

AKÜ FEMÜBİD 20 (2020) 045401 (589-597)

AKU J. Sci. Eng. 20 (2020) 045401 (589-597)

DOI: 10.35414/ akufemubid.613129

Araştırma Makalesi / Research Article

Evsel ve Evsel Nitelikli Arıtma Çamurlarının Toprak Düzenleyici Etkisinin Değerlendirilmesi

Fatma Olcay TOPAÇ ŞAĞBAN^{1*}, Esra DEMİR²¹ Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa² Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği A.B.D., BursaSorumlu yazar e-posta: olcaytopac@uludag.edu.tr, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-6364-4087>esrademir796@gmail.com, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-2158-6744>

Geliş Tarihi: 29.08.2019

Kabul Tarihi: 19.08.2020

Öz

Atıksuların arıtılması neticesinde oluşan arıtma çamurlarının yeniden kullanılmasının sağlanması, atık arıtma sektöründeki öncelikli konulardan biri olarak kabul edilmektedir. Atıksu arıtma çamurlarının bünyesinde bulunan çeşitli organik ve inorganik bileşikler, bu atıkların toprak düzenleyici olarak değerlendirilmesi alternatifini de beraberinde getirmektedir. Bu kapsamda, toprakta kullanılabilme potansiyeline sahip çamurların toprağa yapacağı katkıların ve/veya etkilerin laboratuvar ortamında yürütülen inkübasyon çalışmalarına değerlendirilmesi fayda sağlamakta ve yol gösterici olmaktadır. Bu çalışmada, stabil hale getirilen evsel ve evsel nitelikli (gıda) arıtma çamurları 100t/ha oranında topraklara uygulanmış ve 12 aylık bir inkübasyon çalışması yürütülerek toprağın bazı kimyasal özelliklerinde meydana gelen değişimler irdelenmiştir. Yapılan araştırma sonuçlarına göre, denenen dozda çamur uygulaması toprakların pH değerini hafifçe düşürürken (maksimum 1 birim), EC_{25°C} değerlerini arttırmıştır. Toprağa yapılan tüm arıtma çamuru uygulamalarının, kontrol toprağında yaklaşık %1, 6 seviyelerindeki kolay okside olabilir organik karbon içeriğini %2- 2,6 seviyelerine çıkarttığı tespit edilmiştir. Çamur uygulanmış topraklarda amonyum azotu değerleri kontrole göre çok büyük artış göstermezken nitrat azotu değerleri belirgin şekilde artmış ve 12 aylık inkübasyon döneminin sonunda 713 ila 1048 mg/kg seviyelerine ulaşmıştır. Yarıyıllı fosfor konsantrasyonunun da çamur uygulamasına bağlı olarak 24-30 mg PO₄-P/kg seviyelerinden 44-91 mg PO₄-P/kg seviyelerine çıktığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak, 100 t/ha oranında yapılan evsel ve evsel nitelikli arıtma çamuru uygulamaları ile toprağın organik madde ve bitki besin maddesi içeriklerinin arttığı ve topraktaki biyokimyasal fonksiyonların geliştiği izlenimi edinilmiştir. Çalışma kapsamında incelenen parametreler itibarıyla denenen arıtma çamurlarının toprak düzenleyici olarak kullanım potansiyelinin oldukça yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler

Arıtma Çamuru;
İnkübasyon; Toprak;
Toprak Düzenleyici;
Yeniden Kullanım

Evaluation of Soil Conditioner Effects of Domestic and Domestic-Like Wastewater Sludges

Abstract

Reuse of wastewater sludges resulting from the treatment of wastewater is considered as a priority issue in the waste treatment sector. Various organic and inorganic compounds found in wastewater sludges provide an alternative to the evaluation of these wastes as soil conditioner. In this context, it is beneficial and guiding to evaluate the contributions and/or impacts of suitable sludges with the laboratory incubation studies. In this study, stabilized domestic and domestic-like (food) wastewater sludges were applied to the soil at a rate of 100t/ha and a 12-month incubation study was carried out to investigate the changes in some chemical properties of the soil. According to the results, sludge application decreased the pH of the soils slightly (maximum 1 unit) and increased the EC_{25°C} values markedly. It has been found that all sludge applications increased the easily oxidizable organic carbon content of control soil from 1.6% to 2.45-2.75%. Ammonium nitrogen values in sludge treated soils did not increase significantly compared to control, while nitrate nitrogen values increased significantly and

Keywords

Wastewater Sludge;
Incubation; Soil; Soil
Conditioner; Reuse

reached 713 to 1048 mg/kg levels after 12 months incubation period. In addition, available phosphorus concentration increased from 24-30 mg PO₄-P/kg to 44-91 mg PO₄-P/kg. As a result, the organic and plant nutrient contents of the soil increased and biochemical functions of the soil improved with wastewater sludge applications with dose of 100 t/ha. It is concluded that the potential use of the tested wastewater sludges as soil conditioners is quite high with respect to the parameters examined.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Günümüzde evsel ve endüstriyel alanlardaki su kullanımının artmış olmasına bağlı olarak, ortaya çıkan atıksuların uygun yöntemlerle arıtılması ve doğal çevre ile insan sağlığına zarar vermeden bertarafı, yoğun çabaların harcandığı öncelikli çevre konuları arasında yerini almıştır. Atıksuların farklı arıtma teknolojileriyle arıtılıp yeniden kullanılması veya uygun alıcı ortama deşarjı ile olası çevresel problemler minimize edilmekle beraber tamamen ortadan kalkmamaktadır. Zira, atıksuyun arıtılması esnasında ortaya çıkan arıtma çamurlarının da uygun şekilde arıtımı ve bertarafı gerekmektedir. Arıtma çamurları, endüstriyel ya da evsel nitelikli atık suların arıtımı proseslerinde yer alan çeşitli arıtım kademelerinde yan ürün olarak açığa çıkan, yarı katı haldeki artık maddeler olarak tanımlanmakta olup, özellikleri, atıksu özellikleri ile uygulanan arıtma teknolojisine bağlı olarak büyük oranda değişmektedir (Kumar *et al.* 2017).

