

## LASTİK TOZU KAYNAKLI KİRLİLİĞİN TOPRAK AZOT PROSESLERİNE ETKİSİ: ARITMA ÇAMURU İLE BİYOSTİMÜLASYON ÇALIŞMASI

*Efsun DİNDAR\** 

Alınma: 17.08.2021; düzeltme: 20.09.2021; kabul: 21.09.2021

**Öz:** Son yıllarda, artan trafik yükü ile birlikte lastik tozu, toprak ortamındaki kirlenmeye önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Bu nedenle, bu inkübasyon çalışması, sürtünme sonucu toz haline gelerek yol kenarlarındaki topraklara karışan araç lastik tozlarının, toprak verimliliğinde önemli bir indikatör olan azot dönüşüm süreçlerine etkisini ortaya koymak amacıyla yapılmıştır.

Farklı lastik tozu seviyelerinin (%1, %5 ve %10) toprak azot proseslerine etkisini belirlemek için 100 g toprak örneği ve ıslah amacıyla kirletilen topraklara 100 ton ha<sup>-1</sup> (40 g kg<sup>-1</sup>) dozunda uygulanan atık su arıtma çamurlu örnekler 15, 30 ve 45 gün boyunca inkübe edilmiştir.

Sonuçlar, lastik tozunun neden olduğu antropojenik stresin belirlenmesinde topraktaki azot proseslerinin biyoindikatör olarak kullanılabileceğini göstermiştir. İnkübasyonun sonunda arginin amonifikasyon oranı, nitrifikasyon potansiyeli, amonyum azotu, nitrat azotu seviyeleri yüksek orandaki (%10) lastik tozu ile kirlenmesi sonucunda %48, %40, %47 ve %33 oranında azalmıştır.

Organik azotun mineralizasyonu değerlendirildiğinde, temiz toprağın organik azot mineralizasyon değeri inkübasyon sonunda %90 olarak hesaplanırken, %10 lastik tozu ile kirlenen toprakta ise %22 olarak hesaplanmıştır. Bu durum lastik tozu kirliliğinin, toprakların azot mineralizasyonunu önemli ölçüde azalttığını göstermektedir.

Bu çalışmayla, lastik tozu kirliliğinin bitkilerin azot kullanım verimini sınırlayabileceği ve böylece toprak ekosistemlerinin verimliliğini azaltacağı sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Azot mineralizasyonu, biyostimülasyon, lastik tozu, nitrifikasyon, toprak.

### An Experimental Study on the Effect of Vehicle Tire Dust on the Nitrogen Processes of Agricultural Soil: Biostimulation with Wastewater Sludge

**Abstract:** With the increasing number of vehicles in the last few decades, tire dust has become the source of a significant contribution of pollutants into the soil. In this study, it is aimed to reveal the effects of vehicle tires which are pulverized by the effect of friction and reached to the roadside soils, on nitrogen processes by a laboratory incubation study. To determine the effect of different tire dust levels (1%, 5%, and 10% mg kg<sup>-1</sup> dry soil) and 100 ton ha<sup>-1</sup> dose of wastewater sludge on soil nitrogen processes, 100 g soil portions were put into plastic pots, and soil moisture was brought to 70% of its field capacity with distilled water. Samples were then incubated under controlled conditions in the dark at 28 °C for 15, 30 and 45 days. The results indicated that nitrogen processes in the soil could be used as bioindicators of anthropogenic stress caused by tire dust. It was found that arginine ammonification rate, nitrification potential, ammonium, and nitrate nitrogen levels decreased by 48%, 40%, 47% and 33% in the presence of tire dust (10% mg kg<sup>-1</sup> dry soil). In addition, tire dust application at dose of 10% showed an inhibition effect on organic N mineralization values in soil (clean soil: 90%, contaminated soil: 22%). This shows that tire dust pollution significantly reduces nitrogen mineralization of soils.

\* Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Müh. Bölümü Bursa/TÜRKİYE  
İletişim Yazarı: Doç. Dr. Efsun Dindar (efsun@uludag.edu.tr)

The study was concluded that tire dust pollution might limit the nitrogen use-efficiency of plants, thus further decreasing the fertility of soil ecosystems.

**Keywords:** Biostimulation, nitrification, nitrogen mineralization, soil, tire dust.

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda artan araç sayısı ile birlikte, lastik tozu toprak kirleticisi kaynağı haline gelmiştir. Bu kirleticiler, ağır metaller, sülfatlar ve nitratlar gibi inorganik veya polisiklik aromatik hidrokarbonlar ve fenoller gibi organik kirleticiler olabilmektedir. Lastik tozunun birikmesi, içerisindeki ağır metallerin toprağa ve suya, ardından besin zincirine ve daha sonra bitkilerin, hayvanların ve insanların canlı dokularına kadar girebilmesine neden olmaktadır (Shinggu ve diğ., 2010). Kentsel bölgelerdeki yüzey toprağında ağır metallerin birikmesi ve dağılımı toprak mikroorganizmaları tarafından ayrıştırılmadığından, lastik tozu birikimini anlamak için yararlı bir göstergedir (Wang ve diğ., 2012). Sadece çeşitli bileşiklere dönüştürülebilirler veya toprak ortamında uzun süre hareketsiz hale getirilebilirler. Topraktaki ve sokak tozundaki ağır metaller, rüzgarlı hava, trafik ve diğer günlük insan aktiviteleri gibi bazı dinamik koşullar nedeniyle tozun solunması, yutulması ve ciltle temas yoluyla canlı organizmalara ve insan vücuduna kolayca girebilirler (Wei ve diğ., 2015). Lastik endüstrisinde çok çeşitli kauçuk bileşimleri kullanılmaktadır. Lastik bileşenleri, genellikle karbon siyahı veya silika (takviye maddesi/dolgu maddesi olarak), yağlar (yumuşatıcı ve uzatıcılar olarak) ve vulkanize edici kimyasal maddeler ile karıştırılmış stiren bütadien kauçuğu (SBR), polibütadien (PBD) ve doğal kauçuk (NR) karışımlarından oluşur (Dave ve diğ., 2013).

