

Arıtma Çamuru Uygulanan Topraklarda Sulamadan Kaynaklanan Kirliliğin Azot Mineralizasyonuna Etkisi

Efsun DİNDAR, Fatma Olcay TOPAÇ, Hüseyin S. BAŞKAYA
Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği
Bölümü, 16059 Görükle-BURSA

Özet

Bu araştırmada, Bursa-Özlüce bölgesinden alınan toprak örneklerine üç farklı orijinli arıtma çamuru 100t/ha oranında uygulanmış ve 12 aylık bir inkübasyon çalışması yürütülmüştür. Çalışmada kullanılan fiziksel özellikleri benzer toprak örnekleri kirliliği Ayvalı deresi suları ile sulanmış ve herhangi bir sulama yapılmamış iki farklı tarım arazisinden alınmıştır. Topraklara yapılan çamur uygulamaları, topraktaki toplam ve anorganik azot formları ile organik azot mineralizasyonu açısından kıyaslanmış ve sulamaya bağlı olası değişiklikler irdelenmiştir. Sonuçlar, arıtma çamuru uygulamasının her iki toprağın azot içeriklerini önemli ölçüde arttırdığı yönündedir. Topraklarda belirlenen mineralizasyon değerleri 3'er aylık inkübasyon dönemleri bazında incelendiğinde, çamur orijinine bağlı büyük farklılıklar gözlenmiştir ($p < 0,05$). 12 aylık inkübasyon dönemi sonunda ise tüm uygulamalarda organik azotun %48-66'sı mineralize olmuştur. Çalışma sonuçları, Ayvalı deresinden sulanan ve sulanmayan topraklar açısından değerlendirildiğinde, sulanmayan toprakta belirlenen nitrat azotu konsantrasyonlarının inkübasyon periyodu süresince daha yüksek olduğu tespit edilmiştir ($p < 0,001$). 12 aylık inkübasyon dönemi sonunda hesaplanan organik azot mineralizasyon yüzdeleri kirliliği dere suyuyla sulanan toprakta (ortalama %54) ve sulanmayan toprakta (ortalama %64) $p < 0,05$ düzeyinde farklı bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Arıtma çamuru, azot formları, mineralizasyon, toprak kirliliği.

The Effects of Soil Pollution Originated from Irrigation on Nitrogen Mineralization in Sludge Amended Soils

Abstract

In this research, three wastewater sludges which were different in origin were amended to soil samples taken from Bursa-Özlüce region at rates equivalent to 100t/ha and an incubation study was performed during a period of 12 months. Soil samples which have similar physical properties were taken from two agricultural lands: nonirrigated and irrigated from polluted Nilüfer-Ayvalı stream. Total and anorganic nitrogen forms and nitrogen mineralization ratios in sludge amended soils were compared and probable differences which might occur due to irrigation were studied.

The results of the study indicated that wastewater sludge amendments apparently increased the total nitrogen contents of both soil samples. The nitrogen mineralization occurred during the first three months were significantly differentiated with respect to the origin of wastewater sludge ($p < 0.05$). At the end of the total incubation period, 48-66% of the sludge organic nitrogen was mineralized in all amended pots.

When the results of the study were evaluated with respect to irrigated and nonirrigated soil samples, it was determined that the nitrate nitrogen concentrations in nonirrigated soils were significantly higher than those in irrigated soils for all sludge amendments ($p < 0.001$). The calculated percentages of organic nitrogen mineralization at the end of 12 months in irrigated and polluted soils (average 54%) were significantly ($p < 0.05$) different from calculated values in nonirrigated soils (average 64%) for all sludge amendments.

Keywords: Mineralization, nitrogen forms, soil pollution, wastewater sludge.

GİRİŞ

Günümüzde, atık suların arıtımı sonucu büyük miktarlarda oluşan arıtma çamurlarının işlenmesi ve çevreye en az zarar verecek şekilde uzaklaştırılması atık su arıtımı kadar önem taşımaktadır. Genel olarak arıtma çamurlarının bitki büyümesi için gerekli olan azot, fosfor ve iz elementleri içerdiği

bilinmektedir. Yapılan çalışmalar, kentsel, evsel ve gıda endüstrisi kökenli arıtma çamurlarının, ürünün ihtiyaç duyduğu azot, fosfor ve mikro besin elementlerini sağlayabildiği, uygun şekilde ele alındığı takdirde tarımsal arazilerde kullanılabileceği doğrultusundadır (Garcia ve ark. 1992, Ayuso ve ark. 1996).

Arıtma çamurlarında bulunan bitki besin elementleri, ticari gübrelerdekinin aksine bitkiler tarafından hemen kullanılabilir formda değildir. Çamur içeriğindeki bitki besin elementlerinin büyük bölümü organik formdadır ve organik maddenin mikroorganizma tarafından parçalanmasıyla bitki tarafından alınabilir formlara dönüşmektedir. Organik maddenin ne oranda ve hangi hızla mineralize olduğu şüphesiz arıtma çamurunun orijinine bağlı olarak büyük değişim göstermektedir. Çamur karakteristiklerinin potansiyel azot mineralizasyonu üzerindeki etkilerini ortaya koyan çok sayıda çalışma yapılmıştır (Sims 1990, Serna ve Pomares 1992, Hernandez ve ark. 2002).

