

Stabilize arıtma çamurlarının topraktaki azot ve üreaz aktivitesine etkileri

Efsun DİNDAR*, F.Olcay TOPAÇ ŞAĞBAN, Hüseyin S. BAŞKAYA

Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 16059, Görükle, Bursa

Özet

Bu çalışmada, farklı yöntemlerle stabilize edilen çamurların uygulandığı topraklarda çeşitli azot formları ve üreaz aktivitesi değerlerinde meydana gelen değişimler belirlenmiştir. Evsel nitelikli ham arıtma çamuruna, patojen popülasyonunu değişen derecelerde azaltan dört farklı stabilizasyon yöntemi (havada kurutma, pastörizasyon, kireç stabilizasyonu ve kireç+kül stabilizasyonu) uygulanmıştır. Stabilize edilen arıtma çamurları 50 ve 100 ton ham kuru çamur ha⁻¹ oranını sağlayacak şekilde 2 tekrarlamalı tesadüfi blok tasarımı düzeninde 500 g kuru toprak içeren kaplara eklenmiştir. Örnekler 28°C'de 34 gün boyunca inkübe edilmiştir ve inkübasyonun 5, 8, 15, 22, 29 ve 34. günlerinde alınan örneklerde toplam azot, amonyum azotu ve nitrat azotu konsantrasyonları ile üreaz aktivitesi seviyeleri belirlenmiştir. Uygulanan havada kurutma, pastörizasyon, kireç stabilizasyonu ve kireç+kül stabilizasyonu yöntemleri, çamurun fekal koliform içeriğini önemli derecede (4.12 ila 7.74 log) azaltmıştır. Uygulanan stabilizasyon yöntemleri USEPA kriterleri çerçevesinde değerlendirildiğinde, kurutma, kireç stabilizasyonu ve kireç+kül stabilizasyonu yöntemlerinin B sınıfı biyokati oluşturduğu sonucuna varılmıştır. Diğer yandan, çamurun pastörize edilmesi (70°C'de 30 dk.) ile USEPA A sınıfı biyokati kriterleri sağlanmıştır. Sonuçlar çamura uygulanan stabilizasyon yöntemlerinin arasındaki farkların, toprakların toplam azot konsantrasyonu ve üreaz aktivitesi değerine olan etkisinin önemsiz olduğunu göstermiştir. Diğer taraftan, çamur uygulanan topraklarda belirlenen amonyum ve nitrat azotu değerlerinin ise çamura uygulanan stabilizasyon yöntemlerine bağlı olarak değiştiği tespit edilmiştir. İnkübasyon sonuçları özellikle alkali çamur uygulanan topraklarda, nitrifikasyon prosesinin amonifikasyona göre daha hızlı yürüdüğünü göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Arıtma çamuru, azot formları, çamur stabilizasyonu, üreaz aktivitesi, toprak.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Efsun DİNDAR. efsun@uludag.edu.tr; Tel: (224) 294 09 19.

Bu makale, 04-06 Kasım 2009 tarihleri arasında İzmir'de düzenlenen 2. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu'nda sunulan bildiriler arasından, İTÜ Dergisi/e Su Kirlenmesi Kontrolü dergisinde basılmak üzere seçilmiştir. Makale metni 19.12.2009 tarihinde dergiye ulaşmış, 02.04.2010 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.10.2010 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

The effect of stabilized wastewater sludge on nitrogen and urease activity in a soil

Extended abstract

Wastewater sludge has been already utilized in agricultural applications for several years as it represents an alternative source of nutrients for plant growth and an efficient soil conditioner enhancing certain physical properties of soil. However, wastewater sludge may contain pathogenic organisms and pollutants. This may negatively affect the soil properties. Recently increased attention was paid to the sludge stabilization process aiming to reduce the microbial content of sludge (pathogens). In this context several methods, such as biological digestion, composting, lime stabilisation, heat treatment have been used to eliminate pathogens from sludge. In this research, variations of various nitrogen forms and urease activity values have been determined in soils amended with wastewater sludges treated with different stabilization methods. Raw domestic sludge samples were treated with four different stabilization processes (air drying, pasteurization, lime stabilization and lime+fly ash stabilization) for reducing pathogen population with varying efficiency. Details of the processes are given below: air drying process: sludge was dried at 35°C by using a supplemental heat source; pasteurization: sludge was heated at 70°C for 30 minutes; lime stabilization: sludge was mixed with 15% of lime(CaO) on dry-weight basis; lime+fly ash stabilization: lime (10%)-fly ash (40%) mixture was added to sludge to increase the pH to 12.

Lime is considered as one of the most common amendment materials for sewage sludge stabilization, as it plays significant role in reducing the microbial content of sludge (pathogens), enhancing the agricultural benefits and lowering the respective environmental risks. Fly ash, i.e. the by-product produced from fossil fuel thermal power plants, may contain increased amounts of calcium and magnesium oxides, depending upon the coal sources and may present highly alkaline values similar to lime. Thus, fly ash can be used as an alternative material for sludge stabilization with additional benefits, such as the reduced purchasing cost, and the minimization of fly ash disposal cost. Furthermore, the combined addition of fly ash and lime in small dosages to sewage sludge may result to an efficient removal of pathogens.

In this research, de-watered sludge sample was collected from the treatment plant of canned food industry. The fly ash used in this study was obtained from Orhaneli Power Station where lignite is used for fuel. Technical grade anhydrous calcium oxide (quicklime 96%) was used together with fly ash in alkaline stabilisation .

Stabilized sludge samples were amended to soil pots (500 g air dried soil) at rate equivalent to 50 and 100 tons dry sludge ha⁻¹ and the pots were then arranged in a randomized block design with two replicates. The samples were incubated at 28°C for 34 days and total-N, ammonium-N and nitrate-N concentrations and urease activity levels were determined at 5, 8, 15, 22, 29 and 34 days of incubation period.