Lastik tozu, toprak ortamındaki kirlenmeye önemli katkı yapmaktadır (Sommer ve diğ., 2018). Lastik tozlarının toksisitesi, muhtemelen çinko ve organik bileşiklerden kaynaklanmaktadır (Gualtieri ve diğ., 2005; Mantecca ve diğ., 2007; Jan Kole ve diğ., 2017; Wagner ve diğ., 2018). Bu bileşikler toprağın verimini ve kalitesini bozmaktadır. Toprak verimliliği için en önemli besinlerden biri azottur. Azot döngüsü birkaç biyolojik ve biyolojik olmayan prosesler içermektedir. Biyolojik prosesler; amonifikasyon/mineralizasyon, nitrifikasyon, denitrifikasyon, azot fiksasyonu, vb. olarak sıralanabilir. Biyolojik olmayan prosesler ise amonyak sıyırma, nitrit ve nitrat azotunun yer altı suyuna sızması, toprak kil minerallerine amonyum fiksasyonu, nitrat ve amonyum azotunun çökmesidir. Bitki türlerinin çoğu azot kaynağı olarak nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ), amonyum ( $\text{NH}_4^+$ ), üre ve amino asitleri absorbe ve asimile etmektedir.  $\text{NH}_4\text{-N}$  oluşumu mikrobiyal aktivite arttıkça artar. Toprak azotunun amonifikasyonu, organik bileşiklerdeki azotun toprak mikroorganizmaları tarafından amonyum iyonuna ( $\text{NH}_4$ ) dönüştürüldüğü işlem için kullanılan terimdir (Amoo ve diğ., 2017). Amonyum üretimi, farklı tip organik madde ilavesinin topraktaki azot mineralizasyonuna etkisini göstermektedir (Jones ve diğ., 2018). Nitrifikasyon, amonyum azotunun nitrit ve nitratlara oksitlenmesidir.  $\text{NH}_4$  veya  $\text{NO}_3^-$  'ün kullanılabilirliği,  $\text{NH}_4$ 'ün üretimine ve  $\text{NH}_4$ 'ün  $\text{NO}_3^-$  e dönüşümünü etkileyen çevresel koşullara bağlıdır. Nitrifikasyon topraktaki azot dengesinden sorumlu olan önemli bir süreçtir (Pajares ve diğ., 2016; Harter ve diğ., 2014). Nitrifikasyon potansiyeli, ilk önce topraktaki nitrifikasyon biyokütlesini tahmin etmek için yaklaşım olarak geliştirilen bir yöntemdir. Varsayılan optimum koşullar altında amonyumun nitrat haline dönüştürülmesinde azami nitrifiye kapasitesinin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Biyoremediasyon, çeşitli kirleticilerle kirlenmiş toprakları iyileştirmek ve temizleme işlemlerini hızlandırmak için etkili ve verimli bir strateji sağlamaktadır (Azubuike ve diğ., 2016). Besinlerin ilavesi (biyostimülasyon) biyolojik arıtma sürecini geliştirmek için etkili bir yaklaşım olarak bu kapsamda ele alınmaktadır (Dindar ve diğ., 2016; Adams ve diğ., 2015). Biyostimülasyonda inorganik gübre, üre, talaş, kompost, gübre ve atık su çamuru gibi çeşitli besin kaynakları kullanılmaktadır (Dindar ve diğ., 2010). Arıtma çamuru gibi biyokatıların birincil faydaları arasında düşük maliyetli veya ücretsiz olması, besin maddelerinin yavaş salınması (hayvan gübrelerine benzer) ve kolay bulunabilirlik olması sayılabilmektedir (Lu ve diğ., 2012).

Bu bağlamda, atık su çamuru azot, fosfor, potasyum ve mikro besinler dahil olmak üzere bitkilerin ihtiyaç duyduğu önemli miktarda besin maddesi içermektedir ve bu da onları tarım ve ormancılıkta kullanım için mükemmel bir gübre haline getirmektedir.

Bu çalışma, lastik tozu ile kirlenmiş toprağa gıda endüstrisi arıtma çamurunun ilavesinin, kirliliğin ıslahında azot proseslerinin üzerindeki baskıyı azaltıp azaltmayacağını tespit etmektedir. Bu amaçla, gıda endüstrisi çamuru (100 ton ha<sup>-1</sup>), farklı dozlarda lastik tozuyla kirlenmiş topraklara uygulanmıştır. Mineral (anorganik) azot topraklardaki bitkilerin yararlanabileceği formdur. Bu nedenle, azot mineralizasyonu toprak verimliliği açısından önemli bir indikatördür. Daha önce yapılan çalışmaların çoğu, toprak kalitesinin izlenmesine yönelik sadece ağır metal konsantrasyonlarının belirlenmesine odaklanmıştır. Dolayısıyla bu çalışmanın amacı, farklı oranlarda lastik tozu ile kirlenmiş topraklarda azot proseslerinin (amonyum, nitrat, toplam azot, amonifikasyon, nitrifikasyon, üreaz aktivitesi) değişiminin toprak kalitesi üzerine etkisini incelemektir.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Materyal

Lastik örnekleri, lastik tamir atölyelerinden toplanmıştır. Toplanan lastik örneklerinin her biri atık lastik veya lastik ömrünün sonuna gelmiş olanlardan ortam sıcaklığında mekanik parçalama ile üretilerek alınmıştır.

Çalışmada kullanılan toprak örnekleri, Bursa-Çekirce köyünde bulunan bir tarımsal alanın 20 cm'lik yüzey toprağından alınmıştır (Enlem, 40 ° 15'55.1"N; boylam, 28 ° 47'07.55"E). Gıda endüstrisi atıksu arıtma çamuru örnekleri Türkiye-Bursa'daki bir süt şirketinin arıtma tesisinden elde edilmiştir. Kullanılan gıda çamurunun genel özellikleri Tablo 1'de sunulmaktadır.

**Tablo 1. Kullanılan toprak ve arıtma çamuru karakterizasyon değerleri**

Özellikler	Değerler	
	Arıtma Çamuru	Toprak
pH (1:5 saf su)	7,19	7,66
EC <sub>25 °C</sub> (1:5 saf su, dS m <sup>-1</sup> )	6,52	0,18
Organik C, %	37,9	1,25
Total-P, %	3,48	0,18
Total-N, %	6,39	0,14
Zn (mg kg <sup>-1</sup> kuru ağırlık)	420	1,35
Cu (mg kg <sup>-1</sup> kuru ağırlık)	26,83	2,02
Ni (mg kg <sup>-1</sup> kuru ağırlık)	20,92	<1,00
Cr (mg kg <sup>-1</sup> kuru ağırlık)	31,97	<1,00

### 2.2. İnkübasyon Çalışması

Farklı lastik tozu konsantrasyonlarının, toprak azot prosesleri üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla, 100 g toprak örnekleri plastik kaplara yerleştirilmiş ve toprak tarla kapasitesinin % 70'i oranında su ile lastik tozu karıştırılarak eklenmiştir. Lastik tozu içermeyen kontrol toprağı da konulmuştur. Kirlenmiş topraktaki lastik tozu konsantrasyonları sırasıyla % 1 (w/w), % 5 (w/w) ve % 10 (w/w) kuru toprak olarak belirlenmiştir. Lastik tozu ilavesinden sonra,

ıslah amacıyla kirletilen topraklara 100 ton ha<sup>-1</sup> (40 g kg<sup>-1</sup>) dozunda atık su arıtma çamuru uygulanmıştır.

Daha sonra numuneler karanlıkta kontrollü koşullar altında 28° C'de 15, 30 ve 45 gün boyunca inkübe edilmiştir. Deney dizaynı, 2 tekrarlamalı tesadüfi blok tasarımı düzeninde planlanmıştır. Topraklardaki nem miktarının sabit kalmasına özen gösterilmiştir. Her örnekleme zamanında (15, 30 ve 45. gün), iki set toprak kap alınarak NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, arginin amonifikasyon oranı nitrifikasyon potansiyeli ve organik azot mineralizasyonu belirlenmiştir.

### 2.3. Laboratuvar analizi

Toprak numunesinin elektriksel iletkenlik ve pH değeri saf su ile 1:5 (w/v) oranında çalkalanarak elde edilen ekstraktan tespit edilmiştir (Rhoades ve diğ., 1982; Mc Lean ve diğ., 1982). Tarla kapasitesi, serbest akış ile doygunluk metodu ile bulunmuştur (Cassel ve Nielsen, 1986). 2M KCl kullanılarak ekstrakte edilen numunelerde nitrat ve amonyum azot konsantrasyonları belirlenmiştir. Ekstraktlardaki konsantrasyonlar, MgO ve Devarda alaşımı ile su buharı destilasyonu ile analiz edilmiştir (Keeney ve Nelson, 1982). Numunelerin toplam azot içeriği, Kjeldahl yakma metodu ile ölçülmüştür (Bremner ve Mulvaney, 1982). Kolayca oksitlenebilir karbon içeriği, potasyum dikromat oksidasyonu ardından 590 nm'de spektrofotometrik ölçüm ile belirlenmiştir (Nelson ve Sommers, 1982). Arginin amonifikasyon oranı, 2 g toprağa 0,5 ml arginin çözeltisi (2 g l<sup>-1</sup>) ile 30° C'de 3 saat muamele edilmesi ve ardından 20 ml 2M KCl ile ekstre edilmesi ile belirlenmiştir (Alef ve Kleiner, 1986). Ekstraktlardaki amonyum konsantrasyonları indophenol blue metodu kullanılarak belirlenmiştir. Arginin amonifikasyon oranı, argininle muamele edilmiş ve edilmemiş numune değerler arasındaki farktan hesaplanmıştır. Arginin amonifikasyon aktivitesi, µg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N.g<sup>-1</sup> toprak sa<sup>-1</sup> olarak ifade edilmiştir.

