

Çinko, bitkiler tarafından kadmiyumun alımı üzerine çok değişken etkilere sahiptir. Haghiri (1974), çinkonun, kadmiyumun bitkiler tarafından alımına olan etkisini incelemiş ve çinkonun 5-50 ppm arasındaki bir oranda katılması, kontrol grubuna kıyasla soya fasulyesi sürgünlerinde kadmiyum konsantrasyonunu önemli derecede arttırdığı sonucuna varmıştır. Bu artış bitki büyümesindeki azalışa bağlı olduğu gibi muhtemelen kadmiyumun toprak değişim kompleksinden toprak solüsyonuna geçişinin artmasına da bağlı olabileceği sonucuna varmıştır. Ancak, çinko seviyesi 100 ppm'den 400 ppm'e artırıldığı zaman soya fasulyesi sürgünlerinde kadmiyum konsantrasyonunda azalış saptanmıştır. Bu azalış muhtemelen, fazla miktarda mevcut olan çinkoya bağlı olarak toprak solüsyonundaki kadmiyumun seyreltilmesinden kaynaklanmıştır.

Aksine Maclean (1976) çinko kadmiyumla aynı seviyede (5 ppm) katıldığı zaman 10 farklı bitki türündeki kadmiyum miktarına bir etkisi olmadığını bulmuştur. Bu bitkiler yulaf, yonca, çayır otu, tütün, soya fasulyesi, mısır, marul, havuç, patates ve domatestir.

Ağır Metallerin Toprak-Bitki-Hayvan Metabolik Sisteminde Sirkülasyonu: Kadmiyum Örneği

Kaba yoncada büyüme, gelişim ve tohum çimlenmesi kadmiyum ve arsenik muamelesiyle engellenmiş; kaba yoncanın kadmiyum absorpsiyonu, arsenik muamelesiyle yükseltilmiş buna karşılık kadmiyum arsenik absorpsiyonunu engellemiştir (Zhou ve Gao, 1994).

Kadmiyum, aynı zamanda toprak ve bitkilerde kaybolan magnezyumu yerine koyabilir (Gordon ve ark. 1971). Magnezyum ve kadmiyum alımı arasındaki bu ters ilişki tarımsal araştırma açısından ilgi çekmektedir. Zira hipomagnesmiya'ya neden olması yüzünden hayvancılığa etkileyebilmektedir.

HAYVANLARDA KADMIYUM

Kadmiyum Absorpsiyonu

Çözülebilir kadmiyum bileşiklerinin deriye nüfuz etmesi, deriye solüsyon olarak sürülmesi neticesinde olabilmektedir. (Skog ve Wahlberg 1964). Ancak deri kadmiyum alımının tek rotası değildir. Solunum ve sindirim siteleri hayvanlarda ve insanlarda kadmiyum absorpsiyonunun başlıca iki ana yoludur.

1. Solunum yolu ile absorpsiyon:

Hayvanlara kadmiyumun teneffüs yoluyla bulaşması tehlikesi azdır. Genelde havadaki kadmiyum düzeyi kentlerde kırsal bölgelerden daha yüksektir. Ağır ve aşırı sanayileşmiş bölgelerde ve metal eritimi ve rafineri aktivitelerine yakın bölgelerde kadmiyum seviyeleri en yüksektir (Williams ve Harrison, 1984).

Havada uçan kadmiyum, çayır meralara depolanışı nedeniyle, bulaşıklı otlaklarda otlayan hayvanlar için potansiyel bir tehlikedir. Hayvanlar, çalışma çevrelerinde kadmiyum tozlarına maruz kalan insanlar üzerindeki tehlikeli etkisini belirlemek amacıyla, denemelerde kullanılmaktadırlar.

Kadmiyum, teneffüs edildikten sonra vücutta önemli bir dereceye kadar absorbe edilir ve tutulur. Absorpsiyonu direkt olarak ciğerlerden olmaktadır. Bunda kadmiyumun partikül büyüklüğü önemli rol oynamaktadır. Akciğer kompartımanlarında Cd depolanması, çapı 0.01 ile 5 µm arasında olan partiküller için %10-50 arasında değişmektedir (Frieberg ve ark. 1974). Kadmiyum partikül büyüklüğü genellikle <2 mm veya daha küçüktür (Williams ve ark. 1984).