Son yıllarda üzerinde önemle durulan atık azaltma ve geri dönüşüm-yeniden kullanım politikalarına paralel olarak, çamur oluşumunun önlenmesi/azaltılması ve/veya oluşan uygun özelliklerdeki arıtma çamurlarının yeniden kullanılmasının sağlanması şüphesiz ki atık arıtma sektöründeki öncelikli konulardan biri olmuştur. Bu kapsamda, arıtma çamurlarının arazide bertarafı nihai bir bertaraf yöntemi olarak düşünülmemeli, arıtma çamurunun yeniden kullanımının sağlanması olarak değerlendirilmelidir. Zira, işlenerek stabil hale getirilen uygun özellikteki arıtma çamurlarının tarımsal amaçlı organik gübre veya toprak düzenleyici olarak kullanılabilme potansiyeli mevcuttur. Arıtma çamurlarının içerdikleri bitki besin maddeleri ve organik maddeler itibarıyla, ticari gübrelere alternatif olabilecek bir gübre kaynağı olarak kullanılabilmesini, bitkiler için çeşitli besin maddelerini sağlayarak toprağın üretkenliğini

arttırdığını ve bitki büyümesini stimüle ettiğini gösteren çok sayıda çalışma yapılmıştır. Yaman ve Olhan (2011) tarafından yapılan çalışmada, arıtma çamuru kullanılarak ve kullanılmadan yapılan buğday üretiminin ekonomik sonuçları irdelenmiştir. Bu araştırma sonuçları; çamur kullanımının buğday verimini %17,63 ve brüt kârı %64,90 arttırdığını, üretim maliyetini ise %26,01 azalttığını göstermiştir. Piriç (Oryza sativa L.) bitkisinin farklı oranlarda arıtma çamuru uygulamasına verdiği biyokimyasal ve fizyolojik tepkilerin araştırıldığı diğer bir çalışmada, bitkilerdeki fotosentez ve stoma iletkenliği oranları ile klorofil ve protein içeriklerinin çamur uygulamasına bağlı olarak arttığı ifade edilmiştir (Singh and Agrawal 2010). Silva *et al.* (2010) tarafından yapılan başka bir çalışmada kompostlanmış tabakhane çamurlarının kırmızı biber (Capsicum) bitkisinin büyümesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada toprağa yapılan tüm çamur kompostu uygulamalarının bitkilerdeki yaprak ve meyve sayısını, gövde uzunluğunu ve klorofil içeriğini kontrole göre önemli ölçüde arttırdığı vurgulanmıştır. Çalışma sonucunda, kırmızı biber (Capsicum) bitkisinin kompostlanmış tabakhane çamuru uygulanan topraklarda yetiştirilmek için iyi bir seçenek olabileceğinin de altı çizilmiştir. Bu ve benzeri çalışmalar uygun özellikler taşıyan arıtma çamurlarının toprağa uygulanmasının, bitkilerin beslenmesi açısından ticari gübrelemeye ciddi bir alternatif olabileceğine işaret etmektedir. Tarımsal amaçla kullanılması mümkün olmayan arazilerin uygun özellikteki arıtma çamurları ile desteklenerek ıslah olması ve tarımsal değeri olan araziler haline dönüştürülmesi de mümkündür (Walker and Bernal 2008; Pepper *et al.* 2012). Diğer taraftan uygun yöntemlerle arıtılmamış ve uygun özellikler taşımayan arıtma çamuru uygulamalarına bağlı olarak toprak ve yeraltı sularının patojen, ağır metal ve diğer toksik

kimyasallarca kirlenmesi riskini ortaya koyan çok sayıda çalışma yapılmıştır (Ghazy *et al.* 2009; Sharma *et al.* 2017; Sidhu and Toze, 2009). Bütün bu çalışmalar arıtma çamurlarının topraktaki kullanım potansiyelinin uygulama öncesi titizlikle değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Arıtma çamurlarının tarım arazilerinde insan gıdası olarak kullanılan bitkilerin yetiştirilmesinde kullanılması, az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde, mevzuata uygunluğun denetimi ile uygulama sırası ve sonrasındaki izleme çalışmalarında oluşabilecek aksamalardan dolayı bir risk oluşturabilmektedir. Bu bakış açısıyla, stabilize edilmiş, belirgin seviyede organik madde içeren ve bitki besin maddelerince zengin olan evsel ve evsel nitelikli arıtma çamurlarının toprak özelliklerini geliştirmek veya ıslah etmek amacıyla toprak düzenleyici olarak kullanımı daha akılcı bir alternatif olabilmektedir. Bu kapsamda, toprakta kullanılabilme potansiyeline sahip çamurların toprağa yapacağı katkıların ve/veya etkilerin laboratuvar ortamında yürütülen inkübasyon çalışmalarıyla değerlendirilmesi şüphesiz büyük fayda sağlayacak ve yol gösterici olacaktır.