Diğer yandan, arıtma çamuru uygulamasının yapıldığı arazideki toprak özelliklerinin, daha önce araziye yapılan gübreleme ve sulama uygulamalarının da çamurdaki organik maddenin mineralizasyonunu etkilemesi muhtemeldir. Özellikle atık sularla ve atık su deşarjlarıyla kirlenen nehir ve göllerden yapılan sulamalar sonucu toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinde meydana gelen değişimleri tespit eden çok sayıda araştırma yapılmıştır (Okur ve ark. 2001, Ramirez Fuentes ve ark. 2002).

Yapılan tüm bu çalışmalar, toprak kalitesinin sulama suyu kalitesine bağlı olarak kısa ya da uzun vadede büyük değişimler gösterebileceğini ve nihayetinde tarımsal üretimin azalabileceğini göstermektedir. Tarımsal üretimin hala çok önemli olduğu ülkemizde, maalesef topraklarımız kontrolsüz sulamalar ve atık bertarafına uzun seneler maruz kalmış ve toprak kalitesinde meydana gelen olumsuz değişimler göz ardı edilmiştir. Bu nedenle ülkemiz toprak kalitesinin belirlenmesine yönelik çalışmalar alınması gereken önlemlerin tespiti açısından şüphesiz çok değerli olacaktır.

Bu çalışmada Bursa-Özlüce bölgesindeki iki farklı araziden alınan toprak örneklerine üç farklı orijinli arıtma çamuru uygulanarak 12 aylık bir inkübasyon çalışması yürütülmüştür. Kirli Ayvalı deresi sularıyla sulanmış ve herhangi bir sulama yapılmamış benzer fiziksel özelliklere sahip topraklara yapılan çamur uygulamaları, topraktaki bazı azot formlarının gösterdiği değişim açısından kıyaslanmıştır.

MATERYAL VE METOT

Materyal

Çalışmada, topraklara verildiğinde ciddi toprak kirliliği sorunları yaratmayacağı düşünülen,

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, üç farklı orijinli atıksu arıtma çamuru kullanılmıştır (aerobik gıda sektörü çamuru-G1, anaerobik gıda sektörü çamuru-G2, evsel arıtma çamuru-E). Evsel arıtma çamuru, Bursa-Mudanya'daki enerji ve haberleşme kabloları üreten fabrikanın evsel nitelikli atık sularının arıtıldığı paket atık su arıtma tesisinden çıkarak kurutma yataklarına giden çamurdan alınmıştır.

Çalışmada kullanılan anaerobik arıtma çamuru örneği Manyas-Bandırma arasında bulunan maya fabrikasının arıtma tesisinin anaerobik reaktöründen temin edilmiştir.

Araştırmada kullanılan aerobik arıtma çamuru örneği, Bursa-İzmir karayolu üzerinde bulunan gıda sanayisinden temin edilmiştir. Fabrikada başlıca 40 çeşit üründe işlenmiş sebze ve meyve üretimi yapılmaktadır.

Laboratuvara getirilen arıtma çamuru örnekleri kurutulmuş, ezilmiş ve 4 mm'lik eleklerden elenerek inkübasyon çalışmasında kullanılmaya hazır hale getirilmiştir.

Arıtma çamurlarının uygulandığı toprak örnekleri Bursa-Nilüfer İlçesi Özlüce bölgesinden alınmıştır. Örneklerin alındığı bölgeler alüvyial topraklar olarak sınıflandırılmaktadır (Anonymous 1995). Toprak örneklerinden biri bölgedeki sulama yapılmayan bir tarım arazisinden alınırken diğeri Nilüfer Çayının kollarından biri olan kirli Ayvalı deresi sularıyla uzun yıllardır sulanan bir tarım arazisinden alınmıştır. Nilüfer çayı Bursa'nın önemli su kaynaklarından biridir. Şehrin içme ve kullanma suyu temininin yanı sıra Nilüfer çayı'nın geçtiği ovalarda sulamalar da kısmen Nilüfer ve kollarından yapılmaktadır. Nilüfer Çayı gerek evsel gerekse endüstriyel atık suların büyük çoğunluğunun doğrudan deşarjına maruz kalmaktadır. 1997 yılına kadar havzada bulunan yerleşim-lerin büyük kısmının evsel atık suları Nilüfer Çayı'na deşarj edilmiştir. Halen kentin batı bölgesinde Ürünlü, Tahtalı, Çalı, Demirci, Kayapa, Yaylacık ve Alaadinbey yerleşim yerlerinin atık suları DSİ Sulama kanalları ve Ayvalı Deresi vasıtasıyla Nilüfer çayına ulaşmaktadır. Ayrıca Nilüfer Çayı Havzası'nda yer alan çeşitli sanayi tesisleri de atık suları ile havzayı kirliletmektedirler (Kaynak 2002).

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.

