

Bihter ÇOLAK ESETLİLİ

Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve
Bitki Besleme Bölümü, 35100 İzmir / Türkiye
sorumlu yazar: bihtercolak@gmail.com

Farklı Bünyeli Topraklarda Yetiştirilen Ayçiçeği ve Yonca Bitkilerinin Ağır Metal Absorpsiyonları

Heavy Metal Absorption of Sunflower and Lucerne Plants
Grown under Different Soil Textures

Alınış (Received): 01.03.2016

Kabul tarihi (Accepted): 05.05.2016

Anahtar Sözcükler:

Ağır Metal, absorpsiyon, ayçiçeği, yonca,
kil tipi

Key Words:

Heavy metal, absorption, sunflower,
lucerne, clay type

ÖZET

Son yüzyılın başından itibaren artan sanayileşme ve dünya nüfusu, beslenme kaygısını ortaya çıkarmıştır. Modern tarım sistemlerinin kontrolsüz ve yanlış kullanımı ile toprak, su ve hava gibi doğal kaynaklarımızın zarar gördüğü ve kirlendiği bilinen bir gerçektir. Bu model çalışmada değişik bünyeli topraklarda yetiştirilen farklı bitkilerin ağır metal absorpsiyon kapasiteleri ile bu toprakların kil tipleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla serada bir saksı denemesi kurularak ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) ve yonca (*Medicago sativa* L.) gibi fitoremediasyonda çok kullanılan bitkiler kumlu ve killi bünyeli topraklarda değişik dozlarda kurşun (Pb), kadmiyum (Cd) ve krom (Cr) uygulanarak yetiştirilmiştir. Toprakların kil tipleri önceden belirlenmiş ve hasat sonrasında ağır metallerin kil tipleri ile olan ilişkileri irdelenmiştir. Bu bağlamda ayçiçeği ve yoncanın ağır metal absorpsiyon kapasiteleri de saptanmıştır. Toplam ve alınabilir ağır metal analiz sonuçlarına göre smektit kil içeriği yüksek olan killi bünyeli toprağın ağır metal (Pb, Cd ve Cr) adsorpsiyon düzeylerinin kumlu tın bünyeli topraktan daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ayçiçeği ve yonca bitkileri ağır metal alımı açısından değerlendirildiğinde ise yoncanın ayçiçeğine göre daha yüksek oranda ağır metal alabildiği bulunmuştur.

ABSTRACT

In the last 50 years, food safety as well as safe food supply became of vital importance due to intensive industrialization and due to population increase. To cover the food requirements, modern agricultural techniques developed. However, misuses and mismanagements in this regard resulted in with hazards and pollutions in the natural resources like the soil, water and air. With this objective, a pot experiment was established to study the effect of soil texture and different plants on the heavy metal adsorption by different clay types and heavy metal absorption by the plants. Clayey and sandy clay loam soils were placed in the pots and sunflower and lucerne seeds were sown. Two different doses of Pb, Cd and Cr heavy metals were applied to the pots. Laboratory results showed that the clayey soil with high smectite clay adsorbed the heavy metals more than the sandy clay loam soil. Results also showed that lucerne absorbed more heavy metals than the sunflower.

GİRİŞ

Toprak en önemli doğal kaynaklarımızdan birisidir. Ancak toprağın tarım dışı amaçlarla kullanımı, ağır metal, organik kirlenme gibi etmenlerle kirlenmesi ve erozyon ile kayıplara uğraması sonucunda verimliliği kaybolmaktadır. Toprağın kirlenmesi ise yaşayan tüm canlı organizmaları etkilemekte ve besin zincirinin son halkası olan insanoğlunu da ciddi anlamda tehdit etmektedir.

Topraklardaki bitki besin elementlerinin yanı sıra ağır metallerin toprak kolloidleri tarafından tutulması toprak kolloidlerinin cinsi ve miktarı ile yakından ilişkilidir. Toprak kolloidleri organik ve inorganik formdadır. Organik formdaki kolloidler, ülkemizde de ayrışmanın yüksek olduğu arid ve semiarid bölge topraklarında olduğu gibi, çok az miktarlarda bulunmaktadır. Bu nedenle inorganik kolloidlerin cinsi ve miktarı, topraklardaki besin elementlerinin ve ağır

metallerin tutulmasında, genellikle önemli bir etken olabilmektedir. İnorganik toprak kolloidleri içerisinde kil mineralleri önemli bir role sahiptir. Bu mineraller topraktaki bitki besin elementlerinin yanı sıra, ağır metallerin tutulumunda da önemli bir yere sahiptir (Uluocak Güzel, 2006). Ağır metal kirliliğinin gün geçtikçe arttığı düşünülürse özellikle ağır metaller ile önemli bir toprak kolloidi olan kil mineralleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi önem taşımaktadır.

Toprakta tutulan ağır metallerin bitkiler tarafından alınarak doku ve organlarda aşırı birikimi, bitkilerin vejetatif ve generatif organlarının gelişimini olumsuz etkilemektedir (Gür ve ark., 2004). Ayrıca bitkilerde transpirasyon, stoma hareketleri, su alımı, fotosentez, enzim aktivitesi, çimlenme, protein sentezi, membran stabilitesi, hormonal denge gibi pek çok fizyolojik olayın da olumsuz olarak etkilenmesine sebep olmaktadır (Kennedy ve Gonsalves, 1987; Öktüren Asri ve Sönmez, 2006).

Bu çalışmada, bünyeleri ve diğer bazı fiziksel özellikleri farklı olan iki tarım toprağında ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) ve yonca (*Medicago sativa* L.) bitkileri sera şartlarında yetiştirilmiş ve farklı dozlarda ağır metal uygulanarak söz konusu bitkilerin absorpsiyon kapasitelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Farklı fiziksel özelliklere sahip olan iki tarım toprağında ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) ve yonca (*Medicago sativa* L.) bitkileri saksılarda sera şartlarında yetiştirilmiştir. Ağır metaller bitkilere artan dozlarda uygulanmış ve absorpsiyon kapasiteleri belirlenmiştir. Bu iki bitkinin fitoremediasyonda yaygın kullanıldığı rapor edilmektedir (Lee ve Yang, 2010; Wang et al., 2011). Ayrıca hem hayvan hem de insan besin zincirine dolaylı ya da doğrudan katılıyor olması gibi etmenler de göz önüne alınmıştır.

Çizelge 1’de Torbalı-İzmir ve çevresinden alınan deneme topraklarının, ulusal ve uluslar arası literatürlere dayalı olarak yapılan fizikokimyasal özellikleri görülmektedir (Slawin, 1955; Black, 1965; Kacar, 1995). Kil bünyeli olan deneme toprağı (K-2), “Vertic Xerofulvent” alt grubunda, kumlu killi tın bünyeli deneme toprağı (K-1) ise “Typic Xeropsamment” alt grubunda tanımlanmıştır (Anonim, 1999). Ayrıca, deneme topraklarında kil tipi tayini de gerçekleştirilmiştir. Kil bünyeli toprakta smektit baskın kil minerali olarak belirlenmiş (%41–46), illit (%30–35), kaolinit (%15–20) ve klorit (%7–12) izlemiştir. Kumlu killi tın bünyeli toprakta ise illit baskın kil minerali olarak saptanmış (%62–67), smektit (%16–21) kil minerali

izlemiştir. Kaolinit+Klorit kil mineralinin oranı ise %17–22 olarak bulunmuştur.