Fecal coliform numbers were determined by Most Probable Number Method of Standard Methods. Concentrations of nitrate-N and ammonium-N were determined in samples which were extracted using 2 M KCl. The concentrations in extracts were analyzed by steam distillation with MgO and devarda alloy. Total N contents were measured by Kjeldahl digestion method. The urease activity of the soil was determined as described by Tabatabai. Applied methods of air drying, pasteurization, lime stabilization and lime+fly ash stabilization significantly decreased (4.12 to 7.74 log) the fecal coliform contents of wastewater sludge. When applied stabilization methods were evaluated by USEPA criteria, it can be concluded that air drying, lime stabilization and lime+fly ash stabilization generated Class B biosolid products. On the other hand, Class A biosolid requirements were achieved by pasteurization of sludge(70°C for 30 min.).

The results indicated that the effects of applied sludge stabilization methods on total N concentration and urease activity values of soils were found to be insignificant. However, the ammonium and nitrate nitrogen concentrations in sludge amended soils were dependent on the applied sludge stabilization methods.

In general, low levels of ammonium and high levels of nitrate nitrogen were determined in sludge amended soils during the incubation period. The results of the incubation indicated that nitrification proceeded much faster than ammonification especially in soils amended with alkaline sludges.

Keywords: Nitrogen forms, sludge stabilization, soil, urease activity, wastewater sludge.

Giriş

Arıtma çamuru bünyesinde bulunan çeşitli organik ve inorganik bileşikler bu atıkların gübre olarak yeniden kullanılabilmesi alternatifini de beraberinde getirmektedir. Arıtma çamurunun toprak yüzeyine uygulanmasıyla toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri gelişmekte ve toprağın gübre ihtiyacı kısmen karşılanmaktadır (Korentajer, 1991; Towers ve Horne, 1997). Yapılan çalışmalar organik karbon kaynağı olarak kabul edilen arıtma çamurlarının araziye uygulanmasıyla topraktaki mikroorganizma sayılarının ve enzim aktivitelerinin de artabileceğini göstermektedir (Banerjee vd., 1997; Topaç vd., 2008). Arıtma çamurlarının tarımsal alanlarda kullanılabilmesi için çamurda bulunabilecek ağır metal, patojen mikroorganizma ve sentetik organik kimyasalların yaratacağı hijyenik ve çevresel etkilerin değerlendirilmesi gerekmektedir.

Evsel ve evsel nitelikli arıtma çamurlarında ağır metal ve sentetik organik kimyasal içeriğinin yüksek olması beklenmemekle birlikte bu çamurlardaki yüksek patojen içeriği ham çamurun araziye uygulanmasını riskli kılmaktadır. Tarım arazilerine verilecek çamurlardaki patojen içeriğini gidermek veya makul seviyelere indirmek için kurutma, alkali stabilizasyon, pastörizasyon, aerobik çürütme, anaerobik çürütme gibi çeşitli stabilizasyon yöntemlerinin uygulanması gerekmektedir (USEPA, 1999). Stabilizasyonda kireç kullanımı, patojen giderimindeki etkinliği, metallerin biyolojik yararıyı azaltma potansiyeli, tarımsal yararları ve maliyetinin düşük olması sebeplerinden ötürü tercih edilmektedir (Samaras vd., 2008). Uçucu kül ise termik santrallerden oluşan, yüksek miktarda kalsiyum ve magnezyum oksit içerebilen, kireç gibi yüksek alkaliniteye sahip bir üründür. Toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerini geliştirme kapasitesine sahip olması dolayısıyla tarımsal amaçlı olarak da kullanılabilir (Wong vd., 1998; Kocaer, 2005).

Patojen giderimi için uygulanan stabilizasyon yöntemlerinin, çamur uygulanan toprağın özelliklerinde yönteme bağlı farklılık yaratması muhtemeldir. Bu çalışmada azotça zengin çamur uygulaması sonucu topraktaki azot formlarındaki ve üreaz aktivitesindeki değişimler, uygulanan stabilizasyon yöntemleri açısından kıyaslanmıştır.

Yürütülen çalışmada evsel nitelikli bir arıtma çamuruna farklı derecelerde patojen gideriminin sağlandığı dört farklı stabilizasyon yöntemi uygulanmıştır: 1-Havada kurutma, 2-Pastörizasyon, 3-Kireç stabilizasyonu, 4-Kireç+kül stabilizasyonu. Stabilize edilen arıtma çamurları killi bünyeli bir tarım toprağına iki farklı dozda uygulanarak 34 gün boyunca inkübe edilmiş ve inkübasyon süresince topraktaki azot formları ve üreaz aktivitelerindeki değişim izlenmiştir.

Materyal ve metot

Materyal

Çalışmada, gübrelemeye alternatif olabilecek düzeyde bitki besini içeren ve ağır metal içeriği, 31-05-2005 tarihli ve 25831 sayılı "Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği" 3. Bölüm, Ek 1-B'de belirtilen ağır metal limitlerini aşmayan, gıda endüstrisi kökenli arıtma çamuru kullanılmıştır. İşlenmiş sebze ve meyve üretimi yapılan tesiste arıtma ünitesine gelen atıksu bileşkesi evsel nitelikli atıksular ve proses sularından oluşmaktadır.

Materyal ve metot

Materyal

Arıtma çamurlarının uygulandığı toprak örnekleri Bursa-Nilüfer İlçesi Özlüce bölgesindeki bir tarım arazisinden alınmıştır. 0-20 cm'lik yüzey toprağından alınan örnekler laboratuvar ortamında kurutulmuş, ezilmiş ve 4 mm'lik eleklerden elenerek inkübasyon denemesine hazır hale getirilmiştir.

Arıtma çamuru ve toprak örneklerinin bazı kimyasal özellikleri Tablo 1'de görülmektedir. Çalışmada arıtma çamurlarıyla karıştırılmak üzere teknik sönmemiş kireç ve alkali özellik gösteren Orhaneli Termik Santrali uçucu külü kullanılmıştır.

Stabilizasyon Yöntemleri

Kurutma- Çalışma kapsamında uygulanan bu yöntemde arıtma çamurları kurumunun hızlı bir şekilde gerçekleşmesi ve yaz aylarındaki ortalama hava sıcaklığının simüle edilmesi için 35°C'ye ayarlı etüve konarak kurumaya bira-

kılmıştır. Havalandırılmalı etüvdeki çamur gün aşırı düzenli olarak karıştırılmıştır.