İnkübasyon Denemesi

Hava kurusu durumuna gelen arıtma çamurları 100 ton ham çamur/ha (40 g/kg) oranını sağlayacak şekilde 2 tekrarlamalı tesadüfi blok tasarımı düzeninde 500 g kuru toprak içeren inkübasyon kaplarına uygulanmıştır. Herhangi bir uygulamanın yapılmadığı toprak örnekleri kontrol olarak hazırlanmıştır. Karışımlar tarla kapasitelerinin %70'i oranında nemlendirilmiş ve 28°C'ye ayarlanmış inkübatörde inkübasyona alınmıştır. Topraklardaki nem miktarının sabit kalmasına özen gösterilmiştir. 3, 6, 9 ve 12 aylık inkübasyon süreleri sonrasında kaplardan toprak örnekleri alınmış, toplam azot, amonyum azotu ve nitrat azotu konsantrasyonları belirlenmiştir.

Kimyasal Analizler

Arıtma çamuru ve toprak örneklerinin elektriksel iletkenlik ve pH değerleri 1:5 saf su ekstraktında belirlenmiştir. (Mc Lean 1982, Rhoades 1982). 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 yarıyışlı fosforu ekstrakte etmek için

Tablo 1. Çalışmada kullanılan arıtma çamuru ve toprak örneklerinin bazı kimyasal özellikleri.

PARAMETRE	Arıtma çamuru örnekleri *			Toprak örnekleri **	
	G1	G2	E	T1	T2
pH (1:5 saf su ekstraktunda)	6,58	8,72	7,12	7,08	7,12
Tekstür	-	-	-	killi	killi
Kum (%)	-	-	-	28	30
Silt (%)	-	-	-	30	29
Kil (%)	-	-	-	42	41
EC, mS/cm (1:5 saf su ekstraktunda)	6,39	9,77	3,83	0,53	0,21
Organik Karbon, %	-	-	-	1,65	1,17
Yanma kaybı, %	70,12	24,91	69,20	-	-
Toplam N, %	5,10	2,24	4,70	0,14	0,12
Amonyum N, mg/kg kuru madde	954,4	49,00	390,9	10,38	8,49
Nitrat N, mg/kg kuru madde	44,79	56,00	78,63	31,00	3,64
Toplam P, mg/kg kuru madde	4993	9585	9027	3378	1302
Yarıyışlı fosfor, mg/kg kuru madde	186,7	511,79	221,74	25,69	21,05
Kolay serbest hale geçebilen ağır metaller (mg/kg kuru çamur):					
Zn	12,55	28,12	19,15	1,55	<1,00
Cu	4,10	3,25	3,05	2,25	<2,00
Ni	<5	<5	<5	<1,00	<1,00
Cr	4,12	3,74	2,50	<1,00	<1,00
Cd	<2	<2	<2	<1,00	<1,00
Pb	<2	2,88	<2	<1,00	<1,00

G1: aerobik gıda, G2: anaerobik gıda, E: evsel

T1: Kirli Ayvalı deresinden sulanmış, T2: sulama yapılmamış

0,5N'lik NaHCO₃ çözeltisi kullanılmıştır. Toplam fosfor tayini için ise sülfürik asit-nitrik asit karışımıyla yaş yakma yapılmıştır. Ekstraktlardaki fosfor konsantrasyonları askorbik asit metoduna göre belirlenmiştir (Anonymous 1998). Toprak örneklerindeki 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). Çamur örneklerindeki yanma kaybı 550°C'de yakılan örneklerdeki ağırlık kaybı dikkate alınarak hesaplanmıştır (Kacar 1994).

İstatistiksel Değerlendirme

Çamur uygulamalarının ve inkübasyon süresinin topraklardaki toplam azot, amonyum azotu ve nitrat azotu konsantrasyonları üzerine etkilerini belirlemek üzere TARİST paket programı kullanılarak varyans analizi yapılmıştır. Kirli dere suyuyla sulanan ve sulanmayan topraklarda belirlenen parametreler ise "t" testi ile kıyaslanmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Azot Formları

Yürütülen 12 aylık inkübasyon çalışması boyunca toplam ve anorganik azot formlarında meydana gelen değişimler Tablo 2'de görülmektedir. Yapılan çamur uygulamaları, her iki toprak örneğinde de toplam azot içeriğini önemli ölçüde arttırmıştır (p<0,05). 3, 6, 9 ve 12 aylık inkübasyon dönemlerinde belirlenen toplam azot konsantrasyonları, genel olarak, gerek sulama yapılan, gerekse sulama yapılmayan toprakta zamana bağlı belirgin bir değişimin olmadığını göstermektedir. Bu durum mevcut inkübasyon şartlarında meydana gelen azot kayıplarının minimum seviyede olduğunu ifade etmektedir. Sıvı formdaki arıtma çamuru uygulamaları sonucu, buharlaşmaya bağlı olarak önemli miktarda azot kaybının meydana gelebileceği pek çok çalışmada vurgulanmıştır. Fine ve ark. (1989) suyu alınmamış aktif çamur uygulaması sonucu mineralize olan azotun %87'sinin amonyak olarak ortamdan uzaklaştığını tespit etmişlerdir. Sıvı formdaki ham arıtma çamuru uygulaması sonucu belirgin bir amonyak kaybindan söz edilirken, suyu alınmış çamurların ve çamur kompostlarının toprağa uygulanmasıyla meydana gelebilecek azot kayıplarının ihmal edilebilir düzeyde olduğunu gösteren çok sayıda çalışma yapılmıştır. (Smith ve ark. 1998, Adegbedi ve ark. 2003). Çamurun toprağa karıştırılarak uygulanmasının da, amonyak kayıpları-

