

ARITMA ÇAMURLARININ TARIMSAL AMAÇLI KULLANIMI: TOPRAKTAKİ AZOT PROSESLERİNDE MEYDANA GELEN DEĞİŞİMLER

*Esra DEMİR**
*Fatma Olcay TOPAÇ**

Alınma:26.03.2019 ; düzeltme:14.05.2019 ; kabul: 31.05.2019

Öz: Atık su arıtma tesislerinin işletilmesi sırasında bir yan ürün olarak açığa çıkan arıtma çamurlarının uygun arıtma proseslerinden geçirilerek insan sağlığı ve çevreye herhangi bir olumsuz etkisi olmaksızın bertaraf edilmeleri gerekmektedir. Uygun özelliğe sahip arıtma çamurlarının tarımsal amaçlı kullanılması tarımsal üretimde verimliliği arttıran bir bertaraf yöntemidir. Bu çalışmada süt endüstrisi atık su arıtma tesisinden temin edilen ve yaklaşık %6 oranında katı madde içeren çürütülmüş çamur örneğinin topraktaki azot prosesleri açısından tarımsal amaçlı kullanım potansiyelinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda 50 ton/ha, 100 ton/ha ve 200 ton/ha dozlarında çürütülmüş çamur uygulanan toprak örnekleri 45 gün boyunca 28°C’de karanlıkta inkübe edilmiştir. Belirli periyotlarla alınan toprak örneklerinde toplam azot, amonyum azotu, nitrat azotu konsantrasyonları ile birlikte toprak kalitesini belirlemede yaygın olarak kullanılan üreaz aktivitesi, arginin amonifikasyon hızı ve nitrifikasyon potansiyeli değerleri takip edilmiştir. Elde edilen veriler çürütülmüş çamur dozunun artması ile birlikte toprak örneklerinin toplam azot, amonyum azotu ve nitrat azotu konsantrasyonlarının arttığını göstermiştir. Ayrıca üreaz aktivitesi, arginin amonifikasyon hızı ve nitrifikasyon potansiyeli değerlerinin benzer bir eğilimde olduğu belirlenmiştir. Farklı dozlarda çürütülmüş çamur uygulanan toprak örneklerinde amonifikasyon prosesinin nitrifikasyon prosesine göre daha baskın olduğu tespit edilmiştir. Süt ürünleri endüstrisinden temin edilen ve yaklaşık %6 oranında katı madde içeren çürütülmüş çamurun Mekanik Ayrırma, Biyokurutma ve Biyometanizasyon Tesisleri ile Fermente Ürün Yönetimi Tebliği’ndeki diğer şartları yerine getirmek kaydı ile azot prosesleri bakımından tarımsal verimliliği arttırmak için kullanılan azotlu gübrelere alternatif olarak değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Amonifikasyon, Arıtma Çamuru, Nitrifikasyon, Toprak, Üreaz Aktivitesi

Agricultural Use of Sewage Sludge: Variations of Nitrogen Processes in Soil

Abstract: Sewage sludge which is produced as a byproduct during the operation of wastewater treatment plants must be properly treated and disposed of in order to eliminate any negative effects on human health and environment. Use of sludges with suitable characteristics for agricultural purposes is a method of disposal that increases productivity in agricultural production. In this study, it is aimed to determine the potential of agricultural use of digested sludge samples containing approximately 6% solids obtained from the wastewater treatment plant of a dairy industry in terms of nitrogen processes in the soil. In this direction, soil samples were applied with digested sludge at doses of 50 ton/ha, 100 ton/ha and 200 ton/ha and then the mixtures were incubated in the dark at 28 °C for 45 days. Total nitrogen, ammonium nitrogen and nitrate nitrogen concentrations together with urease activity, arginine amonification rate and nitrification potential values which are commonly used in determination of soil quality were determined in soil samples taken at certain periods of incubation period. The obtained data apparently showed that the

* Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 16285, Görükle, Bursa
İletişim Yazarı: Esra DEMİR (esrademir796@gmail.com)

total nitrogen, ammonium nitrogen and nitrate nitrogen concentrations of the soil samples increased with the increment of application dose of digested sludge. It was also determined that the urease activity, arginine amination rate and nitrification potential values have a similar tendency of increment. It was reported that the ammonification process is more dominant than the nitrification process in soil samples treated with different doses of digested sludge. The overall results indicated that the digested sludge containing approximately 6% solids obtained from dairy products industry can be considered as an alternative to the nitrogen fertilizers which increases the agricultural productivity in terms of nitrogen processes, provided that they meet other requirements in the Mechanical Separation, Biofuels and Biomethanization Plants and the Fermented Product Management Communique.

Keywords: Ammonification, Nitrification, Sewage Sludge, Soil, Urease Activity

1. GİRİŞ

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de teknolojinin gelişmesi, nüfusun artması ile birlikte hızlı kentleşme ve sanayileşme gibi faktörler insan faaliyetlerinin çevre üzerindeki etkisini arttırmaktadır. Ayrıca insanlar yaşamlarını sürdürebilmek için yararlandıkları doğal kaynakları bilinçsizce tüketmekle kalmayıp atık maddeler ile kirletmektedir. Gün geçtikçe miktarları artan ve içerikleri değişen bu atıklar ise insan ve çevre sağlığını tehdit eder boyutlara ulaşmaktadır.

Üretilen bu atık maddeler arasında atık su arıtma tesislerinin işletilmesi sırasında veya sonrasında bir yan ürün olarak açığa çıkan arıtma çamurları da yer almaktadır. Arıtma çamurlarının uygun arıtma proseslerinden geçirilerek insan sağlığı ve çevreye herhangi bir olumsuz etkisi olmaksızın bertaraf edilmeleri gerekmektedir. Arıtma çamurlarının bertarafı ile ilgili çeşitli seçenekler bulunmaktadır. Mevcut seçenekler arasında uygun özellikteki arıtma çamurlarının tarımsal amaçlı kullanılması dünyada giderek artan, yaygın bir giderim metodu haline gelmiştir.

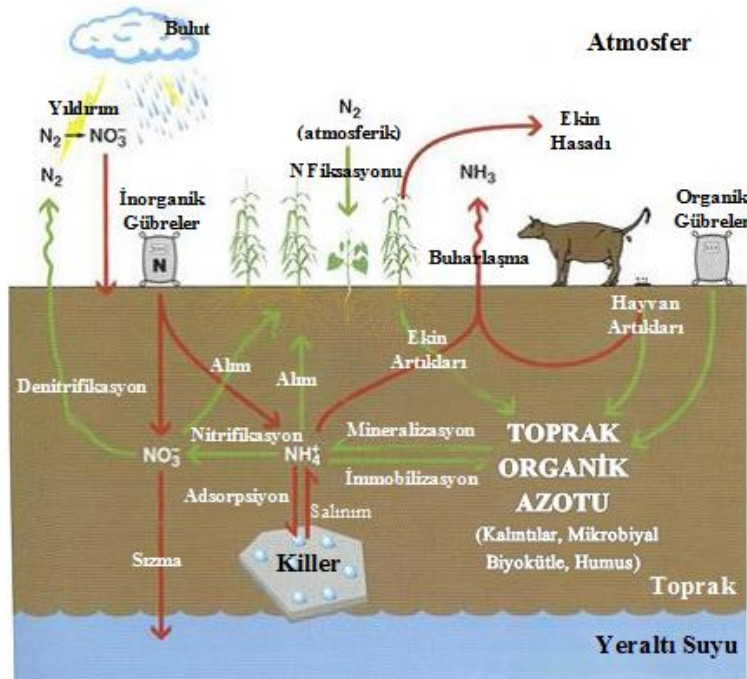
Arıtma çamurları olumsuz etkileri en aza indirilerek veya kontrollü kullanımları sağlanarak tarımda gübre olarak değerlendirilebilmektedir. Bu sayede hem arıtma çamurları bertaraf edilmekte hem de tarımsal üretimde ekonomik kazanç sağlanabilmektedir. Son yıllarda ülkemizde yapılan çeşitli çalışmalarda da uygun özelliğe sahip olan arıtma çamurlarının tarımsal alanlarda değerlendirilmesine yönelik önemli bulgular elde edilmiştir.

Türkiye genelinde tarım topraklarının %99'u içerdiği organik madde açısından yetersizdir (Gezgin, 2018). Tarım topraklarındaki organik madde yetersizliği ise toprak verimliliğinin sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir. Toprak verimliliği, toprakta bulunan ve bitkiler için yararlı olan besin miktarını ifade etmektedir. Organik madde ve besin elementi içeriği bakımından zengin olan arıtma çamurlarının agronomik oranlarda tarımsal alanlara uygulanması ve gübre olarak değerlendirilmesi bu problemin çözülmesi için de son derece önemlidir.

Arıtma çamurlarının toprağa uygulanması ile toprağa kazandırılan en önemli besin elementlerinden biri azottur. Azot topraklarda elementel, organik ve inorganik formlarda bulunmaktadır. Elementel formdaki azot toprak havasında gaz halde bulunabileceği gibi toprak suyunda çözülmüş halde de bulunur ve toprak havasında gaz halde bulunan elementel azot bazı özel mikroorganizma grupları tarafından kullanılır. İnorganik azot formları genelde toprak çözeltisinde iyonik halde bulunur ve bitkiler inorganik azot formlarından amonyum ve nitrat iyonları halindeki azotu kullanırlar. Organik azot formları nükleik asitlerden türemiş pürin ve pirimidin bazları ile az miktarda serbest amino asit, glikozamin ve galaktozamin gibi amino şekerler ve humus yapısına bağlı amino asitler şeklinde bulunmaktadır. Toprakta bulunan bu azot formlarının birbirlerine dönüşümleri ise azot döngüsünü meydana getirmektedir. Şekil 1'de azot döngüsünde yer alan temel prosesler verilmiştir. Bu şekilde kırmızı renkli oklar kimyasal reaksiyonları temsil ederken, yeşil renkli oklar biyolojik reaksiyonları temsil etmektedir.