Bronş mukozası üzerinde birikmiş partiküller genellikle mukoza epitellerinin aktiviteleri sayesinde 8 saatten daha az bir sürede temizlenirler. Akciğer kompartımanında birikmiş partiküller için en önemli faktör onların çözünübilirliği ve diğer fizyo-kimyasal özellikleridir (Albert ve ark. 1971).

Teneffüs yolu ile alınan kadmiyumun absorpsiyon oranı farklı hayvan denemelerinde %10-40 arasında değişmektedir. Önemli bir varyasyon, farklı kadmiyum bileşiklerinin vücutta kalma süresinde olmaktadır.

2. Sindirim yolu ile absorpsiyon

Kadmiyumun sindirim yolu ile absorpsiyonu solunum yolu ile olan absorpsiyonuna nazaran daha azdır. Sindirim yolu ile olan absorpsiyon %3-7 arasındadır (Fox, 1987).

Miller ve ark. (1968) keçilere tek doz vererek, kadmiyumun dokudaki dağılımını, absorpsiyon ve ekskresyonunu incelemiş ve dozun %90 dan fazlasının, kadmiyumun verildiğinden 5 gün sonra dışkıda çıktığını bulmuşlardır. Bu çalışmaya dayanarak, Miller ve ark. (1968) idrarın çok az bir çıkış rotası olduğu ve dışkının ise ana çıkış rotası olduğu sonucuna varmışlardır.

Aynı sonuçlar büyüyen kuzular üzerinde yapılan araştırmalardan da elde edilmiştir. Doyle ve ark. (1978) kuzulara 60 ppm'lik kadmiyum verildiğinde %5 lik absorpsiyon oranı bulmuşlardır. İdrardaki çıkış çok minimal olup asıl çıkış rotasının dışkı olduğu gözlenmiştir.

Sindirim sisteminde kadmiyumun vücuttan atılımının dışkı yolu ile olduğu büyük çoğunlukla kabul edilmiştir. Von Bruwaene ve ark. (1984) sığır ve keçilerin sindirilen kadmiyumun % 80-90'ı dışkıyla atılmıştır.

İdrardaki kadmiyum konsantrasyonu böbreklere olan hasarı arttırmaktadır. Proteinuria (ürede aşırı protein bulunması), kadmiyumun neden olduğu ve hayvanlarda erken böbrek yetmezliği ile kendini gösteren bulgulardan biridir (Nomiyama, 1981). Bunun yanı sıra erken renal bozukluğu (böbrek yetmezliği) yanında kalsiyum, fosfor, glukoz ve amino asit kayıplarına yol açarak osteoporosis (kemiklerde mineral azalması) ve kemik kırıklarına sebep olur.

Sığırlar diğer hayvan türlerine göre kadmiyuma daha dayanıklı gözükmektedirler. Kadmiyum, civa ve kurşunun inorganik formları bağırsaklardan daha az absorbe edilmektedir Bu durum yüksek miktarda absorpsiyon ve daha uzun zaman vücutta kalış süresinden kaynaklanmaktadır. (Neathery and Miller, 1975).

Kadmiyum ve Metalloiyonin

Vücutta kadmiyumun çoğu metalloiyonin denen subselelular fraksiyonda bulunan ısıya dayanıklı küçük bir proteine bağlıdır (Fox, 1987). Yüksek oranda sisteine (%30) sahip olup disulfat bağları, aromatik amino asitleri ve sistin'i yoktur. Yüksek oranda (%6-11 ağırlık olarak) metal içeriğine sahip olup metalloiyonin çinko, bakır, kadmiyum ve civaya bağlanabilmektedir (Ray, 1984).

Kadmiyuma maruz kaldıktan sonra plazmada küçük miktarda metalloiyonin bulunmuştur. Metalloiyoninin böbrekler tarafından süzülmesi ve yeniden absorbe edildiği tespit edilmiştir. Metalloiyoninin kadmiyum ve renal fonksiyonla olan ilişkisi, kadmiyumun böbrekler üzerinde olan etkisini incelemek açısından potansiyel bir çalışma ve araştırma alanı oluşturmaktadır (Shaikh ve Smith, 1986).