Toprakların kil tipi tayini, Çolak (2012) tarafından bildirilen yöntemle göre X-ray diffraction (XRD) cihazı kullanılarak yapılmıştır.

Çizelge 1. Deneme topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri (K-1: Kumlu killi tın; K-2: Killi)

Table 1. Some physical and chemical properties of study soils (K-1: Sandy clay loam; K-2: Clay)

Deneme Toprağı	K-1	K-2
pH	7.48	7.41
Tuz (%)	0.013	0.041
Kireç (%)	11.96	19.5
OM (%)	0.36	1.65
Kum (%)	74.56	23.56
Kil (%)	21.44	50.44
Mil (%)	4	26
Bünye	kumlu killi tın	killi
N (%)	0.039	0.095
P mg kg ⁻¹	1.22	1.35
K mg kg ⁻¹	92	196
Mg mg kg ⁻¹	51	166
Ca mg kg ⁻¹	3903	8758
Fe mg kg ⁻¹	3.03	9.20
Cu mg kg ⁻¹	0.51	1.31
Zn mg kg ⁻¹	0.03	1.83
Mn mg kg ⁻¹	0.63	1.69
CEC mg kg ⁻¹	15.36	48.98
Alınabilir Cd mg kg ⁻¹	iz	iz
Alınabilir Cr mg kg ⁻¹	iz	iz
Alınabilir Pb mg kg ⁻¹	2.55	2.86
Toplam Cd mg kg ⁻¹	iz	iz
Toplam Cr mg kg ⁻¹	11.55	14.61
Toplam Pb mg kg ⁻¹	20.82	25.28

Saksı denemesi, Ege Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü serasında, tesadüf parselleri deneme desenine göre 4 tekrarlı olarak kurulmuştur. Deneme toplam 48 saksıdan oluşmuş (3 doz ağır metal (Pb, Cr, Cd) uygulaması x 4 tekrar x 2 farklı toprak x 2 bitki = 48 saksı) ve her saksıya önceden kurutulmuş, 2 mm’den elenmiş ve analizleri yapılmış 5 kg toprak (kuru ağırlık üzerinden) doldurulmuştur. Toprak analiz sonuçları dikkate alınarak saksılara N (150 mg kg⁻¹), P (50 mg kg⁻¹) ve K (200 mg kg⁻¹) besin elementleri sırasıyla NH₄NO₃, (NH₄)₂HPO₄ ve K₂SO₄ formlarında uygulanmıştır. Saksıların altına drenajın sağlanması için 3 adet delik açılmıştır ancak sızan suyun toplanması için plastik kaplar saksı altlarına yerleştirilmiştir.

Her saksıya 5 adet ayçiçeği ve 20 adet yonca bitkisi ekilmiştir. Çimlenme sonrasında ayçiçeği bitkisinden 3, yoncadan ise 10 adet bitki bırakılarak seyreltme işlemi gerçekleştirilmiştir. $\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, K_2CrO_4 formlarında ağır metal içeren çözeltiler, Çizelge 2'de verilen dozlarda hazırlanarak uygulanmıştır. Uygulama dozları, Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği dikkate alınarak belirlenmiştir (Anonim, 2005). Bitkilerin ağır metale verdikleri tepkiler gözlemlenerek ortalama 45 gün içinde hasat yapılmıştır. Hasat sonrasında her saksıdaki topraktan ayrı ayrı örnek alınarak topraktaki toplam ve alınabilir ağır metal içerikleri, Kral suyu ($\text{HNO}_3 + 3\text{HCl}$) ve Diethylenetriaminepentaacetic Asit (DTPA) yöntemi ile ekstrakte edilerek Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresinde belirlenmiştir (Slawin, 1955; Kick ve ark., 1980).

Çizelge 2. Deneme planı ve topraklara uygulanan dozlar (mg kg^{-1})
Table 2. Experiment plan and the dosage used in soil

Dozlar		
A0	A1	A2
Cr-0	Cr-37.5	Cr-75
Cd-0	Cd-2	Cd-4
Pb-0	Pb-100	Pb-200

Ayrıca hasat edilen bitkilerde toplam ağır metal tayini yapılmıştır. Hasat edilen bitkilerde ağır metal analizleri, yaş yakma yöntemine göre hazırlanmıştır. Elde edilen ekstraksiyonun Kadmiyum (Cd), Krom (Cr) ve Kurşun (Pb) içerikleri, atomik absorpsiyon spektrofotometresi kullanılarak belirlenmiştir (FAO, 1967; Kacar, 1984).

Elde edilen sonuçlara varyans analizi uygulayarak toprak bünyesi, bitki ve doz ile bunların karşılıklı

etkileşimleri (interaksiyon) 3 faktörlü tesadüf parselleri deneme desenine göre incelenmiş ve ortalamalar arasındaki farkı belirlemek için En Küçük Önemli Fark (Least Significant Difference; LSD) testi kullanılmıştır. Söz konusu istatistik analizlerin yapılmasında TARİST istatistik paket programından yararlanılmıştır.

ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Krom uygulamalarının ayçiçeği ve yonca bitkisi üzerindeki etkileri

Farklı 2 bünyeli toprakta ve değişik dozlarda Cr'un uygulandığı şartlarda yetiştirilen ayçiçeği bitkileri saksılardan hasat edildikten sonra kalan topraklardan örnekler alınmış ve toplam ve alınabilir Cr içerikleri belirlenmiştir (Çizelge 3). Her iki toprak bünyesinde de, Cr uygulanan (A1=37.5 mg kg^{-1} ve A2=75 mg kg^{-1}) şartlarda uygulanmayana (A0) göre %100'ün üzerinde toplam Cr bulunmuştur. Bitki tarafından alınabilir Cr içerikleri ise kumlu killi tın bünyeli toprak örneğinin kontrol uygulamasında iz miktarda, A1 ve A2 doz uygulamalarında, 10.30 mg kg^{-1} ve 19.52 mg kg^{-1} olarak saptanmıştır. Killi toprağın kontrol saksılarında iz düzeyde, A1 ve A2 doz uygulamalarında, 7.15 mg kg^{-1} ve 9.71 mg kg^{-1} ölçülmüştür. Bu bağlamda hasat sonrası toprakta kalan alınabilir Cr, kontrol uygulamasına göre kumlu killi tın toprakta ortalama %27, killi tın bünyeli toprakta ise ortalama %16 daha fazla saptanmıştır. Sonuçlar, ilave edilen Cr'un bir bölümünün toprakta kalarak birikim yaptığını, bir bölümünün ise bitki bünyesine alındığını düşündürmektedir.