Tablo 1. Arıtma çamuru, uçucu kül ve toprak örneklerinin karakterizasyonu

Parametreler	Çamur	Uçucu kül	Toprak
pH (1:5, saf su ekstraktı)	6.60	12.00	7.10
EC (1:5, saf su ekstraktı) (mS)	6.39	3.69	0.54
Kum (%)	-	-	28
Kil (%)	-	-	42
Silt (%)	-	-	30
Total N (g kg ⁻¹)	40.5	0.12	1.49
Amonyum-N (mg kg ⁻¹)	1030	8.95	10.4
Nitrat-N (mg kg ⁻¹)	46.0	4.48	31.0
Total P (g kg ⁻¹)	5.13	3.60	3.38
Yarayışlı P (mg kg ⁻¹)	190	25.9	25.7
Organik C (g kg ⁻¹)	253	0.99	16.5

Pastörizasyon- Arıtma çamuru örneği ısıtılarak 30 dakika süre ile 70°C sıcaklıkta kalması sağlanmıştır. Çalışma kapsamında uygulanan pastörizasyon prosesi için 5 L hacimli paslanmaz çelikten yapılmış silindirik bir reaktör kullanılmıştır. Çamurun ısıtılması reaktör duvarını çevreleyen rezistanslar vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Reaktör çevresinde ısı yalıtımı sağlanarak ısı kayıpları minimuma indirilmiştir. Çamurun karıştırılması için hızı ayarlanabilir laboratuvar tipi bir karıştırıcı kullanılmıştır. Reaktör içindeki çamur sıcaklığının ölçülmesi için üst kapaktan bir termocouple daldırılmış, dijital bir sıcaklık ölçer kullanılarak sıcaklık değerleri kaydedilmiştir.

Kireç stabilizasyonu- Arıtma çamuru örneğine kuru ağırlık bazında %15 oranında sönmemiş kireç ilave edilmiş ve homojen bir karışım elde edilene dek karıştırılmıştır. Elde edilen karışımın pH'ı 2 saat süre ile 12'nin altına inmemiştir.

Kireç+kül stabilizasyonu- Arıtma çamuru örneğine kuru ağırlık bazında %10 oranında sönmemiş kireç ve %40 oranında alkali uçucu kül ilave edilmiş ve homojen bir karışım elde edilene dek karıştırılmıştır. Elde edilen karışımın pH'ı 2 saat süre ile 12'nin altına inmemiştir.

İnkübasyon denemesi

Stabilize edilen arıtma çamurları 50 ve 100 ton ham kuru çamur/ha (20 ve 40 g kg⁻¹) oranını sağlayacak şekilde 2 tekrarlamalı tesadüfi blok tasarımı düzeninde 500 g kuru toprak içeren inkübasyon kaplarına uygulanmıştır. Karışımlar tarla kapasitelerinin %70'i oranında nemlendirilmiş ve 28°C'ye ayarlanmış inkübatöre yerleştirilmiştir. Topraklardaki nem miktarının sabit kalmasına özen gösterilerek sabit sıcaklıkta 34 gün boyunca inkübe edilmiştir. 5, 8, 15, 22, 29 ve 34 günlük inkübasyon süreleri sonrasında kaplardan toprak örnekleri alınmış, toplam azot, amonyum azotu ve nitrat azotu konsantrasyonları ile üreaz aktivitesi değerleri belirlenmiştir.

Analiz yöntemleri

Ham ve işlem görmüş arıtma çamurlarının fekal koliform sayıları en muhtemel sayı yöntemine göre belirlenmiştir (APHA, AWWA, WEF, 1998). Büyüme ortamı olarak Brilliant Green Bile Broth kullanılmıştır. Ekim yapılan tüpler 44.5 ± 0.2°C'de 24 saat süresince inkübe edilmiştir.

Arıtma çamuru ve toprak örneklerinin elektriksel iletkenlik ve pH değerleri 1:5 saf su ekstraktında belirlenmiştir. (Rhoades, 1982, Mc Lean, 1982). Çamur örneklerindeki katı madde miktarı 105°C'de kurutulan örneklerdeki ağırlık kaybı dikkate alınarak hesaplanmıştır (APHA, AWWA, WEF, 1998). Amonyum ve nitrat azotu konsantrasyonlarının belirlenmesi için örnekler 2M KCl ile ekstrakte edilmiş, ekstraktlardaki konsantrasyonlar MgO ve Devarda alaşımı kullanılmak suretiyle su buharı destilasyonu ve titrasyon yoluyla ölçülmüştür (Keeney ve Nelson, 1982). Örneklerin toplam azot içerikleri Kjeldahl yaş yakma yöntemiyle tayin edilmiştir (Bremner ve Mulvaney, 1982). Örneklerdeki yarayışlı fosforu ekstrakte etmek için 0,5N'lik NaHCO₃ çözeltisi kullanılmıştır. Toplam fosfor tayini için ise sülfürik asit-nitrik asit karışımıyla yaş yakma yapılmıştır (Olsen ve Sommers, 1982). Ekstraktlardaki fosfor konsantrasyonları askorbik asit metoduna göre belirlenmiştir (APHA, AWWA, WEF, 1998). Örneklerdeki kolay okside olabilir organik karbon konsantrasyonlarının belirlenmesi için örnekler potasyum dikromat çözeltisi ile okside edilmiş ve

oluşan renk yoğunluğu 590 nm’de spektrofotometrik olarak tespit edilmiştir (Nelson ve Sommers, 1982).

Üreaz aktivitesi ise Tabatabai (1982) tarafından bildirildiği şekilde tayin edilmiştir. üreaz aktivitesinin belirlenmesi için 5 gr toprak örneğine 0.2 mL toluen, 9 mL THAM tampon çözeltisi (pH=9) ve 1 mL 0.2 M üre çözeltisi eklenmiş ve topraklar 37°C’de inkübe edilmiştir. İnkübasyonun ardından yaklaşık 35 mL KCl-AgSO₄ eklenerek aktivite durdurulmuştur. Toprak süspansiyonundaki amonyum azotu miktarı buhar destilasyonu ile belirlenmiştir. Sonuçlar µg NH₄⁺-N/gr.sa olarak hesaplanmıştır.

