




Konya ili tarım topraklarında mikroplastik kirlilik yükünün araştırılması

Investigation of microplastic pollution load in agricultural soils of Konya province

Senar Aydın¹ , Arzu Ulvi² , Fatma Bedük^{3,*} , Mehmet Emin Aydın⁴ 

^{1,2,3} Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Köyceğiz Kampüsü, 42090, Meram, Konya, Türkiye

⁴ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Köyceğiz Kampüsü, 42090, Meram, Konya, Türkiye

Öz

Toprak ortamında giderek artan mikroplastik (MP) kirliliği büyük endişe kaynağıdır. Bu çalışmada Konya İli ve yakın çevresinden rastgele seçilmiş olan 20 noktada, 0-20 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde mikroplastik miktarı, renkleri ve morfolojileri tespit edilmiştir. Topraklarda mikroplastik kirliliğinin risk seviyesi, kirlilik faktörü (CF) ve kirlilik yük endeksi (PLI) değerleri ile belirlenmiştir. Çalışma sonucunda toprak örneklerinde 80-340 MP/kg arasında MP tespit edilmiştir. Numunelerde %45 fiber (1300 MP); %25 pellet (720 MP) tespit edilirken %51 oranla en fazla şeffaf renkli mikroplastığe rastlanmıştır. Üç örnekleme noktasında CF değerinin önemli ekolojik risk ($3 \leq CF < 6$) oluşturduğu, diğer numuneler için orta seviyede ($1 \leq CF < 3$) ekolojik risk olduğu tespit edilmiştir. PLI değerine göre numunelerin tümü için düşük risk ($PLI < 10$) olduğu tespit edilmiştir. Toprak pH, EC ve organik madde muhtevası ile mikroplastik sayıları arasında anlamlı bir korelasyon tespit edilmezken, fosfor ile orta düzeyli ($r=0.56$), potasyum ile zayıf düzeyli ($r=0.36$) korelasyon tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Mikroplastik, Tarım, Toprak, Risk.

1 Giriş

Plastik ürünler güçlü plastisite, maliyet performansı ve uzun dayanıklılık avantajı gibi nedenlerle tarımsal üretim, endüstriyel imalat, ilaç sektörü, gıda ambalajı ve diğer pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanılan bu plastikler farklı yollarla çevreye salınmakta ve çevresel ortamlarda düşük geri dönüşüm oranları ve uzun dayanımları sebebiyle birikmektedirler. Birçok ülkede atıkların geri dönüşümü %50'ye ulaşmamaktadır. 1950 ile 2015 yılları arasında küresel olarak yaklaşık 63×10^8 ton plastik çöp üretildiği ve bunun yaklaşık 8×10^8 tonunun yakıldığı, 49×10^8 tonunun ise doğrudan veya yakılarak doğal çevreye verildiği, yalnızca 6×10^8 ton atığın geri dönüştürüldüğü tahmin edilmektedir [1].

Mikroplastik (MP) kavramı ilk olarak 2004 yılında deniz ortamındaki çapı 5 mm'den küçük plastik parçacıkları tanımlamak için kullanılmıştır [2]. Mikroplastik kirliliğine ilişkin çalışmalar deniz ortamında başlamış ve çoğunlukla su ortamına odaklanılmış, toprak ortamında ise çalışmalarına nispeten daha geç başlanmıştır. 2012 yılında Rilling [3]

Abstract

Increasing microplastic (MP) pollution in the soil is of great concern. In this study, microplastic amount, colors and morphologies were determined in soil samples taken from 0-20 cm depth at 20 randomly selected points in Konya Province and its vicinity. The risk level of microplastic pollution in soils was determined by pollution factor (CF) and pollution load index (PLI) values. As a result of the study, MP was detected between 80-340 MP/kg in soil samples. While 45% fiber (1300 MP); 25% pellet (720 MP) was detected in the samples, transparent colored microplastic was encountered the most with 51% rate. It was determined that the CF value constituted a significant ecological risk ($3 \leq CF < 6$) in three sampling points and that there was a moderate ecological risk ($1 \leq CF < 3$) for the other samples. According to the PLI value, it was determined that all samples had a low risk ($PLI < 10$). While no significant correlation was found between soil pH, EC and organic matter content and microplastic counts, a moderate correlation ($r=0.56$) was found with phosphorus and a weak correlation ($r=0.36$) was found with potassium.

Keywords: Microplastic, Agriculture, Soil, Risk.

tarafından ilk olarak mikroplastiklerin toprak ortamına zarar verebileceğini öne sürülmüştür. Nizzetto vd. [4] mikroplastiklerin toprağa yıllık salınımının okyanuslara salınandan 4 ila 23 kat daha fazla olduğunu rapor etmiştir.

Çevresel ortamlarda bulunan plastik parçalar ultraviyole radyasyonu, çarpışma ile aşınma, hidroliz, toprak erozyonu ve biyolojik etkilere maruz kalarak partikül boyutu 5 mm'den küçük olan mikroplastikleri oluşturmaktadırlar. Mikroplastikler farklı şekillerden (fiber, fragment, film, köpük, pellet gibi), farklı polimer bileşenlerden (polietilen (PE), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), polietilen tereftalat (PET), polivinil klorür (PVC), polipropilen (PP) ve polistiren (PS) gibi) ve farklı renklerden oluşurlar. Kalıcı organik kirleticiler olmalarının yanı sıra mikroplastikler, adsorban özellikleri dolayısıyla pek çok kirleticiyi de bünyelerinde bulundurmakta ve taşıdıkları ortamlarda potansiyel tehdit oluşturmaktadırlar. Mikroplastiklerin farklı çevresel matrislerde (su, toprak), gıdalarda (tuz, bal, çay), içme

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: fabeduk@erbakan.edu.tr (F. Bedük)

Geliş / Received: 29.08.2024 Kabul / Accepted: 06.12.2024 Yayınlanma / Published: 15.01.2025

doi: 10.28948/ngumuh.1540381

suyunda ve hatta insan vücudunda her yerde bulunabildiği yapılan çalışmalarla ispatlanmıştır [5-8].

Mikroplastiklerin toprağa karışmasının potansiyel yolları atıksular ile tarımsal sulama yapılması, arıtma çamuru ve kompost uygulamaları, plastik malçlama, çöpler ve atmosferik çöküntüler olarak sıralanabilir [9-11]. Tarımsal alanların sulanması için arıtılmamış atıksuların doğrudan kullanımı topraktaki en önemli mikroplastik kaynağıdır [12]. Zhang ve Liu [13] tarafından Çin'de Dian Gölü çevresinde yapılan çalışmada 50 toprak örneğinde 10-0.05 mm boyutlarındaki plastiklerin sayımı yapılmıştır. Toprak örneklerinde 7100-42,960 partikül/kg plastik tespit edilmiştir. Bölgede arıtma çamuru uygulaması ve atıksu sulaması ile sebze yetiştirilen toprak örneklerinde diğer örneklere kıyasla daha fazla plastik tespit edilmiştir.

Arıtma çamurları organik madde, nütrientler ve eser element muhtevası dolayısıyla tarım arazilerinde gübre olarak kullanılmaktadır. Li vd. [14], Çin'de 28 atıksu arıtma tesisinden alınan çamur örneklerinde tespit edilen mikroplastik sayısı $1.60-564 \times 10^3$ MP/kg kuru çamur olmuştur. Çamurun tarım toprağına 5 kez (200 kuru ton/ha) uygulanması sonucunda bir yıl sonra topraktaki mikroplastiklerin ortalama miktarının 3.5 MP/g'a ulaşabileceği tahmin edilmiştir [15]. Çin'in yoğun tarım yapılan topraklarında yapılan bir başka araştırma, yılda hektar başına yaklaşık 23 ton çamur kullanılan toprakların 7-43 MP/g mikroplastik konsantrasyonuna sahip olduğunu ortaya koymaktadır [16]. 2017-2018 yıllarında AB ülkelerinde yaklaşık 44 milyon ton, ABD'de ise 38 milyon ton çamur üretilmiştir. Çamur uygulaması nedeniyle her yıl Avrupa'da 63-430,000 ton mikroplastik, kuzey Amerika'da 44-300,000 ton mikroplastik ve Çin'de ise 80,000-520,000 ton plastiğin tarım arazilerine karışacağı tahmin edilmektedir [17].

Plastik muhtevası olan atıklardan elde edilen kompost da bir mikroplastik kaynağı olmaktadır. Bonn'daki bir kompostlama tesisinde, çıplak gözle görülebilen plastik fragment içeriği 2.38-180 mg/kg'dır ve bu sonuç organik kompostta mikroplastiklerin varlığını doğrulamaktadır [9]. Zhang vd. [11] 15 ve 30 ton/ha çamur kompostu ile yıllık topraklardaki toplam mikroplastik konsantrasyonlarının 87.6 ve 545.9 MP/kg olduğunu ve bunun kompost uygulaması olmayan topraklardan önemli ölçüde daha yüksek olduğunu yayınlamıştır. Bu sonuçlar kompostu mikroplastiklerin toprağa girmesinin önemli yollarından biri haline getirmektedir.

PVC ve PE'den oluşan malç örtü uygulamaları daha fazla hasat, gelişmiş meyve kalitesi ve su kullanım verimliliği gibi ekonomik faydaları nedeniyle küresel tarımsal üretimde yaygın olarak kullanılan bir yöntem haline gelmiştir. Tüm malçlama örtülerinin tarım arazilerinden çıkarılması, yoğun emek ve zaman alıcı bir iştir. Bu nedenle malçlama örtüsü veya parçaları genellikle bilerek veya bilmeden tarım arazilerinde bırakılmaktadır. Film malç örtülerinin ne kadarının geri kazanımının araştırıldığı çalışmada geri dönüşüm oranının İsveç (%68) ve İrlanda'da (%63) en yüksek olduğu, Bulgaristan ve Romanya gibi bazı Doğu Avrupa ülkelerinde ise neredeyse sıfır olduğu tespit edilmiştir [1]. Tarım arazisinin yüzeyinde kalan büyük

plastik malç döküntüleri ultraviyole ışığa maruz kalmasıyla fotodegradasyona uğrar ve kırılğan hale gelir. Toprağın işlenmesiyle birlikte zaten kırılğan olan plastiklerin daha fazla parçalanması gerçekleşir.

Mikroplastikler toprak su tutma kapasitesi, toprak pH'sı, toprak organik maddesi, toprak agregasyonu ve stabilitesi, ve toprak enzim aktivitesi gibi toprağın biyofiziksel özelliklerini etkileyebilir [18-20]. Mikroplastikler yapılarındaki polimer katkı maddeleri, plastikleştiriciler, alev geciktiriciler, ısı stabilizatörleri ve antioksidanlar gibi maddeleri ve adsorbe ettiği kirleticiler topraktaki canlı yaşamında ekolojik risklere sebep olabilirler [21, 22]. Ayrıca besin zinciri simülasyonu ve saha çalışmaları, mikroplastiklerin besin zinciri yoluyla aktarılacağı hipotezini doğrulamaktadır [23]. Dolaylı olarak mikroplastikler toprağın solunumunu teşvik ederek ve ağaçlar gibi doğal karbon yutaklarını olumsuz etkileyerek iklim değişikliğine katkıda bulunabilmektedir. PE, PS, PP, PVC, LDPE, polylactic acid (PAA) polimerlerini içeren mikroplastiklerin topraktan atmosfere CO₂, CH₄ ve N₂O sera gazlarının emisyonunu artırdığı çalışmalarda tespit edilmiştir [24].

