



Erzurum Ovasındaki Mikroplastiklerin Tespit Edilmesi

Hiranur AYDIN¹ Pınar ÖZER¹ Simay ALDAĞ^{1,2}

Şeymanur ÇOBANOĞLU^{1,2} ve Ayşenur YAZICI^{1,2}

How to cite: Aydın, H., Özer, P., Aldağ, S., Çobanoğlu, Ş., & Yazıcı, A. (2025). Erzurum ovasındaki mikroplastiklerin tespit edilmesi. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(1), 89-99. <https://doi.org/10.33484/sinopfbid.1564062>

Araştırma Makalesi

Sorumlu Yazar

Simay ALDAĞ

simay.aldag84@erzurum.edu.tr

Yazarlara ait ORCID

H.A: 0009-0007-3943-5879

P.Ö: 0009-0004-4282-6764

S.A: 0009-0006-5282-1945

Ş.Ç: 0000-0002-2805-0523

A.Y: 0000-0002-3369-6791

Received: 09.10.2024

Accepted: 20.02.2025

Öz

Bu çalışmada, Erzurum Ovasından toplanan toprak ve su örneklerinde mikroplastik birikimi araştırılmıştır. Tespit edilen mikroplastiklerin boyutları ve morfolojileri ışık mikroskobu ile, karakterizasyonları ise taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR) teknikleri ile belirlenmiştir. Sonuçlarda, boyutları 1 mm ile 10 mm arasında değişen mikroplastiklerin stiren bütadien, mikrokristal mumlar, yüksek yoğunluklu polietilen, akrilonitril butadien stiren ve polipropilen gibi polimerlerden oluştuğu görüldü. Bu sonuçlar, Erzurum Ovasında mikroplastik kirliliğine dikkat çeken ilk rapor olma özelliği açısından önemlidir.

Anahtar Kelimeler: Mikroplastik, Erzurum, FT-IR, SEM analizi

Detection of Microplastics in the Erzurum Plain

¹Erzurum Teknik
 Üniversitesi, Moleküler
 Biyoloji ve Genetik Bölümü,
 Erzurum, Türkiye

²Erzurum Teknik
 Üniversitesi, Yüksek
 Teknoloji Araştırma ve
 Uygulama Merkezi
 (YUTAM), Erzurum, Türkiye

Bu çalışma Creative Commons
 Attribution 4.0 International
 License ile lisanslanmıştır

Abstract

In this study, microplastic accumulation in soil and water samples collected from Erzurum Plain was investigated. The sizes and morphologies of the detected microplastics were analyzed using light microscopy, while their detailed characterizations were performed with scanning electron microscopy (SEM) and Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR). The results revealed that microplastics ranging in size from 1 mm to 10 mm were composed of various polymers including styrene butadiene, microcrystalline waxes, high-density polyethylene, acrylonitrile butadiene styrene and polypropylene. These findings are significant since they represent the first report to highlight microplastic pollution in the Erzurum Plain.

Keywords: Microplastic, Erzurum, FT-IR, SEM analysis

Giriş

1950’li yıllardan itibaren plastikler veya sentetik organik polimerler insan yaşamını kolaylaştırdığı için vazgeçilmez ürünlerinden biri haline gelmişlerdir. Ambalajlama sektöründen elektronik ürünlere kadar geniş kullanım alanına sahip olan plastikler [1], özellikle tek kullanımlık ürünlerin artışı ile günümüzde büyük çevre kirliliğine sebep olmakta ve canlıların sağlığını tehlikeye sokmaktadır [2]. Son 70 yıl içerisinde dünya genelinde 8.3 milyar metrik ton plastik üretilmiştir [1, 2]. Bu plastiklerin çok az bir miktarı geri dönüştürülebilmektedir [1]. Plastikler; ultraviyole ışınlar, foto-oksidasyon, atmosfer etkisi ile mekanik aşınma, parçalanma ve mikroorganizmaların etkisi gibi fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkiler altında mikro ve nano boyutlarda küçük parçalara ayrılırlar [3]. Mikroplastikler, 5 mm’den daha küçük olan plastik parçalarıdır [2]. 1 µm ile 10 nm arasındaki plastik parçaları ise nanoplastikler olarak adlandırılırlar. Mikroplastikler deniz ürünlerinde, gıdalarda, içme sularında, yemeklik tuzlarda tespit edilmiştir [4]. Mikroplastiklerin insan sağlığı açısından zararlı etkileri henüz net bir şekilde ortaya koyulamamıştır. Ancak, mikroplastik ve nanoplastiklerin doku ile hücrelere nüfuz etmesi, kan beyin bariyerini aşabilmesi, beyine ulaşabilmesi, akciğer gibi önemli organlara nüfuz etmesi önemli risk faktörleri arasında gösterilmektedir. Son çalışmalarda, mikroplastiklerin insan plasentasında bile varlığı tespit edilmiş ve karakterize edilmiştir [5]. Mikroplastik kirliliği ile ilgili çalışmalar özellikle derin okyanuslar ve deniz suları üzerine yoğunlaşmıştır. Deniz canlıları mikroplastiklerden en çok etkilenen türler arasındadır. Ayrıca, atmosferle taşınan mikroplastiklerin, şehirlerin üzerine yağmur gibi yağdığı rapor edilmiş [6]; bununla birlikte Arktik kar ve Antarktika buzulları da dahil olmak üzere farklı birçok ekosistemde mikroplastiklerin varlığı rapor edilmiştir [7]. Mikroplastiklerin varlığı çeşitli eleme ve filtrasyon yöntemlerinin ardından optik mikroskoplar, taramalı elektron mikroskopları (SEM), raman mikrospektroskopisi (RM), fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR) gibi tekniklerle belirlenip karakterize edilmektedir [8]. Bu çalışmada, araştırmalarımıza göre, Erzurum ovasında (Şekil 1) mikroplastiklerin varlığı ilk kez incelenmiş ve SEM ve FT-IR analizleri ile elde edilen mikroplastiklerin karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda, Erzurum ovasının plastik kirleticiler tarafından kirlendiği ve bu duruma önlem alınması gerektiği ortaya koyulmuştur.