İstatistiksel değerlendirme

Çamur stabilizasyon yöntemleri ve çamur uygulama oranları arasındaki farkın inkübasyon süresince değerlendirilmesi için STATISTICA (1999 Edition) programı kullanılarak “tekrarlı ölçümlerde iki yönlü varyans analizi” uygulanmıştır.

Bulgular ve tartışma

Stabilizasyon yöntemlerinin değerlendirilmesi
Stabilize edilmiş çamur örneklerinde belirlenen ortalama fekal koliform sayıları Tablo 2’de görülmektedir. Arıtma tesisinin filtre pres çıkışından alınan ve %16 katı madde içeren ham arıtma çamuru 5.5 x 10⁷ MPN g⁻¹ kuru çamur düzeyinde fekal koliform içermektedir. Çalışma kapsamında uygulanan havada kurutma, pastörizasyon, kireç stabilizasyonu ve kireç+kül stabilizasyonu yöntemleri, çamurun fekal koliform içeriğinde belirgin bir azalmaya neden olmuştur. Kurutulmuş çamurlarda yaklaşık 4 logluk, kireç ve kireç+kül ile stabilize edilen çamurlarda ise yaklaşık 5 logluk bir azalma meydana gelmiştir. Pastörize edilmiş çamurlarda ise fekal koliform tespit edilmemiştir.

Ülkemizde 31-05-2005 tarihli ve 25831 sayılı resmi gazetede yayınlanan Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği’nin üçüncü bölümü, ham çamur, işlenmiş arıtma çamuru ve kompostun toprakta kullanılmasına ilişkin sınırlamalar getirmektedir. Yönetmelikte, çevre ve insan sağlığına olabilecek etkileri azaltmak amacıyla biyo-

lojik arıtma, alkali muamelesi, ısı arıtma, kurutma, kompostlama ve uzun süreli depolama gibi stabilizasyon ve dezenfeksiyon yöntemleri uygulanması gerekliliği belirtilmiştir. Ancak bu yöntemlerin işletme koşullarıyla ilgili detay bilgilerin ve işlenmiş çamurun mikrobiyolojik özelliklerine ilişkin sınır değerlerin verilmediği dikkat çekmektedir (TKKY, 2005). U.S. EPA yönetmelikleri ise araziye uygulanacak arıtma çamurları için iki seviyede patojen giderimini baz almaktadır. B sınıfı seviyesindeki patojen gideriminde patojen miktarındaki nihai azalmanın arazide meydana geleceği düşünülür. İşletim koşullarına ilişkin detayların yönetmelikçe belirtilen aerobik-anaerobik çürütme, kompostlama, kireç stabilizasyonu, havada kurutma gibi yöntemler B sınıfı çamur eldesi için önerilen yöntemlerdendir. Ayrıca fekal koliform içeriği 2000000 MPN veya 2000000 CFU/g toplam katı madde’den az olan çamurlar da B sınıfı olarak kabul edilirler. Çalışma kapsamında yer alan stabilizasyon yöntemleri USEPA kriterleri çerçevesinde değerlendirildiğinde, kurutma, kireç stabilizasyonu ve kireç+kül stabilizasyonu yöntemlerinin B sınıfı çamur kriterlerini sağlayabilen yöntemler olarak kabul edildiği görülmektedir. A sınıfı seviyesinde patojen içeren çamurlar daha sıkı standartlara tabidirler ve araziye uygulandıktan sonra halkın girişi veya bekleme periyotlarına ilişkin sınırlamalar söz konusu değildir. A sınıfı arıtma çamurlarının fekal koliform yoğunluklarının 1000 MPN/g katı madde veya salmonella konsantrasyonunun 3 MPN/4 g katı madde’den az olması gerekmektedir (USEPA, 1999). Çalışma kapsamında yer alan pastörizasyon yöntemi USEPA A sınıfı kriterlerini sağlamaktadır.

Tablo 2. Uygulanan çamur stabilizasyon yöntemlerinin fekal koliform içeriğine etkileri

Stabilizasyon yöntemleri	Fekal koliform MPN g ⁻¹ kuru çamur	log giderim
Kurutma	4.2x10 ³	4.12
Pastörizasyon	0	7.74
Kireç stabilizasyonu	1.1x10 ²	5.04
Kireç+kül stabilizasyonu	5.8x10 ²	4.98

İnkübasyon süresince topraktaki azot formları ve üreaz aktivitesi

Farklı yöntemlerle stabilize edilmiş azotça zengin çamur uygulaması sonucu topraktaki azot formları ve üreaz aktivitesine ilişkin değerler belirgin bir değişim göstermiştir (Tablo 3). Uygulanan farklı çamur stabilizasyon yöntemlerinin toprakların toplam azot ve üreaz içeriğine olan etkisi önemsiz bulunurken, uygulama dozunun ve zamanın etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

İnkübe edilen topraklardaki amonyum azotu ve nitrat azotu konsantrasyonlarının ise uygulanan stabilizasyon yöntemlerine, çamur uygulama dozuna ve zamana bağlı olarak değişim gösterdiği tespit edilmiştir.

Çamur uygulanmış topraklarda belirlenen toplam azotun inkübasyon süresince gösterdiği değişim Şekil 1'de görülmektedir. Farklı yöntemlerle stabilize edilmiş çamur uygulanan topraklar arasında her iki dozda da istatistiksel açıdan önemli bir fark gözlenmemiştir.

