

Arıtma Çamuru Uygulamalarının Toprağın Ekstrakte Edilebilir Demir, Bakır, Çinko ve Mangan Kapsamı Üzerine Etkileri

M. A. Özyazıcı^{1,2}, G. Özyazıcı², B. Bayraklı²

²Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü-SAMSUN

Özet: Bu çalışma, arıtma çamuru uygulamalarının toprağın bazı mikro element kapsamı üzerine etkilerini belirlemek üzere yürütülmüştür. Tesadüf blokları deneme deseni ve “buğday+beyaz baş lahana+domates” münavebe sistemi esas alınarak yürütülen çalışmada, arıtma çamurunun 0, 10, 20, 30, 40 ve 50 t ha⁻¹ dozları ile optimum kimyasal gübreleme (NP) uygulaması yapılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, artan dozlardaki arıtma çamuru uygulaması ile toprağın ekstrakte edilebilir demir, bakır ve çinko içeriklerinin arttığı, mangan kapsamında ise herhangi bir değişimin olmadığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Arıtma çamuru, mikro elementler

Effects of Sewage Sludge Applications on Extractable Iron, Copper, Zinc and Manganese Content of Soil

Abstract: This study was carried out in order to determine the effects of sewage sludge on some micronutrients contents of soil. The research was conducted essentially by using “wheat + white head cabbage + tomato” crop rotation system and planned according to randomized blocks trial design. 0, 10, 20, 30, 40 and 50 t ha⁻¹ doses of sewage sludge and optimum recommended doses of chemical fertilizer composed of nitrogen (N) and phosphorus (P) were applied. According to the results, extractable iron, copper and zinc contents of soils was increased with the increasing rates of sewage sludge. However, there was no variation manganese content of the soil.

Key Words: Sewage sludge, micro elements

GİRİŞ

Hızla gelişmekte olan teknoloji ve nüfus artışı çeşitli çevre sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Bu sorunlardan birisi de; evsel ve endüstriyel kaynaklı atık suların arıtılması sonucunda oluşan, taşıdıkları özelliklerden dolayı kendilerinin de ayrıca arıtılmaları gereken, arıtılmadan çevreye verildiklerinde çevrede hasar oluşturabilecek katı ve sıvı karışımından oluşan arıtma çamurlarının biriktirilmesi, toplanması, taşınması, bertarafı ve atık yönetimi gelmektedir.

Atıksu arıtma çamurlarının tarımda değerlendirilmesi, çevre kirliliğinin önlenmesi ve sahip olunan doğal kaynakların korunması açısından etkin bir geri dönüştürme prosesidir. Bu metot diğer değerlendirme metotları ile kıyaslandığında en ucuz (EEA, 2005; Jantzen ve Woerd, 2007) atık muamele yöntemidir. Fakat arıtılan atık suyun tipine ve arıtma işlemine bağlı olarak arıtma çamurları farklı oranlarda toksik organik kimyasalları, tuzları, ağır metalleri ve

hastalık yapıcı mikroorganizmaları içermektedir ki bu durum tarımsal amaçlı kullanımını kısıtlayan en önemli özelliğidir.

Bununla birlikte atıksu arıtma tesislerinde ortaya çıkan çamurların azot, fosfor ve diğer mikro besin maddelerini içermesi nedeniyle tarımsal alanlarda gübre olarak kullanılmasına neden olmuştur (Soumare vd., 2003a ve 2003b). Birçok çalışma, uygun oranlarda arıtma çamuru ve kompostunun uygulanması ile; bitki büyümesinin ve toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin geliştiğini (Angın ve Yağanoğlu, 2009), erozyona uğramış bazı toprakların mikro element içeriklerinin (Yakupoğlu ve Özdemir, 2007) ve toprakların kullanılabilir besin maddeleri seviyelerinin (Akyarlı ve Şahin, 2005) arttığını göstermiştir.

Arıtma çamurunun toprağa uygulanması, hem toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirmekte hem de bitkisel verimi artırmaktadır.

¹Sorumlu yazar : Mehmet Arif Özyazıcı
E-posta : arifozyazici@hotmail.com

Ancak, arıtma çamurunun toprağa uygulanması mangan (Mn), çinko (Zn), bakır (Cu), krom (Cr), kobalt (Co), nikel (Ni), kurşun (Pb), selenyum (Se) ve kadmiyum (Cd) gibi ağır metallerin yüksek oranlarda bulunabilmesi bakımından tehlike oluşturmaktadır. Bu elementlerin bazılarının yüksek oranda bulunması bitkilere toksik etki yapabilmekte iken, kimileri de gıda zincirinde birikerek insan ve hayvanlara bir tehdit oluşturmaktadır (Bozkurt ve ark., 2000). Bu nedenle, arıtma çamurunun özellikleri ile uygulama sonrası bitki ve topraktaki ağır metal düzeyleri ve bitki besin maddeleri bitki türüne, iklim ve toprak koşullarına göre deneysel olarak belirlenmelidir.