Nitrifikasyon potansiyelleri, substrat olarak amonyum sülfat ile çalkalama yöntemi ile belirlenmiştir (Hart ve diğ., 1994). Numuneler 24 saat boyunca 25°C'de 180 rpm'de bir orbital çalkalayıcı üzerinde inkübe edilmiştir. Nitrat konsantrasyonu, santrifüjlenmiş süpernatantdan 0., 4. ve 24. saatte alınan (Cataldo ve diğ., 1975) tarafından tarif edildiği gibi salisilik asit yöntemi kullanılarak ölçülmüştür. Nitrifikasyon potansiyeli µg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>N.g<sup>-1</sup> toprak sa<sup>-1</sup> olarak ifade edilmiştir.

Örneklerin toplam azot içerikleri Kjeldahl yaş yakma yöntemiyle tayin edilmiştir (Bremner ve Mulvaney, 1982).

### 2.4. İstatistiksel analizler

Tüm istatistiksel hesaplamalar STATISTICA 6.0 yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Kirletici doz, arıtma çamuru ve inkübasyon süresinin etkisini test etmek için ANOVA uygulanmıştır. İnkübasyon süresinin ve arıtma çamurunun azot prosesleri üzerindeki etkileri kirletici doz için iki yönlü ANOVA ile test edilmiştir. Tukey post HOC analiz HSD çoklu karşılaştırma testi kullanılarak sonuçların istatistiksel olarak önemli olup olmadığı tespit edilmiştir.

## 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Tablo 1'de sunulan veriler, toprağın hafif alkali özellik (pH 7,66) göstermekte olduğunu ve elektriksel iletkenlik değerinin 0,18 mS cm<sup>-1</sup> olarak tespit edildiğini göstermektedir. Deney toprağının tarla kapasitesi %37 olarak belirlenmiştir. Toprak, % 0,14 N toplam azot değerine ve % 1,25 organik karbon içeriğine sahiptir.

### 3.1. Nitrifikasyon potansiyeli ve NO<sub>3</sub>-N konsantrasyonu

Azot döngüsü süreçlerini anlamak için nitrifikasyon potansiyelinin doğru belirlenmesi gerekmektedir. Toprak pH'ı ve amonyum miktarı nitrifikasyonu etkileyen iki ana çevresel faktördür (Hanan ve diğ., 2016; Norton ve Ouyang 2019); bununla birlikte, substrat ilavesi de pH'a kıyasla net nitrifikasyon üzerinde daha düşük bir etkiye sahiptir (Yao ve diğ., 2011).

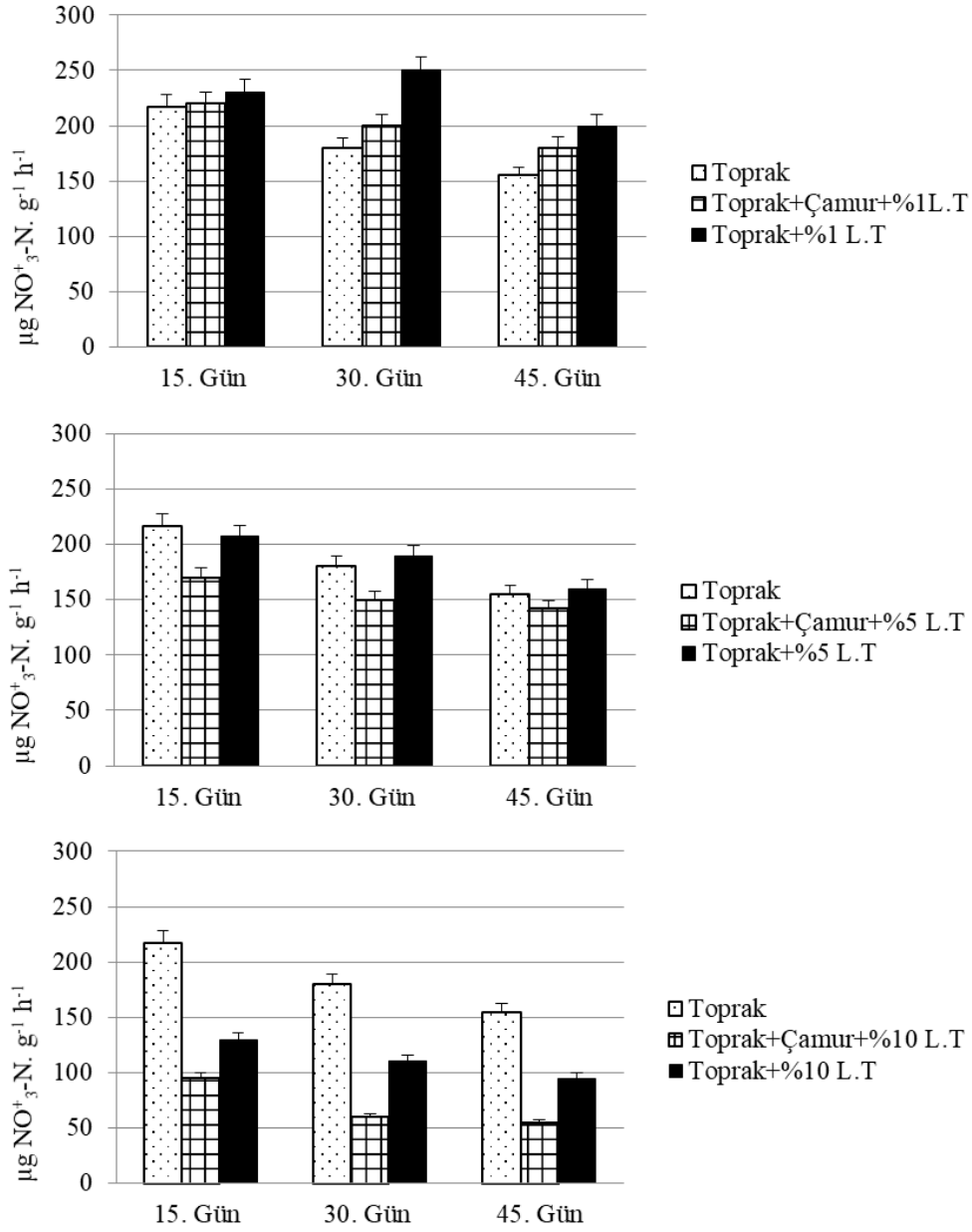
Lastik tozu ve atık su çamur uygulamasının incelenen toprağın nitrifikasyon potansiyeli üzerindeki etkisi Şekil 1'de gösterilmektedir. Kontrol toprağının nitrifikasyon potansiyeli inkübasyon koşulları altında zamanla azalma eğilimi göstermiştir.

%1 ve %5 oranında lastik tozu ile kirlenmiş topraklarda kontrol toprağına göre önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. %10 oranında lastik tozu dozu ile kirletilmiş toprakların nitrifikasyon potansiyeli, inkübasyon süresince kontrol değerlerinden daha düşük bulunmuştur ( $p<0,05$ ). Bu durum yüksek oranda lastik tozunda bulunan alüminyum ve ağır metallerin topraktaki nitrat bakterilerini inhibe etmesi ile açıklanabilir (Hu ve diğ., 2014). %10 oranında lastik tozu ile kirlenmiş toprakta nitrifikasyonun ortalama inhibisyonu %40 civarında tespit edilmiştir.

