

# Buğdayda Kadmiyumun Toksiklik Sınırının Belirlenmesi ve Bazı Ekstraksiyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması

K. Kalınbacak<sup>1</sup>, İ. Yurdakul<sup>1</sup>, İ. Gedikoğlu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü, Yenimahalle, Ankara  
<sup>2</sup>Gençlik ve Spor Genel Müdürlüğü, Ankara

**Özet:** Bu çalışmada, ağır metallerden potansiyel toksik özelliği olan kadmiyumun (Cd) bitkideki toksiklik seviyeleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla ekim öncesi toprağa 0, 5, 15, 30 ve 45 mg kg<sup>-1</sup> seviyelerinde Cd uygulaması yapılmıştır. Deneme killi ve killi tınlı bünyeli iki farklı toprakta ve sera koşullarında yürütülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre, toprağa uygulanan Cd buğdaya toksik olmuş ve toprağa uygulanan Cd miktarı arttıkça buğdayın kuru ağırlığı azalmıştır. En yüksek buğday kuru ağırlığı kontrol konusundan alınırken, en düşük ise 45 mg kg<sup>-1</sup> Cd uygulamasından elde edilmiştir. Araştırmada ayrıca artan düzeylerde uygulama ile bitki verimi azalırken, Cd'un bitki bünyesindeki miktarı ise artmıştır. Buğdayın üst kısmındaki Cd miktarı ile kuru ağırlık arasındaki ilişki de incelenmiş ve bitkiye toksik olan Cd düzeyi belirlenmiştir. Bu çalışmada ayrıca toprağa uygulanan Cd'un topraktan geri ekstraksiyonu ile Cd belirlenmesi de yapılmış ve bazı (DTPA; EDDHA, Amonyum Asetat (pH 4.8 ve 7.0), Nitrik Asit ve EDTA) ekstraksiyon yöntemleri karşılaştırılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Ağır metal, buğday, ekstraksiyon yöntemleri, kadmiyum, toksik seviye, toprak

## Determination of Toxicity Limits of Cadmium for Wheat and Comparison of Some Extraction Methods

**Abstract:** Study aims at determining plant-toxicity levels of Cd which is potentially a toxic heavy metal, in soil and plant. For this purpose 0, 5, 15, 30 and 45 mg kg<sup>-1</sup> Cd were applied to soil before sowing. Experiments were conducted in greenhouse condition, and the experimental materials were clay loam and clay-textured soils. Results showed that soil applied Cd (doses) rates have toxic (impact) effect on wheat. When the quantity of soil applied Cd was increased, dry weight of wheat diminished substantially. Highest yield was obtained in control treatments, lowest yield was observed in soil applied Cd of 45 mg kg<sup>-1</sup>. Increased application of Cd resulted in decline in yield, whereas its concentration in plant (structure) tissues showed an increase. The relationships between Cd concentrations in aboveground parts of plants and dry weight yields were examined, and toxic concentrations were recorded. Additionally, Cd assessment was performed by extraction of applied Cd from soil comparatively with DTPA, EDDHA, EDTA, ammonium acetate (pH 7.0 and 4.8) and nitric acid.

**Key Words:** Heavy metal, wheat, extraction methods, cadmium, toxic level, soil

### GİRİŞ

Ağır metaller, doğada çok özel alanlar dışında (maden ocakları ve civarı, lav akıntılarının etki alanları, çok fazla yağış alarak asidik özellik kazanan topraklar gibi) bir soruna neden olmayan metallerdir. Doğada binlerce yıldır sorun olmayan ağır metaller, günümüzde tümüyle insanoğlunun etkinlikleri sonucu önemli bir sorun olmaya başlamıştır. Ağır metaller sadece büyük kent çevrelerini ve tarım alanlarını değil, bütün doğayı tehdit etmektedirler. Ağır metaller ile çalışmak zordur, bu nedenle bazı özelliklerinin ve bulunduğu ortamları olan ilişkilerinin iyi bilinmesi gereklidir. Bitki gelişimi için, mutlak gerekli elementler olmadıklarından bitkilerde eksiklik belirtileri göstermezler, bitkinin normal gelişimi dursa bile, toksik element alımı devam edebilir ve toksik etkisi ancak yeterince birikimden sonra ortaya çıkabilir. Bu nedenle, ağır metallere potansiyel toksik elementler de denir ve Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, Al,

As, Cd, Co, Cr, Pb ve Ni ağır metaller olarak bilinmektedir. Ağır metallerin çoğu, bitkilerdeki birikimleri sırasında kendilerine ait toksiklik belirtileri yerine bir başka elementin belirtileri (muhtemelen eksikliği) şeklinde kendilerini gösterirler. Örneğin Cr, Cu ve Co'dan herhangi birinin fazlalığı bitkide Fe eksikliği şeklinde kendini gösterebilir. Bu nedenle kirlenmiş bir çevrede, bir elementin eksiklik ve fazlalığından söz edebilmek için mutlak gerekli elementlerde olduğu gibi bir veya iki elementin araştırılması yerine, sonuca ulaşabilmek için, birçok elementin araştırılması gerekebilir ve bu da içinden çıkılmaz bir durum yaratabilir. Ağır metallere toksik olduğu bilinen en önemlilerinden birisi de kadmiyum (Cd) olup, değişik toprak, iklim ve bitkilere göre toksiklik düzeyleri farklıdır. Alıcı ortamlardaki bileşimleri son derece karmaşık, anlaşılması, izlenmesi ve değerlendirilmesi zordur. Bir ağır metalin toksik-

liği ile ilgili çalışmalarda kullanılan yöntemler de yöntemin pH'sı, kullanılan kileytin sömürme gücü, toprak özelliklerine göre farklılık gösterebilir. Diğer ağır metallerde olduğu gibi Cd toprağın kil, kireç, organik madde, karbonatlar gibi değişik özellikleri tarafından farklı fiksasyonu söz konusudur. Kadmiyumun bitki tarafından alınımının doğru değerlendirilebilmesi için biyolojik endeksler ile ilişkilendirilmelidir. Öncelikle bitki verimine etkisi, bitki dokusundaki konsantrasyonu, toksiklik belirtileri, analiz edildiği yöntemler iyi araştırılmalıdır. Bray (1948) iyi bir toprak testinin; değişik özellikteki topraklardan o elementin tümü veya önemli bir kısmını uzaklaştırabilme, doğru olarak ölçebilme, ekstrakte edilen element miktarı ile bitkinin gelişimi ve verdiği yanıt ile ilişkilendirilmesi gerektiğini bildirmektedir.