Bu çalışmada 3 farklı tesisten alınan evsel ve evsel nitelikli stabilize arıtma çamurlarının bazı toprak özellikleri üzerindeki etkilerinin bir inkübasyon çalışmasıyla değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda çamur örnekleri 100t/ha oranında toprağa uygulanmış ve 12 ay süren bir toprak inkübasyon çalışması yürütülmüştür. 3, 6 ve 12 aylık inkübasyon süreleri sonunda topraklardaki pH, elektriksel iletkenlik, amonyum azotu, nitrat azotu, kolay okside olabilir organik karbon ve yarıyışlı fosfor parametrelerindeki çamur kullanımına bağlı değişimler irdelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1 Materyal

Çalışmada kullanılan çamur örneklerinden biri (AÇ1) Bursa'daki enerji ve haberleşme kabloları üreten bir fabrikanın evsel nitelikli atıksularının aerobik olarak arıtıldığı paket atıksu arıtma tesisi çamur susuzlaştırma yatağından alınmıştır. Çalışma kapsamında değerlendirilen ikinci çamur örneği ise (AÇ2) maya üretiminden kaynaklanan atıksular ile

evsel nitelikli suların birlikte anaerobik olarak arıtıldığı bir arıtma tesisinden temin edilmiştir. AÇ3 olarak kodlanan diğer çamur ise 40 çeşit üründe işlenmiş sebze ve meyve üretimi yapılan bir konserve gıda üretim fabrikasının atıksu arıtma tesisinden alınmıştır. Arıtma tesisine gelen atıksu bileşkesi evsel nitelikli atıksular ve sebze-meyve işleme proses sularından oluşmaktadır. Arıtma çamurlarının uygulanacağı toprak örneği ise Bursa-Özlüce bölgesindeki bir tarım arazisinden 0-20 cm derinlikten uygun yöntemlerle alınmıştır. Toprak örneği killi bünyede olup %28 kum, %30 silt ve %42 kil içermektedir. Toprak örneği ile arıtma çamurlarının bazı özellikleri Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan toprak ve arıtma çamuru örneklerinin bazı özellikleri.

Parametre	AÇ1*	AÇ2	AÇ3	Toprak
pH (1:5)	7,25	8,72	6,58	7,82
EC, mS.cm ⁻¹ 25°C (1:5)	3,83	9,70	6,39	539
Org.C, %	30	17	28	1,6
Toplam N, %	4,70	2,24	5,11	0,15
NH ₄ ⁺ -N, mg.kg ⁻¹	390,9	49,00	954,4	10,38
NO ₃ ⁻ -N, mg.kg ⁻¹	78,63	56,00	44,79	31,00
Toplam P, %	0,9	1,0	0,5	0,3
Yarıyışlı PO ₄ -P, mg kg ⁻¹	221,7	511,8	186,7	25,69
F.Koliform**,EMS.g ⁻¹	1,03x10 ⁶	6,2x10 ³	6,7x10 ⁴	-

*AÇ1:evsel arıtma çamuru, AÇ2:maya endüstrisi arıtma çamuru, AÇ3:konserve gıda endüstrisi arıtma çamuru

**Arıtma çamurlarının %90 kuru madde seviyelerine kadar kurutulmasıyla, fekal koliform sayıları <10² EMS.g⁻¹ kuru çamur seviyelerine düşmüştür.

2.2 İnkübasyon çalışması

Çalışma kapsamında 500 g'lık plastik kaplara konulan toprak örneklerine 100 t/ha oranında stabilize arıtma çamuru uygulanmış, karışımlar tarla kapasitesinin % 70'i oranında nemlendirilmiş ve 28°C'ye ayarlanmış inkübatörde inkübasyona alınmıştır. Toprak kapları gün aşırı tartılıp, gerektiğinde su ilavesi yapılmış ve nem miktarının inkübasyon periyodunca sabit kalmasına özen gösterilmiştir. 3, 6 ve 12 aylık inkübasyon sürelerinden sonra alınan toprak örneklerinde pH, EC_{25°C}, kolay okside olabilir organik karbon, amonyum azotu, nitrat azotu ve yarıyışlı fosfor konsantrasyonları belirlenmiştir.

2.3 Laboratuvar analizleri

Toprakların tekstürleri mekanik analiz yöntemi ile belirlenmiştir (Gee and Bauder 1982). Toprak ve çamur örneklerinin pH ve EC_{25°C} değerleri, 1:5 (ağırlık/hacim) kuru madde su ekstraktında ölçülmüştür (Mc Lean 1982; Rhoades 1982). Toplam-N miktarı Kjeldahl yöntemiyle, amonyum-N ve nitrat-N konsantrasyonları ise su buharı destilasyonu ile belirlenmiştir (Bremner and Mulvaney 1982; Keeney and Nelson 1982). Toplam P belirlenmesi için nitrik asit-sülfürik asit karışımıyla yaş yakma yapılmış, yarayışlı P için ise NaHCO₃ ekstraksiyonu uygulanmıştır (Olsen and Sommers 1982). Ekstraktlardaki P askorbik asit yöntemine göre belirlenmiştir (APHA, AWWA and WEF 1998). Örneklerdeki kolay okside olabilir organik karbon miktarlarının belirlenmesi için Walkley-Black yöntemi uygulanmıştır (Nelson and Sommers 1982). Arıtma çamuru örneklerindeki fekal koliform sayısı Standart Metotlar'da verilen en muhtemel sayı yöntemine göre belirlenmiştir. Büyüme ortamı olarak Brilliant Green Bile Broth kullanılmıştır (APHA, AWWA and WEF 1998).

2.4 İstatistiksel analiz

Yapılan çamur uygulamalarının ve zamanın çalışma kapsamında belirlenen parametreler üzerindeki etkilerini değerlendirmek üzere STATISTICA programı kullanılarak iki yönlü varyans analizi uygulanmıştır ve ortalama değerler Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi kullanılarak kıyaslanmıştır. İki yönlü varyans analizine ilişkin sonuçlar Çizelge 2'de özetlenmiştir.