Atmosferin %78'ini oluşturan azot gazı inert haldedir ve bitkiler tarafından kullanılabilmesi için amonyum formuna dönüştürülmesi gerekmektedir. Atmosferde N₂ formunda bulunan bu azotun simbiyotik (ortak) ve asimbiyotik (serbest) yaşayan mikroorganizmalar aracılığı ile indirgenerek NH₃ formuna dönüştürüldüğü proses biyolojik azot fiksasyonu olarak

adlandırılmaktadır. Simbiyotik olarak azotu fikse eden bakteriler baklagil bitkilerinin köklerinde yaşayan bakteriler, baklagil olmayan bitkilerin köklerinde ve üzerinde yaşayan bakteriler ve bazı bitkilerin yapraklarında yaşayan bakteriler olmak üzere gruplandırılabilir. Asimbiyotik azot fiksasyonu toprak ve suda serbest halde yaşayan ve nitrogenaz enzimine sahip mikroorganizmaların atmosferde N_2 formunda bulunan moleküler azotu indirgediği prosesdir (Kumarı ve Sınha, 2011). Bu şekilde azotu fikse eden organizmalar ise zorunlu anaeroblar, fakültatif anaeroblar, mavi-yeşil algler, fotosentetik bakteriler ve bazı metan bakterileri olmak üzere gruplandırılabilir. Ayrıca atmosferde gerçekleşen yıldırım olayları esnasında N_2 formunda bulunan azotun küçük bir kısmı oksidasyona uğrayarak nitrik asit formunda yağmurlarla yeryüzüne dönmekte ve toprakta meydana gelen olaylar ile nitrat ve amonyak formuna dönüştürülmektedir.

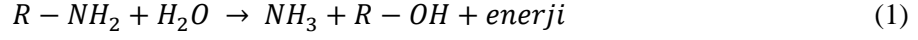


Şekil 1:

Toprak Azot Döngüsü (Thompson, 1996)

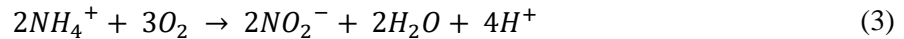
Doğal topraklarda azotun büyük bir kısmı toprak organik maddesinde bulunmaktadır. Amino asitler, nükleik asitler ve proteinler gibi azot bakımından zengin bileşenleri içeren bitki artıkları toprakta bulunan çeşitli mikroorganizmalar tarafından ayrıştırılarak toprak organik maddesini oluşturmaktadır. Toprak organik maddesindeki azot ise bitkilerin ve diğer toprak organizmalarının kullanabileceği inorganik amonyum ve nitrat formlarına dönüştürülmektedir. Toprak organik maddesinin azot bakımından yeterince zengin olması durumunda bu organik maddenin bozunması, amonyum ve nitrat formundaki azotun oluşması ile sonuçlanmaktadır. Bu proses azot mineralizasyonu olarak adlandırılmaktadır. Düşük seviyelerde azot içeren toprak organik maddesinde amonyum ve nitrat formunda mevcut olan azotun mikroorganizmalar tarafından tüketildiği proses ise azot immobilizasyonu olarak adlandırılmaktadır. Karbon-azot (C:N) oranı genellikle mineralizasyon veya immobilizasyonun gerçekleşip gerçekleşmeyeceğinin bir göstergesi olarak kullanılmaktadır. C:N oranı toplam karbon konsantrasyonunun toplam azot konsantrasyonuna oranıdır. Genel olarak C:N oranı 40:1'den daha düşük olan toprak organik maddesinin ayrışması azot mineralizasyonu ile sonuçlanırken C:N oranı 40:1'den büyük olan toprak organik maddesinin ayrışması azot immobilizasyonu ile sonuçlanmaktadır (Vigil ve Kissel, 1991). Azot mineralizasyonu organik azotun amonyağa

dönüştürüldüğü amonifikasyon (1), amonyak ve suyun amonyuma dönüştürüldüğü hidroliz prosesi (2) olmak üzere iki basamakta incelenmektedir.

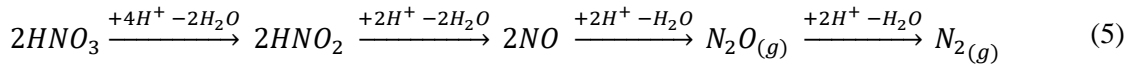


Hidroliz prosesinde NH_3 ve NH_4^+ arasındaki denge ortam pH'sı ile yakından ilişkilidir (2). Yüksek pH seviyelerinde azot NH_3 gazı formunda, düşük pH seviyelerinde ise NH_4^+ iyonu formunda bulunmaktadır. Pozitif yüke sahip olan amonyum iyonları negatif yüklü toprak kolloidleri tarafından tutulmaktadır. Ancak özellikle yüksek pH seviyelerine sahip topraklarda amonyak, buharlaşma prosesi ile hızlı bir şekilde topraktan havaya geçebilmektedir. Toprak pH'sının yanında toprak sıcaklığı ile neminin yüksek olması ve kuvvetli esen rüzgarlar da NH_3 formundaki azotun buharlaşma prosesi vasıtasıyla kaybına katkıda bulunmaktadır.

Amonyum kil minerallerinin tabakaları arasında bulunan Ca, Mg, Na, H gibi kationlarla yer değiştirerek fikse edilebilmektedir. Fikse edilen bu amonyumdan bitkiler ve mikroorganizmaların yararlanabilmesi için uzun süreler gereksinim duyulmaktadır. Ayrıca amonyum aerobik topraklarda oldukça kararsızdır ve oksijen varlığında nitrifikasyon adı verilen proses vasıtasıyla nitrate dönüştürülmektedir. Nitrifikasyon prosesinde amonyumun dönüşümü iki kademede meydana gelmektedir. İlk kademede amonyum, amonyum okside edici bakteriler tarafından nitrite okside edilmektedir (3). Bu kademede rol alan ve en sık belirlenen cins Nitrosomonas olmasına rağmen Nitrosococcus ve Nitrospira da amonyağı okside edebilmektedir. Ayrıca Nitrosolobus ve Nitrosovibrio da amonyağı ototrofik olarak oksitleyebilmektedir (Watson ve diğ., 1981). İkinci kademede ise nitrit, nitrit okside edici bakteriler tarafından nitrate okside edilmektedir (4). Bu kademede rol alan ve en sık belirlenen cins Nitrobacter olmasına rağmen Nitrospina, Nitrosococcus ve Nitrospira da nitriti ototrofik olarak oksitleyebilmektedir (Watson ve diğ., 1981). Nitrifikasyon prosesini gerçekleştiren bakteriler oldukça spesifik mikroorganizmalardır. Bu nedenle nitrifikasyon hızı pH, sıcaklık, çözülmüş oksijen konsantrasyonu gibi çevresel faktörlerden etkilenmektedir. Toprak (1995) tarafından yapılan bir çalışmada çözülmüş oksijen konsantrasyonu 0,5 mg/L olduğunda nitrifikasyon oluşmadığı bildirilmiştir. Viessman ve diğ. (1985) tarafından yapılan bir çalışmada da nitrifikasyon için optimum sıcaklığın 30°C olduğu ve bu değer altındaki sıcaklıklarda nitrifikasyon hızının azaldığı bildirilmiştir. Odegaard (1980) tarafından yapılan çalışmada ise nitrifikasyon için optimum pH değerinin 8 civarında olduğu bildirilmiştir.



Nitrat negatif yüklü bir iyondur ve negatif yüklü toprak kolloidleri tarafından itilmektedir. Nitrat tuzlarının çözünürlüğü oldukça yüksektir. Bu nedenle nitrat, toprak suyunda taşınarak toprağa kolayca sızabilmektedir. Ayrıca denitrifikasyon adı verilen proses ile kimyasal olarak indirgenebilmektedir (5). Denitrifikasyon, anoksik koşullar altında nitratın (NO_3^-) nitrite (NO_2^-), nitritin nitrik okside (NO) ve nitroz okside (N_2O), son olarak da azot gazına (N_2) dönüştürüldüğü prostestir. Bu proses özellikle kötü havalanma koşullarına sahip veya su içeriği yüksek olan topraklarda azot kaybının önemli bir mekanizması olması açısından oldukça kritiktir.



Azotun gaz formunda veya topraktan yıkanma ile kaybını önlemek için ise toprağa azot içeren gübreler uygulanmalı, bu sayede bitkilerin aktif bir şekilde gelişmesi sağlanmalıdır.

Organik madde ve bitki besin elementleri açısından zengin olan arıtma çamurları, tarımsal verimliliği arttırmak için kullanılan azotlu gübrelere bir alternatif olarak değerlendirilebilmektedir. Bu sayede miktarları gün geçtikçe artan arıtma çamurlarının çevre ve insan sağlığına zarar vermeden bertarafı gerçekleştirilebilmekte ve tarımsal verimlilik artırılarak ekonomik kazanç sağlanabilmektedir. Bu çalışmada süt ürünleri endüstrisi arıtma tesisinden anaerobik çürütme sonrası alınan ve yaklaşık %6 oranında katı madde içeren çürütülmüş çamur örneğinin azot prosesleri bakımından tarımsal amaçlı kullanım potansiyelinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda süt ürünleri endüstrisi arıtma tesisinden temin edilen çürütülmüş çamur örneği 50 ton/ha, 100 ton/ha ve 200 ton/ha dozlarında toprak örneklerine uygulanmıştır. Arıtma çamuru uygulanan toprak örnekleri ise 45 gün boyunca 28°C'de karanlıkta inkübe edilmiş, bu süre zarfında toprak neminin tarla kapasitesinin %70'i seviyelerinde tutulmasına özen gösterilmiştir. Arıtma çamurunun toprakta gerçekleşen azot proseslerine olan etkisini belirlemek üzere inkübasyon süresince 15., 30. ve 45.günlerde toprak numuneleri alınarak toplam azot, amonyum azotu, nitrat azotu konsantrasyonları belirlenmiştir. Ayrıca toprak kalitesini belirlemede yaygın olarak kullanılan üreaz aktivitesi, nitrifikasyon potansiyeli ve arginin amonifikasyon hızı değerleri de takip edilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Araştırma kapsamında kullanılan çürütülmüş çamur örneği Bursa-İzmir karayolu üzerinde bulunan süt ürünleri endüstrisi arıtma tesisinden temin edilmiştir. Söz konusu tesis 4 adet anaerobik çürütücüye sahiptir ve tesise gelen organik atıklar öncelikle dengeleme tankına yüklenmektedir. Dengeleme tankındaki katı madde içeriğinin %13-%14 aralığında olmasına özen gösterilmekte, buradan çıkan organik maddeler anaerobik çürütücülere gönderilmektedir. Anaerobik çürütücülerin çıkışından alınan çürütülmüş çamurlar ise faz ayrımı yapılmak üzere separatörlere aktarılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan çürütülmüş çamur örneği anaerobik çürütücü çıkışından alınmıştır.