Dünyada deniz ortamında kapsamlı ve ayrıntılı mikroplastik çalışmaları yapılmış ve birçok ülke denizlerdeki plastik atıkların ve mikroplastiklerin rutin olarak izlenmesine başlamıştır. Mikroplastik ekolojik sistem üzerinde potansiyel riskleri nedeniyle küresel ölçekte toprakta ortaya çıkan endişe verici bir kirleticidir. Karasal ekosistem akuatik ekosisteme göre mikroplastik kirliliğe daha çok maruz kalmasına rağmen, toprak ve karasal ekosistemlerdeki mikroplastiklere odaklanan çok az sayıda çalışma vardır. Ülkemizde de benzer olarak mikroplastiklerin tespiti ile ilgili deniz suyunda, yüzeysel sularda, atıksuda, çeşitli gıdalarda çalışmalar gerçekleştirilmiş olup toprakta mikroplastiklerin varlığı ile ilgili az sayıda çalışmaya rastlanmıştır [25, 26]. Akça vd. [25] tarafından yapılan çalışmada Konya İli Hüyük İlçesi tarım topraklarında çilek üretiminde plastik malç uygulamasından kaynaklı plastik birikimi araştırılmıştır. Ülkemizde toprakta mikroplastik kirliliğine ilişkin olarak yapılmış başka bir çalışmaya rastlanmamıştır. Türkiye'nin tahıl ambarı olarak nitelendirilen Konya Havzası'nda tarım topraklarında mikroplastik varlığı, tarımsal sürdürülebilirliğe etkileri ve mikroplastiklerin oluşturduğu risk henüz araştırılmamış konulardır. Konya Havzası geniş ovalarında tahıl grubu ürünler ve şeker pancarı yetiştiriciliği yapılmaktadır. Konya İli tarımsal topraklarındaki mikroplastik kaynaklı kirlenme uzun vadede tarımın sürdürülebilirliğini etkileyebilecek potansiyele sahiptir. Bölgedeki mikroplastik kirliliğinin boyutunun belirlendiği bu çalışma ülkemizde bir ilk özelliğini taşımaktadır. Bölgede malç uygulamasının yaygınlaşması, arıtma çamurlarının toprağa uygulanması, arıtılmamış atıksular ile sulama yapılması vb. uygulamalar konunun araştırılmasını daha da önemli hale getirmektedir.

2 Materyal ve metot

2.1 Çalışma alanı ve numune alma

Türkiye'nin tahıl ambarı olarak nitelendirilen Konya Havzası ülkenin en az yağış alan bölgesi olup kurak, yarı kurak iklim özelliğine sahiptir [27]. Konya, 2,6 milyon hektarlık tarım alanı ile ülkenin toplam tarım alanının %11,2'i gibi çok önemli bir oranını oluşturmaktadır. Türkiye'nin toplam tarımsal üretiminin %10'u Konya tarafından karşılanmaktadır. Havzada en geniş alanı kaplayan Konya İli'nin toplam yüz ölçümünün 2,659,890 hektar alanı tarıma elverişli durumdadır. Tarımsal üretimde tahıl grubunda buğday, arpa, baklagillerde nohut, kuru fasulye, yeşil ve kırmızı mercimek, endüstriyel üretimde ise şeker pancarı yetiştirilmektedir. Sulu tarımın gerçekleştirildiği alanlarda yüzeysel su kaynakları ile sulama, arıtılmış kentsel atıksu ile sulama işlemleri gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca kimyasal gübre uygulamalarının yanı sıra kompost ve stabilize arıtma çamurunun uygulandığı tarımsal alanlar da bulunmaktadır. Özellikle malçlama yapılarak sebze ve meyve yetiştiriciliği yaygın uygulamalardır.

Bu çalışmada numuneler, Konya İli ve yakın çevresinden seçilen ve tarımsal faaliyet gerçekleştirilen 20 noktadan alınmıştır (Şekil 1). Numune noktalarında ve çevresinde malç uygulaması ile sebze yetiştiriciliği yaygındır. Numune noktaları; 1. Akören, 2. Altınekin, 3. Bozkır, 4. Cihanbeyli, 5. Çumra, 6. Doğanhisar, 7. Ereğli, 8. Güneysınır, 9. Hadim, 10. Hüyük, 11. Ilgın, 12. Karapınar, 13. Karatay, 14. Meram, 15. Sarayönü, 16. Selçuklu, 17. Taşkent, 18. Yunak, 19. Eski/Aksayar, 20. Karaman'dır. 1 kg'lık toprak örnekleri 0-20 cm derinlikten paslanmaz çelik kürek ile alınmıştır. Örnekleme öncesi toprak yüzeyi iri parçalardan temizlenmiştir. Mikroplastik ve fiziko-kimyasal analizler için ayrı ayrı örnekleme kapları kullanılmıştır. Mikroplastik

analizi için alınan örnekler alüminyum folyo içerisine sarılarak koton bez torba içerisine konulmuştur. Laboratuvar ortamına taşınan toprak örnekleri analiz işlemlerine kadar 4 °C'de buzdolabında bekletilmiştir.

2.2 Toprakta mikroplastik analizi

2.2.1 Toprak örneklerinin analize hazırlanması

Toprak örnekleri analiz öncesi laboratuvar ortam sıcaklığında kurutulmuştur [28]. Aglomera toprak örnekleri hafifçe ezilmiştir. İçerisinde yabancı ot, bitki kökü gibi gözle görülebilir mikroplastik dışı safsızlıklar manuel olarak ayrılmıştır. Kurutulmuş toprak örnekleri 5 mm gözenek çapına sahip paslanmaz çelik elekten elenmiştir [29, 30].

2.2.2 Mikroplastiklerin topraktan ayrılması

Toprak matrisi içerisindeki mikroplastiklerin ayrılması için yoğunluk ayırma metodu kullanılmıştır. Bu amaçla 50 gr toprak numunesine 100 mL ZnCl₂ ilave edilmiştir sonra 25 °C'de 35 KHz frekansta 15 dk ultrasonik ekstraksiyon yapılmıştır. Ardından 30 dk 600 rpm'de karıştırılmıştır. Karışım faz ayırımının tamamlanması için 24 saat çeker ocak içerisinde ve beherlerin ağızları alüminyum folyo ile kapatılarak bir sonraki işleme geçilmiştir [31].

2.2.3 Organik maddelerin uzaklaştırılması

Mikroplastikler üzerindeki doğal organik maddenin uzaklaştırılması için ıslak peroksit oksidasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) ajansı tarafından tanımlanmış olan metotta [32] belirtildiği şekilde yoğunluk ayırma işleminde faz ayırımı gerçekleşen numunelerde üst faz 20 µm elekten süzülükten sonra saf su ile elek üzerinde kalan kalıntı birkaç kez yıkanmıştır. Elek üzerindeki kalıntı behere aktarılmış ve üzerine 20 mL H₂O₂ ve 20 mL 0.05 M Fe (II) çözeltileri ilave edilmiştir.



Şekil 1. Numune alma noktaları

Oksidasyonun tamamlanması için beherler ağızları alüminyum folyo ile kapalı şekilde çeker ocak içerisinde 24 saat bekletilmiştir. Oksitlenen karışım 0.45 µm gözenek çapına sahip millipore marka kareli filtreden süzülmüştür. Mikroplastik analiz aşamasında filtrasyon işlemine kullanılan filtre kareli olup, her bir karedeki mikroplastik sayısı, rengi ve şekli ayrı ayrı mikroskop altında tespit edildikten sonra tüm karelerde elde edilen sayılar toplanarak bir numunedeki mikroplastik sayısı tespit edilmiştir. Filtre kağıtları cam petri kabı içerisine alınarak desikatör içerisinde kuruması için bekletilmiştir. Kuruma işleminin ardından mikroskop ile mikroplastiklerin sayımları gerçekleştirilmiştir.

2.2.4 Mikroplastiklerin tanımlanması ve karakterizasyonu

Filtre kağıdı üzerindeki mikroplastiklerin sayımı ışık mikroskobu ile gerçekleştirilmiştir. Bunun için laboratuvarımızda mevcut olan Nikon Eclipse E200 marka 10X-20X-40X-100X büyütme özelliğine sahip Kameram (digital mikroskop mikro yapı görüntüleme ve ölçüm yazılımı) yazılımı içeren mikroskop, Nikon CI-S model trinoküler faz kontrast ışık mikroskobu 10X-20X-40X-100X büyütme özelliğine sahip Kameram (digital mikroskop mikro yapı görüntüleme ve ölçüm yazılımı) yazılımı içeren mikroskop ve Krüss marka 1X-3X büyütme özelliğine sahip mikroskop kullanılmıştır. Sayımı yapılan mikroplastikler görsel morfolojik sınıflandırması fiber, köpük, film, pellet ve fragment olarak yapılmıştır. Mikroplastikler transparan, beyaz, mavi, siyah, yeşil, sarı, kahverengi, pembe ve gri renklerine göre gruplandırılmıştır. Mikroplastik miktarı kilogram kuru toprak kütlesi başına mikroplastik parçacıkların sayısı olarak ifade edilmiş ve MP/kg şeklinde verilmiştir.

2.3 Toprağın fiziko-kimyasal analizleri

Toprak örnekleri kullanılmadan önce numune hazırlama aşamasında, 2 mm'lik elekten elenmiştir [33]. Toprak örneklerinin kil/silt/kum içeriği Bouyoucos Hydrometer metoduna göre tespit edilmiştir. 50 g numune ve 2 g sodyum hexametaphosphate beher içerisine konularak yaklaşık 600 mL saf su eklenmiş ve 5 dakika mikser ile karıştırılmıştır. Toprak süspansiyonu mezür içerisine konularak içerisinde hidrometre varken 1130 mL çizgisine kadar saf su ile doldurulmuştur. Hidrometre mezür içerisinden uzaklaştırılarak ve mezürün ağız kapatıldıktan sonra ters-düz edilerek toprak süspansiyonunun tamamen karışması sağlanmıştır. Süspansiyonun ilk hidrometre ve sıcaklık okumaları 40 sn sonra, ikinci okumaları ise 2 saat sonra gerçekleştirilmiştir. Toprak numunelerinin kütlesi alınırken nem içeriklerine göre düzeltme yapılmıştır. 1. hidrometre okuması silt ve kil kütlesini, 2. hidrometre okuması ise kil kütlesini vermektedir. Hesaplamalar gerçekleştirildikten sonra tekstür üçgeni kullanılarak toprak tipi belirlenmiştir [34]. Toprak numunelerinin pH'ı, hazırlanan saturasyon çamurunda cam elektrotlu pH metre ile ölçülmüştür [35]. Toprak numunelerinde organik madde (%) modifiye edilmiş Walkley-Black yöntemiyle 1 g toprak kullanılarak belirlenmiştir [36]. Toprak örneklerinin toplam azot (T-N)

tainleri (%) Kjeldahl metoduna göre 1 g toprak kullanılarak Velp marka azot tayin cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir [37]. Alkalın ve nötr karakterli toprakların fosfor içerikleri (mg/kg) 5 g toprak kullanılarak Olsen yöntemine göre belirlenmiştir [38]. Toprakta kireç (CaCO₃) (%) Scheibler kalsimetresinde volümetrik olarak belirlenmiştir. Ekstrakte edilebilir potasyum (mg/kg) 1 N amonyum asetat (pH=7.0) çözeltisi ile ekstrakte edilerek ICP OES cihazında belirlenmiştir.