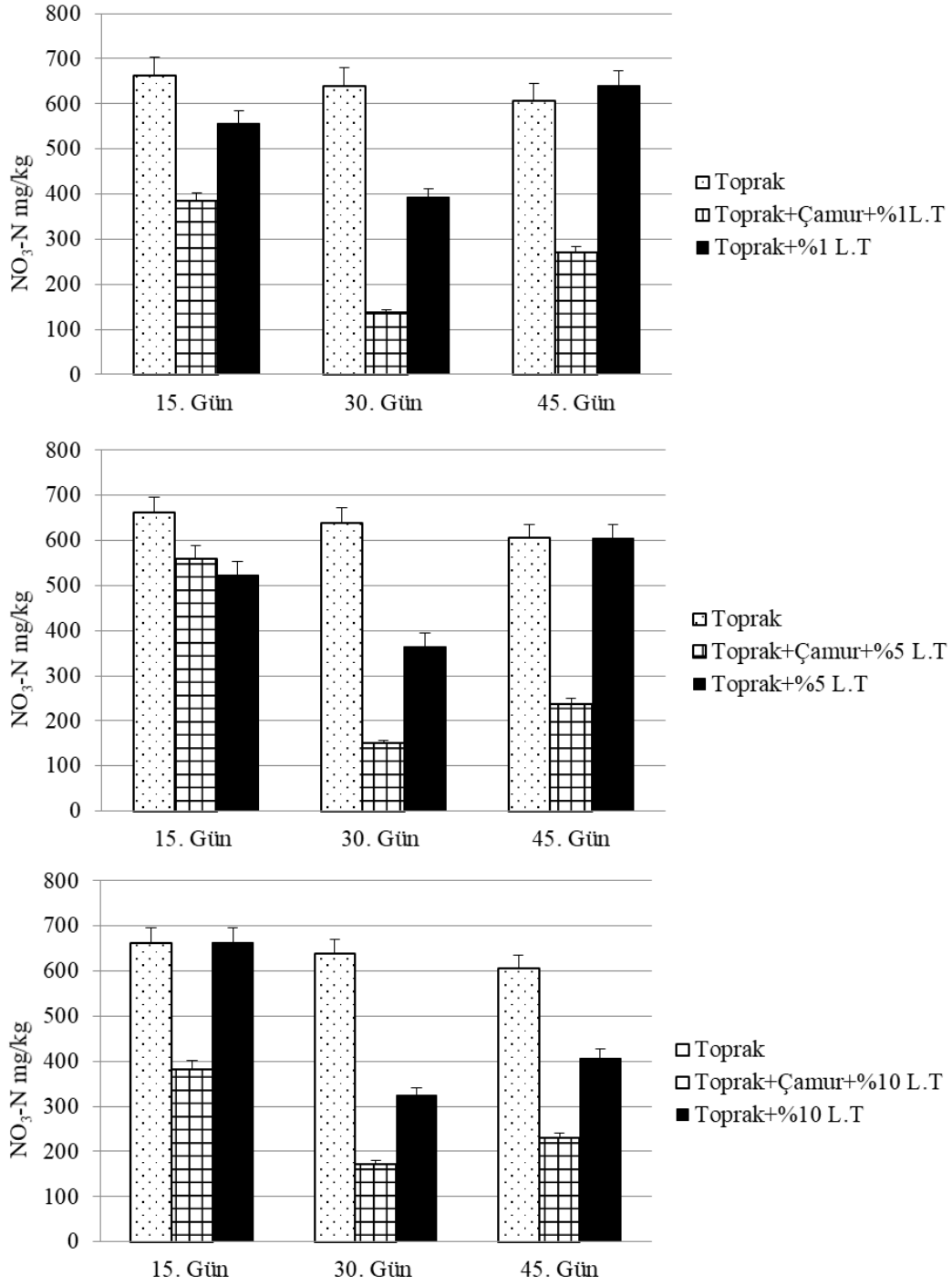
İnkübasyon süresi boyunca, kirlenmiş toprakların nitrifikasyon potansiyelinin genellikle azaldığı görülmüştür. Lastik tozu ile kirlenmiş topraklardaki arıtma çamur uygulaması tüm inkübasyon süresi boyunca nitrifikasyon potansiyelini önemli ölçüde azaltmıştır. Bu durum aynı zamanda, kirlenmiş topraklara arıtma çamuru uygulamasıyla nitrat sızıntısının önlenebileceğini göstermiştir (Li ve diğ., 2018).

İnkübasyon süresi boyunca lastik tozu ve arıtma çamuru uygulanmış topraklardaki  $\text{NO}_3\text{-N}$  konsantrasyonundaki değişim Şekil 2'de gösterilmektedir.  $\text{NO}_3$ 'ün mevcudiyeti,  $\text{NH}_4^+$  üretimine ve  $\text{NH}_4^+$ 'ın  $\text{NO}_3$ 'e dönüşümünü etkileyen çevresel koşullara bağlıdır (Topac ve diğ., 2009; Ghaly ve Ramakrishnan, 2015). Meyer ve Stitt (2001), yaptıkları çalışmalarda, bitkilerin azot kaynağı olarak amonyum kullandıklarını ve nitrat varlığında daha iyi büyüme gösterdiklerini bildirmiştir.

Kontrol toprağının nitrat seviyesi, genel olarak inkübasyon dönemi boyunca önemli ölçüde değişmemiştir. Lastik tozu ile kirlenmiş toprakta ise nitrat seviyelerinin önemli ölçüde düştüğü belirlenmiştir ( $p<0,05$ ). Düşük nitrat seviyesi, nitrifikasyon potansiyelinin neden düşük olduğunu da açıklamaktadır. Lastik partikülünün toksisitesi muhtemelen çinko ve organik bileşik içeriğinden meydana gelmektedir (Gualtieri ve diğ., 2005; Mantecca ve diğ., 2007; Jan Kole ve diğ., 2017; Wagner ve diğ., 2018). Çinko, vulkanizasyon aktivatörü olarak kauçuk bileşiklerine eklenen çinko oksitten kaynaklanmaktadır. İnkübasyon dönemi boyunca, nitrat seviyesi lastik tozu dozu arttıkça azalmıştır. Benzer şekilde, arıtma çamuru ilave edilmiş toprakta da nitrat seviyesinin düşük olduğu bulunmuştur. Bu durum, nitrat kayıplarının inkübasyon sırasında gaz haline gelen azot ile de meydana gelmiş olabileceğini açıklamaktadır (Rigby ve diğ., 2016).



**Şekil 1:**  
Farklı dozlarda Lastik Tozu (LT) ile kirlenmiş ve arıtma Çamuru uygulanmış toprakların nitrifikasyon potansiyelindeki değişim.



**Şekil 2:**

*Farklı dozlarda Lastik Tozu (LT) ile kirlenmiş ve arıtma Çamuru uygulanmış toprakların nitrat azotu konsantrasyonundaki değişim.*

### 3.2. Arginin amonifikasyon oranı ve $\text{NH}_4^+$ konsantrasyonu

Toprakta arginin amonifikasyonu, organik bileşiklerdeki azotun toprak mikroorganizmaları tarafından amonyum iyonuna ( $\text{NH}_4^+$ ) dönüştürüldüğü proses olarak tanımlanmaktadır (Amoo ve diğ., 2017; Lobos ve diğ., 2016).

Arginin, 20 temel amino asitten biridir. Mikro organizmalar dört ana yoldan biri veya daha fazlası yoluyla arginini katabolize etmektedir: (1) arginin – üreaz veya argininaz-üre amidolyaz yolu, (2) arginin transmidinaz yolu, (3) arginin deminaz yolu, (4) ve arginin dekarboksilaz yolu. Arginin transmidinaz yolu dışında diğer proseslerde son ürün amonyumdur (Abdelal, 1979). Arginin amonifikasyonu, azot mineralizasyon kapasitesini yansıtır ve 50'den fazla bakteri türü arginini bir C ve N kaynağı olarak kullanmaktadır (Wolińska ve diğ., 2016).