3. Bulgular ve tartışma

Arıtma çamuru uygulanmış topraklardaki pH ve EC parametrelerinin inkübasyon süresince değişimi Şekil 1'de verilmiştir. Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre, toprağa yapılan uygulamalar ve inkübasyon zamanının pH ve EC parametreleri üzerindeki etkisi istatistiksel olarak $p < 0,001$ düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 2). Kurutulmuş çamur uygulanan topraklarda belirlenen pH değerlerinin tüm inkübasyon dönemlerinde kontrol değerlerinden daha düşük ($p < 0,001$) olduğu Şekil 1'den görülmektedir. Ayrıca

çamur uygulaması yapılan ve yapılmayan toprakların pH değerinde inkübasyon süresine bağlı genel bir azalma eğilimi olduğu gözlenmiştir.

Mohammad ve Athamneh (2004) hektar başına 160 ton arıtma çamuru uyguladıkları çalışmalarında organik maddenin parçalanıp mineralize olmasıyla açığa çıkan amin asitleri sebebiyle toprak pH'sının 8,15 değerinden 7,22'ye düştüğünü bildirmişlerdir.

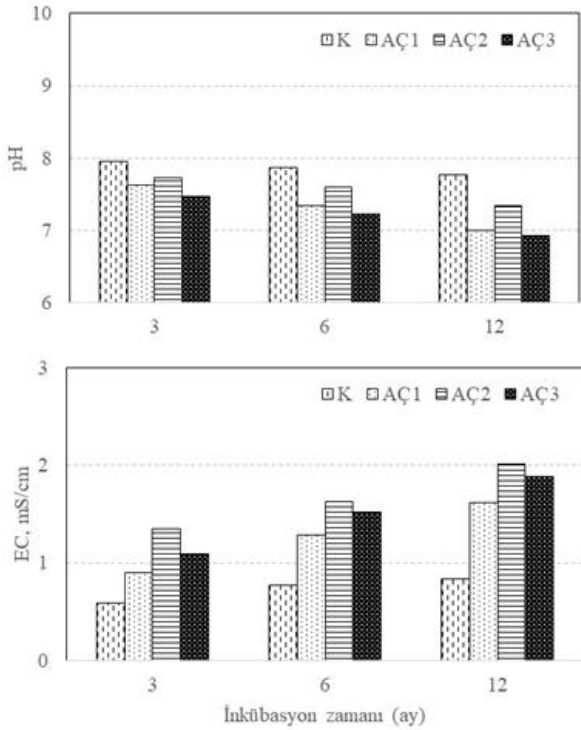
Çizelge 2. İki yönlü varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	df	MS	F	p
Bağımlı Değişken: pH				
Toprağa yapılan uyg. (U)	3	0,782	93,8	<0,001
İnkübasyon zamanı (T)	2	0,599	71,8	<0,001
UxZ	6	0,033	4,0	<0,01
Hata	24	0,008		
Bağımlı Değişken: EC 25°C				
Toprağa yapılan uyg.(U)	3	1,5169	552,16	<0,001
İnkübasyon zamanı (T)	2	1,0505	382,40	<0,001
UxZ	6	0,0486	17,70	<0,001
Hata	24	0,0027		
Bağımlı Değişken: Kolay okside olabilir organik karbon				
Toprağa yapılan uyg.(U)	3	1,9467	51,985	<0,001
İnkübasyon zamanı (T)	2	0,0782	2,089	ö.d*
UxZ	6	0,0629	1,679	ö.d.
Hata	24	0,0374		
Bağımlı Değişken: Amonyum azotu				
Toprağa yapılan uyg. (U)	3	511,1	36,706	<0,001
İnkübasyon zamanı (T)	2	2360,3	169,50	<0,001
			3	
UxZ	6	412,2	29,601	<0,001
Hata	24	13,9		
Bağımlı Değişken: Nitrat azotu				
Toprağa yapılan uyg. (U)	3	640646	4473,5	<0,001
İnkübasyon zamanı (T)	2	797500	5568,8	<0,001
UxZ	6	49615	346,45	<0,001
Hata	24	143		
Bağımlı Değişken: Yarayışlı fosfor				
Toprağa yapılan uyg.(U)	3	5243,6	175,98	<0,001
İnkübasyon zamanı (T)	2	263,77	8,853	<0,01
UxZ	6	9,78	0,328	ö.d.
Hata	24	29,80		

*ö.d.:önemli değil

Kontrol toprağının pH değeri 12 aylık inkübasyon sonunda yaklaşık 0,2 birim kadar düşerken, çamur uygulanmış topraklarda inkübasyon sonunda maksimum 1 birimlik bir pH düşmesi gözlenmiştir. Çamurla birlikte toprak ortamına katılan organik maddelerin huminleşme ve mineralizasyonları esnasında biyolojik aktiviteye bağlı olarak oluşan küçük moleküllü organik ve anorganik asitlerin aktif asitliği arttırdığı ve muhtemelen pH değerini düşürmüş olabileceği düşünülmektedir. Benzer şekilde, Ünal (2002) ve Mazen *et al.* (2010) tarafından yürütülen çalışmalarda da çamur

uygulanmış toprakların pH değerlerinin inkübasyon süresi arttıkça bir azalma eğilimi gösterdiği vurgulanmıştır. Toprağa uygulanan biyokatılardaki organik madde içeriği ve buna bağlı olarak meydana