Metalloiyonin ekskresyonu, karaciğer ve böbrekte Cd konsantrasyonuna bağlı olarak artmaktadır (Tohyama ve ark. 1981a, Tohyama ve ark. 1981b, 1982). Metalloiyonin renal disfonksiyonun potansiyel indeksi olarak analiz edildiğinde idrarda kadmiyum ve idrarda metalloiyonin arasında önemli bir korelasyonun olduğu bulunmuştur (Tohyama ve ark., 1982).

KADMİYUM ABSORBSİYONUNU ETKİLEYEN DİYETLE İLGİLİ FAKTÖRLER

Kalsiyum

Genelde, besin maddelerinin (çinko, demir, kalsiyum bakır ve vitamin D vs.) gereksinimden daha fazla alımı kadmiyumun zararlı etkilerine karşı koruma sağlarken, besin maddeleri eksikliği kadmiyumun etkilerini hızlandırır (Fox, 1983).

Ağır Metallerin Toprak-Bitki-Hayvan Metabolik Sisteminde Sirkülasyonu: Kadmiyum Örneği

Laarson ve Piscator (1971) dişi farelere 1 ve 2 ay süreyle içme suyuna klorür ile birlikte 25 mg Cd/g vermiş ve deneme hayvanları düşük ve yüksek kalsiyum diyetlerine tabi tutulmuşlardır. Düşük kalsiyum diyeti alan farelerin, böbrek ve karaciğerlerinde yüksek kalsiyum alanlarına göre % 50 daha fazla kadmiyum biriktiği tespit edilmiştir.

Piscator ve Laarson (1974) düşük ve normal düzeylerde kalsiyum diyetleri alan farelere 0 ve 10 µg/g arasında değişen kadmiyumu, 1 yıl süreyle, içme suyu ile vermiş, ve diyetlerinde düşük kalsiyum alan fareler, vücutlarında (böbrek ve karaciğerlerinde) normal kalsiyum diyeti olan farelerden hemen hemen 2 kat daha fazla kadmiyum tutmuşlardır.

Doyle ve ark. (1975) diyetteki kalsiyum düzeyinin, kadmiyumun yol açtığı hipertansiyonun ortaya çıkmasında önemli bir faktör olduğunu ileri sürmüştür. Ayrıca diyetteki kalsiyum düzeyi kadmiyumun bağırsaklardan absorpsiyonunu ve vücuttaki dağılımını etkilemektedir (Piscator, 1973).

D Vitamini

Worker ve Migicovsky (1961) tibia kemiğinin kadmiyum alımı, vitamin D uygulaması altındaki raşitik tavuklarda, vitamin D almayan tavuklara nazaran daha fazla olduğunu bulmuş ve bu farklılığın vitamin D'nin, Cd'ün bağırsaklardan absorpsiyonuna olan etkisinden kaynaklandığı sonucuna varmışlardır. Zira, ¹¹⁵Cd izotopunu enjekte edildiğinde kemikten alımda aynı gruplar arasında bir farklılık görülmemiştir.

Çinko, Bakır ve Demir:

Çinko hayvanlar için esansiyel bir metaldir. Çinko eksikliği, deri, gonadlar ve hematopoietik (kan) sistemde hastalıklara neden olur. Kadmiyum, çinko için çok güçlü bir antimetabolittir.

Powell ve ark. (1984) ağız yoluyla alınan kadmiyumun, çinko eksikliğinin neden olduğu gibi, buzağılarda parakeratosise yol açtığını bulmuşlardır. Yapılan araştırmada çinko ilaveli ve çinkosuz olarak 40, 160, 640 ve 2560 ppm kadmiyum verilen sığırlarda kadmiyum-çinko ilişkisini incelemişlerdir. İçinde 40 ve 160 ppm Cd içeren diyetlere 100 ppm Zn ilavesinin yem tüketimini, ağırlık artışı, testis büyüklüğünü, hemoglobin ve kan çinko değerlerinde artış olduğunu gözlemişlerdir. Çinko eksikliği semptomlarına benzeyen bazı klinik semptomlara 640 ve 2560 ppm kadmiyum verildiğinde de rastlanmıştır. Diyetlerinde 640 ppm Cd alan buzağular en şiddetli semptomları göstermiş ve klinik incelemede çinko eksikliği teşhis edilmiştir.

