

ARITMA ÇAMURUNUN TOPRAĞIN BAZI TEMEL VERİMLİLİK PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Mehmet Arif ÖZYAZICI* Gülen ÖZYAZICI

Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü-SAMSUN
*arifozyazici@hotmail.com

Geliş Tarihi: 17.02.2012

Kabul Tarihi: 27.03.2012

ÖZET: Bu çalışma, arıtma çamurunun toprağın bazı temel verimlilik parametreleri 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 (N+P) uygulaması yapılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, artan dozlardaki arıtma çamuru uygulaması ile toprağın; pH'sında azalma, EC, organik madde, toplam N ve alınabilir P değerlerinde artış, kireç ve alınabilir K içeriklerinde ise herhangi bir değişimin olmadığı tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Arıtma çamuru, organik madde, toprak kimyasal özellikleri

EFFECTS OF SEWAGE SLUDGE ON SOME BASIC PRODUCTIVITY PARAMETERS OF SOIL

ABSTRACT: This study was carried out in order to determine the effects of sewage sludge on some basic productivity parameters 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. It was determined that the pH of the soil decreased whereas EC, organic matter, total N and receivable P values increased with the increasing rates of sewage sludge. However, there was no variation on lime and receivable potassium (K) contents of the soil.

Keywords: Sewage sludge, organic matter, soil chemical characteristics

1. GİRİŞ

Endüstrileşmenin yaygınlaşması, nüfusun artışı ve kent merkezlerinin büyük bir hızla büyümesi sonucu topluluklar tarafından üretilen evsel ve endüstriyel kökenli atık su miktarı hızla artmış, bu durum önemli sağlık ve çevre sorunlarını da beraberinde getirmiştir. Ancak, günümüzde çevre bilincinin artmasıyla birlikte gerek birçok sanayi tesislerinde, gerekse şehircilik planlamalarında arıtma tesislerinin kurulması ve çalışması bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu tesislerde arıtma sonucu açığa çıkan ve sistemin önemli bir parçasını teşkil eden arıtma çamurlarının tekrar çevre kirliliği oluşturmaması için uygun yöntemlerle ortadan kaldırılması gerekmektedir. Çamurun ortadan kaldırılması konusunda uzun yıllardan beri çeşitli yöntemler denenmiş ve çok sayıda araştırma yürütülmüştür. Bu yöntemler arasında arıtma çamurlarının toprağa verilerek ortadan kaldırılması ekonomiyeye katkısı bakımından üzerinde önemle durulan bertaraf tekniklerinden birisidir. Organik gübre ve toprak düzenleyici olarak uygun özellikler taşıyan arıtma çamurlarının tarımda kullanılmaları ile hem çamur bertarafı gerçekleştirilmekte hem de tarımsal üretimde ekonomik kazanç sağlanabilmektedir.

Arıtma çamurları; bölgeden bölgeye, tesise giren hammadde ve işlem proseslerine göre miktarı değişmekle birlikte yüksek oranda organik madde, makro ve mikro bitki besin maddeleri ile değişebilir katyonlar içerdiği ve kontrollü olarak toprağa verilebileceği bir çok araştırmacı tarafından bildirilmektedir (Hakerlerler, 1980; Anaç ve ark., 1993; Kyle ve McClintock, 1995; Navas ve ark., 1998;

Bozkurt ve ark., 2000; Martinez ve ark., 2002; Shober ve ark., 2003; Dolgen ve ark., 2007). Bunların yanı sıra arıtma çamurları ağır metaller, organik kirleticiler ve patojen mikroorganizmalar da içerebilmekte ve farklı amaçlı kullanımları esnasında çevreye zarar verebilmektedir (McBride, 1995; Çimrin ve ark., 2000; Singh ve Agrawal, 2007).

Larson ve ark. (1974) şehir arıtma çamurlarının tarımsal ürünün ihtiyaç duyduğu azot, fosfor ve mikro besin elementlerini sağlayabildiği ve uygun şekilde ele alındığı taktirde tarımsal arazilerde kullanılabilirliğini belirtmişlerdir. Williams (1979) arıtma çamurlarının ve organik gübrelerin tarım arazilerindeki faydalı kullanımını belirlemek için havada kurutulmuş ham çamur, havada kurutulmuş çürük çamur ve çiftlik gübrelerinin bitki besin düzeylerini belirlemiş, bu atıkları tarım alanlarına uygulayarak ürün verimi ve kalitesi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Araştırmacı, arıtma çamurlarının azot (N) ve fosfor (P) yönünden yararlanılabilir bir kaynak olduğunu ancak potasyum yönünden fakir kaldığını, özellikle sulu haldeki çürütülmüş çamurların bitkiye yararlı N ve P bakımından oldukça değerli bir kaynak olduğunu vurgulamıştır.

Turalhoğlu ve Acar (1996), arıtma çamurlarının çevreye en az zarar verecek şekilde bertaraf edilmesi ve içerdikleri besin elementlerinden de yararlanılabilmesi için tarım topraklarında kullanmanın en iyi yol olduğunu ancak uygulamadan önce ağır metal, tuz, azot ve patojen mikroorganizma miktarlarının tespit edilerek verilebilecek maksimum yüklerin belirlenmesi gerektiğini bildirmektedir.

Atık su arıtma tesislerinden ortaya çıkan arıtma çamurlarının tarımsal açıdan değerlendirilmesi

düşünüldüğünde, bu çamurların öncelikle bitki besin elementi içeriği, tuzluluk, pH ve ağır metal içeriği bakımından detaylı araştırmalarının yapılması, toprağa uygulandığında, toprak yapısına, toprağın biyolojik, fiziksel ve kimyasal özelliklerine etkileri dikkate alınmalı ve uygulamaların bu doğrultuda yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, Bafra Atık Su Arıtma Tesisi'nden çıkan arıtma çamurunun toprağın bazı verimlilik öğeleri üzerine etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırma, Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Bafra Deneme İstasyonu arazisinde 2002-2005 yılları arasında yürütülmüştür. Araştırmada “buğday + beyaz baş lahanaya + 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 bazı özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

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

Çizelge 1. Araştırma yeri topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri (0-20 cm)*

Özellik	Değeri	
	I. periyot münavebe denemesi	II. periyot münavebe denemesi
Kil (%)	56.3	57.1
Silt (%)	36.2	35.6
Kum (%)	7.6	8.2
Tekstür sınıfı	Killi	Killi
Ph	7.80	7.93
Elektriksel iletkenlik (EC) (dS m ⁻¹)	2.638	1.953
Kireç (CaCO ₃) (%)	5.5	5.8
Organik madde (%)	2.77	2.76
Alınabilir fosfor (P) (kgP ₂ O ₅ ha ⁻¹)	30	30
Alınabilir potasyum (K) (kgK ₂ Oha ⁻¹)	990	900

*Analizler (Mülga) Samsun Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü laboratuvarında yapılmıştır.

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 (Anonim, 2008).