Çamur uygulaması yapılan toprak örneği ise Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme arazisinden (40°13'36"N - 28°51'47"E) temin edilmiştir. Bu toprak örneği killi tın tekstürüne sahip olup, %29,65 kum, %42,21 kil ve %28,14 silt içermektedir. Tablo 1'de çalışmada kullanılan çürütülmüş çamur ve toprak örneğine ait bazı özellikler verilmiştir.

Tablo 1. Araştırmada Kullanılan Toprak ve Çamur Örneğinin Genel Özellikleri

Parametreler	Toprak Örneği	Çamur Örneği
Katı madde, %	-	6,40
pH (1:5)	7,94	7,89
EC, $\mu\text{S}/\text{cm}$ 25°C (1:5)	1690	2360
Toplam N, %	0,25	2,72
$\text{NH}_4^+ \text{-N}$, mg.kg^{-1}	110,59	681,26
$\text{NO}_3^- \text{-N}$, mg.kg^{-1}	32,51	134,52
Toplam P, %	0,02	0,38
Fekal Koliform, EMS/g	-	$9,8 \times 10^2$

2.2. İnkübasyon Çalışması

Toprak örneklerine 50 ton/ha, 100 ton/ha ve 200 ton/ha dozunda anaerobik çürütücü çıkışından alınan çürütülmüş çamur örneği uygulanmıştır. Çürütülmüş çamur uygulanan toprak örnekleri 45 gün boyunca 28°C'de karanlıkta inkübe edilmiş, bu süre zarfında toprak neminin tarla kapasitesinin %70'i seviyelerinde tutulmasına özen gösterilmiştir. Farklı dozlarda çürütülmüş çamur uygulanan toprak örneklerindeki toplam azot, amonyum azotu, nitrat azotu konsantrasyonları ile toprak kalitesini belirlemede yaygın olarak kullanılan üreaz aktivitesi, nitrifikasyon potansiyeli ve arginin amonifikasyon hızı değerlerinde meydana gelen değişimler belli dönemlerde (15.gün, 30.gün ve 45.gün olmak üzere toplam 3 periyotluk dönemde) takip edilmiştir.

2.3. Analitik Metotlar

Toprak ve çamur örneklerinin elektriksel iletkenlik ve pH değerleri 1:5 (w/v) oranında saf su ile çalkalanarak elde edilen ekstraktlarda ölçülmüştür (Rhoades, 1982; McLean, 1982). Çamur örneğinin katı madde miktarı 105°C'de kurutulan örneklerde meydana gelen ağırlık kaybı dikkate alınarak hesaplanmıştır (American Public Health Association, 1998).Amonyum ve nitrat azotu konsantrasyonlarını belirlemek için örnekler 2 M KCl çözeltisi ile ekstrakte edilmiş, ekstraktlardaki konsantrasyonlar MgO ve devarda alaşımı kullanılarak su buharı destilasyonu yöntemiyle belirlenmiştir (Keeney ve Nelson, 1982). Kjeldahl yöntemine göre yakma yapılan örneklerin toplam azot içeriğini belirlemek için su buharı destilasyonu yöntemi kullanılmıştır (Bremner ve Mulvaney, 1982). Sülfürik ve nitrik asit ile yakma işlemine tabii tutulan örneklerin toplam fosfor içeriğini belirlemek için ise askorbik asit metodu kullanılmıştır (American Public Health Association, 1998).

Brilliant Green Bile Broth besi yerlerine ekim yapılan çamur örneğinin fekal koliform içeriğini belirlemek için besi yerleri 44,5±0,2°C'de 24±2 saat boyunca inkübe edilmiştir (American Public Health Association, 1998). İnkübasyon sonunda gelişen koloniler En Muhtemel Sayı (EMS) Yöntemi'ne göre sayılmıştır. Sonuçlar EMS/100 mL olarak elde edilmiş, EMS/g olarak ifade edilmiştir.

Arıtma çamuru uygulanmış toprak örneklerinin üreaz aktivitesi Tabatabai (1994) tarafından bildirildiği şekilde belirlenmiştir. Bu doğrultuda toprak örneklerinden 5 gr tartılarak üzerine 0,2 mL toluen, 9 mL THAM tampon çözeltisi (pH 9) ve 1 mL 0,2 M üre çözeltisi eklenmiştir. Bu şekilde hazırlanan örnekler 2 saat boyunca 37°C'de inkübe edilmiştir. İnkübasyonun ardından enzim aktivitesi 35 ml KCl (2,5 M) - Ag₂SO₄ (100 ppm) çözeltisi ilave edilerek durdurulmuş ve toprak süspansiyonlarındaki amonyum azotu konsantrasyonu su buharı destilasyonu yöntemine göre belirlenmiştir. Sonuçlar mg NH₄⁺-N.L⁻¹ olarak elde edilmiş, µg NH₄⁺-N.g⁻¹toprak.sa⁻¹ olarak ifade edilmiştir.

Arginin amonifikasyon hızını belirlemek için toprak örneklerinden 2 gr tartılarak üzerine 0,5 mL arginin çözeltisi (2 g/L) ilave edilmiş, bu şekilde hazırlanan örnekler 3 saat boyunca 30°C'de inkübe edilmiştir. İnkübasyonun ardından örnekler 20 mL 2 M KCl çözeltisi ile ekstrakte edilmiştir (Alef ve Kleiner, 1986). Ekstraktlardaki amonyum konsantrasyonları indofenol mavisi metoduna göre belirlenmiştir (Keeney ve Nelson, 1982). Sonuçlar µg NH₄⁺-N.g⁻¹toprak.sa⁻¹ olarak ifade edilmiştir.

Nitrifikasyon potansiyelini belirlemek için amonyum sülfat substrat olarak kullanılmıştır (Hart ve diğ., 1994). Toprak örnekleri 24 saat boyunca orbital çalkalayıcıda 180 rpm ve 25°C'de inkübe edilmiştir. İnkübasyonun 0. ve 24.saatlerinde alınan örnekler santrifüjlenmiş, santrifüjlenen süpernatantlardaki nitrat Cataldo ve diğ. (1975) tarafından bildirildiği gibi salisilik asit metodu kullanılarak belirlenmiştir. Nitrat oluşum hızı lineer regresyon analizi kullanılarak hesaplanmış ve nitrifikasyon potansiyeli µg NO₃⁻-N.kg⁻¹toprak.sa⁻¹ olarak ifade edilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tablo 1’de bu çalışmada kullanılan toprak ve çamur örneğine ait bazı parametreler sunulmuştur. Bu tablodan görüldüğü üzere toprak örneğinin pH değeri 7,94’dür. Toprakların en önemli kimyasal özelliklerinden biri olan toprak pH’sı çeşitli bileşiklerin çözünürlükleri, toprakta bulunan ve bitkiler için gerekli olan bitki besin elementlerinin bulunma formları, çeşitli mikroorganizmaların aktiviteleri gibi parametreler hakkında bilgi vermesi açısından oldukça önemlidir. Benton Jones (1984) tarafından topraklar sahip oldukları pH değerine göre gruplandırılmıştır. Bu gruplandırmaya göre çalışma kapsamında kullanılan toprak örneği alkali özellik göstermekte, 1690 $\mu\text{S}/\text{cm}$ iletkenlik değeri ile hafif tuzlu topraklar grubunda yer almaktadır. Bu şekilde tuzlu ve alkali özellik gösteren toprakların ıslah edilerek tarıma kazandırılması gerekmektedir. Topraklara uygun özellikteki arıtma çamurlarının uygulanması ise biyolojik ıslah yöntemleri arasında yer almaktadır.

3.1. Toplam Azot Konsantrasyonu

Arıtma çamurlarının toplam azot konsantrasyonları %4-60 gibi çok geniş bir aralıkta değişmektedir. Genel olarak aerobik olarak çürütülmüş çamurların toplam azot konsantrasyonları anaerobik olarak çürütülmüş çamurların toplam azot konsantrasyonlarından, anaerobik olarak çürütülmüş çamurların toplam azot konsantrasyonları kompost çamurların toplam azot konsantrasyonlarından daha fazladır (Aydın, 2004). Ayrıca anaerobik çürütme ile arıtılmış sulu çamurların toplam azot konsantrasyonları %1-7 aralığında değişmekte olup bu çalışmada kullanılan ve süt ürünleri endüstrisinden anaerobik çürütme sonrası alınan sulu çamurun toplam azot konsantrasyonu %2,72’dir.

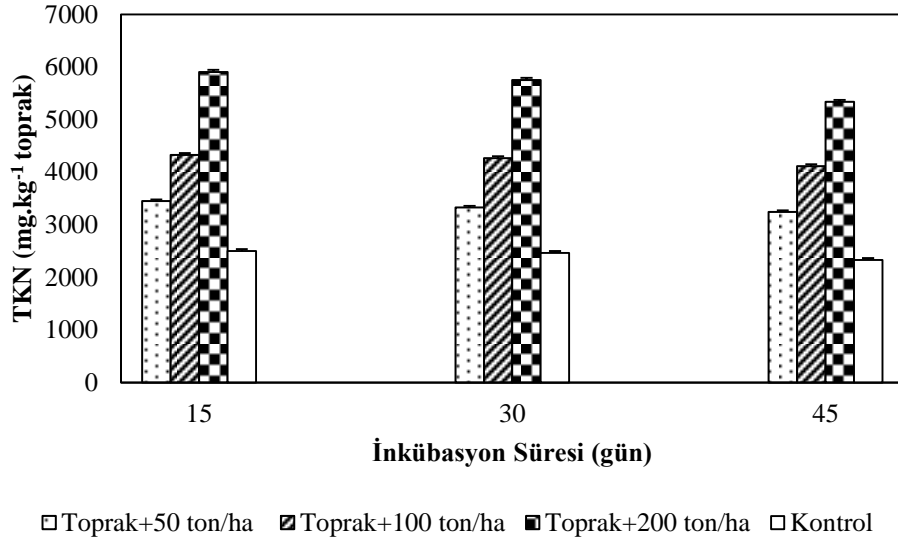
Topraklardaki toplam azot konsantrasyonları genellikle %0,02-2,5 aralığında değişmekte, kumlu topraklarda bu miktar %0,02’den daha az olabilmektedir. Bu çalışmada kullanılan toprak örneğinin toplam azot konsantrasyonu ise %0,25’dir.