Uygulanan stabilizasyon yöntemlerinin çamurların toplam azot içeriğini benzer şekilde etkilediği düşünülebilir. Çamur uygulaması yapılan toprak örneklerinde belirlenen toplam azot parametresinin zamana bağlı değişimi incelendiğinde her iki doz için de zamana bağlı hafif bir düşme eğilimi olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.05$). Deneme topraklarında belirlenen toplam azot konsantrasyonlarının inkübasyon süresine bağlı

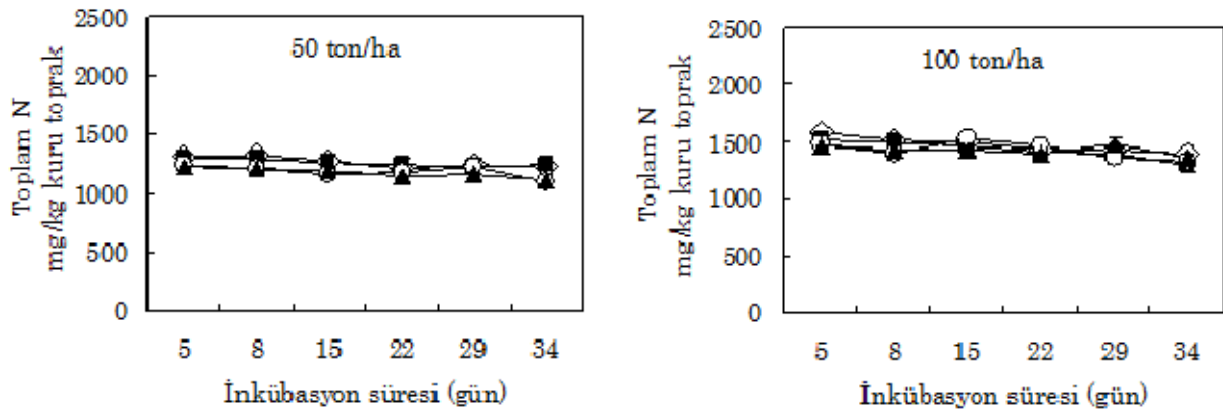
olarak azalması, mevcut inkübasyon şartları altında denitrifikasyon ve/veya amonifikasyona bağlı gaz halde azot kayıplarının meydana gelmiş olabileceğini göstermektedir.

Tablo 3. Topraklarda inkübasyon süresince ölçülen toplam azot, amonyum azotu, nitrat azotu ve üreaz aktivitesi değerlerine uygulanan iki yönlü tekrarlamalı varyans analizi sonuçları

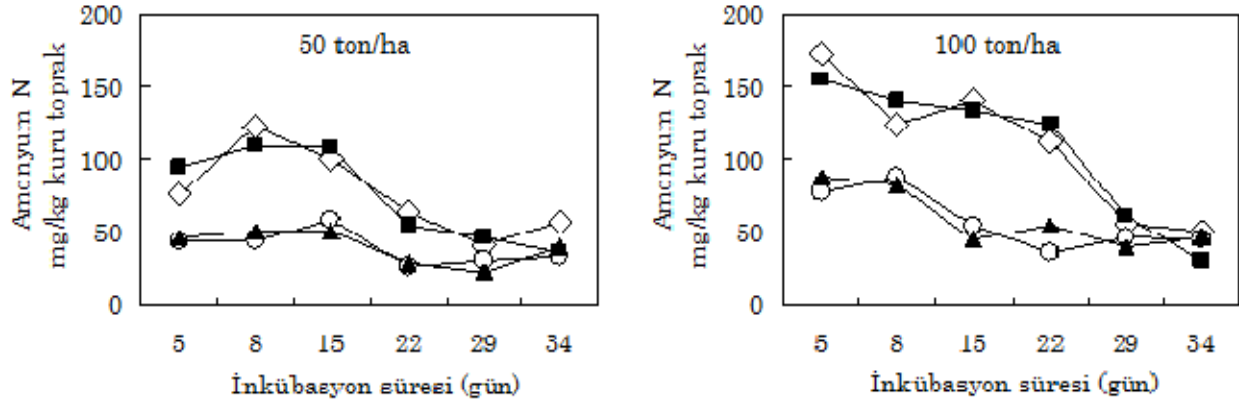
		s.d. ^a F değerleri			
		Toplam N	Amonyum N	Nitrat N	Üreaz
<i>Gruplar arası</i>					
Çamur stabilizasyonu (S)	3	1.002 ^{ö.d.}	155.4 ^{***}	61.09 ^{***}	2.125 ^{ö.d.}
Çamur dozu (D)	1	44.07 ^{***}	167.9 ^{***}	67.65 ^{***}	151.6 ^{***}
SxD	3	0.352 ^{ö.d.}	3.812 ^{ö.d.}	7.560 [*]	0.049 ^{ö.d.}
<i>Grup içi</i>					
Zaman (Z)	5	5.081 [*]	65.41 ^{***}	361.7 ^{***}	14.21 ^{***}
ZxS	15	0.296 ^{ö.d.}	7.103 ^{***}	13.89 ^{***}	4.396 ^{***}
ZxD	5	0.465 ^{ö.d.}	10.70 ^{***}	9.956 ^{***}	14.39 ^{***}
ZxSxD	15	0.455 ^{ö.d.}	2.752 ^{**}	2.089 [*]	2.660 [*]

^as.d.: serbestlik derecesi, ^{*}: $p < 0.05$, ^{**}: $p < 0.01$, ^{***}: $p < 0.001$, ö.d.: önemli değil

Çamur uygulanmış topraklarda belirlenen amonyum azotunun inkübasyon süresince gösterdiği değişim Şekil 2'de görülmektedir. Havada kurutma ve pastörizasyon yöntemleriyle işlem görmüş çamurların uygulandığı topraklarda belirlenen amonyum azotu değerleri kireçle ve kireç+kül karışımıyla stabilize edilen çamurların uygulandığı topraklarda belirlenen değerlerden daha yüksek bulunmuştur. Bu fark özellikle 100



Şekil 1. Farklı stabilizasyon yöntemlerine göre inkübasyon süresince meydana gelen toplam N değişimleri (◇: havada kurutma, ■: pastörizasyon, ○: kireç stb., ▲: kireç+kül stb.)