Araştırmada, Samsun-Bafra Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi’nden çıkan kek halindeki arıtma çamuru kullanılmış olup, çamur materyalinin bazı özellikleri Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2 incelendiğinde; arıtma çamuru materyali % 4.50-5.25 arasında N, % 1.95-2.23 P ve % 0.36-0.64 arasında da K (potasyum) içermektedir. Türkiye’de 2010 yılında yürürlüğe giren “Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmeliği”ne göre toprakta kullanılacak stabilize arıtma çamurunda müsaade edilecek maksimum ağır metal muhtevaları sınır değerleri; kurşun için 750 ppm, kadmiyum için 10 ppm, krom için 1000 ppm, bakır için 1000 ppm, nikel için 300 ppm, çinko için 2500 ppm ve civa için 10 ppm (fırın kuru toprakta) olarak bildirilmektedir (Anonim, 2010). Buna göre; araştırmada kullanılan arıtma çamurunun ağır metal içerikleri gözden geçirildiğinde, yönetmelikte belirtilen sınır değerlerinin 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 lahanaya tohumu olarak yörede yaygın olarak yetiştirilen yerli çeşit ve domates tohumluğu olarak ise “5656 F1” domates çeşidi kullanılmıştır.

“Buğday+beyaz baş lahanaya+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 (N+P) uygulaması teşkil etmiştir. Parsel ölçüleri 5.64m x 10m (56.40 m²) olarak düzenlenmiştir.

Çizelge 2. Araştırmada kullanılan arıtma çamurunun fiziko-kimyasal özellikleri

Özellik	Birim	Değeri	
		I. periyot münavebe denemesi	II. periyot münavebe denemesi
Katı madde	%	40	87
Yanma kaybı	%	61	73
pH		7.55	6.49
EC 25°C	dS m ⁻¹	7.11	8.00
Toplam N*	%	4.50	5.25
Toplam P	%	2.23	1.95
Toplam K	%	0.64	0.36
C/N		8	8
Cu	ppm	136	120
Zn	ppm	718	926
Cd	ppm	1.5	1.1
Cr	ppm	45	39
Ni	ppm	57	42
Pb	ppm	35±9	37
Hg*	ppm	<0.001	<0.001

(*): Düzen Laboratuvarında yapılmıştır.

Aritma 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 itibariyle pulluk altına verilerek toprağa uygulanmıştır. Buna göre arıtma çamuru uygulaması Ekim ayı ortalarında gerçekleştirilmiştir.

Araştırmada optimum N+P 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 N (Özdemir ve Güner, 1983a), beyaz baş lahana ve domates için 13 kg/da N (Deniz ve Özdemir, 1980; Özdemir ve Güner, 1983b) esas alınmıştır. Buna göre; azotlu gübrenin (% 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 kardeşlenme ortalarında, beyaz baş lahanada 2. çapada sıralara, domateste ise meyveler görülmeye başladığında sıralar arasına serpmeye 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 10-18 Kasım tarihlerinde yapılmış olup, dekara 18 kg tohum atılmıştır. Buğday hasadından sonra aynı parsellere 100cm x 75cm sıra arasısıra üzeri mesafede Temmuz sonu/Ağustos başlarında beyaz baş lahana dikimi gerçekleştirilmiştir. Lahana hasatları tamamlandıktan sonra münavebenin son bitkisi olan domates 140cm x 60cm sıra arasısıra üzeri mesafe

esas alınarak Mayıs ayında deneme parsellerine şaşırtılmıştır. Eylül ayında domates hasadı da tamamlanarak bir münavebe periyodu sonlandırılmıştır.

“Buğday+beyaz baş lahana+domates” münavebe sisteminde arıtma çamuru uygulamalarının, toprağın bazı kimyasal özelliklerine 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. Toprak örneklerinin suyla doygunluk (%), toprak reaksiyonu, elektriksel iletkenlik (dSm⁻¹), kireç (%), organik madde (%), alınabilir fosfor (kg P₂O₅ ha⁻¹) ve alınabilir potasyum (kg K₂O ha⁻¹) kapsamları Tüzüner (1990) tarafından bildirilen esaslar dahilinde belirlenmiştir. Toplam azot, Bremner (1965) tarafından esasları belirtilen “Semimikro Kjeldahl Yöntemi” ile, C/N oranı ise organik karbon ile toplam azotun oranlanmasından (Tüzüner, 1990) belirlenmiştir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar (iki münavebe periyodu ayrı ayrı değerlendirilerek), “Jamp” 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.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Aritma çamurunun farklı dozları ve kimyasal gübre uygulaması yapılan topraklarda münavebe periyodu sonucunda belirlenen bazı temel verimlilik parametrelerine ilişkin sonuçlar Çizelge 3’te verilmiştir.

Çizelge 3. Arıtma çamuru uygulamalarının toprağın bazı özellikleri üzerine etkisi

Konular	pH*	Elektriksel İletkenlik (EC)** (dS m ⁻¹)	Kireç (%)	Organik madde* (%)	Toplam N* (%)	Alınabilir fosfor* (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)	Alınabilir potasyum (kg K ₂ O ha ⁻¹)
I. periyot münavebe denemesi							
0 t ha ⁻¹ arıtma çamuru	7.88 a	2.009 bc	6.2	2.69 d	0.194	30.5 d	730
10 t ha ⁻¹ arıtma çamuru	7.85 ab	2.139 bc	6.2	2.75 cd	0.209	80.4 c	620
20 t ha ⁻¹ arıtma çamuru	7.83 ab	1.985 bc	6.1	2.97 bc	0.209	100.9 bc	670
30 t ha ⁻¹ arıtma çamuru	7.80 bcd	1.718 c	6.0	3.05 b	0.212	130.3 b	730
40 t ha ⁻¹ arıtma çamuru	7.75 d	2.015 bc	5.9	3.05 b	0.217	200.8 a	740
50 t ha ⁻¹ arıtma çamuru	7.77 cd	2.205 b	5.8	3.31 a	0.225	220.4 a	840
Optimum N+P	7.82 bc	2.704 a	5.9	2.70 d	0.211	80.4 c	720
II. periyot münavebe denemesi							
0 t ha ⁻¹ arıtma çamuru	7.93 a	1.891	5.7	2.65	0.131 d	80.0 e	650
10 t ha ⁻¹ arıtma çamuru	7.89 a	1.896	5.4	2.95	0.146 bc	120.0 d	670
20 t ha ⁻¹ arıtma çamuru	7.87 ab	1.915	6.0	2.92	0.138 cd	160.0 c	630
30 t ha ⁻¹ arıtma çamuru	7.82 bc	2.002	5.8	3.23	0.154 ab	240.0 b	660
40 t ha ⁻¹ arıtma çamuru	7.79 c	1.949	5.4	3.15	0.162 a	240.8 b	610
50 t ha ⁻¹ arıtma çamuru	7.79 c	1.993	5.1	3.21	0.163 a	290.9 a	640
Optimum N+P	7.91 a	1.973	5.4	2.97	0.131 d	80.5 e	650

(*): P<0.01 seviyesinde aynı sütundaki aynı harfli değerler arasında istatistik farklılık yoktur.