nın az oluşunda etkili bir diğer faktör olabileceği düşünülmektedir. Yürütülen bir çalışmada toprak yüzeyine yapılan gübre uygulamasıyla verilen toplam anorganik azotun %34 ila %100'ünün amonyak olarak buharlaştığı tespit edilirken, gübrenin yüzey toprağıyla karıştırılarak uygulanması sonucu bu oran %3 düzeylerine kadar düşebilmiştir (Huijsmans ve ark. 2003).

Tablo 2'deki amonyum azotuna ilişkin sonuçlar irdelendiğinde, gerek sulama yapılan, gerekse sulama yapılmayan toprağı yapılan uygulamalarda belirlenen amonyum azotu konsantrasyonlarının tüm inkübasyon dönemlerinde istatistiki olarak kontrol değerlerinden farklı olduğu görülmektedir. Her iki toprakta da amonyum azotu değerleri küçük salınımlar göstermiş ve konsantrasyonlar sulama yapılan toprakta 93 mg/kg kuru toprak değerinin, sulama yapılmayan toprakta da 71 mg/kg kuru toprak değerinin altında kalmıştır.

Öte yandan toprağı uygulanan arıtma çamurları her iki topraktaki nitrat azotu konsantrasyonlarını kontrole göre önemli ölçüde arttırmıştır ($p < 0,05$). Kirli dere suyundan sulanan topraklarda belirlenen nitrat azotu konsantrasyonları sulama yapılmamış topraklarda belirlenen nitrat azotu konsantrasyonlarından belirgin olarak düşük bulunmuştur ($p < 0,001$). Kirli dere suyu ile sulanmış toprağı

Tablo 2. Çamur uygulanmış topraklardaki azot formlarının zamana ve uygulamalara bağlı değişimleri ile istatistik sonuçları.

Toplam N, mg/kg kuru toprak					
Uygulamalar	0. ay	3. ay	6. ay	9. ay	12. ay
Kontrol	1537 dA*	1497 dAB	1495 dAB	1454 dAB	1454 dAB
G1	3368 aA	3133 aB	3131 aB	3131 aB	3118 aB
G2	2317 cA	2327 cA	2319 cA	2320 cA	2333 cA
E	3258 bA	3093 bB	3096 bB	3099 bB	3090 bB
LSD: 47,996 p: 0,05					
Kontrol	1218 dAB	1204 dAB	1235 cA	1178 cB	1225 cAB
G1	3084 aA	2888 aB	2788 aC	2815 aC	2820 aC
G2	2022 cA	2018 cA	2029 bA	2019 bA	2018 bA
E	2937 bA	2826 bB	2825 aB	2810 bB	2790 bB
LSD: 56,845 p: 0,05					
Amonyum N, mg/kg kuru toprak					
Uygulamalar	0. ay	3. ay	6. ay	9. ay	12. ay
Kontrol	10,38 cE	65,89 bA	46,29 aB	29,56 aD	36,66 cC
G1	43,15 aB	92,94 aA	48,12 aB	28,82 aC	46,17 bB
G2	10,49 cE	53,59 cA	44,88 aB	28,57 aD	35,65 cC
E	18,77 bD	64,29 bA	39,22 bB	26,69 aC	64,17 aA
LSD: 5,099 p: 0,05					
Kontrol	8,490 cD	26,56 bC	55,39 bA	32,40 aB	32,24 cB
G1	43,93 aB	27,27 bC	61,66 aA	30,69 aB	58,29 aA
G2	8,780 cD	71,35 aA	38,75 dB	26,65 bC	25,61 dC
E	15,87 bC	26,55 bB	49,31 cA	26,28 cB	49,45 bA
LSD: 4,215 p: 0,05					
Nitrat N, mg/kg kuru toprak					
Uygulamalar	0. ay	3. ay	6. ay	9. ay	12. ay
Kontrol	33,09 aC	35,83 aC	156,3 dB	200,2 dA	205,9 cA
G1	33,67 aE	461,1 aD	691,2 aC	933,5 bB	1026 aA
G2	35,30 aD	146,6 cC	510,9 cB	704,9 cA	713,2 bA
E	34,58 aE	286,5 bD	644,7 bC	979,1 aB	1048 aA
LSD: 34,799 p: 0,05					
Kontrol	4,170 aD	29,06 dC	169,5 dB	251,4 dA	254,6 dA
G1	6,180 aE	459,2 aD	726,2 bC	987,6 bB	1190 bA
G2	6,110 aE	226,5 cD	557,7 cC	706,7 cB	737,2 cA
E	6,080 aE	414,7 bD	775,7 aC	1019,5 aB	1206 aA
LSD: 4,702 p: 0,05					

Küçük harf düşey olarak her bir çamur için uygulamalar arası karşılaştırmayı, büyük harf yatay olarak zamana bağlı karşılaştırmayı ifade etmektedir.

yapılan uygulamalarda en yüksek nitrat azotu konsantrasyonu 1048 mg/kg kuru toprak olarak bulunurken, sulanmamış toprağı yapılan uygulamalarda bu değer 1206 mg/kg kuru toprak'tır. Gerek çamur uygulaması yapılmış topraklarda gerekse kontrol topraklarında inkübasyon süresine bağlı bir artış eğilimi gözlenmiştir (Tablo 2).