Şekil 3, inkübasyon süresince lastik tozu ve arıtma çamuru ilave edilmiş toprakta arginin amonifikasyon oranının değişimini göstermektedir. Sonuçlara göre, temiz toprakta arginin amonifikasyon oranı inkübasyonun sonunda artış göstermiştir. %5 ve %10 oranında lastik tozu ile kirlenmiş topraklarda amonifikasyon oranı azalma göstermiştir.

Lastik tozu ile kirlenmiş topraklara arıtma çamuru ilavesinin amonifikasyon oranını önemli ölçüde arttırdığı belirlenmiştir ( $p<0,05$ ). Bunun nedeni,  $\text{NH}_4\text{-N}$ 'nin adsorbe edilmeyerek hızlı bir şekilde  $\text{NO}_3\text{-N}$ 'ye dönüşmesi olarak açıklanabilir (Hollister, 2011).

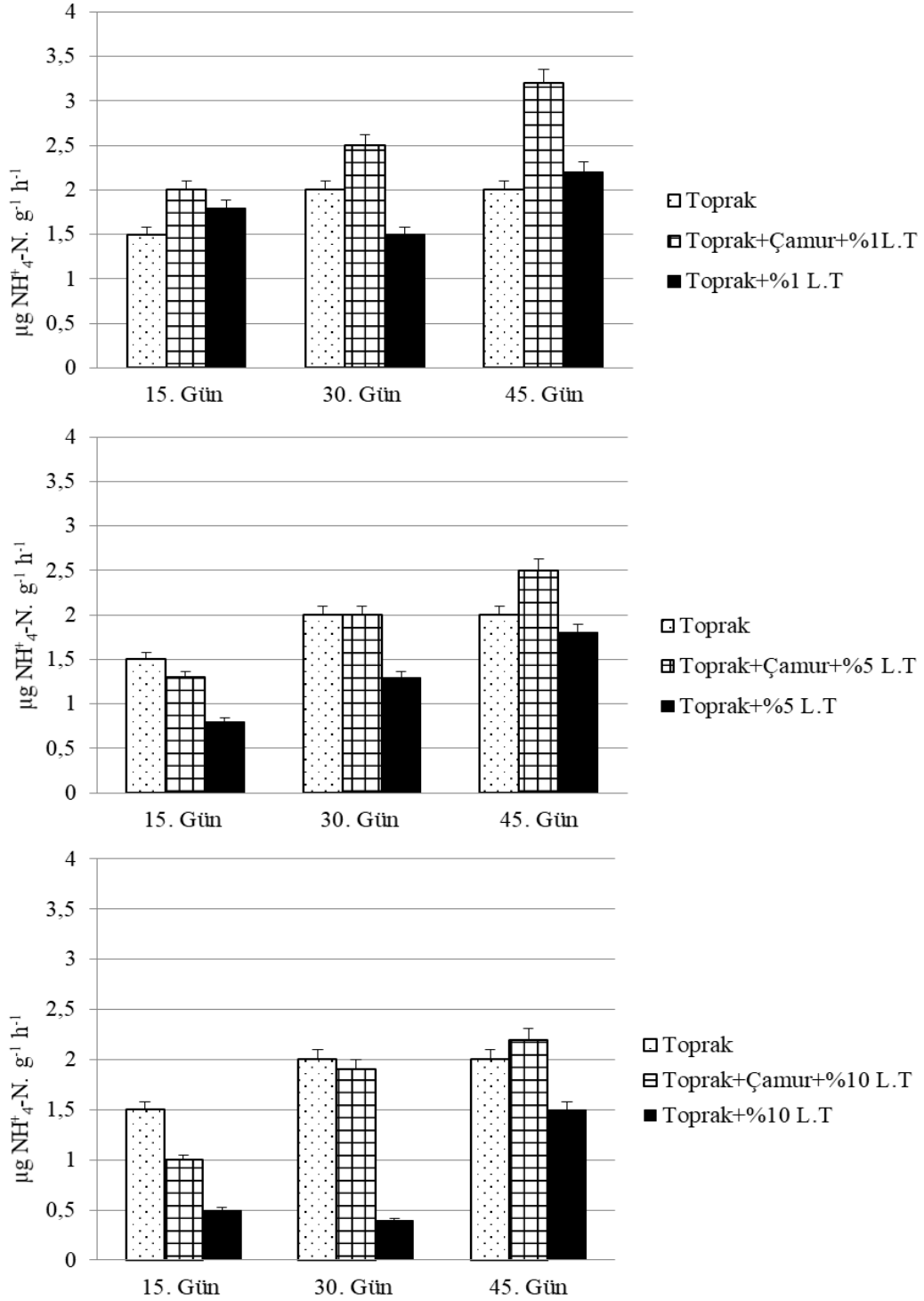
En fazla inhibisyon, yüksek dozlarda lastik tozu ile kirlenmiş toprakta bulunmuştur. Artan lastik tozu kirliliği, tüm inkübasyon sürelerinde amonifikasyon oranını azaltmıştır. %5 ve %10 lastik tozu ile kirlenmiş topraklarda meydana gelen inhibisyon sırasıyla %41 ve %48 olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada gözlemlenen mineralizasyon düşüşü, lastik tozunun neden olduğu antropojenik stresi değerlendirmek için basit bir değerlendirme aracı olarak kabul edilebilir.

Toprak mikroflorası, organik maddeyi kendi protoplazmalarına asimile edebildiklerinden daha fazla azotu serbest bırakarak organik bileşiklerden amonyum üretirler. Bu şekilde amonyum üretimi, toprakta azot mineralizasyonu üzerine farklı organik madde türlerinin etkisini anlamak için önemlidir (Jones ve diğ., 2018).