(**): P<0.05 seviyesinde aynı sütundaki aynı harfli değerler arasında istatistik farklılık yoktur.

3.1. Arıtma Çamurunun Toprak pH'sı Üzerine Etkisi

Araştırmada, arıtma çamuru uygulanmış toprakların pH değerleri ele alınan konuların ve münavebe periyotlarının ortalaması olarak 7.75-7.93 arasında değişim göstermiştir. Ülgen ve Yurtsever (1995) tarafından yapılan sınıflandırmaya göre, gerek deneme kurulmadan önceki toprak analizi sonucunda (Çizelge 1), gerekse arıtma çamurlarının uygulandığı parsellerde toprak reaksiyonunun hafif alkali sınıfında yer aldığı görülmüştür. Ancak, birinci periyot münavebe denemesinin 50 t ha⁻¹ arıtma çamuru dozunda -istatistiksel olarak önemli olmamakla beraber- bir miktar artış olmasına rağmen, artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurunun dozlarına paralel olarak toprak pH'sının azaldığı tespit edilmiştir. Bunun sonucu olarak araştırmada, arıtma çamuru uygulamasının toprak pH'sı üzerine olan etkisi her iki münavebe periyodu sonunda da istatistiksel olarak P<0.01 seviyesinde önemli bulunmuştur. En yüksek pH değeri her iki münavebe periyodunda da kontrol (0 t ha⁻¹ arıtma çamuru) konusunda belirlenirken (sırasıyla 7.88 ve 7.93), bunu azalan sırayla aralarındaki farklılığın istatistiksel olarak önemli olmadığı 10 ve 20 t ha⁻¹ arıtma çamuru dozları takip etmiştir. İkinci periyot münavebe denemesinde, kimyasal gübreleme (optimum NP) uygulanan parsellerde belirlenen toprak pH'sı da istatistiki olarak birinci grupta yer almıştır (Çizelge 3). Samaras ve ark. (2008) tarafından yapılan bir araştırmada, toprağa artan oranlarda (0, 10, 30, 50 Mg ha⁻¹ yr⁻¹) arıtma çamuru ve inorganik gübreleme (160 kg NH₄-N ha⁻¹ yr⁻¹ ve 80 kg P₂O₅ ha⁻¹ yr⁻¹) uygulanarak, 0-25 ve 25-50 cm toprak derinliğinde bazı verimlilik parametreleri analiz edilmiştir. Araştırma sonucunda; 0-25 cm toprak derinliğinde kontrol ve inorganik gübre uygulanan parsellerin pH değeri sırası ile 7.89 ve 7.88 iken, arıtma çamuru dozlarının artışına paralel olarak toprak pH'sının azaldığı ve en yüksek çamur dozunda pH 7.65 değeri ile istatistiksel olarak da en düşük değeri gösterdiği, 25-50 cm toprak derinliğindeki analiz sonuçlarının benzer göstergeler verdiği belirtilmiştir.

Arıtma çamurunun artan dozlarına bağlı olarak toprak pH'sında meydana gelen düşme iki şekilde ortaya çıkabilir; birincisi, arıtma çamuru nötr bir reaksiyon (Çizelge 2) göstermesine karşın deneme arazisi ise hafif alkali (Çizelge 1) reaksiyon göstermektedir. Bu nedenle daha düşük pH'ya sahip materyallerin topraklara uygulanması sonucu toprak pH'sında göreceli olarak düşme meydana gelmesi kaçınılmazdır; ikincisi ise, Kütük ve ark. (2000), Veeresh ve ark. (2003) ve Türkmen (2004) tarafından da bildirildiği üzere, arıtma çamuru gibi organik materyallerin topraklara uygulanması sonucu bu materyallerin parçalanma ve ayrışması ile açığa çıkan organik asitler, arıtma çamurlarının kapsadığı yüksek organik madde ve besin elementlerinin toprak ortamında biyolojik aktiviteyi artırması sonucu

üretilen CO₂'in sulu ortamda karbonik asit oluşturması, mikroflora tarafından gerek organik ve gerekse inorganik asitlerin üretilmesi toprak pH'sında önemli oranda düşmeleri beraberinde getirmiş olabilmektedir. Benzer şekilde; Alloway ve Jackson (1991), Jackson ve Alloway (1991), Basta ve Tabatabai (1992), Alloway (1995), Henning ve ark. (2001), Ünal ve Katkat (2003), Aşık ve Katkat (2004), Türkmen (2004), Akdeniz ve ark. (2006), Casado-Vela ve ark. (2007), Khan ve ark. (2007), Angin ve Yağanoğlu (2009 ve 2011) tarafından yapılan çalışmalarda, topraklara arıtma çamurları uygulanması sonucu toprak pH'sında önemli düşmelerin olduğu bildirilmektedir.

Arıtma çamuru uygulanmış topraklarda ağır metallerin biyoalınabilirliğinin kontrolünde pH hızlı ve en etkili toprak parametresidir (Jackson ve Alloway, 1992). Arıtma çamurlarının uzun vadeli kullanımı ile içerdikleri ağır metaller toprak ve bitkide fitotoksik seviyelerde birikebilir ve özellikle düşük pH değerine sahip topraklarda bitkilerde artan metal konsantrasyonları meydana gelebilir. Nötr ve az olarak alkalın pH'da atıksu çamuruyla iyileştirilen topraklarda toksik maddelerin hareketi nispeten daha azdır. Toprağa uygulanacak arıtma çamurlarındaki metallerin çözünmesini kontrol etmek için çamurun ve toprağın pH'sının sürekli takip edilmesi gerekmektedir. Nitekim, Yönetmeliklerce arıtma çamuru uygulanacak toprağın pH'ının 6.5 veya daha yüksek olması istenir. Böylece ağır metallerin toprak içerisindeki hareketleri sınırlanmış olur.

3.2. Arıtma Çamurunun Toprağın Elektriksel İletkenliği (EC) Üzerine Etkisi

Arıtma çamuru uygulanan toprakların EC değerleri ortalama olarak 1.718-2.704 dSm⁻¹ arasında belirlenmiştir. Yapılan varyans analiz sonucunda; birinci periyot münavebe denemesinde EC değerleri yönünden konular arasındaki farklılık istatistiksel açıdan P<0.05 düzeyinde önemli bulunurken, ikinci periyot münavebe denemesinde istatistiki bakımdan farklılık görülmemiştir. Birinci periyot münavebe denemesinde, istatistiki bakımdan önemsiz olmakla beraber 20 ve 30 t ha⁻¹ arıtma çamuru dozlarında bir miktar azalma görülmesine rağmen, artan çamur uygulamasına bağlı olarak toprağın EC değerleri kontrole göre artmış ve bu artış istatistiki bakımdan P<0.05 düzeyinde önemli bulunmuştur. En yüksek EC değeri 2.704 dS m⁻¹ ile geleneksel sistemde kimyasal gübre uygulanan (optimum NP) parsellerde tespit edilmiş olup, bunu arıtma çamurunun en yüksek dozu olan 50 t ha⁻¹ uygulaması takip etmiştir. İkinci periyot münavebe denemesinde ise; her ne kadar araştırma konuları arasında istatistiksel olarak farklılık görülmemesine karşın, arıtma çamurunun artan dozlarına paralel olarak genelde EC değerlerinin arttığı ve kontrol konusundan daha yüksek değerler gösterdiği belirlenmiştir (Çizelge 3). Toprak EC'sindeki bu artışlar arıtma çamurunun nispeten