2.4 Metot validasyonu

Toprak örnekleri plastik kontaminasyonu önlemek için cam kaplar veya alüminyum folyo içerisine konulmuştur. Analizler esnasında plastik malzeme kullanımından kaçınılmıştır. Laboratuvarında analiz işlemleri esnasında havadan gelebilecek kontaminasyonu önlemek için numunelerin üzeri alüminyum folyo ile kapatılmıştır. Kıyafetlerden kaynaklı fiber mikroplastik, eldiven kullanımında gelebilecek mikroplastik kontaminasyonunu önlemek için araştırmacılar tarafından pamuk laboratuvar önlüğü, lateks eldiven kullanılmış ve analizler esnasında maske takılmıştır. Deneyle 2 tekrar olarak gerçekleştirilmiş ve analizlerle eş zamanlı kör numune analizleri yapılmıştır. Kör numune analizi, analiz aşamalarından kaynaklanan mikroplastik kontaminasyonunu kontrol etmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla toprak örnekleri ile paralel olarak mikroplastik analiz yöntemi (yoğunluk ayırma, organik maddenin uzaklaştırılması, filtrasyon gibi) toprak örneği içermeden, yalnız kimyasallar ve ayırma ekipmanları kullanılarak kör numune analizi olarak gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda kör numune çalışmalarında metot basamaklarından kaynaklanan mikroplastik bulaşması tespit edilmemiştir. Analiz işlemlerinin tüm aşamalarında deiyonize su kullanılmıştır.

Mikroplastik analizi metot geri kazanım çalışması Rodrigues vd. [39] tarafından gerçekleştirilen yöntem modifiye edilerek gerçekleştirilmiştir. Metot validasyonu için günlük yaşamımızda yaygın olarak kullanılan 6 farklı polimer türüne karşılık gelen damacana kapağı (LDPE), süt şişesi (HDPE), şişe kapağı (PP), CD kutusu (PS), su borusu (PVC), su şişesi (PET) örnekleri el değirmeninde 5 mm'den daha küçük olacak şekilde öğütülmüştür. 5 mm altındaki plastik parçacıklar mikroplastik olarak tanımlandığı için öğütülen parçacıklar 5 mm elekten geçirildikten sonra her bir örnekten yaklaşık 0.05 g konulmuştur. Her bir malzemenin yoğunluğu farklı olduğundan konulan tanecik sayısı malzeme yoğunluğuna göre değişmektedir. Mikroplastik parçacıkların yoğunluğu ve büyüklüklerindeki farklılıklara göre LDPE mikroplastiklerinden 49 adet, HDPE mikroplastiklerinden 52 adet, PP mikroplastiklerinden 40 adet, PS mikroplastiklerinden 36 adet, PVC mikroplastiklerinden 47 adet, PET mikroplastiklerinden 150 adet olmak üzere toplamda 374 adet mikroplastik parçacığı 20 g toprak örneklerine ekleme yapılmıştır. Mikroplastik analiz yöntemlerinden sonra her bir polimer türü konulduğu ağırlık ve tanecik sayısı açısından tekrar hesaplanarak geri kazanım değerleri hesaplanmıştır. Bu amaçla eklenen polimer türünün ağırlığından, metot basamakları

uygulandıktan sonra ölçülen polimer türü ağırlığı çıkarılarak ve eklenen polimer türünün sayısından, metot basamakları uygulandıktan sonra ölçülen polimer türü sayısı çıkarılarak yüzde geri kazanım değerleri tespit edilmiştir. 20 mL deiyonize su eklenen karışım 30 dk mekanik çalkalayıcıda karıştırıldıktan sonra oda sıcaklığında kurutulmuştur. Yukarıda verilen metot; yani yoğunluk ayırma, organik madde uzaklaştırma ve mikroplastiklerin tanımlanması işlemleri gerçekleştirilmiştir. Geri kazanım verimi tanecik ağırlığı açısından %90-100, tanecik sayısı açısından ise %94-104 olarak tespit edilmiş, kullanılan metodun başarıları teyit edilmiştir.

2.5 Risk değerlendirmesi

Mikroplastik kirliliği kaynaklı risk seviyesinin belirlenmesi için kirlilik faktörü (CF, contamination factor) **Denklem 1** ile hesaplanmıştır [40]. Burada, CF_i mikroplastiklerin kirlilik faktörü, C_i tespit edilen mikroplastik miktarı, C_{oi} mikroplastiklerin arkaplan değeridir. C_{oi} değeri tespit edilen en düşük mikroplastik değeri olarak alınmıştır. C_{oi} değeri çalışmada 0-10 cm derinlikten alınan kontrol topraklarında tespit edilen en düşük mikroplastik değeri 100 MP/kg. CF değerleri < 1 ise düşük kirlilik, $1 \leq CF < 3$ ise orta derecede kirlilik, $3 \leq CF < 6$ ise önemli miktarda kirlilik, $CF \geq 6$ ise çok yüksek kirlilik olarak değerlendirilmiştir [41, 42].

$$CF_i = \frac{C_i}{C_{oi}} \quad (1)$$

Kirlilik yük endeksi (PLI, pollution load index) her bir örnekleme noktası için **Denklem 2** kullanılarak hesaplanmıştır. Burada PLI örnekleme noktasındaki mikroplastik yük endeksidir. $PLI < 10$ ise çalışma alanı tehlike kategorisi I'de, $10 < PLI < 20$ ise tehlike kategorisi II'de, $20 < PLI < 30$ ise tehlike kategorisi III'de ve $PLI > 30$ ise tehlike kategorisi IV olarak sınıflandırılmaktadır [42, 43].

$$PLI = \sqrt{CF_i} \quad (2)$$

3 Bulgular ve tartışma

3.1 Toprakta tespit edilen mikroplastik miktarları

Şekil 2'de 20 adet toprak örneğinde tespit edilen toplam mikroplastik sayıları (MP/kg) verilmiştir. Toplam mikroplastik sayıları 80-340 MP/kg arasında değişmiş olup, ortalama 146 MP/kg tespit edilmiştir. **Tablo 1**'de çeşitli ülkelerde yapılmış olan çalışmalarda belirlenmiş olan mikroplastik miktarları verilmiştir. Konuyla ilgili literatürdeki yayınlar incelendiğinde analizi yapılan mikroplastik büyüklüğünün, numune alınan toprak derinliğinin ve mikroplastiklerin topraktan ayrılması ve sayılması yöntemlerinin değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Bu nedenle elde edilen sonuçların birbiri ile kıyaslanması yanıltıcı olabilir. Mikroplastığın tarım topraklarına girişi için pek çok faktör bulunmaktadır. Bu nedenle mikroplastik sayısı açısından tarım topraklarında bölgesel olarak da önemli farklılıklar tespit edilmektedir.

Harms vd. [52] tarafından Kuzey Almanya'da yapılan çalışmada tarım topraklarında 1-5 mm büyüklüğündeki

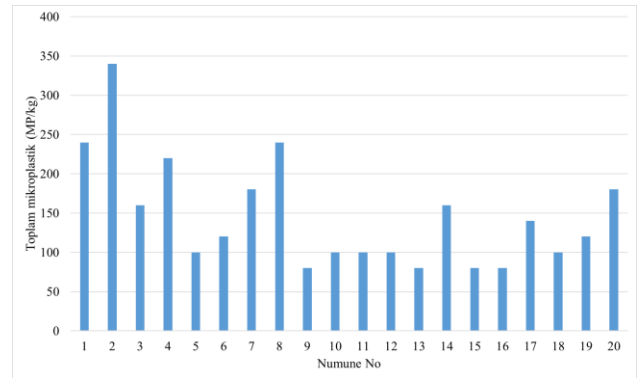
mikroplastik miktarı 3.7 MP/kg gibi oldukça düşük bir değer olarak raporlanırken, Crossmann vd. [56] tarafından Ontario, Kanada'da yapılan çalışmada tarım topraklarında < 5 mm büyüklüğündeki mikroplastik miktarı 541 MP/kg olarak raporlanmıştır.

3.2 Toprakta tespit edilen mikroplastiklerin morfolojik karakterizasyonu

Her bir toprak örneğinde tespit edilen film, fragment, pellet, köpük ve fiber şekilli mikroplastik sayıları **Şekil 3**'te ve mikroplastik şekillerinin oranları **Şekil 4**'te verilmiştir. Toprak örneklerinde %45 fiber (1300 MP); %25 pellet (720 MP); %18 film (540 MP); %7 fragment (200 MP) ve %5 köpük (160 MP) tespit edilmiştir. **Tablo 1**'de verilen literatür örneklerinde de yaygın olarak fiber, fragment, köpük, film, pellet şekilli mikroplastiklerin tespit edildiği, baskın olarak ise bizim çalışma sonucumuzda tespit ettiğimiz gibi fiber ve film şekilli mikroplastiklerin tespit edildiği görülmektedir. Corradini vd. [15] tarafından yapılan çalışmada arıtma çamuru uygulanmış topraklarda tespit edilen MP'lerin %97 gibi önemli bir kısmını fiberlerin oluşturduğu tespit edilmiştir. Öte yandan, Zhou vd. [44] tarafından yapılan çalışmada malç uygulaması yapılan arazilerde daha fazla sayıda MP tespit edildiği, tespit edilen plastikleri fragmentlerin domine ettiği raporlanmıştır. Mikroplastiklerin morfolojik karakterizasyon mikroskop görüntüleri **Şekil 5**'te verilmiştir.

3.3 Toprakta tespit edilen mikroplastiklerin renkleri

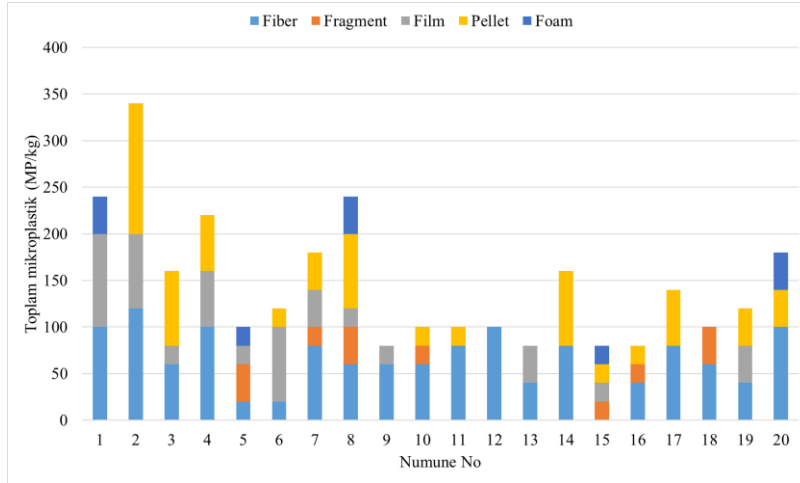
Her bir toprak örneğinde tespit edilen mikroplastiklerin renkleri **Şekil 6**'da ve mikroplastik renklerinin oranları **Şekil 7**'de verilmiştir. Toprak örneklerinde şeffaf, siyah, mavi, beyaz, kahverengi, pembe, sarı, kırmızı ve yeşil renkli plastikler tespit edilmiştir. %51 oranla en fazla şeffaf renkli mikroplastığe rastlanırken, ikinci sırada siyah renkli mikroplastikler tespit edilmiştir. Choi vd. [55] tarafından orman, şehir ve zirai bölgelerden alınan toprak örneklerinde yapılan MP analizi sonucunda caddelere yakın olan bölgelerden alınan toprak örneklerinde araç tekerleği kaynaklı siyah renkli MP parçalarının çoğunlukta olduğu tespit edilmiştir.