Günümüzde, toprak ekstraksiyon yöntemlerinin seçiminde, bitkinin gelişimi, verimi, herhangi bir aksamındaki (yaprak, gövde, kök) doku derişimi, kök uzunluğu ve gelişimi gibi çeşitli bitki indeks değerleriyle birlikte, topraktan herhangi bir yöntemle ekstrakte edilen metal değerleri arasındaki ilişkiye (korelasyona) bakılarak karar verilmektedir (Wallace 1989). Bitki indeksleri kullanılarak, sera çalışmalarıyla yöntem seçiminin iyi bir yol olduğu bildirilmektedir.

Sonoda ve Hara (1979), V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd ve Hg ağır metallerini kapsayan besin çözeltisinde serada lahanada yaptıkları çalışmada, Mn, Fe ve Zn metallerinin diğerlerine göre daha az toksik olduklarını; Zn, Co, Ni ve Cd metallerin toksik olduğunu ve tüm bitki organlarına dağıldıklarını, V, Cr (III), Cr (VI), Fe, Cu, Hg (I) ve Hg (II)'nin ise köklerde biriktiğini bildirmişlerdir.

Smilde (1981), çeşitli düzeylerde Cd, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn ağır metallerini tek tek ve kombine bir şekilde uygulayarak kavak, yulaf, mısır, ingiliz çimi, göbekli

marul ıspanak ve marul verimlerinde %20 azalmaya neden olan metal düzeylerini temel alan araştırmacılar, kadmiyumun en toksik metal olarak bulunduğunu, en düşük uygulama düzeyinde bile (100 mg kg<sup>-1</sup> atık) ıspanakta verimi azalttığını, fitotoksik etkinlik sıralarına göre en toksik elementten en az toksige doğru Cd < Ni < Cu < Zn < Cr ve Pb şeklinde sıralamışlardır.

Soon ve Bates (1982), lağım atıklarıyla kirlenmiş 8 adet Ontario toprağında, Cd, Ni ve Zn'nun kimyasal havuzlarını ve bitkilere yararışlılığını araştırmak için yaptıkları çalışmada toprağı 1 M amonyum asetat, 0.125 M Cu (II) asetat ve 1 M HNO<sub>3</sub> ile ardarda ekstraksiyona tabi tutmuşlardır. Bitkideki Cd tahmininde en iyi sonucu HNO<sub>3</sub> ile verdiğini; Cd değişimlerinin önemli bir kısmının pH'daki değişimlerle açıklanabileceğini, bitkinin sap+ yapraklarındaki Cd derişimlerinin 0.13 - 1.29 mg kg<sup>-1</sup> olduğunu bildirmişlerdir.

Macnicol ve Beckett (1985), potansiyel toksik elementlerin etki mekanizmalarını, toprak ve bitkiler ile ilişkileri ve toksik olduğu düzeylerini araştırmışlardır. Birçok iz elementin toprakta göreceli olarak hareketsiz olduğunu ve parçalanmadıkları için organik kökenli birikimlerden daha uzun süre etkide bulduklarını; bitki aksamının ağır metallerin değerlendirilmesinde önemli rol oynadığını, yıllık bitkilerin bu tür çalışmalarda daha avantajlı olduklarını çünkü bütün bitki üst aksamına ait metallerin analiz edilebileceğini böylece çok yıllık bitkilerdeki gibi hangi bitki aksamının kullanılacağına tartışılmayacağını, çok yıllık bitkilerde en fazla etkilendiğinden en genç yapraklarının kullanılmasının doğru olacağını; en uygun test bitkilerinden birinin 5 yaprak aşamasındaki arpa olabileceğini; bir elementin verimde azalmaya neden olan en az düzeyinin üst kritik düzey olduğunu, pratik olarak, bitki veriminde % 10'luk azalmaya neden olan bitki doku içeriğinin kullanıldığını rapor etmişlerdir.

Çizelge 1. Deneme topraklarının fiziksel ve kimyasal özellikleri

Toprak Bünyesi	Bünye			Top. tuz	Kireç	Org. madde	pH	Yarayışlı	
	Kum	Silt	Kil					P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
	(%)							(kg da <sup>-1</sup> )	
Killi	27,3	22,3	50,4	0,114	16,1	1,88	7,79	2,59	81,3
Killi tınlı	33,3	29,9	36,8	0,080	20,3	2,10	7,87	2,70	84,6

Bu araştırmada, kadmiyumun buğday tarafından alınması, biyolojik indekslerle değerlendirmesi ve verime etkisi saptanmıştır. Killi ve killi tınlı bünyeli iki toprakta kadmiyumun toksik olduğu miktarlarının toprak ve bitkide saptanması, buğdayda toksiklik belirtilerinin tanımlanması amaçlanmıştır. Ayrıca Cd uygulanan topraklarda Cd içerikleri değişik kimyasal ekstraksiyon yöntemleri ile karşılaştırılmış ve buğdayla kalibrasyonu yapılmıştır.

## MATERYAL VE YÖNTEM

Denemelerde *Bezostaya* buğday çeşidi kullanılmıştır. Bezostaya sarı, kara ve kahverengi pasa toleranslı olup, sürme ve rastığa orta derecede duyarlıdır.

Deneme toprağı olarak killi ve killi tınlı bünyeye sahip iki toprak kullanılmıştır. Killi toprak tuzsuz, fazla kireçli, hafif alkali tepkimeli, organik madde kapsamı düşüktür. Bitkilere yarayışlı fosfor kapsamı az, potasyum kapsamı yüksektir. Killi tınlı toprak, tuzsuz, fazla kireçli, hafif alkali tepkimelidir. Organik madde kapsamı orta seviyededir. Bitkilere yarayışlı fosfor kapsamı az, potasyum kapsamı yüksektir (Çizelge 1).

Sera denemeleri, tesadüf parselleri deneme deseninde ve 3 tekrarlamalı olarak yürütülmüştür. Sera denemelerinde kullanılan her bir saksıya 1900g toprak ile kadmiyum kaynağı olarak suda çözünür özelliğı olan ve bitkilere bileşimindeki metalden toksik etkisi olmayan sülfat formu kullanılmış ve uygulama düzeyleri 0,5, 15, 30 ve 45 mg kg<sup>-1</sup> olarak alınmıştır. Kontrol dâhil tüm saksılara 100 mg kg<sup>-1</sup> N ve 100 mg kg<sup>-1</sup> P hesabıyla azot ve fosfor uygulanmıştır. Azot iki dönemde (ekimde ve ekimden 15 gün sonra) ve fosfor bir defada (ekimde) uygulanmıştır. Fosfor kaynağı olarak TSP (%42), azot kaynağı olarak amonyum nitrat (%26) kullanılmıştır. Deneme killi ve killi tınlı toprakta iki ayrı deneme olarak yürütülmüştür. Deneme

topraklarında Cd ekstraksiyonu için kullanılan ekstraksiyon yöntemleri aşağıda verilmiştir (Çizelge 2).