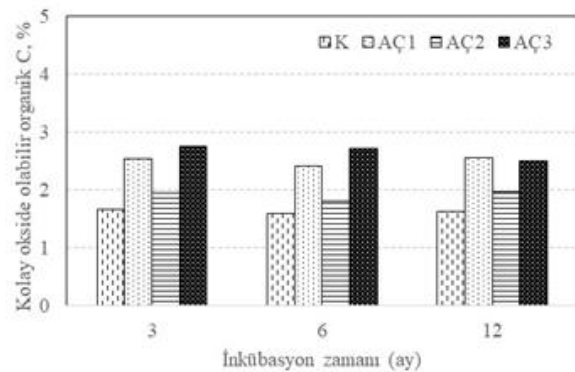
Şekil 1. Aritma çamuru uygulanmış topraklardaki pH ve EC'nin inkübasyon süresince değişimi (K:arıtma çamuru uygulanmamış kontrol toprağı, AÇ1:evsel arıtma çamuru, AÇ2: maya endüstrisi arıtma çamuru, AÇ3:konserve gıda endüstrisi arıtma çamuru)

Çamur uygulanmış topraklarda inkübasyon süresince meydana gelen elektriksel iletkenlik değişimleri incelendiğinde (Şekil 1), tüm çamur uygulamalarının toprağın EC_{25°C} değerini belirgin şekilde arttırdığı (p<0,001) açıkça görülmüştür. EC_{25°C} değerlerindeki en belirgin artış, tuzluluğu en yüksek olan (Tablo 1) maya endüstrisinden temin edilen çamurun uygulandığı topraklarda meydana gelmiştir (p<0,001). Çalışmada kullanılan kontrol toprağının EC_{25°C} değeri 0,539 mS/cm olup, inkübasyon süresince hafif bir artış meydana gelmiş ve 12. ay sonunda 0,830 mS/cm değerine ulaşılmıştır. Çamur uygulanmış topraklarda ise EC_{25°C} değerinin uygulanan çamurların tuz içeriğine bağlı olarak belirgin şekilde arttığı ve 12. ayın sonunda çamur uygulanmış topraklardaki EC_{25°C} değerinin

gelen bakteriyal metabolik aktivite artışı, organik asit üretimini arttırmakta ve asitleşmeye sebep olmaktadır (Sepúlveda–Varas *et al.* 2011).

1,62-2,01 mS/cm seviyelerine çıktığı görülmüştür. Mineralizasyona bağlı pH düşmeleri ve çökelmiş/bağlı tuzların havanın karbondioksiti etkisiyle serbest hale geçmeleri sebebiyle EC değerlerinin zamana bağlı olarak arttığı izlenimi edinilmiştir. Arıtma çamuru uygulamalarının toprak tuzluluğunu ciddi boyutlarda arttırdığı veya arttırabileceği çok sayıda çalışmada da vurgulanmıştır (Gaskin *et al.* 2003; Nikzad *et al.* 2015). Elektriksel iletkenliğin yüksek oluşu, topraktaki tuz ve/veya suda çözünebilir bileşiklerin seviyelerinin yüksek olduğunu göstermekte olup organik maddenin mineralizasyonu ile açığa çıkan çözünebilir azot bileşikleri elektriksel iletkenliği arttırabilmektedir. Gabrielle *et al.* (2005) tarafından yapılan çalışmada, organik azotun mineralizasyon sürecinde amonyağa dönüşmesiyle tuz konsantrasyonunun arttığı ve toprak pH'sının düştüğü belirlenmiştir.

Farklı orijinli arıtma çamurlarının uygulandığı topraklardaki kolay okside olabilir organik karbon yüzdelerinin inkübasyon süresince gösterdiği değişim Şekil 2.'de verilmiştir. Toprağa yapılan tüm arıtma çamuru uygulamalarının, kontrol toprağında yaklaşık %1,6 seviyelerindeki organik karbon içeriğini önemli ölçüde arttırdığı tespit edilmiştir. Evsel nitelikli çamur (AÇ1) ile konserve gıda endüstrisi kökenli çamur (AÇ3) uygulanan toprakların organik karbon içerikleri 12. ayın sonunda %2 ila %2,55 seviyelerinde belirlenmiştir.



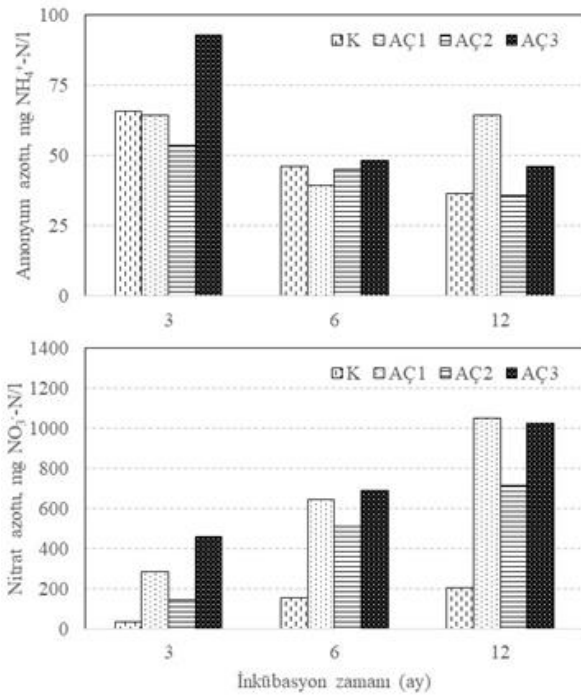
Şekil 2. Aritma çamuru uygulanmış topraklardaki kolay okside olabilen organik karbon %'sinin

inkübasyon süresince değişimi (K:arıtma çamuru uygulanmamış kontrol toprağı, AÇ1:evsel arıtma çamuru, AÇ2:maya endüstrisi arıtma çamuru, AÇ3:konserve gıda endüstrisi arıtma çamuru)

AÇ1:evsel arıtma çamuru, AÇ2:maya endüstrisi arıtma çamuru, AÇ3:konserve gıda endüstrisi arıtma çamuru)

