

EVSEL KARAKTERLİ ATIKSU ARITMA ÇAMURLARININ ÇİM BİTKİSİ AĞIR METAL (MN, ZN, Nİ, CU, CR, PB, CD) İÇERİĞİ ÜZERİNE ETKİSİ

Murat KÜÇÜKHEMEK¹, Kemal GÜR², Ali BERKTAY³

¹KOSKİ Genel Müdürlüğü, Arıtma Tesisleri Dairesi Başkanlığı, Selçuklu/Konya

²Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bölümü, Kampüs/Konya

³Selçuk Üniversitesi, Müh. Mim. Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kampüs/Konya

ÖZET: Bu çalışma, organik madde ve besin elementleri açısından fakir bir toprağa, farklı düzeylerde uygulanan evsel karakterli arıtma çamurunun, yetiştirilen çim bitkisi (*Mixture 4M "Star" 0126827*) ağır metal (Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Pb, Cd) içerikleri üzerine etkisinin belirlenmesi amacıyla yürütülmüştür. Çalışmada arıtma çamuru, dört farklı düzeyde (0/kontrol, 40, 80 ve 120 ton/ha), iki yıl süreyle arazi şartlarında uygulanmıştır. Elde edilen iki yıllık verilere göre; arıtma çamuru uygulamalarının kontrole göre, çim bitkisinin Zn, Ni, Cu, Cr ve Pb içeriklerini artırdığı, bu artışın en fazla Pb, Zn ve Cr içeriklerinde olduğu, Mn içeriğinde ise düşüşe neden olduğu tespit edilmiştir. Ancak arıtma çamuru uygulamalarıyla çim bitkisi ağır metal içeriklerinde görülen artışların, bitkiler için yeterli aralıklarda kaldığı ve toksik değerlerin oldukça altında olduğu görülmüştür. Kontrol uygulamasında yetiştirilen çim bitkilerinde çinko eksikliği tespit edilirken, arıtma çamuru uygulanan tüm düzeylerde (40, 80 ve 120 t/ha) çinko içeriklerinin yeterli değerlerde olduğu görülmüştür. Araştırma sonucunda, endüstriyel kaynaklı deşarj içermeyen arıtma çamurunun besin elementlerince fakir bir toprakta 40-120 t/ha düzeylerinde toprak iyileştiricisi olarak kullanılmasıyla yetiştirilen çim bitkisinde ağır metallerin kabul edilebilir seviyelerde olduğu ve özellikle kontrol uygulamasında görülen Zn eksikliğinin giderildiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Arıtma çamuru, toprak, çim bitkisi, ağır metal.

Effects of Municipal Sewage Sludge on Grass Plant Heavy Metal (Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Pb, Cd) Contents

ABSTRACT: This field experiment was conducted to determine the effects of municipal sewage sludge, on heavy metal (Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Pb and Cd) contents of the pasture grass (*Mixture 4M "Star" 0126827*) which grown in poor soil. The sewage sludge was incorporated into the soil at four different rates (0 as a control, 40, 80, and 120 t/ha) with three replications as a factorial experimental design. The experiment was run for two years. It was determined that sewage sludge applications have increased the grass plant Zn, Ni, Cu, Cr and Pb contents on the plant samples but, the grass plant Mn contents were decreased with the sewage sludge applications as compared to the control. It was observed that grass plant samples Zn deficiency occurred in the control treatments. However, levels of Zn in the grass plant samples amended with the sewage sludge were sufficient levels. Therefore, it was suggested that 40-120 t/ha levels of sewage sludge, with no industrial input, could be incorporated as a source of organic material for this kind of soil and also for this kind of plants without any heavy metal risk.

Key Words: Sewage sludge, soil, pasture grass, heavy metal.

GİRİŞ

Aritma çamurları, kuru maddede yaklaşık olarak % 50-70 oranında organik madde ve önemli derecede bitki besinleri içerdiklerinden dolayı, son yıllarda toprak organik maddesi ve organik gübre kaynağı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Aritma çamuru bitki besin değerinin ahır gübresi ve organik komposta benzer olduğu (Sommers, 1997) ve bitkilerin gelişimi için gerekli tüm elementleri içerdiği (Linden ve ark, 1983) bildirilmiştir. Uzun yıllar işlenen topraklarda çinko ve bakır gibi ağır metallerin sık sık eksikliğinin ortaya çıkabileceği ve arıtma çamuru uygulamalarının bu metallerin eksikliğini gidermede yardımcı olabileceği bildirilmiştir (Martens ve Westermann, 1991).

Evsel nitelikli arıtma çamurları, genellikle bitki büyümesi için gerekli bir çok nutrient içermesine rağmen gübre değeri; atığın kaynağı, arıtılmış suyun özelliği ve kullanılan çamur arıtma işlemlerine göre değişir. Ağır metaller, bitki büyümesi için az miktarda gereklidir fakat yüksek konsantrasyonlarda toksik etki yapar. Bazı alanlarda, arıtma çamurları ile gübrelenmiş toprakta yetişmiş ürünlerin bitki dokularında yüksek konsantrasyonlarda ağır metallere rastlanmıştır (Filibeli, 2005).

Göreceli olarak yüksek düzeylerde ağır metal içeren arıtma çamurlarının büyük miktarda üretimi, bu materyalin yeni ekolojik problemlere yol açmaksızın güvenli bertarafı için çözüm gereksinimini artırmaktadır (Önal ve ark., 2003).

Bu çalışmada, evsel bir atıksu arıtma tesisinden kaynaklanan çamurların, organik madde ve besin elementleri açısından fakir bir toprağa uygulanarak, yetiştirilen çim bitkilerinde ağır metal içeriği üzerine etkisi iki yıl süreyle araştırılmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Denemede kullanılan arıtma çamuru Konya kentinin 20 km batısında Altınapa Baraj Gölü havzasında bulunan Başarakavak kasabası atıksu arıtma tesisinden temin edilmiştir. Tesise evsel ve ahırlardan kaynaklanan atıksu deşarjları yapılmaktadır. Bölgede herhangi bir endüstriyel

tesis yoktur. Denemede test bitkisi olarak kullanılan çim bitkisi (*Grass Seed Mixture 4M "Star" 0126827*); % 40 *Lolium perenne*, % 30 *Festuca rubra rubra*, % 15 *Poa pratensis*, % 15 *Festuca rubra commutata* karışımından oluşmaktadır.