Diyetlerinde 160 veya 640 ppm Cd olan buzağular, kontrol grubundan daha düşük kan çinko içeriğine sahip olurken; diyetlerinde 2560 ppm Cd içeren buzağılarda kan-çinko seviyesi kontrol grubundan daha düşük bulunmamıştır.

Karaciğer ve böbrek çinko seviyeleri, diyetler 640 ve 2560 ppm Cd içerdiklerinde, 100 ppm'lik çinkolu diyetlere nazaran artmıştır. Diğer dokular (dalak, femur ve kıl) analiz edilmiş, çinko seviyeleri hemen hemen aynı düzeyde veya biraz düşük bulunmuştur. Bu organlarda çinko içeriğindeki artış, kadmiyumun antimetabolik olarak rol oynayıp, bazı enzim moleküllerini inaktif hale getirmesinden kaynaklanabilir. Bu nedenle, metabolik çinko eksikliği, kadmiyumun rekabetçi özelliğinden dolayı normal miktarlarda görülebilir. Bu arada, diyetlerinde 100 ppm çinko ilavesi alan buzağuların femur ve karaciğerlerindeki çinko içeriği, kontrol grubuna nazaran iki kat daha artmıştır.

Bazal diyet, 27.4 ppm çinko içerdiğinde, Cd yemlerdeki çinko kullanımını etkilemekte ve gözlenen çinko eksikliği, artan çinko ekskresyonu veya azalan çinko absorpsiyonu sonucu meydana gelmiş olabilir.

Bazı dokularda görülen çinko seviyelerindeki artış, rekabetçi etkilerin doku veya selular seviyede olduğunu göstermektedir. Deneyde çinko ilavesi, kadmiyumun toksik etkilerini azaltması yönünde bir eğilim göstermiştir.

Smith ve ark. (1991) sığırlar üzerinde yaptıkları bir araştırmada düşük (1 ppm) ve yüksek (5 ppm) seviyelerinde Cd verilen sığırların böbrek korteksindeki çinko konsantrasyonu ve kadmiyum arasında pozitif bir korelasyon olduğunu bildirmişlerdir. Böbrekte çinko birikimi, Zn ve Cd'yi bağlayabilen, metal bağlayıcı protein olan metallothioneindeki artıştan kaynaklanmıştır (Kotsonis ve Klaassen, 1981). Sonuç olarak bu durum düşük Cd diyet olan gruptaki sığırların karaciğerlerindeki çinko konsantrasyonunda artışa neden olmuştur. Ancak diyetle Cd seviyesi fazla olduğu zaman sığırların karaciğerlerinde çinko konsantrasyonunda kontrol grubundaki hayvanlara nazaran bir azalış görülmüştür. Çinko ve kadmiyum arasındaki bu interaksyon, absorpsiyon ve depolanma bölgelerindeki rekabetçi engellerden kaynaklanmaktadır.

Kadmiyum verilen grupların karaciğerlerinde bakır konsantrasyonu 2,5 ve 6 kat kontrol grubundan daha düşüktür ($P < 0.05$). Süt ineklerinde gebeliğin son ve erken laktasyon döneminde meydana gelen fizyolojik değişiklikler karaciğerde düşük bakır (Cu) konsantrasyonuna yol açabilir. Araştırmacılar karaciğerlerdeki yüksek Cu konsantrasyonunu, bakırın gebeliğin son üç ayında anneden yavruya (fötüse) mobilize olduğu düşüncesine dayandırmaktadırlar.

Fötüsün bakır (Cu) metabolizması, kadmiyumun ananın Cu metabolizması üzerine olan etkilerinden dolayı değiştiği görülmektedir. Ancak kadmiyumun plasental transferi olmadığı için Cd ve Cu arasında yukarıda bahsedilen interaksyon fötüste meydana gelmemiştir. Aynı araştırmacılar ayrıca, kadmiyumun demir (Fe) üzerine olan etkilerini de incelemişlerdir. Diyetlerinde 5 ppm'lik Cd olan sığırlar böbrek dokularında diğer gruptan 1.5 kat daha az ($P < 0.05$) demir (Fe) konsantrasyonuna sahip olmuşlardır. Demir, diyetle artan kadmiyum konsantrasyonuna bağlı olarak kaslarda artmış ama karaciğerde azalmıştır. Bu bulguların kadmiyum ve bakır arasındaki rekabetçi ve antagonistik engellemelerden kaynaklandığı sanılmaktadır.