Çizelge 3. Ayçiçeği hasat sonrası deneme topraklarının toplam ve alınabilir Cr içeriği (mg kg^{-1})
Table 3. Total and available Cr content of the experiment soils after sunflower harvesting

Doz	Toplam Cr			Alınabilir Cr		
	Kumlu killi tın	Killi	Ort.	Kumlu killi tın	Killi	Ort.
A0	11.47c	14.30c	12.89c	0.0001c	0.0001c	0.0001c
A1	57.54b	26.75b	42.14b	10.30b	7.15a	8.73b
A2	75.13a	37.24a	56.18a	19.52a	9.71a	14.62a
Ort.	48.04a	26.09b		9.94a	5.62b	
toprak bünyesi $\text{LSD}_{0.1} = 4.66$			toprak bünyesi $\text{LSD}_{0.1} = 1.40$			
doz $\text{LSD}_{0.1} = 3.29$			doz $\text{LSD}_{0.1} = 0.99$			
bünyexdoz $\text{LSD}_{0.1} = 2.69$			bünyexdoz $\text{LSD}_{0.1} = 0.81$			

Yonca bitkisi de ayçiçeğine benzer şekilde irdelendiğinde, hasat sonrası alınan kumlu killi tın bünyeye sahip toprakta kalan toplam Cr'un, A0 (kontrol) uygulamasına göre diğer uygulamalarda (A1 ve A2) ortalama %90, killi tın bünyede ise %50 daha fazla olduğu belirlenmiştir. Alınabilir Cr içerikleri incelendiğinde ise, kumlu killi tın bünyeli toprak örneğinin A0 uygulamasında iz, A1 ve A2 doz uygulamalarında ise sırasıyla 9.24 mg kg^{-1} ve 18.88 mg kg^{-1} saptanmıştır. Killi toprakta A0'da iz, A1 ve A2 doz

uygulamalarında da sırasıyla 7.33 mg kg^{-1} ve 9.94 mg kg^{-1} ölçülmüştür. Bu sonuçlar hasat sonrası toprakta kalan alınabilir Cr miktarının kontrol uygulamasına göre kumlu killi tın bünyede ortalama %25, killi tın bünyede ise ortalama %17 daha fazla olduğunu göstermiştir. İlave edilen Cr'un bir bölümünün toprakta kaldığı, bir bölümünün ise bitki bünyesine alındığı düşünülmektedir. Kontrol (A0) topraklarındaki Cr içeriklerinin uygulama öncesi topraklarda belirlenen toplam Cr içerikleri ile uyumlu olduğu görülmektedir (Çizelge 4).

Çizelge 4. Yonca hasadı sonrası deneme topraklarının toplam ve alınabilir Cr içeriği (mg kg^{-1})
Table 4. Total and available Cr content of the experiment soils after lucerne harvesting

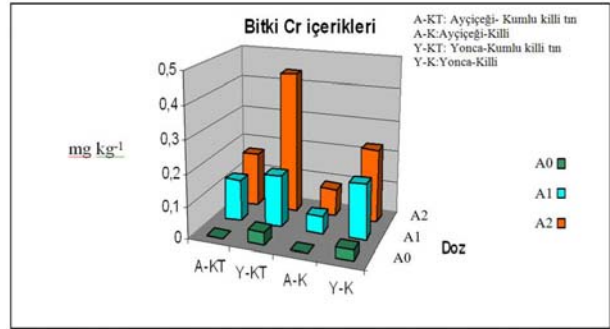
Doz	Toplam Cr			Alınabilir Cr		
	Kumlu killi tın	Killi	Ort.	Kumlu killi tın	Killi	Ort.
A0	10.64c	12.31c	11.47c	0.001c	0.001c	0.001c
A1	49.93b	26.45b	38.19b	9.24b	7.33b	8.28b
A2	74.22a	38.61a	56.42a	18.88a	9.94a	14.41a
Ort.	44.93a	25.79b		9.37a	5.86b	
toprak bünyesi LSD _{0,1} = 3.13			toprak bünyesi LSD _{0,1} = 0.88			
doz LSD _{0,1} = 3.83			doz LSD _{0,1} = 1.08			
bünyexdoz LSD _{0,1} = 5.42			bünyexdoz LSD _{0,1} = 1.52			

Alloway (1990), topraklarda toplam Cr'un 5–1500 mg kg^{-1} arasında değiştiğini bildirmiştir. Mengel ve Kirkby (1987) ise toprakların genelinde Cr içeriklerinin 100 mg kg^{-1} den daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Çok sayıda araştırmacı tarafından, topraklardaki toplam Cr konsantrasyonu için genel kabul gören üst sınır 100 mg kg^{-1} olarak rapor edilmektedir (Kabata Pendias ve Pendias, 1979; Kloke, 1979; Schachtschabel ve Blume, 1984). Ülkemizde de kimi araştırmacılar tarafından toprakların toplam Cr içeriklerinin yeterlilik durumlarının belirlenmesinde 100 mg kg^{-1} kritik olarak kabul edilmektedir (Hakerlerler ve ark., 1994). Denemede kullanılan toprak örneklerinin toplam Cr içeriklerinin, 100 mg kg^{-1} sınır değerinin altında olduğu Çizelge 1'de görülmektedir. Hiç Cr verilmeyen kontrol (A0) uygulamasına göre artan miktarlarda Cr'un verildiği A1 ve A2 uygulamalarında deneme bitkileri hasat edildikten sonra saksı topraklarında oransal olarak daha fazla miktarlarda toplam ve alınabilir Cr saptandığı Çizelge 3'ün incelenmesinden anlaşılmaktadır.

Kaolinit minerallerinin Cr adsorpsiyonunun montmorillonit'ten daha yüksek ve Cr adsorpsiyon reaksiyonunun hızlı olduğu, ılıman bir sıcaklıkta ilk 2 saatte dengeye ulaştığı Zhou ve Chen (2000) tarafından belirlenmiştir. Kaolinit minerallerinin Cr adsorpsiyonunun, pH 2-7 arasında değişen toprak reaksiyonunda, pH yükseldikçe artarken, 7'nin üzerindeki pH'larda ise azalmaya başladığı bildirilmiştir. Ayrıca kil mineralleri ve ağır metaller arasındaki ilişkinin incelendiği diğer bir çalışmada ise montmorillonit, illit ve kaolinitin Cu^{+2} , Pb^{+2} , Zn^{+2} , Cd^{+2} ve Cr^{+3} iyonlarını adsorplaması araştırılmış ve Cr^{+3} 'ün her üç kil minerali tarafından da en çok adsorplanan element olduğunu saptanmıştır (Hongping ve ark., 2000). Deneme topraklarının kil tipi ve miktarları incelendiğinde, kil bünyeli toprağın illit ve kaolinit tipi kili yüksek oranda içermesi, toplam ve alınabilir Cr içeriği ile killi toprakların adsorpsiyon kapasitelerinin yüksekliği arasındaki ilişkiyi de açıklamaktadır.

Ayçiçeği bitkisinin Cr içeriğinin kumlu killi tın bünyeli toprakta 0.13 mg kg^{-1} ile 0.17 mg kg^{-1} , killi

toprakta 0.087 mg kg^{-1} ile 0.053 mg kg^{-1} arasında değiştiği saptanmıştır. Yoncanın Cr içeriği ise kumlu killi tın bünyede 0.16 mg kg^{-1} ile 0.44 mg kg^{-1} , killi toprakta 0.17 mg kg^{-1} ile 0.23 mg kg^{-1} arasında bulunmuştur. Bitkilerin farklı Cr alınımı ile ilgili grafiksel görünüm Şekil 1'de izlenmektedir.



