

Atf İçin: Ulutuğ F C, Topuz E, 2022. Mikroplastik ve biyokatı varlığında toprakta nikel toksisitesinin belirlenmesi. İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(3): 1386 – 1394.

To Cite: Ulutuğ F C, Topuz E, 2022. Determination of nickel toxicity in soil in the presence of microplastics and biosolids. Journal of the Institute of Science and Technology, 12(3): 1386 – 1394.

Mikroplastik ve Biyokatı Varlığında Toprakta Nikel Toksisitesinin Belirlenmesi

Fatma Cansu ULUTUĞ¹, Emel TOPUZ^{1*}

ÖZET: Hayatımızda büyük bir yer kaplayan plastikler bu yaygın kullanımlarıyla aynı zamanda çeşitli çevre sorunlarını da beraberinde getirmiştir. Atıksu Arıtma Tesislerinin arıtma çamurlarında mikroplastikler birikebilmekte ve daha sonra bu çamurların tarım arazilerinde kullanılması ağır metaller ve mikroplastikler gibi henüz çevreye etkileri net olmayan kirleticilerin yayılmasına neden olabilmektedir. Tarım arazilerinde risk arz eden ağır metallere biri Nikel olup ilgili yönetmeliklerle de sınırlandırılmıştır. Ancak, mikroplastik ve biyokatı gibi etkileri yeni incelenmeye başlayan potansiyel kirletici kaynaklar ile bulunması durumunda Nikelin toksisitesinde meydana gelebilecek değişim incelenmemiştir. Bu kapsamda, mikroplastik ve biyokatı varlığında Nikel toksisitesi incelenmiştir. Toprakta yaşayan canlıları temsilen kullanılan *E. Crypticus* üzerinde üremeye olan etkileri EC₅₀ değerleri ile belirlenmiştir. Buna göre hem mikroplastikler hem de biyokatı uygulamaları Nikel toksisitesini düşürücü yönde etki etmiştir. Bu durum, Nikelin biyokatıdaki organik maddelerle kompleks oluşturarak ya da mikroplastik yüzeyinde bulunabilecek yüklü yüzey gruplarıyla etkileşime girerek toksik etkiyi meydana getirdiği bilinen iyonik formun nötrleşmesi ile açıklanabilir.

Anahtar Kelimeler: Mikroplastik, nikel, biyokatı, toksisite

Determination of Nickel Toxicity in Soil in The Presence of Microplastics and Biosolids

ABSTRACT: Plastics, which occupy a large place in our lives, have also brought along various environmental problems with their widespread use. Microplastics can accumulate in the sewage sludge of Wastewater Treatment Plants, and then the use of these sludges in agricultural lands may cause the spread of pollutants such as heavy metals and microplastics for which the toxic effects are not clear, yet. Nickel is one of the heavy metals that pose a risk in agricultural lands, and it is also limited by the relevant regulations. However, the change in the toxicity of Nickel in the presence of potential pollutants such as microplastics and biosolids, whose effects have just begun to be investigated, has not been examined. In this context, nickel toxicity was investigated in the presence of microplastics and biosolids. The effects on reproduction on *E. Crypticus*, which is used as a representative of living things living in the soil, were determined by EC₅₀ values. Accordingly, both microplastics and biosolids applications had a decreasing effect on Nickel toxicity. This can be explained by the neutralization of Nickel for which toxicity is sourced from ion forms by complexing with organic substances in the biosolid or interacting with charged surface groups that may be present on the microplastic surface.

Keywords: Microplastic, nickel, biosolid, toxicity

¹ Fatma Cansu ULUTUĞ ([Orcid ID: 0000-0003-2407-1076](https://orcid.org/0000-0003-2407-1076)), Emel TOPUZ ([Orcid ID: 0000-0002-8985-5958](https://orcid.org/0000-0002-8985-5958)), Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Emel TOPUZ, e-mail: emeltopuz@gtu.edu.tr

Makale 9-10-11 Aralık 2021 tarihlerinde düzenlenen “14.Ulusal 2.Uluslararası Çevre Mühendisliği Kongresi’nde” sözlü olarak sunulmuştur.

GİRİŞ

Üretildiği ilk zamanlardan beri plastik günlük hayatın vazgeçilmez bir parçası olmuştur. Plastik geniş fonksiyon kapasitesi, hafifliği, güçlü bir malzeme olması ve düşük üretim maliyetleri nedeniyle 2017 yılında dünyada üretimi 348 milyon tonu aşmıştır (Park ve ark., 2020).