Bu çalışmada, Bafra Atıksu Arıtma Tesisi'nden çıkan arıtma çamurunun, belirli bir ekim nöbeti çerçevesinde toprağa artan oranlarda uygulanmasının toprağın bazı mikro besin maddesi içerikleri üzerine etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırma, Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Bafra Deneme İstasyonu arazisinde 2002-2005 yılları arasında yürütülmüştür. Araştırmada Bafra Ovası'nda en yaygın olarak uygulanan "buğday + beyaz baş lahana + domates" ekim nöbeti sistemi ele alınmış ve

ekim nöbeti 2 yıl tekrarlanmıştır. Her yıl kurulan bu denemeler, I. Periyot (2002 yılında ilk kurulan münavebe denemesi) ve II. Periyot (2003 yılında kurulan münavebe denemesi) münavebe denemeleri şeklinde isimlendirilmiştir. Buna göre her iki deneme yerine ait münavebe öncesi/buğday ekim öncesi alınan toprakların ve araştırmada kullanılan arıtma çamuru materyalinin bazı özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Araştırma yeri toprakları genel tanımlamaya göre; killi bünyeye sahip, hafif alkali, tuzsuz, orta kireçli, organik madde içeriği orta, alınabilir fosfor kapsamı çok az/az, alınabilir potasyum kapsamının ise yüksek seviyede olduğu belirlenmiştir (Çizelge 1).

Araştırmada, ikinci kademe arıtım yapan kentsel nitelikli Samsun-Bafra Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi'nden çıkan arıtma çamuru materyali kullanılmıştır. Arıtma tesisi, uzun havalandırmalı aktif çamur sistemi prosesine göre dizayn edilmiştir. Tesis, fiziksel arıtma, biyolojik arıtma ve çamur susuzlaştırma ünitelerinden oluşmaktadır. Bu arıtma tesisi ile Bafra Belediyesi dahilindeki yerleşim birimlerinden kaynaklanan tüm kentsel nitelikli atık suların sıhhi sistemlerle toplanıp, Su Kalitesinin Kontrolü Yönetmeliği'ndeki stan-

Çizelge 1. Araştırma toprağı ve kullanılan arıtma çamurunun bazı özellikleri

Toprak			Arıtma çamuru		
Özellikler	1. periyot	2. periyot	Özellikler	1. periyot	2. periyot
Kil, %	56,3	57,1	Katı madde, %	40	87
Silt, %	36,2	35,6	Yanma kaybı, %	61	73
Kum, %	7,6	8,2	pH	7,55	6,49
Tekstür sınıfı	Killi	Killi	EC 25 °C, dSm ⁻¹	7,11	8,00
pH	7,80	7,93	Toplam N, %	4,50	5,25
Elektiriksel iletkenlik (EC), dS m ⁻¹	2,638	1,953	Toplam P, %	2,23	1,95
Kireç (CaCO ₃), %	5,5	5,8	Toplam K, %	0,64	0,36
Organik madde, %	2,77	2,76	C/N	8	8
Alınabilir fosfor (P), kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	30	30	Toplam Fe, %	1,42	0,91
Alınabilir potasyum (K), kg K ₂ O ha ⁻¹	990	900	Toplam Mn, ppm	812	986
Ekstrakte edilebilir Fe, ppm	16,92	22,77	Toplam Cu, ppm	136	120
Ekstrakte edilebilir Cu, ppm	3,41	4,43	Toplam Zn, ppm	718	926
Ekstrakte edilebilir Zn, ppm	0,21	0,31	Toplam Cd, ppm	1,5	1,1
Ekstrakte edilebilir Mn, ppm	4,86	5,51	Toplam Cr, ppm	45	39
			Toplam Ni, ppm	57	42
			Toplam Pb, ppm	35±9	37
			Toplam Hg, ppm	<0,001	<0,001

dartları sağlayacak şekilde sistemde arıtıldıktan sonra Kızılırmak'a deşarj edilmektedir. Atıksu Arıtma Tesisi, 118.500 eşdeğer nüfusa karşılık ortalama 486 L sn⁻¹ evsel nitelikli atıksu oluşacağı varsayılarak dizayn edilmiştir. Tesiste ön çökertme havuzunda çökelen çamur ham çamur olduğundan stabilizasyon için çamur çürütme tankına verilmekte, burada aerobik çamur stabilizasyonu sağlanmaktadır. Stabilize edilen çamur, çamur yoğunlaştırma havuzlarına verilerek katı madde yüzdesi artırılmakta ve çamur hacmi azaltılmaktadır. Yoğunluğu artan çamur Belt Press ile susuzlaştırılarak çamur kek haline getirilmektedir. Arıtma çamuru materyali % 1,42-0,91 arasında toplam Fe, 812-986 ppm Mn, 120-136 ppm Cu ve 718-926 ppm arasında da Zn içermektedir (Çizelge 1). Türkiye'de 2010 yılında yürürlüğe giren "Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmeliği"ne göre toprakta kullanılabilecek stabilize arıtma çamurunda müsaade edilecek maksimum ağır metal muhtevaları sınır değerleri; kurşun, kadmiyum, krom, bakır, nikel, çinko ve civa için sırasıyla 750, 10, 1000, 1000, 300, 2500 ve 10 ppm (fırın kuru toprakta) olarak bildirilmektedir (Anonymous, 2010). Buna göre; araştırmada kullanılan arıtma çamurunun ağır metal içerikleri gözden geçirildiğinde (Çizelge 1), yönetmelikte belirtilen sınır değerlerin altında ağır metal içerdiği saptanmıştır. Arıtma çamurunun mikrobiyolojik analizleri sonucu kullanımını sınırlandıracak Fekal coli seviyesi de tespit edilmemiştir.