Smith ve ark. (1991) aynı sonuçları buzağılamadan önce 394 gün süreyle 0.15, 1 ve 5 ppm'lik Cd diyetleri verilen sığırlarda elde etmişlerdir. Hayvanlar ortalama 554 günden sonra kesilmiş ve karaciğerlerinde çinko seviyesi, kontrol grubu ve yüksek Cd diyetli gruplarda 554.günde, 1.günden daha düşük bulunmuştur. Bununla beraber 394.günde çinko, düşük Cd diyetli grupta yüksek Cd diyetli gruptan daha fazla; fakat 554.günde ise bunun tersi bulunmuştur. 394. ve 554.günde böbrekte çinko, diyetlerinde yüksek Cd bulunan grupta daha fazla yoğunlaşmıştır.

Karaciğerde bakır konsantrasyonu diyetlerdeki kadmiyum nedeniyle azalmıştır. Kemikte ise bakır konsantrasyonu düşük, Cd'lu gruplarda daha fazla bulunmuştur. Böbrekteki demir, 5 ppm'lik Cd diyeti alan grupta, kontrol grubu ve düşük Cd'lu gruptan daha az bulunmuştur. Kaslarda demir, düşük Cd'lu grupta sadece 554.günde fazla bulunmuştur.

Mills ve Dalgano (1972) koyunlar üzerine yaptıkları araştırmada gebeliğin son ve laktasyonun ilk dönemlerinde hayvanlara düşük seviyeli Cd içeren diyetler uygulamışlar ve diyetler önemli derecede karaciğer Cd' unu artırırken, karaciğer Cu' sunu azaltmıştır. Kadmiyum uygulanmış aynı koyunların kuzuları doğumdan 7-8 haftalık oluncaya kadar aynı seviyelerde Cd diyetleriyle denemeye tabi tutulmuş ve Cu ve Zn seviyelerinin düştüğü görülmüştür.

Doyle ve Pfander (1975) yaptıkları denemede erkek kuzulara 0, 5, 15, 30 ve 60 ppm Cd' lu diyetler 191 günlük süreyle verilmiş ve çinko, bakır, demir ve manganezin dokulardaki konsantrasyonları üzerine Cd' un etkilerini gözlemişlerdir. Karaciğerde çinko konsantrasyonu 30 ve 60 ppm Cd gruplarında kontrol gruplarına kıyasla arttığı görülmüştür.

Bunun aksine, karaciğerde bakır konsantrasyonu kontrol grubuna nazaran, bütün gruplarda azalırken, böbreklerde bakır konsantrasyonu 30 ve 60 ppm Cd gruplarında, kontrol grubundan daha fazla olmuştur.

Karaciğerde demir konsantrasyonu da 30 ve 60'lı grupta kontrol grubuna kıyasla azalmıştır. Ancak böbreklerde demir konsantrasyonunda bütün gruplar arasında hiçbir farklılık görülmemiştir. En yüksek kadmiyum seviyesi karaciğer manganez konsantrasyonu üzerine olumsuz etkisi olmasına karşın böbrek manganez konsantrasyonu üzerine hiçbir grubun önemli etkisi görülmemiştir.

Kadmiyum esansiyel elementlerin metabolizmasını etkileyerek hayvanlar üzerinde büyük etkilere neden olmaktadır. Ağız yolu ile alınan kadmiyum absorpsiyonu küçüktür, Karaciğer ve böbrek, kadmiyumun en çok depolandığı iki organ olduğu tespit edilmiştir. Ancak iz düzeyde de olsa vücudun çoğu bölümlerinde bulunmaktadır.

SONUÇ

Yeni Zelanda gibi bazı ülkelerin tarımsal sistemlerinde fosfatlı gübrelerin kullanımının bir sonucu olarak kadmiyum birikimi, bazı hayvansal ürünlerde kabul edilemeyecek düzeylerde görüldüğünden, insan sağlığı için potansiyel bir problem olarak görülmektedir.