Şekil 1. Yonca ve ayçiçeği bitkilerinin deneme topraklarından Cr alınımı

Figure 1. Cr uptake of sunflower and lucerne from the experimental soils

Lepp (1987) ağaçlar için toksisite görülebilen kritik Cr aralığını 0.20 ile 0.60 mg kg^{-1} olarak bildirmektedir. Almanya Tarımsal Araştırma Kurumları Birliği verilerine göre bitkilerdeki Cr konsantrasyonları 1-2 mg kg^{-1} arasında değişmektedir (Anonim, 1982). Farklı literatürlerde bitkilerin Cr içeriklerinin çok geniş aralıklarda değişebildiği belirtilmektedir (Kloke, 1979; Kabata Pendias ve Pendias, 1984; Elmacı, 1995). Bildirilen sınır değerleri ile ayçiçeği ve yonca bitkilerinin Cr içerikleri karşılaştırıldığında, bulgularımızın genelde bildirilenlerin altında olduğu ancak artan dozlarla özellikle kumlu topraklarda yetiştirilen yonca bitkisinin Cr içeriğinin ayçiçeğine göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

Toksik seviyelerde Cr'a maruz kalan bitkilerde, fotosentez ve solunum gibi önemli metabolik olayların olumsuz etkilenmesinden dolayı bitki büyümesinde azalma görülmektedir. Ayrıca yaprak büyümesi (yaprak yüzey alanı gelişimi ve toplam yaprak sayısını) üzerine etki ederek daha küçük yaprak oluşumuna neden olmaktadır (Terzi ve Yıldız, 2011).

Kurşun uygulamalarının ayçiçeği ve yonca bitkisi üzerindeki etkileri

Ayçiçeği bitkilerinin hasatı sonrasında uygulama yapılan her bir saksıdan alınan toprak örnekleri, Çizelge 5'de görüldüğü gibi toplam ve alınabilir Pb içerikleri açısından incelenmiştir. Kumlu killi tın bünyeye sahip toprakta hasat sonrası kalan toplam Pb miktarı, hiç Pb verilmeyen kontrol (A0) uygulamasına göre, Pb verilen diğer uygulamalarda (A1=100 mg kg⁻¹ ve A2= 200 mgkg⁻¹) ortalama olarak %69, killi tın bünyede ise %38 daha fazla bulunmuştur. Bitki tarafından alınabilir Pb içerikleri incelendiğinde, kumlu tın toprağın A0 uygulamasında 2.41 mg kg⁻¹, A1 ve A2 doz uygulamalarında ise sırasıyla 15.03 mg kg⁻¹ ve 33.37 mg kg⁻¹ saptanmıştır. Killi toprakta A0 saksılarında 2.82 mg kg⁻¹, A1 ve A2 doz uygulamalarında da 7.21 mg kg⁻¹ ve 8.43 mg kg⁻¹ ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre hasat sonrası toprakta kalan alınabilir haldeki Pb'un, kontrol uygulaması ile karşılaştırıldığında kumlu killi tın toprak bünyesinde ortalama %16, killi tın bünyede ise %6 daha fazla olduğu saptanmıştır. Bu bağlamda Pb'un bir bölümünün toprakta kaldığı, bir bölümünün ise bitki

bünyesine alındığı düşünülmektedir. Kontrol (A0) saksılarında bulunan Pb içerikleri ile uygulama öncesi topraklarda belirlenen toplam Pb içeriklerinin benzer olduğu görülmektedir.

Yonca denemesinde de hasat sonrası saksılardan toprak örnekleri alınmış ve ayçiçeği bitkisine benzer şekilde incelenmiştir (Çizelge 6). Hiç Pb'nun verilmediği kontrol şartlarına (A0) göre durum irdelendiğinde, kumlu killi tın bünyeli topraklarda hasat sonrası kalan toplam Pb miktarı ortalama %69, killi tın bünyede ise %38 daha fazla bulunmuştur. Alınabilir Pb içerikleri araştırıldığında ise, kumlu tın toprağın Pb verilmeyen kontrol (A0) uygulamasında ortalama 2.40 mg kg⁻¹, Pb verilen A1 ve A2 uygulamalarında ise sırasıyla 14.97 mg kg⁻¹ ve 31.24 mg kg⁻¹ saptanmıştır. Killi toprağın A0 saksılarında 2.78 mg kg⁻¹, A1 ve A2 uygulamalarında ise sırasıyla 6.94 mg kg⁻¹ ve 8.14 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Bu bulgulara ve kontrol şartlarına göre, hasat sonrası toprakta kalan alınabilir haldeki Pb'un kumlu killi tın bünyeli toprakta ortalama %15, killi tın bünyelide ise ortalama %6 daha fazla olduğu saptanmıştır.

Çizelge 5. Ayçiçeği hasadı sonrası deneme topraklarının toplam ve alınabilir Pb içeriği (mg kg⁻¹)

Doz	Toplam Pb			Alınabilir Pb		
	Kumlu killi tın	Killi	Ort.	Kumlu killi tın	killi	Ort.
A0	20.75c	25.19c	22.97c	2.41c	2.82b	2.61c
A1	82.63b	49.41b	66.02b	15.03	7.21a	11.12b
A2	153.87a	83.31a	118.59a	33.37a	8.43a	20.90a
Ort.	85.75a	52.64b		16.93a	6.16b	
toprak bünyesi LSD _{0.1} = 1.94			toprak bünyesi LSD _{0.1} = 1.94			
doz LSD _{0.1} = 1.37			doz LSD _{0.1} = 1.37			
bünyexdoz LSD _{0.1} = 1.12			bünyexdoz LSD _{0.1} = 1.12			

Çizelge 6. Yonca hasadı sonrası deneme topraklarının toplam ve alınabilir Pb içeriği (mg kg⁻¹)

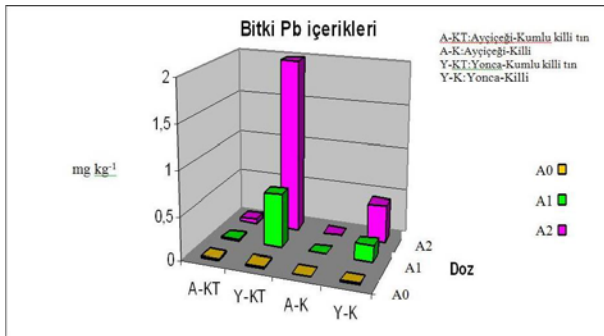
Doz	Toplam Pb			Alınabilir Pb		
	Kumlu killi tın	Killi	Ort.	Kumlu killi tın	Killi	Ort.
A0	20.14c	25.31c	22.73c	2.40c	2.78b	2.59c
A1	82.04b	48.32b	65.18b	14.97b	6.94a	10.95b
A2	151.02a	82.44a	116.73a	31.24a	8.14a	19.69a
Ort.	84.40a	52.02b		16.20a	5.95b	
toprak bünyesi LSD _{0.1} = 2.51			toprak bünyesi LSD _{0.1} = 1.26			
doz LSD _{0.1} = 3.07			doz LSD _{0.1} = 1.55			
bünyexdoz LSD _{0.1} = 4.34			bünyexdoz LSD _{0.1} = 2.19			

Bergmann (1993), kirlenmemiş toprakların toplam Pb içeriklerinin 1–20 mg kg⁻¹, Alloway (1990) ise 2–300 mg kg⁻¹ olarak bildirmişlerdir. Kabata Pendias ve Pendias (1979), Kloke (1982) ve Schachtschabel ve Blume (1984) tarafından, toprakların Pb birikiminin göstergesi olarak 100 mg kg⁻¹, Kitagishi ve Yamane (1981) ise 400 mg kg⁻¹, değerlerini

önermektedirler. Ülkemizde tarım topraklarının Pb içeriğini değerlendirmek üzere yapılan çalışmalarda sınır değeri olarak 100 mg kg⁻¹ kabul edilmiştir (Hakerlerler ve ark., 1994; Elmacı, 1995). Bu değerlere göre deneme topraklarının toplam Pb içeriğinin normal ve sınır değerleri içerisinde olduğu görülmektedir.

