

ARITMA ÇAMURU VE VERMİKOMPOST UYGULANMASININ BAZI TOPRAK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Selnur UÇAROĞLU *^{ID}
Aybüke YEŞİL **^{ID}

Alınma: 09.10.2024; düzeltme: 01.11.2024; kabul: 05.11.2024

Öz: Toprak kalitesini iyileştirmek için çeşitli organik maddeler kullanılır ve yüksek azot içeriği ve bulunabilirliği nedeniyle arıtma çamuru ve vermikompost (solucan gübresi) tercih edilen toprak düzenleyicileri arasındadır. Bu çalışma, gıda endüstrisinden gelen arıtma çamurunun ve inek gübresinden elde edilen vermikompostun toprak özellikleri ve azot süreçleri üzerindeki etkilerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Özellikle, arıtma çamuru ve vermikompost, alan topraklara 150 kg N/da azot sağlamak için uygulanmış ve topraklar 90 gün boyunca inkübe edilmiştir. pH, elektriksel iletkenlik, toplam azot, amonyum azotu ve nitrat azotu 0, 30, 60 ve 90. günlerde izlenmiştir. Toprağa organik atıkların eklenmesi, izlenen tüm parametreleri artırmıştır. Her iki organik düzenleyici de mikrobiyal aktiviteyi artırarak topraktaki toplam azot, amonyum azotu ve nitrat azotu seviyelerini önemli ölçüde artırmıştır ve artış özellikle arıtma çamuru uygulanan topraklarda daha belirgin olmuştur. Arıtma çamuru ve vermikompostun, yasal düzenlemelerdeki gereklilikleri karşıladıkları takdirde diğer geleneksel azotlu gübrelere alternatif olabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Arıtma çamuru, Azot formları, Toprak, Vermikompost

The Effect of Treatment Sludge and Vermicompost Application on Some Soil Properties

Abstract: Various organic materials are used to improve soil quality, and due to their high nitrogen content and availability, treatment sludge and vermicompost (worm compost) are among the preferred soil conditioners. This study aimed to evaluate the effects of treatment sludge from the food industry and vermicompost derived from cow manure on soil properties and nitrogen processes. Specifically, treatment sludge and vermicompost were applied to supply 150 kg N/da of nitrogen to the field soils, and the soils were incubated for 90 days. pH, electrical conductivity, total nitrogen, ammonium nitrogen, and nitrate nitrogen were monitored on the 0th, 30th, 60th, and 90th days. The addition of organic wastes to the soil increased all the monitored parameters. Both organic conditioners significantly increased the levels of total nitrogen, ammonium nitrogen, and nitrate nitrogen in the soil by enhancing microbial activity, with the increase being more pronounced in soils treated with treatment sludge. It is thought that treatment sludge and vermicompost could be alternatives to other conventional nitrogenous fertilizers, provided that they meet the requirements of legal regulations.

Keywords: Treatment sludge, Nitrogen forms, Soil, Vermicompost

* Yazar 1 Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 16059, Nilüfer/BURSA

** Yazar 2 Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 16059, Nilüfer/BURSA

İletişim Yazarı: Selnur Uçaroğlu (selnur@uludag.edu.tr)

1. GİRİŐ

Tarımsal üretim, mevcut doğal kaynakların kıtlığı, artan nüfus, iklim deđiŐikliđi ve bozulmuş topraklar nedeniyle tehdit altındadır. Kentleşme ve sanayileşme sonucu toprağa karışan zararlı maddelerin oranı gün geçtikçe artmakta ve bu durum toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik yapısını olumsuz yönde etkilemektedir. Dünyanın artan nüfusunu beslemek için, tarımsal üretimi sürdürülebilir bir şekilde artırırken aynı zamanda faaliyetlerin olumsuz etkilerini azaltan kalkınma stratejileri uygulanmalıdır (Sazali ve diğ., 2024).

Mevcut toprakların daha verimli kullanılabilmesi, topraktaki organik madde miktarına bağlıdır (Dindaroğlu ve diğ., 2015). Toprakta endüstriyel ve çevresel kirlilik sonucu azalan organik maddeleri, kompostlanmış malzemeler (Dindaroğlu ve diğ., 2015), suni ve doğal gübreleme (Şartlan ve Koçyiğit, 2013) gibi yöntemlerle artırmak üzere çalışmalar yapılmıştır. Doğal gübreler, sentetik inorganik gübrelerin yerine getiremediği kritik işlevleri yerine getirir: toprağın fiziksel yapısını iyileştirir, organik madde içeriğini artırır, mantar ve bakteri faaliyetlerini teşvik eder ve ötrofikasyonu en aza indirir (Sazali ve diğ., 2024). Organik modifikasyonlar veya organik ürün kalıntılarının kullanılması da topraktaki organik maddeyi artırır (Hannachi ve diğ., 2015).

Toprak iyileştirici organik maddelerin toprağa eklenmesi, mahsul üretkenliğini, toprak verimliliğini ve kalitesini artırabilir (Al-Busaidi ve diğ., 2020). Toprak verimliliği, toprağın bitkinin sürekli büyümesi ve gelişmesi için gerekli besin maddelerini sağlama yeteneğini ifade eder. Toprağın yoğunluğunu, verimliliğini ve üretkenliğini artırmak için kullanılan birçok organik modifikasyon kaynağı ve formu vardır. Toprak ıslah maddelerinin eklenmesi çeşitli gözlemlenebilir toprak özelliklerini etkileyebilir. Gübre veya kompost eklenen topraklar daha yüksek elektriksel iletkenlik değerleri sergilemiştir (Loper ve diğ., 2010). 2050 yılına kadar azotlu gübre kullanımının iki katına çıkarak çevresel emisyonları önemli ölçüde arttırması beklenmektedir (Galloway ve diğ., 2008). Bu durum toprak asiditesini arttırarak mikroorganizma aktivitesini olumsuz yönde etkiler. Mikrobiyal popölasyonlar, diğer işlevlerinin yanı sıra toprakta ayrışmayı ve besin döngüsünü kontrol eder (Delibacak ve diğ., 2020). Topraktaki azot mineralizasyon süreci, toprak biyojeokimyasının karmaşık ve önemli bir yönüdür. Topraktaki azotun bitkiler tarafından kullanılabilir hale gelmesi bu döngüye bağlıdır (Satti, 2018). Tarımsal topraklarda, azot parametrelerinin analizi toprak kirliliğini tespit etmek için önemli bir gösterge olabilir (Adhikari ve diğ., 2016). Organik ve organomineral gübreler gibi çeşitli organik maddeler toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini etkilemektedir. Arıtma çamuru, kompost, vermikompost, biyokömür, leonardit gibi organik maddeler tarım topraklarına uygulanabilmektedir.