Diğer arıtma çamurlarına göre daha düşük organik karbon içeriğine sahip olan maya endüstrisi kaynaklı arıtma çamuru uygulamasında, toprakların organik karbon içeriğindeki artış da daha az olmuştur. Tarım topraklarındaki organik maddenin yetersiz oluşu, Türkiye de dahil olmak üzere Akdeniz iklimi görülen bölgelerde ciddi bir problem olarak kabul edilmektedir. Zira bu bölgelerde yaz aylarındaki yüksek sıcaklıklar organik maddenin yıllık mineralizasyon oranını arttırmaktadır. Türkiye’de özellikle Doğu Anadolu Bölgesi’nde topraklar, yüksek kireç ve düşük organik madde içeriğiyle karakterize edilmekte olup (Bozkurt vd. 2010), arıtma çamuru uygulamasının bu tür topraklarda minimal riskle organik madde içeriğini arttırabileceği diğer çalışmalarda da vurgulanmıştır (Antolin *et al.* 2005, Garcia-Gill 2004).

Arıtma çamuru uygulanmış topraklardaki amonyum ve nitrat azotu parametrelerinin inkübasyon süresince değişimi ise Şekil 3’te sunulmuştur.



Şekil 3. Arıtma çamuru uygulanmış topraklardaki amonyum ve nitrat azotu konsantrasyonlarının inkübasyon süresince değişimi (K:arıtma çamuru uygulanmamış kontrol toprağı,

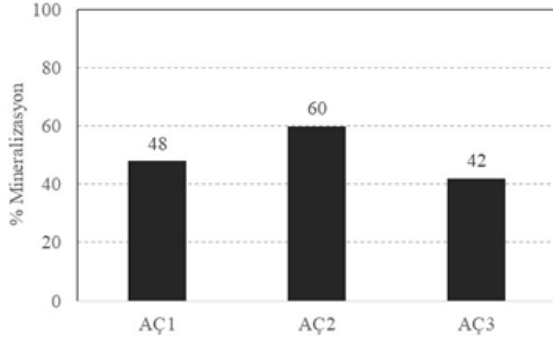
Çamur uygulanmış ve uygulanmamış topraklardaki amonyum azotuna ilişkin değerler incelendiğinde, inkübasyon süresince kontrol topraklarındaki amonyum azotu değerlerinin 37-66 mg/kg arasında salındığı, çamur uygulanmış topraklarda ise bu değerlerin 36 ila 93 mg/kg arasında olduğu tespit edilmiştir.

Çamur uygulanmış topraklarda amonyum azotu değerlerinin kontrole göre çok büyük artış göstermemesi, topraktaki amonifikasyon prosesinin baskın olmadığını veya amonifikasyon sonrası meydana gelen amonyum azotunun immobilize olduğunu veya hızla nitrat azotuna dönüşmüş olabileceğini göstermektedir. Inkübasyon süresince takip edilen yüksek nitrat azotu değerleri, inkübasyon şartlarında amonifikasyon prosesinin baskılanmadığını, mineralizasyonla salınan amonyum azotunun hızlıca nitrat azotuna dönüştüğünü göstermektedir (Şekil 3). Nitrifikasyon için optimum pH değeri 6,6 ile 8 arasında olup, inkübasyon süresi boyunca topraklardaki pH değerleri bu aralıkta kalmıştır. pH’ı 6’nın altında olan tarım topraklarında nitrifikasyon hızının azaldığı, pH 4.5’un altında ise ihmal edilebilir seviyelere düştüğü bilinmektedir (Paul and Clark 1996). Yürütülen çalışmada çamur uygulanmış topraklardaki nitrat azotu değerleri zamana bağlı belirgin bir artış göstermiş ve 12 aylık inkübasyon döneminin sonunda 713 ila 1048 mg/kg seviyelerine ulaşmıştır (Şekil 3). Arıtma çamurlarının toprağı uygulanmasıyla toprakta büyük bir nitrat birikiminin meydana geldiğinin vurgulandığı çok sayıda çalışma mevcuttur (Luczkiewicz 2006, Antoniadis *et al.* 2010, Samaras *et al.* 2008). Ancak yürütülen inkübasyon çalışması kapsamında gözlenen nitrat birikiminin doğal şartlarda bu boyutta olması beklenmemektedir. Şüphesiz doğal ortamdaki iklim olaylarına bağlı değişimler sonucu bu düzeyde bir nitrat birikimi meydana gelmeyecektir. Öte yandan çeşitli toprak canlılarının ve bitkilerin mineral azot formlarını kullanıyor olması bu birikimin daha da az olmasını sağlayacaktır.

Yapılan çamur uygulamasıyla toprağı giren ve toprakta halihazırda bulunan organik azot değerleri ile inkübasyon süresince ölçülen inorganik azot değerleri dikkate alınarak çamur organik maddesinin mineralizasyon oranları da hesaplanmış ve Şekil 4’te sunulmuştur. Yapılan hesaplamalarda

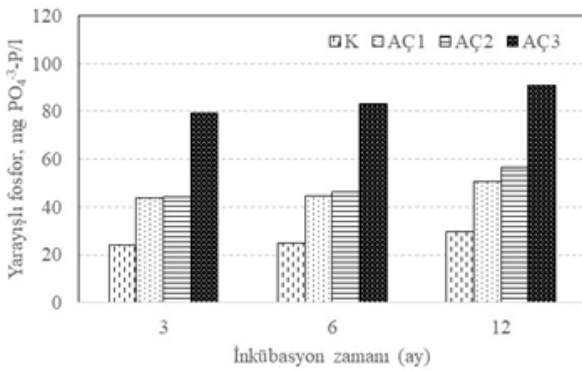
inkübasyon süresince gerçekleşebilecek amonyak kayıplarının ihmal edilebilir seviyede olduğu kabulü yapılmıştır.