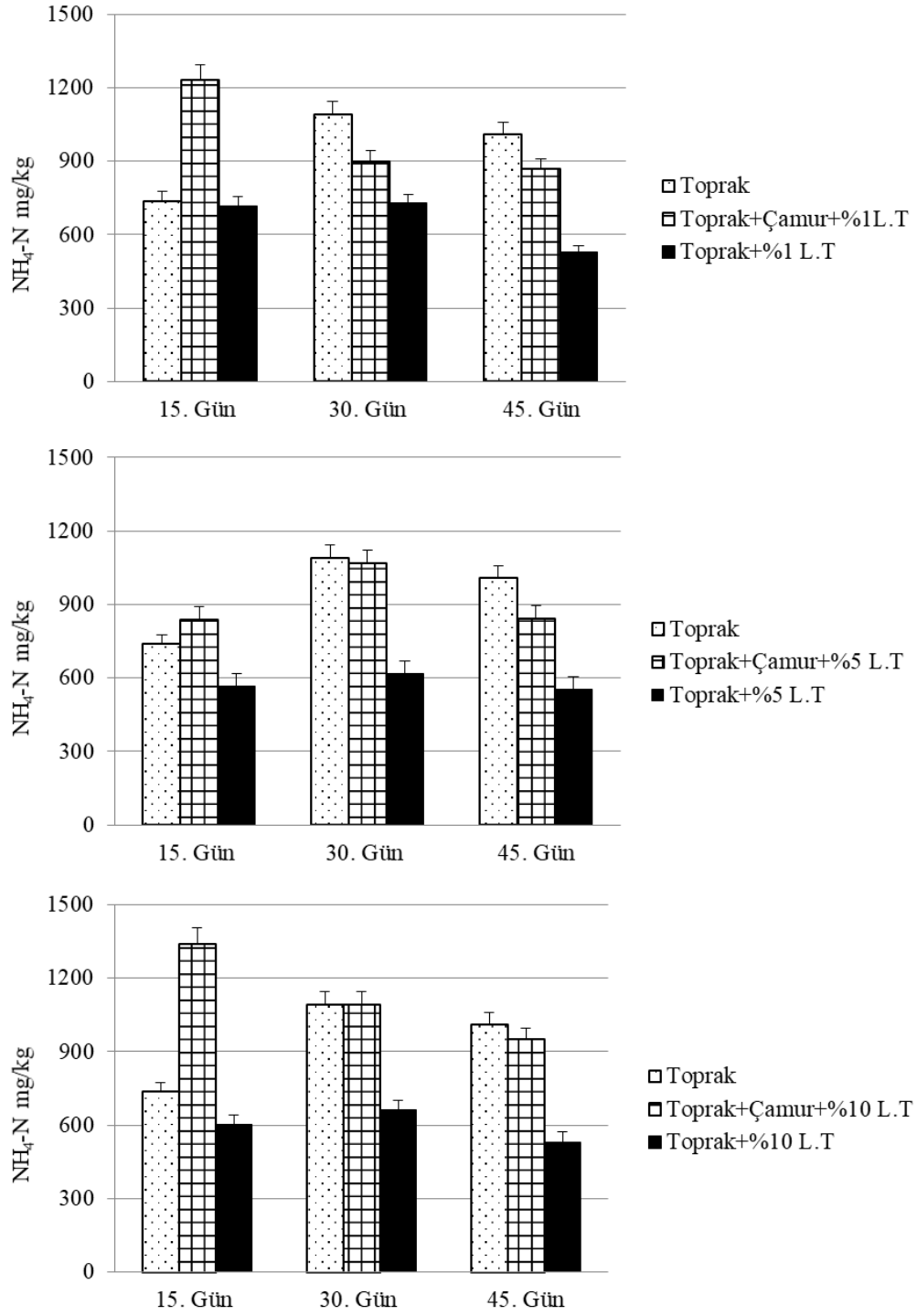
Lastik tozu ve arıtma çamur ilavesinin, toprağın amonyum konsantrasyonu üzerindeki etkisi Şekil 4'te gösterilmektedir.

Toprakta amonyum birikimi: (a) topraktaki organik azotun mineralleşme oranı, (b) büyüme için azot kaynağı olarak mikroorganizmalar tarafından amonyum alımı, (c) büyüme için azot kaynağı olarak bitkilerden amonyum alımı, (d) amonyağın uçucu hale getirilmesi, (e) nitrifikasyon (amonyumun nitrate biyolojik dönüşümü), (f) sızma yoluyla nitrat kaybı (nitrifikasyon oranını artırır) ve (g) büyüme için bir azot kaynağı olarak nitratın bitki tarafından alınmasından (bu nitrifikasyon oranını artırır) etkilenmektedir. Bu nedenle, topraktaki düşük bir amonyum konsantrasyonu düşük mineralleşmeyi göstermemekle birlikte yüksek oranda nitrifikasyonun, mikrobiyal ve bitki alımının olduğunu gösterebilir (Sahrawat, 2010). Temiz toprağın amonyum konsantrasyonu, ideal inkübasyon koşullarında zaman içinde artma eğilimi göstermiştir. %1, %5 ve %10 oranında lastik tozu içeren topraktaki amonyum seviyesi, inkübasyon boyunca kontrol değerlerinden düşük bulunmuştur ( $p<0,05$ ). Arıtma çamuru uygulaması, kirlenmiş topraktaki amonyum seviyelerini arttırmıştır. Arıtma çamurunun içeriği, temel besinlerden olan azot ve fosfor açısından (N ve P) zengin olduğu için toprağı iyileştirmek için potansiyel gübre olarak kullanılabilir (Franco-Otero ve diğ., 2012). Arıtma çamurundaki azot genellikle organik halde ve az miktarı nitrat ve amonyum olarak bulunmaktadır (Esperschuetz ve diğ., 2016; Rigby ve diğ., 2016).





**Şekil 3:**  
*Farklı dozlarda Lastik Tozu (LT) ile kirlenmiş ve arıtma çamuru uygulanmış toprakların arginin amonifikasyon oranındaki değişim.*



Şekil 4:

Farklı dozlarda Lastik Tozu (LT) kirlenmiş ve artıma Çamuru uygulanmış topraklarda amonyum azotu konsantrasyonundaki değişim.

Organik bileşiklere bağlı olan azot yavaş salınımlıdır. Bu nedenle, arıtma çamuru uygulanmış kirli topraklardaki amonyum seviyelerinin nitrat seviyelerinden daha yüksek olması olasıdır. İnkübasyon sonunda, arıtma çamuru uygulanmış topraklarda amonyum seviyeleri kontrole göre daha düşük bulunmuştur. Bu durum arıtma çamuru uygulamasının nitrifikasyon işlemlerini hızlandırdığını göstermektedir (Şağban, 2011).

### 3.3. Organik azot mineralizasyonu

Azot mineralizasyon oranının bilinmesi, bitkiler tarafından alınabilir hale geçen azot miktarlarının bilinmesinde oldukça önemlidir. Organik azot miktarlarının hesaplanabilmesi için toplam azot değerleri hesaplanmıştır. Belirlenen Kjehdahl azotu değerlerine nitrat azotu değerleri eklenerek toplam azot değerleri hesaplanmıştır.

Veriler değerlendirildiğinde, düşük dozda (%1) lastik tozu ile kirlenmiş topraklarda toplam azot seviyesinin temiz kontrol toprağına kıyasla önemli bir farklılık göstermediği belirlenmiştir. Ancak, %5 ve %10 oranında kirlenmiş toprakta kontrol toprağına göre yüksek değerler bulunmuştur. İnkübasyon süresine bağlı olarak, lastik tozu ile kirlenmiş topraklarda önemli bir farklılık gözlenmemiştir. Arıtma çamuru uygulaması ise toprakların toplam azot değerini önemli ölçüde artırmıştır. En belirgin artış inkübasyonun 30. gününde tespit edilmiştir.

Lastik tozunun toprak azot mineralizasyonu üzerindeki muhtemel inhibisyon etkisini belirlemek üzere, uygulanan lastik tozu dozları için organik azotun mineralizasyon yüzdeleri temiz ve kirli toprak için hesaplanmıştır.

İnkübe edilen topraklarda meydana gelen olası azot kayıpları ihmal edilmiş ve mineralizasyon yüzdeleri, lastik tozu uygulanmış topraklardaki organik azot konsantrasyonlarındaki azalma baz alınarak hesaplanmıştır. Topraklardaki organik azot miktarının hesabında, fikse  $-NH_4^+$  analizleri yapılmadığından, toplam azottan inorganik ekstrakte edilebilir azot (serbest+değişebilir amonyum ve nitrat azotu) formlarının çıkarılması esas alınmıştır. Bundan dolayı toplam organik azot içerisinde yer alan veya fikse formdan serbest hale gelebilen amonyum miktarı ihmal edilmiştir (Dindar, 2008).

$$\% \text{ N mineralizasyonu} = 100 \times \frac{[(\text{Norganik})_{t=t} - (\text{Norganik})_{t=0}]_{\text{Kirli toprak}} - [(\text{Norganik})_{t=t} - (\text{Norganik})_{t=0}]_{\text{Temiz toprak}}}{[(\text{Norganik})_{t=0}]_{\text{Kirli toprak}} - [(\text{Norganik})_{t=0}]_{\text{Temiz toprak}}} \quad (1)$$

Yukarıda verilen % azot mineralizasyonu formülüne (1) göre, t anındaki mineralizasyonu hesaplamak için, kirli topraklarda t anındaki organik azottan başlangıçtaki organik azot çıkartılmakta ve organik azottaki azalmanın mineralize olan kısmı ifade ettiği kabul edilmektedir. Bu değerden toprağın kendi bünyesindeki organik azottan kaynaklanan mineralize azot çıkartılarak sadece lastik tozu kaynaklı organik azotun bulunması esas alınmıştır (Hernandez ve diğ., 2002). Yapılan hesaplamalar neticesinde temiz toprağın organik azot mineralizasyon değeri inkübasyon sonunda %90 olarak hesaplanırken, %1 lastik tozu ile kirlenen toprakta %60; %5 lastik tozu ile kirlenen toprakta %55 ve %10 lastik tozu ile kirlenen toprakta ise %22 olarak hesaplanmıştır. Bu durum lastik tozu kirliliğinin, toprakların azot mineralizasyonunu önemli ölçüde azalttığını göstermektedir.