Arıtma çamuru yönetimi, modern belediye atık su arıtma tesisleri için çok önemli bir konudur. Çamurdaki besin maddelerini kaybetmemek, çamurun içeriğinden ve enerjisinden faydalanmak ve çamuru verimli ve sürdürülebilir bir şekilde bertaraf etmek önemlidir (Delibacak ve diğ., 2020). Arıtma çamurları içerdiği yüksek mineral sebebiyle eklendiği toprakta toplam azot, fosfor ve potasyum gibi elementlerde artışa sebep olur (Loper ve diğ., 2010). Yapılan birçok çalışmada, stabilize edilmiş arıtma çamurunun, içerdiği azot, fosfor ve diğer mikro besin elementleri sayesinde toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirmek için toprakta gübre olarak kullanılabileceği belirlenmiştir (Halecki ve diğ., 2016; Koyuncu, 2022). Bu doğrultuda, gübre olarak kullanılan arıtma çamurunun toprağın besin değerini iyileştirmesi, toprağın fizikokimyasal özelliklerindeki değişiklikler ve bitki büyümesi ve verimliliği üzerindeki etkileri araştıran birçok çalışma yapılmıştır (Ajeng ve diğ., 2020; Börjesson ve Kätterer, 2018; Eid ve diğ., 2020; Grobelak ve diğ., 2017). Korboulewsky ve diğ. (2002) yaptıkları çalışmada, güneydoğu Fransa'daki bir bağda 10, 30 ve 90 t/ha taze ağrılık oranlarında uygulanan kanalizasyon çamuru kompostunun, azot mineralizasyonuna ve toprak organik maddesine etkilerini araştırmışlardır. Ek olarak ağır metallerin toprakta sızması ve birikmesi gibi çevresel risklerini değerlendirmişlerdir. Tüm dozlarda toprak organik maddesinin ve mineral azotun arttığı, ancak çamur kompostunun çok

düşük seviyelerde ağır metal içermesi nedeniyle toplam ve kullanılabilir ağır metal konsantrasyonlarının artmadığı bulunmuştur. Arıtma çamurunun içermiş olduğu ağır metal ve organik bileşikler mikroorganizma aktivitesi üzerinde de etkilidir. Yapılan bir çalışmada, farklı dozlarda (0, 100, 200 ve 300 t/ha kuru ağırlık) ve farklı C/N oranlarında (3:1, 6:1 ve 9:1) kentsel arıtma çamurunun, killi tınlı toprakta enzim aktiviteleri ve ağır metalleri arttırdığı tespit edilmiştir. En yüksek enzim aktivitesi, düşük C/N oranı ve en yüksek çamur dozu uygulanmış toprakta gözlenmiştir (Kizilkaya ve Bayraklı, 2005). Dindar ve diğ. (2010) tarafından yapılan çalışmada 34 günlük inkübasyon sonucu ilave edilen arıtma çamurunun topraktaki azot mineralizasyonunu ve üreaz aktivitesini arttırdığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca, yapılan bir çalışmada da, toprağa arıtma çamuru uygulamasının kumlu ve kireçli toprakların fiziksel özelliklerini iyileştirdiği belirlenmiştir. Bu çalışmada, çamur uygulamasının toprak yoğunluğunu azalttığı ve su tutma kapasitesini, gözenekliliği ve organik madde içeriğini de arttırdığı tespit edilmiştir (Hussein, 2009).

Vermikompost, organik maddelerin solucanların tüketimiyle gübreye dönüşmüş halidir. Vermikompostun oluşması, organik maddenin mikroorganizmalar ve solucanlar tarafından oksidasyonu ve stabilizasyonu ile gerçekleşir (Zeng ve diğ., 2023). Diğer kompostlara göre daha yüksek besin değerine sahiptirler (Van Groenigen ve diğ., 2019). Toprak solucanları substratı parçalayıp toprağı havalandırarak mikrobiyal aktiviteyi artırır ve kendi sindirimi ile topraktaki mikroorganizma popülasyonuna katkı sağlar. Bunun sonucunda organik maddeler oksitlenir ve stabilize olur ve kompostlama işlemi tamamlanır (Aksakal ve diğ., 2016). Vermikompost içindeki azot, fosfor, karbon gibi temel element miktarları, kompostlanmada kullanılan maddeye bağlı olarak değişir. Vermikompost, çim ve budama atıkları gibi taze maddelerden üretilebildiği gibi bozulmuş yem, meyve, hayvan gübresi gibi maddelerden de üretilebilir (Yaman, 2012). Yemişçi, (2018) yaptığı çalışmada, toprağa vermikompost eklenmesinin topraktaki pH, EC, toplam azot ve mineral miktarını arttırdığını belirlemiş ve en yüksek değerler 60.günde tespit edilmiştir. Aksakal ve diğ., (2016) tarafından yapılan çalışmada vermikompost eklenmiş toprakta katalaz, sükras ve üreaz enzim aktiviteleri incelenmiş, 50 günlük inkübasyon çalışmasının sonucunda en yüksek değişimin üreaz enzim aktivitesinde gerçekleştiği görülmüştür. Enzim kinetiğinin incelendiği bir çalışmada, vermikompost kullanımının, toprağın fiziksel ve biyolojik özelliklerini iyileştirdiği sonucuna varılmıştır (Marinari ve diğ., 2000). Vermikompostun toprağın biyolojik ve kimyasal yapısının üzerine olan etkisinin yanı sıra toprakta oluşabilecek hastalıklara karşı da baskılayıcı özelliği olduğu Edwards (2004) ve Tutar (2013) tarafından yapılan saksı denemelerinde ortaya konmuştur.

Bu çalışmanın amacı, arıtma çamuru ve vermikompostun toprağa etkilerinin incelenmesi ve iki organik maddenin toprakta oluşturduğu etkilerin karşılaştırılmasıdır. Literatürde, farklı azot oranı sağlayacak şekilde toprağa arıtma çamuru ve vermikompost uygulanan çalışmalar mevcuttur. Ancak toprağa arıtma çamuru ve vermikompost uygulamasının karşılaştırılması konusunda çalışma çok yeterli sayıda yapılmamıştır. Yapılan bu çalışma ile arıtma çamurunun ve vermikompostun toprağa etkilerinin karşılaştırılması konusunda literatüre katkı sağlanacaktır. Ayrıca, literatürde bulunan çalışmalara göre farklı oranda azot sağlayacak organik madde ilavesi ve farklı inkübasyon sürelerinde, uygulanan organik maddelerin etkileri incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Toprak ve Organik Materyaller

Çalışmada kullanılan toprak örnekleri, Bursa Uludağ Üniversitesi Görükle Yerleşkesi'nden (40° 21'86.14"N, 28° 86'51.49"E) 0-20 cm'lik yüzeyden alınmıştır. Kullanılan toprak, killi tın tekstürüne sahip olup, %22,77 kum, %38,04 kil ve %39,19 silt içermektedir.

Çalışmada azot kaynağı olarak arıtma çamuru ve vermikompost kullanılmıştır. İşlenmiş sebze ve meyve üretimi yapan bir gıda endüstrisine ait arıtma tesisinden kaynaklanan arıtma çamuru kullanılmıştır. Kullanılan arıtma çamuru kireçle stabilize edilmiş ve susuzlaştırılmış

çamurdur. Ayrıca inek gübresinden ticari olarak üretilen vermikompost kullanılmıştır. Kullanılan materyaller açık havada kurutulduktan sonra ezilmiş ve 2 mm elekten geçirilerek inkübasyon çalışmasında kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan toprak, arıtma çamuru ve vermikompostun özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Toprağın pH değerinin 8,38 olduğu ve hafif alkali özellik gösterdiği belirlenmiştir. Toprağın organik karbon ve toplam azot değerleri de arıtma çamuru ve vermikomposta göre daha düşük seviyelerdedir.

2.2. İnkübasyon Çalışması

Bu çalışmada, kireç ile stabilize edilmiş evsel nitelikli arıtma çamuru ve vermikompost 150 kg N/da oranında toprağa uygulanarak 90 gün boyunca inkübe edilmiştir. Toprak örneklerine (200 g), 150 kg N/da oranını sağlayacak şekilde kireçle stabilize edilmiş arıtma çamuru (2,9 g) ve vermikompost (4,2 g) uygulanmıştır. Arıtma çamuru ve vermikompost uygulanan toprak örnekleri 90 gün boyunca 28°C sıcaklıkta karanlık ve aerobik ortamda inkübe edilmiştir. İnkübasyon süresinde toprak nemi tarla kapasitesinin % 70’i oranında tutulmuştur. Farklı azot kaynakları eklenen örneklerde, bu azot kaynaklarının toprağa etkisini incelemek amacıyla; pH, elektriksel iletkenlik (EC), amonyum azotu (NH₄-N) ve nitrat azotu (NO₃-N) ve toplam azotun (TN) 90 gün süresince (0., 30., 60. ve 90. gün) değişimleri incelenmiştir.