Şekil 2. Farklı stabilizasyon yöntemlerine göre inkübasyon süresince meydana gelen amonyum-N değişimi (◇: havada kurutma, ■: pastörizasyon, ○: kireç stb., ▲: kireç+kül stb.)

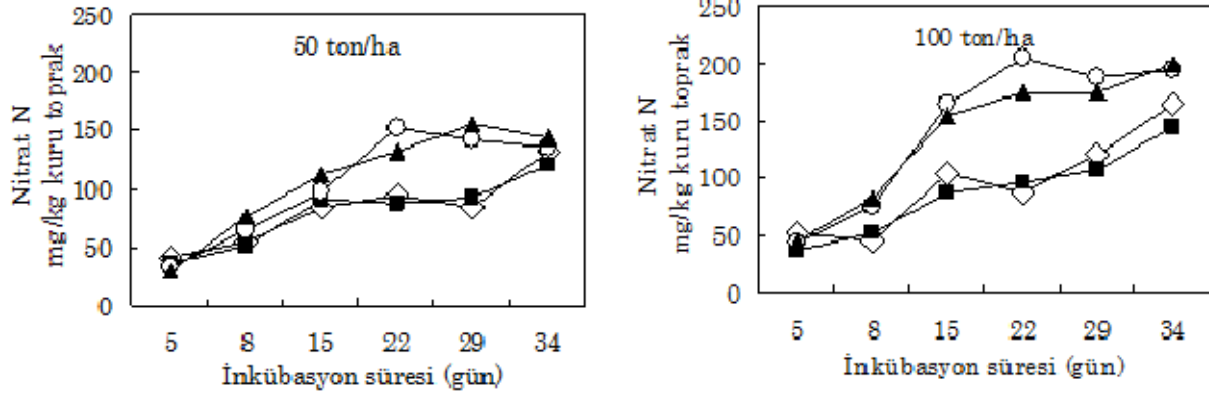
ton/ha'lık çamur uygulamasında daha belirgin- dir. Kül ve kireç ilavesinin sebep olduğu yüksek pH değerleri sonucu, çamurun stabilizasyonu sürecinde çamurlardan amonyak formunda kayıpların olduğu düşünülmektedir.

Alkali karakterli çamur ilavesiyle daha alkalile- şen toprak ortamında mineralizasyon sonucu açığa çıkan bir miktar amonyum iyonunun inkübasyon süresince amonyağa dönüşerek ort- amdan ayrılması da mümkün gözükmemektedir. Yapılan bir çalışmada, arıtma çamurlarının pH değerlerinin tipik olarak 6 ile 8 arasında bulun- duğu ve pH yükseldiğinde gaz halde amonyak kayıplarının olacağı belirtilmiştir (Weissinger ve Girovich, 1994). Benzer şekilde Chu ve Poon (1999), alkali maddelerle stabilizasyonun ardın- dan çamurdaki amonyum konsantrasyonunda belirgin bir düşüş olduğunu belirtmişlerdir.

Şekil 2'de görüldüğü gibi, farklı yöntemlerle stabilize edilen çamurların uygulandığı toprak- lardaki amonyum azotu konsantrasyonları inkübasyon süresince düşme eğilimi göstermiş- tir. Bu durum inkübasyon süresince ortaya çıkan amonyumun hızla nitrate dönüşmüş olacağını düşündürmektedir. Taşatar (1997) tarafından yürütülen kısa dönem inkübasyon çalışmasında inkübasyonun ilk birkaç haftasında hızlı bir amonifikasyon olduğu belirtilmiş, amonyum azotu konsantrasyonunun inkübasyon dönemi içinde kademeli bir azalma gösterdiği ve nitrat azotu konsantrasyonunun ise zamana bağlı ola-

rak arttığı tespit edilmiştir. Yürütülen diğer bir çalışmada da toprak sistemine yüksek oranda arıtma çamuru yüklemesi yapılmadığı takdirde nitrifikasyon prosesinin amonifikasyona göre daha hızlı yürüdüğü, topraktaki amonyum azotu hızla tükenirken, nitrat azotunda büyük bir artış meydana geldiği belirtilmiştir (Sabey vd., 1975).

Çamur uygulanmış topraklarda belirlenen nitrat azotunun inkübasyon süresince gösterdiği deği- şim Şekil 3'te görülmektedir. Farklı yöntemlerle stabilize edilen çamurların uygulandığı toprak- lardaki nitrat azotu konsantrasyonları inkübas- yon süresince artış göstermiştir. 50 ton/ha'lık uygulama dozunda inkübasyonun ilk yarısında yöntemler arasında önemli bir farklılık gözlen- mezken, inkübasyonun diğer yarısında alkali maddelerle stabilize edilen örneklerde nitrat konsantrasyonunun daha yüksek olduğu dikkat çekmektedir. 100 ton/ha'lık uygulama incelen- diğinde, çamur uygulama dozu artışının nitrat azotu konsantrasyonunu da arttırdığını göster- mektedir. Bunun yanı sıra, kireç ve kireç+kül stabilizasyonu uygulanan örneklerdeki nitrat azotu değerlerinin, havada kurutma ve pastöri- zasyon yöntemleri uygulanan örneklere göre belirgin ölçüde yüksek olduğu görülmektedir. Yürütülen inkübasyon çalışmasında çamur uy- gulanmış topraklarda düşük seviyelerde amon- yum azotu ve yüksek seviyelerde nitrat azotu belirlenmesi, mevcut çalışma şartlarında nitrifikasyon prosesini inhibe edici faktörlerin