Arıtma çamuru uygulamalarının topraktaki besin maddelerini arttırdığına yönelik birçok çalışma mevcuttur (Utsching ve diğ., 1986; Menelik ve diğ., 1991; Arcak ve diğ., 2000; Korbulewsky ve diğ., 2002; Bilgin ve diğ., 2002). Williams (1979) organik gübreleri ve arıtma çamurlarını tarım arazilerine uygulayarak ürün verimi ve kalitesi üzerindeki etkilerini incelemiş, özellikle sulu haldeki çürütülmüş çamurların bitkiye yararlı azot bakımından oldukça değerli bir kaynak olduğunu vurgulamıştır.

Bu çalışmada kullanılan anaerobik olarak çürütülmüş çamur örneğinin toprak örneklerine farklı dozlarda uygulanması ile bu örneklerin toplam azot konsantrasyonlarında inkübasyon periyodu boyunca meydana gelen değişimler Şekil 2’de verilmiştir. Bu şekilden de görüldüğü üzere toprak örneklerinin toplam azot konsantrasyonları uygulanan çürütülmüş çamur dozuna bağlı olarak artmıştır. İnkübasyonun ilk 15.gününde kontrol toprağının toplam azot konsantrasyonu 2500 mg/kg iken 200 ton/ha uygulama dozunda 5905 mg/kg değerine yükselmiştir. İnkübasyonun 30.gününde ise kontrol toprağının toplam azot konsantrasyonu 2466 mg/kg iken 200 ton/ha uygulama dozunda 5753 mg/kg değerine yükselmiştir. İnkübasyonun 45.gününe gelindiğinde kontrol toprağının 2330 mg/kg olan toplam azot konsantrasyonu 200 ton/ha uygulama dozunda 5336 mg/kg değerine yükselmiştir. Toprak örneklerine uygulanan çürütülmüş çamur dozunun artması ile birlikte toplam azot konsantrasyonlarında meydana gelen bu artışın sebebi şüphesiz ki azot bakımından zengin olan çürütülmüş çamurun bu örneklere uygulanması ile birim ağırlık başına düşen azot miktarının da artmasıdır. Samaras ve diğ. (2008) de yapmış oldukları çalışmada artan dozlarda uygulanan arıtma çamurunun toprak örneklerinin toplam azot konsantrasyonlarını arttırdığını bildirmişlerdir. Yine Navas ve diğ. (1998) tarafından yapılan başka bir çalışmada da arıtma çamuru uygulamalarındaki artış ile birlikte toprak örneklerinin toplam azot konsantrasyonlarında belirgin bir artışın olduğu bildirilmiştir.

Çürütülmüş çamur uygulaması yapılan toprak örneklerinin toplam azot konsantrasyonlarında zamana bağlı olarak meydana gelen değişimler incelendiğinde, her üç doz

için de zamana bağlı olarak hafif bir düşme eğilimi olduğu tespit edilmiştir (Şekil 2). İnkübasyonun 15. ve 45.günlerinde elde edilen veriler kıyaslandığında 200 ton/ha çürütülmüş çamur uygulanan toprak örneklerinin toplam azot konsantrasyonlarında meydana gelen düşüşün 50 ton/ha ve 100 ton/ha çürütülmüş çamur uygulanan toprak örneklerinden daha fazla olduğu belirlenmiştir. Toplam azot konsantrasyonlarında zamana bağlı olarak meydana gelen en az düşüş ise 100 ton/ha çürütülmüş çamur uygulanan toprak örneklerinde gözlenmiştir.



Şekil 2:
Farklı Dozlarda Çürütülmüş Çamur Uygulanan Toprakların Toplam Azot Konsantrasyonlarında Zamana Bağlı Olarak Meydana Gelen Değişimler

Çürütülmüş çamur uygulanan toprak örneklerinin toplam azot konsantrasyonlarında zamana bağlı olarak %5-10 oranlarında meydana gelen bu düşüş ortamda buharlaşma yoluyla NH_3 formunda N kaybı olduğunun bir göstergesidir. Dindar ve diğ. (2010) tarafından yapılan çalışmada da farklı yöntemlerle stabilize edilmiş evsel nitelikli arıtma çamurları 50 ton/ha ve 100 ton/ha dozlarında toprak örneklerine uygulanmış ve çamur uygulaması yapılan toprak örneklerinde belirlenen toplam azot parametresinin zamana bağlı olarak her iki doz için de düşme eğiliminde olduğu bildirilmiştir.

3.2. Amonyum ve Nitrat Azotu Konsantrasyonları

Arıtma çamurlarının toplam azot içeriklerinin büyük bir kısmı organik azot formlarından meydana gelmekte, mineral azot formları toplam azot içeriklerinin çok küçük bir kısmını oluşturmaktadır. Bu çalışmada kullanılan ve süt ürünleri endüstrisinden anaerobik çürütme sonrası alınan çamur örneğinin NH_4^+ -N ve NO_3^- -N konsantrasyonları sırasıyla 681,26 mg/kg ve 134,52 mg/kg olup, toplam azotun çok küçük bir kısmını oluşturmaktadır (Tablo 1).

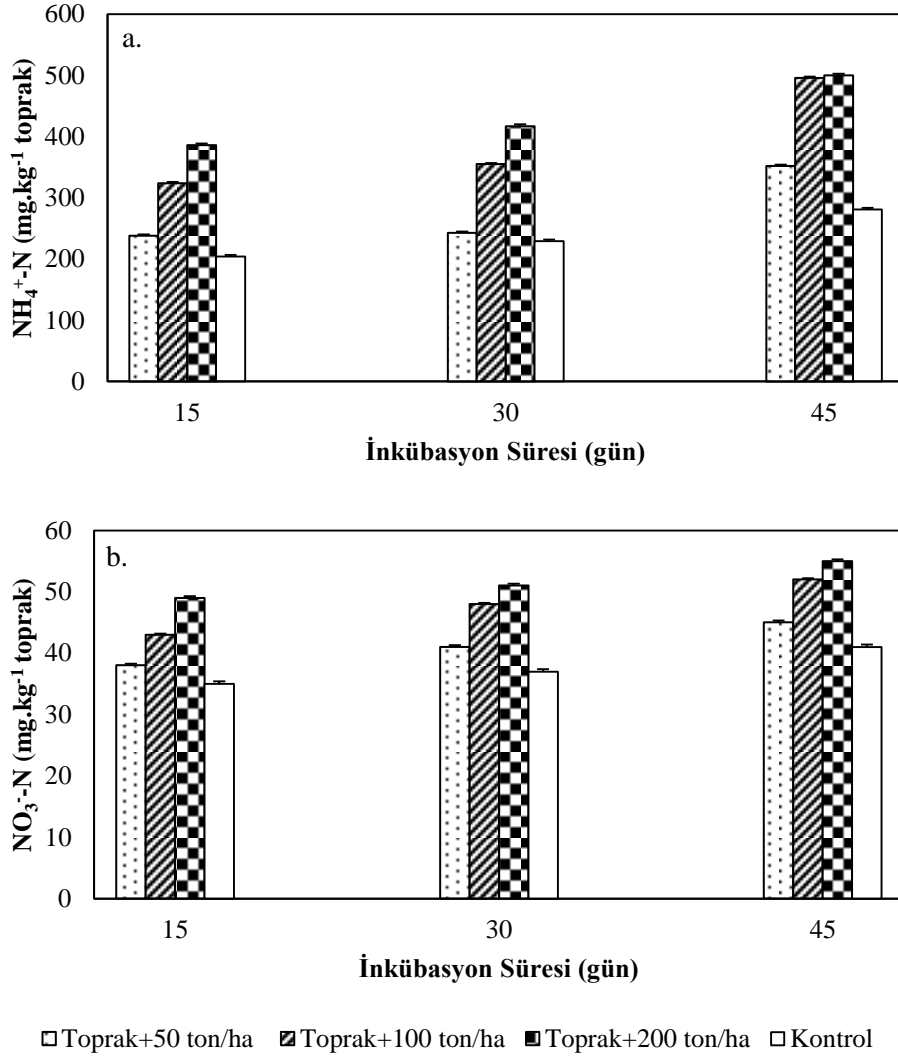
Topraklarda bulunan azotun ise yaklaşık olarak %95'i organik formda, %5'i ise mineral formdadır. Bu çalışmada kullanılan toprak örneğinin NH_4^+ -N konsantrasyonu 110,59 mg/kg iken, NO_3^- -N konsantrasyonu 32,51 mg/kg'dır (Tablo 1). Bu değerler çalışmada kullanılan toprak örneğinde bitkiler için yararlı azot formlarının oldukça düşük seviyelerde bulunduğunu göstermektedir.

Arıtma çamurlarının toprağa uygulanması ile birlikte içerdikleri organik N formlarının bir kısmı toprakta gerçekleşen mineralizasyon prosesi vasıtasıyla NH_4^+ formuna dönüştürülmekte, NH_4^+ formunda bulunan azotun bir kısmı ise özellikle iyi havalanmış topraklarda meydana gelen nitrifikasyon prosesi vasıtasıyla NO_3^- formuna dönüştürülmektedir. Göçmez ve diğ. (2006) yapmış oldukları çalışmada toprak örneklerine yapılan arıtma çamuru uygulaması ile arıtma

çamurlarının yapısında bulunan organik azotun uygulamanın birinci yılında %50'sinin, ikinci yılında ise %5-20'sinin mineralize olup yarıyıllık formlara dönüştüğünü, uygulamayı izleyen üçüncü ve dördüncü yıllarda ise mineralizasyon oranının daha düşük olduğunu bildirmişlerdir.