2.3. Analiz Yöntemleri

0, 30, 60 ve 90. günlerde inkübasyondan alınan örneklerde pH, EC ve azot formlarının (toplam azot, amonyum azotu ve nitrat azotu) değişimleri izlenmiştir. Deneysel çalışmalar 3 tekrarlı olarak yapılmıştır. Alınan örneklerdeki pH ve EC değerleri, 1:5 saf su ekstraktında Mettler-Toledo marka pH ve EC ölçerle belirlenmiştir (McLean, 1982; Rhoades, 1982). Toplam azot konsantrasyonunun belirlenmesi için Kjeldahl yöntemi ile örnekler yakılmış ve su buharı destilasyonu yöntemi uygulanmıştır (Bremner ve Mulvaney, 1982). Amonyum ve nitrat azotu konsantrasyonları için 2M KCL ile ekstrakte edilen örnekler su buharı destilasyonu yöntemiyle tespit edilmiştir (Keeney ve Nelson, 1982). Kolay okside olabilir organik karbon konsantrasyonu, örnekler potasyum dikromat çözeltisi ile okside edildikten sonra 590 nm’de spektrofotometrik olarak belirlenmiştir (Nelson ve Sommers, 1983). Toprakların tekstür analizi hidrometrik yöntem kullanılarak yapılmıştır (Yurdakul, 2018).

Tablo 1. Toprak, arıtma çamuru ve vermikompost örneklerinin karakteristik özellikleri

Parametre	Toprak	Arıtma Çamuru	Vermikompost
pH (1:5)	8,38	7,11	6,92
EC, µS/cm 25°C (1:5)	144	5650	7626
Organik Karbon, %	6,83	8,56	15,75
Toplam Azot, %	0,165	3,08	2,87
Amonyum azotu, mg/kg	46,3	114,2	642,4
Nitrat Azotu, mg/kg	89,0	178,4	619,2

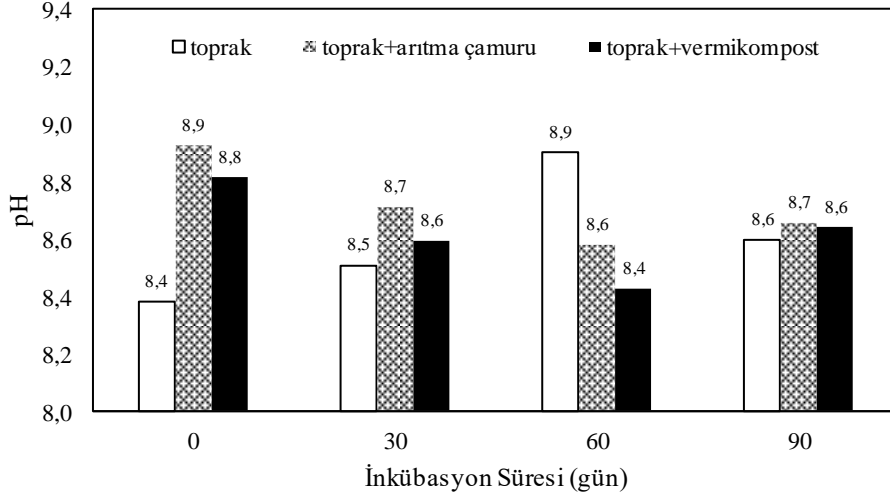
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. pH ve EC

Toprak pH'sı birçok kimyasal ve biyolojik süreci etkilemesi sebebiyle toprak kalitesini belirlemede önemli bir parametredir. Toprağa uygulanan arıtma çamuru ve vermikompostun inkübasyon süresince topraktaki pH'ya olan etkisi Şekil 1'de gösterilmiştir. 90 gün boyunca arıtma çamuru ve vermikompost uygulanmış toprak örneklerinde, pH değerleri 8,4 ile 8,9 arasında değişmiştir. Başlangıçta toprağa, arıtma çamuru ve vermikompost eklenmesiyle pH'da artış olmuştur. Kontrol toprağının pH'sı 60. güne kadar artıp, 90. günde azalma göstermiştir. Azot kaynağı eklenen toprak örneklerinin ise pH değerleri zamanla azalmıştır. 60.günden sonra yavaş bir şekilde artış başladığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni toprakta mevcut olan ve eklenen organik maddelerin mineralizasyon ile pH değerlerinin düşme eğiliminin olmasıdır. 60 gün boyunca kontrol toprağının pH'sında yükselme eğilimi olup eklenen organik maddeler (arıtma çamuru ve vermikompost) ile alkali özellikteki toprağın pH'sında düşme eğilimi olmuştur. Bunun nedeni organik materyallerin mikroorganizmalar tarafından parçalanması ve organik asitleri oluşturmasıdır. Vermikompost ve arıtma çamuru karşılaştırıldığında vermikompostun pH üzerinde kısmen daha etkili olduğu söylenebilir.

Arıtma çamuru uygulanan topraklarda zamanla pH ve bikarbonat (HCO_3^-) içeriği düşer. Bu durum, çamurun içindeki kalsiyum karbonatın çözünmesi sonucu asitliğin artarak pH'yı düşürmesiyle ilişkilendirilmiştir (Hussein, 2009; Delibacak ve diğ., 2020). Toprak pH'sı nitrifikasyonu etkileyen ana faktörlerden birisidir (Norton ve Ouyang 2019). Organik maddelerin heterotroflar tarafından mineralizasyonu (aminizasyon ve amonifikasyon) ve ototroflar tarafından nitrifikasyonu sırasında organik asitler (amino asit, glisin, sistein ve hümik asit) ve CO_2 üretilir ve toprak pH'sı düşer (Angelova ve diğ., 2013). Hümik maddeler redoks ajanları olarak hareket ederek pH'yı düzenler (López ve diğ., 2021). Alvarenga ve diğ. (2023) yaptıkları çalışmada, kentsel arıtma çamuru, kentsel katı atık kompostu ve tarımsal atık kompostunun iki yıllık süre boyunca toprağın biyokimyasal özellikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Eklenen organik maddelerin enzim aktiviteleri, nitrifikasyon potansiyeli ve hümik asit oranını arttırdığını belirtmişlerdir. Hümik asit arttıkça toprağın pH değerinin düştüğünü ifade etmişlerdir.

Vermikompostun pH üzerindeki etkisi, eklendiği toprağa göre değişmektedir. Vermikompost bulunduğu ortamı nötralize etme özelliğine sahiptir. Vermikompost asidik bir toprağa eklenirse, pH'yı arttırır; bazik bir toprağa eklenirse pH'yı azaltır (Chatterjee ve diğ., 2020). Angelova ve diğ., (2013) tarafından yürütülen çalışmada vermikompost uygulaması sonucunda toprak pH'sındaki değişimin, eklenen materyalin başlangıç pH'sı ile bağdaştırılmıştır. pH'daki artış, vermikompostun pH değerinin (pH 7,5) toprağa (pH 6,5) kıyasla daha yüksek olmasından kaynaklanmasıyla açıklanmıştır. Başka bir çalışmada vermikompost uygulaması, toprak pH sını düşük pH'ya sahip tınlı topraklarda arttırırken, yüksek pH ya sahip topraklarda düşürdüğü belirtilmiştir (Aktaş, 2018). Bu çalışmada kullanılan toprak pH'sı (8,38), eklenen vermikompost pH'sından (6,92) yüksektir. İnkübasyon süresince düşüş gözlenmesi mineralizasyon ve nitrifikasyon ile ilişkilidir.