Denemede kullanılan arıtma çamuru, 2x2 m'lik 16 parselde toprağa 0-20 cm derinliğe belle karıştırılmış, tesviye yapıldıktan sonra, her parselde 60 g çim tohumu ekimi yapılmıştır. Süzgeçli bidonlarla yağmurlama yapılarak her parselde eşit miktarda su verilmiştir. Deneme alanında, çim bitkilerinin biçim işleminde öncelikle, parsellerin 50 cm olan kenar tesiri alanının çimleri biçilmiş ve atılmıştır. Sonra, geriye kalan 1x1 m'lik çimlerin biçimi yapılmıştır. Denemenin hem birinci hem de ikinci yılındaki (2003, 2004) ilk ve sonuncu biçimi yapılan çim bitkileri analizlerinde aşağıdaki yöntemler uygulanmıştır:

Toprak ve arıtma çamurunda pH Jackson (1958)'a göre, eriyebilir toplam tuz saturasyon çamurunda kondaktivimetre ile (Richard, 1954), kireç kalsimetrik olarak (Allison ve Moodi, 1965)'e göre, organik madde modifiye edilmiş Walkley Black metodu ile (Houba ve ark., 1989), toplam azot Kjeldahl yöntemiyle yapılmıştır.

Deneme toprağında tekstür hidrometre yöntemi ile (Bouyoucou, 1951); yarıyıllı fosfor sodyum bikarbonat yöntemiyle (Olsen ve ark., 1954); toprakta değişebilir K, Ca, Mg ve Na 1 N NH₄OAc ekstraksiyonu çözeltisinde (Bayraklı, 1987) ICP-AES cihazıyla ile; yarıyıllı Mn, Zn, Cu, Cr Ni, Cd ve Pb DTPA ekstraksiyonu ile (Lindsay ve Norwell, 1978), DTPA ekstraksiyonu çözeltisinde ICP-AES cihazında belirlenmiştir.

Aritma çamurunda toplam P, K, Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Pb ve Cd, Johnson ve Ulrich (1959) yöntemine göre yaş yakma ile elde edilen çözeltelerde ICP-AES cihazıyla belirlenmiştir.

Biçim yapılan bitki örnekleri, saf su ile yıkanarak sabit ağırlığa gelinceye kadar 70 °C'de kurutulmuştur. Öğütülen ve yaş yakma (Johnson ve Ulrich, 1959) yapılan bitki örneklerinde toplam Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Pb ve Cd içerikleri ICP-AES cihazıyla ölçülmüştür.

ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Denemede kullanılan toprak ve arıtma çamurunun bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir. Toprağın; hafif alkalin reaksiyonlu, kireç oranı fazla, tuzluluk oranı az, organik madde miktarı çok az, toplam N ve yarayışlı P içeriği düşük, yarayışlı K içeriği orta derecede, Mn içeriği fazla (>1.0 ppm), Zn içeriği yetersiz (<0.5 mg/kg), Cu içeriği yeterli (>0.6 ppm) tesbit edilmiştir (Marx ve ark., 1996). Ağır metal miktarlarının Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (TKKY, 2005) sınır değerlerinin oldukça altında olduğu tespit edilmiştir.

Denemede kullanılan arıtma çamuru, hafif asit reaksiyonlu, tuzluluk oranı yüksek, organik madde miktarı çok yüksek, N, P ve K içeriği orta seviyede, ağır metal miktarlarının, TKKY (2005)

sınır değerlerinin oldukça altında olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 1). Bu durum, arıtma tesisine gelen atıksuyun evsel karakterli olması ve tesise sanayi kaynaklı bir atıksu deşarjının olmaması ile ifade edilebilir.

Arıtma çamuru, denemenin başında toprağa değişik düzeylerde bir kez uygulanmış, denemenin sürdüğü iki yıl boyunca toprağa arıtma çamuru uygulanmamıştır. Uygulanan arıtma çamurunun çim bitkisi ağır metal içeriğine etkisinin belirlenmesi amacıyla, çim bitkilerinde yapılan analizlerde elde edilen min., max. ve uygulanan arıtma çamuru düzeylerine göre elde edilen ortalama değerler Çizelge 2’de, I. ve II. yıla ait ortalama değerler ise Şekil 1-7’de sunulmuştur.

Çizelge 1. Toprak ve arıtma çamurunun bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Table 1. Some physical and chemical characteristics of the soil and sewage sludge.

Parametre	Toprak*	Sınır Değer**	Parametre	Arıtma Çamuru*	Sınır Değer**
pH	7.77		pH	6.48	
ECx10 ³ (dS/m)	1.29		ECx10 ³ (dS/m)	5.52	
CaCO ₃ (%)	19.24		CaCO ₃ (%)	7.06	
Organik madde (%)	0.35		Organik madde (%)	50.7	
Toplam N (%)	0.04		Toplam N (%)	4.46	
Alınabilir P (%)	0.0005		Toplam P (%)	1.06	
Alınabilir K (%)	0.02		Toplam K (%)	1.15	
Alınabilir Mn (mg/kg)	21.40		Toplam Mn (mg/kg)	200.1	
Alınabilir Zn (mg/kg)	0.21	300	Toplam Zn (mg/kg)	331.2	4000
Alınabilir Cu (mg/kg)	1.51	140	Toplam Cu (mg/kg)	59.1	1750
Alınabilir Cr (mg/kg)	0.014	100	Toplam Cr (mg/kg)	49.3	1200
Alınabilir Pb (mg/kg)	0.33	300	Toplam Pb (mg/kg)	1.29	1200
Alınabilir Ni (mg/kg)	0.42	75	Toplam Ni (mg/kg)	32.9	400
Alınabilir Cd (mg/kg)	0.017	3	Toplam Cd (mg/kg)	1.10	40

* Üç numunenin analiz ortalaması

** Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (2005), mg/kg

Çizelge 2. Çim bitkisi örneklerinde ağır metal içerikleri.

Table 2. Heavy metal concentrations in the grass plant samples.