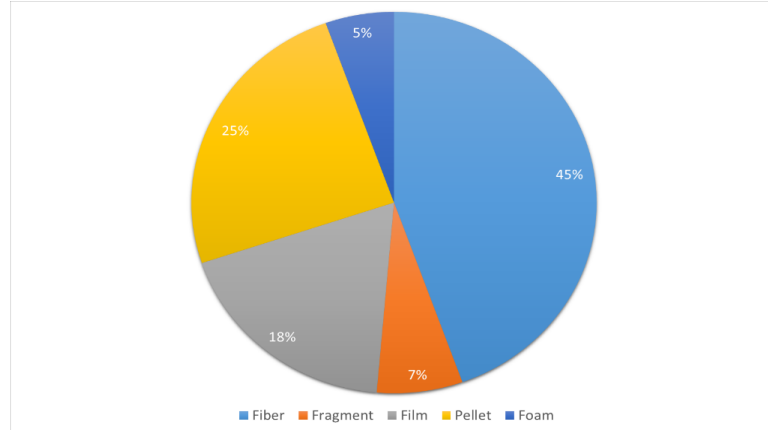
Şekil 2. Toprak örneklerinde tespit edilen mikroplastik (MP) sayıları (MP/kg)

Tablo 1. Literatürde toprakta tespit edilen mikroplastikler

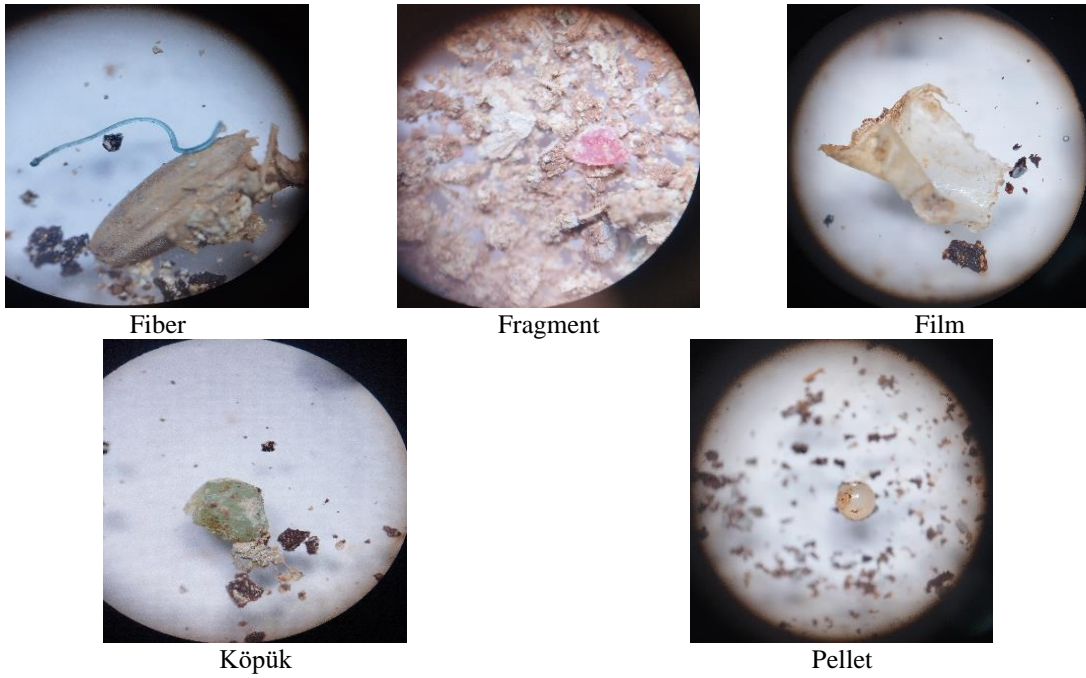
Ülke	Bölge	Arazi türü/ürün/toprak derinliği	Mikroplastik miktarı (MP/kg)	Mikroplastik büyüklüğü	Mikroplastik şekli	Mikroplastik polimer türü	Kaynak
Çin	Hang Zhou Bay plain	Malçlama yapılan/yapılmayan tarım arazisi 0-10 cm	571.2 / 262.7	<5 mm	Film, fragment, fiber	PE, PP, PES, Rayon	[44]
Çin	Daliao Nehir Havzası	5 cm	233.33	0-100 µm (<%1) 100-500 µm (%19) 500-1000 m (%41) 1000-2000 µm (%26) 2000-5000 µm (%11)	Fragment, film, köpük	PE, PP, PS, PA	[45]
Çin	Shanghai	Sığ toprak/derin toprak 0-3 cm/3-6 cm	78 / 62.5	0.03-5 mm	Pellet, fragment, film, fiber	PP, PE	[46]
Çin	Mu Us Sand Land	0-10 cm	2696.5	0-0.5 mm	Film, pellet, fragment, fiber	PS, PE, PP, PVC	[47]
Çin	Tibetan Platosu	Sığ/derin toprak 0-3 cm/3-6 cm	52.67 / 45.33	< 50 µm (38.2%) 50-100 µm (25.84%) 100-500 µm (23.59%) >500 µm (12.37%)	Fiber, fragment, sphere, köpük	PE, PA, PP, PS	[48]
Çin	Xinjiang	Tarım alanı	206.46	-	-	-	[49]
İspanya	Murcia	Sebze tarlası, kırsal bölge, 0-10 cm	2116	-	-	-	[50]
İspanya	Valencia	Zeytin ve tahıl tarım arazisi	930-11100	150-250 µm	Fragment, fiber, film	PP, PVC	[51]
Almanya	Kuzey Almanya	Tarım arazisi 10 – 20 – 30 cm	3.7	1-5 mm	Foil, fragment, platelet, fiber	PE	[52]
Meksika	Oaxaca	Çam tarlaları, meralar, neotropikal yağmur ormanları ve Savan 0-20 cm	2.54	40-500 µm	Fiber	-	[53]
Güney Kore	Yongin kırsal bölge	Pirinç ekim alanı Malçlama alanı Seranın içi Seranın dışı 5 cm	160 81 1880 1302	< 5 mm	Fragment, sheet, fiber	PE, PP, PET	[54]
Güney Kore	Yeoju	Orman toprağı Trafik toprağı Yerleşim alanı Tarım alanı 0-5 cm	160 1108 500 664	<1 mm (%86) 1-5 mm (%13)	Fragment, film, fiber, sphere	PP, PP, SIS, SBR, EPS	[55]
Şili	Metrololitana	Ürün arazisi Mera 0-20 cm	540 420	-	Fiber, film, fragment, pellet	Akrilatlar, vernik, PU, PE	[15]
Kanada	Ontario	Tarım arazisi	541	<5 mm	Fragment, fiber	PP, PE, PES, akrilik	[56]
Brezilya	Todos os Santos Bay,	Mangrov toprakları	10782	150-200 mm	Pellet, köpük, film fragment, fiber	-	[57]
İran	Persian Körfezi	Mangrov toprakları	23-1354	0.25-5 mm	Film, fragment, fiber	PS, PT, PET, LDPE, naylon	[58]



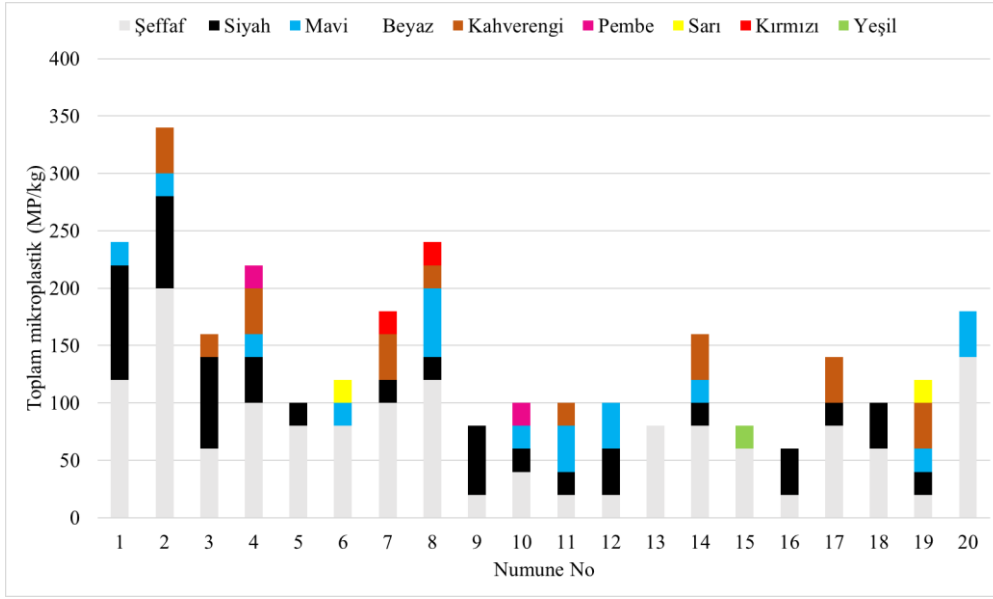
Şekil 3. Toprak örneklerinde tespit edilen mikroplastiklerin morfolojik karakterizasyonu



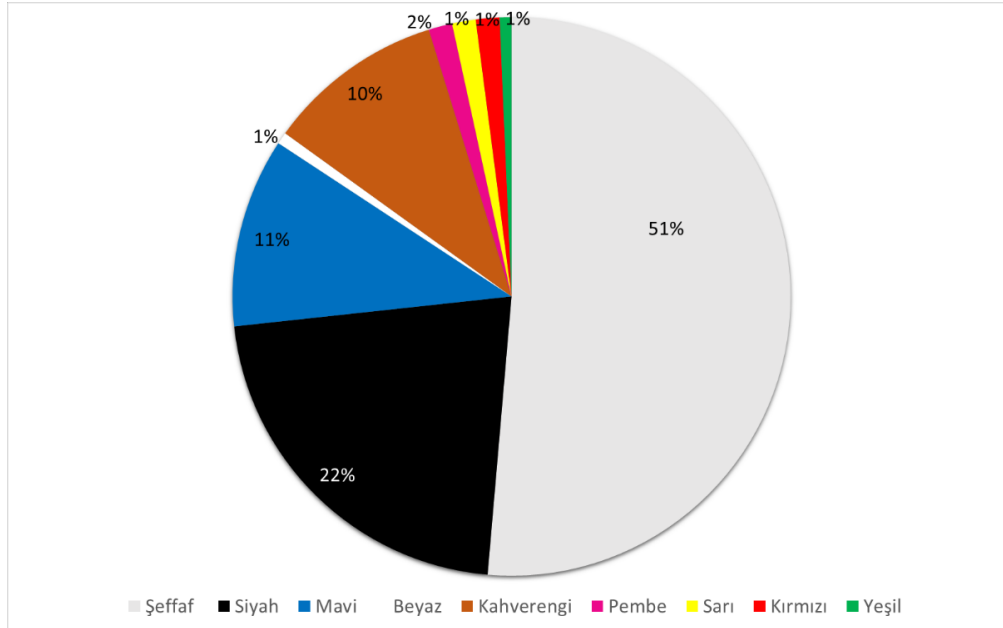
Şekil 4. Toprak örneklerinde tespit edilen mikroplastik morfolojik oranları



Şekil 5. Mikroplastiklerin morfolojik sınıflandırılması



Şekil 6. Toprak örneklerinde tespit edilen mikroplastiklerin renkleri



Şekil 7. Toprak örneklerinde tespit edilen mikroplastik renklerinin oranları

3.4 Mikroplastiklerin risk değerlendirmesi

Mikroplastikler mahsullerin büyümesini ve gıda güvenliğini tehlikeye sokmakta ve aynı zamanda ekolojik riskler de oluşturmaktadır. Topraklarda tespit edilen mikroplastik kirliliğinin risk seviyesinin belirlenmesi için kirlilik faktörü (CF) ve kirlilik yük endeksi (PLI) değerleri hesaplanmış ve risk kategorilerine göre değerlendirilmiştir. Tablo 2’de toprak örneklerinde tespit edilen CF ve PLI değerleri ile risk sınıflandırması görülmektedir. 1, 2 ve 8 numaralı numunelerde CF değerinin önemli ekolojik risk oluşturduğu, diğer numuneler için orta seviyede ekolojik risk olduğu tespit edilmiştir. 1, 2 ve 8 numaralı örnekler sırasıyla

Akören, Altnekin ve Güneysınır’dan alınan toprak örnekleridir. Bu bölgelerde malçlama ile sebze yetiştiriciliği dikkat çekmektedir. Toprak nemini koruma, güneş ışığını keserek yabancı otların büyümesini engelleme, bitki olgunlaşmasını hızlandırma vb. amaçlarla kullanılan malç örtüsü bölgede yaygın olarak kullanılmaktadır. Ekim sezonu sonunda malç örtüsünün toprak yüzeyinden toplanmaması, toprağa karıştırılması vb. uygulamalar toprakta plastik birikimini artırmaktadır. PLI değerine göre numunelerin tümü için düşük risk olduğu tespit edilmiştir. Çalışmadaki CF ve PLI değerlerinin dağılımı sırasıyla Şekil 8 ve Şekil 9’da verilmiştir. PLI değerleri dar bir aralıkta değişim

gösterirken, önemli ekolojik risk oluşturan CF değerlerinin nispeten geniş aralıkta değiştiği görülmektedir. Bangladeş'te tarım arazilerinde kirlilik faktörü açısından orta düzeyde kirliliğin olduğu ve ekolojik çevre güvenliğine yönelik endişelerin olduğu rapor edilmiştir [36]. Çin'de tarımsal topraklarda araştırılan mikroplastiklerin ekolojik ve kirlilik riski değerlendirilmiş, PLI değerleri 1 ile 2.48 aralığında tespit edilmiş ve tüm numune alma bölgeleri risk kategorisi I (hafif kirlenme) olarak sınıflandırılmıştır [59].