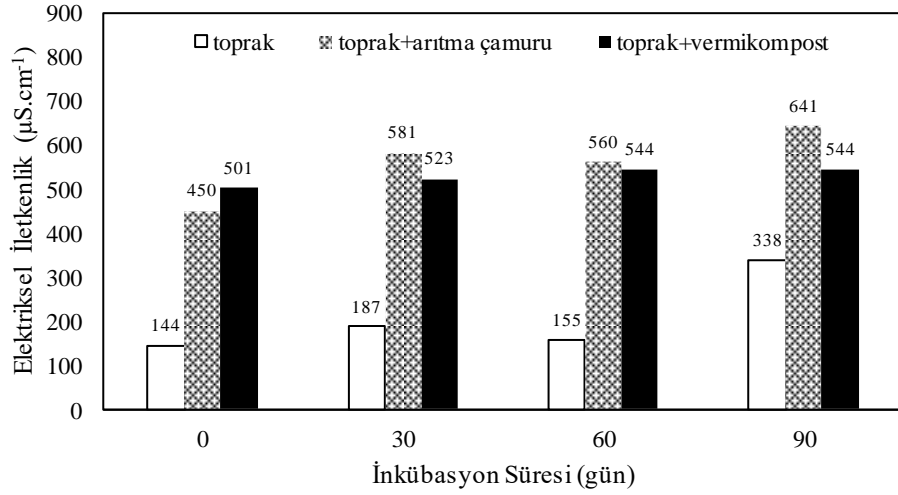
Şekil 1:

Arıtma çamuru ve vermikompost uygulanmış topraklarda pH değişimi

Elektriksel iletkenlik, çözünebilir tuzların toplam konsantrasyonunu doğrudan gösteren bir parametredir ve tuzluluğun doğrudan ölçümü ile tespit edilir (Angelova ve diğ., 2013). Toprağa uygulanan arıtma çamuru ve vermikompostun inkübasyon süresince topraktaki EC'ye olan etkisi Şekil 2'de gösterilmiştir. İnkübasyon süresince en düşük EC değerleri kontrol toprak örneklerinde tespit edilmiştir. Tüm örneklerin EC değeri 90. gün sonunda artmıştır. Arıtma çamuru ve vermikompost uygulamaları toprağın iletkenliğini önemli ölçüde arttırmıştır. Organik madde ilaveli toprakların EC değerleri, kontrol toprağının EC değeri ile karşılaştırıldığında en büyük değişim 60.günde gözlenmiştir. İnkübasyon boyunca arıtma çamuru uygulanan toprak örneklerinin EC değeri, vermikompost uygulanan toprakların EC değerine göre daha fazla artış göstermiştir.

Organik materyaldeki tuz ve mineraller, EC değerini arttırmaktadır (Dorak, 2023). EC değeri topraktaki tuzluluğun ve çözünebilir maddelerin göstergesidir. Farklı dozlarda kompost ve vermikompost uygulamalarının EC değerini yükselttiği bilinmektedir. Azarmi ve diğ. (2008) yaptıkları çalışmada da toprağa farklı oranlarda (0, 5, 10, 15 t/ha) koyun gübresinden elde edilen vermikompost uygulamışlar ve vermikompost eklemenin toprağın EC değerini önemli ölçüde artırdığını tespit etmişlerdir. Vermikompostlamada kullanılan ürün, vermikompostun içeriğini etkilediğinden, EC değerinin değişme oranında da etkilidir (Angelova ve diğ.,2013; Atiyeh ve diğ., 2002).

Hussein (2009), farklı dozlarda arıtma çamuru (0, 25, 50, 75, 125 t/ha) uygulanan topraklarda, toprak özelliklerini ve bitki verimini incelemiştir. Bu çalışmada, çamur eklenmesinin toprağın kimyasal özellikleri üzerinde önemli bir değişime neden olduğu bulunmuştur. Eklenen çamur oranı arttıkça toprağın EC ve alınabilir mikro ve makro mineral değerleri artarken, pH ve bikarbonat değerinin ise azaldığı gözlenmiştir. Benzer şekilde Boudjabi ve Chenchouni (2021), yaptıkları çalışmada, artan dozda arıtma çamuru uygulamalarının toprağın EC değerinde önemli bir artışa sebep olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 2:

Arıtma çamuru ve vermikompost uygulanmış topraklarda elektriksel iletkenlik değişimi

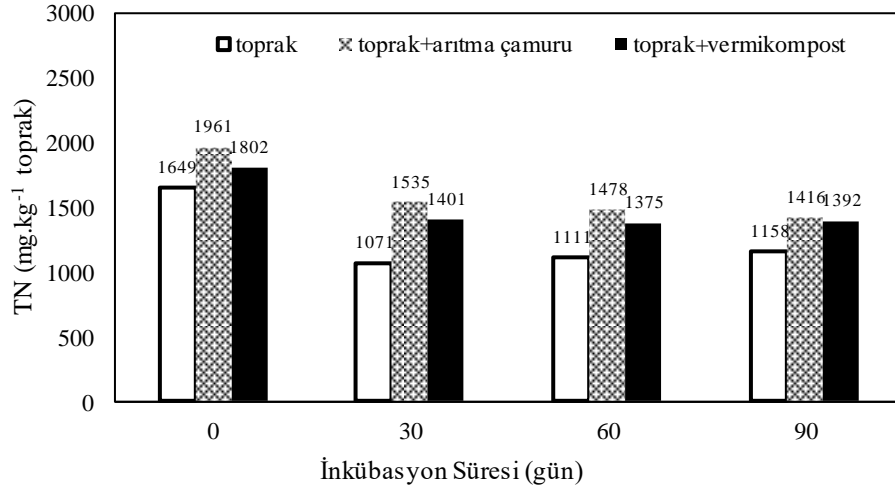
3.2. Toplam azot

Arıtma çamuru ve vermikompostun toprağın besin maddesini arttırarak verimliliğini arttırdığı yönünde birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda, bu organik materyallerin özellikle azot kaynağı olduğu belirtilmiştir (Demir ve Topaç, 2019; Korboulevsky ve diğ., 2002). Azot, bitki gelişiminin kontrolü için önemli bir elementtir (Chu ve diğ., 2020). Alvarenga ve diğ. (2007) toprağa uygulanan organik materyallerin toplam azot içeriklerinin %2,5'ten fazla olduğunda azotça zengin kabul edildiğini ifade etmişlerdir. Bu çalışmada da toplam azot konsantrasyonu toprakta %0,165 iken, toprağa uygulanan arıtma çamurunda %3,08, vermikompostta ise %2,87'dir. Toplam azot konsantrasyonu, genellikle topraklarda %0,02-0,5 aralığındadır (Weil ve Brady, 2017). Bu çalışmada kullanılan toprağın toplam azot konsantrasyonu da literatürde de belirtildiği gibi düşük seviyelerdedir.

150 kgN/da oranında azot sağlayacak şekilde toprağa uygulanan arıtma çamuru ve vermikompostun inkübasyon süresince toplam azot üzerine olan etkileri Şekil 3'te gösterilmiştir. İnkübasyon süresince, arıtma çamuru ve vermikompost uygulanan toprak örneklerinin toplam azot konsantrasyonlarının, kontrol toprağından fazla olduğu belirlenmiştir. Arıtma çamuru uygulaması toprağın toplam azot konsantrasyonunu, vermikompost uygulamasına göre daha fazla yükseltmiştir. Arıtma çamuru ve vermikompost uygulamasının toprak örneklerinin toplam azot konsantrasyonlarında yarattığı bu artış, azot içerikleri yüksek olan bu organik materyallerin toprağa eklenmesiyle birim toprak ağırlığındaki azot konsantrasyonunun artmasıyla ilgilidir. Kizilkaya ve Hepşen (2007) tarafından yapılan çalışmada, farklı organik maddeler ile elde edilen vermikompostların toprağa uygulanmasının, toprağın organik karbon ve toplam azot değerlerini önemli düzeyde arttırdığını belirlemişlerdir. Yapılan başka bir çalışmada da toprağa 10 g/kg oranında vermikompost uygulamasının, toplam azot konsantrasyonunu belirgin şekilde arttırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmada toplam organik içeriği ile toplam azot içeriği arasında, pozitif bir ilişkisinin var olduğu belirlenmiştir (Angelova ve diğ., 2013). Birçok çalışmada da benzer şekilde, toprağa göre daha yüksek miktarda toplam azot içeren vermikompostun, mineralizasyon için daha büyük bir azot kaynağı olduğu raporlanmıştır (Arancon ve diğ., 2006; Azarmi ve diğ., 2008).