Parametre	Kontrol Uygulaması			Arıtma Çamuru Uygulamaları				
	Min.	Ort.	Max.	Min.	Ortalama			Max.
					40 t/ha	80 t/ha	120 t/ha	
Toplam Mn (mg/kg)	115	248	325	114	231	216	222	305
Toplam Zn (mg/kg)	16.9	19.5	26.1	18.6	30.4	34.9	36.3	56.4
Toplam Cu (mg/kg)	2.7	7.9	17.7	4.3	11.5	10.5	11.5	25.2
Toplam Cr (mg/kg)	2.1	8.0	15.8	4.1	11.9	12.2	14.0	33.7
Toplam Pb (mg/kg)	0.00	0.14	0.67	0.00	0.45	0.34	0.88	2.65
Toplam Ni (mg/kg)	6.2	10.9	13.9	6.8	14.1	13.7	13.8	36.3
Toplam Cd (mg/kg)	-*	-	-	-	-	-	-	-

* ölçülemeyecek kadar az

Çizelge 3. Arıtma çamuru uygulamasıyla çim bitkisinde ağır metal artış oranları.*Table 3. Heavy metal enrichments in grass plant.*

Parametre	Kontrol*	Arıtma Çamuru Uygulamaları			Ortalama
		40 t/ha	80 t/ha	120 t/ha	
Mn	1	-1.07	-1.15	-1.12	-1.11
Zn	1	1.6	1.8	1.9	1.7
Ni	1	1.3	1.3	1.3	1.3
Cr	1	1.5	1.5	1.8	1.6
Cu	1	1.5	1.3	1.5	1.4
Pb	1	3.2	2.4	6.3	4.0

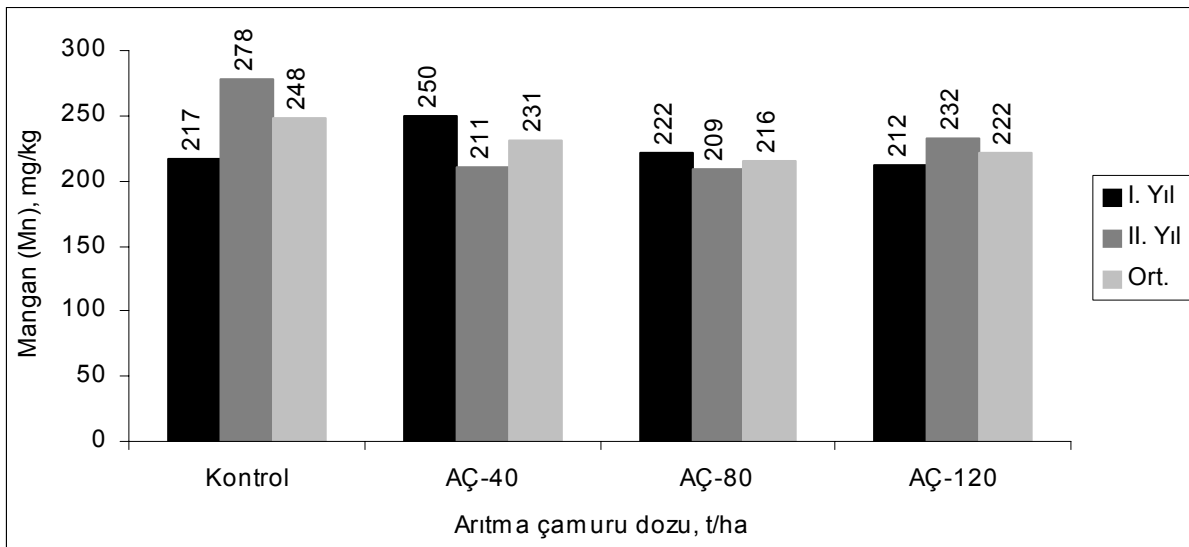
* Zenginleştirme faktörü = 1

Arıtma çamuru uygulamalarıyla çim bitkisinde ağır metal artış oranları Çizelge 3'te verilmiştir. İki yıllık verilere göre; arıtma çamuru uygulamalarının kontrole göre, çim bitkisinin Zn, Ni, Cr, Cu, ve Pb içeriklerini artırdığı, bu artışın en fazla Pb, Zn ve Cr içeriklerinde olduğu, Mn içeriğinde ise ortalama -1.11 oranında düşüşe neden olduğu tespit edilmiştir. Arıtma çamurunun çim bitkisi ağır metal içeriğinde neden olduğu artış oranı sıralaması Pb>Zn>Cr>Cu>Ni şeklinde gerçekleşmiştir.

Arıtma Çamurunun Çim Bitkisi Toplam Mangane (Mn) İçeriğine Etkisi

Elde edilen iki yıllık veri ortalamalarında; çim bitkisinde mangane içeriği kontrolde 248 mg/kg, 40 t/ha arıtma çamuru uygulamasında 231 mg/kg, 80 t/ha arıtma çamuru

uygulamasında 216 mg/kg, 120 t/ha arıtma çamuru uygulamasında ise 222 mg/kg olarak tespit edilmiştir (Şekil 1). Bu sonuçlara göre arıtma çamuru uygulamalarıyla çim bitkisi mangane içeriğinde kontrol uygulamasına göre düşüş görülmüştür. Bu düşme oranları kontrole göre; 40 t/ha uygulamasında -1.07 kat, 80 t/ha uygulamasında -1.15 kat, 120 t/ha uygulamasında ise -1.12 kat olarak belirlenmiştir. Arıtma çamuru uygulamalarında çim bitkisinde mangane içeriği, minimum 114 mg/kg, maksimum 305 mg/kg olarak tespit edilmiştir (Çizelge 2). I. yıla göre, II. yıl çim bitkisi mangane içeriği kontrolde % 28 artış göstermiş, 40 ve 80 t/ha arıtma çamuru uygulamalarında sırasıyla % 16 ve % 6 artış göstermiş, 120 t/ha arıtma çamuru uygulamasında ise % 9 artış göstermiştir.

**Şekil 1.** Çim bitkisi mangane içerikleri.*Figure 1. Manganese contents in the grass plant.*

Bennett (1996) tarafından bildirilen bitkiler için yeterli Mn aralığında (20-300 ppm) göre, kontrol dahil tüm uygulama düzeylerinde çim bitkisi mangan miktarlarının yeterli düzeyde olduğu, bu düzeylerin bitkiler için mangan toksik değerinin (>300 ppm) ise altında kaldığı görülmüştür.

Bitkilerin mangan içerikleri bitki genotiplerine bağlı olduğu gibi, bitkilerin yetişme ortamlarına da bağlı olarak değişiklik gösterir. Bitkiler diğer mikro elementlere göre çok daha fazla mangan içerirler (Kaçar ve Katkat, 1998). Cuhna (1987), dört yıllık bir arıtma çamuru uygulamasında çim bitkisinde Mn içeriği 155 mg/kg olarak tespit etmiştir.