Çevrede sıklıkla karşılaştığımız mikroplastikler (MP) çok çeşitli kaynaklardan gelebilmektedir. Birçok araştırma gösteriyor ki mikroplastikler ya da başka bir deyişle boyutları 5 mm'den küçük plastikler akarsularda, sedimentte, denizde ve hatta insan plasentasında bile bulunabilmektedir (Park ve ark., 2020). Atıksu arıtma tesislerinden gelen biyokatıların organik gübre olarak uygulanması mikroplastiklerin tarım arazilerine ulaşmasına yol açabilir. Atıksu arıtma tesislerine gelen mikroplastiklerin %90'a kadarının çamurda biriktiği ve bu konsantrasyonun 1500 ila 56400 partikül kg⁻¹ aralığında olabileceği araştırmalar sonucu ortaya konmuştur (Zhu ve ark., 2019). Tarım arazilerinde mikroplastik konsantrasyonunu etkileyen bir diğer uygulama plastik malçlamadır. Plastik malçlama, ekonomik olması, besin kalitesini artırması, su kullanımını azaltması gibi olumlu yönlerine rağmen plastiklerin parçalanarak toprakta mikroplastik kirliliğini oluşturma potansiyeli vardır (Steinmetz ve ark., 2016). Toprak ortamına doğrudan giren mikroplastik kaynaklarına ilave olarak atmosferik çökme gibi dolaylı kaynakları da olabilir. Dris ve ark. (2016) yaptığı çalışmaya göre atmosferde bulunan fiber parçacıklardan %29'u plastik polimerlerden oluşmakta ve atmosferde bulunan bu plastiklerin tekstil kalıntılarından, makroplastiklerin parçalanmasından ve yakılan atıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Mikroplastikler de dahil olmak üzere bu fiber parçacıkların rüzgarla ya da yağışlar sonucunda su ya da karasal ekosistemlere ulaşacağı ön görülmektedir (Dris ve ark., 2016). Boyutu <1 mm'den küçük mikroplastikler ve fiberler çevrede gözlenen en yaygın türlerdir (Zhu ve ark., 2019). Bråte ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmaya göre dünya çapında en çok kullanılan plastikler arasında polietilen (PE) %30, polipropilen (PP) %19, polivinil klorür (PVC) %11, polistiren (PS) %7 bulunmaktadır (Bråte ve ark., 2014). Diğer plastiklere oranla iyi mekanik özellikleri ve düşük maliyetiyle PS, yalıtım malzemelerinde, ambalaj köpüğünde, tek kullanımlık bardak, tabak, çatal ve kaşıklarda, kompakt disklerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Hidrofobik karakteri nedeniyle hidrolize dayanıklı bir yapı geliştirmiştir ve mikroorganizmalar için tutunma yüzeyi oluşturmaktadır (Ho ve ark., 2018).

Mikroplastikler solunduğunda ya da yutulduğunda, canlıların besin ve enerji üretme kabiliyetlerini engelleyip üreme ve büyüme gibi fonksiyonlarını kısıtlayabilir (Zhang ve ark., 2021). Mikroplastikler küçük boyutları nedeniyle biyotürbülasyon ve deniz karı gibi biyolojik döngüleri olumsuz etkileyebilir (Reimonn ve ark., 2019). Çok sayıda çalışma plastiğin balıklar (Park ve ark., 2020; Sanchez ve ark., 2014) ve kuşlar (Holland ve ark., 2016) üzerindeki olumsuz etkilerini ortaya koymuştur. Park ve ark. (2020) tarafından yapılan çalışmaya göre, Zebra balığında (*Danio rerio*) mikroplastik varlığında iltihaplanma, oksidatif stres, protein ve enerji metabolizmasında bozunmalar gözlenmiştir (Park ve ark., 2020). Mikroplastik kirliliğiyle ilgili yapılan araştırmaların %96'dan fazlası deniz ekosistemiyle alakalı olup ve mikroplastiklerin karasal ekosistemlerde akıbeti hakkında çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Horton ve ark., 2017). Rodriguez-Seijo ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada 250-1000 µm boyutlarında PE mikroplastiklerin (0, 62.5, 125, 250, 500 ve 1000 mg kg⁻¹ kuru toprak) *E. Andrei* cinsi solucanların üzerindeki etkilerini 28 gün boyunca gözlemlemiş ve gözlemler sonucunda solucanların büyüme, gelişme, üreme ve son ağırlıkları açısından önemli bir etki kaydedilmemiştir (Rodriguez-Seijo ve ark., 2017). Cao ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada 58 µm boyutunda PS mikroplastikleri *E. Foetida* solucanlarına (0, 0.25, 0.5, 1 ve %2 (a/a)) maruz bırakıp

etkilerini gözlemlemiştir (Cao ve ark., 2017). %1 ve %2'lik konsantrasyonlarda büyümenin büyük ölçüde kısıtlandığı ve ölümleri arttırdığı gözlemlenmiştir