Arıtma çamuru ve vermikompost uygulanmış toprağın toplam azot konsantrasyonlarının inkübasyon süresince düştüğü belirlenmiştir (Şekil 3). Arıtma çamuru uygulanmış toprakta toplam azot konsantrasyonundaki azalma, vermikompost uygulanmış topraktaki toplam azot konsantrasyonundaki azalmaya göre daha fazla gerçekleşmiştir. Toplam azot

konsantrasyonlarında zamana bağlı gerçekleşen düşüş, amonyak (NH_3) buharlaşması nedeniyle meydana gelen azot azalması ve toprak mikroorganizmalarının nitrifikasyon ve denitrifikasyonu nedeniyle ortaya çıkan N_2O ve N_2 emisyonları ile ilgilidir (Raheem ve diğ., 2019; Wang ve diğ., 2018). Dindar ve diğ. (2010) yaptıkları çalışmada, farklı metotlarla stabilize ettikleri arıtma çamurlarını farklı dozlarda toprağa uygulamış ve benzer şekilde inkübasyon süresince toplam azotun düşme eğiliminde olduğunu tespit etmişlerdir. Farklı organik bileşiklerin toprakta azot mineralizasyonunu inceleyen bir çalışmada da biyokömür, leonardit, vermikompost ve arıtma çamurundan en hızlı mineralize olan kaynağın arıtma çamuru olduğu sonucuna varılmıştır (Uzun, 2020).



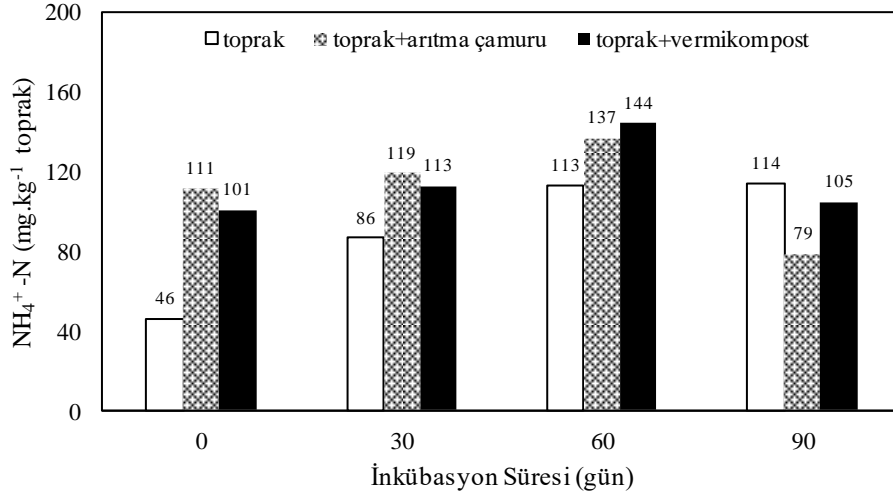
Şekil 3:

Arıtma çamuru ve vermikompost uygulanmış topraklarda toplam azot değişimi

3.3. Amonyum Azotu ve Nitrat Azotu

Amonyum ve nitrat azotu gibi inorganik azot formları bitkiler tarafından kolayca kullanılabilir. Arıtma çamuru ve vermikompost gibi toprağa uygulanan organik maddelerin içerdiği organik azot, mikroorganizmalar tarafından parçalanarak inorganik azot formlarına dönüşerek toprağı yarıyışlı duruma getirir (Kocaer ve diğ., 2003). Arıtma çamuru ve vermikompostun toprağa uygulanması ile inkübasyon süresince amonyum azotu konsantrasyonunda meydana gelen değişim Şekil 4'te gösterilmiştir. Arıtma çamuru uygulamasıyla inkübasyon başlangıcında toprağın amonyum azotu (46,3 mg/kg) iki katından daha fazla artarak 111,4 mg/kg'a, vermikompost uygulamasıyla ise 100,5 mg/kg'a yükselmiştir. Toprağa eklenen arıtma çamuru ve vermikompost, toprağın mikrobiyal aktivitesini artırmıştır. Toprakta mikrobiyal faaliyet arttıkça amonifikasyon gerçekleşerek amonyum azotu oluşumu da artmaktadır (Amoo ve diğ., 2017). Her iki organik materyalde toprağın amonyum azotunu arttırmakla beraber arıtma çamuru, vermikomposta göre başlangıçta toprağı daha yarıyışlı duruma getirmiştir. Bununla beraber en yüksek amonyum azotu (143,8 mg/kg) 60. günde vermikompost uygulanmış toprakta belirlenmiştir. Amonyum azotundaki artış, inkübasyon süresi içinde topraktaki ve organik bileşiklerdeki azotun mineralize olarak amonyum azotuna dönüşmesiyle ilgilidir (Karaca ve Arcak, 1999; Maticic ve diğ., 2024). Amonyum azotu miktarının belirlenmesi, toprağı ilave edilen organik madde türlerinin toprakta oluşan azot mineralizasyonuna etkisini anlamak için önemlidir (Jones ve diğ., 2018). Organik materyallerin toprağı uygulamasıyla amonyum azotu oranlarında 60. güne kadar artış, 60. günden sonra azalma gözlemlenmiştir. 60.günden sonra meydana gelen azalmanın inkübasyon süresine bağlı olarak

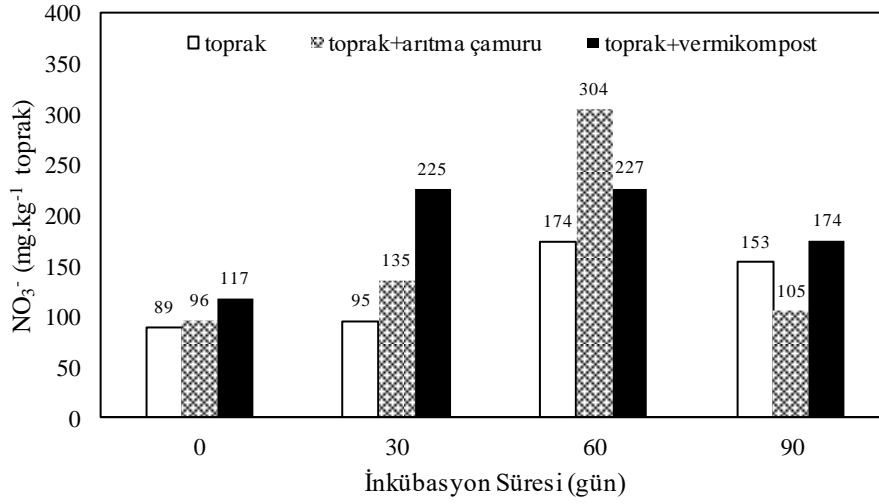
gerçekleştiği düşünülmektedir (Villafructe ve diğ., 2024). 60. güne kadar toprağa uygulanan arıtma çamuru ve vermikompostun içerdiği organik azot, mineralizasyon prosesinin gerçekleşmesiyle amonyum azotu formuna dönüşmüştür. Koyuncu (2022) yaptığı çalışmada, bu çalışmaya benzer şekilde, artıma çamuru uygulanmasıyla toprağın amonyum azotunun arttığını belirlemiştir.