Bu çalışmada kullanılan anaerobik olarak çürütülmüş çamur örneğinin toprak örneklerine farklı dozlarda uygulanması ile bu örneklerin amonyum ve nitrat azotu konsantrasyonlarında inkübasyon periyodu boyunca meydana gelen değişimler Şekil 3a ve Şekil 3b'de verilmiştir. Bu şekillerden de görüldüğü gibi toprak örneklerine uygulanan çürütülmüş çamur dozunun artması ile birlikte amonyum ve nitrat azotu konsantrasyonları artmıştır. Toprak örneklerinin amonyum azotu konsantrasyonlarında meydana gelen artış değerlendirildiğinde (Şekil 3a), inkübasyonun ilk 15.gününde kontrol toprağının 204 mg/kg olarak belirlenen NH_4^+ -N konsantrasyonu 200 ton/ha uygulama dozunda 386 mg/kg değerine yükselmiştir. İnkübasyonun 30.gününde ise kontrol toprağının NH_4^+ -N konsantrasyonu 229 mg/kg iken 200 ton/ha uygulama dozunda 417 mg/kg değerine yükselmiştir. İnkübasyonun 45.gününe gelindiğinde kontrol toprağının 281 mg/kg olan NH_4^+ -N konsantrasyonu 200 ton/ha uygulama dozunda 500 mg/kg değerine yükselmiştir. Toprak örneklerine uygulanan çürütülmüş çamur dozunun artması ile birlikte amonyum azotu konsantrasyonlarında meydana gelen artışın sebebi çürütülmüş çamur dozunun artmasına bağlı olarak bu örneklerde mineralizasyon prosesi vasıtasıyla NH_4^+ formuna dönüştürülen organik N miktarlarının da artmasıdır. Şekil 3b'de görüldüğü üzere inkübasyonun ilk 15.gününde kontrol toprağının 35 mg/kg olarak belirlenen NO_3^- -N konsantrasyonu 200 ton/ha uygulama dozunda 49 mg/kg değerine yükselmiştir. İnkübasyonun 30.gününde ise kontrol toprağının NO_3^- -N konsantrasyonu 37 mg/kg iken 200 ton/ha uygulama dozunda 51 mg/kg değerine yükselmiştir. İnkübasyonun 45.gününe gelindiğinde kontrol toprağının 41 mg/kg olan NO_3^- -N konsantrasyonu 200 ton/ha uygulama dozunda 55 mg/kg değerine yükselmiştir. Toprak örneklerine uygulanan çürütülmüş çamur dozunun artması ile birlikte nitrat azotu konsantrasyonlarında meydana gelen artışın sebebi ise çürütülmüş çamur dozunun artmasına bağlı olarak toprak örneklerinde nitrifikasyon prosesiyle NO_3^- formuna dönüştürülen NH_4^+ -N miktarının da artmasıdır.

Çürütülmüş çamur uygulaması yapılan toprak örneklerinin amonyum ve nitrat azotu konsantrasyonlarında zamana bağlı olarak meydana gelen değişimler incelendiğinde, amonyum azotu konsantrasyonlarında belirgin bir artış meydana gelirken (Şekil 3a), nitrat azotu konsantrasyonlarında hafif bir artış eğilimi olduğu (Şekil 3b) görülmektedir. İnkübasyonun 15.gününde 50 ton/ha çürütülmüş çamur uygulanan toprak örneklerinin NH_4^+ -N konsantrasyonu 238 mg/kg değerinde iken inkübasyonun 45.gününde 352 mg/kg değerine yükselmiş, inkübasyonun 15.gününde 38 mg/kg olarak belirlenen NO_3^- -N konsantrasyonu ise inkübasyonun 45.gününde 45 mg/kg değerine çıkabilmiştir. 100 ton/ha çürütülmüş çamur uygulanan toprak örneklerinde inkübasyonun 15.gününde 324 mg/kg olarak belirlenen NH_4^+ -N konsantrasyonu inkübasyonun 45.gününde 496 mg/kg değerine yükselirken, inkübasyonun 15.gününde 200 ton/ha çürütülmüş çamur uygulanan toprak örneklerinin 386 mg/kg olarak belirlenen NH_4^+ -N konsantrasyonu inkübasyonun 45.gününde 500 mg/kg değerine yükselmiştir. İnkübasyonun 15.gününde 100 ton/ha ve 200 ton/ha uygulama dozunda sırasıyla 43 mg/kg ve 49 mg/kg olarak belirlenen NO_3^- -N konsantrasyonları ise hafif bir artış eğilimi göstererek 52 mg/kg ve 55 mg/kg değerlerine ulaşabilmiştir. Ayrıca inkübasyon periyodu boyunca farklı dozlarda çürütülmüş çamur uygulanan toprak örneklerinin NH_4^+ -N ve NO_3^- -N konsantrasyonlarının kontrol toprağına göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3:

Farklı Dozlarda Çürütülmüş Çamur Uygulanan Toprakların NH_4^+ -N ve NO_3^- -N Konsantrasyonlarında Zamana Bağlı Olarak Meydana Gelen Değişimler
a. NH_4^+ -N Konsantrasyonlarında Meydana Gelen Değişimler **b.** NO_3^- -N Konsantrasyonlarında Meydana Gelen Değişimler

Zamana bağlı olarak farklı dozlarda çürütülmüş çamur uygulanan toprak örneklerinin NH_4^+ -N ve NO_3^- -N konsantrasyonlarında meydana gelen değişimler genel olarak değerlendirildiğinde, inkübasyon periyodu boyunca amonifikasyon prosesinin nitrifikasyon prosesine göre daha baskın olduğu, mevcut çalışma koşullarında nitrifikasyon prosesinin bir miktar inhibe olduğu anlaşılmaktadır. Nitrifikasyon prosesinde zamana bağlı olarak meydana gelen bu inhibisyonun ise toprak örneklerine yaklaşık %6 oranında katı madde içeren çürütülmüş sulu çamur uygulamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çürütülmüş sulu çamur uygulaması ile iyi havalanamayan toprak örneklerinde oksijen girişi engellenmiş, nitrifikasyon bakterilerinin aktiviteleri sınırlanmıştır.

Swanepoel (2004) yürütmüş olduğu toprak inkübasyon çalışmasında toprak örneklerine 5, 10 ve 20 ton/ha dozunda arıtma çamuru uygulamış ve belirli inkübasyon periyotlarında NH_4^+ -N ve NO_3^- -N konsantrasyonlarını takip etmiştir. İnkübasyon periyodu boyunca NH_4^+ -N içeriğinin kademeli olarak azaldığını, NO_3^- -N içeriğinin ise toprak örneklerinde gerçekleşen nitrifikasyon prosesine bağlı olarak artış eğiliminde olduğunu bildirmiştir. Yine Taşatar ve diğ. (1997)

tarafından yürütülen kısa dönemli bir inkübasyon çalışmasında da benzer sonuçlar rapor edilmiştir.

3.3. Azot Mineralizasyon Potansiyeli

Toprak enzimleri topraklarda meydana gelen yükseltgenme, indirgenme, hidroliz gibi çok sayıda kimyasal, fiziksel ve biyolojik reaksiyonları katalizlemektedir (Caldwell, 2005). Besin döngüleri ve enerji dönüşümlerinde de aktif olarak rol oynayan bu enzimlerin aktivitelerinin tayini, toprak kalitesinin mikrobiyolojik göstergelerinden biri olması açısından önemlidir (Winding ve diğ., 2005). Ayrıca toprak enzimlerinin organik olarak bağlanmış besin maddelerinin bitkiler tarafından alınabilecek inorganik formlara dönüştürülmesinde önemli bir rol oynadığını bildiren çalışmalar da mevcuttur (Speir ve Ross, 1975; Skujins, 1976; Stevenson, 1986).

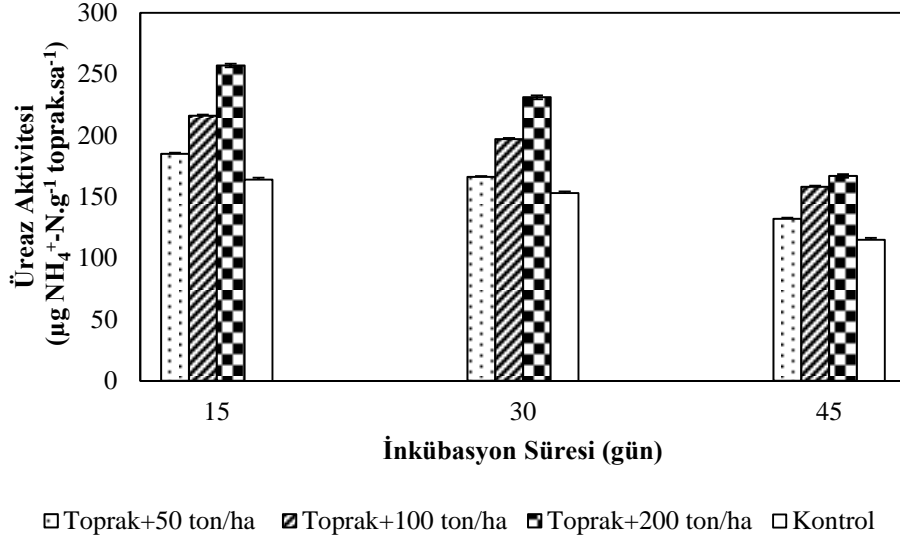
Üreaz, ürenin karbon dioksit ve amonyağa hidrolitik olarak dönüşümünden sorumlu olan bir toprak enzimidir. Toprak örneklerinde üreaz aktivitesinin tayini, N elementinin mineralizasyon sürecinin anlaşılmasında oldukça önemlidir.