yüksek EC değeri (Çizelge 2) ihtiva etmesi ile ilgilidir. Samaras ve ark. (2008) tarafından yapılan araştırmada, toprağa artan oranlarda uygulanan arıtma çamurunun toprağın EC değerini arttırdığı, arıtma çamurunun en yüksek dozunda ($50 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) istatistiksel açıdan da birinci grubu oluşturan en yüksek EC değerinin (0.30 ve 0.26 mS cm^{-1}) belirlendiği bildirilmektedir. Yapılan birçok araştırmalarda da çamur uygulamalarıyla birlikte tuzluluğun arttığı belirtilmektedir (Navas ve ark., 1998; Wong ve ark., 2000, Ünal ve Katkat, 2003; Aşık ve Katkat, 2004; Türkmen, 2004; Casado-Vela ve ark., 2007; Angın ve Yağanoğlu, 2011; Ünal ve ark., 2011).

Saturasyon ekstraktında $2-4 \text{ dS m}^{-1}$ arasındaki EC değerleri organik materyaller için en uygun değerler olarak kabul edilmektedir (Kirven, 1986). Buna karşın, Wong ve ark. (2001), arıtma çamurunun kendisinin elektriksel iletkenliğinin $<2 \text{ dS m}^{-1}$ olması durumunda tuzluluk etkisinin ihmal edilebileceğini, fakat bu miktarın $2-4 \text{ dS m}^{-1}$ olması durumunda ise çok hassas ürünler için tuzluluğun sınırlandırılabilirliğini ileri sürmüşlerdir. Bu verilere göre, araştırmada kullanılan arıtma çamurunun EC değeri tuzluluğa yol açacak değerin çok üzerinde olduğu görülmektedir (Çizelge 2). Ancak, arıtma çamuru uygulamaları sonucu araştırma topraklarının tuzluluk miktarlarındaki artışlarda toprağın tuzsuz sınıftan hafif tuzlu sınıfa kaymasına henüz neden olmadığı, Richards (1954) tarafından yapılan sınıflandırmaya göre toprakların tuzsuz sınıfında olduğu belirlenmiştir. Buna rağmen, çamur uygulamalarında yıllık birikimler göz önüne alınarak toprak ve çamur tuzluluğu sürekli kontrol edilmelidir.

3.3. Arıtma Çamurunun Toprağın Kireç Kapsamı Üzerine Etkisi

Araştırmada ele alınan konular itibarıyla "buğday+beyaz baş lahanaya+domates" münavebesi sonunda analiz edilen toprakların kireç değerleri % 5.1-6.2 arasında değişim göstermiştir. Orta kireçli sınıfta (Ülgen ve Yurtsever, 1995) yer alan araştırma topraklarının kireç içeriğine arıtma çamuru ile birlikte kimyasal gübre uygulamasının etkisi istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur. Bununla birlikte her iki münavebe periyodunda artan miktarlarda toprağa uygulanan arıtma çamuru dozlarına paralel olarak toprakların kireç içeriklerinin genelde düşüş gösterdiği tespit edilmiştir (Çizelge 3). Elde edilen bulgular, arıtma çamuru miktarı arttıkça toprağın kireç miktarının azaldığı yönündeki Ünal ve Katkat (2003)'ün bulguları ile uyum içerisindedir.

3.4. Arıtma Çamurunun Toprağın Organik Madde Kapsamı Üzerine Etkisi

Arıtma çamuru ve optimum kimyasal gübre uygulanan toprakların organik madde miktarları % 2.65-3.31 arasında değişim göstermekte olup, artan çamur dozlarına bağlı olarak artış göstermiştir. Bunun sonucu olarak, birinci periyot münavebe denemesinde, arıtma çamurunun kontrol (0 t ha^{-1} arıtma çamuru)

düzeyi ile optimum NP konusu ve çamur dozları arasında istatistiksel açıdan $P<0.01$ derecesinde önemli farklılık bulunmuştur. Birinci periyot münavebe denemesinde hasat sonunda alınan toprakların en yüksek organik madde içeriği % 3.31 ile 50 t ha^{-1} arıtma çamuru uygulanan parsellerde tespit edilmiş olup, istatistiksel olarak birinci grubu oluşturmuştur. Aynı periyotta en düşük organik madde miktarı ise arıtma çamuru uygulanmayan kontrol konusunda tespit edilmiş (% 2.69) olup, geleneksel sistemde optimum kimyasal gübreleme yapılan parsellerde belirlenen değer (% 2.70) ile istatistiksel açıdan aynı grubu oluşturmuştur. İkinci periyot münavebe denemesinde ise, istatistiksel açıdan konular arasında farklılık görülmemesine rağmen, arıtma çamuru uygulamaları sonucunda kontrol ve optimum NP uygulamalarına göre daha yüksek miktarlarda organik madde belirlenmiştir (Çizelge 3).

Samaras ve ark. (2008), artan oranlarda uygulanan arıtma çamurunun toprağın organik madde içeriğini arttırdığını, 0-25 cm toprak derinliğindeki verilerine göre arıtma çamuru dozlarının ve gübre uygulamasının toprak organik madde kapsamına etkisinin istatistiksel açıdan çok önemli olduğunu, kontrol ($0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ arıtma çamuru) ve gübreleme konularında en düşük organik madde değeri (sırasıyla % 2.37 ve 2.48), arıtma çamurunun $50 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ dozunda ise en yüksek değer (% 3.11) belirlendiğini bildirmektedirler. Vasconcelos ve Cabral (1993), Mohammad ve Battikhi (1997), Albiach ve ark. (2001), Ünal ve Katkat (2003), Aşık ve Katkat (2004), Türkmen (2004), Tsadilas ve ark. (2005), Casado-Vela ve ark. (2007), Cheng ve ark. (2007), Wang ve ark. (2008), Angın ve Yağanoğlu (2009, 2011) ve Ünal ve ark. (2011) yaptıkları benzer çalışmalarda da arıtma çamuru dozları arttıkça toprakta organik madde miktarının arttığını belirlemişlerdir.

Arıtma çamuru yüksek organik madde içeriğinden (Çizelge 2) dolayı toprağın organik madde içeriğini kontrol uygulamasına göre artan dozlara bağlı olarak yükseltmiştir. Bunun neticesinde Ülgen ve Yurtsever (1995) tarafından yapılan sınıflandırmaya göre toprağın organik madde içeriği orta sınıftan iyi sınıfa kaymasına neden olmuştur. Sommer (1977), arıtma çamurlarının yüksek organik madde içeriklerinden dolayı özellikle toprakların başlıca sorunlarından olan organik madde azlığının çözümünü yönünde kullanılabileceğini, Johanson ve ark. (1999), arıtma çamurunun toprak için bitki besin elementi ve organik madde kaynağı olabileceğini belirtmişlerdir.