## 4. SONUÇ

Lastik tozunun toprakların kalitesini olumsuz etkilediği anlaşılmaktadır. Azot (N) toprak ortamı için en önemli besinlerden biridir. Mineral (anorganik) azot topraklardaki bitkilerin yararlanabileceği formdur. Toprak numunelerinde belirlenen mineral azot formlarının, yüksek dozda (%10) lastik tozu kirlenmesinden olumsuz etkilendiği görülmüştür. Sonuçlar, kirlenmiş toprak numunelerindeki nitrat azot formu seviyelerinin amonyum azot formundan daha düşük olduğunu da göstermiştir. Toprak ortamında fazla amonyum bulunması, nitratın heterotrofik bakteriler tarafından asimilasyonunu baskılamaktadır. Bu durum, azot döngüsünde önemli rol oynayan amonifikasyon proseslerinin lastik tozlarının yarattığı kirliliğe daha duyarlı olduğunu

göstermektedir. İnkübasyon sonunda, yüksek dozda lastik tozu kirliliğinin nitrifikasyon prosesini inhibe ettiği görülmüştür. Lastik tozu ile kirlenmiş topraklara arıtma çamuru ilave edilmesi durumunda, amonifikasyon oranını önemli ölçüde artarken nitrifikasyon potansiyelini düşürdüğü tespit edilmiştir. Organik azot mineralizasyonu açısından değerlendirildiğinde lastik tozu kirliliğinin mineralizasyonu önemli ölçüde inhibe ettiği görülmektedir. Elde edilen sonuçlar neticesinde, temiz toprağın organik azot mineralizasyon değeri inkübasyon sonunda %90 olarak hesaplanırken, %1 lastik tozu ile kirlenen toprakta %60; %5 lastik tozu ile kirlenen toprakta %55 ve %10 lastik tozu ile kirlenen toprakta ise %22 olarak tespit edilmiştir. Organik madde ve besin maddelerince zengin arıtma çamuru uygulamasının, lastik tozunun toprakta yarattığı baskıyı azaltıcı yönde etkilediği görülmüştür.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI

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

## YAZAR KATKISI

Efsun DİNDAR çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin belirlenmesi ve yönetimi, veri toplama, veri analizi ve yorumlama, makale taslağının oluşturulması, fikirsel içeriğin eleştirel incelemesi, son onay ve tam sorumluluk aşamalarını tamamlamıştır.

## KAYNAKLAR

1. Abdelal, A.T., Arginine Catabolism by Microorganisms, *Annu. Rev. Microbiol.* 33,139–168, 1979.
2. Adams, G.O., Fufeyin, P.T., Okoro, S.E., Bioremediation, Biostimulation and Bioaugmentation: A Review. *International Journal Of Environmental Bioremediation & Biodegradation*, 3(1), 28-39, 2015.
3. Alef, K., Kleiner, D. Arginine Ammonification, A Simple Method to Estimate Microbial Activity Potentials in Soil, *Soil Biol. Biochem.* 18, 233–235, 1986.
4. Amoo, A.E., Babalola, O.O., Ammonia-Oxidizing Microorganisms: Key Players in The Promotion of Plant Growth. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 17 (4), 935-947, 2017.
5. Azubuiké, C.C., Chikere, C.B., Okpokwasili, G.C., Bioremediation Techniques–Classification Based on Site Of Application: Principles, Advantages, Limitations and Prospects. *World J Microbiol Biotechnol* 32, 180, 2016.
6. Bremner, J.M., Mulvaney, C.S. Nitrogen-Total, İn: A.L. Page, R.H. Miller, D.R. Keeney (Eds.), (1982). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical And Microbiological Properties*, Asa And Sssa, Agronomy Monograph No. 9, Madison, WI, Pp. 595–624,
7. Cassel, D.K., Nielsen D.R., Field Capacity and Availablewater Capacity, İn: A. Klute (Ed.), *Methods Of Soil Analysis, Part 1. Physical And Mineralogical Methods*, Asa And Sssa, Agronomy Monograph No 9, Madison, WI, Pp. 901–926, 1986.
8. Cataldo, D.A, Haroon, M., Schrader, L.E., Young, V.L., Rapid Colorimetric Determination of Nitrate in Plant Tissue By Nitration of Salicylic Acid, *Commun. Soil Sci. Plan* 6, 71–80, 1975.
9. Dave, G., Ecotoxicological Risk Assessment and Management of Tire Wear Particles. İn: Féraud Jf., Blaise C. (Eds) *Encyclopedia Of Aquatic Ecotoxicology*. Springer, Dordrecht., 2013.

10. Dindar, E., Topaç Şağban, F. O., Uçaroğlu, S., Başkaya, H. S., Biostimulation of Azo Dye-Contaminated Soils by Food Industry Sludge. *Soil and Sediment Contamination*, 19, 436–454, 2010.
11. Dindar, E., Topaç Şağban, F.O., Başkaya, H.S. Biodegradation of Used Engine Oil in a Wastewater Sludge-Amended Agricultural Soil. *Turk J Agric For* 40, 631-641, 2016.
12. Dindar, E., Topaç Şağban, F.O., Başkaya, H.S., Arıtma Çamuru Uygulanan Topraklarda Sulamadan Kaynaklanan Kirliliğin Azot Mineralizasyonuna Etkisi. *Ekoloji*, 17, 66, 31-38, 2008.
13. Esperschuetz, J., Bulman, S., Anderson, C., Lense, O., Horswell, J., Dickinson, N., Robinson, B.H. Production of Biomass Crops Using Biowastes on Low-Fertility Soil: 2. Effect of Biowastes on Nitrogen Transformation Processes. *Journal of Environmental Quality*, 45, 1970–1978, 2016.
14. Franco-Otero, V.G., Soler-Rovira, P., Hernández, D., López-De-Sá, E.G., Plaza, C. Short-Term Effects of Organic Municipal Wastes on Wheat Yield, Microbial Biomass, Microbial Activity, and Chemical Properties of Soil. *Biol Fertil Soils* 48, 205–216, 2012.
15. Ghaly, A.E., Ramakrishnan, V.V., Nitrogen Sources and Cycling in The Ecosystem and its Role in Air, Water and Soil Pollution: A Critical Review *J Pollut Eff Cont*, 3, 2, 2015.
16. Gualtieri M., Andrioletti M., Mantecca P., Vismara C., Camatini M. Impact of Tire Debris on in Vitro and in Vivo Systems. Part. *Fibre Toxicol.* 2,1, 2005.
17. Hanan, E.J., Schimel, J.P., Dowdy, K., Carla, M.D.A. Effects of Substrate Supply, pH, and Char on Net Nitrogen Mineralization and Nitrification Along a Wildfire-Structured Age Gradient in Chaparral Soil *Biology & Biochemistry* 95, 87-99, 2016.
18. Hart, S.C., Stark, J.M., Davidson, E.A., Firestone, M.K., Nitrogen Mineralisation, Immobilization, and Nitrification, In: R.W. Weaver, J.S. Angle, B.S. Bottomley (Eds.), *Methods Of Soil Analysis. Part 2. Microbiological and Biochemical Properties*, Asa and Sssa, Book Series No. 5, Madison, WI, Pp. 985–1018, 1994.
19. Harter, J., Krause, H., Schuettler, S., Ruser, R., Fromme, M., Scholten, T., Kappler, A., Behrens, S. Linking N<sub>2</sub>O Emissions From Biochar-Amended Soil to The Structure and Function of The N-Cycling Microbial Community. *The Isme Journal* 8, 660–674, 2014.
20. Hernandez, T., Moral R, Perez-Espinosa, A., Moreno-Caselles, J., Perez-Murcia, M.D., Garcia, C., Nitrogen mineralisation potential in calcareous soils amended with sewage sludge. *Bioresource Technology* 83, 213-219, 2002.
21. Hollister, C., Ammonium, Nitrate and Phosphate Sorption to Water-Rinsed and Non-Rinsed Biochars. Master's Thesis: Cornell University, Department of Civil And Environmental Engineering, 2011.
22. Hu, X. F., Jiang, Y., Shu, Y., Hu, X., Liu, L., Luo, F., Effects of Mining Wastewater Discharges on Heavy Metal Pollution and Soilenzyme Activity of The Paddy Fields. *J. Geochem. Explor.* 147, 139–150, 2014.
23. Jan Kole, P., Löhr, A.J., Van Belleghem, F.G.A.J., Ragas, A.M.J. Wear and Tear of Tyres: A Stealthy Source of Microplastics In The Environment. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 14,1265, 2017.
24. Jones, D.L., Magthab, E.A., Gleeson, D.B., Hill, P.W, Sánchez-Rodríguez, A.R., Roberts, P., Ge T., Murphy, D.V. Microbial Competition For Nitrogen and Carbon Is as Intense in the Subsoil Asin The Topsoil. *Soil Biology and Biochemistry* 117, 72–82, 2018.