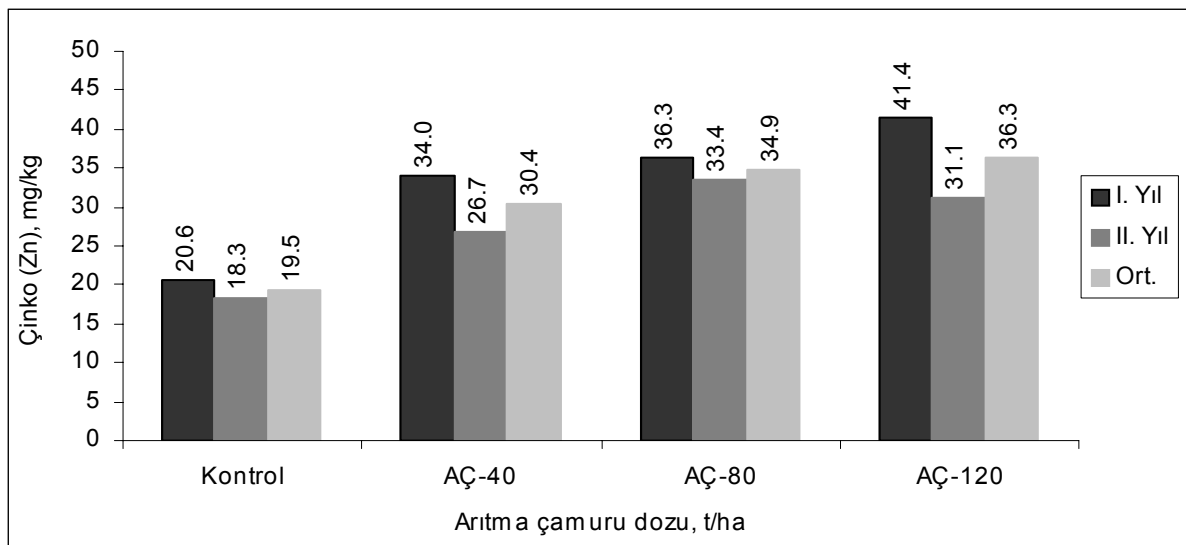
Arıtma Çamurunun Çim Bitkisi Toplam Çinko (Zn) İçeriğine Etkisi

Elde edilen iki yıllık veri ortalamalarında; çim bitkisinde çinko içeriği kontrolde 19.5 mg/kg, 40 t/ha arıtma çamuru uygulamasında 30.4 mg/kg, 80 t/ha arıtma çamuru uygulamasında 34.9 mg/kg, 120 t/ha arıtma çamuru uygulamasında ise 36.3 mg/kg olarak tespit edilmiştir (Şekil 2). Bu sonuçlara göre, arıtma çamuru uygulamalarıyla çim bitkisi çinko içeriğinin kontrole göre arttığı ve bu artışın artan dozlara bağlı olarak arttığı görülmüştür. Bu artış

oranları kontrole göre; 40 t/ha uygulamasında 1.6 kat, 80 t/ha uygulamasında 1.8 kat, 120 t/ha uygulamasında ise 1.9 kat olarak belirlenmiştir.

Arıtma çamuru uygulamalarında çim bitkisinde çinko içeriği, minimum 18.6 mg/kg, maksimum 56.4 mg/kg olarak tesbit edilmiştir (Çizelge 2). Kontrol uygulamasına göre, arıtma çamuru uygulamalarına bağlı olarak meydana gelen bu artışlar arıtma çamurunun yüksek çinko içeriğinden kaynaklanmaktadır. I. yıla göre, II. yıl çim bitkisi çinko içeriği kontrolde % 11 azalma göstermiş, arıtma çamuru uygulamalarındaki azalış ise % 8 ila % 25 arasında gerçekleşmiştir.

Jones (1980) tarafından bildirilen çim bitkisi için yeterli çinko içeriğine (22-30 ppm) göre; kontrol uygulamasında çim bitkilerinde I. yıl 20.6 mg/kg, II. yıl ise 18.3 mg/kg değerleri ile çinko eksikliğinin söz konusu olduğu tespit edilmiştir. Arıtma çamuru uygulamalarında elde edilen çim bitkisi çinko içeriklerinin her iki yılda da yeterli değerlerde (26.7-41.4 mg/kg), kontroldeki çinko eksikliğinin giderildiği tespit edilmiştir (Şekil 2). Arıtma çamuru uygulamalarında elde edilen bu çim bitkisi çinko değerlerinin, Bennett (1996) tarafından bildirilen bitkiler için çinko toksik sınır değerinin (>400 mg/kg) oldukça altında olduğu görülmüştür.



Şekil 2. Çim bitkisi çinko içerikleri.

Figure 2. Zinc contents in the grass plant.

Bu çalışmada elde edilen çim bitkisi çinko değerlerinin benzer çalışma sonuçlarına paralel olduğu görülmüştür. Nyamangara ve Mzezewa (1999), arıtma çamuru uygulanan bir toprakta yetişen çim bitkisinde çinko içeriğini kontrolde 35 mg/kg, arıtma çamuru uygulamasında ise 114 mg/kg olarak tesbit etmişlerdir. Madyiwa ve ark. (2002), arıtma çamuru uygulanmış bir toprakta yetişen çim bitkisinde çinko içeriğini 22–210 mg/kg olarak tesbit etmişlerdir. Bilgin ve ark. (2002), arıtma çamuru uygulanan topraklarda yetiştirilen buğdayların tane çinko içeriğini min. 38 ppm, max. 91 ppm olarak tesbit etmişlerdir. Türkmen (2004), arıtma çamuru uygulanan topraklarda yetiştirilen arpa bitkisi dane çinko içeriğini iki yıllık ortalama değerlere göre; kontrol uygulamasında 19 mg/kg, 4.8 t/da arıtma çamuru uygulamasında ise 40 mg/kg olarak tesbit etmiştir.