3.5. Arıtma Çamurunun Toprağın Toplam Azot Kapsamı Üzerine Etkisi

Farklı dozlarda arıtma çamuru ve kimyasal gübre uygulanan araştırma topraklarının toplam N kapsamları %0.131-0.225 değerleri arasında belirlenmiştir. Birinci münavebe periyodu sonuçlarında, arıtma çamurlarının farklı dozları ile kimyasal gübre uygulamalarının toprakların toplam azot kapsamına istatistiksel olarak önemli bir etkisi görülmezken,

ikinci münavebe periyodunda araştırma faktörlerinin etkisi $P < 0.01$ seviyesinde önemli olmuştur. Buna göre ikinci periyot münavebe denemesinde; en yüksek toplam N değeri 50 t ha^{-1} arıtma çamuru uygulamasında (% 0.163) tespit edilmiş olup, 30 ve 40 t ha^{-1} uygulama konusu ile aralarındaki farklılık istatistiki açıdan önemsiz bulunmuştur. Aynı periyotta en düşük toplam N değeri ise % 0.131 ile kontrol ve optimum gübre uygulamalarında belirlenmiştir. Bununla birlikte ikinci periyotta, araştırma faktörlerinin bu etkileşimi toprakların toplam N yönünden sınıflandırılmasında sınıf atlamasına neden olmadığı ve elde edilen değerlerinin FAO (1990) tarafından bildirilen sınıflamaya göre yeterli grupta yer aldığı belirlenmiştir (Çizelge 3).

Her iki münavebe periyodu verilerine göre, arıtma çamurunun artan dozlarına bağlı olarak hasat sonunda alınan toprakların toplam azot değerlerinin arttığı görülmüştür (Çizelge 3). Arıtma çamuru uygulamasının toprak azot içeriğine olan bu etkileri, toprak organik madde içeriğinde meydana getirdiği değişime benzerlik göstermiştir. Şüphesiz ki söz konusu etki, toplam azot içeriği % 4.50-5.25 arasında olan (Çizelge 2) arıtma çamuru ilavesinden kaynaklanmıştır.

Navas ve ark. (1998) yaptıkları çalışmada, arıtma çamuru uygulamalarındaki artışla birlikte azot miktarında bir artışın olduğunu ve bu artış oranının % 0.05'ten, 320 t ha^{-1} uygulamasında % 0.20'ye çıktığını bildirmişlerdir. Samaras ve ark. (2008), artan oranlarda uygulanan arıtma çamurunun toprağın organik madde içeriğinde olduğu gibi toplam azot içeriklerini de arttırdığını, arıtma çamuru dozlarının ve gübre uygulamasının toprakların toplam N kapsamına etkisinin istatistiki açıdan çok önemli olduğunu, kontrol ($0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ arıtma çamuru) ve gübreleme konularında en düşük değer (% 0.13), arıtma çamurunun $50 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ dozunda ise en yüksek toplam N değerinin (% 0.18) belirlendiğini bildirmektedirler. Arıtma çamuru uygulamalarının topraktaki makro besin maddelerini (N, P, K) ve toplam azotu arttırdığına yönelik çok sayıda araştırma bulunmaktadır (Utsching ve ark., 1986; Soon ve ark., 1987; Hernandez ve ark., 1991; Menelik ve ark., 1991; Arcak ve ark., 2000; Ünal ve Katkat, 2003; Aşık ve Katkat, 2004; Bilgin ve ark., 2004; Türkmen, 2004; Mantovi ve ark., 2005; Casado-Vela ve ark., 2007; Weber ve ark., 2007; Angın ve Yağanoğlu, 2009 ve 2011; Ünal ve ark., 2011).

3.6. Arıtma Çamurunun Toprağın Alınabilir Fosfor Kapsamı Üzerine Etkisi

"Buğday+beyaz baş lahan+domates" münavebesinde arıtma çamurunun farklı dozları ile kimyasal gübre uygulamasının münavebe sonunda alınan toprakların alınabilir fosfor miktarları üzerine etkisi her iki münavebe periyodu denemesinde istatistiksel olarak $P < 0.01$ seviyesinde önemli bulunmuştur. Buna göre arıtma çamuru dozlarının artışına paralel olarak toprağın alınabilir fosfor içeriği

belirgin bir artış göstermiştir. Her iki münavebe periyodunda da en yüksek alınabilir fosfor miktarı 50 t ha^{-1} arıtma çamuru dozunda (sırasıyla 220.4 ve $290.9 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$), en düşük miktar ise kontrol konusunda (sırasıyla 30.5 ve $80.0 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$) tespit edilmiştir (Çizelge 3).

Ülgen ve Yurtsever (1995) tarafından yapılan sınıflandırmaya göre az/orta seviyede olan araştırma topraklarının alınabilir fosfor içeriği (Çizelge 1); arıtma çamuru uygulamaları sonucu, araştırma faktörlerinin ortalaması olarak 30.5 - $290.9 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ arasında değişmiş (Çizelge 3) ve dozlara bağlı olarak çok yüksek seviyelere ulaşmıştır. Bu durum, arıtma çamuru materyalinin içerdiği fosfor (Çizelge 2) miktarı ile açıklanabilir. Öte yandan, toprakların alınabilir fosfor kapsamlarına arıtma çamurunun doğrudan içerdiği miktara bağlı artış etkisi yanında, çamurun özellikle ortam pH'sını düşürmekle fosforun yararlılığını da artırması etkili olmuştur. Nitekim, O'Riordan ve ark. (1987), Alloway (1993), Lopez-Mosquera ve ark. (2000), Korbulewsky ve ark. (2002) yaptıkları araştırma sonuçlarında da bu duruma vurgu yapmışlardır. Hernandez ve ark. (1991), artan dozda arıtma çamuru uygulamasının toprakta alınabilir fosforu artırdığını belirlemişlerdir. Araştırmada bunun nedeni olarak, toprak+çamur kapsamında fosforun bir kısmının humifikasyon periyodu boyunca mineralizasyona bağlı olarak alınabilir forma dönüşmesinden kaynaklandığını ifade etmişlerdir.

Çimrin ve ark (2000), tarımda bitki fosfor ihtiyacının karşılanmasında fosfor kaynağı olarak, TSP (Triple Süper Fosfat) fosforu ile arıtma çamuru kombinasyonlarının mısır bitkisinin gelişimi ve bazı bitki besin maddelerine etkisini belirlemek amacı ile kireçli bir toprakta saksı denemesi halinde yürüttükleri araştırmalarında, arıtma çamuru dozlarının artışına paralel olarak hasat sonrası toprakların yararlı fosfor miktarının arttığını belirlemişlerdir. Samaras ve ark. (2008), artan oranlarda uygulanan arıtma çamurunun toprağın alınabilir P içeriğini arttırdığını, bu artışın istatistiki açıdan çok önemli olduğunu, en düşük alınabilir fosforun kontrol ($0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ arıtma çamuru) ve gübreleme konularında (sırasıyla 4.3 - 7.0 ve 5.9 - 7.9 ppm), en yüksek değer ise arıtma çamurunun en yüksek dozu olan $50 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ dozunda (27.7 - 44.2 ppm) belirlendiğini bildirmektedirler.