25. Keeney, D.R, Nelson, D.W., Nitrogen-Inorganic Forms, In:A.L. Page, R.H. Miller, D.R. Keeney (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical And Microbiological Properties, Asa and Sssa, Agronomy Monograph No. 9, Madison, WI, , Pp. 643–693, 1982.*
26. Li, Y ., Chapmanc, S.J., Nicold, G.W., Yao, H., Nitrification and Nitrifiers in Acidic Soils. *Soil Biology and Biochemistry* 116, 290–301, 2018.
27. Lobos, Ortega I., Alfaro, M., Martinez-Lagos, J., Soil Nitrogen Contribution to Grasslands and Its Implication For Nitrogen Use Efficiency. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition.* 16, 310-322, 2016.
28. Lu, Q., He, Z.L., Stoffella, P.J., Land Application of Biosolids In The Usa: A Review. *Applied and Environmental Soil Science, Article Id 201462, 11 Pages, 2012.*
29. Mantecca, P., Gualtieri, M., Andrioletti, M., Bacchetta, R., Vismara, C., Vailati, G., Camatini, M. Tire Debris Organic Extract Affects *Xenopus* Development. *Environ. Int.* 33, 642–648, 2007.
30. Mc Lean, E.O., Soil Ph And Lime Requirement, İn: A.L. Page, R.H. Miller, D.R. Keeney (Eds.), *Methods Of Soil Analysis. Part 2. Chemical And Microbiological Properties, Asa And Sssa, Agronomy Monograph No. 9, Madison, WI, Pp.199–224, 1982.*
31. Meyer, C., Stitt, M., Nitrate Reductase And Signalling. In: Lea Pj, Morotgaudry Jf (Eds.) *Plant Nitrogen, Springer, New York, Usa, Pp 37-59, 2001.*
32. Nelson, D.W., Sommers, L.E., Total Carbon, Organic Carbon And Organic Matter, In: A.L. Page, R.H. Miller, D.R. Keeney (Eds.), *Methods Of Soil Analysis. Part 2. Chemical And Microbiological Properties, Asa And Sssa, Agronomy Monograph No. 9, Madison, WI, , Pp. 539–579, 1982.*
33. Norton, J., Ouyang, Y., Controls and Adaptive Management of Nitrification in Agricultural Soils. *Front Microbiol.*, 10, 1931, 2019.
34. Pajares, S., Bohannan, B.J.M., Ecology Of Nitrogen Fixing, Nitrifying, and Denitrifying Microorganisms İn Tropical Forest Soils. *Front Microbiol.* 7, 1045, 2016.
35. Rhoades, D., Soluble Salts, İn: A.L. Page, R.H. Miller, D.R. Keeney (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical And Microbiological Properties, Asa and Sssa, Agronomy Monograph No. 9, Madison, WI, Pp. 167–179, 1982.*
36. Rigby, H., Clarke, B.O., Pritchard, D.L., Meehan, B., Beshah, F., Smith, S.R., Porter N.A., 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, 2016.
37. Sagban, F.O., Impacts of Wastewater Sludge Amendments in Restoring Nitrogen Cycle In P-Nitrophenol Contaminated Soil. *Journal of Environmental Sciences*, 23(4) 616–623, 2011.
38. Sahrawat, K.L., Nitrogen Mineralization İn Lowland Rice Soils: The Role of Organic Matter Quantity and Quality *Archives of Agronomy and Soil Science*, 56, 3, 337–353, 2010.
39. Schloter, M., Dilly, O., Munch, J.C., Indicators for evaluating soil quality. *Agric. Ecosyst. Environ.* 98, 255-262, 2003.
40. Shinggu, D.Y., Ogugbuaja, V.O., Toma, I., Barminas, J.T., Determination of Heavy Metal Pollutants in Street Dust of Yola, Adamawa State, Nigeria. *African Journal of Pure and Applied Chemistry Vol. 4 (1), Pp. 017-021, 2010.*

41. Sommer, F., Dietze, V. Baum, A. Sauer, J. Gilge, S. Maschowski, C. Gieré R., Tire Abrasion as a Major Source of Microplastics in The Environment. *Aerosol Air Quality Res.*, 18, 2014–2028, 2018.
42. Topac, F.O, Dindar, E., Ucaroglu, S., Baskaya, H.S., Effect of a Sulfonated Azo Dye and Sulfanilic Acid on Nitrogen Transformation Processes in Soil. *Journal Of Hazardous Materials*, 170, 1006–1013, 2009.
43. Wagner, S., Huffer, T., Klockner, P., Wehrhahn, M., Hofmann, T., Reemtsma, T., Tire Wear Particles in The Aquatic Environment - A Review on Generation, Analysis, Occurrence, Fate And Effects. *Water Research*, 139, 2018.
44. Wang, J., Feng, X., Anderson, C.W.N., Xing, Y., Shang, L., Remediation of Mercury Contaminated Sites - A Review. *J Hazard Mater* 221-222: 1–18, 2012.
45. Wei, X, Gao, B, Wang, P, Zhou, H, Jin, Lu., Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Street Dusts From Different Functional Areas in Beijing, China. *Ecotoxicology And Environmental Safety* 112, 186–192, 2015.
46. Wolińska, A., Szafranek-Nakonieczna, A., Banach, A., Błaszczuk, M., Stępniewska, Z., The Impact of Agricultural Soil Usage on Activity and Abundance of Ammonifying Bacteria in Selected Soils From Poland. *Springer Plus* 5, 565, 2016.
47. Yao, Hy, Campbell, Cd, Qiao, X., Soil pH Controls Nitrification and Carbon Substrate Utilization More Than Urea or Charcoal in Some Highly Acidic Soils. *Biology and Fertility of Soils* 47, 515–522, 2011