Tablo 2. Toprak örneklerinin CF ve PLI değerleri ile risk sınıflandırması

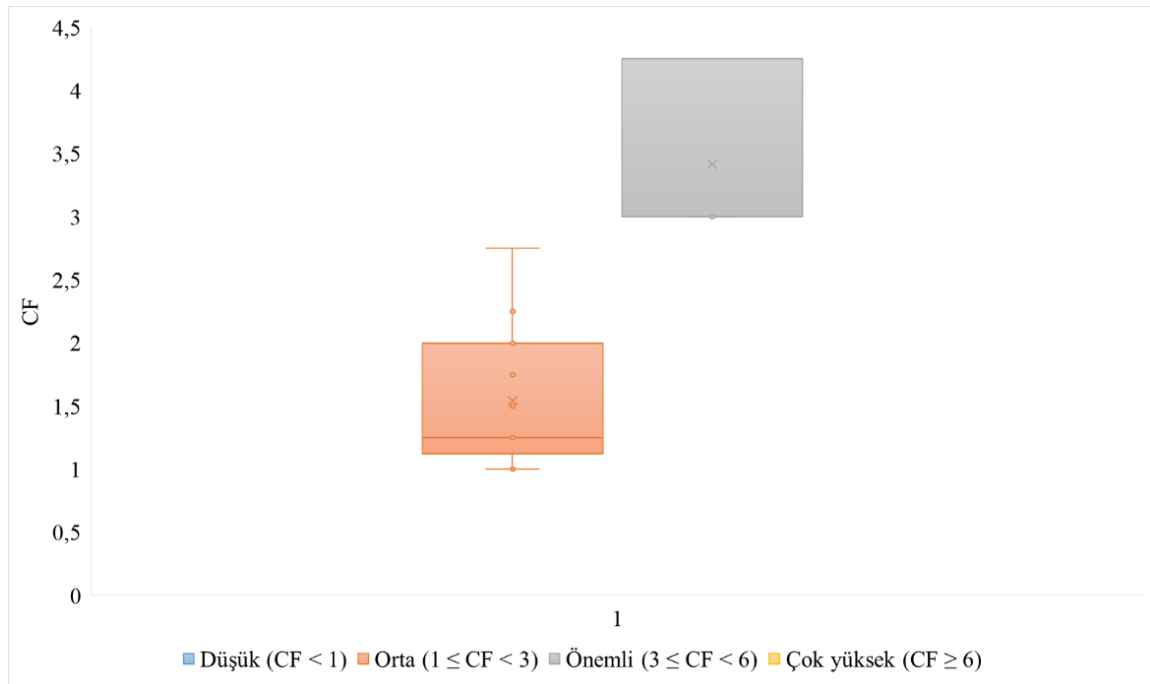
Düşük (CF < 1)	Orta (1 ≤ CF < 3)	Önemli (3 ≤ CF < 6)	Çok yüksek (CF ≥ 6)
Tehlike I (PLI < 10)	Tehlike II (10 ≤ PLI < 20)	Tehlike III (20 ≤ PLI < 30)	Tehlike IV (PLI ≥ 30)
Numune no	CF	PLI	
1	3.00	1.73	
2	4.25	2.06	
3	2.00	1.41	
4	2.75	1.66	
5	1.25	1.12	
6	1.50	1.22	
7	2.25	1.50	
8	3.00	1.73	
9	1.00	1.00	
10	1.25	1.12	
11	1.25	1.12	
12	1.25	1.12	
13	1.00	1.00	
14	2.00	1.41	
15	1.00	1.00	
16	1.00	1.00	
17	1.75	1.32	
18	1.25	1.12	
19	1.50	1.22	
20	2.25	1.50	

3.5 Toprağın fiziko-kimyasal analiz sonuçları ve mikroplastik dağılımı ile ilişkisi

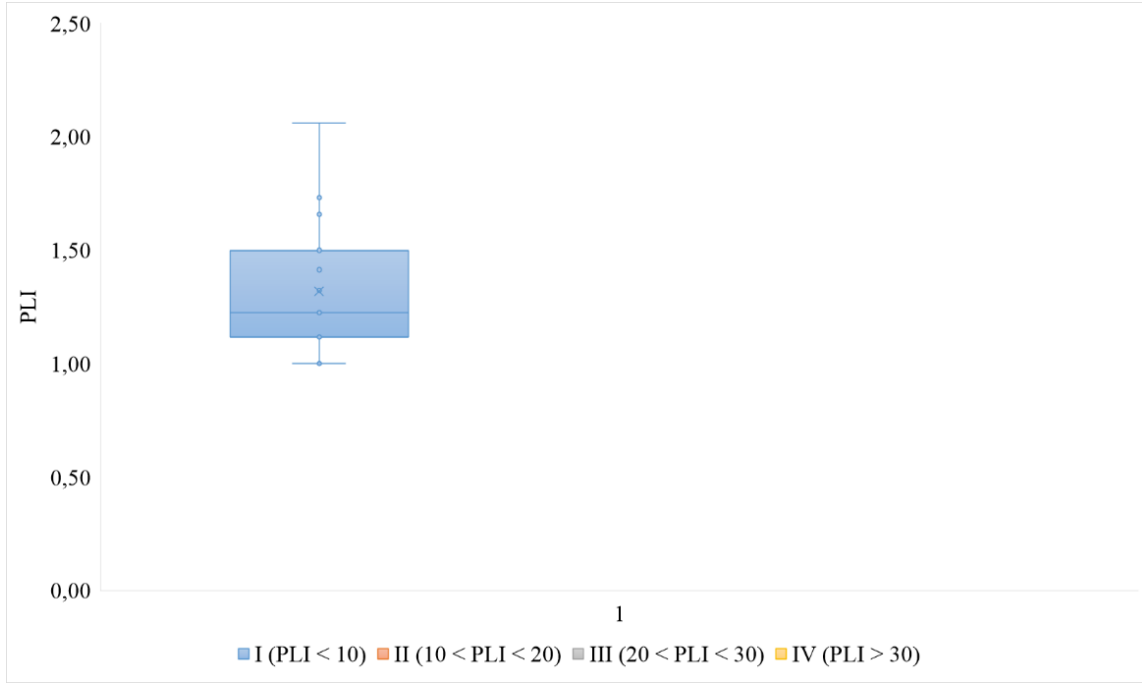
Mikroplastikler katı bir kirletici olarak toprağa ulaştıktan sonra kuru ve ıslak döngüler, toprak işleme faaliyetleri, ekolojik bozulma ile toprak agregatlarına kolayca entegre olurlar ve pH, su tutma kapasitesi, toprak yapısı gibi toprağın fiziko-kimyasal özelliklerini doğrudan ve dolaylı olarak etkilerler. Ek olarak, küçük parçacık boyutları, geniş spesifik yüzey alanları, hidrofobiklikleri ve güçlü adsorpsiyon kapasiteleri nedeniyle mikroplastikler toprak ortamındaki toprak parçacıklarıyla kolayca birleşebilir ve yavaş yavaş toprak parçacıklarının fiziko-kimyasal özelliklerini şekillendirebilirler.

3.5.1. Toprak tekstürü

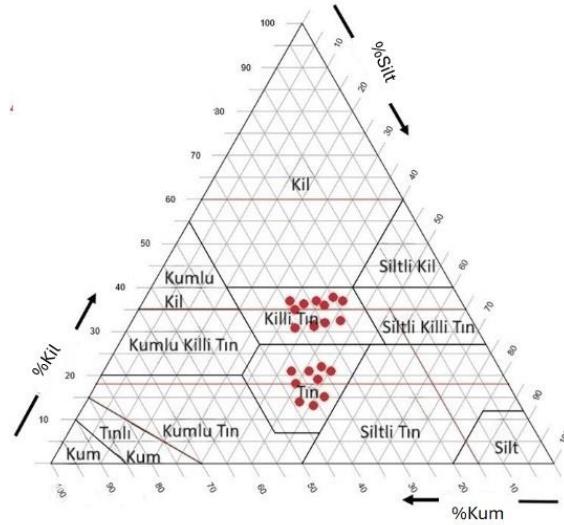
Toprak örneklerinin kum/kil/silt oranına göre tekstür sınıfları Şekil 10'da verilen tekstür üçgeni üzerinde gösterilmiştir. Toprak örneklerinin killi-tınlı ve tınlı özellikte oldukları tespit edilmiştir. Kil içeriği yüksek topraklara mikroplastik ilavesinin, killi olmayan topraklara göre, toprak özellikleri üzerinde daha güçlü etki gösterdiği rapor edilmiştir [60]. PES-mikroplastik uygulaması ile killi-tınlı topraklarda toprak agregatlarının oluşumu ve suya dayanıklı büyük agregatlar artarken [61], tınlı-kumlu topraklarda suya dayanıklı agregatların oluşumu azalmıştır [62]. Toprakta mikroplastik kirliliğinin toprak tekstürünü etkilemediğine dair görüşler bulunmaktadır. Örneğin, polyester mikroplastik %0.5 ve %100.0 ile kontamine olmuş toprakta, toprak tekstürünün değişmediğini bildirmiştir [63, 64].



Şekil 8. Toprak örneklerinde CF değerlerinin dağılımı



Şekil 9. Toprak örneklerinde PLI değerlerinin dağılımı



Şekil 10. Toprak örneklerinin kum/kil/silt oranına göre tekstür sınıfları

3.5.2. Toprak pH, EC, organik madde, fosfor, potasyum değerleri ve mikroplastik dağılımı

Toprak örneklerinin fizikokimyasal özellikleri; pH; EC; organik madde; fosfor ve potasyum ile bu özelliklere göre ayrılmış mikroplastik sayıları sırasıyla Şekil 11, Şekil 12, Şekil 13, Şekil 14 ve Şekil 15'te verilmiştir. Toprak örneklerinin pH değerlerinin nötr (pH 6,5-7,5) veya hafif alkali (pH 7,5-8,5) özellikte oldukları tespit edilmiştir. Toprak pH ve toprakta tespit edilen mikroplastik sayısı arasındaki ilişki Pearson korelasyon katsayısı ile değerlendirildiğinde $r=0.04$ olup, anlamlı bir ilişki tespit

edilememiştir. Toprak pH'sı, arazi kullanımı ve arazi örtüsü tarzlarındaki değişikliklerden ve insan ya da doğal faaliyetlerin neden olduğu yönetimden etkilenebilir [65, 66]. Toprakların insan faaliyetleri nedeniyle kasıtlı veya kasıtsız olarak mikroplastiklerle kirlenmesinin uzun vadede toprak pH'sını artırdığı veya azalttığı bilinmektedir [67, 68]. Örneğin, toprağın bir mikroplastik karışımına maruz kalması toprağın pH'sını artırır [69]. Buna mukabil, yüksek yoğunluklu polietilene 30 gün maruz kaldıktan sonra toprağın pH'sının düştüğü tespit edilmiştir [67, 68].