Bitkilerin bazı durumlarda içerdiği kadmiyum miktarının, gıda zincirine bulaşabileceği ve zararlı olabilecek seviyelere çıkması gittikçe dikkat çekmektedir. Kadmiyum tarımsal alanlara hayvan gübresiyle veya fosfatlı gübrelerle topraklara bulaşmaktadır. Toprak ve bitkilerin toprak üstü kısımları, atmosferden ve maden eritme ocaklarından da ayrıca ilave kadmiyum alırlar. Yol ve otoyollara yakın topraklar araba lastiklerinden ve lubrikant yağlardan da ilave kadmiyum alırlar. Ağır metallerle bulaşık toprakların ıslah edilmesi için bir dize önlemler sistemi, toprakların kimyasal ve fiziksel özellikleri ve toprak işleme derecesine göre planlanmalıdır. Metal bulaşıklığa karşı toprak dayanıklılığı, toprak organik madde içeriğine, toprak pH'sına, absorpsiyon kapasitesine ve metallerin kimyasal özelliklerine bağlıdır. Ekilecek bitkinin seçimi de çok önemlidir. Chernopodzolik toprak eğer ağır metalle az oranda bulaşık ise bu kireç, zeolit veya organik gübrelerle ıslah edilebilir. Çok fazlaca bulaşık topraklar tarımsal kullanımdan çıkarılmalıdır. Gevşek ve kil fraksiyonları toprakların ağır metallerle bulaşıklığının göstergeleri olup, çevre kirliliği izlemede kullanılmalıdır.

Günümüzde, topraklarda, çayır-mera bitkilerinde ve bunları otlayan hayvanlarda kadmiyum seviyelerinin belirlenmesi açısından bir sörvey çalışması gerekmektedir. Böylece toprak-bitki ve hayvanları kapsayan bir tarımsal sistem içerisindeki kadmiyum konsantrasyonu ve toprak özellikleri gübrenme geçmişi, otlama aménajmanı ve bu sistemlerdeki iklim yapısı arasında bir ilişki kurulabilir.

Ayrıca, kadmiyumun çevreden azaltılmasında, toprak solüsyonundaki kadmiyumun kontrol edilmesinde, toprak kadmiyumun filtrasyonunda organik maddenin rolünün araştırılması, modern tarımsal sistemlerde kadmiyum birikiminin azaltılmasında bu strateji belirlenmesine katkıda bulunacaktır.

KAYNAKLAR

- Albert, R.E., Lippmann, M. and Peterson, H.T.J. (1971). The effects of cigarette smoking on the kinetics of bronchial clearance in humans and monkeys. In: *Inhaled Particles*, 3rd edition, (Ed.) Walton, W.H., Unwin Brothers, London.
- Anderson, A. and Hahlin, M. (1981). Cadmium effects from phosphorus fertilisation in field experiments. *Swedish J. Agric. Res.*, 11: pp. 3-10.
- Archer, F.C. and Hodgson, I.H. (1987). Total and extractable trace element contents of soils in England and Wales. *J. Soil Sci.*, 38: pp. 421-431.
- Bingham, F.T., Page, A.L., Mitchell, G.A. and Strong, J.E. (1979). Effects of liming on acid soil amended with sewage sludge enriched with Cd, Cu, Ni and Zn on yield and cadmium content of wheat grain. *J. Environ. Quality*, 8: pp. 202-207.
- Bramley, R.G.V. (1990). Cadmium in New Zealand agriculture. *New Zealand J. Agric. Res.*, 33: 4, pp. 505-519.
- Bridges, E.M. (1989). Toxic metals in amenity soil. *Soil Use and Management*, 5: pp. 91-100.
- Chaney, R.L. and Hornick, S.B. (1977). Accumulation and effects of cadmium on crops. In: *Cadmium 77*. Ed. Proc. of the First International Cadmium Conference, San Francisco, Metal Bulletin, London.
- Chaney, R.L., Stoewsand, G.S., Bache, C.A. and Lisk, D.J. (1978). Cadmium deposition and hepatic microsomal induction in mice fed lettuce grown on municipal sludge-amended soil. *J. Agric. and Food Chemistry*, 26: pp. 992-994.
- Doyle, J.J., Pfander, W.H., Grebing, S.E. and Pierce, J.O. (1974). Effect of dietary cadmium on growth, cadmium absorption and cadmium tissue levels in growing lambs. *J. Nutrition*, 104: pp. 160-166.