Yürütülen inkübasyon çalışmasında çamur uygulanmış topraklarda düşük seviyelerde amonyum azotu ve yüksek seviyelerde nitrat azotu belirlenmesi, mevcut çalışma şartlarında nitrifikasyon prosesini inhibe edici faktörlerin olmadığını göstermektedir. Taşatar (1997) tarafından yürütülen kısa dönem inkübasyon çalışmasında da 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 olarak arttığı tespit edilmiştir. Yürütülen diğer bir benzer çalışmada da inkübasyonun 14. gününden sonra nitrifikasyon prosesinin amonifikasyona göre daha hızlı yürüdüğü, topraktaki amonyum azotu hızla tükenirken, nitrat azotunda büyük bir artış meydana geldiği belirtilmiştir (Wong ve ark. 1998).

Arıtma çamuru uygulaması sonucu topraktaki nitrat azotu konsantrasyonlarının önemli ölçüde artmış olması yeraltı suları için olası nitrat kirliliğini riskini de beraberinde getirmektedir. Ancak yürütülen inkübasyon çalışması şartlarında amonifikasyon ve nitrifikasyon sonucu nitrat azotu konsantrasyonunda meydana gelen artışın doğal şartlarda bu boyutta olması beklenmemektedir. Zira 28°C'de sabit tutulan sıcaklık, toprağın nem durumu, havalandırılabilirlik iklim odasının sağladığı şartlar, çevresel şartlara karşı oldukça hassas olan nitroso-monas ve nitrobakterler için en elverişli ortamı sağlamaktadır. 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. Geriye kalan nitrat azotu ancak toprak yapısı müsaade ettiği ölçüde yeraltı suyu kirliliği açısından bir baskı oluşturacaktır.

Organik Azot Mineralizasyonu

Kirli Ayvalı deresinden yapılan sulamanın azot mineralizasyonu üzerindeki muhtemel inhibisyon etkisini belirlemek üzere, uygulanan çamurdaki organik azotun mineralizasyon yüzdeleri her iki

toprak için hesaplanmış ve kıyaslanmıştır. İnkübe edilen topraklarda meydana gelen olası azot kayıpları ihmal edilmiş ve mineralizasyon yüzdeleri, çamur uygulanmış topraklardaki organik azot konsantrasyonlarındaki azalma baz alınarak hesaplanmıştır. Topraklardaki organik azot miktarının hesabında, fikse $-NH_4^+$ analizleri yapılmadığından, toplam azottan inorganik ekstrakte edilebilir azot (serbest+değişebilir amonyum ve nitrat azotu) formlarının çıkarılması esas alınmıştır. Bundan dolayı toplam organik azot içerisinde yer alan veya fikse formdan serbest hale gelebilen amonyum miktarı ihmal edilmiştir.

$$\% N \text{ mineralizasyon} = 100 \times \frac{[(N_{\text{organik}})_{t=t} - (N_{\text{organik}})_{t=0}]_{\text{Çamur eklenmiş}} - [(N_{\text{organik}})_{t=t} - (N_{\text{organik}})_{t=0}]_{\text{Çamur eklenmemiş}}}{[(N_{\text{organik}})_{t=0}]_{\text{Çamur eklenmiş}} - [(N_{\text{organik}})_{t=0}]_{\text{Çamur eklenmemiş}}}$$

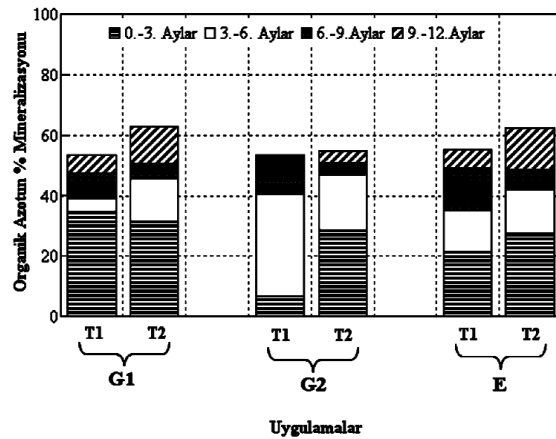
Yukarıda verilen % azot mineralizasyonu formülüne göre, t anındaki mineralizasyonu hesaplamak için, çamur eklenmiş topraklarda t anındaki organik azottan başlangıçtaki organik azot çıkartılmakta ve organik azottaki azalmanın mineralize olan kısmı ifade ettiği kabul edilmektedir. Bu değerden toprağın kendi bünyesindeki organik azottan kaynaklanan mineralize azot çıkartılarak sadece çamur kaynaklı organik azotun bulunması esas alınmıştır. Yapılan çamur uygulamalarının, toprakta hâlihazırda bulunan organik azotun mineralizasyonunu etkilemediği varsayılmıştır. Bu yaklaşım genellikle organik atıkların azot mineralizasyonu ile ilgili çalışmalarda kabul edilmektedir. (Chae ve Tabatabai 1986, Hernandez ve ark. 2002).