Mikroplastikler salt toksik etkilerinin yanı sıra çevrelerinde bulunan toksik kimyasalların vektörü olarak da işlev gösterebilir (Koelmans ve ark., 2016). PVC ve PS plastiklerinin ağır metalleri absorbe etme kapasitesi incelenmiş ve plastiklerin deniz sistemindeki ağır metal iyonları için vektör olarak rol oynayabileceği tespit edilmiştir (Brennecke ve ark., 2016). Nikel hem doğal hem de antropojenik kaynaklar sonucunda havada, suda, sedimentte ve toprakta karşımıza çıkan bir ağır metaldir. İnsan kaynaklı Nikel salınımlarına metal madenciliği, eritme ve rafinaj prosesleri, nikel kaplama ve alaşımlarının üretimi gibi endüstriyel faaliyetler, atık su arıtma tesislerinden çıkan çamur gibi atıkların işlenmesi ya da bu biyokatıların gübre olarak kullanılması ve fosil yakıtların kullanımı sebep olmaktadır (Buxton ve ark., 2019). Arıtma çamurunun gübre olarak kullanımı hem çamurun bertarafı hem de çamurda bulunan organik maddelerin tekrar kullanımı gibi olumlu sebeplerle dünya çapında yıllardır uygulanmaktadır. Biyokatının içinde bulunan önemli besin öğeleri azot (N), fosfor (P), potasyum (K), magnezyum (Mg), sülfür (S) ve bakır (Cu)'dır (Saruhan ve ark., 2015). Aynı zamanda biyokatılarda yüksek konsantrasyonlarda Ni, Zn, Cd gibi ağır metaller bulunabilmekte ve tarım arazilerinde çeşitli sorunlara yol açabilmektedirler (Saruhan ve ark., 2015). Bubb ve Lester (1996), Nikelin atıksu arıtma tesislerinden uzaklaştırması birincil arıtma aşamasında %49, ikincil arıtma aşamasında %7 olmak üzere yalnızca toplam %56 olarak ifade edilmektedir (Bubb ve Lester, 1996). Çevreye salınan Nikel, kimyasal ve fiziksel prosesler sonucunda canlı organizmaların bünyesine katılabilmektedir (Buxton ve ark., 2019). Nikelin çevreyle ve orada yaşayan canlılarla etkileşimi o ortamdaki Nikel konsantrasyonuna, canlıların duyarlılığına, ortamın jeokimyasal yapısına ve çevredeki diğer stres faktörlerine bağlıdır (Peters ve ark., 2018). Nikel canlılarda immünolojik, nörolojik, üreme, gelişme ve kanserojen etkilere sebep olabilmektedir (Das ve ark., 2008)

Çevre ve Orman Bakanlığı'nın yayınladığı "Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği" ile nikel standardı pH 5-6 aralığında 30 mg kg⁻¹ kuru toprak, pH 6'dan büyük olduğunda 75 mg kg⁻¹ kuru toprak olarak belirlenmiştir (Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 2005). Das ve ark. (2008), nikel rafinesi çalışanları arasında görülen akciğer ve burun kanseriyle Nikel konsantrasyonlarını ilişkilendirmiştir (Das ve ark., 2008). Lock ve Janssen'nin (2002) *Eisenia fetida*, *Enchytraeus Albidus* ve *Folsomia Candida* canlıları üzerine yaptığı çalışmada Nikelin kronik toksisitesi değerlendirilmiş olup *E.Fetida*'nın 21 günlük koza üretimi için EC50 değeri 362 mg Ni kg⁻¹ kuru toprak, *E. Albidus* canlısında 42 günlük üreme testi için EC50 değeri 275 mg Ni kg⁻¹ kuru toprak, *F. Candida*'nın 28 günlük üreme testi için EC50 değeri 476 mg Ni kg⁻¹ kuru toprak olarak bulunmuştur (Lock ve Janssen, 2002). Sunulan veriler karasal ortamlarda Nikelin potansiyel riskleri hakkında bilgi verse bile, çevrede tüm kirleticilerin bir arada olduğu dikkate alındığında Nikelin etkileşimde bulunabileceği çeşitli kirleticilerle bir arada olduğunda toksik etkisindeki değişimin de incelenmesi gerekmektedir. Ayrıca, sadece kirleticiler arası etkileşim değil bu kirleticilerin buldukları toprak yapısı ile etkileşimleri de oldukça önemlidir ve farklı toprak karakteristikleri için toprak ortamında toksik etkilerin belirlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Polistiren mikroplastiklerin ve biyokatı uygulamalarının Nikel toksisitesini değiştirme potansiyelini inceleyen çalışmalar bulunmamaktadır. Bu çalışmanın amacı, toprakta yaşayan canlıları temsilen seçilen ve kirleticilere karşı hassas olan *E. Crypticus* solucan türü için PS mikroplastik ve biyokatı varlığında Nikelin toksik etkilerini incelemektir. Bu sayede, son zamanlarda Avrupa Birliği tarafından yayınlanan yönergelerce teşvik edilen döngüsel ekonomi çalışmaları kapsamında organik madde ve besi maddesi geri kazanımı nedeniyle tekrar gündeme gelmiş olan biyokatı uygulamalarının çevresel risk değerlendirmesi için de veri ve bilgi birikimi

sağlanacaktır. Ayrıca, plastik sektörü de PS toksik etkileşimlerine ışık tutulacağı için çevre dostu PS madde geliştirme çalışmalarında fayda sağlayabilecektir.

MATERYAL ve METOT

Deney Organizmaları

Gebze Teknik Üniversitesi'nde sabit 15°C derece sıcaklık ve %75 nemlilik ile karanlık besiyerinde *E. crypticus* kültürü yaşatılmaktadır. *E. crypticus* kültürü, gerekli besi maddelerini içeren özel hazırlanan bir mamayla haftada 2 kez beslenmekte ve bulunduğu besiyeri ortamı gerektiğinde değiştirilmektedir.

Toprak ve biyokatı

Toksite testlerinde karşılaştırılabilirlik önemli bir yer kaplamaktadır. Bu amaçla Avrupa'da toksite testlerinde sıklıkla kullanılan Lufa 2.2 toprağı bu deney akışı için seçilmiştir ve Almanya'da bulunan Lufa firmasından temin edilmiştir. Lufa 2.2 toprağının karakterizasyon bilgileri Çizelge 1'de özetlenmiştir. Lufa 2.2 toprağı 27661 sayılı Eysel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik'te EK1-A'daki gereken değerleri sağlamaktadır.