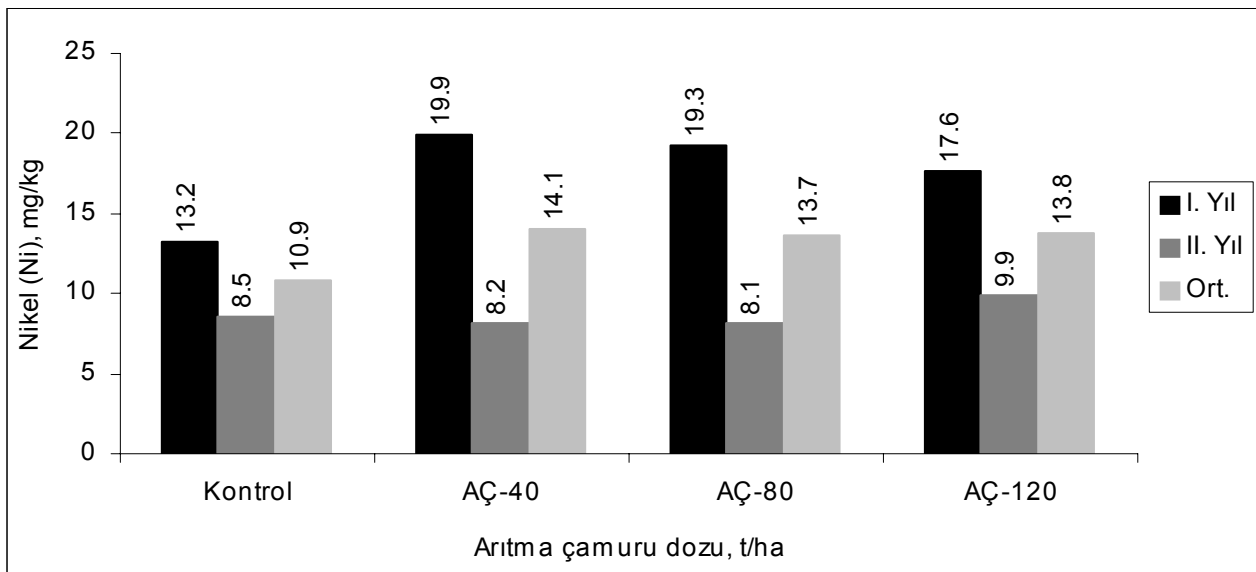
Arıtma Çamurunun Çim Bitkisi Toplam Nikel (Ni) İçeriğine Etkisi

Elde edilen iki yıllık veri ortalamalarında; çim bitkisinde nikel içeriği kontrolde 10.9 mg/kg, 40 t/ha arıtma çamuru uygulamasında 14.1 mg/kg, 80 t/ha arıtma çamuru uygulamasında 13.7 mg/kg, 120 t/ha arıtma çamuru

uygulamasında ise 13.8 mg/kg olarak tesbit edilmiştir (Şekil 3). Bu sonuçlara göre, arıtma çamuru uygulamalarıyla çim bitkisi nikel içeriğinde kontrole göre artış görülmüştür. Bu artış oranları kontrole göre; her üç düzeyde de (40, 80 ve 120 t/ha) 1.3 kat olarak belirlenmiştir.

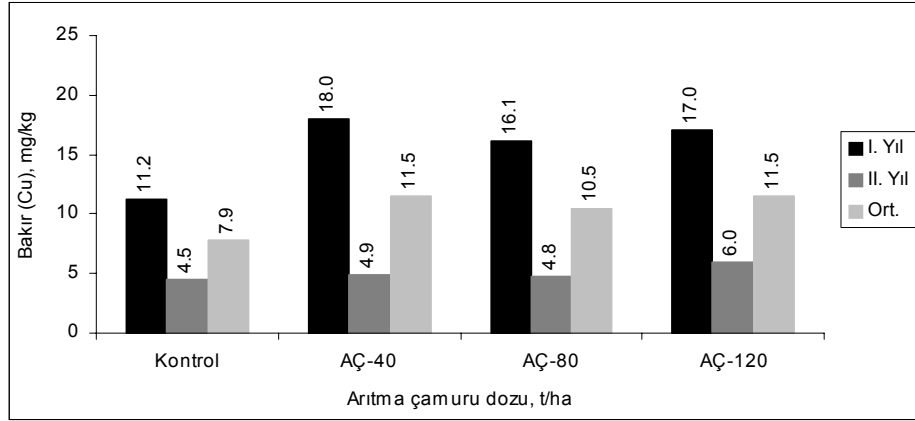
Arıtma çamuru uygulamalarında çim bitkisinde nikel içeriği, minimum 6.8 mg/kg, maksimum 36.3 mg/kg olarak tespit edilmiştir (Çizelge 2). I. yıla göre, II. yıl çim bitkisi nikel içeriği kontrolde % 36 azalma göstermiş, arıtma çamuru uygulamalarındaki azalış ise % 44 ila % 59 arasında gerçekleşmiştir.

Toprakta yetişen bitkilerde nikel noksanlığı genelde görülmez (Bollard 1983, Asher 1991). Nikel toksisitesi sorun olup özellikle kanalizasyon atıklarının kullanıldığı alanlarda daha sık ve yaygın şekilde görülür. Araştırma bulgularını değerlendiren Marschner (1995), nikeli bitkiler için mutlak gerekli mikro elementler listesine almıştır. Ancak nikelin bitkiler için yararlı bir element olduğuna dair tartışmalar günümüzde de sürmektedir (Kacar ve Katkat 1998). Michalk ve ark. (1996) arıtma çamuru uygulanmış topraklarda yetiştirilen çim bitkilerinde nikel içeriğini 4.0-10.0 mg/kg aralığında tespit etmişlerdir.



Şekil 3. Çim bitkisi nikel içerikleri.

Figure 3. Nickel contents in the grass plant.



Şekil 4. Çim bitkisi bakır içerikleri.
Figure 4. Copper contents in the grass plant.

Arıtma Çamurunun Çim Bitkisi Toplam Bakır (Cu) İçeriğine Etkisi

Elde edilen iki yıllık veri ortalamalarında; çim bitkisinde bakır içeriği kontrolde 7.9 mg/kg, 40 t/ha arıtma çamuru uygulamasında 11.5 mg/kg, 80 t/ha arıtma çamuru uygulamasında 10.4 mg/kg, 12 t/da arıtma çamuru uygulamasında ise 11.5 mg/kg olarak tespit edilmiştir (Şekil 4). Bu sonuçlara göre, arıtma çamuru uygulamalarıyla çim bitkisi bakır içeriğinde kontrole göre artış görülmüştür. Bu artış oranları kontrole göre; 40 t/ha uygulamasında 1.5 kat, 80 t/ha uygulamasında 1.3 kat, 120 t/ha uygulamasında ise 1.5 kat olarak belirlenmiştir.