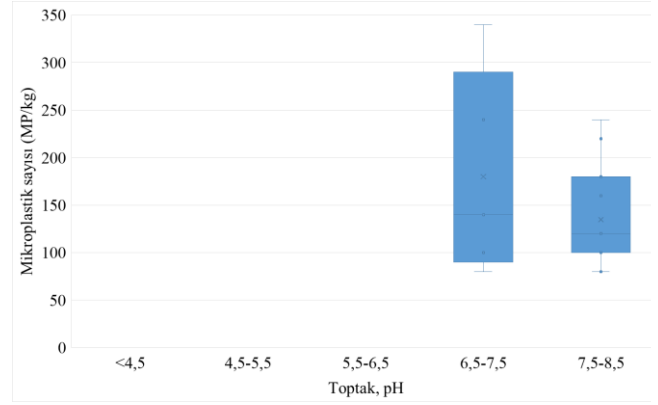
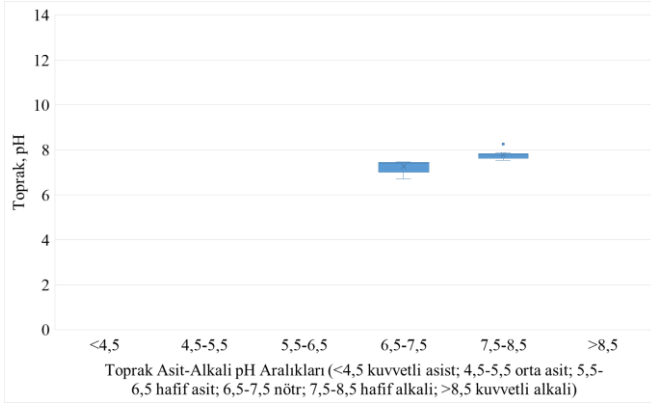
Toprak örneklerinin EC değerleri incelendiğinde tuzsuz veya çok hafif tuzlu özellikte oldukları tespit edilmiştir. Toprak EC ve toprakta tespit edilen mikroplastik sayısı arasındaki ilişki Pearson korelasyon katsayısı ile değerlendirildiğinde $r=0.12$ olup, anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir. Son zamanlarda yapılan bazı araştırmalar, toprağa %2 ve %10 konsantrasyonlu düşük yoğunluklu polietilen ile kirlenmesinin toprağın elektrik iletkenliğini önemli ölçüde değiştirmediğini bildirmiştir [70, 71].

Toprak örneklerinin organik madde muhtevasının az veya zengin olduğu tespit edilmiştir. Toprak organik maddesi ve toprakta tespit edilen mikroplastik sayısı arasındaki ilişki Pearson korelasyon katsayısı ile değerlendirildiğinde $r=0.04$ olup, anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir. Organik madde miktarına göre gruplanan toprak örneklerindeki mikroplastik sayıları arasında ANOVA testi ile yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda anlamlı bir fark tespit edilememiştir ($p=0.75$ olup $p>0.05$ 'tir). Ancak organik maddece zengin olan toprak örneklerindeki mikroplastik sayılarının daha fazla olduğu tespit edilmiştir. %3-5 organik madde içeren toprak örneklerindeki mikroplastik sayısı ortalama değer olan 120 MP/kg değerini aşarak 340 MP/kg değerine ulaşmıştır. Bazı çalışmalarda organik madde ve mikroplastik miktarı arasında pozitif bir korelasyon olduğu bunun sebebinin ise muhtemelen organik maddenin artışının mikroorganizma

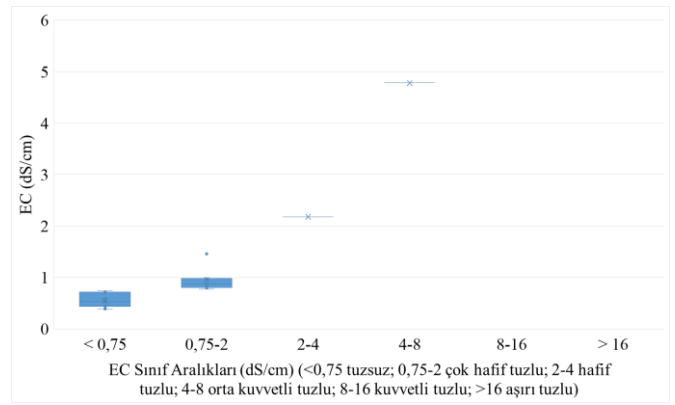
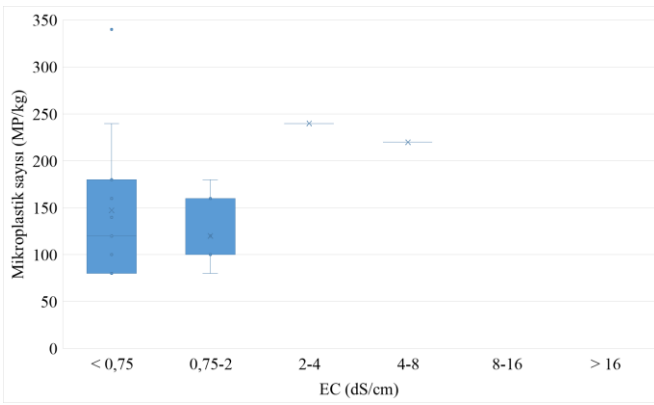
aktivitelerine teşvik etmesi ve böylece mikroplastikleri parçalamasının artması ile açıklanmıştır [72].

Toprak örneklerinin fosfor içeriğinin az, orta veya çok yüksek olduğu tespit edilmiştir. Toprak fosforu ve toprakta tespit edilen mikroplastik sayısı arasındaki ilişki Pearson korelasyon katsayısı ile değerlendirildiğinde $r=0.56$ olup, orta düzeyli korelasyon tespit edilmiştir. Fosfor miktarına göre gruplanan toprak örneklerindeki mikroplastik sayıları arasında ANOVA testi ile yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda anlamlı bir fark tespit edilememiştir ($p=0.29$ olup $p>0.05$ 'tir). Toprakta tespit edilen bitkiye elverişli fosfor miktarı arttıkça tespit edilen mikroplastik sayısı da artmıştır. Bu durum toprakta bitkiye elverişli fosfor miktarı artışının mikroorganizma aktivitelerini teşvik etmesi ve böylece mikroplastikleri parçalamasının artması ile açıklanabilir.

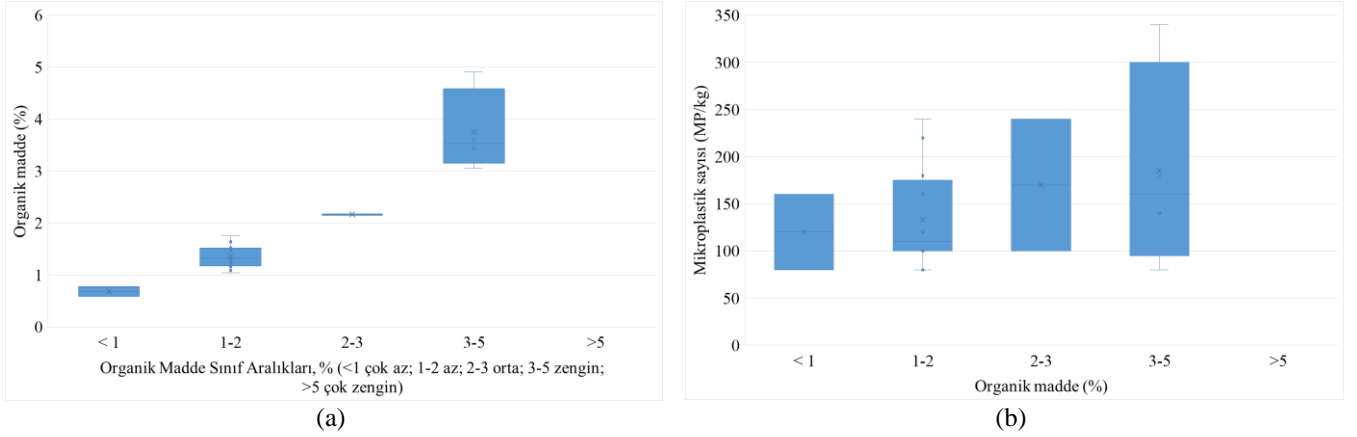
Toprak örneklerinin potasyum değerlerinin yeterli düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Toprak potasyumu ve toprakta tespit edilen mikroplastik sayısı arasındaki ilişki Pearson korelasyon katsayısı ile değerlendirildiğinde $r=0.36$ olup, zayıf korelasyon tespit edilmiştir. Bu ilişki de potasyumun mikroorganizma aktivitelerini teşvik etmesi ve böylece mikroplastikleri parçalamasının artması ile açıklanabilir. Potasyum miktarına göre analizi yapılan toprak örneklerinin tümü >30 kg/da değerinde toplanmış olup kıyaslanabilir gruplar oluşmamıştır.



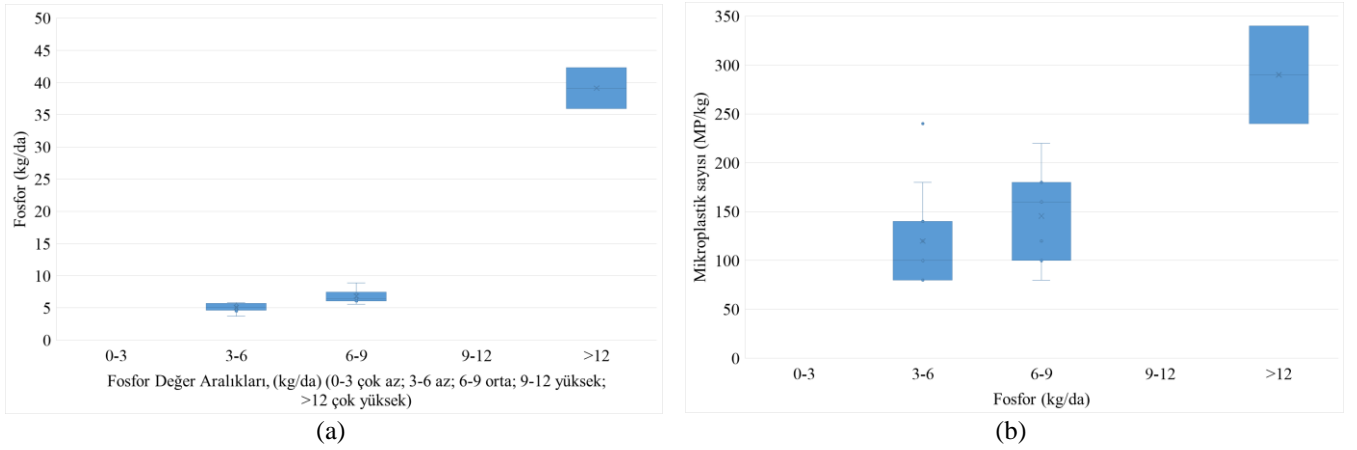
Şekil 11. Toprak örneklerinin pH değeri ve mikroplastik dağılımı