Ağır Metallerin Toprak-Bitki-Hayvan Metabolik Sisteminde Sirkülasyonu: Kadmiyum Örneği

- Doyle, J.J., Bernhoft, R.A. and Sandstead, H.H. (1975). The effects of a low level of dietary cadmium on blood pressure, ^{24}Na , ^{42}K , and water retention in growing rats. *J. Lab. and Clinical Medicine*, 86: p. 57.
- Doyle, J.J. and Pfander, W.H. (1975). Interactions of cadmium with copper, iron and manganese in ovine tissues. *J. Nutr.*, 105: pp. 599-606.
- Epstein, E. (1972). Mineral nutrition of plants: Principles and Perspectives. John Wiley & sons, New York.
- Fox, M.R.S. (1983). Cadmium bioavailability. *Federation Proceed*, 42: pp. 1726-1729.
- Fox, M.R.S. (1987). Assessment of cadmium lead and vanadium status of large animals as related to the human food chain. *J. Anim. Sci.*, 65: pp. 1744-1752.
- Francis, A.J., Dodge, C.J. and Gillow, J.B. (1992). Biodegradation of metal citrate complexes and implications for toxic-metal mobility. *Nature*. 356: 6365, pp. 140-142.
- Friberg, L., Piscator, M., Nordberg, G.F. and Kjellström, T. (1974). Cadmium in the environment, 2nd edition, CRC Press, U.S.A.
- Gordon, T., Goodman, G.J. and Roberts, T.M. (1971). Plants and soils as indicators of metals in the air. *Nature*, 231: pp. 287-290.
- Gworek, B. (1992). Inactivation of cadmium in contaminated soils using synthetic zeolites. *Environmental Pollution*, 75: 3, pp. 269-271.
- Haghiri, F. (1973). Cadmium uptake by plants. *J. Environ. Quality* 2: 1, pp. 93-96.
- Haghiri, F. (1974). Plant uptake of cadmium as influenced by cation exchange capacity, organic matter, zinc and soil temperature. *J. Environ. Quality*, 3: 2, pp. 180-183.
- Harrison, H.E., Bunting, H., Ordway, N. and Albrink, W.S. (1947). The effects and treatment of inhalation of cadmium chloride in the dog. *J. Indust. Hygi. and Toxic.*, 29: p. 302.
- Jarvis, S.C., Jones, L.H.P. and Hopper, M.J. (1976). Cadmium uptake from solution by plants and its transport from roots to shoots. *Plant and Soil*, 44: pp. 179-191.
- John, M.K., Laerhoven-C.J.-Van and Van-Laerhoven-C.J. (1976). Effect of sewage sludge composition, application rate, and lime regime on plant availability of heavy metals. shoots. *J. Environ. Quality*, 5: 3, pp. 246-251.