Araştırmada buğday çeşidi olarak "Panda", beyaz baş lahana tohumu olarak yörede yaygın olarak yetiştirilen yerli çeşit ve domates tohumluğu olarak ise "5656 F1" domates çeşidi kullanılmıştır.

Bafra İlçesinin uzun yıllar ortalamalarına ait iklim verileri incelendiğinde; uzun yıllar (54 yıllık) sıcaklık ortalaması 13,8°C olup, araştırma yılları yıllık sıcaklık ortalaması ise 13,4-14,3°C arasında değişmiştir. Uzun yıllar ve araştırma yıllarında en yüksek sıcaklık ortalaması ağustos ayında, en düşük sıcaklık ortalaması ise

şubat ayında kaydedilmiştir. Bafra'da 54 yıllık ortalama nispi nem oranı % 74,8 olarak gerçekleşmiştir. Araştırma yıllarında aylık toplam yağış miktarı 710,2-1124,7 mm arasında değişiklik göstermiş olup, 54 yıllık ortalama yağış miktarı ise aylık 737,4 mm olarak tespit edilmiştir (Anonymous, 2008).

"Buğday+beyaz baş lahana+domates" münavebesi esas alınmak üzere, tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekrarlamalı olarak planlanan araştırmanın konusunu, arıtma çamurunun 0, 10, 20, 30, 40 ve 50 t ha⁻¹ dozları ile optimum kimyasal gübreleme (NP) uygulaması teşkil etmiştir. Denemelerin parsel ölçüleri 5,64m x 10m (56,40 m²) olarak düzenlenmiştir. Arıtma çamuru dozları; çamurun ihtiva ettiği toplam N, bitkilerin ihtiyacı duyduğu azotlu gübre isteği ile arıtma çamurunun toprağa uygulanmasında müsaade edilen ağır metal yükü sınır değerleri esas alınarak belirlenmiştir.

Arıtma çamuru her bir münavebe periyodunda bir kez olmak üzere münavebenin ilk bitkisi olan buğdayın ekim öncesinde, hava kurusu hale geldikten sonra 65°C sabit ağırlığa getirilmiş kuru madde üzerinden hesaplanarak, araştırmada ele alınan dozlar itibarıyla pulluk altına verilerek toprağa uygulanmıştır. Buna göre arıtma çamuru uygulaması Ekim ayı ortalarında gerçekleştirilmiştir.

Araştırmada optimum NP konusundaki uygulamada; toprak analiz sonuçlarına dayanan azotlu ve fosforlu gübre uygulaması yapılmış olup, azotlu gübre miktarlarının uygulamasında yörenin iklim ve toprak koşullarında daha önce yapılmış araştırma sonuçlarına göre, buğday için 20 kg da⁻¹ N (Özdemir ve Güner, 1983a), beyaz baş lahana ve domates için 13 kg da⁻¹ N (Deniz ve Özdemir, 1980; Özdemir ve Güner, 1983b) esas alınmıştır. Buna göre; azotlu gübrenin (amonyum sülfat-% 21 N) yarısı ile fosforlu gübrenin (triple süper fosfat-% 43-44 P₂O₅) tamamı buğday ekiminden, beyaz baş lahana ve domates dikiminden önce, azotlu gübrenin kalan yarısı ise buğday için kardeş-

lenme ortalarında, beyaz baş lahanada 2. çapada sıralara, domatesta ise meyveler görülmeye başladığında sıralar arasına serpme olarak uygulanmıştır. Araştırma yeri toprakları potasyumca zengin olduğu için potasyumlu gübre uygulaması yapılmamıştır.

Buğday, beyaz baş lahana ve domates ekim/dikimlerinden önce, toprak derin sürülmüş, diskaro ve tırmık çekilmek suretiyle tarla hazırlıkları yapılmıştır. Buğday ekimi havalı kombine mibzerle yapılmış olup, dekara 18 kg tohum atılmıştır. Buğday hasadından sonra aynı parsellere 100 cm x 75 cm sıra arası x sıra üzeri mesafede beyaz baş lahana, lahana hasatları tamamlandıktan sonra ise münavebenin son bitkisi olan domates 140 cm x 60 cm sıra arası x sıra üzeri mesafe esas alınarak deneme parsellerine şaşırtılmıştır. Domates hasatları da tamamlanarak bir münavebe periyodu sonlandırılmıştır. Her iki münavebe periyotlarında uygulanan kültürel işlemlere ait önemli tarihler Çizelge 2’de verilmiştir.

“Buğday + beyaz baş lahana + domates” münavebe sisteminde arıtma çamuru uygulamalarının, toprağın bazı mikro element kapsamına etkilerinin belirlenmesi amacıyla her bir münavebe periyodu sonunda (domates hasat sonrası), her parselden genel kurallara uygun

olarak (Jackson, 1958) paslanmaz çelik kürek ile 0-20 cm derinlikten toprak örnekleri alınmıştır. Alınan örnekler, temiz kurutma kağıtları üzerine serilerek bitki artıkları ve taşlar ayıklanmış ve gölgede kurumaya bırakılmıştır. Hava kurusu hale getirilmiş örnekler temiz tahta tokmak ve tablalar yardımıyla ezilerek 2 mm’lik paslanmaz çelik elekten geçirilmiş ve analizlerde kullanılmak üzere etiketlenerek polietilen kutulara konulmuştur. Arıtma çamuru örneklerinde hemen yapılması gereken analizler için ayrılan kısım dışındaki örnekler toprak örneklerindeki analize hazırlama aşamalarından geçirilerek analize hazır hale getirilmiştir.