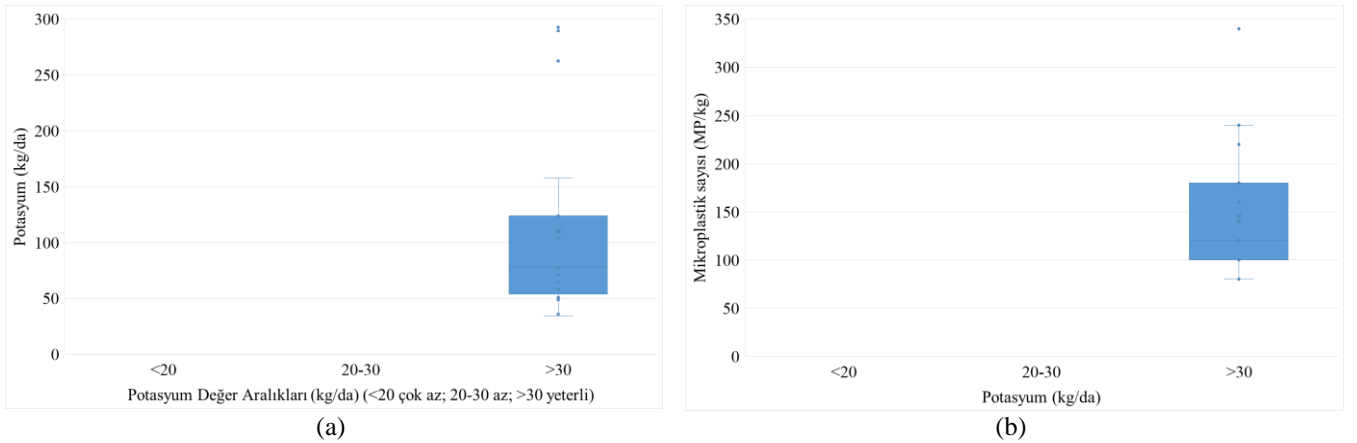
Şekil 12. Toprak örneklerinin EC değeri ve mikroplastik dağılımı



Şekil 13. Toprak örneklerinin organik madde (OM) değeri ve mikroplastik dağılımı



Şekil 14. Toprak örneklerinin fosfor değeri ve mikroplastik dağılımı



Şekil 15. Toprak örneklerinin potasyum değeri ve mikroplastik dağılımı

4. Sonuçlar

Plastik kirliliği günümüzde insanlığın yüzleşmek zorunda olduğu en önemli çevre sorunlarından birisidir. Mikroplastiklerin sucul ortamlar kadar toprakta da yayıldığı ve ekolojik bir risk oluşturduğunun farkına varılması gerekir.

Bu çalışma ülkemizde karasal ekosistemde mikroplastik kirliliğinin tespitine ilişkin ilk çalışmalardan biridir. Araştırma sonucunda örnekleme yapılan tüm numunelerde mikroplastik kirliliği olduğu tespit edilmiştir. Toprakta mikroplastik kaynaklarına ilişkin olarak yapılacak olan daha kapsamlı bir çalışmanın ilk basamağı olan bu çalışmada,

Konya İli ve yakın çevresinden alınan 20 toprak örneğinde 80-340 MP/kg arasında mikroplastik tespit edilmiştir. Toprak örneklerinde %45 fiber (1300 MP); %25 pellet (720 MP); %18 film (540 MP); %7 fragment (200 MP) ve %5 köpük (160 MP) tespit edilirken %51 oranla en fazla şeffaf renkli mikroplastığe rastlanmıştır. Polimer tipinden bağımsız olarak yapılan risk analizi sonucunda 1, 2 ve 8 numaralı numunelerde CF değerinin önemli ekolojik risk oluşturduğu, diğer numuneler için orta seviyede ekolojik risk olduğu tespit edilmiştir. PLI değerine göre numunelerin tümü için düşük risk olduğu tespit edilmiştir. Toprak örneklerinin killi-tınlı ve tınlı özellikte oldukları belirlenmiştir. Toprak pH, EC ve organik madde muhtevası ile mikroplastik sayıları arasında anlamlı bir korelasyon tespit edilmezken, fosfor ile orta düzeyli ($r=0.56$) ve potasyum ile zayıf düzeyli ($r=0.36$) korelasyon tespit edilmiştir. Bu ilişki, minerallerin mikroorganizma aktivitelerini teşvik etmesi ve böylece plastikleri mikroplastiklere parçalamasının artışı ile açıklanmıştır. Yapılan araştırmalar mikroplastiklerin varlık ve birikiminin topraktaki çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçleri etkileyebileceğini ve toprak ekosistemi işleyişi için bunların son derece önemli olduğunu göstermektedir. Bu nedenle konuyla ilgili araştırmalar derinleştirilmelidir. Öte yandan literatürdeki yayınlar incelendiğinde mikroplastiklerin örnekleme ve analizine ilişkin standart bir metod olmaması, sonuçların yorumlanmasını güçleştirmektedir. Mikroplastiklerin tarım topraklarına girişi için pek çok yol bulunmaktadır. Bu çalışmanın bir sonraki basamağında mikroplastiklerin toprağa giriş faktörlerinin tespit edileceği kontrollü örnekleme yapılacaktır. Tarım topraklarında mikroplastik kirlilik seviyesinin ve bu kirliliğin ekolojik risklerinin tespiti plastik kaynaklarının kontrolü için önemli bir adımdır

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %9

Kaynaklar

- [1] Y. Yan and Z.F. Yang, Sources, distribution, behavior, and detection techniques of microplastics in soil: A review. *China Geology*, 6, 695-715, 2023. <https://doi.org/10.31035/cg2023042>.
- [2] R.C. Thompson, Y. Olsen, R.P. Mitchell, A. Davis, S.J. Rowland, A.W.G. John, D. McGonigle and A.E. Russell Lost at sea: where is all the plastic? *Science*, 304, 838, 2004. <https://doi.org/10.1126/science.1094559>.
- [3] M. Rilling, Microplastic in Terrestrial Ecosystems and the Soil? *Environmental Science & Technology*, 46(12), 2012. <https://doi.org/10.1021/es302011r>.
- [4] L. Nizzetto, S. Langaas and M. Futter, Pollution: do microplastics spill on to farm soils? *Nature*, 537, 488, 2016. ISSN 1476-4687. <https://doi.org/10.1038/537488b>.
- [5] E. Bergami, E. Rota, T. Caruso, G. Birarda, L. Vaccari and I. Corsi, Plastics everywhere: first evidence of polystyrene fragments inside the common Antarctic collembolan *Cryptopygus antarcticus*. *Biology Letters*, 16, 2020. <http://dx.doi.org/10.1098/rsbl.2020.0093>.
- [6] B. Basaran, Z. Özçiftçi, E.D. Kanbur, H.T. Akçay, S. Gül, Y. Bektaş and U. Aytan, Microplastics in honey from Türkiye: Occurrence, characteristic, human exposure, and risk assessment. *Journal of Food Composition and Analysis*, 135, 106646, 2024. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106646>.
- [7] Y. Li, L. Peng, J.X. Fu, X.L. Dai and G.Q. Wang, A microscopic survey on microplastics in beverages: the case of beer, mineral water and tea. *Analyst*, 147(6), 1099-1105, 2022. <http://dx.doi.org/10.1039/d2an00083k>.
- [8] A. Tahir, P. Taba, M.F. Samawi and S. Werorilangi, Microplastics in water, sediment and salts from traditional salt producing ponds. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 5(4), 431-440, 2019. <http://dx.doi.org/10.22034/gjesm.2019.04>.
- [9] M. Blasing and W. Amelung, Plastics in soil: analytical methods and possible sources. *Science of the Total Environment*, 612, 422-435, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.086>.
- [10] S. Allen, D. Allen, V.R. Phoenix, G. Le Roux, P.D. Jimenez, A. Simonneau, S. Binet and D. Galop, Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment. *Nature Geoscience*, 12, 339-344, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0409-4>.
- [11] G.S. Zhang and F.X. Zhang, Variations in aggregate-associated organic carbon and polyester microfibrils resulting from polyester microfibrils addition in a clayey soil. *Environmental Pollution*, 258, 113716, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113716>.
- [12] D.F. He, Y.M. Luo, S.B. Lu, M.T. Liu, Y. Song and L.L. Lei, Microplastics in soils: Analytical methods, pollution characteristics and ecological risks. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 109, 163-172, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.10.006>.
- [13] G.S. Zhang and Y.F. Liu, The distribution of microplastics in soil aggregate fractions in southwestern China. *Science of The Total Environment*, 642, 12-20, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.004>.
- [14] X. Li, L. Chen, Q. Mei, B. Dong, X. Dai, G. Ding and E.Y. Zeng, Microplastics in sewage sludge from the wastewater treatment plants in China. *Water Research*, 142, 75-85, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.05.034>.
- [15] F. Corradini, P. Meza, R. Eguluz, F. Casado, E. Huerta-Lwanga and V. Geissen, Evidence of microplastic accumulation in agricultural soils from sewage sludge disposal. *Science of the Total Environment*, 671, 411-420, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.368>.
- [16] G.S. Zhang and Y.F. Liu, The distribution of microplastics in soil aggregate fractions in southwestern China. *Science of the Total Environment*, 642, 12-20, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.004>.

- [17] L. Nizzetto and M. Futter, S. Langaas, Are agricultural soils dumps for microplastics of urban origin? *Environmental Science and Technology*, 50(20), 10777–10779, 2016. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b04140>.
- [18] R.W. Chia, J.Y. Lee, J. Jang, H. Kim and K.D. Kwon, Soil health and microplastics: a review of the impacts of microplastic contamination on soil properties. *Journal of Soils Sediments*, 22, 2690–2705, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11368-022-03254-4>.
- [19] Y. Qiu, S. Zhou, C. Zhang, Y. Zhou and W. Qin, Soil microplastic characteristics and the effects on soil properties and biota: A systematic review and meta-analysis. *Environmental Pollution*, 313, 120183, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120183>.
- [20] S. Zhao and J. Zhang, Microplastics in soils during the COVID-19 pandemic: Sources, migration and transformations, and remediation technologies. *Science of the Total Environment*, 883, 163700, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163700>.
- [21] L. Fu, J. Li, G. Wang, Y. Luan and W. Dai, Adsorption behavior of organic pollutants on microplastics. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 217, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112207>.
- [22] M. Arienzo, L. Ferrara and M. Trifuoggi, The dual role of microplastics in marine environment: Sink and vectors of pollutants. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(6), 2021. <https://doi.org/10.3390/jmse9060642>.
- [23] K. Cverenkova, M. Valachovicova, T. Mackulak, L. Zemlicka and L. Birosova, Microplastics in the Food Chain. *Life*, 11 (12), 1349, 2021. <https://doi.org/10.3390/life11121349>.
- [24] R.W. Chia, J.Y. Lee, M. Lee, G.S. Lee and C.D. Jeong, Role of soil microplastic pollution in climate change. *Science of the Total Environment*, 887, 164112, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164112>.
- [25] M.O. Akça, S. Gündoğdu ve O.C. Tugay, Çilek üretiminde plastik malç uygulamasından kaynaklı toprakta plastik birikiminin belirlenmesi, *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 10 (2), 165-176, 2022. <https://doi.org/10.33409/tbbd.1185820>.
- [26] M. Ulvi and S. Aydın, Microplastic and associated polyaromatic hydrocarbons in surface waters feeding Beyşehir lake in Türkiye. *Global NEST Journal*, 25(7) 91-98, 2023. <https://doi.org/10.30955/gnj.004960>.
- [27] M.B. Duygu, B. Kirmencioğlu and M. Aras, Essential Tools to Establish a Comprehensive Drought Management Plan - Konya Basin Case Study. *Turkish Journal of Water Science & Management*, 1 (1), 54-70, 2017. <https://doi.org/10.31807/tjwsm.297087>.
- [28] L. Li, Y. Luo, R. Li, Q. Zhou, W.J.G.M. Peijnenburg, N. Yin, J. Yang, C. Tu and Y. Zhang, Effective uptake of submicrometre plastics by crop plants via a crack-entry mode. *Natura Sustainability*, 3, 929–937, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0567-9>.
- [29] B. Chai, Q. Wei, Y. She, G. Lu, Z. Dang and H. Yin, Soil microplastic pollution in an e-waste dismantling zone of China. *Waste Management*, 118, 291-301, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.08.048>
- [30] L. Cao, D. Wu, P. Liu, W. Hu, L. Xu, Y. Sun, Q. Wu, K. Tian, B. Huang, S.J. Yoon, B.O. Kwon and J.S. Khim, Occurrence, distribution and affecting factors of microplastics in agricultural soils along the lower reaches of Yangtze River, China. *Science of the Total Environment*, 794, 148694, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148694>.
- [31] L. Yang, Y. Zhang, S. Kang, Z. Wang and C. Wu, Microplastics in soil: A review on methods, occurrence, sources, and potential risk. *Science of the Total Environment*, 780, 146546, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146546>.
- [32] J. Masura, J. Baker, G. Foster, C. Arthur, C. Herring and T. Editor, Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48, 2015. <http://dx.doi.org/10.25607/OB-P-604>.
- [33] ISO 11464:2006 Soil quality - Pretreatment of samples for physico-chemical analysis. <https://www.iso.org/standard/37718.html>, Accessed 10 January 2024.
- [34] G.J. Bouyoucos, Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. *Agronomy Journal*. 54, 464–465, 1962. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj1962.00021962005400050028x>.
- [35] M.L. Jackson, *Soil Chemical Analysis*. Prentice-Hall Inc. Englewood, Cliffs. NY. 1962. <https://doi.org/10.1002/jpln.19590850311>.
- [36] D.W. Nelson and L.E. Sommers, Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page, A.L., Miller, R.H. and Kenney, D.R., Eds., *Methods of Soil Analysis*, Part 2, American Society of Agronomy, 539-579, 1982. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c29>.
- [37] EN 16169: Sludge, treated biowaste and soil - Determination of Kjeldahl nitrogen, 2012. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen>, Accessed 10 January 2024.
- [38] S.R. Olsen, C.V. Cole, F.S. Watanabe and L.A. Dean, Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate, USDA Circular No. 939, US Government Printing Office, Washington DC, 1954.
- [39] M.O. Rodrigues, A.M.M. Gonçalves, F.J.M. Gonçalves, H. Nogueira, J.C. Marques and N. Abrantes, Effectiveness of a methodology of microplastics isolation for environmental monitoring in freshwater systems. *Ecol Indic*, 89, 488–495, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ecoind.2018.02.038>.
- [40] X. Yang, Z. Wan, J. Xiao, F. Li, F. Zhang and Z. Zhang, Evaluation of niche, diversity, and risks of microplastics in farmland soils of different rocky desertification areas. *Journal of Hazardous Materials*, 466, 133603, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.133603>.
- [41] L. Hakanson, An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water*