## BULGULAR VE TARTIŞMA

### Killi Toprak Denemesi Bulguları

Toprağına uygulanan Cd'a karşılık buğdaydan alınan kuru ağırlık değerleri killi toprak için Çizelge 3'de verilmiştir. Bu çizelgedeki değerler kullanılarak Şekil 1 ve 2 çizilmiştir. Killi topraklarda, toprağına uygulanan Cd ile elde edilen buğdayların kuru ağırlıkları alınmış ve tüm üst aksamda dokudaki Cd içerikleri saptanmıştır (Çizelge 3).

Çizelge 3 incelendiğinde kontrol konularında buğday kuru ağırlığı ortalama 5.23g saksı<sup>-1</sup> iken, artan düzeylerde toprağına uygulanan Cd ile 3.65 g saksı<sup>-1</sup> seviyesine düşmüştür. Toprağına yapılan Cd uygulamalarının ikinci seviyesinde (15mg kg<sup>-1</sup>) verimdeki azalma başka bir grup oluşturarak önemli olmuştur. Toprağına yapılan uygulamalar bitkideki Cd miktarını 0.12 mg kg<sup>-1</sup>'den 10,77 mg kg<sup>-1</sup>'e arttırmıştır ve 5mg kg<sup>-1</sup>'lık Cd uygulaması ile bitkideki Cd miktarı farklı bir grup oluşturarak önemli olmuştur (Çizelge 3).

Killi toprağına uygulanan Cd ile buğdayın kuru ağırlık verimi arasındaki ilişki hesaplanmış ve  $Y_{kuru\ ağı} = 4,996 - 0,035x$  ( $r = -0.85^{**}$ ) olarak hesaplanmıştır (Şekil 1 ve Çizelge 3). Kuru ağırlık ile toprağına uygulanan Cd arasındaki bağıntıdan ve Şekil 1'den görüldüğü gibi toprağına uygulanan Cd ile buğdayın kuru ağırlık verimi azalmıştır. En yüksek kuru ağırlık verimi Cd uygulanmayan kontrol düzeyinden alınmıştır. Genel bir yaklaşım herhangi bir elementin toksikliğinden söz edebilmek için maksimum verimde %10'luk bir azalma varsa o faktörün toksik etkili olduğundan söz edilebilmektedir. Bu denemede, maksimi-

Çizelge 2. Denemede kullanılan yöntemler

Yöntemin adı	Literatür	Toprak/ Çözelti oranı	Çalkalama süresi	Bekleme süresi (saat)
0.005 M DTPA (pH 7,3)	Lindsay and Norvell 1978	1/2	120	-
0.001 M EDDHA	Johnson and Young 1973	1/10	20	18
1 N NH <sub>4</sub> OAc (pH 7,0)	Pratt 1965; Piper 1950; Knudsen et al., 1982	1/10	-	12
1 N NH <sub>4</sub> OAc (pH 4,8)	Olson 1965	1/4	30	-
EDTA+(NH <sub>4</sub> )CO <sub>3</sub> (pH 8)	Trierweiler and Lindsay 1969	1/2	30	-
HNO <sub>3</sub> (4N)	Williams et al., 1985; Sposito, et al., 1982	1/7	-	12

mum ürün ortalaması kontrol konusunda elde edilmiştir. Ortalama verim 5.23g saksı<sup>-1</sup> olmuş ve bu değerden meydana gelen %10'luk azalma ile ürün değeri 4.71g saksı<sup>-1</sup> düzeyindedir. Yani ürünün 4.71g saksı<sup>-1</sup> seviyesinin altına düştüğünde Cd bitkiye toksik olmaya başlamaktadır. Bu değer bağıntıda ( $y=4.996-0.035x$ ) yerine konulduğunda killi toprağa uygulanan Cd ile buğdayın kuru ağırlığı arasındaki ilişki maksimum üründen %10 azalma sağlayan Cd uygulama düzeyi 8.17mg kg<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır. Buna göre denilebilir killi toprağa uygulanan 8mg kg<sup>-1</sup> Cd mevcut deneme koşullarında buğday için toksikliğin başlangıcı olacaktır. Bu değer son derece önemli olup, toprağa uygulanacak atıklardaki Cd kapsamının öneminin bir göstergesidir.

Şekil 2'den görüldüğü üzere buğday üst aksamındaki Cd içeriği toprağa uygulanan Cd arttıkça artmıştır. Bu ilişki pozitif yönde olup, istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 3). Toprağa uygulanan Cd ile bitkideki Cd arasındaki ilişkinin denklemi  $y= 0,1944x+3,833$  olarak saptanmıştır. Kontrol konusundaki bitkilerin Cd içerikleri 0.1mg kg<sup>-1</sup> iken, killi toprağa 5mg kg<sup>-1</sup> Cd uygulandığında, bitki bünyesindeki Cd miktarı 6mg kg<sup>-1</sup> düzeyine yükselmiştir. Daha sonraki uygulamalarda, 15mg kg<sup>-1</sup> Cd uygulamasında bitkide 10mg kg<sup>-1</sup> Cd saptanırken, 30 ve 45mg kg<sup>-1</sup> uygulamalarında bitkinin Cd içeriği 10mg kg seviyesinde kalmıştır.

Killi topraklara artan düzeylerde yapılan Cd uygulamaları ile buğday verimlerindeki azalma önemli ( $p=0,0011$ ) olmuştur (Çizelge 3). Elde edilen buğday kuru ağırlık verimleri ile bitki dokusundaki Cd miktarı arasındaki ilişki incelendiğinde; bitki verimindeki azalmaya karşın bitki dokusundaki Cd miktarındaki artışın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. Bu ilişkinin grafiği ve denklemi (Şekil 3)  $y=5,36-0,137x$  ( $r=0.82^{**}$ ) olarak bulunmuştur. Buna göre bitki bünyesinde Cd miktarı arttıkça kuru ağırlık verimleri azalmaktadır. Bir başka deyişle bitki veriminde meydana gelen düşüş, bitki bünyesindeki Cd miktarının artmasından kaynaklanmaktadır.