Arıtma çamuru uygulamalarında çim bitkisinde bakır içeriği, minimum 4.3 mg/kg, maksimum 25.2 mg/kg olarak tespit edilmiştir (Çizelge 2). Kontrol uygulamasına göre, arıtma çamuru uygulamalarına bağlı olarak meydana gelen bu artışlar arıtma çamurunun bakır içeriğinden kaynaklanmaktadır. I. yıla göre, II. yıl çim bitkisi bakır içeriği kontrolde % 60 azalma göstermiş, arıtma çamuru uygulamalarındaki azalış ise % 65 ila % 73 arasında gerçekleşmiştir.

Jones (1980) tarafından bildirilen çim bitkisi için yeterli bakır içeriğine (5-20 ppm) göre; I. yıl kontrol dahil tüm uygulamalarda bitkiler için yeterli bakır değerinin sağlandığı görülmüştür (Şekil 4). Ancak II. Yıl, 120 t/ha uygulaması (6.0 mg/kg) hariç diğer tüm uygulama düzeylerinde yeterli bakır değerinin altında kaldığı

görülmüştür. Arıtma çamuru uygulamalarında elde edilen çim bitkisi ortalama bakır değerlerinin, bazı örnekler hariç, Bennett (1996) tarafından bildirilen bitkiler için bakır toksik sınır değerinin (>20 mg/kg) altında olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada elde edilen çim bitkisi bakır değerlerinin benzer çalışma sonuçlarına paralel olduğu görülmüştür. Cuhna (1987), dört yıllık bir arıtma çamuru uygulamasında çim bitkisinde Cu içeriğini 9 mg /kg olarak tespit etmiştir. Madyiwa ve ark. (2002), arıtma çamuru uygulanmış toprakta yetişen çim bitkisinde bakır içeriğini 34-45 mg/kg olarak tespit etmişlerdir.

Arıtma Çamurunun Çim Bitkisi Toplam Krom (Cr) İçeriğine Etkisi

Elde edilen iki yıllık veri ortalamalarında; çim bitkisinde krom içeriği kontrolde 8.0 mg/kg, 40 t/ha arıtma çamuru uygulamasında 11.9 mg/kg, 80 t/ha arıtma çamuru uygulamasında 12.2 mg/kg, 120 t/ha arıtma çamuru uygulamasında ise 14.0 mg/kg olarak tespit edilmiştir (Şekil 5). Bu sonuçlara göre, arıtma çamuru uygulamalarıyla çim bitkisi krom içeriğinde kontrole göre artış görülmüştür. Bu artış oranları kontrole göre; 40 ve 80 t/ha uygulamalarında 1.5 kat, 120 t/ha uygulamasında ise 1.8 kat olarak belirlenmiştir.

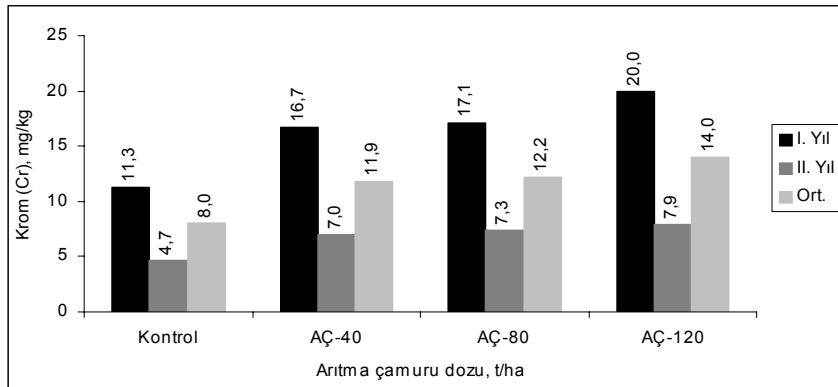
Arıtma çamuru uygulamalarında çim bitkisinde krom içeriği, minimum 4.1 mg/kg, maksimum 33.7 mg/kg olarak tespit edilmiştir (Çizelge 2). Kontrol uygulamasına göre, arıtma çamuru uygulamalarına bağlı olarak meydana gelen bu artışlar arıtma çamurunun krom içeriğinden kaynaklanmaktadır. I. yıla göre, II. yıl çim bitkisi krom içeriği kontrolde % 58 azalma göstermiş, arıtma çamuru uygulamalarındaki azalış ise % 57 ila % 61 arasında gerçekleşmiştir.

Mengel ve Kirkby (1987) tarafından bildirilen genel bitkiler için kritik krom içeriğine (<1.0-2.0 ppm) göre; her iki yılda da kontrol dahil tüm uygulamalarda kritik krom değerinin üzerinde sonuçlar elde edilmiştir. Tasi (2004), çim bitkisi üzerinde yaptığı bir çalışmada; kontrol uygulamasında krom içeriğini 2.86

mg/kg, ahır gübresi uygulamasında ise 3.16 mg/kg olarak tespit etmiştir.

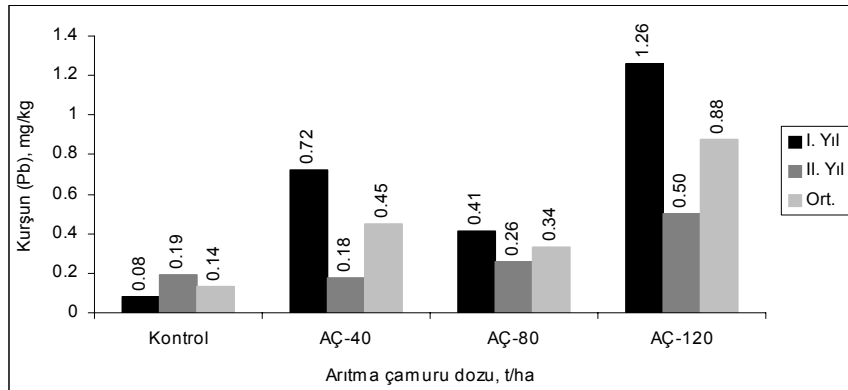
Arıtma Çamurunun Çim Bitkisi Toplam Kurşun (Pb) İçeriğine Etkisi

Elde edilen iki yıllık veri ortalamalarında; çim bitkisinde kurşun içeriği kontrolde 0.14 mg/kg, 40 t/ha arıtma çamuru uygulamasında 0.45 mg/kg, 80 t/ha arıtma çamuru uygulamasında 0.34 mg/kg, 120 t/ha arıtma çamuru uygulamasında ise 0.88 mg/kg olarak tespit edilmiştir (Şekil 6). Bu sonuçlara göre, arıtma çamuru uygulamalarıyla çim bitkisi kurşun içeriğinde kontrole göre artış görülmüştür. Bu artış oranları kontrole göre; 40 t/ha uygulamasında 3.2 kat, 80 t/ha uygulamasında 2.4 kat, 120 t/ha uygulamasında ise 6.3 kat olarak belirlenmiştir.