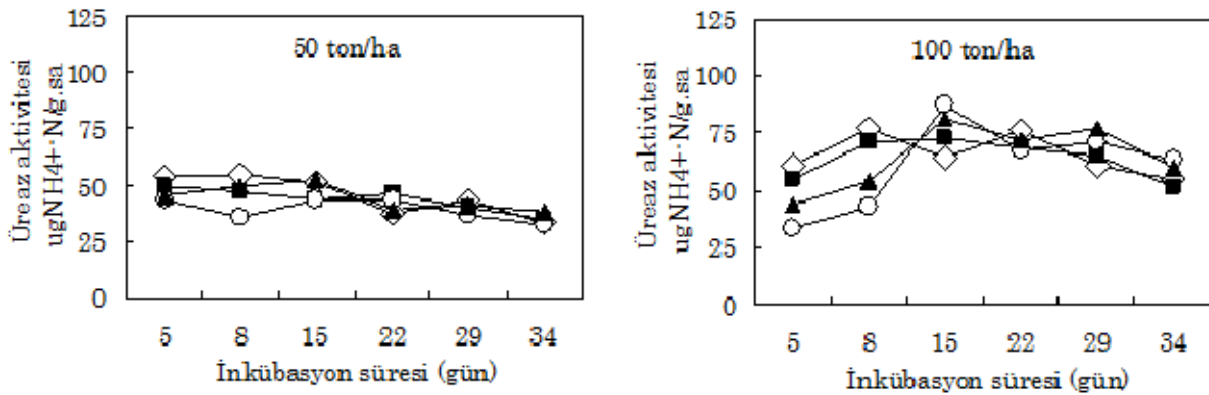
Şekil 3. Farklı stabilizasyon yöntemlerine göre inkübasyon süresince meydana gelen nitrat-N değişimi (◇: havada kurutma, ■: pastörizasyon, ○: kireç stb., ▲: kireç+kül stb.)

olmadığını göstermektedir. Literatürde de artma çamurundaki organik azotun hızlı mineralizasyonu sonucu yer altı sularındaki nitrat seviyelerinin arttığına dikkat çeken çalışmalar yapılmıştır. Smith ve diğeri (1998) özellikle sıvı formdaki çürütülmüş çamurların ve lagünlendirilmiş sıvı formdaki çürütülmemiş çamurların toprağa uygulanmasıyla toprakta büyük bir nitrat birikiminin meydana geldiğini vurgulamışlardır.

Yürütülen inkübasyon çalışmasında bu çamurlardaki toplam azotun %80 ila 90'nın 2.5 aylık bir sürede nitrat azotuna dönüştüğü tespit edilmiştir. Çamur uygulanmış topraklarda belirlenen üreaz aktivitesinin inkübasyon süresince gösterdiği değişim ise Şekil 4'te görülmektedir. Üreaz aktivitesi azot döngüsüyle ilgili mikrobiyal aktivitenin izlenmesinde indikatör olarak kullanılmaktadır (Tejada vd., 2006). Şe-

kil 4'te görüldüğü gibi 50 ton/ha'lık uygulama yapılan topraklarda farklı stabilizasyon yöntemleri arasında belirgin bir değişim gözlenmemiştir.

Toprak örneklerinde belirlenen üreaz aktivitesinin zamana bağlı değişimi incelendiğinde zamana bağlı hafif bir düşme eğilimi belirlenmiştir. Yapılan bir çalışmada üreazın çamur floğu içine bağlanmasının topraktaki serbest üreaz miktarını azalttığı ve buna bağlı olarak üreaz aktivitesini düşürdüğü belirtilmiştir (Paul ve Clark, 1989). Diğer yandan mineralizasyona bağlı olarak toprak pH'nın düşmesinin de üreaz aktivitesinde küçük bir azalmaya yol açabileceği düşünülmektedir. 100 ton/ha'lık çamur uygulama incelendiğinde, üreaz aktivitesi sübstrata bağımlı olduğu için inkübasyonun ilk yarısında topraktaki sübstrat konsantrasyonunun artışına bağlı olarak artmış ve maksimum seviyeye ulaştıktan



Şekil 4. Farklı stabilizasyon yöntemlerine göre inkübasyon süresince meydana gelen üreaz aktivitesi değişimi (◇: havada kurutma, ■: pastörizasyon, ○: kireç stb., ▲: kireç+kül stb.)

sonra azalma eğilimi göstermiştir. Bu azalmada çamur orijinli toksik metabolitlerin birikiminin de etkisinin olabileceği düşünülmektedir. Çalışma kapsamında kullanılan arıtma çamurlarındaki yüksek seviyelerdeki substratın enzim sentezini aktive ettiği düşünülmektedir. Uygulama dozları kıyaslandığında, 100 ton/ha çamur uygulamasında üreaz aktivite değerlerinin daha yüksek olduğu göze çarpmaktadır.

Pascual ve diğerleri (1998) tarafından yürütülen çalışmada çeşitli organik atıkların topraktaki enzim aktiviteleri üzerindeki etkileri incelenmiş ve toprağa eklenen organik materyallerin üreaz aktivitesini kontrole kıyasla önemli ölçüde artırdığı belirlenmiştir. Organik uygulamalar içerisinde özellikle arıtma çamuru uygulaması kapsamında belirlenen üreaz aktivitesi değerleri daha yüksek bulunmuştur. Sastre ve diğerleri (1996)'da toprağa yapılan uzun dönem arıtma çamuru uygulamasının üreaz aktivitesini önemli ölçüde arttırdığını bildirmişler ve enzim aktivitesindeki gelişimin çamur içeriğindeki organik madde ve besin maddeleriyle ilişkili olduğunu tespit etmişlerdir.

Üreaz aktivitesine ilişkin sonuçlar, inkübe edilen topraklardaki üreaz aktivitesi seviyelerinin çamura uygulanan stabilizasyon yöntemlerine bağlı olarak önemli bir değişim göstermediği yönündedir. Farklı yöntemlerle stabilize edilmiş çamurlarda bulunan yüksek seviyedeki substrat topraktaki üreaz sentezini benzer şekilde etkilemiştir.

Sonuçlar

Çalışma kapsamında uygulanan havada kurutma, pastörizasyon, kireç stabilizasyonu ve kireç+kül stabilizasyonu yöntemleri, çamurun fekal koliform içeriğini önemli ölçüde (4.12 ila 7.74 log) azaltmıştır.