Arıtma çamuru materyalinde Kacar (1990)’a göre pH, katı madde, toplam azot, toplam fosfor, toplam potasyum, yanma kaybı, C/N oranı ve EC, Anonymous (1990)’a göre toplam Ni, Cd, Pb, Hg, Cr, Fe, Cu, Zn ve Mn ve Anonymous (1983)’e göre Fekal coli (g) (kurutulmuş çamur kekinde) analizleri yapılmıştır.

Toprakların ekstrakte edilebilir mikro element (Fe, Cu, Zn, Mn) içerikleri, analize hazırlanan topraklar DTPA + TEA ile ekstrakte edildikten (Lindsay ve Norvell, 1978) sonra, elde edilen süzüklerdeki Fe, Cu, Zn ve Mn miktarları Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi (Perkin Elmer Analyst 300)’nde okunarak tayin edilmiştir.

Çizelge 2. Tarla denemelerindeki kültürel uygulamalara ait tarihler

Tarımsal uygulamalar	1. periyot münavebe denemesi			2. periyot münavebe denemesi		
	Buğday	Beyaz baş lahana	Domates	Buğday	Beyaz baş lahana	Domates
Arıtma çamuru uygulaması	23.10.2002	---	---	13.10.2003	---	---
Ekim/dikim	18.11.2002	30.07.2003	15.05.2004	10.11.2003	19.08.2004	12.05.2005
İkinci azotlu gübreleme	13.03.2003	09.09.2003	23.06.2004	15.03.2004	01.10.2004	15.06.2005
Çapa	---	1-12.08.2003 2-09.09.2003	1-31.05.2004 2-22.06.2004 3-09.07.2004	---	1-15.09.2004 2-01.10.2004	1-30.05.2005 2-15.06.2005 3-12.07.2005
Hasat	03.07.2003	22.10.2003 06.11.2003 20.11.2003	26.07.2004 02.08.2004 06.08.2004 11.08.2004 16.08.2004 20.08.2004 24.08.2004 31.08.2004	08.07.2004	07.12.2004 31.12.2004	21.07.2005 26.07.2005 01.08.2005 09.08.2005 16.08.2005 23.08.2005 01.09.2005 07.09.2005

Çalışmadan elde edilen sonuçlar (iki münavebe periyodu ayrı ayrı değerlendirilerek), “Jump” istatistik paket programı kullanılarak tesadüf blokları deneme desenine göre varyans analizine tabi tutulmuş, F testi sonuçlarına göre farklı grupları tespit etmede çoklu karşılaştırma yöntemlerinden Duncan Testi (Yurtsever, 1984) kullanılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Aritma çamurunun farklı dozları ve kimyasal gübre uygulamalarının toprağın DTPA ile ekstrakte edilebilir Fe, Cu, Zn ve Mn içeriklerine etkileri Çizelge 3'te gösterilmiştir.

Toprakta ekstrakte edilebilir Fe kapsamına uygulamaların etkisi birinci periyot münavebe denemesinde istatistiksel olarak önemli ($P<0,01$) olmuştur. Fe miktarı kontrolde (0 t ha^{-1} arıtma çamuru) 14,63 ppm iken, 10 t ha^{-1} arıtma çamuru dozunda bir miktar azalma olmasına rağmen, arıtma çamurunun artan dozları ile düzenli bir şekilde artarak, 50 t ha^{-1} arıtma çamuru düzeyinde 18,27 ppm'e ulaşmıştır. Bununla birlikte arıtma çamurunun 30, 40 ve 50 t ha^{-1} dozlarında belirlenen Fe içerikleri arasında istatistiksel anlamda farklılık bulunmamış olup, aynı istatistiki grubu oluşturmuştur. Optimum NP uygulanan toprakların ekstrakte edilebilir Fe içeriği 14,50 ppm olup, 20 t ha^{-1} arıtma çamuru seviyesi ile birlikte istatistiksel olarak ikinci grupta yer almıştır. İkinci periyot münavebe denemesinde ise, topraklara arıtma çamuru ilavesi kontrol ve kimyasal gübre uygulamalarına göre ekstrakte edilebilir

Fe içeriğini arttırdığı tespit edilmiştir. Ancak bu artış istatistiki açıdan önemsiz bulunmuştur (Çizelge 3).