Şekil 5. Çim bitkisi krom içerikleri.

Figure 5. Chromium contents in the grass plant.



Şekil 6. Çim bitkisi kurşun içerikleri.

Figure 6. Lead contents in the grass plant.

Arıtma çamuru uygulamalarında çim bitkisinde kurşun içeriği, minimum 0.00 mg/kg, maksimum 2.65 mg/kg olarak tespit edilmiştir (Çizelge 2).. Kontrol uygulamasına göre, arıtma çamuru uygulamalarına bağlı olarak meydana gelen bu artışlar arıtma çamurunun kurşun içeriğinden kaynaklanmaktadır. I. yıla göre, II. yıl çim bitkisi kurşun içeriği kontrolde % 138 artış, arıtma çamuru uygulamalarındaki ise % 37 ila % 75 arasında azalma göstermiştir.

Bu çalışmada elde edilen çim bitkisi kurşun değerlerinin benzer çalışma sonuçlarına paralel olduğu görülmüştür. Madyiwa ve ark. (2002), arıtma çamurlarının uygulandığı bir toprakta yetişen çim bitkilerinde kurşun içeriğini 1.0–1.5 mg/kg tespit etmişlerdir. Chimbari ve ark. (2001), atıksu ile sulanan çim bitkilerinde kurşun içeriğini 0.5–1.5 mg/kg değerleri arasında, ortalama olarak ise 1.07 mg/kg tespit etmişlerdir.

Arıtma Çamurunun Çim Bitkisi Toplam Kadmiyum (Cd) İçeriğine Etkisi

Deneme parsellerinden alınan çim bitkisi örneklerinde kadmiyum içeriği, ölçülemeyecek kadar az olduğu için belirlenememiştir.

SONUÇLAR

Bu çalışmada, arıtma çamuru uygulanmış toprakta yetiştirilen çim bitkilerinde kontrole göre; Zn, Cu, Ni, Cr ve Pb içeriklerinin arttığı, bu artışın en fazla Pb, Zn ve Cr içeriklerinde olduğu, Mn içeriğinin ise düştüğü tespit edilmiştir. Çim bitkisi Cd içerikleri, ölçülemeyecek kadar az olduğu için belirlenememiştir.

Çalışmanın başında toprağa uygulanan arıtma çamuru düzeylerinin çim bitkisindeki ağır metal içeriği üzerindeki etkileri iki yıl boyunca takip edilerek, II. yıl toprağa arıtma çamuru uygulamasının ihtiyaç olup olmadığının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Arıtma çamuru uygulamalarında çim bitkisinde; I. yıla göre, II. yıl içeriğinde en fazla düşüş bakır'da görülürken (% 65-73), en az düşüş mangan'da gerçekleşmiştir (% 6-16). Bu sıralama; Cu, Cr, Ni, Pb, Zn ve Mn şeklinde gerçekleşmiştir. Bu değerler bitkinin alımı ve elementlerin I. ve II.

yılda topraktaki bitki için yarayıslı potansiyelleri ile ilgili olup, kullanılan arıtma çamurunun çim bitkisi için II. yılda bakır haricinde diğer elementleri yeterli seviyede sağladığını ortaya koyması açısından önemli bulunmuştur.

Ancak II. Yıl, 120 t/ha uygulaması (6.0 mg/kg) hariç diğer tüm uygulama düzeylerinde yeterli bakır değerinin altında kaldığı görülmüştür.

Kontrol uygulamasında yetiştirilen çim bitkilerinde çinko eksikliği, arıtma çamuru uygulamalarında yetiştirilen çim bitkilerinde ise, yeterli çinko değerleri tespit edilmiştir. Bu husus, uygulama yapılan toprağın bitkiler için yeterli çinko içeriğine sahip olmaması ve arıtma çamurunun yüksek çinko içeriği ile ilgili olup, evsel karakterli arıtma çamuru uygulamasının bitkinin çinko eksikliğini gidermede yararlı etkisini ortaya koymaktadır.

Arıtma çamuru uygulamalarıyla kontrole göre artış gösteren çim bitkisi Zn, Cu, Ni, Cr ve Pb içeriklerinin, araştırmacılar tarafından bildirilen yeterli değerlerde, toksik sınır değerlerin ise oldukça altında olduğu görülmüştür.

Kontrol ve arıtma çamuru uygulamalarında çim bitkisinde ağır metal içeriği sıralaması; Mn > Zn > Ni > Cr > Cu > Pb > Cd şeklinde gerçekleşmiştir.

Bu çalışmada, arıtma çamurlarının gübre olarak kullanıldığı besin elementleri açısından oldukça fakir bir toprakta yetiştirilen çim bitkisinde ağır metal içeriklerini artırdığı ancak elde edilen değerlerin yeterli aralıklarda kaldığı, bitki için toksik değerlerin oldukça altında kaldığı ve kontrolde görülen çinko eksikliğinin giderildiği tespit edilmiştir. Arıtma çamurunun temin edildiği tesise endüstriyel bir deşarj olmaması, evsel karakterli olması, ağır metal içeriklerinin Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (2005) sınır değerlerinin oldukça altında olması ve denemenin besin elementleri açısından fakir bir toprakta yapılması gibi nedenlerle, denemede kullanılan arıtma çamurunun çim bitkisi için kontrol uygulaması ile kıyaslandığında ağır metaller açısından olumlu etkide bulunduğu sonucu elde edilmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışmayla bitki besin elementlerince fakir topraklara toprak ıslahı ve/veya çim bitkisi için gübre amaçlı olarak, evsel karakterli arıtma çamurları 120 t/ha düzeyinde ağır metal açısından rahatlıkla uygulanarak, bitkinin özellikle ihtiyaç duyduğu