Deney Bileşenleri

Bu çalışmada; Nikel çözeltisi, biyokatı ve polistren mikroplastik kullanılmıştır. Sigma-Aldrich'den (Almanya) satın alınan Nikel (II) Nitrat Heksahidrat ile 3000 mg L⁻¹ stok Nikel çözeltisi elde edilmiştir. Kullanılan polistren plastikler fiber şeklinde olup tanecik çapı 2 mm'den az olacak şekilde elekten geçirilmiştir. Biyokatı uygulamalarıyla topraktaki organik madde miktarının toksiteye etkisini gözlemlenmek amaçlanmıştır. Bu bağlamda, biyokatı bir atıksu arıtma tesisinin anaerobik çürütücü ve çamur kurutma çıkışından alınmış ve 27661 sayılı Eysel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik'te verilen EK 1-B ve EK 1-C'deki sınır değerleri karşıladığı görülmüştür.

Çizelge 1. Lufa 2.2 Toprağının karakterizasyonu

Parametreler	LUFA 2.2 Toprağı
Organik Karbon %C	1.61 ± 0.15
pH (0.01 M CaCl ₂)	5.5 ± 0.1
Kasyon Değişim Kapasitesi (Meq 100g ⁻¹)	10.0 ± 0.7
Maksimum Su Tutma Kapasitesi (g 100g ⁻¹)	43.3 ± 2.6
Hacim Başına Ağırlık (g 100mL ⁻¹)	1236 ± 32
Toprak Tipi (German DIN)	Loamy Sand
Toprak Tipi (USDA)	Sandy Loam

Toksite Deneyleri

Biyokatı ve mikroplastik varlığının Nikel toksitesine etkisini incelemek adına; 0.6 gram biyokatı, 0.1 gram PS mikroplastikler ve 15.36 mg kg⁻¹, 38.4 mg kg⁻¹, 96 mg kg⁻¹, 240 mg kg⁻¹ ve 600 mg kg⁻¹ Nikel konsantrasyonlarında deneyler tekrarlanmıştır. Seçilen biyokatı ve mikroplastik miktarları, gerçek biyokatı uygulamalarında kullanılan oranlarla ve toprakta bulunabilecek mikroplastik miktarlarıyla uyumludur. Test numunelerini hazırlamak için öncelikle 20 gram Lufa 2.2 toprağı tartılır, planlanan kirleticiler homojen olarak toprağına karıştırılır ve 24 saat boyunca cam kavanozlarda bekletilir. Bu deneylerin 5 adet Ni konsantrasyonu ve şahit numunelerle birlikte 4'er tekrarlar yapılması planlanmıştır. Homojenize olan numunelere 10 adet ergin *E. crypticus* yerleştirilir ve birkaç yulaf tanesiyle besin kaynağı sağlanır. Kavanozlar, ağzı delikli kapaklarla hava akışının gerçekleşmesini sağlayacak şekilde ve 20 °C'de 12 saat aydınlık, 12 saat karanlık ortamda

tutulmaktadır. Standart yöntemlerce belirlenen 3 haftalık süreç boyunca haftada 2 kez numunelerin besin ve nem ihtiyaçları karşılanır.

Toprakta bulunan *E. Crypticus* yumurtaları 10 mL etanol (Isolab, technical grade) ile etkisiz hale getirilip organizmaların (yumurtaların ve solucanların) topraktan ayırt edilebilmesi adına 200 µL Bengal Gülü (Sigma Aldrich, >95%) solüsyonu eklenir. Bu şekilde ölü organizmalar pembeye boyanır ve diğer maddelerden ayırt edilebilir hale getirilir. Organizmaların tam olarak boyanması için kaplar +4 °C'de bir gece saklanır. Ardından bu karışım elekten geçirilerek toprak partiküllerinden olabildiğince ayrılması sağlanır. Boyanan organizmalar özel hazırlanmış beyaz tepside büyüteç yardımıyla sayılır.

Toksisite hesaplamaları

Yumurta sayısında %50 azalmaya neden olan konsantrasyon, EC₅₀, sayım sonuçlarının lineer olmayan doz- tepki eğrisi modeline oturtulması ile elde edilmiştir. (Eşitlik 1)

$$Y = \frac{Y_{max}}{1 + \left(\frac{Cs}{EC_{50}}\right)^B} \quad (1)$$

Y_{max}: Yüksek konsantrasyonda maksimum aktivite

Cs: Kirlenici Konsantrasyonu

EC₅₀: Yumurta sayısında %50 azalmaya neden olan konsantrasyon

B: Eğim

Tüm hesaplamalar SPSS (IBM, versiyon 26) kullanılarak yapılmış ve EC₅₀ değerleri %95 güven aralığında ANOVA yöntemiyle hesaplanmıştır.