İki değişik kil minerali olan illit ve baydellit kullanılarak Pb elementinin fiksasyonu ile ilgili yapılmış bir çalışmada, her iki kil mineralinin farklı yüzey alanlarına sahip olmasına rağmen Pb fiksasyonlarının hemen hemen aynı belirlendiği, immobilizasyonu etkileyen ana faktörün yüzey alanı olmadığı asıl nedenin toprak pH'sı na bağlı bulunduğu ve pH düştüğünde immobilizasyonun da azaldığı bildirilmiştir (Luczak, 1998). Kil mineralleri ve ağır metaller arasındaki ilişkiyi inceleyen diğer bir çalışmada ise Pb⁺²'nin illit ve kaolinite büyük bir eğilim gösterdiği ifade edilmiştir (Hongping ve ark., 2000). Uluocak ve Güzel (2006) tarafından yapılan bir çalışmada ise smektit, illit ve kaolinit içeriği yüksek olan 3 farklı toprakta ve pH'nın 5 olduğu durumda Pb adsorpsiyonunun arttığı, pH 7'de ise belirli bir dozdan sonra çözeltide çökelmeler görüldüğü bildirilmiştir. Bu durum Pb konsantrasyonunun yüksek pH düzeylerinde çözünmez bileşiklere dönüştüğü şeklinde değerlendirilmiştir. Ayrıca, kaolinit içeriği yüksek olan toprakta yetişen bitkiler, smektit ve illit içeriği yüksek olan topraklara göre daha yavaş bir gelişim göstermiştir. Çalışmamızda da killi bünyeli deneme toprağının yüksek oranda smektit, illit ve kaolinit tipi kil minerali içermesi nedeni ile toplam ve alınabilir Pb içerikleri ile killi toprakların adsorpsiyon kapasitelerinin yüksekliği arasındaki ilişkinin açıklanması amaçlanmıştır.

Ayçiçeği bitkisinin Pb içeriği kumlu toprakta 0.011 mg kg⁻¹ ile 0.045 mg kg⁻¹, killi toprakta 0.001 mg kg⁻¹ ile 0.005 mg kg⁻¹ arasında değiştiği görülmektedir. Yoncanın Pb içerikleri ise kumlu toprakta 0.02 mg kg⁻¹ ile 1.99 mg kg⁻¹, killi toprakta 0.01 mg kg⁻¹ ile 0.43 mg kg⁻¹ arasında bulunmuştur. Bitkilerin farklı Pb alınımı ile ilgili grafiksel görünüm Şekil 2'de izlenmektedir.



Şekil 2. Yonca ve ayçiçeği bitkilerinin deneme topraklarından Pb alınımı

Figure 2. Pb uptake of sunflower and lucerne from the experimental soils

Haktanır (1987) kirlenmenin olmadığı topraklarda yetişen bitkilerde Pb'nun 10 mg kg⁻¹ olabileceğini rapor etmektedir. Almanya Tarımsal Araştırma Kurumları Birliği (Anonim, 1982)'de otsu bitkilerde Pb'nun

67 mg kg⁻¹, diğer bitkilerde de 10-20 mg kg⁻¹ arasında bulunabileceğine işaret etmektedir. Kabata Pendias and Pendias (1992) bitkilerde doğal olarak 0.1-10 mg kg⁻¹ arasında Pb bulunabileceğini bildirmişlerdir. Scheffer and Schachtschabel (1989)'a göre bitkilerdeki Pb elementi sınır değeri 6 mg kg⁻¹'dir. Literatürlerde genel olarak çok geniş aralıklarda değişen bitki Pb değerlerine işaret edilmekle birlikte çalışmamızda yetiştirilen ayçiçeği ve yonca bitkilerinin Pb içeriklerinin bildirilen değerlerin üzerine çıkmadığı görülmektedir. Ancak yoncanın Pb içeriğinin ayçiçeği bitkisine göre ortalama %40-50 oranında yüksek olması dikkat çekicidir. Kurşun bitkiler için gerekli bir element olmamasına rağmen tüm bitkilerde doğal olarak bulunmaktadır (Kabata-Pendias ve Pendias, 1992). Wang ve ark. (2011) tarafından 4 farklı düzeyde ağır metal içeren toprakta ürün yetiştirilerek yapılan saksı denemesinde, ürünün farklı aksamlarındaki ağır metal konsantrasyonlarının farklı ve sıralamanın kök>gövde>tohum, yaprak olduğu, ağır metal alımı sıralamasının ise Zn,Cr>Cd,Cu>Pb şeklinde bulunduğu bildirilmiştir. Kurşun içeriği yüksek olan alanlarda yetişen bitkilerde kök uzaması ve biyokütleda azalma, klorofil biyosentezinde engellenme, bazı enzim aktivitelerinde tetiklenme veya gerilemeler olduğu (Fargasova, 1994; Miranda ve Ilangovan, 1996) saptanmıştır.

Kadmiyum uygulamalarının ayçiçeği ve yonca bitkisi üzerindeki etkileri

Bu çalışmada kullanılmak amacıyla alınan iki farklı bünyeli toprağın toplam ve alınabilir Cd içerikleri iz miktarda bulunmuştur (Çizelge 1).

Ayçiçeği bitkilerinin hasadı sonrasında her bir uygulama saksısından toprak örneği alınmış ve toprakta kalan toplam ve alınabilir Cd içerikleri belirlenmiştir (Çizelge 7). Kumlu killi tın bünyeli toprağa A1 (2 mg kg⁻¹) ve A2 (4 mg kg⁻¹) miktarlarında Cd uygulandıktan sonra, hasat sonrası toprakta kalan toplam Cd içeriğindeki fazlalık, hiç Cd verilmeyen kontrol (A0) şartlarına göre ortalama %65, killi tın bünyede ise %54 fazla bulunmuştur. Bitki tarafından alınabilir Cd içerikleri incelendiğinde, kumlu killi tın toprağın A0 uygulamasında iz, A1 ve A2 doz uygulamalarında da 0.43 mg kg⁻¹ ve 0.59 mg kg⁻¹ Cd kaldığı saptanmıştır. Killi toprak uygulamasının A0 saksılarında iz, A1 ve A2 doz uygulamalarında ise 0.40 mg kg⁻¹ ve 0.64 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Kontrol (A0) saksılarında bulunan Cd içerikleri ile uygulama öncesi topraklarda ölçülen toplam Cd içeriklerinin benzer olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre deneme bitkilerinin hasadı sonrasında toprakta kalan alınabilir haldeki Cd'un kontrol uygulamasına göre kumlu killi tın toprak bünyesinde ortalama %19, killi tın toprakta ise ortalama %18 daha fazla kaldığı saptanmıştır.