çinko ve bakır ihtiyacını iki yıl süreyle karşılayabileceği sonucuna varılmıştır. Ancak endüstriyel deşarja sahip atıksu arıtma tesisi çamurlarının uygulandığı topraklarda ve bitkilerde olabilecek ağır metal birikimleri, kısa ve uzun süreli çalışmalarla araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Allison, L.E. and C.D. Moodie, 1965. Corbonate. In: C.A. Black et al (ed.) Methods of Soil Analysis, Part 2. Argon.):1379-1400. Am. Soc. of Agron., Inc., *Madison*, Wisconsin, USA.
- Asher, C.J., 1991, Benefical elements, functional nutrients, and possible new essential elements. Micronutrients in Agriculture, 2nd. ed. Soil Sci. Soc. Amer. Book Series No: 4, p. 703-723, Madison, W.I. USA.
- Bayraklı, F., 1987, Toprak ve Bitki Analizleri. 19 Mayıs Üniv. Zir. Fak. Yayın. No: 17, Samsun.
- Bennett, W.F., 1996, Nutrient Deficiencies and Toxicities in Crop Plants, The American Phytopathological Society St. Paul, Minnesota.
- Bilgin, N., Eyüpoğlu, H. ve Üstün, H., 2002., Biyokatıların (Arıtma Çamurlarının) Arazide Kullanımı, Ankara Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Araştırma Enstitüsü, Ankara.
- Bollard, E.G., 1983, Involvement of unusual elements in plant growth and nutrition. p. 695-755. In: Encyclopedia of Plant Physiology, New Series. Vol. 15B, Springer-Verlag, New York.
- Bouyoucous, G.J., 1951, A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils, Argon. J. 43: 434-438.
- Chimbary, M., Madyiwa, S., Musesengwa, R., 2001, Pollution implications of disposing wastewater in pasture lands: a focus on heavy metals. 2nd WARFSA/WaterNet Symposium: Integrated Water Resources Management: Theory, Practise, Cases; Cape Town.
- Cuhna, T.J., 1987, Salt and trace minerals for livestock, poultry and other animals. Salt institute, 206 N. Washington St., Alexandria, VA 22314.
- Filibeli, A., 2005, Arıtma Çamurlarının İşlenmesi. D.E.Ü. mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi. İzmir. Sayfa: 222.
- Houba, V.J.G., Van der Lee, J.J., Navozomsky, I., and Walinga I., 1989, Soil and Plant Analysis, Part 5, Wageningen Agricultural University, The Netherlands.
- Jackson, M., 1958, Soil Chemical Analysis. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.
- Johnson, C.M. and Ulrich, A., 1959, Analytical methods for use in plant analysis, II. California Agri. Exp. Sta. Bull., 766.
- Jones, J.R. 1980. Turf Analysis, Golf Course Manag, 48, 1, 29-32.
- Kacar, B. ve Katkat, A.V., 1998, Bitki Besleme. Uludağ Üniv. Güçlendirme Vakfı Yayınları. No: 127, Bursa.
- Linden, D.R., Clap, C.E., and Dowdy, R.H., 1983, Hydrologic management: nutrients. Proceedings of the workshop on utilization of municipal wastewater and sludge on land. Riverside, p. 79-103, University of California.
- Lindsay, W.L. and Norvell, W.A., (1978), Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and copper, J. Soil Sci. Soc. Am, 42, 421-428.
- Madyiwa, S., Chimbari, M., Nyamangara, J., Bangira, C., 2002, Phyto-Extraction Capacity of *Cynodon nlemfuensis* (Star Grass) at Artificially Elevated Concentrations of Pb and Cd in Sandy Soils under Greenhouse conditions. 3rd WaterNet/Warfesa Symposium "Water Demand Management for Sustainable Development", Dar es Salam.
- Marschner, H., 1995, Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd. Ed. p. 1-889. Academic Press. New York.

- Martens, D.C., and Westermann, D.T., 1991, Fertilizer applications for correcting micronutrient deficiencies in micronutrients in agriculture. Mortvedt, J.J. et al., eds., Soil Sci. Soc. of American Soc. of Agronomy.
- Marx, E.S., Hart, J., and Stevens, R.G., 1996, reprinted 1999. Soil test interpretation guide, EC 1478 (Oregon State University, OR.)
- Mengel, K., and Kirkby E.D., 1987, Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute. Bern. Switzerland.
- Michalk, D.L., Curtis, I.H., Langford, C.M., Simpson, P.C. and Seaman, J.T., 1996, Effects of sewage sludge on pasture production and sheep performance. Proceedings of the 8th Australian Agronomy Conference, Toowoomba.
- Nyamangara, J. and Mzezewa, J., 1999, The effect of long term sewage sludge application on Zn, Cu, Ni and Pb levels in a clay loam soil under pasture grass in Zimbabwe, Agriculture, Ecosystems and Environment, **73**, 199-204.
- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. and Dean, L.A., 1954, Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Dep. Agric. Circ. 939, USDA, Washington, DC.
- Önal, M.K., Topçuoğlu, B. ve Arı, N., 2003, Toprağa uygulanan kentsel arıtma çamurunun domates bitkisine etkisi, II. gelişme ve meyve özellikleri ile meyvede mineral içerikleri, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, **16**, 1, 97-106.
- Richard, L.A., 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils. Handbook: 60, U.S. Dept. of Agriculture.
- Sommers, L.E., 1997, Chemical composition of sewage sludges and analysis of their potential use as fertilizer, J. Environ. Qual., **6**, 225–232.
- Tasi, J., 2004, Macroelement, microelement and heavy metal content of grass species and dicotyledons. EGF Luzern, Svájc. Proceedings Volume 9. Szerk. Lüscher A., B. Jeangros, W. Kesler, O. Huguenin, M. Lobsiger, N. Millar, D. Suter. 1002–1005.
- Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, 2005. Resmi Gazete, 31.05.2005–25831.
- Türkmen, C. 2004. Kireçli toprak sisteminde kentsel arıtma çamurunun arpa bitkisinin gelişimi ve bazı ağır metallerin alımı üzerine etkisi, Doktora Tezi, Ankara Üniv., Fen Bil. Enst., Ankara.