Araştırmada elde edilen bulgular, toprağa uygulanan arıtma çamurları ile toprağın alınabilir fosfor içeriğinin arttığı yönündeki Pedreno ve ark. (1996), Navas ve ark. (1998), Johanson ve ark. (1999), Ünal ve Katkat (2003), Aşık ve Katkat (2004), Casado-Vela ve ark. (2007), Ünal ve ark. (2011)'nin bulgularıyla da paralellik göstermektedir.

Krogstad ve ark. (2005), sadece arıtma çamurunun arıtım şekli değil aynı zamanda toprak tipi ve içeriğinin de alınabilir fosfor miktarını etkilediğini bildirmişlerdir. Lundin ve ark. (2004), arıtma çamurunun tarım arazilerinde kullanılmasında ana avantaj fosforun ve diğer tarımsal değeri olan

bileşiklerin geri dönüşümünün sağlanmasında bir alternatif yol olduğunu bildirmişlerdir.

3.7. Arıtma Çamurunun Toprağın Alınabilir Potasyum Kapsamı Üzerine Etkisi

Yüksek düzeyde (900-990 K₂O ha⁻¹) alınabilir potasyuma sahip toprağa % 0.36-0.64 düzeyinde potasyum içeren arıtma çamuru ilavesi, toprakların alınabilir K içeriğinde istatistiksel olarak bir değişime neden olmamıştır. Arıtma çamurunun farklı dozları ile kimyasal gübre uygulanan toprakların alınabilir potasyum kapsamı 610-840 kg K₂O ha⁻¹ arasında belirlenmiş olup, Ülgen ve Yurtsever (1995) tarafından bildirilen sınıflandırmaya göre hasat sonrası alınan toprakların deneme kurulmadan önce olduğu gibi yine yüksek düzeyde alınabilir K içerdiği saptanmıştır (Çizelge 1, 2 ve 3).

Ünal ve ark. (2011) yaptıkları araştırmalarında; farklı dozlarda (0, 30, 60, 90, 180 ton ha⁻¹) arıtma çamuru uygulanmış olan deneme topraklarının değişebilir potasyum kapsamının % 0.984 (kontrol)-1.048 (60 t ha⁻¹) değerleri arasında değiştiğini, topraktaki değişebilir K miktarı bakımından çamurun kontrol seviyesi ile diğer dozları arasında P<0.05 derecesinde farklılıklar olduğunu, ancak, yüksek dozlardaki çamur uygulamaları ile değişebilir K seviyelerinde azalma eğilimi olduğunu ve sonuçta çamur uygulamalarının başlangıç seviyeleri ile en yüksek seviyeleri arasındaki farkın önemsiz kaldığını bildirmektedirler. Benzer durum Türkmen (2004) tarafından ASKİ arıtma çamuru kullanarak yapılan çalışmada da görülmüştür.

Çamur miktarının artışına bağlı olarak toprakların alınabilir K miktarının artış gösterdiğini belirten araştırmalar (Pedreno ve ark., 1996; Pinamonti ve ark., 1997; Navas ve ark., 1998; Johanson ve ark., 1999; Kunwar ve ark., 2003; Ünal ve Katkat, 2003; Aşık ve Katkat, 2004; Angın ve Yağanoğlu, 2011) bulunmakla beraber, araştırmamız sonuçlarında olduğu gibi arıtma çamurunun topraktaki K kapsamına etkisinin önemsiz olduğu bazı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda da (Bozkurt ve ark., 2000; Lopez-Mosquera ve ark., 2000; Korbulewsky ve ark., 2002; Samaras ve ark., 2008) belirtilmiştir.

Türkiye topraklarının yarayıklı K kapsamı oldukça yüksek değerler göstermekte olup, topraklarımızın % 90'dan fazlası potasyumca yeterli durumdadır (Eyüpoğlu, 1999). Arıtma çamurunun yüksek dozlarda uygulanması halinde ülkemiz tarım toprakları açısından bunun ne kadar olumlu yada olumsuz etki yaratabileceği uzun vadeli yapılacak araştırmalarla ortaya konmalıdır (Türkmen, 2004).

Araştırma sonuçlarına göre, organik madde ve azot içeriği yüksek arıtma çamurunun toprağa uygulanması, toprağın kimyasal özelliklerinde önemli değişikliklere neden olmuştur. Artan miktarlarda toprağa uygulanan arıtma çamurları toprağın pH değerini istatistiksel olarak p<0.01 seviyesinde önemli derecede azaltmış, ancak bu azalmalar pH bakımından

toprağın sınıf atlamasına neden olmamıştır. Artan arıtma çamuru miktarına bağlı olarak çamurun içerdiği tuzlar nedeniyle toprak tuzluluğunda artma eğilimi meydana gelmiştir.

Araştırmada, arıtma çamuru toprağın organik madde, toplam N ve alınabilir P miktarlarını artırmış, çamur uygulamaları toprağın içerdiği kireç ve alınabilir K miktarlarını etkilememiştir. Organik madde ve bitki besin elementleri düşük olan topraklara, toprak tuzluluğunun sürekli ölçülerek drenaj kanallarıyla kontrol altına alınması koşuluyla arıtma çamuru uygulamaları önerilebilir. Ancak, arıtma çamurlarının tarımsal amaçlı kullanımı için; çamurun uygulanma miktarı, çamurun özellikleri, uygulanan toprağın özellikleri, uygulanan topraktaki tuzluluk ve ağır metal içeriklerindeki değişimler, yetiştirilmesi düşünülen bitki çeşidi, yeraltı suyunda meydana gelmesi muhtemel kirlilik ihtimali gibi durumlar göz önüne tutulmalıdır.

Arıtma çamurları araziye uygulanmadan önce, analizleri yapılamayan çeşitli bakteri ve virüs gibi patojenlerin azalması için çamurun bir süre bekletilmesi uygun olacaktır. Çamurun toprakta yıllık birikiminin fazla olmasını engellemek amacı ile düşük dozlarda (20 t ha⁻¹) Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'ndeki hükümler yerine getirilerek çevre düzenlemelerinde, tarla tarımında ise belirli bir ekim nöbeti çerçevesinde, meyvesi ve yaprağı tüketilen ürünlere direkt olarak verilmemesi şeklinde kullanımı önerilebilir. Ancak arıtma çamurunun özellikle toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri ile ağır metal kapsamı üzerine etkilerinin tarla koşullarında incelenmesi, bu konuda daha ayrıntılı ve güncel sonuçların elde edilmesi bakımından fayda sağlayacaktır.