Şekil 4:

Arıtma çamuru ve vermikompost uygulanmış topraklarda amonyum azotu değişimi

Toprağa uygulanan arıtma çamuru ve vermikompost ile nitrat azotu konsantrasyonunda meydana gelen değişim Şekil 5'te gösterilmiştir. Toprakta azot, mikroorganizmalar sayesinde, amonifikasyon ile amonyum azotuna, amonyum azotu da nitrifikasyon ile nitrit ve nitrat formuna dönüşür. Bu dönüşüm toprağın pH'sına ve çevresel faktörlere bağlı olarak değişmektedir (Dindar ve Yiğit, 2023). Arıtma çamuru uygulamasıyla inkübasyon başlangıcında toprağın nitrat azotu (89 mg/kg) artarak 96,1 mg/kg'a, vermikompost uygulamasıyla ise 117,5 mg/kg'a yükselmiştir. Dindar ve diğ., (2010)'de, stabilize arıtma çamuru uyguladıkları toprakta nitrat azotunun arttığını tespit etmişlerdir. Vermikompost başlangıçta toprağın nitrat azotunu daha fazla arttırmıştır. Bununla beraber en yüksek nitrat azotu (304,1 mg/kg), arıtma çamuru uygulanmış toprakta 60. günde belirlenmiştir. Kontrol toprağı ve organik materyallerin uygulandığı topraklarda 60. güne kadar nitrat azotunda artma, 60. günden sonra azalma tespit edilmiştir. Benzer şekilde, Dorak (2023) tarafından yapılan çalışmada da vermikompost uygulanan toprakta, 60.günden sonra nitrat azotunun azaldığı belirlenmiştir. Nitrat azalması, inkübasyon süresince gaz haline gelen azottan kaynaklı olabilir (Rigby ve diğ., 2016). Arıtma çamuru uygulanan toprakta, vermikompost uygulanan toprağa göre 60. günde, nitrat azotu artışı daha fazla gerçekleşmiştir. Bunun nedeni, 60. günde daha yüksek amonyum azotu içeren vermikompost uygulanan toprakta nitrat oluşumunun baskılanmasıdır. 30 günlük inkübasyon yapılan başka bir çalışmada da nitrat azotu, toprağa uygulanan organomineral gübreye bağlı olarak azalma göstermiştir. Yüksek amonyum konsantrasyonunun toprak asitliğini artırarak, nitrat oluşumunu baskıladığı belirtilmiştir (Dindar ve Yiğit, 2023). Arıtma çamurunun farklı dozlarda (50 ton/ha, 100 ton/ha ve 200 ton/ha) toprağa uygulanarak yapılan başka bir çalışmada, 45 günlük inkübasyon süresince amonyum azotunda belirgin, nitrat azotunda ise hafif bir artış olduğu belirlenmiştir (Demir ve Topaç, 2019). Yapılan çalışmalarda, amonifikasyon prosesinin nitrifikasyon prosesini baskılamasının bir diğer sebebinin havalandırma olduğu ileri sürülmüştür. Yetersiz havalandırmanın mikrobiyal aktiviteyi sınırlandırarak amonyumdan nitrate dönüşümü yavaşlatmış olabileceği belirtilmiştir (Demir ve Topaç, 2019; Dindar ve Yiğit, 2023).



Şekil 5:

Arıtma çamuru ve vermikompost uygulanmış topraklarda nitrat azotu değişimi

Arıtma çamuru ve vermikompost uygulanan toprakların zamana bağlı olarak amonyum azotu ve nitrat azotu konsantrasyonlarının değişimi değerlendirildiğinde, her iki organik materyalin toprağa eklenmesiyle 60. güne kadar amonyum ve nitrat azotu artmıştır. Vermikompost uygulanan topraklarda 60. günde, amonyum azotu artışının daha fazla olduğu ve amonifikasyon prosesinin, nitrifikasyon prosesine göre nispeten daha baskın olduğu anlaşılmaktadır. Arıtma çamuru uygulanan topraklarda ise nitrat azotu artışı, vermikomposta göre çok daha fazla olup nitrifikasyon prosesi, amonifikasyon prosesine göre daha baskındır. 60. günden sonra hem amonyum hem de nitrat azotu zamana bağlı olarak azalmıştır.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, 150 kg N/da oranında azot sağlayacak şekilde arıtma çamuru ve vermikompost toprağa uygulanmış ve toprağa olan etkileri araştırılmıştır. Toprağa uygulanan organik atıklar başlangıçta toprağın pH, EC, toplam azot, amonyum ve nitrat azotu miktarlarını artırmıştır. Mineralizasyon ve nitrifikasyon ile ilişkili olarak tuzlu mineraller ve elementlerin toprak içinde çözünmeleriyle 60 gün boyunca pH'ta düşüş, EC değerlerinde artış gözlenmiştir. Azot kaynağı olarak eklenen arıtma çamuru ve vermikompost toprağın toplam azot, amonyum ve nitrat azotu konsantrasyonlarını önemli miktarda artırmıştır. 60 gün süresince arıtma çamuru uygulanan topraklardaki nitrat azotu artışı, vermikomposta göre daha fazla olup nitrifikasyon prosesi, amonifikasyon prosesine göre daha baskın iken vermikompost uygulanan topraklarda ise amonifikasyon prosesi daha baskındır. Toprağa uygulanan arıtma çamurunun içerdiği organik azotun daha hızlı mineralize olduğu belirlenmiştir. Organik madde kaynaklarının zamanla tükenmesiyle azot proseslerinde 60.günden sonra azalmalar tespit edilmiştir. Arıtma çamuru ve vermikompostun toprak üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi için farklı dozlarda ve daha uzun periyotlarda çalışmalar yapılabilir. Ayrıca farklı organik atıklardan elde edilen vermikompostların toprağa etkileri de farklılık gösterebilmektedir. Organik materyallerin farklı tipte topraklara uygulanması farklı sonuçlar doğurabilir. Arıtma çamuru yaygın olarak toprak iyileştirici olarak kullanılmakla beraber, içerebileceği ağır metal ve patojenler nedeniyle uygulanan topraklarda periyodik olarak izlenmeyi gerektirir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

YAZAR KATKISI

Selnur UÇAROĞLU, çalışmanın yönetimi, literatür taraması, deneysel çalışmaların sürdürülmesi, sonuçların yorumlanması ve makalenin yazılması; Aybüke YEŞİL, literatür taraması, deneysel çalışmaların sürdürülmesi, sonuçların yorumlanması ve makale taslağının oluşturulması başlıklarında katkı sunmuşlardır.