### Killi Tınlı Toprak Denemesi Bulguları

Killi tınlı topraklardaki Cd uygulamaları ile elde edilen buğdayların kuru ağırlıkları ve bitkideki Cd miktarları (dokudaki Cd derişimi) saptanmıştır (Çizelge 4). Çizelgede görüldüğü gibi, killi tınlı toprak ile kurulan denemede artan düzeylerde uygulanan Cd buğdayda kuru ağırlık veriminde azalmaya neden olmuştur. Deneme kontrol konularında buğday kuru ağırlığı ortalama 4.63g saksı<sup>-1</sup> iken, toprağa uygulanan 45mg kg<sup>-1</sup> Cd ile 3.18 g saksı<sup>-1</sup> seviyesine kadar düşmüştür. Bitkinin Cd miktarı 0.13mg kg<sup>-1</sup>'den Cd uygulamaları ile 9.05mg kg<sup>-1</sup>'e yükselmiştir. Toprağa yapılan Cd uygulaması (15mg kg<sup>-1</sup>) bitki verimine azaltıcı etkide, farklı bir grup oluşturarak önemli olmuştur. Toprağa uygulanan Cd'un bitki Cd miktarına etkisi kontrol

**Çizelge 3.** Killi toprağa uygulanan Cd ile elde edilen buğdayın kuru ağırlıkları ve Cd konsantrasyonları

Toprağa uyg. Cd seviyeleri (mg kg <sup>-1</sup> )	Bitki Verimi			Bitkide Cd konsantrasyonu		
	Kuru ağırlık	Kuru ağırlık ort.	Duncan's Grup	Dokuda Cd kons.	Dokuda Cd kont. Ort.	Duncan's Grup
	(g saksı <sup>-1</sup> )			(mg kg <sup>-1</sup> )		
0	5.05	5,23	A	0.10	0,12	C
	5.07			0.11		
	5.58			0.15		
5	4.26	4,76	A	6.05	6,03	B
	5.35			6.03		
	4.68			6.00		
15	4.62	4,33	B	9.75	10,28	A
	4.38			10.6		
	3.98			10.5		
30	3.46	3,66	C	10.6	10,40	A
	3.98			10.1		
	3.55			10.5		
45	3.94	3,65	C	11.2	10,77	A
	3.36			10.3		
	3.65			10.8		
F	10,883			638,083		
P	0,0011			5,41E <sup>-12</sup>		

konusundan itibaren bitkide Cd artışı olarak görül-  
mekte ve ilk dozdan itibaren farklı grup oluşturarak  
önemli olmaktadır (Çizelge 4).

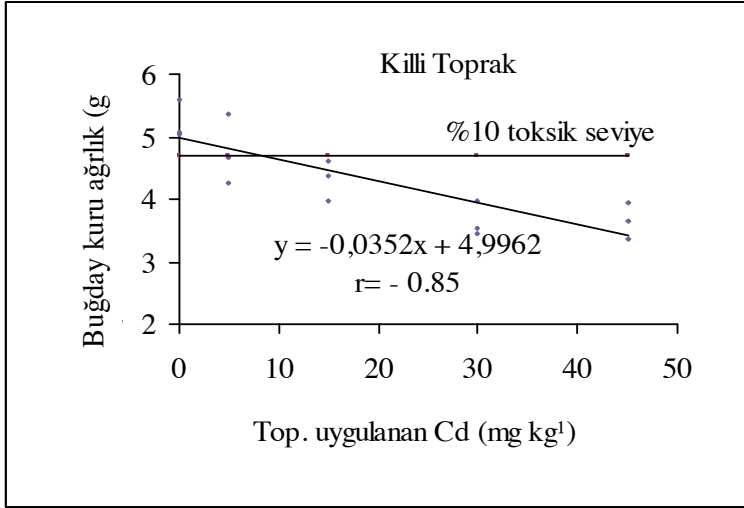
Killi tınlı toprağa uygulanan Cd ile buğdayın kuru ağır-  
lık verimi arasındaki ilişki hesaplanmış ve  $Y_{kuru}$   
 $ağ=4,546-0,030x$  ( $r=-0,92^{**}$ ) olarak bulunmuştur  
(Şekil 4 ve Çizelge 4). Bitki kuru ağırlığı ile toprağa  
uygulanan Cd arasındaki bağıntıdan ve Şekil 4'den  
görüldüğü gibi toprağa uygulanan Cd arttıkça buğda-  
yın kuru ağırlık verimi azalmıştır. En yüksek kuru ağır-  
lık verimi Cd uygulanmayan kontrol konusundan elde  
edilmiştir. En yüksek verim kontrol uygulamasından  
alınmış ve  $4.63g$  saksı<sup>-1</sup> olarak belirlenmiş, bu değ-  
erde yapılan uygulamalarla meydana gelen %10'luk  
azalma ile toksiklik sınırı  $4.16g$  saksı<sup>-1</sup> olarak gerçek-  
leşmiştir. Yapılan Cd uygulamaları ile (Şekil 4)  $10$  mg  
 $kg^{-1}$ 'den sonra ürün  $4.6g$  saksı<sup>-1</sup> miktarının altına düş-  
müş ve buğdayda toksisite başlamıştır. Bu değer  
bağıntıda ( $y=4,546-0,030x$ ) yerine konduğunda killi

tınlı toprağa uygulanan Cd ile buğdayın kuru ağırlığı  
arasındaki yerine konularak bağıntı çözülmüş ve ilişki  
maksimum üründen %10 azalma sağlayan Cd uygu-  
lama düzeyi  $12.53mg$   $kg^{-1}$  olarak hesaplanmıştır.  
Buna göre denilebilir killi tınlı toprağa uygulanan yak-  
laşık olarak  $13mg$   $kg^{-1}$  saf Cd bu deneme koşullarında  
buğday için toksikliğin başlangıcıdır.

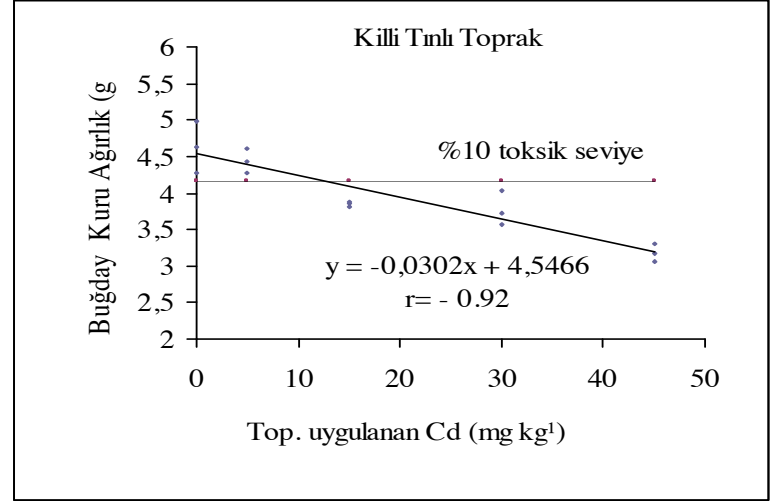
Şekil 5'den görüldüğü üzere killi tınlı toprak deneme-  
sinde, buğday üst aksamındaki doku Cd içeriği topra-  
ğa uygulanan Cd arttıkça artmıştır. Bu ilişki pozitif  
yönde olup, istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.  
İlişkinin denklemi  $y=0,1617x+3,19$  olarak saptanmış-  
tır. Kontrol konusundaki bitkilerin Cd içerikleri  $0.1mg$   
 $kg^{-1}$ , killi tınlı toprağa  $5mg$   $kg^{-1}$  Cd uygulandığında bitki  
bünyesindeki Cd miktarı  $5mg$   $kg^{-1}$  düzeyine yüksel-  
miştir. Daha sonraki Cd uygulamalarında sırasıyla bit-  
kide ortalama  $8.48mg$   $kg^{-1}$  Cd saptanırken,  $45mg$   $kg^{-1}$   
uygulamasında bitkinin Cd içeriği  $9.04mg$   $kg^{-1}$  olmuş-  
tur. Bu sonuç bize toprakta yüksek miktarda Cd