4. KAYNAKLAR

- 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.
- Albiach, R., Canet, R., Pomares, F., Ingelmo, F. 2001. Organic matter components, aggregate stability and biological activity in a horticultural soil fertilized with different rates of two sewage sludges during ten years. Bioresource Technology 77, 109-114.
- Alloway B.J., Jackson, A.P. 1991. The behaviour of heavy metals in sewage sludge amended soils. The science of the total environment, 100;151-176. Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam.
- Alloway, B.J. 1993. Heavy metals in soils. Blackie, London. Pp:40-80.
- Alloway, B.J. 1995. Heavy metals in soils. Blackie, London. Pp: 122-152.
- Anaç, D.A., Hakerlerler, H., İrget, M.E. 1993. Yağ fabrikası arıtma tesisi atıklarının zeytinliklerde organik gübre olarak kullanılması. E.Ü.Z.F.Derg., 30 (3): 25-32.
- 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.
- Anonim, 2010. Evsel ve kentsel arıtma çamurlarının toprakta kullanılmasına dair yönetmelik. Resmi Gazete, 03 Ağustos 2010, Sayı: 27661.
- Anonim, 2008. Samsun Meteoroloji Bölge Müdürlüğü kayıtları.
- Arcak, S., Türkmen, C., Karaca, A., Erdoğan, E. 2000. A Study on potential agricultural use of sewage sludge of Ankara wastewater treatment plant. *Proceeding of International Symposium on Desertification*, 13-17 June 2000, p.345-349, Konya.
- 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.
- Basta, N.T., Tabatabai, M.A. 1992. Effect of cropping systems on adsorption of metals by soils. I. Single-metal adsorption. *Soil Sci.*, 153(2):108-114.
- Bilgin, N., Eyüpoğlu, H., Üstün, H. 2004. İkinci kademe arıtım yapan kentsel nitelikli atıksu arıtma tesislerinden çıkan arıtma çamurlarının (biyokatıların) tarım alanlarında kullanıma olanakları. T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü APK Dairesi Başkanlığı Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Şube Müdürlüğü, Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Sonuç Raporları 2003, Yayın No: 124, s.202-220, Ankara.
- 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.
- Bremner, J.M. 1965. Total Nitrogen. In C.A. Black (Ed). *Methods of soil analysis, Part 2, Agronomy Series, No:9, ASA, Medison Fis, 53711, USA, 1171-1175.*
- Casado-Vela, J., Selles, S., Diaz-Crespo, C., Navarro-Pedreno, J., Mataix-Beneyto, J., Gomez, I. 2007. Effect of composted sewage sludge application to soil on sweet pepper crop (*Capsicum annuum var. annuum*) grown under two exploitation regimes. *Waste Management* 27:1509-1518.
- Cheng, H., Xu, W., Liu, J., Zhao, Q., He, Y., Chen, G. 2007. Application of composted sewage sludge (CSS) as a soil amendment for turfgrass growth. *Ecological Engineering* 29, 96-104.
- Çimrin, K.M., Bozkurt, M.A., Erdal, İ. 2000. Kentsel arıtma çamurunun tarımda fosfor kaynağı olarak kullanılması. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi (J. Agric. Sci.)*, 10 (1):85-90.
- 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.*
- Dolgen, D., Alpaslan, M.N., Delen, N. 2007. Agricultural recycling of treatment-plant sludge: A case study for a vegetable-processing factory. *J Envir. Manag.* 84:274-281.
- Eyüpoğlu, F. 1999. Türkiye topraklarının verimlilik durumu. T.C. Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Yayınları Genel Yayın No: 220, Teknik Yayın No: T-67, Ankara.
- FAO, 1990. Micronutrient. Assessment at the Country level: An International Study. *FAO Soil Bulletin by Mikko Sillanpaa, Rome.*
- Hakerlerler, H. 1980. Kentsel atıkların gübre olarak değerlendirilmeleri. *E.Ü.Z.F.Derg.*, 17:3, 113-131.
- Henning, B.J., Snyman, H.G., Aveling, T.A.S. 2001. Plant-soil interactions of sludge borne heavy metals and the effect on maize (*Zea mays L.*) seedling growth. *Water S.A. Vol.27, No. 1, P;71-78. ISSN 0378-4738.*
- Hernandez, T., Moreno, J.I., Costa, F. 1991. Influence of sewage sludge application on crop yields and heavy metal availability. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 37:201-210.
- Jackson, M.L. 1958. *Soil chemical analysis.* Prentice-Hall. Inc. Englewood Cliffs, N.J.
- Jackson, A.P., Alloway, B.J. 1991. The bioavailability of cadmium to lettuce and cabbage in soils previously treated with sewage sludges. *Plant and Soil*, 132; 179-186.
- Jackson, A.P., Alloway, B.J. 1992. The transfer of cadmium from agricultural soils to the human food.
- Johanson, M., Stenberg, B., Torstensson, L. 1999. Microbiological and chemical changes in two arable soils after long-term sludge amendments. *Bio. Fertil. Soils*, 30: 160-167.
- Khan, M.A., Kazi, T.G., Ansari, R., Muhtaba, 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.
- Kirven, D.M. 1986. "An industry viewpoint: Horticultural Testing is Your Language Confusing" *Proc. of the Sym. Interpretation of Extraction and Nutrient Determination Procedures for Organic Potting substrates*, pp 215-217.
- Korbulewsky, N., Dupouyet, S., Bonin, G. 2002. Environmental risk of applying sewage sludge compost vineyards; carbon, heavy metal nitrogen and phosphorus accumulation. *J. Environ. Qual.* 31:1522-1527.
- Krogstad, T., Sogn, T.A., Adsal, A., Sæbø, A. 2005. Influence of chemically and biologically stabilized sewage sludge on plant-available phosphorous in soil. *Ecol. Eng.* 25: 51-60.
- Kunwar, P.S., Mohan, D., Sarita, S., Dalwani, R. 2003. Impact assessment of treated/untreated wastewater toxicants discharged treatment plants on health, agricultural and environmental quality in the wastewater disposal area. *Chemosphere* 10.050. Published by Elsevier Ltd.
- Kütük, C., Çaycı, G., Baran, A., Başkan, O. 2000. Bira fabrikası atıklarının tarımsal amaçlı kullanım olanaklarının belirlenmesi. *Ankara Üniversitesi Araştırma Fonu Projesi Kesin Raporu*, 98-11-10-01,35 s.
- Kyle, M.A., McClintock, S.A. 1995. The availability of phosphorus in municipal wastewater sludge as a function of the phosphorus removal process and sludge treatment method. *Water Environment Research*, 67:3,282-289.
- Larson, W.E., Susag, R.H., Dowdy, R.H., Clappa, C.E., Larson, R.E. 1974. Use of sewage sludge in agriculture with adequate environmental safeguards, *Sludge Handling and Disposal Seminar*, 18-19 September 1974, Toronto, *Sludge Handling and Disposal Seminar Proceedings*, 27-46, Toronto.
- Lopez-Mosquera, M.E., Moiron, C., Carral, E. 2000. Use of dairy-industry sludge as fertilizer for grassland in Northwest Spain; heavy metal levels in the soil and plants. *Resource Conservation and recycling*, 30:95-109.
- Lundin, M., Olofsson M., Pettersson G.J., Zetterlund H. 2004. Environmental and economic assessment of sewage sludge handling options. *Resources, Conservation and Recycling* 41 p.255-278.