KAYNAKLAR

1. Adhikari, D., Mukai, M., Kubota, K., Kai, T., Kaneko, N., Araki, K. S., & Kubo, M. (2016) Degradation of bioplastics in soil and their degradation effects on environmental microorganisms, *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*, 05(01), 23–34. [doi:10.4236/jacen.2016.51003](https://doi.org/10.4236/jacen.2016.51003)
2. Ajeng, A. A., Abdullah, R., Malek, M. A., Chew, K. W., Ho, Y.-C., Ling, T. C., Lau, B. F., & Show, P. L. (2020) The effects of biofertilizers on growth, soil fertility, and nutrients uptake of oil palm (*elaeis guineensis*) under greenhouse conditions, *Processes*, 8(12), 1681. [doi:10.3390/pr8121681](https://doi.org/10.3390/pr8121681)
3. Aksakal, E. L., Sari, S. and Angin, I. (2016) Effects of vermicompost application on soil aggregation and certain physical properties, *Land Degradation and Development*, 27(4), 983–995. [doi:10.1002/ldr.2350](https://doi.org/10.1002/ldr.2350)
4. Aktaş, T. (2018). Vermikompostun farklı tekstüre sahip topraklarda bitki gelişimine ve toprakların fiziksel kimyasal özelliklerine etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
5. Al-Busaidi, W., Khan, M., Janke, R., Al-Sheriqi, M. and Al-Yahyai, R. (2020) Efficacy of soil amendments in organic farming systems, *Agrociencia*, 54(1), 1–31.
6. Alvarenga, P., Palma, P., Gonçalves, A. P., Fernandes, R. M., Cunha-Queda, A. C., Duarte, E. and Vallini, G. (2007) Evaluation of chemical and ecotoxicological characteristics of biodegradable organic residues for application to agricultural land, *Environment International*, 33(4), 505-513. [doi:10.1016/j.envint.2006.11.006](https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.11.006)
7. Alvarenga, P., Palma, P., Mourinha, C., Cunha-Queda, C., Sengo, J., Morais, M.-C., Natal-Da-Luz, T., Renaud, M. and Sousa, J.P. (2023) Effects of biowaste-based amendments on soil's humic substances and biochemical properties, *Revista de Ciências Agrárias*, 2023(1), 135-141. [doi:10.19084/rca.33405](https://doi.org/10.19084/rca.33405)
8. Amoo, A.E. and Babalola, O.O. (2017) Ammonia-oxidizing microorganisms: key players in the promotion of plant growth, *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 17 (4), 935-947. [doi:10.4067/S0718-95162017000400008](https://doi.org/10.4067/S0718-95162017000400008)
9. Angelova, V. R., Akova, V. I., Artinova, N. S. and Ivanov, K. I. (2013) The effect of organic amendments on soil chemical characteristics, *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 19(5), 958-971.
10. Arancon, N.Q., Edwards, C.I. and Bierman, P. (2006) Influences of vermicomposts on field strawberries: 2. Effects on soil microbiological and chemical properties, *Bioresource Technology*, 97: 831-840. [doi:10.1016/j.biortech.2005.04.016](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.04.016)

11. Atiyeh, R.M., Lee Edward, C.A., Arancon, N.Q. and Metzger, J.D. (2002) The influence of humic acids derived from earthworm- processed organic wastes on plant growth, *Bioresource Technology*, 84: 7-14. doi:10.1016/S0960-8524(02)00017-2
12. Azarmi, R., Giglou, M.T. and Taleshmikail, R.D. (2008) Influence of vermicompost on soil chemical and physical properties in tomato (*Lycopersicum esculentum*) field, *African Journal of Biotechnology*, 7 (14), 2397-2401.
13. Boudjabi, S. and Chenchouni, H. (2021) On the sustainability of land applications of sewage sludge: How to apply the sewage biosolid in order to improve soil fertility and increase crop yield? *Chemosphere*, 282, 131122. doi:10.1016/j.chemosphere.2021.131122
14. Börjesson, G. and Kätterer, T. (2018) Soil fertility effects of repeated application of sewage sludge in two 30-year-old field experiments, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 112(3), 369–385. doi:10.1007/s10705-018-9952-4
15. Bremner, J. M., & Mulvaney, C. S. (1982) *Methods of soil analysis, part 2 chemical and microbiological properties*, 594-624.
16. Chatterjee, R., Debnath, A. and Mishra, S. (2020) Vermicompost and Soil Health. In: Giri, B., Varma, A. (eds) *Soil Health, Soil Biology*, chapter 4, vol 59. Springer. doi:10.59317/9789390512355
17. Chu, Q., Xue, L., Singh, B. P., Yu, S., Müller, K., Wang, H., Feng, Y., Pan, G., Zheng, X. and Yang, L. (2020) Sewage sludge-derived hydrochar that inhibits ammonia volatilization, improves soil nitrogen retention and rice nitrogen utilization, *Chemosphere*, 245, 125558. doi:10.1016/j.chemosphere.2019.125558
18. Delibacak, S., Voronina, L., Morachevskaya, E. and Rıza Ongun, A. (2020) Use of sewage sludge in agricultural soils: Useful or harmful. *Eurasian Journal of Soil Science*, 9(2), 126–139. doi:10.18393/ejss.687052
19. Demir, E. ve Topaç, F. O. (2019) Arıtma çamurlarının tarımsal amaçlı kullanımı: topraktaki azot proseslerinde meydana gelen değişimler, *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 24(2), 337-354. doi:10.17482/uumfd.544925
20. Dindar, E., Topaç Şağban, F.O. ve Başkaya, H. S. (2010) Stabilize arıtma çamurlarının topraktaki azot ve üreaz aktivitesine etkileri, *itüdergisi/e su kirlenmesi kontrolü*, 20(1), 29-38.
21. Dindar, E. ve Yazgan Yiğit, Ç. (2023) Organomineral gübre kullanımının toprak azot proseslerine etkisi, *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 28(2) 569-578. doi:10.17482/uumfd.1271816
22. Dindaroğlu, T., Yakupoğlu, T., Sinem, K. ve Bolat, Ö., (2015) Farklı konsantrasyonlarda humik madde içeren organik madde kaynaklarının toprakların bazı fiziksel özellikleri üzerine etkisi. *KSU Tarım ve Doğa Dergisi-KSU Journal Of Agriculture And Nature*, 1(1), 66-70.
23. Dorak, S. (2023). Tuzlu ve kireçli toprak koşullarında biyokömür, vermicompost ve leonardit uygulamalarının etkinlikleri yönünden karşılaştırılması, *Doktora Tezi*, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
24. Edwards, C.A., (2004) *Earthworm Ecology*, Second edition, CRC Press, Boca Raton, FL, London, New York, Washington.
25. Eid, E. M., Hussain, A. A., Taher, M. A., Galal, T. M., Shaltout, K. H., & Sewelam, N. (2020) Sewage sludge application enhances the growth of corchorus olitorius plants and provides a sustainable practice for nutrient recirculation in agricultural soils, *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20(1), 149–159. doi:10.1007/s42729-019-00113-z