Çizelge 7. Ayçiçeği hasadı sonrası deneme topraklarının toplam ve alınabilir Cd içeriği (mg kg^{-1})
Table 7. Total and available Cd content of the experiment soils after sunflower harvesting

Doz	Toplam Cd			Alınabilir Cd		
	Kumlu killi tın	killi	Ort.	kumlu killi tın	killi	Ort.
A0	0.001c	0.001c	0.002c	0.001c	0.001c	0.001b
A1	1.23b	1.09b	1.16b	0.43b	0.40b	0.42a
A2	2.73a	2.07a	2.40a	0.59a	0.64a	0.61a
Ort.	1.32a	1.05b		0.35	0.34	
toprak bünyesi $\text{LSD}_{0.1} = 0.10$			toprak bünyesi $\text{LSD}_{0.05} = 0.15$			
doz $\text{LSD}_{0.1} = 0.12$			doz $\text{LSD}_{0.05} = 0.25$			
bünyexdoz $\text{LSD}_{0.1} = 0.17$			bünyexdoz $\text{LSD}_{0.1} = 0.35$			

Yonca bitkisi yetiştirilen uygulamalarda da durum değerlendirilmesi yapabilmek için, hasat sonrası saksılardaki kumlu killi tın ve killi bünyeli topraklardan örnekler alınmış ve toplam ve alınabilir Cd miktarları belirlenmiştir (Çizelge 8). Her iki toprakta (kumlu killi tın ve killi tın) ve Cd uygulanan şartlarda (A1 ve A2) toplam Cd içeriği, Cd verilmeyen kontrol (A0) uygulamasına göre ortalama %58 daha fazla bulunmuştur.

Alınabilir Cd içerikleri incelendiğinde, kumlu tın toprak örneğinin A0 saksılarında iz, A1 ve A2 doz uygulamalarında da 0.52 mg kg^{-1} ve 0.59 mg kg^{-1} saptanmıştır. Killi toprağın A0 saksılarında alınabilir Cd iz, A1 ve A2 (4 mg kg^{-1}) doz uygulamalarında ise sırasıyla 0.46 mg kg^{-1} ve 0.58 mg kg^{-1} olarak belirlenmiştir. Kadmiyumun verilmediği kontrol şartlarına göre alınabilir haldeki Cd'un kumlu killi tın ve killi tın toprakların A1 dozunda ortalama %25, A2 dozunda ise ortalama %15 daha fazla kaldığı saptanmıştır.

Toprak örneklerinde Cd toksisite sınır değerleri, Kloke (1982) tarafından 3 mg kg^{-1} , Feige ve Grunwaldt (1977) tarafından da 100 mg kg^{-1} olarak bildirmiştir. Toprak örnekleri 3 mg kg^{-1} sınır değeri göz önüne alınarak incelendiğinde, örneklerimizin toplam Cd

içeriğinin bu sınır değerinin altında olduğu belirlenmiştir. Uluocak ve Güzel (2006) tarafından yapılan çalışmada, pH 5 ve pH 7'de smektit tipi kil içeren toprakların Cd adsorpsiyon düzeylerinin illit ve kaolinit tipi kil içeren topraklardan daha yüksek olduğu, illit tipi kil içeren toprağın kaolinit tipi kil içeren topraktan daha yüksek düzeyde Cd adsorpsiyon kapasitesine sahip bulunduğu bildirilmiştir. Smektit tipi kil içeren toprakların kil fraksiyonları tarafından adsorbe edilen Cd düzeyleri, hem pH 5 ve hem pH 7'de illit ve kaolinit tipi kil içeren topraklardan daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca kil yüzdesi ve organik maddesi düşük kumlu toprakların Cd tutma kapasiteleri üzerine yapılan diğer bir çalışmada, toprak pH'sının yükselmesiyle bitkilerin Cd alımında bir artış belirlenmiştir (Stevens, 2003). Deneme topraklarının Cd içerikleri değerlendirildiğinde, A1 (15 mg kg^{-1}) ve A2 (30 mg kg^{-1}) doz uygulamalarında topraktaki Cd'un doz artışına paralel olarak arttığı ancak her iki dozda da smektit tipi kil içeren killi bünyeli toprağın Cd içeriğinin, kil içeriği düşük olan kumlu tın bünyeli toprağa göre daha düşük olduğu görülmektedir.

Çizelge 8. Yonca hasadı sonrası deneme topraklarının toplam ve alınabilir Cd içeriği (mg kg^{-1})
Table 8. Total and available Cd content of the experiment soils after lucerne harvesting

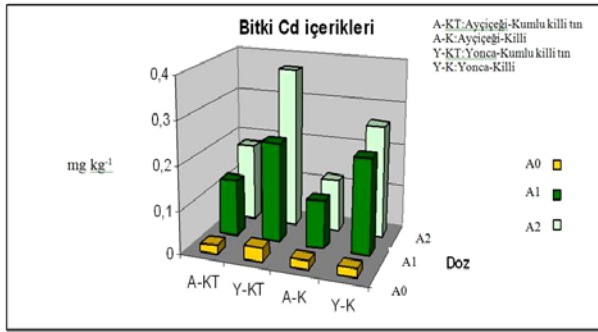
Doz	Toplam Cd			Alınabilir Cd		
	Kumlu killi tın	Killi	Ort.	Kumlu killi tın	Killi	Ort.
A0	0.001c	0.001c	0.001c	0.001c	0.001c	0.001c
A1	1.17b	1.16b	1.16b	0.52b	0.46b	0.49b
A2	2.36a	2.06a	2.21a	0.59a	0.58a	0.71a
Ort.	1.18a	1.07b		0.85a	0.35b	
toprak bünyesi $\text{LSD}_{0.1} = 0.09$			toprak bünyesi $\text{LSD}_{0.1} = 0.05$			
doz $\text{LSD}_{0.05} = 0.15$			doz $\text{LSD}_{0.1} = 0.06$			
bünyexdoz $\text{LSD}_{0.05} = 0.15$			bünyexdoz $\text{LSD}_{0.1} = 0.08$			

Ayçiçeği bitkisinin Cd içeriği kumlu killi tın toprakta 0.02 mg kg^{-1} ile 0.18 mg kg^{-1} , killi toprakta 0.02 mg kg^{-1} ile 0.12 mg kg^{-1} arasında değiştiği görülmektedir. Yoncanın Cd içeriği ise kumlu toprakta 0.03 mg kg^{-1} ile 0.37 mg kg^{-1} , killi toprakta 0.02 mg kg^{-1} ile 0.21 mg kg^{-1}

arasında bulunmuştur. Bitkilerin farklı Cd alınimleri ile ilgili grafiksel görünüm Şekil 3'de izlenmektedir.