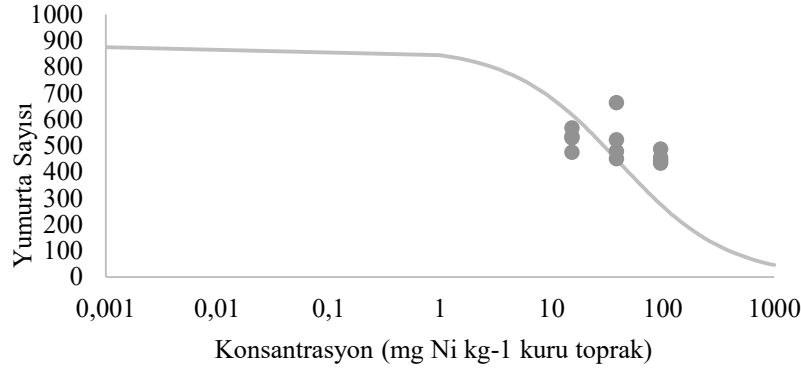
BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada 0, 15.36, 38.4, 96, 240 ve 600 mg Ni kg⁻¹ kuru toprak konsantrasyonları kullanılarak deneyler yapılmıştır. Çalışmada uygulanan deney setleri Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Çalışmada Uygulanan Deney Setleri

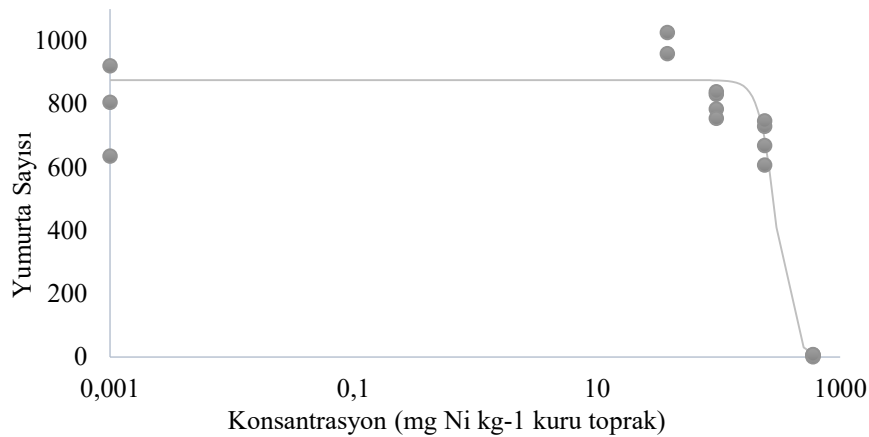
Deney Setleri	EC ₅₀ Değeri (mg kg ⁻¹)
LUFA 2.2 ve Nikel Karışımı	47
LUFA 2.2, Nikel ve Biyokatı Karışımı	294
LUFA 2.2, Nikel ve PS Mikroplastik Karışımı	208

Ni için üreme üzerindeki etkili konsantrasyon olan EC₅₀ değeri 47 mg kg⁻¹ olarak bulunmuştur. Bu veri, *E. Crypticus* türü için üreme üzerindeki etkili Nikel konsantrasyonu olarak bulunan ilk değerdir (Şekil 1). Literatürde Nikel toksisitesi üzerine yapılan çalışmalarda 21 günlük üreme üzerine etkili EC₅₀ değeri *E.fetida* için 362 mg Ni kg⁻¹ kuru toprak, 42 günlük EC₅₀ değeri *E. Albidus* için 275 mg Ni kg⁻¹ kuru toprak, 28 günlük EC₅₀ değeri *F. Candida* için 476 mg Ni kg⁻¹ kuru toprak olarak hesaplanmıştır (Lock ve Janssen, 2002). Bu değerler gösteriyor ki *E. Crypticus* türü Nikel toksisitesi bakımından daha hassas bir türdür (Kuperman ve ark., 2006; Van Gestel ve ark., 2011; Santorufo ve ark., 2012). Organizmaların boyutları düşünüldüğünde daha küçük bir tür olan *E. Crypticus* organizmasının daha hassas olması beklenen bir durumdur. Tarımsal alanlarda Nikelin 3–1000 mg kg⁻¹ aralığında bulunduğu ifade edilmekte Cempel ve Nikel, (2006) ve Khanlari ve Jalali (2008) tarafından yapılan çalışmada tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu bir bölgeden alınan toprak örneklerinin 32.8 mg Ni kg⁻¹ bulundurduğu ifade edilmiştir (Cempel ve Nikel, 2006; Khanlari ve Jalali, 2008). Bu çalışmada hesaplanan EC₅₀ değeri bazı tarımsal alanlarda bulunan Nikel konsantrasyonları nedeniyle bir zehirlilik etkisinin gözlemlenebileceğini göstermektedir. Karasal alan kullanımı nedeniyle Nikel kirlenici kaynaklarına yakın olabilecek tarımsal bölgelerin Nikel kontaminasyonu açısından dikkatlice izlenmesi gerekmektedir.



Şekil 1. Lufa 2.2 toprağında nikle maruz bırakılan *E. Crypticus* için doz-tepki eğrisi