26. Galloway, J. N., Townsend, A. R., Erisman, J. W., Bekunda, M., Cai, Z., Freney, J. R., Martinelli, L. A., Seitzinger, S. P. and Sutton, M. A. (2008) Transformation of the nitrogen cycle: Recent trends, questions, and potential solutions, *Science*, 320(5878), 889–892. [doi:10.1126/science.1136674](https://doi.org/10.1126/science.1136674)
27. Grobelak, A., Placek, A., Grosser, A., Singh, B. R., Almås, Å. R., Napora, A. and Kacprzak, M. (2017) Effects of single sewage sludge application on soil phytoremediation, *Journal of Cleaner Production*, 155, 189–197. [doi:10.1016/j.jclepro.2016.10.005](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.005)
28. Halecki, W., Gasiorek, M., Gambus, F. and Abram, R. (2016) The potential of hydrated and dehydrated sewage sludge discharges from soil reclamation appliances. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25(6), 1935–1941.
29. Hannachi, N., Cocco, S., Fornasier, F., Agnelli, A., Brecciaroli, G., Massaccesi, L., Weindorf, D. and Corti, G. (2015) Effects of cultivation on chemical and biochemical properties of dryland soils from southern Tunisia, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 199, 249–260. [doi:10.1016/j.agee.2014.09.009](https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.09.009)
30. Hussein, A.H.A. (2009) Impact of sewage sludge as organic manure on some soil properties, growth, yield and nutrient contents of cucumber crop, *Journal of Applied Sciences*, 9(8), 1401–1411.
31. Jones, D.L., Magthab, E.A., Gleeson, D.B., Hill, P.W, Sánchez-Rodríguez, A.R., Roberts, P., Ge T., Murphy, D.V. (2018) Microbial competition for nitrogen and carbon is as intense in the subsoil as in the topsoil, *Soil Biology and Biochemistry*, 117, 72–82. [doi:10.1016/j.soilbio.2017.10.024](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.10.024)
32. Karaca, A. ve Arcak, S. (1999) Bazı tarımsal atıkların üreaz enzim aktivitesi, azot mineralizasyonu ve bazı toprak özellikleri üzerine etkileri, *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 13(20), 94–107.
33. Keeney, D. R., and Nelson, D. W. (1982) *Nitrogen - inorganic forms. In Methods of soil analysis*. Part 2. Chemical and microbiological properties (pp. 643–693). American Society of Agronomy, Soil Science Society of America.
34. Kizilkaya, R. and Bayraklı, B. (2005) Effects of N-enriched sewage sludge on soil enzyme activities, *Applied Soil Ecology*, 30(3), 192–202. [doi:10.1016/j.apsoil.2005.02.009](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2005.02.009)
35. Kizilkaya, R. and Hepşen, Ş. (2007) Microbiological properties in earthworm cast and surrounding soil amended with various organic wastes, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 38(19–20), 2861–2876. [doi:10.1080/00103620701663107](https://doi.org/10.1080/00103620701663107)
36. Kocaer, F.O., Kemiksiz, A. ve Başkaya H.S. (2003) Arıtma çamuru uygulanmış bir topraktaki organik azotun mineralizasyonu üzerine bir araştırma, *Ekoloji Çevre Dergisi*, 12(46), 12–16.
37. Korboulewsky, N., Dupouyet, S. and Bonin, G. (2002) Environmental risks of applying sewage sludge compost to vineyards: carbon, heavy metals, nitrogen, and phosphorus accumulation, *Journal of Environmental Quality*, 31(5), 1522–1527. [doi:10.2134/jeq2002.1522](https://doi.org/10.2134/jeq2002.1522)
38. Koyuncu, S. (2022) Occurrence of organic micropollutants and heavy metals in the soil after the application of stabilized sewage sludge, *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 20(1), 385–394. [doi:10.1007/s40201-022-00785-3](https://doi.org/10.1007/s40201-022-00785-3)
39. Loper, S., Shoher, A. L., Wiese, C., Denny, G. C., Stanley, C. D. and Gilman, E. F. (2010) Organic soil amendment and tillage affect soil quality and plant performance in simulated residential landscapes, *HortScience*, 45(10), 1522–1528. [doi:10.21273/hortsci.45.10.1522](https://doi.org/10.21273/hortsci.45.10.1522)

40. López, R., Antelo, J., Silva, A. C., Bento, F. and Fiol, S. (2021) Factors that affect physicochemical and acid-base properties of compost and vermicompost and its potential use as a soil amendment, *Journal of Environmental Management*, 300, 113702. [doi:10.1016/j.jenvman.2021.113702](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113702)
41. Marinari, S., Masciandaro, G., Ceccanti, B. and Grego, S. (2000) Influence of organic and mineral fertilisers on soil biological and physical properties, *Bioresource Technology*, 72(1), 9–17. [doi:10.1016/S0960-8524\(99\)00094-2](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00094-2)
42. Maticic, M., Dugan, I. and Bogunovic, I. (2024) Challenges in sustainable agriculture-the role of organic amendments, *Agriculture*, 14(4). [doi:10.3390/agriculture14040643](https://doi.org/10.3390/agriculture14040643)
43. McLean, E. O. (1982) *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America.
44. Nelson, D. W. and Sommers, L. E. (1983) *Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. In Methods of Soil Analysis* (pp. 539–579). John Wiley & Sons, Ltd. [doi:10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c29](https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c29)
45. Norton, J. and Ouyang, Y. (2019) Controls and adaptive management of nitrification in agricultural soils, *Frontiers in Microbiology*, 10, 1931. doi: 10.3389/fmicb.2019.01931
46. Raheem, A., Zhang, J., Huang, J., Jiang, Y., Siddik, M. A., Deng, A., Gao, J. and Zhang, W. (2019) Greenhouse gas emissions from a rice-rice-green manure cropping system in South China, *Geoderma*, 353, 331-339. [doi:10.1016/j.geoderma.2019.07.007](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.07.007)
47. Rhoades, J. D. (1982) *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America.
48. Rigby, H., Clarke, B.O., Pritchard, D.L., Meehan, B., Beshah, F., Smith, S.R. and Porter N.A. (2016) A critical review of nitrogen mineralization in biosolids-amended soil, the associated fertilizer value for crop production and potential for emissions to the environment, *Science of The Total Environment*, 541, 1310–1338. [doi:10.1016/j.scitotenv.2015.08.089](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.089)
49. Satti, S. M., Shah, A. A., Marsh, T. L., & Auras, R. (2018) Biodegradation of poly(lactic acid) in soil microcosms at ambient temperature: evaluation of natural attenuation, bio-augmentation and bio-stimulation, *Journal of Polymers and the Environment*, 26(9), 3848-3857. [doi:10.1007/s10924-018-1264-x](https://doi.org/10.1007/s10924-018-1264-x)
50. Sazali, N., Harun, Z., Sazali, N. (2024) Additional of organic amendments in the soil to increase the various crop yield: A review, *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, 35(2), 158-174. [doi:10.37934/araset.35.2.158174](https://doi.org/10.37934/araset.35.2.158174)
51. Şartlan, H. (2013) Hayvansal kompost ve biyogaz atıklarının toprak enzim aktivitesine etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.
52. Tutar, U. (2013) Toprak solucanlarından elde edilen vermikompostun bazı bitki patojenleri üzerindeki antimikrobiyal aktivitelerinin araştırılması, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi*, 34(2), 1-12.
53. Uzun, S. (2020) Farklı azot kaynaklarının topraktaki biyostimülasyon etkilerinin değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
54. Van Groenigen, J. W., Van Groenigen, K. J., Koopmans, G. F., Stokkermans, L., Vos, H. M. J. and Lubbers, I. M. (2019) How fertile are earthworm casts? A meta-analysis. *Geoderma*, 338, 525–535. [doi:10.1016/j.geoderma.2018.11.001](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.11.001)

55. Villafuerte, A. B., Soria, R., Rodríguez-Berbel, N., Zema, D. A., Lucas-Borja, M. E., Ortega, R. and Miralles, I. (2024) Short-term evaluation of soil physical, chemical and biochemical properties in an abandoned cropland treated with different soil organic amendments under semiarid conditions, *Journal of Environmental Management*, 349, 119372. doi:10.1016/j.jenvman.2023.119372
56. Wang, H., Zhang, D., Zhang, Y., Zhai, L., Yin, B., Zhou, F., Geng, Y., Pan, J., Luo, J., Gu, B. and Liu, H. (2018) Ammonia emissions from paddy fields are underestimated in China, *Environmental Pollution*, 235, 482-488. doi:10.1016/j.envpol.2017.12.103
57. Weil, R.R. and Brady, N.C. (2016) *The Nature and Properties of Soils*, 15th edition, Pearson Education, USA.
58. Yaman, K. (2012) Bitkisel atıkların değerlendirilmesi ve ekonomik önemi, *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 12(2), 339–348.
59. Yemişçi, A. (2018) Vermikompost gübresinin toprakların bazı özellikleri üzerine etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
60. Yurdakul, İ. (2018) *Toprak, gübre, su, bitki, organik materyal ve mikrobiyoloji analiz metotları laboratuvar el kitabı*, II. Baskı, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Politikalar ve Araştırmalar Genel Müdürlüğü, Toprak, Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Teknik Yayın No: T-72, Ankara.
61. Zeng, J., Hu, H., He, X., Song, W., Wang, F., Zhang, Y. and Qin, S. (2023) N₂O emissions, microbial community composition and genes expressions in soil amended with vermicomposts derived from different feedstocks, *European Journal of Soil Biology*, 115, 103473. doi:10.1016/j.ejsobi.2023.103473