Aritma çamurunun farklı dozları ile optimum kimyasal gübre uygulamalarının ekstrakte edilebilir Cu miktarına etkisi; ilk yıl uygulanan münavebe sonunda istatistiksel olarak $P<0,01$ seviyesinde önemli olmuştur. Söz konusu etki; kontrol, kimyasal gübre uygulaması ve arıtma çamurunun 10 t ha^{-1} düzeyi ile çamurun diğer dozları arasında gerçekleşmiştir. Buna göre birinci münavebe periyodunda, toprakların en yüksek ekstrakte edilebilir Cu miktarı arıtma çamurunun en yüksek dozunda belirlenmiş (490 ppm) olup, arıtma çamuru dozlarının artışına paralel olarak toprağın Cu içeriğinde artış olmasına karşılık 20, 30, 40 ve 50 t ha^{-1} dozlarında belirlenen değerler yönünden istatistiki anlamda farklılık ortaya çıkmamıştır. Toprakların en düşük ekstrakte edilebilir Cu kapsamı 4,40 ppm ile 10 t ha^{-1} arıtma çamuru dozu ve kimyasal gübre uygulanan parsellerde belirlenmiş olup, kontrol konusu ile aralarında ki farklılık istatistiksel olarak önemsiz olmuştur. İkinci periyot münavebe denemesinde ise, uygulamalar arasında istatistiki yönden farklılık ortaya çıkmamıştır (Çizelge 3).

Ekstrakte edilebilir Zn miktarına uygulamaların etkisi her iki münavebe periyotlarında da çok önemli ($P<0,01$) olmuştur. Uygulanan arıtma çamuru dozlarına paralel olarak toprakların ekstrakte edilebilir Zn kapsamının belirgin bir şekilde artış gösterdiği, her iki yılda da en yük-

Çizelge 3. Arıtma çamurunun toprakların ekstrakte edilebilir demir, bakır, çinko ve mangan kapsamlarına etkileri (ppm)

Konular	1. periyot münavebe denemesi				2. periyot münavebe denemesi			
	Fe	Cu	Zn	Mn	Fe	Cu	Zn	Mn
0 t ha^{-1} arıtma çamuru	14,63 b	4,43 bc	0,37 d	5,37	14,73	4,15	0,23 e	5,10
10 t ha^{-1} arıtma çamuru	13,07 c	4,40 c	0,87 c	5,07	15,63	4,36	0,68 d	5,30
20 t ha^{-1} arıtma çamuru	15,43 b	4,77 ab	1,40 b	4,90	15,33	4,20	0,77 d	4,63
30 t ha^{-1} arıtma çamuru	17,47 a	4,80 a	1,63 b	5,63	16,83	4,31	1,28 c	4,83
40 t ha^{-1} arıtma çamuru	17,73 a	4,83 a	2,37 a	5,40	16,53	4,58	1,70 b	4,87
50 t ha^{-1} arıtma çamuru	18,27 a	4,90 a	2,53 a	5,90	16,97	4,38	2,07 a	4,67
Optimum N+P	14,50 b	4,40 c	0,67 cd	5,30	15,37	4,30	0,29 e	4,87

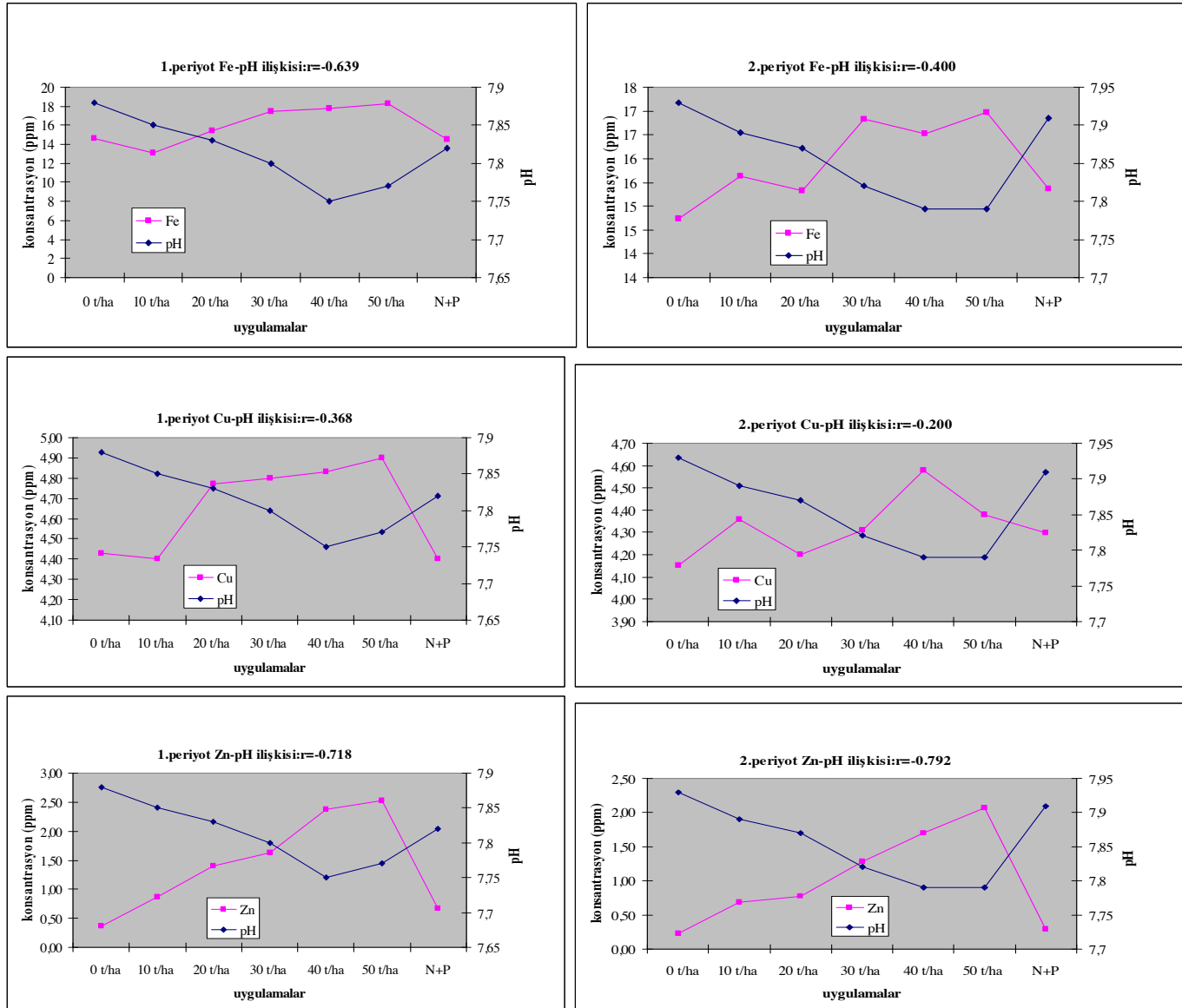
Aynı sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel olarak farklılık yoktur.