Toprak örneklerine yapılan arıtma çamuru uygulamalarının toprak biyolojik ve enzimatik aktivitesi üzerindeki etkilerini bildiren çok sayıda çalışma mevcuttur. Sastre ve diğ. (1996) tarafından yapılan çalışmada arıtma çamuru uygulamasının toprak enzim aktivitelerini arttırdığı bildirilmiştir. Banjeree ve diğ. (1999) tarafından yapılan bir çalışmada da benzer sonuçlar rapor edilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan anaerobik olarak çürütülmüş çamur örneğinin toprak örneklerine farklı dozlarda uygulanması ile bu örneklerin üreaz aktivitelerinde inkübasyon periyodu boyunca meydana gelen değişimler Şekil 4'de verilmiştir. Bu şekilden de görüldüğü üzere toprak örneklerinin üreaz aktiviteleri, uygulanan çürütülmüş çamur dozuna bağlı olarak artmıştır. Bu artışın inkübasyon periyodu boyunca kontrol toprağının üreaz aktivitesine göre %45-57 aralığında olduğu belirlenmiştir. Toprak örneklerine uygulanan çürütülmüş çamur dozunun artması ile birlikte üreaz aktivitelerinde meydana gelen artışın sebebi uygulanan çürütülmüş çamur dozu artışına paralel olarak organik madde miktarının da artmasıdır. Bu organik madde mikroorganizmalar için önemli bir besin kaynağıdır. Dolayısıyla organik madde miktarının artması mikroorganizmalar için besin maddesinin artması anlamına gelmekte ve bu yolla mikrobiyal aktiviteyi arttırmaktadır. Dindar ve diğ. (2015) tarafından yürütülen bir toprak inkübasyon çalışmasında da arıtma çamuru uygulamasının toprak örneklerinin üreaz aktivitelerini arttırdığı ve en yüksek üreaz aktivitesinin 200 ton/ha arıtma çamuru uygulanan toprak örneklerinde tespit edildiği bildirilmiştir. Pascual ve diğ. (1998) tarafından gerçekleştirilen başka bir çalışmada da arıtma çamuru uygulanan toprak örneklerindeki üreaz aktivitesinin kontrol toprağına göre belirgin miktarlarda arttığı rapor edilmiştir.

Çürütülmüş çamur uygulaması yapılan toprak örneklerinin üreaz aktivitelerinde zamana bağlı olarak meydana gelen değişimler incelendiğinde, her üç doz için de zamana bağlı olarak düşme eğilimi olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4). İnkübasyonun 15.gününde kontrol toprağı için 164 µg/g.sa olan üreaz aktivitesi, inkübasyonun 45.gününde 115 µg/g.sa değerine düşmüştür. 50 ton/ha çürütülmüş çamur uygulanan toprak örneklerinin üreaz aktivitesi ise inkübasyonun 15.gününde 185 µg/g.sa değerinde iken, 45.gününde 132 µg/g.sa değerine düşmüştür. Ayrıca 100 ton/ha çürütülmüş çamur uygulanan toprak örneklerinin üreaz aktivitesinde zamana bağlı olarak meydana gelen düşüşün 50 ton/ha ve 200 ton/ha çürütülmüş çamur uygulanan toprak örneklerinden daha az olduğu tespit edilmiştir. Üreaz aktivitesinde zamana bağlı olarak meydana gelen en belirgin düşüş ise 200 ton/ha çürütülmüş çamur uygulanan toprak örneklerinde gözlenmiştir. Farklı dozlarda çürütülmüş çamur uygulanan toprak örneklerinin üreaz aktivitelerinde zamana bağlı olarak meydana gelen bu düşüşün toprakta gerçekleşen mineralizasyon prosesi uyarınca organik N formlarının NH₄⁺-N formlarına dönüşmesi sonucunda toprak pH'sının düşmesinden kaynaklandığı öngörülmektedir. Ayrıca zamana bağlı olarak ortamda mevcut olan substrat miktarının mikrobiyal faaliyetler sonucunda azalmasının toprak örneklerinin üreaz aktivitesinde kademeli olarak bir düşüş meydana getirebileceği

düşünülmektedir. Kakhki ve diğ. (2008) de yürüttükleri 90 günlük bir inkübasyon çalışmasının sonunda arıtma çamuru uygulanan toprak örneklerinin üreaz aktivitelerinde belirgin bir düşüşün meydana geldiğini bildirmişlerdir. Yine Dindar ve diğ. (2010) tarafından yapılan başka bir çalışmada arıtma çamuru uygulanan toprak örneklerinin üreaz aktivitesinde zamana bağlı olarak hafif bir düşme eğilimi olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4:

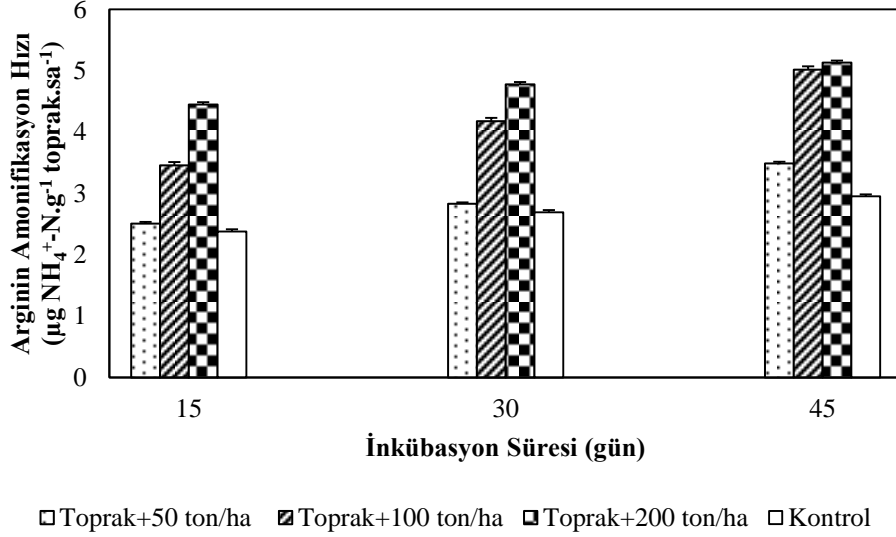
Farklı Dozlarda Çürütülmüş Çamur Uygulanan Toprakların Üreaz Aktivitesinde Zamana Bağlı Olarak Meydana Gelen Değişimler

Şekil 5’de farklı dozlarda çürütülmüş çamur uygulanan toprak örneklerinin arginin amonifikasyon hızlarında inkübasyon periyodu boyunca meydana gelen değişimler verilmiştir. Arginin 20 temel aminoasitten biridir ve çok sayıda mikroorganizma türü tarafından C ve N kaynağı olarak kullanılmaktadır. Arginin mikroorganizmalar tarafından arginin-üreaz ya da arginaz-üre amidolaz, arginin transmidinaz, arginin deiminaz ve arginin dekarboksilaz olmak üzere dört temel yolla katabolize edilmektedir. Arginin transmidinaz hariç diğer bütün yollarda son ürün NH_4^+ ’dır (Abdelal, 1979). Arginin amonifikasyonu N mineralizasyon kapasitesini yansıması açısından oldukça önemlidir.

Şekil 5’den de görüldüğü üzere toprak örneklerinin arginin amonifikasyon hızları, uygulanan çürütülmüş çamur dozuna bağlı olarak artmıştır. Bu artışın inkübasyon periyodu boyunca kontrol toprağının arginin amonifikasyon hızına göre %74-87 aralığında olduğu belirlenmiştir. Toprak örneklerine uygulanan çürütülmüş çamur dozunun artması ile birlikte arginin amonifikasyon hızlarında meydana gelen bu artışın sebebi uygulanan çürütülmüş çamur dozunun artmasına bağlı olarak ortamda bulunan organik N miktarının artması ve böylelikle N mineralizasyon hızının artmasıdır. Bonde ve diğ. (2001) de yapmış oldukları çalışmada arginin amonifikasyon hızının N mineralizasyon hızı için önemli bir gösterge olduğunu bildirmişler, arginin amonifikasyon hızında meydana gelen artışın toprak örneklerindeki heterotrofik mikrobiyal aktivite ile doğrudan ilişkili olduğunu rapor etmişlerdir.

Çürütülmüş çamur uygulaması yapılan toprak örneklerinin arginin amonifikasyon hızlarında zamana bağlı olarak meydana gelen değişimler incelendiğinde, arginin amonifikasyon hızlarının her üç doz için de zamana bağlı olarak artış eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir. İnkübasyonun 15.gününde kontrol toprağı için 2,38 $\mu\text{g/g.sa}$ olan arginin amonifikasyon hızı, inkübasyonun 45.gününde 2,95 $\mu\text{g/g.sa}$ değerine yükselmiştir. 50 ton/ha çürütülmüş çamur uygulanan toprak örneklerinin arginin amonifikasyon hızı ise inkübasyonun 15.gününde 2,51 $\mu\text{g/g.sa}$ değerinde

iken, 45.gününde 3,49 $\mu\text{g/g}$.sa değerine yükselmiştir. Ayrıca 100 ton/ha çürütülmüş çamur uygulanan toprak örneklerinin arginin amonifikasyon hızında zamana bağlı olarak meydana



Şekil 5:
Farklı Dozlarda Çürütülmüş Çamur Uygulanan Toprakların Arginin Amonifikasyon Hızında Zamana Bağlı Olarak Meydana Gelen Değişimler

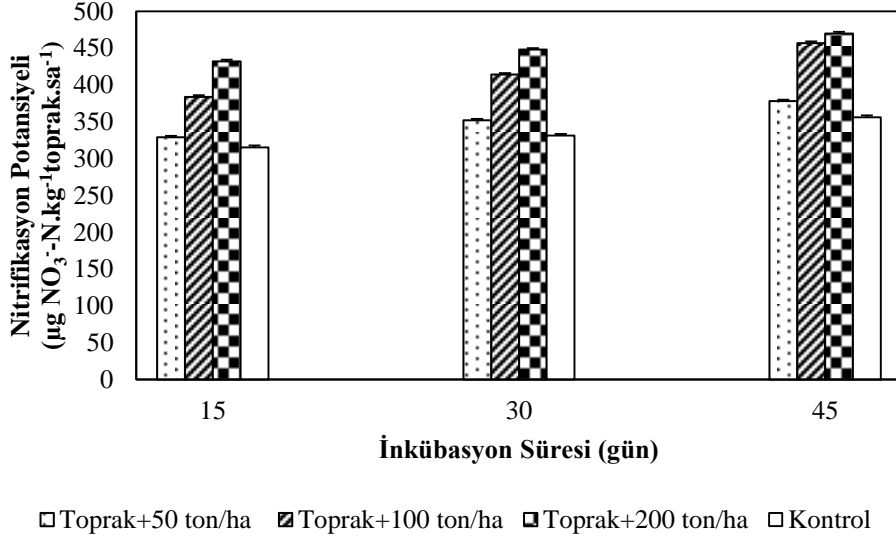
gelen artışın 50 ton/ha ve 200 ton/ha çürütülmüş çamur uygulanan toprak örneklerinden daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Arginin amonifikasyon hızında zamana bağlı olarak meydana gelen en az artış ise 200 ton/ha çürütülmüş çamur uygulanan toprak örneklerinde gözlenmiştir. Her üç doz için de toprak örneklerinin arginin amonifikasyon hızlarında zamana bağlı olarak meydana gelen bu artış, zamana bağlı olarak N mineralizasyon hızının da artması ile ilişkilendirilebilir. Abd Elsalam ve diğ. (2016) tarafından yürütülen bir çalışmada da arıtma çamuru uygulanan toprak örneklerinin arginin amonifikasyon hızlarının kontrol toprağına nazaran önemli derecede yüksek olduğu bildirilmiştir. Aynı çalışmada çamur uygulanan toprak örneklerinin arginin amonifikasyon hızlarının inkübasyon periyodu boyunca arttığı rapor edilmiştir.