Anonim (1982) bitkilerde $5-10 \text{ mg kg}^{-1}$ Cd elementi bulunduğunu rapor etmektedir. Haktanır (1987) bitkiler için Cd kritik değerini 0.05 mg kg^{-1} olarak

bildirmektedir. Alloway (1990) ise bitkilerin Cd içeriklerinin 0.1-1 mg kg⁻¹ arasında olduğunu belirtmiştir. Farklı bölgelerden toplanan buğday, patates ve bazı sebzelerdeki Cd kirliliğinin incelendiği bir çalışmada, Cd birikiminde, Zn beslenmesinin ve toprak tuzluluğunun rolü değerlendirilmiş, sebzelerde ve patatesteki çok yüksek Cd saptanmış ve Zn eksikliğinde hem Cd adsorpsiyonu hem de taneye Cd taşınımının arttığı bildirilmiştir (Derici ve ark., 2002). Amerikalı araştırmacılar, buğday tanelerindeki Cd miktarını 0.057–0.130 mg kg⁻¹ olarak saptamışlardır. Genelde bitkilerin Cd kapsamı 0.5 mg kg⁻¹'in altındadır.



Şekil 3. Yonca ve ayçiçeği bitkilerinin deneme topraklarından Cd alınımı

Figure 3. Cd uptake of sunflower and lucerne from the experimental soils

Bitkilerin Cd alımının incelendiği bir çalışmada, 40 yıldır atık su ile sulanan topraklarda 2 yıl boyunca patates, şeker pancarı ve buğday yetiştirilmiş ve bitkilerin Cd içerikleri ile topraktaki Cd miktarı arasında doğrusal bir ilişkinin varlığına işaret edilmiştir. Ayrıca havanın durumuna göre Cd alımında değişimler olduğu ve Cd alımında terlemenin önemli bir rolünün bulunduğu belirtilmiştir (Ingwersen ve Strect, 2005). Bitkilerdeki Cd toksisitesinin en belirgin özellikleri büyümenin yavaşlaması ve klorozdur. Yapılan bir çok araştırma Cd'un fitotoksik olduğu ve büyümeyi engellediği bildirilmiştir (Wu ve ark., 2004; Nyquist and Greger, 2007). Ayrıca bitkinin lipid kompozisyonunu değiştirdiği ve hatta bitkinin ölümüne bile yol açtığı saptanmıştır (Quariti ve ark., 1997).

SONUÇ

Bünyeleri ve buna bağlı olarak diğer bazı fizikokimyasal özellikleri farklı olan iki tarım toprağına uygulanan değişen dozlardaki ağır metallerin, ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) ve yonca (*Medicago sativa* L.) bitkilerinin gelişimi, ağır metal içerikleri ve topraktaki birikim düzeyleri üzerine olan etkileri belirlenmeye

çalışılmıştır. Test bitkisi olarak ayçiçeği ve yoncanın seçilmesinin nedeni ise hem hayvan hem de insan besin zincirine dolaylı yada doğrudan katılmalarıdır. Ayrıca çalışmada toprakların fizikokimyasal özellikleri ile ağır metallerin bitkiler tarafından alım ilişkileri değerlendirilerek fitoremidasyonda bu bitkilerin kullanılabilirliğinin ortaya konulması da amaçlanmıştır.

Killi bünyeli toprağın, %41-46 smektit, %30-35 illit, %15-20 kaolonit ve %7-12 klorit kil tipine sahip olduğu saptanmıştır. Kumlu tın bünyeli toprağın ise %62-67 illit, %16-21 smektit, %17-22 kaolonit+klorit tipi mineraller içerdiği belirlenmiştir. Üç farklı dozda ağır metal uygulanan bu topraklarda hasat sonrası yapılan toplam ve alınabilir ağır metal ölçümlerinde, özellikle smektit kil içeriği yüksek olan killi bünyeli toprağın ağır metal (Cr, Pb ve Cd) adsorpsiyon düzeylerinin kumlu tın bünyeli topraktan daha yüksek olduğu saptanmıştır. Her iki toprakta yetiştirilen ayçiçeği ve yonca bitkilerinin ağır metal konsantrasyonları incelendiğinde, kumlu killi tın bünyeli toprakta yetişen bitkilerde killi bünyeli topraklarda yetişen bitkilere göre daha yüksek oranda ağır metal birikimi olmuştur. Bitki tarafından alınabilir formdaki ağır metal içeriklerinin kumlu tın bünyeli toprakta daha yüksek olması nedeni ile böyle bir sonucun ortaya çıktığı düşünülmektedir. Bitki kök gelişimi üzerine yüksek dozlarda verilen ağır metallerin olumsuz etkili olduğu da belirlenmiştir. Kontrol bitkilerinin köklerine oranla ağır metalli toprakta yetişen bitkilerin köklerinin daha az geliştiği görülmüştür. Ayçiçeği ve yonca bitkileri ağır metal alımı açısından karşılaştırıldığında, yoncanın daha fazla ağır metal alabildiği saptanmıştır. Yüksek besin içeriği ile yem bitkileri içerisinde önemli bir yere sahip olan yoncanın aynı zamanda ağır metal (Cr, Cd, Pb) alım potansiyelinin de yüksek olması dikkat çekicidir. Yonca akümülatör özelliği ile ağır metalleri farklı organlarında biriktirerek toprakların ağır metallerce kirlenmesini önlemektedir. Ancak, yem bitkisi olma özelliği nedeni ile biriktirdiği bu metallerin besin zincirine kolay ve hızlı bir şekilde girmesi söz konusudur. Bu nedenle yoncanın fitoremidasyon amaçlı kullanımına dikkat edilmesi gerektiği önerilmektedir.