Azot mineralizasyon oranının bilinmesi, arıtma çamuru uygulama oranının yani alınabilir hale geçen azot miktarlarının tahmininde önemli rol oynamaktadır. Mineralize olmuş azot miktarı birkaç çevresel faktöre ve uygulanacak arıtma çamuru tipine göre değişiklik göstermektedir. Mineralizasyon oranı nem, sıcaklık, C/N oranı, pH ve arıtma çamuru özelliklerine bağlıdır. Arıtma çamurunun aerobik ve anaerobik olması ile başlangıçtaki N içeriği, organik azot mineralizasyonunu etkileyebilmektedir. Yapılan bir araştırmaya göre, anaerobik çamur 15 haftalık inkübasyon sonunda %40-42, 32 haftalık inkübasyonda %56,4-71,6 oranında mineralize olurken, aerobik çamur 17 haftalık inkübasyondan sonunda %54-55 mineralize olmaktadır (Epstein 2003).

Arıtma çamuru uygulanmış topraklarda meydana gelen organik azot mineralizasyonunun zamana bağlı değişimi Şekil 1'de görülmektedir. Şekil 1, 3'er aylık inkübasyon dönemleri bazında incelendiğinde, mineralizasyon yüzdelerinde çamur orijinine bağlı büyük farklılıklar gözlenmiştir. Mineralizasyon kinetiklerinin arıtma çamurunun tipine, içeriğine ve uygulanan stabilizasyon prosesine bağlı olarak büyük değişim gösterebileceği pek çok çalışmada vurgulanmıştır (Hattori ve Mukai 1986). Garau ve ark. (1986) tarafından yapılan 16 haftalık inkübasyon çalışmasında aerobik olarak çürütülmüş çamurlardaki azot mineralizasyon oranının, anaerobik çürütülmüş çamurlara nazaran daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Benzer şekilde Wang ve ark. (2003) da aerobik olarak işlem görmüş çamurların daha yüksek amonyum azotu konsantrasyonlarına sahip olduğunu ve anaerobiklere göre daha hızlı parçalandığını tespit etmişlerdir.

12 aylık inkübasyon dönemi sonundaki toplam mineralizasyon değerlerine bakıldığında ise tüm çamur uygulamalarında organik azotun %48-66 oranında mineralize olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada tespit edilen mineralizasyon değerleri literatürde verilen değerlerle de uyum göstermektedir. Genellikle çamur uygulamasının ilk yılında organik azotun %50' sinin, ikinci yılında ise %5-20'sinin mineralize olup yarayışlı formlara dönüştüğü düşünülmektedir. Uygulamayı izleyen üçüncü ve dördüncü yıllarda ise mineralizasyon oranı daha da düşmektedir (Anonymous 1996).

Çamur uygulamalarının yapıldığı topraklar (T1 ve T2) açısından kıyaslama yapıldığında, 3 aylık inkübasyon dönemi sonunda G1 ve E uygulama-



Şekil 1. Çamur uygulanmış topraklarda inkübasyon süresince meydana gelen organik azot mineralizasyonu.

larındaki mineralizasyon değerlerinin birbirine yakın olduğu belirlenmiş, G2 çamuru uygulamasında ise belirgin bir fark gözlenmiştir ($p < 0,05$).

Kirli dere suyuyla sulanmış toprağa (T1) yapılan G2 uygulamasında mineralizasyon yüzdesi 3.ay sonunda yaklaşık %6 civarında kalırken, diğer toprakta (T2) bu değer %29'u bulmuştur. 6.ay sonundaki toplam mineralizasyon yüzdeleri incelendiğinde ise, tüm çamur uygulamalarında, sulama yapılmış T1 toprağında gerçekleşen mineralizasyonun sulama yapılmamış T2 toprağındakine kıyasla daha fazla olduğu tespit edilmiştir ($p < 0,001$). 9.ay sonunda ulaşılan mineralizasyon yüzdeleri, T1 ve T2 toprakları arasında tüm çamurlarda belirgin bir fark olmadığını göstermektedir.