**Çizelge 4.** Killi tınlı toprağa uygulanan Cd ile elde edilen buğdayın kuru ağırlıkları ve Cd konsantrasyonları ( $mg$   $kg^{-1}$ )

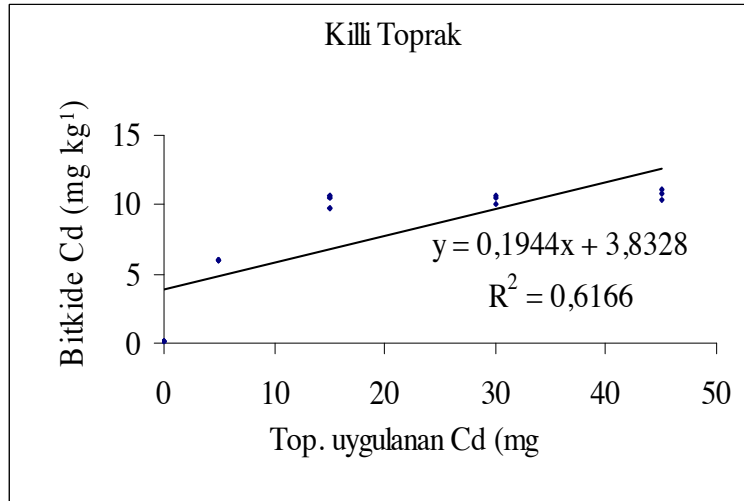
Toprağa Uygulanan Cd ( $mg$ $kg^{-1}$ )	DTPA		EDDHA		AA (7)		HNO <sub>3</sub>		EDTA		AA (4.8)	
	Killi	Killi Tınlı	Killi	Killi Tınlı	Killi	Killi Tınlı	Killi	Killi Tınlı	Killi	Killi Tınlı	Killi	Killi Tınlı
0	0.03	0.02	0.01	0.02	0.1	0.08	0.81	0.93	0.04	0.03	0.47	0.44
	0.04	0.02	0.01	0.02	0.1	0.08	0.79	0.93	0.05	0.03	0.41	0.44
	0.03	0.03	0.01	0.02	0.09	0.06	0.74	0.99	0.04	0.03	0.42	0.45
5	2.69	2.83	2.27	2.44	1.18	0.90	5.57	5.66	2.56	1.83	3.29	2.65
	2.76	2.76	2.22	2.27	1.02	0.85	5.45	5.07	2.4	1.56	3.14	2.58
	2.93	2.85	2.33	2.67	1.18	0.95	5.66	5.35	2.55	2.02	3.30	2.73
15	8.1	9.01	6.49	8.08	3.02	3.14	14.9	15.9	6.51	5.93	8.50	7.81
	7.82	8.87	6.53	7.73	2.87	2.93	15.3	15.9	6.52	5.67	8.33	8.00
	7.82	9.26	6.53	8.09	2.82	2.89	15.5	15.3	6.38	5.71	8.62	8.09
30	18.2	17.2	13.4	16.3	7.23	5.95	30.4	29.0	15.7	14.8	16.3	15.3
	16.9	18.4	13.2	16.1	6.93	5.81	30.9	29.7	16.4	15.7	16.0	14.7
	17.2	17.7	12.8	15.3	6.38	5.53	30.9	30.5	15.7	18.8	16.4	14.6
45	27.3	25.8	19.2	23.2	11.1	9.63	44.4	47.1	24.7	25.4	26.6	26.3
	24.3	25.5	19.1	23.1	10.6	9.35	46.1	45.4	22.8	23.1	26.2	26.5
	24.7	25.5	19.3	23.1	11.1	9.84	47.7	47.9	21.1	25.3	27.1	26.2



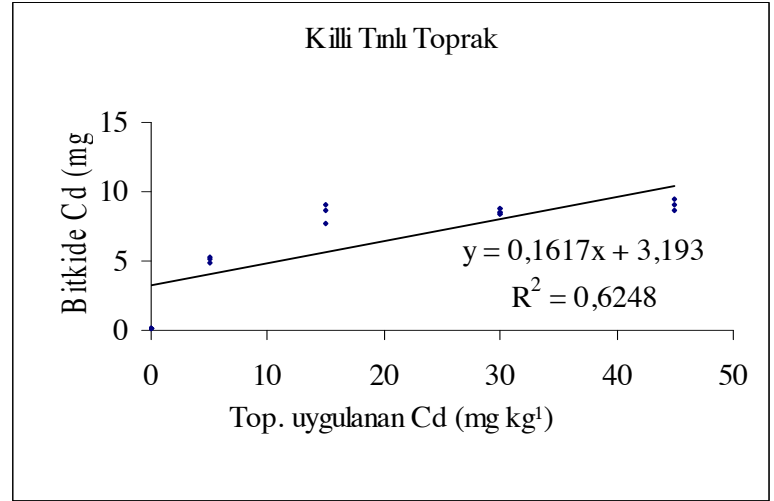
Şekil 1. Killi Toprağa uygulanan Cd ile buğdayın kuru ağırlığı ve toksik seviyesi



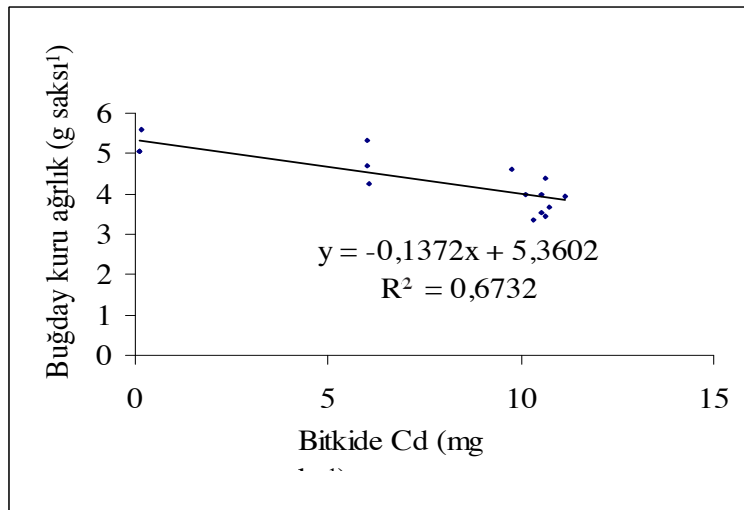
Şekil 4. Killi tınlı toprağa uygulanan Cd ile buğdayın kuru ağırlığı ve toksik seviyesi