3.4. Nitrifikasyon Potansiyeli

Şekil 6'da farklı dozlarda çürütülmüş çamur uygulanan toprak örneklerinin inkübasyon periyodu boyunca nitrifikasyon potansiyellerinde meydana gelen değişimler verilmiştir. Toprak örneklerinin nitrifikasyon potansiyellerinin belirlenmesi ortamda mevcut olan NH_4^+ formundaki azotun nitrifiye olma potansiyeli hakkında bilgi vermesi açısından önemlidir. Toprak örneklerinin nitrifikasyon potansiyelleri toprak nem, toprak havalanması, toprak pH'sı, toprak tekstürü, toprak işleme uygulamaları gibi çok sayıda faktöre bağlı olarak değişmektedir.

Şekil 6'dan da görüldüğü üzere toprak örneklerinin nitrifikasyon potansiyelleri, uygulanan çürütülmüş çamur dozuna bağlı olarak artmıştır. Bu artışın inkübasyon periyodu boyunca kontrol toprağının nitrifikasyon potansiyeline göre %32-37 aralığında olduğu belirlenmiştir. Toprak örneklerinin nitrifikasyon potansiyellerinde uygulanan çürütülmüş çamur dozunun artmasına paralel olarak meydana gelen bu artış, çürütülmüş çamur uygulamasının nitrifikasyon potansiyelleri üzerinde olumlu etkisi olduğunu açıkça göstermektedir. Abd Elsalam ve diğ. (2016) tarafından yürütülen bir çalışmada toprak örneklerine 80 g/kg ve 160 g/kg dozunda arıtma çamuru uygulanmış ve 80 günlük bir toprak inkübasyon çalışması yürütülmüştür. Bu çalışmada da inkübasyon periyodu boyunca arıtma çamuru uygulanan toprak örneklerinin NO_3^- -N içeriklerinin kontrol toprağından daha yüksek olduğu, en yüksek NO_3^- -N

konsantrasyonlarının ise 80 g/kg arıtma çamuru uygulanmış toprak örneklerinde tespit edildiği bildirilmiştir.



Şekil 6:

Farklı Dozlarda Çürütülmüş Çamur Uygulanan Toprakların Nitrifikasyon Potansiyelinde Zamana Bağlı Olarak Meydana Gelen Değişimler

Çürütülmüş çamur uygulaması yapılan toprak örneklerinin nitrifikasyon potansiyellerinde zamana bağlı olarak meydana gelen değişimler incelendiğinde, nitrifikasyon potansiyellerinin her üç doz için de zamana bağlı olarak artış eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir. İnkübasyonun 15.gününde kontrol toprağı için 315 µg/kg.sa olan nitrifikasyon potansiyeli, inkübasyonun 45.gününde 356 µg/kg.sa değerine yükselmiştir. 50 ton/ha çürütülmüş çamur uygulanan toprak örneklerinin nitrifikasyon potansiyeli ise inkübasyonun 15.gününde 329 µg/kg.sa değerinde iken, 45.gününde 378 µg/kg.sa değerine yükselmiştir. Ayrıca 100 ton/ha çürütülmüş çamur uygulanan toprak örneklerinin nitrifikasyon potansiyellerinde zamana bağlı olarak meydana gelen artışın 50 ton/ha ve 200 ton/ha çürütülmüş çamur uygulanan toprak örneklerinden daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Nitrifikasyon potansiyellerinde zamana bağlı olarak meydana gelen en az artış ise 200 ton/ha çürütülmüş çamur uygulanan toprak örneklerinde gözlenmiştir. Farklı dozlarda çürütülmüş çamur uygulanan bu toprak örneklerinin nitrifikasyon potansiyellerinde zamana bağlı olarak meydana gelen bu artış toprak örneklerinin ortamda mevcut olan NH_4^+ formundaki azotu NO_3^- formundaki azota okside edebilme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Ancak bu değerler farklı dozlarda çürütülmüş çamur uygulanan toprak örneklerinin NO_3^- -N konsantrasyonlarında zamana bağlı olarak meydana gelen değişimlerle (Şekil 3b) birlikte değerlendirildiğinde mevcut ortam koşullarında nitrifikasyon prosesinin bir miktar inhibe olduğu, bu inhibisyonunda kötü havalanma koşullarından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

4. SONUÇ

Süt ürünleri endüstrisinden anaerobik çürütme sonrası alınan ve yaklaşık %6 oranında katı madde içeren çürütülmüş çamur örneğinin 50 ton/ha, 100 ton/ha ve 200 ton/ha dozlarında toprak örneklerine uygulanarak, bu örneklerde çeşitli azot prosesleri üzerindeki etkisinin incelendiği bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- ❖ Toprak örneklerinin toplam azot konsantrasyonları bu örneklere uygulanan ve azot içeriği bakımından zengin olan çürütülmüş çamur dozunun artmasına bağlı olarak inkübasyon periyodu boyunca artmıştır. Bu artışın inkübasyonun ilk 15.gününde daha belirgin olarak meydana geldiği tespit edilmiştir. Toprak örneklerinin toplam azot konsantrasyonlarında zamana bağlı olarak meydana gelen değişimler incelendiğinde ise inkübasyonun 15.gününde 50 ton/ha, 100 ton/ha ve 200 ton/ha çürütülmüş çamur uygulanan toprak örnekleri için sırasıyla 3449 mg/kg, 4328 mg/kg ve 5905 mg/kg olarak belirlenen toplam azotun inkübasyonun 45.gününe gelindiğinde %5-10 oranlarında ortamdan NH₃ formunda buharlaşması nedeniyle hafif bir azalma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir.
- ❖ Toprak örneklerinin NH₄⁺-N ve NO₃⁻-N konsantrasyonlarında uygulanan çürütülmüş çamur dozunun artmasına paralel olarak gözlenen değişimler ise benzerlik göstermektedir. Toprak örneklerine uygulanan çürütülmüş çamur dozunun artmasıyla birlikte ortamda bulunan organik N bileşiklerinin artması hem mineralizasyon prosesi vasıtasıyla oluşan NH₄⁺-N konsantrasyonlarını, hem de nitrifikasyon prosesi vasıtasıyla oluşan NO₃⁻-N konsantrasyonlarını arttırmıştır. Farklı dozlarda çürütülmüş çamur uygulanan bu toprak örneklerinin NH₄⁺-N ve NO₃⁻-N konsantrasyonlarında zamana bağlı olarak meydana gelen değişimler incelendiğinde inkübasyonun 15.gününde 50 ton/ha, 100 ton/ha ve 200 ton/ha çürütülmüş çamur uygulanan toprak örnekleri için sırasıyla 238 mg/kg, 324 mg/kg ve 386 mg/kg olarak belirlenen NH₄⁺-N konsantrasyonlarının inkübasyonun 45.gününe gelindiğinde %30-53 oranlarında belirgin bir şekilde arttığı, 38 mg/kg, 43 mg/kg ve 49 mg/kg olarak belirlenen NO₃⁻-N konsantrasyonlarının inkübasyonun 45.gününe gelindiğinde %12-21 oranlarında hafif bir artış eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlardan toprak örneklerinde gerçekleşen amonifikasyon prosesinin nitrifikasyon prosesine göre daha baskın olduğu ve mevcut çalışma koşullarında nitrifikasyon prosesinin bir miktar inhibe olduğu anlaşılmaktadır.
- ❖ Toprak örneklerine uygulanan çürütülmüş çamur dozunun artması ile birlikte toprak mikroorganizmaları için besin kaynağı olan organik madde miktarının artması, bu örneklerin üreaz aktivitelerinde belirgin bir artış meydana getirmiştir. Ancak çürütülmüş çamur dozunun artması ile birlikte ortamda biriken toksik metaboliklerin artmasının 200 ton/ha çürütülmüş çamur uygulanan toprak örneklerinin üreaz aktivitelerinde beklenenin altında bir artış meydana gelmesine sebep olduğu düşünülmektedir. Ayrıca toprak örneklerinde baskın olarak gerçekleşen N mineralizasyon prosesi nedeniyle ortam pH'sının düşmesi ve ortamdaki substrat miktarının azalması üreaz aktivitelerinde zamana bağlı olarak bir düşüş meydana getirmiştir. Bu düşüşün en belirgin olduğu toprak örnekleri ise 200 ton/ha çürütülmüş çamur uygulanan toprak örnekleridir.
- ❖ Toprak örneklerinin arginin amonifikasyon hızları bu örneklere uygulanan çürütülmüş çamur dozunun artması ile birlikte artmıştır. Bu artış eğiliminin inkübasyonun ilk 15.gününde daha belirgin olduğu gözlenmiştir. Toprak örneklerine uygulanan çürütülmüş çamur dozunun artmasıyla NH₄⁺-N konsantrasyonlarında meydana gelen artışın da bu bilgileri doğrular nitelikte olduğu tespit edilmiştir. Toprak örneklerinin arginin amonifikasyon hızlarında zamana bağlı olarak meydana gelen değişimler incelendiğinde ise her üç uygulama dozu için N mineralizasyon hızının arttığı gözlenmiştir. Arginin amonifikasyon hızlarında zamana bağlı olarak meydana gelen en belirgin artışın 100 ton/ha çürütülmüş çamur uygulanan toprak örneklerinde olduğu tespit edilmiştir.
- ❖ Toprak örneklerinin nitrifikasyon potansiyelleri ise arginin amonifikasyon hızlarıyla benzer bir eğilim göstererek uygulanan çürütülmüş çamur dozunun artması ile birlikte artmıştır. Nitrifikasyon potansiyellerinde zamana bağlı olarak meydana gelen değişimler