12 aylık inkübasyon dönemi sonunda G1, G2 ve E uygulamaları için hesaplanan organik azot mineralizasyon yüzdeleri kirli dere suyuyla sulanan toprakta (ortalama %54) ve sulanmayan toprakta (ortalama %64) $p < 0,05$ düzeyinde farklı bulunmuştur. Elde edilen bu sonuç, atıksu deşarjları sonucu belirgin bir kirlilik bulunan Ayvalı deresinden yapılan sulamanın azot mineralizasyon potansiyelini olumsuz yönde etkileyebileceğini ve uzun vadede toprakların tarımsal kalitesini bozabileceğini göstermektedir. Ramirez-Fuentes ve ark. (2002) tarafından yapılan bir çalışmada da atıksuyla yapılan uzun dönem sulama sonucu, topraktaki organik karbon, toplam azot, ve mikrobiyal aktivitenin arttığı; ancak azot mineralizasyonunun inhibe olduğu belirtilmiştir. Çalışmada kullanılan topraklarda tuzluluk sorunu olmamakla beraber, sulamaya bağlı olarak toprak EC değerinin artışı da azot mineralizasyonunu az da olsa etkileyebilecek diğer bir faktördür (Mc Cormick ve Wolf 1980, Irshad ve ark. 2005).

Bunun yanısıra, C/N oranı da mineralizasyonda önemli rol oynamaktadır. Tarımsal arazilerde C/N oranı < 8 ise azot belirgin bir farkla serbest kalabilmekte, 8-9 arasında belli ölçüde serbest kalabilmekte, 9-11 arasında azot dengede olmakta, 11-14 arasında azot bağlı duruma geçmekte ve > 14 olduğunda azot belirgin olarak yüksek miktarlarda bağlanmaktadır (Amlinger ve ark. 2003). Tablo 1 incelendiğinde sulanmayan topraktaki C/N oranının (9,512), sulanan topraktaki C/N oranından (11,074) daha düşük olduğu görülmektedir. İnkübasyon süresince çamur uygulanan topraklarda belirlenen C/N oranları da sulanan topraklardaki değerlerin sulanmayan topraklardan genel olarak yüksek

olduğunu göstermektedir. Sulama yapılan toprakta inkübasyon süresince belirlenen C/N oranları, G1 uygulaması için 8,03-8,76, G2 uygulaması için 8,33-8,47 ve E uygulaması için 8,46-8,78 arasında değişmektedir. Sulama yapılmayan topraklarda ise bu değerler G1 için 8,03-8,38, G2 için 7,68-8,05 ve E için 8,12-8,25 arasında salınım göstermektedir. Sulamaya bağlı olarak toprağın karbon miktarının artması sonucu sulama yapılan toprakta azotun nispeten bağlı formda bulunabileceği ve bu nedenle mineralizasyonun, sulama yapılmayan toprakta daha yüksek oranda gerçekleşmiş olabileceği düşünülmektedir.

SONUÇLAR

Evsel ve gıda endüstrisi kökenli üç farklı arıtma çamurunun kirli Ayvalı deresi suları ile sulanan ve sulanmayan toprağa uygulanarak yürütülen 12 aylık inkübasyon çalışması neticesinde aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur:

-İnkübasyon süresince çamur uygulanan topraklarda belirlenen toplam ve anorganik azot konsantrasyonları çalışmada kullanılan arıtma çamurlarının belirgin bir gübreleme kapasitesine sahip olduklarını göstermektedir. Evsel ve gıda endüstrisi kökenli arıtma çamurlarının toprağa verilmesiyle arıtma çamurundaki azotun topraktaki azot döngüsüne katılmasıyla, azotlu gübre ihtiyacının azalabileceği ile tarımsal üretimde ekonomik kazanç sağlanabileceği düşünülmektedir.

-3'er aylık inkübasyon dönemleri bazında incelendiğinde, mineralizasyon yüzdelерinde çamur orijinine bağlı büyük farklılıklar gözlenmiştir. 12 aylık inkübasyon dönemi sonunda ise tüm uygulamalarda organik azotun %50-60'ı mineralize olmuştur.

-Genel olarak, kirli Ayvalı deresi suyuyla sulanmış topraklarda meydana gelen çamur organik azotunun yüzde mineralizasyonu, gerek kısa vadede (3 ay), gerekse uzun vadede (12 ay) sulanmamış topraklarda tespit edilen oranın altında kalmıştır. 3 aylık inkübasyon dönemi sonunda sulama yapılmamış topraklardaki mineralizasyon %30 olarak hesaplanırken, sulama yapılmış topraklarda bu değer ortalama %20 olarak hesaplanmıştır. 12 aylık inkübasyon dönemi sonunda G1, G2 ve E uygulamaları için hesaplanan organik azot mineralizasyon yüzdeleri kirli dere suyuyla sulanan toprakta ortalama %54 ve sulanmayan toprakta ortalama %64'tür. Sulanmış ve sulanmamış topraklarda kısa ve uzun vadede hesaplanan bu değerler istatistiksel

açından önemli derecede farklı bulunmuştur ($p < 0,05$).

-Çalışma sonuçları, Nilüfer-Ayvalı deresinden kontrolsüz olarak yapılan sulamanın topraktaki azot mineralizasyonunu olumsuz yönde etkilediğini göstermektedir. Sulamaya bağlı toksik maddeler

birikiminin/varlığının toprakta gerçekleşen mineralizasyon ve nitrifikasyon proseslerini inhibe ederek toprak verimliliğinin azalmasına sebep olabileceği göz ardı edilmemelidir.