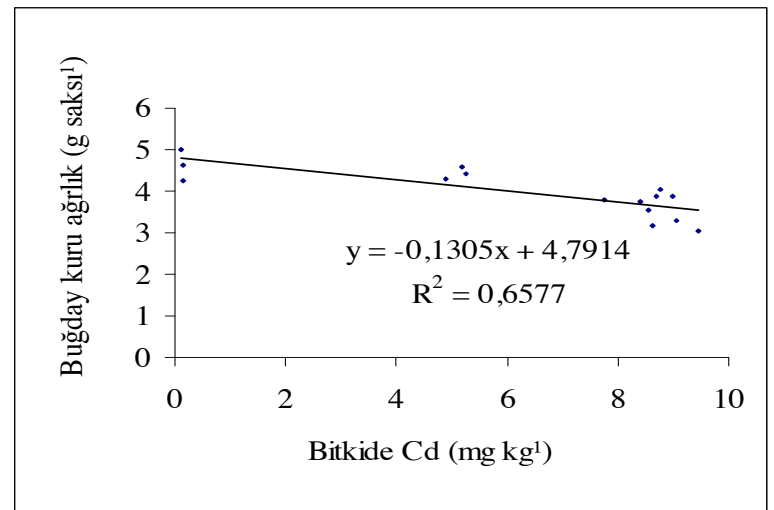
Şekil 2. Killi toprağa uygulanan Cd ile buğdaydaki Cd arasındaki ilişki



Şekil 5. Killi tınlı toprağa Uygulanan Cd ile Buğdaydaki Cd Arasındaki İlişki



Şekil 3. Killi toprakta yetiştirilen buğdaydaki Cd miktarı (Doku Derişimi) ile kuru ağırlığı arasındaki ilişki



Şekil 6. Killi tınlı toprakta yetiştirilen buğdayın Cd miktarı (Doku Derişimi) ile kuru ağırlığı arasındaki ilişki

bulunsa bile, bitkinin killi toprakta  $10\text{mg kg}^{-1}$  ve killi tınlı tınlı topraklarda  $9\text{mg kg}^{-1}$  üzerinde Cd'ü bünyesine almadığını göstermektedir. Davis, et al. (1978), potansiyel toksik olarak kabul edilen bir elementin üst kritik düzeyini, bir bitkinin aktif olarak gelişen dokularındaki verimde azalmaya neden olan derişimi olarak tanımlamışlardır. Araştırmacılar, serada, kum kültüründe yaptıkları denemelerle beş yapraklı olduğu dönemde arpa bitkisinin yaprak ve köklerinde Cd için üst kritik düzeyini  $15\text{mg kg}^{-1}$  olarak saptamışlardır. Bitkinin üst kritik düzeyinin kuru maddede %10 azalmaya karşılık gelen doku derişimini aldıklarını rapor etmişlerdir.

Killi tınlı toprağa artan miktarlarda  $45\text{mg kg}^{-1}$ 'e kadar uygulanan Cd bitki kuru ağırlık verimlerinde önemli azalmaya neden olmuştur (Çizelge 4). Buğdayda kuru ağırlık verimleri ile bitki dokularında Cd içeriği arasındaki ilişki de belirlenmiştir (Şekil 6). Buğday kuru ağırlık verimleri ve bitki bünyesindeki Cd arasında negatif bir ilişki ve ilişkinin denklemi ise  $y=4,79-0,1301x$  ( $r=0,81^{**}$ ) olmuştur. Buna göre buğdayda bitki bünyesinde Cd miktarı arttıkça bitkinin kuru ağırlığının azaldığı ve bitki gelişiminin zayıfladığı ortaya çıkmaktadır.

### Kimyasal Cd Ekstraksiyon Sonuçları

Killi ve killi tınlı toprağa yapılan Cd uygulamalarıyla buğday yetiştirildikten sonra deneme topraklarında 6 ayrı ekstraksiyon yöntemiyle Cd analizleri yapılmıştır. Çizelge 5'de görüldüğü üzere aynı topraklarda, toprağa ilave edilen metalin geri alınmasında değişik ekstraksiyon çözeltilerinin kullanılması sonucunda farklı Cd içerikleri saptanmıştır. Kullanılan ekstraksiyon çözeltilerinin asidik veya alkali koşullarda oluşu ile topraktan Cd ekstrakte edebilme güçleri farklı olmuştur. Ancak toprağa uygulanan Cd arttıkça, her ekstraksiyon çözeltisiyle elde edilen Cd miktarı da artmıştır. Çizelge 5 incelendiğinde; en yüksek Cd miktarı  $\text{HNO}_3$  yöntemiyle, en az Cd miktarı ise Amonyum Asetat (pH 7) yöntemiyle sağlandığı görülmektedir.  $\text{HNO}_3$ , AA (4.8), EDDHA ve DTPA yöntemleri (Çizelge 6) uygulanan Cd, kuru ağırlık ve diğer yöntemlerle son derece yüksek korelasyon katsayıları vererek, topraktaki Cd elementinin en iyi analiz edilebileceği yöntemler olarak görülmektedirler.

Sposito ve ark. (1983) değişik ekstraksiyon yöntemleriyle yaptıkları araştırmada, toprakta EDTA ve  $\text{HNO}_3$  yöntemleriyle ekstrakte edilen metallerin zamanla arttığını, EDTA yöntemiyle ekstrakte edilen metallerin zamanla artışının nedenini, atığın mineralizasyonu ile açığa çıkan metallerin iz metal karbonatlar formuna dönmesi ile açık-

Çizelge 5. Deneme sonrası toprakların çeşitli yöntemlerle ekstrakte edilen Cd konsantrasyonları ( $\text{mg kg}^{-1}$ )