- Research, 14(8), 975–1001, 1980. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(80\)90143-8](https://doi.org/10.1016/0043-1354(80)90143-8).
- [42] A. Hossain, M.I. Adham, M. Hasan, M.M. Ali, M.A.B. Siddique, V. Senapathi and A.R.M.T. Islam, Analysis and risk evaluation of soil microplastics in the Rohingya refugee camp area, Bangladesh: A comprehensive study. *Regional Studies in Marine Science*, 76, 103578, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103578>.
- [43] M. Ranjani, S. Veerasingam, R. Venkatachalapathy, M. Mugilarasan, A. Bagaev, V. Mukhanov and P.J.M.P.B. Vethamony, Assessment of potential ecological risk of microplastics in the coastal sediments of India: a meta-analysis. *Marine Pollution Bulletin*, 163, 111969, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.111969>.
- [44] B. Zhou, J. Wang, H. Zhang, H. Shi, Y. Fei, S. Huang, Y. Tong, D. Wen, Y. Luo and D. Barceló, Microplastics in agricultural soils on the coastal plain of Hangzhou Bay, east China: Multiple sources other than plastic mulching film. *Journal of Hazardous Materials*, 388, 121814, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121814>.
- [45] L. Han, Q. Li, L. Xu, A. Lu, B. Li, W. Gong and J. Tian. Abundance and distribution of microplastics of soils in Daliao River basin. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 174–185, 2020. <http://doi.org/10.33263/BRIAC114.1170011712>.
- [46] M. Liu, S. Lu, Y. Song, L. Lei, J. Hu, W. Lv, W. Zhou, C. Cao, H. Shi, X. Yang and D. He, Microplastic and mesoplastic pollution in farmland soils in suburbs of Shanghai, China. *Environmental Pollution*, 855-862, 2018. <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.051>.
- [47] L. Ding, X. Wang, Z. Ouyang, Y. Chen, X. Wang, D. Liu, S. Liu, X. Yang, H. Jia and X. Guo, The occurrence of microplastic in Mu Us Sand Land soils in northwest China: Different soil types, vegetation cover and restoration years. *Journal of Hazardous Materials*, 403, 123982, 2021. <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123982>
- [48] S. Feng, H. Lu, P. Tian, Y. Xue, J. Lu, M. Tang and W. Feng, Analysis of microplastics in a remote region of the Tibetan Plateau: Implications for natural environmental response to human activities. *Science of the Total Environment*, 739, 140087, 2020. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140087>.
- [49] Y. Yuchen, Y. Zhang Fang and Y.U. Tao, Sources, ecological hazards and treatment technologies of microplastics in soil. *Geology in China*, 49, 770–788, 2022. <http://doi.org/10.12029/gc20220307>.
- [50] N. Beriot, J. Peek, R. Zornoza, V. Geissen and E.H. Lwanga, Low density-microplastics detected in sheep faeces and soil: A case study from the intensive vegetable farming in Southeast Spain. *Science of the Total Environment*, 755, 142653, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142653>.
- [51] P. van den Berg, E. Huerta-Lwanga, F. Corradini and V. Geissen, Sewage sludge application as a vehicle for microplastics in eastern Spanish agricultural soils. *Environmental Pollution*, 261, 114198, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114198>.
- [52] I.K. Harms, T. Diekötter, S. Troegel and M. Lenz, Amount, distribution and composition of large microplastics in typical agricultural soils in Northern Germany. *Science of the Total Environment*, 758, 143615, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143615>
- [53] J. Alvarez-Lopezello, C. Robles and R.F. del Castillo, Microplastic Pollution in Neotropical Rainforest, Savanna, Pine Plantations, and Pasture Soils in Lowland Areas of Oaxaca, 121. Preliminary results, Mexico, *Ecological Indicators*, 107084, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107084>
- [54] S.K. Kim, J.S. Kim, H. Lee and H.J. Lee, Abundance and characteristics of microplastics in soils with different agricultural practices: Importance of sources with internal origin and environmental fate. *Journal of Hazardous Materials*, 403, 123997, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123997>.
- [55] Y.R. Choi, Y.N. Kim, J.H. Yoon, N. Dickinson and K.H. Kim, Plastic contamination of forest, urban, and agricultural soils: a case study of Yeosu City in the Republic of Korea. *Journal of Soils and Sediments*, 21, 1962–1973, 2021. <http://doi.org/10.1007/s11368-020-02759-0>.
- [56] J. Crossman, R.R. Hurley, M. Futter and L. Nizzetto, Transfer and transport of microplastics from biosolids to agricultural soils and the wider environment. *Science of the Total Environment*, 724, 138334, 2020. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138334>.
- [57] E.D. Paes, T.V. Gloaguen, H.D.D. Silva, T.S. Duarte, M.D. de Almeida, O.D.V. Costa, M.R. Bomfim and J.A.G., Santos, Widespread microplastic pollution in mangrove soils of Todos os Santos Bay, northern Brazil. *Environmental Research*, 210, 2022. <http://doi.org/10.1016/j.envres.2022.112952>.
- [58] Z. Maghsodian, A.M. Sanati, B. Ramavandi, A. Ghasemi and G.A. Sorial, Microplastics accumulation in sediments and *Periophthalmus waltoni* fish, mangrove forests in southern Iran. *Chemosphere*, 264, 128543, 2021. <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128543>.
- [59] Z. Jia, W. Wei, Y. Wang, Y. Chang, R. Lei and Y. Che. Occurrence characteristics and risk assessment of microplastics in agricultural soils in the loess hilly gully area of Yan' an, China. *Science of The Total Environment*, 912, 169627, 2024. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169627>.
- [60] O. Mbachu, G. Jenkins, P. Kaparaju and C.J. Pratt, The rise of artificial soil carbon inputs: reviewing microplastic pollution effects in the soil environment. *Science of The Total Environment*, 780, 146569, 2021. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146569>.
- [61] G.S. Zhang, F.X. Zhang and X.T. Li, Effects of polyester microfibers on soil physical properties: perception from a field and a pot experiment. *Science of the Total Environment*, 670, 1–7, 2019. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.149>.

- [62] A.A. de Souza Machado, C.W. Lau, J. Till, W. Kloas, A. Lehmann, R. Becker and M.C. Rillig, Impacts of microplastics on the soil biophysical environment. *Environmental Science and Technology*, 52, 9656–9665, 2018. <http://doi.org/10.1021/acs.est.8b02212>.
- [63] A. Lehmann, K. Fritsch and M.C. Rillig, Abiotic and biotic factors influencing the effect of microplastic on soil aggregation. *Soil Systems*, 3 (1), 21, 2019. <http://doi.org/10.3390/soilsystems3010021>.
- [64] Y. Yan, Z. Chen, F. Zhu, C. Zhu, C. Wang and C. Gu, Effect of polyvinyl chloride microplastics on bacterial community and nutrient status in two agricultural soils. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 107, 602–609, 2021. <http://doi.org/10.1007/s00128-020-02963-1>.
- [65] J.Y. Lee, M. Raza and K.D. Kwon, Land use and land cover changes in the Haean Basin of Korea: impacts on soil erosion. *Episodes*, 42, 17–32, 2019. <http://doi.org/10.18814/epiiugs/2019/0190003>.
- [66] A. Tomczyk, Z. Sokołowska and P. Boguta, Biochar physicochemical properties: pyrolysis temperature and feedstock kind effects. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 19, 191–215, 2020. <http://doi.org/10.1007/s11157-020-09523-3>.
- [67] N. Bandow, V. Will, V. Wachtendorf and F.G. Simon, Contaminant release from aged microplastic. *Environmental Chemistry* 14, 394–405, 2017. <http://doi.org/10.1071/EN17064>.
- [68] B. Boots, C.W. Russell and D.S. Green, Effects of microplastics in soil ecosystems: above and below ground. *Environmental Science and Technology*, 53, 11496–11506, 2019. <http://doi.org/10.1021/acs.est.9b03304>
- [69] Y. Qi, A. Ossowicki, X. Yang, E.H. Lwanga, F. Dini-Andreote, V. Geissen and P. Garbeva, Effects of plastic mulch film residues on wheat rhizosphere and soil properties. *Journal of Hazardous Materials*, 387, 121711, 2020. <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121711>.
- [70] Y. Qi, N. Beriot, G. Gort, E.H. Lwanga, H. Gooren, X. Yang and V. Geissen, Impact of plastic mulch film debris on soil physicochemical and hydrological properties. *Environmental Pollution*, 266, 115097, 2020. <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115097>.
- [71] R.W. Brown, D.R. Chadwick, H. Thornton, M.R. Marshall, S. Bei, M.A. Distaso, R. Bargiela, K.A. Marsden, P.L. Clode, D.V. Murphy and S. Pagella, Field application of pure polyethylene microplastic has no significant short-term effect on soil biological quality and function. *Soil Biology and Biochemistry*, 165, 108496, 2022. <http://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108496>
- [72] F. Zhang, X. Yang and Z. Zhang, Effects of soil properties and land use patterns on the distribution of microplastics: A case study in southwest China, *Journal of Environmental Management*, 356, 120598, 2024. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120598>.