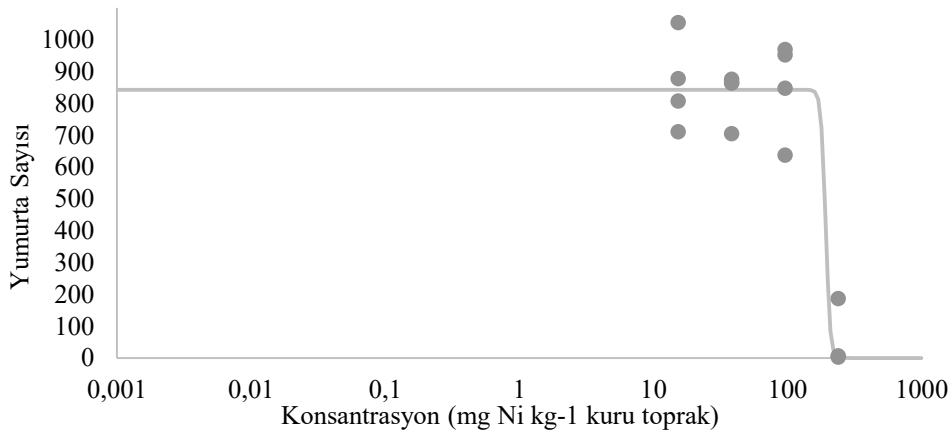
Biyokatı uygulanmış deney setlerinde Nikel için EC_{50} değeri 294 mg kg^{-1} olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç gösteriyor ki biyokatı varlığında Nikelin toksik etkisi azalmaktadır (Şekil 2). Biyokatı varlığıyla toprak yüksek organik madde konsantrasyonuna sahip olmakta ve bu yüksek organik madde konsantrasyonunun topraktaki Nikeli etkisizleştirdiği tahmin edilmektedir çünkü Nikelin organik ligandlarla kompleks oluşturması Nikel serbest iyon aktivitesi ve biyoyararlanımını azalmaktadır (He ve ark., 2017). Kurşun, kadmiyum, krom üzerine yapılan çalışmalar da organik madde varlığının toksik maddelerin etkilerini nötralize etmede etkili olduğunu göstermiştir (Crommentuijn ve ark., 1997; Mollazadeh, 2015; Khalid ve ark., 2021). Bu durumda biyokatı uygulamaları yapılan tarım topraklarında daha az Nikel toksisitesi gözlemlenmesi beklenmektedir. He ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmaya göre, 14 günlük test süreci sonunda humik asit eklenmiş kum medyasında *Enchytraeus Crypticus* için LC_{50} değeri $24.5 \mu\text{g g}^{-1}$ kuru ağırlık olarak hesaplanmış ve ölçülen LC_{50} değerlerinin artan çözünmüş organik karbon seviyeleriyle önemli ölçüde arttığı ifade edilmiştir (He ve ark., 2017). Bu çalışmada seçilen Lufa 2.2 toprağı ve biyokatı uygulamalarıyla gerçekçi koşullar elde edilmesi amaçlanmıştır. Lufa 2.2 toprağında Nikel için LC_{50} değeri $>96 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak bulunurken biyokatı uygulamaları sonucunda ölümcül konsantrasyon da artıp $>294 \text{ mg kg}^{-1}$ olmuştur.



Şekil 2. Biyokatı uygulanmış Lufa 2.2 toprağında nikle maruz bırakılan *E. Crypticus* için doz-tepki eğrisi

PS MP varlığında Ni toksisitenin düşerek EC_{50} değerinin 208 mg kg^{-1} seviyelerine kadar çıktığı görülmüştür. PS cinsi mikroplastiklerin varlığı biyokatı uygulamaları kadar etkili olmasa da toksisiteyi etkilediği gözlemlenmiştir (Şekil 3). Literatürde yapılan çalışmalar ağırlıklı olarak mikroplastiklerin ağır metal toksisitesini arttırdığını gösterse de yüzey grupları farklı kimyasal yapıda olabilecek mikroplastiklerle yapılan çalışmalar, bu etkinin mikroplastığın yüzey yapısına göre değişebileceğini de kanıtlamıştır. Kim ve ark. (2017), toksisite testinde yüzeyinde herhangi bir fonksiyonel grup bulundurmayan nötr polistren ve negatif değerlikli karboksil grup bulunduran polistren ile çalışmıştır

(Kim ve ark., 2017). *Daphnia Magna* ile yapılan toksisite testlerinde Nikel toksisitesi, karboksil grup barındıran polisitren varlığında, nötr yüzeysel yapıya sahip polistiren varlığında yapılan testlere göre artmıştır. Bu durum, negatif değerlikli karboksil grupların pozitif değerlikli Nikeli daha çok adsorplayarak yüzeyinde tutması ile açıklanmıştır. Bu çalışmada da benzer bir etkiyle kullanılan PS malzemenin yüzey yapısına bağlı olarak Nikel toksisitesinin polistren varlığında düştüğü söylenebilir. Mikroplastikler ortamda bulunan diğer kirleticiler için vektör görevi alarak ortamdaki toksisiteyi arttırabilirler (Hartmann ve ark., 2017).Hartmann ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmada, Polistren cinsi mikroplastiklerin sinerjistik etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir (Hartmann ve ark., 2017). Kadmiyum ve mikroplastik karışımıyla yapılan çalışmalar sonucunda MP'lere ve kadmiyuma birlikte maruz kalmanın *E. Foetida* üzerinde daha yüksek olumsuz etkiler oluşturduğu gözlemlenmiştir (Zhou ve ark., 2020). Ayrıca, mikroplastik varlığında yapılan diğer çalışmalar da MP'lerin toprak ortamında kirleticilerin biyoerişilebilirliğini artırdığını ifade etmiştir (Besseling ve ark., 2013; Huerta Lwanga ve ark., 2016; Khalid ve ark., 2021). Mikroplastikler çevrede bulunan diğer materyallerle karşılaştırıldığında yüzeylerinde adsorbe ettiği ağır metal konsantrasyonun 10-100 kat fazla olduğu görülmektedir (Khalid ve ark., 2021). Ancak, daha önce Kim ve ark. (2017) tarafından bulunan sonuçlar ile bu çalışmanın sonuçları dikkate alındığında sadece adsorpsiyon prosesinin değil mikroplastiklerin yüzey kimyası ile kirleticilerin kimyasal yapılarının da dikkate alınarak daha detaylı çalışmalar yapılması gerektiğini ve hem mikroplastiklerin diğer kirleticiler için vektör etkisinin hem de kirleticilerin toksisitelerine olan etkilerinin daha detaylı aydınlatılması gerektiği ortaya çıkmaktadır (Kim ve ark., 2017).