Toprağa Uygulanan Cd ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	DTPA		EDDHA		AA (7)		$\text{HNO}_3$		EDTA		AA (4.8)	
	Killi	Killi Tın	Killi	Killi Tın	Killi	Killi Tın	Killi	Killi Tın	Killi	Killi Tın	Killi	Killi Tın
0	0.03	0.02	0.01	0.02	0.1	0.08	0.81	0.93	0.04	0.03	0.47	0.44
	0.04	0.02	0.01	0.02	0.1	0.08	0.79	0.93	0.05	0.03	0.41	0.44
	0.03	0.03	0.01	0.02	0.09	0.06	0.74	0.99	0.04	0.03	0.42	0.45
5	2.69	2.83	2.27	2.44	1.18	0.90	5.57	5.66	2.56	1.83	3.29	2.65
	2.76	2.76	2.22	2.27	1.02	0.85	5.45	5.07	2.4	1.56	3.14	2.58
	2.93	2.85	2.33	2.67	1.18	0.95	5.66	5.35	2.55	2.02	3.30	2.73
15	8.1	9.01	6.49	8.08	3.02	3.14	14.9	15.9	6.51	5.93	8.50	7.81
	7.82	8.87	6.53	7.73	2.87	2.93	15.3	15.9	6.52	5.67	8.33	8.00
	7.82	9.26	6.53	8.09	2.82	2.89	15.5	15.3	6.38	5.71	8.62	8.09
30	18.2	17.2	13.4	16.3	7.23	5.95	30.4	29.0	15.7	14.8	16.3	15.3
	16.9	18.4	13.2	16.1	6.93	5.81	30.9	29.7	16.4	15.7	16.0	14.7
	17.2	17.7	12.8	15.3	6.38	5.53	30.9	30.5	15.7	18.8	16.4	14.6
45	27.3	25.8	19.2	23.2	11.1	9.63	44.4	47.1	24.7	25.4	26.6	26.3
	24.3	25.5	19.1	23.1	10.6	9.35	46.1	45.4	22.8	23.1	26.2	26.5
	24.7	25.5	19.3	23.1	11.1	9.84	47.7	47.9	21.1	25.3	27.1	26.2

lamışlardır. Haq, ve ark. (1980), çeşitli yöntemlerle topraktan ekstrakte edilen miktarları ve diğer toprak özellikleri (pH, organik madde yüzdesi, kil yüzdesi, KDK) arasındaki korelasyonu araştırdıklarını bildirmişlerdir. Cd ve Ni ekstraksiyonu için hiçbir yöntemin önemli bulunmadığını ancak denkleme pH'nın ilavesi ile CH<sub>3</sub>COOH yönteminin bitkideki Cd derişiminin %81'ini Ni derişiminin %82'sini açıklayarak en iyi yöntem olduğunu bildirmişlerdir.

Bu deneme koşullarında, toprağa ilave edilen Cd metalinin değerlendirilmesinde EDDHA, DTPA ve AA (4.8) yöntemleri kullanılabilir durumdadır. Örneğin, killi topraktan EDDHA ve DTPA yöntemiyle ekstrakte edilen Cd ile buğdayın kuru ağırlığı arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak önemli olduğu ve ilişkinin denklemi  $y_{EDDHA}=5,01-0,083x$  iken, DTPA için ise  $y_{DTPA}=4,98-0,061x$  olarak belirlenmiştir. Eğer %10 sınırındaki kuru ağırlık değeri olan 4.71 bu bağıntılarda yerine konur ve denklemler çözülürse, EDDHA yöntemiyle toprakta bulunan 3.61mg kg<sup>-1</sup> ve DTPA yöntemiyle bulunacak 4.43mg kg<sup>-1</sup> Cd buğdayın veriminde %10'luk azalmayı diğer bir deyişle toksiklik sınırını göstermektedir. Bu şekilde Killi tınlı toprakta da aynı şekilde 6 ayrı yöntemle Cd ekstraksiyonları yapılmıştır. Buğday kuru maddesi ile yöntemler arasında negatif önemli ilişkiler bulunmuştur. Özetle ilişkilerin denklemi EDDHA yöntemi için  $y_{EDDHA}=4,55-0,058x$  ve DTPA için ise  $y_{DTPA}=4,55-0,053x$  olmuştur. Bu denklemler çözüldüğünde, EDDHA yöntemi ile toprakta 6.55mg kg<sup>-1</sup> Cd ve DTPA yöntemiyle toprakta bulunan 7.17mg kg<sup>-1</sup> Cd değeri buğday veriminde %10'luk azalmayı sağlayan toksiklik sınırını vermektedir. Ancak, daha önceleri de

belirtildiği gibi yöntemler için elde edilen bu değerler serada deneme kurulan koşulları temsil etmekte olup geçici değerleri veya dikkate alınması gereken limitler hakkında bilgi vermekte olup, tarla koşullarında mutlaka test edilmesi gerekmektedir. Baker ve Amacher (1982), Cd ve Ni düzeylerinin tahmininde de DTPA, HCl ve çift-asit (HCl + N H<sub>2</sub>SO<sub>2</sub>) yöntemlerinin yaygın olarak kullanıldığını, Ni, Cu, Zn ve Cd metallerinin ekstraksiyonu için DTPA'nın seçildiğini çünkü bu yöntemin Fe, Mn, Cu ve Zn'nun birlikte ekstraksiyonu için uygun bir denge sabitinin olduğunu bildirmişlerdir.

### Bitkide Toksiklik Belirtileri

Toprağa kadmiyum uygulamaları ile buğday yapraklarının genellikle uç kısmı ile orta bölgesi arasında kalan alanda benek gibi sarılıklar oluşmuştur. Benekler elips şeklinde ve elipsin ortası en sarı olup, ortasından kenara doğru yeşillenme görülmüştür. Bazı beneklerin sarı, ortası kahverengi ve sarı göbeklerinin etrafında koyu yeşil halka oluştuğu görülmüştür. Uygulanan kadmiyumun özellikle antosiyanın ve klorofil pigmentlerinin oluşumunu engelleyerek bu belirtileri oluşturduğu düşünülmektedir.

### Korelasyon Katsayıları

Toprağa artan düzeylerde uygulanan Cd ile hem bitkisel değişkenler hem de topraktan ekstraksiyon yöntemleriyle alınan Cd değerleri arasındaki ilişkiler killi toprak denemesi için Çizelge 6 ve killi tınlı toprak için Çizelge 7'de verilmiştir. Çizelgelerden de görüldüğü üzere çeşitli değişkenlerin birbiriyle ilişkileri istatistiksel anlamda önemli olmuş ve aralarında yüksek korelasyonlar görülmektedir.