Şekil 4'ten görüldüğü gibi, arıtma çamuru uygulamasıyla toprağa verilen organik azotun AÇ1, AÇ2 ve AÇ3 çamurları için sırasıyla %48, %60 ve %42'si 12 aylık inkübasyon süresi boyunca mineralize olmuştur. Toplam azot içeriği çalışmada kullanılan diğer çamurlarınkinin yarısı kadar olan maya endüstrisi çamurundaki (AÇ2) organik azotun diğer çamurlara nazaran daha hızlı mineralize olması dikkat çekicidir. Bu sonuç, arıtma çamurlarının özelliklerine bakarak, toprak üzerindeki etkileri konusunda yorumda bulunmanın tek başına yeterli olmadığını göstermektedir.



Şekil 4. Arıtma çamuru uygulanmış topraklardaki çamur kaynaklı organik azotun 12. Ay sonundaki mineralizasyon yüzdeleri (AÇ1:evsel arıtma çamuru, AÇ2:maya endüstrisi arıtma çamuru, AÇ3:konserve gıda endüstrisi arıtma çamuru).

Şekil 5. arıtma çamuru uygulanmış topraklardaki yarıyıllık fosfor konsantrasyonlarında inkübasyon süresince meydana gelen değişimi göstermektedir.



Şekil 5. Arıtma çamuru uygulanmış topraklardaki yarıyıllık fosfor konsantrasyonlarının inkübasyon süresince değişimi (K:arıtma çamuru uygulanmamış kontrol toprağı, AÇ1:evsel arıtma çamuru, AÇ2:maya

endüstrisi arıtma çamuru, AÇ3:konserve gıda endüstrisi arıtma çamuru)

Yapılan tüm çamur uygulamaları, yarıyıllık fosfor konsantrasyonlarını kontrole göre belirgin şekilde arttırmıştır. Konservenin gıda endüstrisi orijinli arıtma çamuru (AÇ3) uygulanan topraklarda meydana gelen artış daha yüksek olmuştur. Diğer arıtma çamurlarına göre daha düşük toplam fosfor içeriğine sahip AÇ3 arıtma çamuru uygulamalarında tüm inkübasyon dönemlerinde daha yüksek yarıyıllık fosfor konsantrasyonlarının belirlenmesi dikkat çekicidir. 12 aylık inkübasyon sonunda AÇ1 ve AÇ2 çamuru uygulamalarındaki yarıyıllık fosfor konsantrasyonları 50-55 mg PO₄-P / kg kuru toprak seviyelerinde iken, AÇ3 çamurunun uygulandığı topraklarda bu değer yaklaşık olarak 100 mg PO₄-P / kg olarak bulunmuştur.

4. Sonuç

Yapılan araştırma sonuçlarına göre, toprağa 100 t/ha oranında uygulanan evsel ve evsel nitelikli arıtma çamurları, 12 aylık inkübasyonun ardından, toprakların pH değerini hafifçe düşürürken (maksimum 1 birim), EC değerlerini belirgin şekilde arttırmıştır. Toprağa yapılan tüm arıtma çamuru uygulamalarının, kontrol toprağında yaklaşık %1,6 seviyelerindeki kolay okside olabilir organik karbon içeriğini %2 ila 2,55 seviyelerine çıkarttığı tespit edilmiştir. Çamur uygulanmış topraklarda amonyum azotu değerleri kontrole göre çok büyük artış göstermezken nitrat azotu değerleri belirgin şekilde artmış ve 12 aylık inkübasyon döneminin sonunda 713 ila 1048 mg/kg seviyelerine ulaşmıştır. Yürütülen çalışma kapsamında, nitrifikasyon prosesinin yapılan uygulamalarla inhibe olmadığı, amonifikasyonu takiben açığa çıkan amonyum azotunun hızla nitrat azotuna dönüştüğü izlenimi edinilmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında kullanılan evsel ve evsel nitelikli gıda endüstrisi kökenli arıtma çamurlarındaki organik azotun, 12 aylık inkübasyon sonunda %48 ila 60 oranında mineralize olduğu görülmüştür. Yarıyıllık fosfor konsantrasyonunun da çamur uygulamasına bağlı olarak 24-30 mg PO₄-P/kg seviyelerinden 44-91 mg PO₄-P/kg seviyelerine çıktığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak, 100 t/ha

oranında yapılan evsel ve evsel nitelikli arıtma çamuru uygulamaları ile toprağın organik madde ve bitki besin maddesi içeriklerinin arttığı ve topraktaki biyokimyasal fonksiyonların geliştiği izlenimi edinilmiştir. Çalışma kapsamında incelenen parametreler itibarıyla denenen arıtma çamurlarının toprak düzenleyici olarak kullanım potansiyelinin oldukça yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