sek Zn değerlerinin 50 t ha⁻¹ arıtma çamuru düzeyinde ortaya çıktığı belirlenmiştir (sırasıyla 2,53 ve 2,07 ppm). Toprakların en düşük ekstrakte edilebilir Zn miktarları ise kimyasal gübre ve arıtma çamuru uygulanmayan kontrol konusunda saptanmış (0,37 ve 0,23 ppm) olup, optimum NP uygulanan araştırma konusu ile istatistiksel olarak aynı grubu oluşturmuştur (Çizelge 3).

Arıtma çamurunun farklı dozları ile kimyasal gübre uygulamalarının toprakta ekstrakte edilebilir Mn içeriklerine her iki münavebe periyotlarında da istatistiksel olarak önemli etkisi olmamıştır. Birinci münavebe periyodu uygulamasında, kontrol konusunda 5,37 ppm olarak

belirlenen Mn miktarı 50 t ha⁻¹ arıtma çamuru dozunda 5,90 ppm'e yükselmesine karşılık, bu değişiklikler istatistiksel anlamda önemli bulunmamıştır (Çizelge 3).

Arıtma çamuru ilavesi ekstrakte edilebilir Fe, Zn ve Cu miktarlarını önemli düzeyde artırmıştır. Bu etki arıtma çamurunun doğrudan etkisine bağlanabileceği gibi, toprak pH'sındaki önemli azalmanın (Özyazıcı ve Özyazıcı, 2012) dolaylı etkisine de bağlanabilir. Nitekim yapılan korelasyon analizi sonucunda araştırmada, toprak pH'sı ile toprakların ekstrakte edilebilir Fe, Cu ve Zn içerikleri arasında negatif yönde önemli ilişkiler belirlenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Arıtma çamuru uygulanan toprakların pH değerleri ile ekstrakte edilebilir Fe, Cu ve Zn değerleri arasında ilişki

Aritma çamurlarının 0, 20, 40, 80, 120, 160 t ha⁻¹ (Aşık ve Katkat, 2004); 0, 20, 40, 80, 160 t ha⁻¹ (Mohammad ve Athamneh, 2004); 0, 40, 80, 120 t ha⁻¹ (Angın ve Yağanoğlu, 2009 ve 2011) uygulama düzeyleri ile yapılan araştırmalarda; artan arıtma çamuru dozlarına bağlı olarak toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir Fe, Cu, Zn ve Mn içeriklerinin arttığı, bu artışın istatistiksel açıdan önemli (P<0,05) olduğu bildirilmektedir. Bozkurt vd. (2000), Datta vd. (2000), Bozkurt vd. (2009) ve Keskin vd. (2010) tarafından yapılan araştırmalarda da benzer bulgular elde edilmiştir.

Birçok araştırmada, arıtma çamuru uygulamalarının toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir Fe içeriklerini (Bozkurt vd., 2006; Akdeniz vd., 2009; Keskin vd., 2009), Cu içeriklerini (Reed vd., 1991; Silva vd., 2000; Cogger vd., 2001; Shober vd., 2003; Türkmen, 2004; Topçuoğlu, 2005; Bozkurt vd., 2001, 2006; Akdeniz vd., 2006; Khan vd., 2007; Keskin vd., 2009), Zn içeriklerini (Soon vd., 1980; Reed vd., 1991; Silva vd., 2000; Cogger vd., 2001; Shober vd., 2003; Türkmen, 2004; Topçuoğlu, 2005; Bozkurt vd., 2001, 2006; Khan vd., 2007; Keskin vd., 2009; Akdeniz vd., 2006, 2009), Mn içeriklerini (Shober vd., 2003), arttırdığı rapor edilmiştir.

Buna karşılık, bazı araştırmacılar da arıtma çamuru uygulamalarının toprakların ekstrakte edilebilir Fe (Reed vd., 1991; Akdeniz vd., 2006) ve Mn içeriklerine (Reed vd., 1991; Akdeniz vd., 2006; Bozkurt vd., 2006; Keskin vd., 2009) etkili olmadığını bildirmektedirler.