**Çizelge 6.** Killi topraktaki Cd denemelerinde çeşitli değişkenlerin birbiriyle korelasyonları

	Uygulanan Cd	Kuru Ağ.	Doku Cd	DTPA	EDDHA	AA7	HN0 <sub>3</sub>	EDTA	AA4.8
Uygulanan Cd	1								
Kuru ağırlık	-0.85	1							
Doku Cd	0.78	-0.82	1						
DTPA	0.99	-0.84	0.78	1					
EDDHA	0.99	-0.86	0.79	0.99	1				
AA7	0.99	-0.83	0.74	0.99	0.99	1			
HN0 <sub>3</sub>	0.99	-0.85	0.78	0.99	0.99	0.99	1		
EDTA	0.99	-0.84	0.76	0.99	0.99	0.99	0.99	1	
AA4.8	0.99	-0.83	0.76	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	1



Sonuç olarak kadmiyumun killi ve killi tınlı toprağa  $45\text{mg kg}^{-1}$  seviyesine kadar yükseltilecek şekilde yapılan uygulama ile buğdayda toksik etkiler görülmüştür. Toprağa uygulanan Cd'un bitki veriminde önemli azalmalara ve bitkideki Cd konsantrasyonunda artışa neden olduğu görülmektedir. Killi tınlı toprakta bitkiye toksik olan, verimde %10'luk azalmayı sağlayan Cd miktarının ( $12.53\text{mg kg}^{-1}$ ) killi toprağa ( $8\text{mg kg}^{-1}$ ) göre daha fazla çıkmasının nedeni olarak; killi tınlı toprak bileşenlerinden organik maddenin, kirecin ve

özellikle de pH değerinin killi toprağın bu bileşenlerinden daha fazla olması ve Cd'un hareketinin engellenmesi düşünülmektedir. Nitekim Soon (1981) ve Bingham ve ark., (1980'da) alkali topraklarda Cd hareketliliğinin az olduğunu bu nedenle Cd alınabilirliğinin azaldığı bildirmişlerdir. Bitkiye toksik etkisinden dolayı, özellikle toprağa uygulanacak materyallerde kadmiyum içeriklerinin kontrol edilmesi ve izin verilen değerlerin üzerinde olmamasına özellikle dikkat edilmesi gereklidir.

**Çizelge 7.** Killi tınlı topraktaki Cd denemelerinde çeşitli değişkenlerin birbiriyle korelasyonları

	Uygulanan Cd	Kuru Ağ.	Doku Cd	DTPA	EDDHA	AA7	HN <sub>3</sub>	EDTA	AA4.8
Uygulanan Cd	1								
Kuru ağırlık	-0.92	1							
Doku Cd	0.79	-0.81	1						
DTPA	0.99	-0.92	0.79	1					
EDDHA	0.99	-0.92	0.79	0.99	1				
AA7	0.99	-0.92	0.77	0.99	0.99	1			
HN <sub>3</sub>	0.99	-0.91	0.78	0.99	0.99	0.99	1		
EDTA	0.99	-0.87	0.74	0.99	0.98	0.98	0.99	1	
AA4.8	0.99	-0.92	0.75	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	1

## KAYNAKLAR

Baker, D. E., Amacher, M. C. (1982). Nickel, Copper, Zinc And Cadmium. In: A. L. Page, R. H. Miller, and D. R. Keeney (Ed.) Methods Of Soil Analysis. Part 2. Second Edition. p: 323-336.

Bingham, F. T., Page, A. L., Strong, J. E. (1980). Yield and Cd Content of Rice Grain in Relation to Addition Rates of Cd, Cu, Ni, and Zn with Swage Sludge and Liming. Soil Sci. 130:32.

Bray, R. H. (1948). Requirements for successful soil tests. Soil Sci 66: 83 -89.

Davis, R. D., Becket, P. H. T., Wollan, E. (1978). Critical Levels of Twenty Potentially Toxic Elements In Young Spring Barley. Plant and Soil, 49: 395 - 408.

Haq, A. U., Bates, T. E., Soan, Y. K. (1980). Comparison of Extractants for Plant Available Zinc, Cadmium, Nickel, and Copper in Contaminated Soils. Soil Sci. Soc.Am.J .44: 772-777.

Johnson, G. V., Young, R. A. (1973). Evaluation of EDDHA as an Extraction and Analytical Reagent for Assessing the Iron Status of Soils. Soil Sci. 115: 11-17.

Knudsen, D., Peterson, G. A., Pratt, P. F., (1982). Lithium, Sodium and Potassium In: A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney (Ed.) Methods of Soil Analysis. Part 2 Second Edition. P:225-238.

Lindsa, W. L., Norvell, W. A. (1978). Development of A DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese. and Copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421 - 428.

Manicol, R. D., Becket, P. H. T. (1985). Critical Tissue Concentrations of Potentially Toxic Elements. Plant and Soil 85. 107 - 129.

Olson, R. V. (1965). Iron. In: C. A. Black (Ed.). Methods of Soil Analysis. Agronomy No. 9. Part 2. p: 996 Orta Anadolu Bölge Zirai Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü. 1981. Orta Anadolu'da Buğday Yetiştirme Tekniği, Genel yayın no: 39.

- Pratt, P. F. 1965. Potassium. In: C.A. Black (Ed) Methods of Soil Analysis. Agronomy No.9. Part 2. p:1022,1030
- PIPER, C. S. 1950. Soil and Plant Analysis. Interscience Publishers, Inc. New York. p: 171.
- Smilde, K. W. (1981). Heavy-Metal Accumulation in Crops Grown on Sewage Sludge Amended with Metal Salts. *Plant and Soil*, 62: 3 -14.
- Sonoda, Y., Hara, T. (1979). Comparison of the Toxicity of Heavy Metals to Cabbage Growth. *Plant and Soil*, 51: 127 -133.
- Soon, Y. K. (1981). Solubility and Sorption of Cd in Soils Amended with Sewage sludge. *J. Soil Sci.* 32:85.
- Soon, Y. K., Bates, T. E. (1982). Chemical Pools of Cadmium, Nickel and Zinc in Polluted Soils and Some Preliminary Indications of Their Availability to Plants. *J. Soil Sci.* 33: 477 -488.
- Sposito, G., Levesoué, C. S., Leclaire, J. P., Chang, A. C. (1983). Trace Metal Chemistry In Arid-Zone Field Soils Amended with Sewage Sludge: III. Effect of Time on the Extraction of Trace Metals. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47: 898 – 902.
- Trieweiler, J. F., Lindsay, W. L. (1969). EDTA-Ammonium Carbonate Soil Test for Zinc. *Soil Sci. Soc. Am. P.* 33: 49 - 54.
- Wallace, A. (1989). Plant Responses to Some Hardly Known Trace Elements and trace Element Composition and Distribution In Plants. *Soil Sci.* 147:461 - 464.
- Williams, D.E., Vlamis, J. Pukite, A. H., Corey, J.E. (1985). Metal Movement In Sludge-Treated Soils After Six Years of Sludge Add. 2. Nickel, Cobalt, Iron, Manganese, Chromium, and Mercury. *Soil Sci.* 140: 120-125.