TEŞEKKÜR

Araştırmanın yapılması için mali yönden katkı sağlayarak 2010-ZRF-066 no'lu projenin yürütülmesine imkan tanıyan "Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu"na desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Alloway, B. J. 1990. Heavy Metals in Soils, Blackie and Sou Ltd., Glasgow and London.
- Anonim. 1982. Schwermetalle in der Nahrung-Akute gefaehrdung für Mensch und Tier Ergebnisse des Info Tages 1982. VDLUFA-Schriftenreihe Heft 6.
- Anonim. 2005. Toprak kirliliği kontrolü yönetmeliği. Resmi Gazete, sayı: 25831 Ankara.
- Bergmann, W. 1993. Ernährungsstörungen bei kulturpflanzen, dritte erweiterte auflage, Gustav Fisher Verleag Jena, Stuttgart.
- Black, C.A. 1965. Methods of Soil Analysis, Part, 1-2., American Society of Agronomy, INC., Publisher. Madison, Wisconsin USA. P: 1372-1376
- Çolak, M. 2012. Heavy metal concentrations in sultana-cultivation soils and sultana raisins from Manisa (Turkey). Environ Earth Sci., 67:695-712.
- Derici, M. F., Evliya, H., Ağca, N., Özkutlu, F., Eker, S. ve Öztürk, L. 2002. Çukurova Bölgesinde toprak ve bitkilerde kadmiyum konsantrasyonunun araştırılması ve bitkilerde kadmiyum birikimini etkileyen faktörlerin toprak analizleri ve sera denemeleri ile incelenmesi. TOGTAG-TARP-2382 Nolu Proje Sonuç Raporu.
- Elmacı, Ö. L. 1995. Güney Marmara bölgesi sanayi domates alanlarındaki toprak, sulama suyu ve domates (*lycopersicum esculentum*) meyvelerinde ağır metal içeriklerinin belirlenmesi. E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi. İzmir.
- FAO, 1967. Fisheries Technical Paper. No:158. Roma.
- Fargasova, A. 1994. Effect of Pb, Cd, Hg, As and Cr on germination and root growth of *Sinapis alba* seeds. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 52, 452-456
- Fiege, N., Grunwaldt, H.S. 1977. Einordnung von abfallstoffen in belastungsgrade im erlass des hessischen ministers für. Landsentwicklung. Umwelt. Landwirtschaft Forsch (4)-34179.
- Gür, N., Topdemir, A., Munzuroğlu, Ö ve Çobanoğlu, D. 2004. Ağır Metal İyonlarının (Cu^{+2} , Pb^{+2} , Hg^{+2} , Cd^{+2}) *Clivia* sp. Bitkisi Polenlerinin Çimlenmesi ve Tüp Büyümesi Üzerine Etkileri. F.Ü. Fen ve Matematik Bilimleri Dergisi, 16(2), 177-182.
- Hakerlerler, H., Anaç, D., Okur, B. ve Saatçi, N. 1994. Gümüldür ve Balçova'daki satsuma mandarin bahçelerinde ağır metal kirliliğinin araştırılması. E.Ü. Araştırma fonu proje no: 92-ZRF-47. Bornova-İzmir.
- Haktanır, K. 1987. Çevre kirliliği. A.Ü. Ziraat Fakültesi Ders Notu, Teksir No:140.
- Hongping, H., Jiugau, G., Xiande, X., Jinlian, P., 2000. Experimental Study of the Selective Adsorption of Heavy Metals onto Clay Minerals. Chinese Journal of Geochemistry. 19(2):105-109.
- Ingwersen, J., Strect, T. 2005. A Regional-scale study on the crop uptake of cadmium from sandy soils: measurement and modeling. Journal of Environmental Quality. 34: 1026-1035.
- Kabata Pendias, A. ve Pendias, A. 1979. Current problems in chemical degradation of soils. paper presented at the Conf. on Soil and Plant Analyses in Environment Protection. Falenty/Warsaw. October 29.7.
- Kabata Pendias, A. ve Pendias, H. 1992. Trace elements in soils and plants, 2 nd. Edition CRC Press, Boca Raton, Ann Arbor London
- Kacar, B. 1984. Bitki besleme. A.Ü. Ziraat Fak. Yayınları. 899. 2. Bas. A.Ü. Basımevi, Ankara.
- Kacar, B. 1995. Bitki ve toprağın Kimyasal Analizleri III. A.Ü.Z. F. Eğitim Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları, No:3, S:255
- Kennedy, C. D., Gonsalves, F.A.N. 1987. The action of divalent zinc, cadmium, mercury, copper and lead on the trans-root potential and efflux of excised roots, J.Exp. Bot., 38, 800-817.
- Kick, H., Bürger, H., Jommer, K. 1980. Gesamtgehalte an Pb, Zn, Sn, As, Cd, Hg, Cu, Ni, Cr und Co in Landwirtschaftlich und Görtnerisch Genutzen Böden NordrheinWestfalen, Landwirtschaftliche Forschung, No:33(1):12-22.
- Kitagishi, K. and Yamane, I. 1981. Heavy metal pollution in soils of Japan. Japon Science Society Press., Tokyo, 302 p.
- Kloke, A. 1979. Content of arsenic, cadmium, chromium, fluorine, lead, mercury and nickel in plants grown on contaminated soil. United Nations-ECE Symp. on Effect of Air-Borne. Pollution on Vegetation. Warsaw. August 20. 192 p.
- Kloke, A. 1982. Erläuterungen zur klärsch lamm verordnung and wirtsch. Forsch.. Soderhs. 39: 302-308.
- Lee, M., Yang, M. 2010. Rhizofiltration using sunflower (*helianthus annuus* L.) and bean (*phaseolus vulgaris* L. var. *vulgaris*) to remediate uranium contaminated groundwater, Journal of Hazardous Materials, 173, 589-596
- Lepp, N.M. 1987. Heavy metals in soils. Edited by B.J. Alloway. John Wiley & Sons. New York.
- Luczak, B., 1998. Fixation of Pb-Cations By two Different Types of Clays from the Polish Lowland in Warsaw's Surroundings.
- Mengel, K., Kirkby, E. A. 1987. Principles of plant nutrition. 4th Edition. International Potash Institute, IPI, Bern, Switzerland. 685 p
- Miranda, M.G., Ilangovan, K. 1996. Uptake of lead by *Lemna gibba* L. influence on specific growth rate and basic biochemical changes. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 56, 1000-1007
- Nyquist, J., Greger, M. 2007. Uptake of Zn, Cu, and Cd in metal loaded *Elodea canadensis*. Environ. Exp. Bot. 60, 219-226.
- Öktiren Asri, F., Sönmez, S. 2006. Ağır metal toksitesinin bitki metabolizması üzerine etkileri, Derim 23 (2), 36-45 (2006).
- Quariti, O., Boussama, N., Zarrouk, M., Cherif, A., Ghorbal, M. H. 1997. Cadmium and copper induced changes in tomato membrane lipids. Phytochemistry 45, 1343-1350.
- Schachtschabel, P., Blume, H.P. 1984. Hartge. K.H. und Schwertmann. U. Lehrbuch der Bodenkunde. F. Enke Verlag. Stuttgart. 441 p.
- Scheffer, F. and Schachtschabel, P. 1989. Lehrbuch der bodenkunde. 12 Aufl.. Ferdinand Enke Verlag. Stuttgart. 442 P.
- Slawin, W. 1955. Atomic Absorbition Spectroscopy Interscience Publishers. New York-London Sydney.
- Stevens, D., 2003. Managing Cadmium in Vegetables. Vegnotes July.
- Terzi, H., Yıldız, M. 2011. Ağır metaller ve fitoremediasyon: fizyolojik ve moleküler mekanizmalar. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, AKÜ- FEBİD, 11, 011001 (1-22).
- Uluocak Güzel, E. 2006. Ağır metallerin kil mineralleri tarafından tutulması ve bitkilerce alımı, Sütçü İmam Üniversitesi, Toprak anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Wang, X., Song, Y., Ma, Y., Zhuo, R. ve Jin, L. 2011. Screening of Cd tolerant genotypes and isolation of metallothionein genes in alfalfa (*Medicago Sativa* L.). Environmental Pollution, 159, 3627-3633.
- Wu, F. B., Chen, F., Wei, K., Zhang, G. P. 2004. Effect of cadmium on free amino acid, glutathione and ascorbic acid concentrations in two barley genotypes (*Hordeum vulgare* L.) differing in cadmium tolerance. Chemosphere 57, 447-454.
- Zhou, D., Chen, H. 2000. Cr Adsorption on four typical soil colloids: equilibrium and kinetics Journal of Environmental Sciences. 12: 325-329.