Araştırmada, arıtma çamurunun farklı dozları ile kimyasal gübre uygulanmış toprakların ekstrakte edilebilir Fe kapsamı 13,07-18,27 ppm,

Cu 4,15-4,90 ppm, Zn 0,23-2,53 ppm ve Mn kapsamı 4,63-5,90 ppm arasında değişiklik göstermiştir (Çizelge 3). Araştırmada uygulanan işlemler sonucunda, toprakların Fe, Cu, Zn ve Mn yönünden yapılan sınıflandırmaya göre (Lindsay ve Norvell, 1978); toprakta ekstrakte edilebilir Fe ve Cu, hem kontrol toprağında hem de uygulama sonrası yeterli düzeyin üzerinde olduğu, ekstrakte edilebilir Zn, kontrol toprağında az seviyede iken, arıtma çamuru uygulamaları sonrası yeter/fazla düzeye ulaştığı, ekstrakte edilebilir Mn ise, hem kontrol toprağında hem de araştırmada ele alınan uygulamalar sonucunda yeter düzeyin altında olduğu ve toprakların Mn yönünden az sınıfında yer aldığı görülmüştür.

Evsel ve kentsel arıtma çamurlarının, bitkileri ihtiyacı duyduğu besin elementlerinden Fe, Cu, Zn ve Mn miktarlarının artırılmasında önemli katkılar sağlayabileceği düşünülmektedir. Bafra Ovası toprakları genellikle alkaline reaksiyonlu oldukları için, bitkilerde sıkça mikro besin elementi eksiklikleri görülmektedir. Bu nedenle, toprakların kireç bakımından da zengin olduğu göz önüne alındığında, arıtma çamuru kullanımının uygun olacağı görüşüne varılabilir.

Ancak, yüksek ağır metal içeriğine sahip arıtma çamurlarının aynı alana uzun yıllar boyunca uygulanması, bu elementlerin topraklardaki hareket kabiliyetlerinin sınırlı olmasından dolayı, toprak ağır metal içeriğinin artmasına neden olabilen önemli bir risk faktörüdür (Ingelmo vd., 1998). Bu nedenle tarımsal alanlara uygulanacak arıtma çamurlarının seçiminde bu faktörün göz önünde bulundurulması, sürdürülebilir toprak yönetim için oldukça önemlidir.

KAYNAKLAR

Akdeniz H, Keskin B, Bozkurt M A (2009). Yield and metal concentration in garden burnet (*Sanguisorba minor scop.* Bunyan 80) from application of sewage sludge and chemical fertilizer. *J. Anim. Vet. Adv.*, 8: 694-701.

Akdeniz H, Yılmaz I, Bozkurt M A, Keskin B (2006). The effects of sewage sludge and nitrogen applications on grain sorghum grown (*Sorghum vulgare L.*) in Van-Turkey. *Polish Journal of Environmental Studies Vol.* 15, No. 1, 19-26.

- Akyarlı A, Şahin H (2005). Arıtma çamurunun bertarafında kireç kullanımı. I.Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu Bildiriler, 191-200. 23-25 Mart 2005, İzmir.
- Angın İ, Yağanoğlu A V (2009). Arıtma çamurlarının fiziksel ve kimyasal toprak düzenleyicisi olarak kullanımı. *Ekoloji* 19, 73, 39-47.
- Angın İ, Yağanoğlu A V (2011). Effects of sewage sludge application on some physical and chemical properties of a soil affected by wind erosion. *J. Agr. Sci. Tech.*, Vol. 13:757-768.
- Anonymous (1983). Gıda Maddeleri Muayene ve Analiz Yöntemleri. Koruma Kontrol Genel Müdürlüğü, Genel Yayın No: 65, Ankara.
- Anonymous (1990). Standard Methods for Examinations of Water and Wastewater.
- Anonymous (2008). Samsun Meteoroloji Bölge Müdürlüğü kayıtları.
- Anonymous (2010). Evsel ve kentsel arıtma çamurlarının toprakta kullanılmasına dair yönetmelik. Resmi Gazete, 03 Ağustos 2010, Sayı: 27661.
- Aşık B B, Katkat A V (2004). Gıda sanayi arıtma tesisi atığının (arıtma çamuru) tarımsal alanlarda kullanım olanakları. *Uludağ Üniv.Zir.Fak.Derg.*, 18(2): 59-71.
- Bozkurt M A, Erdal İ, Çimrin K M, Karaca S, Sağlam M (2000). Kentsel arıtma çamuru ve humik asit uygulamalarının mısır bitkisinin besin elementi ve ağır metal kapsamına etkisi. *A.Ü. Zir. Fak. Tarım Bil. Der.* 6(4): 35-43.
- Bozkurt M A, Akdeniz H, Keskin B (2009). The growth of corn plant in coal fly-ash and lime-stabilized sewage sludge. *Fresenius Environ. Bull.*, 18: 45-50.
- Bozkurt M A, Akdeniz H, Keskin B, Yılmaz I H (2006). Possibilities of using sewage sludge as nitrogen fertilizer for maize. *Acta Agric. Scand. BSP*, 56: 143-149.
- Bozkurt M A, Yılmaz I, Cimrin K M (2001). The use of municipal sewage sludge as a source of nitrogen in winter barley. *Agric. Sci. J.*, 7: 105-110.
- Cogger C G, Bary A I, Fransen S C, Sullivan D M (2001). Seven years of biosolids versus inorganic nitrogen applications to tall fescue. *J. Environ. Qual.*, 30: 2188-2194.
- Datta S P, Biswas D R, Saharan N, Ghosh S K, Rattan R K (2000). Effect of long-term application of sewage effluents on organic carbon, bioavailable phosphorus, potassium and heavy metals status of soils and uptake of heavy metals by crops. *J. Indian Soc. Soil Sci.*, 48: 836-839.
- Deniz Y, Özdemir, O (1980). Bafra ovası koşullarında beyaz baş lahananın ticaret gübreleri gereksinimi. Samsun Bölge TOPRAKSU Araş. Ens. Müd. Yay., Genel Yayın No: 8, Rapor Yayın No: 7, Samsun.
- EEA (2005). European Environment Agency. European Environment Outlook, 59. Copenhagen.
- Ingelmo F, Canet R, Ibañez M A, Pomares F, García J (1998). Use of MSW compost, dried sewage sludge and other wastes as partial substitutes for peat and soil. *Bioresource Technology* 63, 123-129.
- Jackson M L (1958). Soil chemical analysis. Prentice-Hall. Inc. Englewood Cliffs, N.J.
- Jantzen J, Van Der Woerd H (2007). Sound Sludge, Project report about disposal and recycling routes for sewage sludge, Available: <http://extranet.groupeirhenvironnement.com>.
- Kacar B (1990). Gübre Analizleri. Ankara Üniv. Zir. Fak., Ankara.
- Keskin B, Bozkurt M A, Akdeniz H (2010). The effects of sewage sludge and nitrogen fertilizer application on nutrient and heavy metal concentration of soil and Smooth Bromegrass (*Bromus inermis* Leyss.). *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 9(5):896-902.
- Keskin B, Akdeniz H, Yılmaz I H, Bozkurt M A (2009). Sewage sludge as nitrogen source for irrigated silage sorghum. *J. Anim. Vet. Adv.*, 8: 573-578.
- Khan M A, Kazi T G, Ansari R, Mujtaba S M, Khanzada B, Khan M A, Shirazi M U, Mumtaz S (2007). Effects of un-treated sewage sludge on wheat yield, metal uptake by grain and accumulation in the soil. *Pak. J. Bot.*, 39(7):2511-2517.
- Lindsay W L, Norvell W A (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42(3):421-428.
- Mohammad M J, Athamneh B M (2004). Changes in soil fertility and plant uptake of nutrients and heavy metals in response to sewage sludge application to calcareous soils. *Journal of Agronomy* 3 (3): 229-236.