- Kotsonis, F.N. and Klaassen, C.S. (1981). Metallothionein and its interactions with cadmium. In: *Cadmium in the Environment*, (Ed.) Nriagu, J.O., John Wiley & sons, New York.
- Larsson, S.E. and Piscator, M. (1971). Effect of cadmium on skeletal tissue in normal and calcium deficient rats. *J. Med. Sci.*, 7: p. 495.
- Maclean, A.J. (1976). Cadmium in different plant species and its availability in soils as influenced by organic matter and additions of lime, P, Cd and Zn. *Canadian J. Soil Sci.*, 56: pp. 129-138.
- Miller, W.J., Blackmon, D.M. and Martin, Y.G. (1968). ¹⁰⁹Cadmium absorption, excretion, and tissue distribution following single tracer oral and intravenous doses in young goats. *J. Dairy Sci.*, 51: pp. 1836-1839.
- Mills, C. and Dalgano, A. (1972). Copper and zinc status of ewes and lambs receiving increased dietary concentrations of cadmium. *Nature*, 239: p. 171.
- Mortvedt, J.J. (1986). Cadmium levels in soils and plant tissues from long term soil fertility experiments in the United States. *Transactions of the XIII Congress of the International Soc. Soil Sci.*, 3: pp. 870-871.
- Neathery, M.W. (1974). Cadmium ¹⁰⁹ and Methyl mercury-203 metabolism, tissue distribution and secretion into milk of cows. *J. Dairy Sci.*, 57: pp. 1177-1183.
- Neathery, M.W. and Miller, W.J. (1975). Metabolism and toxicity of cadmium, mercury and lead in animals: a review. *J. Dairy Sci.*, 58: pp. 1767-1781.
- Nomiyama, K. (1981). Renal effect of cadmium. In: *Cadmium in the Environment*, (Ed.) Nriagu, J.O., John Wiley & sons, New York.
- Nordberg, G.F., Slorach, S. and Stenström, T. (1973). cadmium poisoning caused by a cooled soft drink machine. *Läkartidn.*, 70: pp. 601-604.
- Peterson, P.J. and Alloway, B.J. (1979). Cadmium in soils and vegetation. In: *The chemistry, biochemistry and biology of cadmium*, (Ed.) Webb, M., Elsevier, New York.
- Piscator, M. and Larsson, S.E. (1974). Retention and toxicity of cadmium in calcium-deficient rats. *Proceed. the 17th International Congress on Occupational Health*, 1972.
- Piscator, M. (1973). Epidemiological aspects of cadmium in the environment. *Proceed. the 7th Annual Trace Substances Con.*, University of Missouri, Columbia, pp. 31-33.

Ağır Metallerin Toprak-Bitki-Hayvan Metabolik Sisteminde Sirkülasyonu: Kadmiyum Örneği

- Powell, G.W., Miller, W.J., Morton, J.D. and Clifton, C.M. (1964). Influence of dietary cadmium level and supplemental zinc on cadmium toxicity in the bovine. *J. Nutr.*, 84: 3 pp. 205-214.
- Pulido, P., Fuwa, K. and Vallee, B.L. (1966). Determination of cadmium in biological materials by atomic absorption spectrophotometry. *Analytical Biochemistry*, 14: pp. 393.
- Ray, S. (1984). Bioaccumulation of cadmium in marine organisms. *Experientia*, 40: pp. 14-23.
- Shaikh, Z.A. and Smith, L.M. (1986). Biological indicators of cadmium exposure and toxicity. In: *Cadmium in the Environment*, (Eds.) Mislin, H. and Ravera, O., Birkhäuser AG, Basel.
- Sherlock, J.C. (1986). Cadmium in foods and the diet. In: *Cadmium in the Environment*, (Eds.) Mislin, H. and Ravera, O., Birkhäuser AG, Basel.
- Skog, E. and Wahlberg, J.E. (1964). A comparative investigation of the percutaneous absorption of metal compounds in the guinea pig by means of the radioactive isotopes ^{51}Cr , ^{58}Co , ^{65}Zn , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, $^{115\text{m}}\text{Cd}$, ^{203}Hg . *J. Invest. Dermat.*, 43: p. 187.
- Smith, R.M., Griel, L.C., Muller, L.D., Leach, R.M. and Baker, D.E. (1991). Effects of dietary cadmium chloride through gestation on blood and tissue metabolites of primigravid and neonatal dairy cattle. *J. Anim. Sci.*, 69: 10, pp. 4078-4087.
- Smith, R.M., Leach, R.M., Muller, L.D., Griel, L.C., and Baker, D.E. (1991). Effects of long-term dietary cadmium chloride on tissue, milk, and urine mineral concentrations of lactating cows. *J. Anim. Sci.*, 69: 10, pp. 4088-4096.
- Street, J.J., Lindsay, W.L. and Sabey, B.R. (1977). Solubility and plant uptake of cadmium in soils amended with cadmium added sewage sludge. *J. Environ. Quality*, 6: pp. 72-77.
- Sutcliffe, J.F. (1962). Mineral salts absorption in plants. Pergamon Press, London.
- Takijima, Y. and Katsumi, F. (1973). Cadmium contamination of soils and rice plants caused by zinc mining. *Soil Sci. and Plant Nutr.*, 19: pp. 235-244.
- Tohyama, C., Shaikh, Z.A., Ellis, K.J. and Cohn, S.H. (1981a). Metallothionein excretion in urine upon cadmium exposure: Its relationship with liver and kidney cadmium. *Toxicology*, 22: pp. 181-191.