incelendiğinde de her üç uygulama dozu için artış eğilimi olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bu veriler toprak örneklerinin ortamda mevcut olan NH_4^+ formundaki azotu NO_3^- formundaki azota okside edebilme potansiyelinin yüksek olduğunu göstermektedir. Ancak bu veriler NO_3^- -N konsantrasyonlarında zamana bağlı olarak meydana gelen değişimlerle birlikte değerlendirildiğinde, mevcut ortam koşullarında nitrifikasyon prosesinin bir miktar inhibe olduğu görülmekte, bu inhibisyonun da kötü havalanma koşullarından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Laboratuvar koşullarında 45 gün boyunca yürütülen bu çalışmada, organik madde ve bitki besin elementleri açısından zengin olan ve süt ürünleri endüstrisinden temin edilen yaklaşık %6 oranında katı madde içeren çürütülmüş çamurun yönetmelik kriterleri dahilinde uygun doz seçmek ve Mekanik Ayırma, Biyokurutma ve Biyometanizasyon Tesisleri ile Fermente Ürün Yönetimi Tebliği'ndeki diğer şartları yerine getirmek kaydı ile azot prosesleri bakımından tarımsal verimliliği arttırmak için kullanılan azotlu gübrelere bir alternatif olarak değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

1. Abdelal, A.T. (1979) Arginine catabolism by microorganisms, *Annual Review of Microbiology*, 33, 139-168. doi: 10.1146/annurev.mi.33.100179.001035
2. Abd Elsalam, H.E., Saleh, D.I., El Sharnouby, M.E., Mahmoud, S.F. ve Yasser, E.H. (2016) Soil enzymes activities as bio-indicators for soil contamination by heavy metals from sewage sludge application, *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 7(5), 3005.
3. Alef, K. ve Kleiner, D. (1986) Arginine ammonification, a simple method to estimate microbial activity potentials in soil, *Soil Biology and Biochemistry*, 18, 233-235. doi: 10.1016/0038-0717(86)90033-7
4. American Public Health Association (1998) Standard methods for the examination of water and wastewater, Washington, DC, USA: APHA-AWWA-WPCF.
5. Arcak, S., Türkmen, C., Karaca, A. ve Erdoğan, E. (2000) A study on potential agricultural use of sewage sludge of Ankara Waste Water Treatment Plant, *International Symposium on Desertification (ISD)*, Konya, 345-349.
6. Aydın, S. (2004) Atık su arıtma tesisi çamurlarının değişik amaçlarla kullanımının araştırılması, *Doktora Tezi*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
7. Banerjee, A.K. ve Dick, R.P. (1999) Field management effects on soil enzyme activities, *Soil Biology and Biochemistry*, 31, 1471-1479. doi: 10.1016/S0038-0717(99)00051-6
8. Benton Jones, J. J. (1984) A laboratory guide of exercises in conducting soil tests and plant analysis, Benton Laboratories, Georgia, USA.
9. Bilgin, N., Eyüpoğlu, H. ve Üstün, H. (2002) *Biyokatıların arazide kullanımı*, Köy Hizmetleri Ankara Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Ankara.
10. Bonde, T.A, Nielsen, T.H. ve Sorenson, J. (2001) Arginine ammonification assay as a rapid index of gross N mineralization in agricultural soils, *Biology and Fertility of Soils*, 34, 179-184. doi: 10.1007/s003740100395
11. Bremner, J.M. ve Mulvaney, C.S. (1982) Nitrogen-total, In: Page, A.L., Miller, R.H. (Eds.), *Methods of Soil Analysis*, Part 2, Agronomy Monograph, ASA and SSSA, Madison, WI, 595-624.

12. Caldwell, B. (2005) Enzyme activities as a component of soil biodiversity: a review, *Pedobiologia*, 49, 637-644. doi: 10.1016/j.pedobi.2005.06.003
13. Cataldo, D.A., Haroon, M., Schrader, L.E. ve Young, V.L. (1975) Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 71-80. doi: 10.1080/00103627509366547
14. Dindar, E., Topaç Şağban, F.O. ve Başkaya, H.S. (2010) Stabilize arıtma çamurlarının topraktaki azot ve üreaz aktivitesine etkileri, *İTÜ dergisi*, 20(1), 29-38.
15. Dindar, E., Topaç Şağban, F.O. ve Başkaya, H.S. (2015) Evaluation of soil enzyme activities as soil quality indicators in sludge-amended soils, *Journal of Environmental Biology*, 36(4), 19-26.
16. Gezgin, S. (2018) Türkiye topraklarının organik madde durumu, organik madde kaynaklarımız ve kullanımı, *Organomineral Gübre Çalıştayı*, İstanbul, 12-16.
17. Göçmez, S. (2006) Menemen ovası topraklarında İZSU kentsel arıtma çamuru uygulamalarının mikrobiyal aktivite ve biyomas ile bazı fiziksel ve kimyasal toprak özellikleri üzerine etkisi, *Doktora Tezi*, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
18. Hart, S.C., Stark, J.M., Davidson, E.A., Firestone, M.K. (1994) Nitrogen mineralisation, immobilization, and nitrification, In: Page, R.W. Weaver, J.S. Angle, B.S. Bottomley (Eds.), *Methods of Soil Analysis*, Part 2: Microbiological and Biochemical Properties, ASA and SSSA, Madison, WI, 985-1018.
19. Kakhki, F.V., Haghnia, G. ve Lakzian, A. (2008) Effect of enriched sewage sludge on soil urease activity, *Soil & Environment*, 27(2), 143-147.
20. Keeney, D.R. ve Nelson, D.W. (1982) Nitrogen inorganic forms, In: Page, A.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis*, Part 2, Agronomy Monograph, ASA and SSSA, Madison, WI, 643-698.
21. Korbulewsky, N., Dupouyet, S. ve Bonin, G. (2002) Environmental risk of applying sewage sludge compost vineyards; carbon, heavy metal nitrogen and phosphorus accumulation, *Journal of Environmental Quality*, 31, 1522-1527. doi: 10.2134/jeq2002.1522
22. Kumari, S., Sinha, R.P. (2011) Symbiotic and asymbiotic N₂ fixation, *Advances in Life Sciences*, 133-148.
23. McLean, E.O. (1982) Soil pH and lime requirement, In: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds.), *Methods of Soil Analysis*, Part 2: Chemical and Microbiological Properties, American Society of Agronomy, Madison, WI, 199-224.
24. Menelik, G., Reneau, R.B., Martens, Jr.D.C. ve Simpson, T.W. (1991) Yield and elemental composition of wheat grain as influenced by source and rate of nitrogen, *Journal Of Plant Nutrition*, 14(2), 205-217. doi: 10.1080/01904169109364195
25. Navas, A., Bermudez, F. ve Machin, J. (1998) Influence of sewage sludge application on physical and chemical properties of gypsisols, *Geoderma*, 87, 123-135. doi: 10.1016/S0016-7061(98)00072-X
26. Odegaard, H. ve Rusten, B. (1980) Nitrogen removal in rotating biological contactors without the use of external carbon source, *First National Symposium, Workshop on Tecnology Champion*, Pennsylvania. doi: 10.5956/jriet.9.493
27. 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. doi: 10.1016/S0960-8524(97)00171-5

28. Rhoades, J.D. (1982) Cation exchange capacity, In: Page A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties*, American Society of Agronomy, Madison, WI, 149-158.
29. 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. doi: 10.1016/j.jhazmat.2007.11.012
30. Sastre, I., Vicente, M.A. ve Lobo, M.C. (1996) Influence of the application of sewage sludges on soil microbial activity, *Bioresource Technology*, 57, 19-23. doi: 10.1016/0960-8524(96)00035-1
31. Skujins, J. (1976) Extracellular enzymes in soil, *Critical Reviews in Microbiology*, 4, 383-421.
32. Speir, T.W. ve Ross, D.J. (1975) Effects of storage on the activities of protease, urease, phosphatase, and sulphatase in three soils under pasture, *New Zealand Journal of Soil Science*, 18, 231-237.
33. Stevenson, F.J. (1986) Cycles of soil-carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients, *Wiley Inter Science Publication*, New York.
34. Swanepoel, C.M. (2004) Nitrogen dynamics in sewage sludge and commercial fertilizer enriched soils, Faculty of Biological and Agricultural Science University of Pretoria.
35. Tabatabai, M.A. (1994) Soil enzymes, *Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties*, Agronomy Monograph, ASA and SSSA, Madison, Wisconsin, USA, 903-943.
36. Taşatar, B. (1997) Endüstriyel nitelikli arıtma çamurlarının bazı toprak özellikleri üzerine etkileri, *Doktora Tezi*, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
37. Thompson, T. (1996) Agricultural Fertilizers as a Source of Pollution, In:Page Pepper, I.L., Gerba, C.P. ve Brusseau, M.L., *Pollution Science*, Academic Press, San Diego, CA, 211-223.
38. Utsching, J.M., Barbarick, K.A., Westfall, D.G., Follett, R.H. ve McBride, T.M. (1986) Evaluating crop response liquid sludge vs. nitrogen-fertilizer, *Biocycle*, 27(7), 30-33.
39. Vigil, M.F. ve Kissel, D.E. (1991) Equations for estimating the amount of nitrogen mineralized from crop residues, *Soil Science Society of America Journal*, 55, 757-761. doi: 10.2136/sssaj1991.03615995005500030020x
40. Viessman, W. (1985) *Water supply and pollution control*, University of Florida, 692-709.
41. Watson, S.W., Valois, F.W. ve Waterbury, J.B. (1981) The family nitrobacteraceae, *The Prokaryotes*, Starr, M.P. ve diğ., New York city, Springer-Verlag.
42. Winding, A., Hund-Rinke, K. ve Rutgers, M. (2005) The use of microorganisms in ecological soil classification and assessment concept, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 62, 230-248. doi: 10.1016/j.ecoenv.2005.03.026