Özdemir O, Güner S (1983a). Samsun yöresinde buğdayın azotlu ve fosforlu gübre isteği ile olası fosfor analiz metodunun kalibrasyonu. T.C. Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı Köy Hiz. Gen. Müd. Samsun Bölge TOPRAKSU Araş. Ens. Müd. Yay., Genel Yayın No: 30, Rapor Yayın No: 25, Samsun.

Özdemir O, Güner S (1983b). Bafra ve Çarşamba Ovalarında domates ve biberin azotlu ve fosforlu gübre isteği. Samsun Bölge TOPRAKSU Araş. Ens. Müd. Yay., Genel Yayın No: 23, Rapor Yayın No: 19, Samsun.

Özyazıcı M A, Özyazıcı G (2012). Arıtma çamurunun toprağın bazı temel verimlilik parametreleri üzerine etkileri. Anadolu Tarım Bilim. Derg., 27(2):101-109.

Reed B E, Carriere P E, Matsumoto M R (1991). Applying sludge on agricultural land. Biocycle 37, 58. Shober A L, Stehouwer R C, Macneal K E (2003). On-farm assessment of biosolids effects on soil and crop tissue quality. J. Environ. Qual., 32: 1873-1880.

Silva P F C, Fante L J, Pilotto J E, Rodrigues J A, Boaretto A E (2000). Evaluating the residual effects of sludge in root distribution and heavy metals in sugar cane crop. Int. Sugar J., 102: 424-430.

Soon Y K, Bates T E, Moyer J R (1980). Land application of chemically treated sewage sludge III. Effects on soil and plant heavy metal content. J. Environ. Qual., 9: 497-504.

Soumare M, Tack F M G, Verloo M G (2003a). Characterization of malian and belgian solid waste composts with respect to fertility and suitability for land application, Waste Management, 23, 517-522.

Soumare M, Tack F M G, Verloo M G (2003b). Effects of a municipal solid waste compost and mineral fertilization on plant Growth in Two Tropical Agricultural Soils of Mali, Bioresource Technology, 86, 15-20.

Topçuoğlu B (2005). Effects of Repeated applications of sewage sludge and msw compost on the bioavailability of heavy metals in greenhouse soil. Polish Journal of Environmental Studies Vol. 14, No. 2, 217-222.

Türkmen C (2004). Kireçli toprak sisteminde kentsel arıtma çamurunun arpa bitkisinin gelişimi bazı ağır metallerin alımı üzerine etkisi (Doktora Tezi). Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı, s. 207, Ankara.

Yakupoğlu T, Özdemir N (2007). Erozyona uğramış topraklara uygulanan arıtma çamuru ve çay endüstrisi atığının toprakların mikro element içeriklerine etkileri, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 22(2):207-213.

Yurtsever N (1984). Deneysel istatistik metotları. Köy Hiz. Genel. Müd.Yay.,Genel Yay. No: 121, Ankara, 623s.