KAYNAKLAR

- Adegbidi HG, Briggs RD (2003) Nitrogen mineralization of sewage sludge and composted poultry manure applied to willow in a greenhouse experiment. *Biomass and Bioenergy* 25, 665-673.
- Amlinger F, Götz B, Dreher P, Geszti J, Weissteiner C (2003) Nitrogen in biowaste and yard waste compost: dynamics of mobilisation and availability- a review. *European Journal of Soil Biology* 39, 107-116.
- Anonymous (1995) Bursa İli Arazi Varlığı. T.C. Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları, İl Rapor No: 16, Ankara.
- Anonymous (1996) Land Application of Biosolids, Process Design Manual. U.S. Environmental Protection Agency, Center for Environmental Research Information, Cincinnati, Ohio.
- Anonymous (1998) Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WPCF, Washington.
- Ayuso M, Pascual JA, Garcia C, Hernandez T (1996) Evaluation of urban wastes for agricultural use. *Soil Science and Plant Nutrition* 42, 105-111.
- Bremner JM, Mulvaney CS (1982) Nitrogen-total. In: Page AL (ed), *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, Madison, Wisconsin, 595-622.
- Chae YM, Tabatabai MA (1986) Mineralization of nitrogen in soils amended with organic wastes. *Journal of Environmental Quality* 15, 193-198.
- Epstein E (2003) *Land Application of Sewage Sludge and Biosolids*. Lewis Publishers, Washington.
- Fine P, Mingelgrin U, Feigin A (1989) Incubation studies of the fate of organic nitrogen in soils amended with activated sludge. *Soil Science Society of America Journal* 53, 444-450.
- Garau MA, Felipe MT, Ruiz De Villa MC (1986) Nitrogen mineralization of sewage in soils. *Journal of Environmental Quality* 15, 225-229.
- Garcia C, Hernandez T, Costa F (1992) Variation in some chemical parameters and organic matter in soils regenerated by the addition of municipal solid waste. *Environmental Management* 16, 763-768
- Hattori H, Mukai S (1986) Decomposition of sewage sludge in soil as affected by their organic matter composition. *Soil Science and Plant Nutrition* 32, 421-432
- Hernandez T, Moral R, Perez-Espinosa A, Moreno-Caselles J, Perez-Murcia MD, Garcia C (2002) Nitrogen mineralisation potential in calcareous soils amended with sewage sludge. *Bioresource Technology* 83, 213-219.
- Huijsmans JFM, Hol JMG, Vermeulen GD (2003) Effect of application method, manure characteristics, weather and field conditions on ammonia volatilization from manure applied to arable land. *Atmospheric Environment* 37, 3669-3680.
- Irshad M, Homna T, Yamamoto S (2005) Nitrogen mineralization under saline conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 36, 1681-1689.
- Kacar B (1994) Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri: III. Toprak Analizleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Eğitim, Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları, Yayın No: 3, Ankara.
- Keeney DR, Nelson DW (1982) Nitrogen-inorganic forms. In: Page AL (ed), *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, Madison, Wisconsin, 643-693.
- Mc Cormick RW, Wolf DC (1980) Effect of sodium chloride on CO₂ evolution, ammonification and nitrification in a sassafras sandy loam. *Soil Biology and Biochemistry* 12, 153-157.
- Mc Lean EO (1982) Soil pH and Lime Requirement. In: Page AL (ed), *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, Madison, Wisconsin, 199-223.

- Nelson DW, Sommers LE (1982) Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. In: Page AL (ed), *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, Madison, Wisconsin, 539-577.
- Okur N, Çengel M, Katkat V, Uçkan HS (2001) Kirlenme sürecindeki İznik göl suyuyla sulanan tarım topraklarında mikrobiyolojik aktivitenin değişimi. *Ziraat Fakültesi Dergisi* 38, 2-3, 119-126.
- Ramirez-Fuentes E, Lucho-Constantino C, Escamilla-Silva E, Dendooven L (2002) Characteristics, and carbon and nitrogen dynamics in soil irrigated with wastewater for different lengths of time. *Bioresource Technology* 85, 179-187.
- Rhoades JD (1982) Soluble Salts. In: Page AL (ed), *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, Madison, Wisconsin, 167-178.
- Serna MD, Pomares F (1992) Nitrogen mineralization of sludge-amended soil. *Bioresource Technology* 39, 285-290.
- Sims JT (1990) Nitrogen mineralization and elemental availability in soils amended with composted sewage sludge. *Journal of Environmental Quality* 19, 669-675.
- Smith SR, Woods V, Evans TD (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, Toprak Anabilim Dalı, Ankara.
- Wang H, Kimberley MO, Schlegelmilch M (2003) Biosolids-derived nitrogen mineralization and transformation in forest soil. *Journal of Environmental Quality* 32, 1851-1856.
- Wong JWC, Lai KM, Fang M, Ma KK (1998) Effect of sewage sludge amendment on soil microbial activity and nutrient mineralization. *Environment International* 24, 8, 935-943.