Şekil 3. Polistiren mikroplastik karıştırılmış Lufa 2.2 toprağında nikel maruz bırakılan *E. Crypticus* için doz-tepki eğrisi

SONUÇ

Bu çalışma, bir kirleticinin organizma üzerindeki toksisitesinin mikroplastik varlığında değişebileceğini gösteren çalışmaları desteklemektedir. *E. Crypticus* türünün polistiren mikroplastik varlığında Nikele maruz kalması durumunda Nikelin bu canlının üremesine olan etkisi düşmektedir. Bu sonuç, literatürde daha detaylı olarak kurgulanan nadir sayıdaki çalışmada elde edilen sonuçları desteklemiştir. Mikroplastiklerin vektör etkilerinin sadece mikroplastik ile kirletici arasındaki adsorpsiyon etkileşimine odaklanarak değil kirleticinin biyoerişilebilirliğini etkileyebilecek diğer yüzey kimyasına bağlı proseslerin de dikkate alınarak incelenmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Biyokatı uygulamaları da Nikel için toksik etkiyi düşürmekle beraber toksik göstergelere ek olarak biyoakümülyasyon potansiyelinin de dikkate alınması gerektiği önerilmektedir. Son yıllarda hızla artan döngüsel ekonominin yaygınlaştırılması ile alakalı çalışmalar kapsamında tarım alanlarında biyokatı uygulamaları arıtma çamurlarının geri kazanılması açısından güçlü bir alternatiftir. Bu çalışma da

biyokatı uygulamalarının çevresel etkilerinin değerlendirilmesinde önemli bir yer kaplayacaktır.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Besseling E, Wegner A, Foekema E M, Van DHGMJ, Koelmans AA, 2013. Effects of microplastic on fitness and PCB bioaccumulation by the lugworm *Arenicola marina* (L). *Environmental Science and Technology*, 47(1), 593–600.
- Bråte IL, Halsband C, Allan I, Thomas KV, 2014. Microplastics in marine environments : Occurrence, distribution and effects, 754-2014 https://www.researchgate.net/publication/273089847_Report_made_for_the_Norwegian_Environment_Agency_Microplastics_in_marine_environments_Occurrence_distribution_and_effects?enrichId=rgreq-0744addf466fd250c28e0768256a6a22-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI3M
- Brennecke D, Duarte B, Paiva F, Caçador I, Canning-Clode J, 2016. Microplastics as vector for heavy metal contamination from the marine environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 178, 189–195.
- Bubb IM, Lester JN, 1996. Factors controlling the accumulation of metals within fluvial systems. *Environmental Monitoring and Assessment*, 41(1), 87–105.
- Buxton S, Garman E, Heim KE, Lyons DT, Schlegel CE, Taylor MD, Oller AR, 2019. Concise Review of Nickel Human Health Toxicology and Ecotoxicology. *Inorganics*, Vol. 7, Page 89, 7(7), 89.
- Cao D, Wang X, Luo X, Liu G, Zheng H, 2017. Effects of polystyrene microplastics on the fitness of earthworms in an agricultural soil. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 61(1), 012148.
- Cempel M, Nikel G, 2006. Nickel: A review of its sources and environmental toxicology. *Polish Journal of Environmental Studies*, 15(3), 375–382.
- Crommentuijn T, Doornekamp A, Van GCAM, 1997. Bioavailability and ecological effects of cadmium on *Folsomia candida* (*Willem*) in an artificial soil substrate as influenced by pH and organic matter. *Applied Soil Ecology*, 5(3), 261–271. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(97\)00003-6](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(97)00003-6)
- Dris R, Gasperi J, Saad M, Mirande C, Tassin B, 2016. Synthetic fibers in atmospheric fallout: A source of microplastics in the environment?, *Marine Pollution Bulletin*, 104(1–2), 290–293.
- Hartmann NB, Rist S, Bodin J, Jensen LHS, Schmidt SN, Mayer P, Meibom A, Baun A, 2017. Microplastics as vectors for environmental contaminants: Exploring sorption, desorption, and transfer to biota. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 13(3), 488–493.
- He E, Qiu H, Qiu R, Rentenaar C, Devresse Q, Van GCAM, 2017. Time-dependent uptake and toxicity of nickel to *Enchytraeus crypticus* in the presence of humic acid and fulvic acid. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 36(11): 3019–3027.
- Ho BT, Roberts TK, Lucas S, 2018. An overview on biodegradation of polystyrene and modified polystyrene: the microbial approach. *Critical Reviews in Biotechnology* 38 (2): 308–20. <https://doi.org/10.1080/07388551.2017.1355293>
- Holland ER, Mallory ML, Shutler D, 2016. Plastics and other anthropogenic debris in freshwater birds from Canada. *Science of The Total Environment*, 571, 251–258.
- Horton AA, Walton A, Spurgeon DJ, Lahive E, Svendsen C, 2017. Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities. *Science of The Total Environment*, 586, 127–141.
- Huerta LE, Gertsen H, Gooren H, Peters P, Salánki T, Van DPM, Besseling E, Koelmans AA, Geissen V, 2016. Microplastics in the Terrestrial Ecosystem: Implications for *Lumbricus terrestris* (*Oligochaeta, Lumbricidae*). *Environmental Science and Technology*, 50(5), 2685–2691.