Uygulanan stabilizasyon yöntemleri USEPA kriterleri çerçevesinde değerlendirildiğinde, kurutma, kireç stabilizasyonu ve kireç+kül stabilizasyonu yöntemlerinin B sınıfı, pastörizasyon yönteminin ise USEPA A sınıfı çamur kriterlerini sağlayabilen yöntemler olarak kabul edildiği görülmektedir. Farklı çamur stabilizasyon yön-

temlerinin toprakların toplam azot içeriğine olan etkisi önemsiz bulunurken, amonyum ve nitrat azotu içeriğine etkisinin önemli olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar çamur uygulanmış topraklarda belirlenen üreaz aktivitesi değerlerinin çamura uygulanan stabilizasyon yöntemlerine bağlı olarak değişmediğini göstermiştir. Farklı yöntemlerle stabilize edilen çamurlardaki yüksek seviyedeki substrat topraktaki üreaz aktivitesini benzer şekilde etkilemiştir.

Yürütülen inkübasyon çalışmasında çamur uygulanmış topraklarda düşük seviyelerde amonyum azotu ve yüksek seviyelerde nitrat azotu belirlenmesi, mevcut çalışma koşullarında nitrifikasyon prosesinin inhibe olmadığını göstermektedir. Alkali maddelerle stabilize edilen çamurlarda nitrifikasyon prosesinin amonifikasyona göre daha baskın olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, elde edilen istatistiksel sonuçlar, çamur uygulama dozu ve inkübasyon süresinin topraklarda belirlenen azot konsantrasyonları ve üreaz aktivite değerleri üzerinde etkili olduğunu göstermiştir.

Kaynaklar

- APHA, AWWA, WEF, (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th edition, Baltimore, USA.
- Banerjee, M.R., Burton, D.L. ve Depoe, S., (1997). Impact of sewage sludge application on soil biological characteristics, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **66**, 3, 241-249.
- Bremner, J.M. ve Mulvaney, C.S., (1982). *Nitrogen-total*, in Page, A.L., eds, *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, SSSA Book Series No. 9, Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, 595-622, Madison, WI.
- Chu, C.W. ve Poon, C.S., (1999). The feasibility of planting on stabilized sludge-amended soil, *Environmental International*, **25**, 4, 465-477.
- Keeney, D.R. ve Nelson, D.W., (1982). *Nitrogen-inorganic forms*, in Page, A.L., eds, *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, SSSA Book Series No. 9, Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, 643-693, Madison, WI.
- Kocaer, F.O., (2005). Uçucu kül katkılı alkali stabilize arıtma çamurlarının toprak özelliklerine etkileri, *Doktora Tezi*, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

- Korentajer, L., (1991). A review of the agricultural use of sewage sludge, its benefits and potential hazards, *Soil and Irrigation Research Institution South Africa*, **17**, 136-196.
- Mc Lean, E.O., (1982). *Soil pH and lime requirement*, in Page, A.L., eds, *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, SSSA Book Series No. 9, Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, 199-223, Madison, WI.
- Nelson, D.W. ve Sommers, L.E., (1982) *Total carbon, organic carbon and organic matter*, in Page, A.L., eds, *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, SSSA Book Series No 9, Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, 539-577, Madison, Wisconsin.
- Olsen, S.R. ve Sommers, L.E., (1982). Phosphorus, *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, Agronomy Monograph No:9, 2nd edition, ASA-SSSA. Madison, 403-427, Wisconsin. USA.
- Paul, E.A. ve Clark, F.E., (1989). *Soil Microbiology and Biochemistry*, 271, Academic Press, New York.
- Pascual, J.A., Hernandez, T., Garcia, C. ve Ayuso, M., (1998). Enzymatic activities in an arid soil amended with urban organic wastes: Laboratory experiment, *Bioresource Technology*, **64**, 131-138.
- Rhoades, J.D., (1982). *Soluble salts*, in Page, A.L., eds, *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, SSSA Book Series No. 9, Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, 285-290, Madison, WI.
- Sabey, B.R., Agbim, N.N. ve Markstrom, D.C., (1975). Land application of sewage sludge: iii. nitrate accumulation and wheat growth resulting from addition of sewage sludge and wood wastes to soils, *Journal of Environmental Quality*, **4**, 388-393.
- Samaras, P., Papadimitriou, C.A., Haritou, I., ve Zouboulis, A.I., (2008). Investigation of sewage sludge stabilization potential by the addition of fly ash and lime, *Journal of Hazardous Material*, **154**, 1052-1059.
- Sastre, I.M., Vicente, M.A. ve Lobo, M.C., (1996). Influence of the application of sewage sludges on soil microbial activity, *Bioresource Technology*, **57**, 19-23.
- Smith, S.R, Woods, V. ve Evans, T.D., (1998). Nitrate dynamics in biosolids-treated soils. I. Influence of biosolids type and soil type, *Bioresource Technology*, **66**, 139-149.
- Taşatar, B., (1997) Endüstriyel nitelikli arıtma çamurlarının bazı toprak özellikleri üzerine etkileri, *Doktora Tezi*, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Tejada, M., Hernandez, M.T. ve Garcia, C., (2006). Application of two organic amendments on soil restoration: Effects on the soil biological properties, *Journal of Environmental Quality*, **35**, 1010-1017.
- Topaç, F.O., Başkaya, H.S. ve Alkan, U., (2008). The effects of fly ash incorporation on some available nutrient contents of wastewater sludges, *Bioresource Technology*, **99**, 1057-1065.
- TKKY, 31-05-2005 tarihli ve 25831 sayılı Resmi gazete, *Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği*.
- Towers, W. ve Horne, P., (1997). Sewage sludge recycling to agricultural land: Environmental scientist's perspective, *Journal of the Institution of Water and Environment Management*, **11**, 126-132.
- U.S. E.P.A., (1999). *40 CFR Part 503- Standarts for the use or disposal of sewage sludge as amended 08-04-99*.
- Weissinger, T.H. ve Girovich, M.J., (1994). Evaluation of a chemical stabilization process, *Remediation*, **5**, 1, 77-91.
- Wong, J.W.C., Lai, K.M., Fang, M. ve Ma, K.K., (1998). Effect of sewage sludge amendment on soil microbial activity and nutrient mineralization, *Environment International*, **24**, 8, 935-943.