5. Kaynaklar

- Antolin, M.C., Pascual, I., Garcia, C., Polo, A. and Sanhez-Diaz, M., 2005. Growth, yield and solute content of barley in soils treated with sewage sludge under semiarid Mediterranean conditions. *Fields Crops Research*, **94**, 224-237.
- Antoniadis, V., Tsadilas, C.D. and Dalias, P., 2010. Evaluation of sewage sludge as a soil amendment in relation to nitrate leaching. *Agrochimica -Pisa-*, **54**, 91-102.
- APHA, AWWA and WEF. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20. Edition, American Public Health Association.
- Bozkurt, M.A., Yarılgaç, T. and Yazıcı, A., 2010. The use of sewage sludge as an organic matter source in apple trees. *Polish Journal of Environmental Studies*, **19**, 267-274.
- Bremner, J.M. and Mulvaney, C.S., 1982. "Nitrogen-total" in Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties (A.L. Page, ed.), SSSA Book Series No: 9, SSSA and ASA, 595-622.
- Gabrielle, B., Da-Silveira, J., Houot, S., Michelin, J., 2005. Field-scale modelling of carbon and nitrogen dynamics in soils amended with urban waste composts. *Agriculture Ecosystems & Environment*, **110**, 289-299.
- Garcia-Gill, J.C., Plaza, C., Senesi, N., Brunetti, G. and Polo, A., 2004. Effects of sewage sludge amendment of humic acids and microbiological properties of semiarid Mediterranean soil. *Biology and Fertility of Soils*, **39**, 320-328.
- Gaskin, J.W., Brobst, R.B., Miller, W.P. and Tollner, E.W., 2003. Long-term biosolids application effects on metal concentrations in soil and bermudagrass forage. *Journal of Environmental Quality*, **32**, 146-152.
- Gee, G.W., Bauder, J.W., 1982. "Particle Size Analysis" in Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods (A. Klute, ed.), ASA-SSSA, 384-412.
- Ghazy, M., Dochorn, T., and Dichtl, N., 2009. Sewage sludge management in Egypt: Current status and perspectives towards a sustainable agricultural use. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Environmental and Ecological Engineering*, **3**, 270-278.
- Keeney, D.R. and Nelson, D.W., 1982. "Nitrogen-inorganic Forms" in Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties (A.L. Page, ed.), SSSA Book Series No: 9, SSSA and ASA, 643-693.
- Krogstad, T., Sogn, T.A., Asdal, A. and Sæbø, A., 2005. Influence of chemically and biologically stabilized sewage sludge on plant-available phosphorous in soil. *Ecological Engineering*, **25**, 51-60.
- Kumar, V., Chopra, A.K. and Kumar, A., 2017. A review on sewage sludge (Biosolids) a resource for sustainable agriculture. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, **2**, 340-347.
- Luczkiewicz, A., 2006. Soil and groundwater contamination as a result of sewage sludge land application. *Polish Journal of Environmental Studies*, **15**, 869-876.
- Mazen, A., Faheed, F.A. and Ahmed, A.F., 2010. Study of potential impacts of using sewage sludge in the amendment of desert reclaimed soil on wheat and jews mallow plants. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, **53**, 917-930.
- Mc Lean, E.O., 1982. "Soil pH and Lime Requirement" in Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties (A.L. Page, ed.), SSSA Book Series No: 9, SSSA and ASA, 199-224.
- Mohammad, M.J. and Athamneh, M.B., 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**, 229-236.
- Nelson, D.W. and Sommers, L.E., 1982. "Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter", In: Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties, SSSA Book Series No: 9, SSSA and ASA, 539-579.
- Nikzad, E., Kalbasi, M., Hoodaji, M. and Fallahzade, J., 2015. Effect of sewage sludge urban application on concentration of Fe, Mn and some nutrient element in parsley. *Research Journal of Soil Biology*, **7**, 46-55.

- Olsen, S.R. and Sommers, L.E., 1982. "Phosphorus" in Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties (A.L. Page, ed.), SSSA Book Series No: 9, SSSA and ASA, 403-430.
- Paul, E.A. and Clark, F.E., 1996. Soil Microbiology and Biochemistry, 2nd edn, San Diego Academic Press Inc.
- Pepper, I.L., Zorzghi, H.G., Bengson, S.A., Iker, B.C., Banerjee, M.J. and Brooks, J.P., 2012. Bacterial populations within copper mine tailings: long-term effects of amendment with Class A biosolids. *Journal of Applied Microbiology*, **113**, 569-577.
- Rhoades, J.D., 1982. "Soluble Salts" in Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties, (A.L. Page, ed.), SSSA Book Series No: 9, SSSA and ASA, 285-290.
- Samaras, V., Tsadilas, C. D. and Stamatiadis, S., 2008. Effects of repeated application of municipal sewage sludge on soil fertility, cotton yield, and nitrate leaching. *Agronomy Journal*, **100**, 477-483.
- Sepúlveda-Varas, A., Inostroza, C. And Encina-Montoya, F., 2011. Effects of the incorporation of biosolids on soil quality: temporal evolution in a degraded inceptisol (typic endoaquepts). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, **11**, 33-44.
- Sharma, B., Sarkar, A., Singh, P. and Singh, R.P., 2017. Agricultural utilization of biosolids: A review on potential effects on soil and plant grown. *Waste Management*, **64**, 117-132.
- Sidhu, J.P. and Toze, S.G., 2009. Human pathogens and their indicators in biosolids: a literature review. *Environment International*, **35**, 187-201.
- Silva, J.D.C., Tamara Leal, T.T.B., Araújo, A.S.F., Araujo, R.M. Gomes, R.L.F., Melo, W.J. and Singh, R.P., 2010. Effect of different tannery sludge compost amendment rates on growth, biomass accumulation and yield responses of Capsicum plants. *Waste Management*, **30**, 1976-1980.
- Singh, R.P. and Agrawal, M., 2010. Biochemical and physiological responses of rice (*Oryza sativa* L.) grown on different sewage sludge amendments rates. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, **84**, 606-612.
- Ünal, M., 2002. Gıda sanayii arıtma çamurlarının tarımda kullanılma olanakları üzerine bir araştırma. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 110.
- Walker, D.J. and Bernal, M.P., 2008. The effects of olive mill waste compost and poultry manure on the availability and plant uptake of nutrients in a highly saline soil. *Bioresource Technology*, **99**, 396-403.
- Yaman, K. ve Olhan, E., 2011. Arıtma çamuru kullanımının buğdayın verim, fiziki girdi ve maliyetleri üzerindeki etkisi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, **17**, 157-166.