- Mantovi, P., Baldoni, G., Toderi, G. 2005. Reuse of liquid, dewatered, and composted sewage sludge on agricultural land: Effects of long-term application on soil and crop. *Water Res.*, 39: 289-296.
- Martinez,F., Cuevas, C., Teresa, Walter, Iglesias I. 2002. Urban organic wastes effects on soil chemical properties in degraded semiarid ecosystem.In: Seventeenth WCSS, Symposium No. 20, Thailand, pp.1-9.
- McBride, M.B. 1995. Toxic metal accumulation from agricultural use of sewage sludge: USEPA Reg.24, pp.5-18.
- Menelik, G., Reneau, R.B., Martens, Jr.D.C., Simpson, T.W. 1991. Yield and elemental composition of wheat grain as influenced by source and rate of nitrogen. *Journal Of Plant Nutrition*, 14:2, 205-217.
- Mohammad, A.M., Battikhi, A.M. 1997. Effect of sewage sludge on some soil properties and barley plant in muwagar area. *Agricultural Sciences*, 24(2): 204-216.
- Navas, A., Bermudez, F., Machin J. 1998. Influence of sewage sludge application on physical and chemical properties of Gypsisols. *Geoderma* 87:123-135.
- O'Riordan, E.G., Dodd, V.A., Tunney, H., Fleming, G.A. 1987. The fertiliser nutrient value of activated sewage sludge under grassland field conditions. *Ir. J. Agric. Res.* 26:213-229.
- Özdemir, O., Güner, S. 1983a. Samsun yöresinde buğdayın azotlu ve fosforlu gübre isteği ile olsem 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.
- Pedreno, J.N., Gomez, I., Moral, R., Mataix, J. 1996. Improving the agricultural value of a semi-arid soil by addition of sewage sludge and almond residue, utilisation of waste organic matter. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 58 (2-3):115-119.
- Pinamonti, F., Stringari, G., Zari, G. 1997. The use of compost; It's effects on heavy metal levels in soil and plants. *Resources, Conversation and Recycling*. 21:129-141.
- Richards, L.A. 1954. Diagnosis and improvement saline and alkaline soils. U.S. Dep. Agr. Handbook 60.
- Samaras, V., Tsadilas, C.D., Stamatiadis, S. 2008. Effects of repeated application of municipal sewage sludge on soil fertility, Cotton Yield, and Nitrate Leaching. *Agronomy Journal*, Volume 100, 3:477-483.
- 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.
- Sing, R.P., Agrawal, M. 2007. Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. *Waste Management* (2007).Doi:10.1016/j.wasma pp 1-12.
- Sommer, L.E. 1977. Chemical composition of sewage sludges and analysis of their potential as fertilizers. *J. Environ. Quality*, 6:225-239.
- Soon, Y.K., Bates, T.E., Moyer, L.R. 1987. Land application of chemically treated sewage sludge; II. Effect on plant and soil phosphorus, potassium, calcium and magnezyum and soil pH. *J. Environ. Qual.*, 7:269-273.
- Tsadilas, C.D., Mitsios, I.K., Golia, E. 2005. Influence of biosolids application on some soil physical properties. *Communications in Soil and Plant Analysis* 36, 709-716.
- Turalioğlu, F.S., Acar, F.N. 1996. Çeşitli atıkların toprak ortamına etkileri. Tarım-Çevre İlişkileri Sempozyumu, 13-15 Mayıs 1996, Mersin, Tarım-Çevre İlişkileri Sempozyumu Doğal Kaynakların Sürdürülebilir Kullanımı Bildiri Kitabı, 52-62, Mersin.
- 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.
- Tüzüner, A. 1990. Toprak ve su analiz laboratuvarları el kitabı. T.C. Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı Köy Hiz. Genel Müd., Ankara, 375 s.
- Utsching, J.M., Barbarick, K.A., Westfall, D.G., Follett, R.H., McBride, T.M. 1986. Evaluating crop response liquid sludge vs. Nitrogen-fertilizer. *Biocycle.*, 27(7), 30-33.
- Ülgen, N., Yurtsever, N. 1995. Türkiye gübre ve gübreleme rehberi. Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Yayınları, Genel yayın No: 209, Teknik Yayınlar No: T.66, Ankara.
- Ünal, M., Karaca, A., Çetin Camcı, S., Çelik, A. 2011. İçme suyu tesisi arıtma çamurunun arpa zambağı (*freesia* spp.) bitkisi gelişimi ve bazı toprak özellikleri üzerine etkileri. Selçuk Üniversitesi Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi25 (2): (2011) 46-56.
- Ünal, M., Katkat, A.V. 2003. Bisküvi ve şekerleme sanayii arıtma çamurunun toprak özelliklerine ve mısır bitkisinin kimi mineral madde içeriği üzerine etkileri. *Ulud. Üniv. Zir. Fak. Derg.*, 17(1): 107-118.
- Vasconcelos, E., Cabral, F. 1993. Use and environmental implications of pulp-mill sludge as an organic fertilizer. *Environmental Pollution*, 80: 159-162.
- Veeresh, H., Tripathy, S., Chaudhuri, D., Ghosh, B.C., Hart, B.R., Powell, M.A. 2003. Changes in physical and chemical properties of three soil types in india as a result of amendment with fly ash and sewage sludge. *Environ. Geol.*, 43: 513-520.
- Wang X., Chen Tao., Ge Y., Jia Y. 2008. Studies on land application of sewage sludge and its limiting factors. *Journal of Hazardous Materials*. 160 (2-3):554-558.
- Weber, J., Karczewska, A., Drozd, J., Licznar, M., Licznar, S., Jamroz, E., Kocowicz, A. 2007. Agricultural and ecological aspects of a sandy soil as affected by the application of municipal solid waste composts. *Soil Biol. Biochem.*, 39: 1294-1302.
- Williams, J.H. 1979. Utilization of sewage sludge and other organic manures on agricultural land, First European Symposium: Treatment and Use of Sewage Sludge, 13-15 February 1979, Cadarache, First European Symposium: Treatment and Use of Sewage Sludge Proceedings, 227-242, Cadarache.
- Wong, J.W.C., Lai K.M., Fang M., Ma K.K. 2000. Soil biology of low grade landfill soil with sewage sludge amendment. *Envir. Tec.*, 21 (11): 1233-1238.
- Wong, J.W.C., Li, K., Kure, L.K., Su, D.C. 2001. Toxicity evaluation of sewage sludges in Hong Kong, *Envir. Inter.*, 27: 373-376.
- Yurtsever, N. 1984. Deneysel istatistik metotları. Köy Hiz. Genel Müd.Yay.,Genel Yay. No: 121, Ankara, 623s.