- Das KK, Das SN, Dhundasi SA, 2008. Nickel, Its Adverse Health Effects & Oxidative Stress. *Indian Journal of Medical Research* 128(4): 412–25.
- Khalid N, Aqeel M, Noman A, Khan SM, Akhter N, 2021. Interactions and effects of microplastics with heavy metals in aquatic and terrestrial environments. *Environmental Pollution*, 290, 118104.
- Khanlari ZV, Jalali M, 2008. Concentrations and chemical speciation of five heavy metals (Zn, Cd, Ni, Cu, and Pb) in selected agricultural calcareous soils of Hamadan Province, western Iran. 54(1), 19–32.
- Kim D, Chae Y, An YJ, 2017. Mixture Toxicity of Nickel and Microplastics with Different Functional Groups on *Daphnia magna*. *Environmental Science and Technology*, 51(21), 12852–12858.
- Koelmans AA, Bakir A, Burton GA, Janssen CR, 2016. Microplastic as a Vector for Chemicals in the Aquatic Environment: Critical Review and Model-Supported Reinterpretation of Empirical Studies. *Environmental Science and Technology*, 50(7), 3315–3326.
- Kuperman RG, Amorim MJB, Römbke J, Lanno R, Checkai RT, Dodard SG, Sunahara GI, Scheffczyk A, 2006. Adaptation of the enchytraeid toxicity test for use with natural soil types. *European Journal of Soil Biology*, 42(SUPPL. 1), S234–S243.
- Lock K, Janssen CR, 2002. Ecotoxicity of nickel to *Eisenia fetida*, *Enchytraeus albidus* and *Folsomia candida*. *Chemosphere*, 46(2), 197–200. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(01\)00112-6](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(01)00112-6)
- Mollazadeh N, 2015. Study of Lead Toxicity Mitigation in Soil in the Presence of Organic Matter. *International Journal of Environmental Science and Development*, 6(7), 504–507.
- Park TJ, Lee SH, Lee MS, Lee JK, Park JH, Zoh KD, 2020. Distributions of Microplastics in Surface Water, Fish, and Sediment in the Vicinity of a Sewage Treatment Plant. *Water* 2020, Vol. 12, Page 3333, 12(12), 3333. <https://doi.org/10.3390/W12123333>
- Peters A, Merrington G, Schlekot C, Schampelaere K, Stauber J, Batley G, Harford A, Van DR, Pease C, Mooney T, Warne M, Hickey C, Glazebrook P, Chapman J, Smith R, Krasso R, 2018. Validation of the nickel biotic ligand model for locally relevant species in Australian freshwaters. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 37(10), 2566–2574.
- Reimonn G, Lu T, Gandhi N, Chen WT, 2019. Review of microplastic pollution in the environment and emerging recycling solutions. *Journal of Renewable Materials*, 7(12), 1251–1268.
- Rodriguez SA, Lourenço J, Rocha STAP, da Costa J, Duarte AC, Vala H, Pereira R, 2017. Histopathological and molecular effects of microplastics in *Eisenia andrei* Bouché. *Environmental Pollution*, 220, 495–503. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2016.09.092>
- Sanchez W, Bender C, Porcher JM, 2014. Wild gudgeons (*Gobio gobio*) from French rivers are contaminated by microplastics: Preliminary study and first evidence. *Environmental Research*, 128, 98–100.
- Santorufu L, Van GCAM, Maisto G, 2012. Ecotoxicological assessment of metal-polluted urban soils using bioassays with three soil invertebrates. *Chemosphere*, 88(4), 418–425.
- Saruhan V, Kusvuran A, Kokten K, 2015. Effects of sewage sludge used as fertilizer on the yield and chemical contents of common vetch (*vicia sativa L.*) and soil. *Legume Research*, 38(4), 488–495.
- Steinmetz Z, Wollmann C, Schaefer M, Buchmann C, David J, Tröger J, Muñoz K, Frör O, Schaumann GE, 2016. Plastic mulching in agriculture. Trading short-term agronomic benefits for long-term soil degradation? *Science of The Total Environment*, 550, 690–705.
- Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 2005. T.C. Resmi Gazete, 25831.
- Van GCAM, Borgman E, Verweij RA, Diez OM, 2011. The influence of soil properties on the toxicity of molybdenum to three species of soil invertebrates. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74(1), 1–9.
- Zhang X, Luo D, Yu RQ, Xie Z, He L, Wu Y, 2021. Microplastics in the endangered Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*) from the Pearl River Estuary, China. *Environmental Pollution*, 270, 116057. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2020.116057>
- Zhou Y, Liu X, Wang J, 2020. Ecotoxicological effects of microplastics and cadmium on the earthworm *Eisenia foetida*. *Journal of Hazardous Materials*, 392, 122273.
- Zhu F, Zhu C, Wang C, Gu C, 2019. Occurrence and Ecological Impacts of Microplastics in Soil Systems: A Review. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 102(6), 741–749.