Şekil 1. Erzurum ovasında toprak ve su örneklerinin alındığı alanlardan görüntüler

Materyal ve Metot**Toprak ve Su Örneklerinin Toplanması ve Tespit Edilmesi**

Erzurum Ovası'ndaki sekiz farklı bölge seçilmiştir. Bu bölgelerden toprak ve su örnekleri alınarak, laboratuvara getirilmiştir. Toprak örnekleri por çapı 1 mm olan eleklerden geçirildi ve ilk ayrıştırma işlemi yapıldı. Ardından, por çapı 0.5 mm olan ikinci elekten geçirilerek mikropplastik ayrışımı yapıldı. Su örnekleri ise, önce H₂O₂ ile muamele edilmiştir ve ardından santrifüj edilerek, pelletler alınmış ve mikropplastik varlığı araştırılmıştır.

Optik Mikroskop Analizleri

Toplanan mikropplastikler boyutlarına göre sınıflandırılmış ve ilk olarak ışık mikroskopunda 100-400 kat büyütme ile görüntüleri alınmıştır.

SEM Analizleri

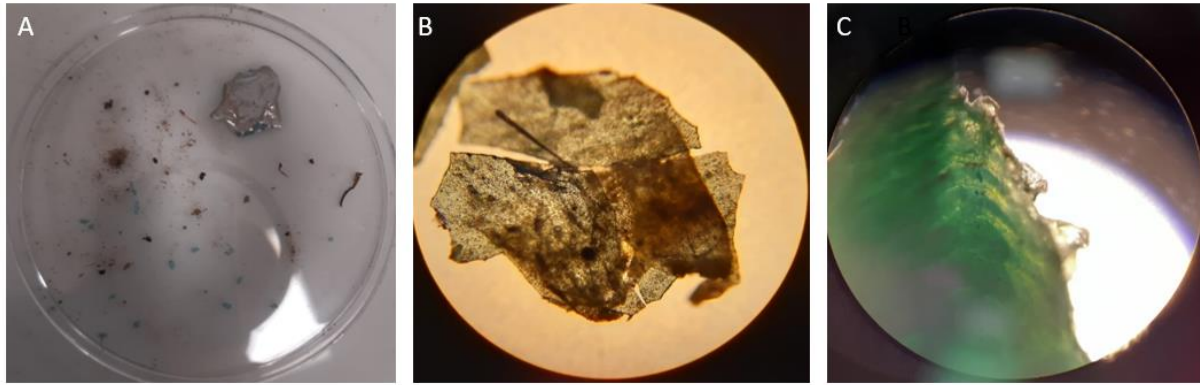
Mikropplastik numunelerinin yüzey detayları SEM-Quanta FEG 250 cihazı ile karakterize edilmiştir. Büyütme oranı 500 -8000 kat aralığında görüntüler alınmıştır.

FT-IR Analizleri

FT-IR analizleri, katı numunelerin incelenmesini sağlayan zayıflatılmış toplam yansıma (Attenuated Total Reflectance: ATR) modülü ile alınmıştır. Spektrum 600-4000 cm aralığında alınarak, cihaza ait kütüphanede polimerlerin karakterizasyonu yapılmıştır (FTIR-ATR, Bruker VERTEX 70 V).

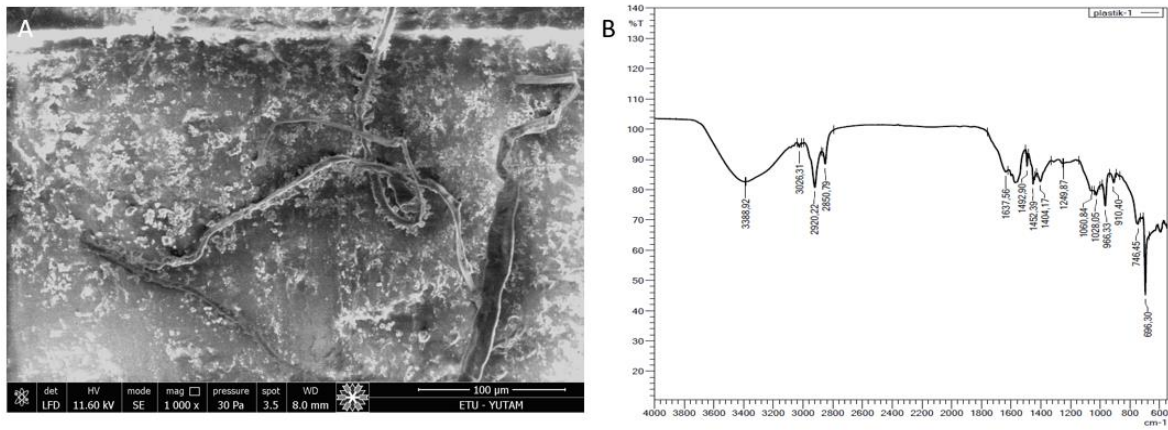
Bulgular ve Tartışma

Gezeganimiz, antropojenik kirleticilerden olan plastik kirliliği ile karşı karşıyadır. Günümüzde mikropplastikler her yerde tespit edilmeye başlamıştır. Bu çalışmada, tarımsal faaliyetler açısından önemli bir yer olan Erzurum ovasında mikropplastiklerin varlığı tespit edilmiştir. Örnek toplama aşamasında makro boyutlardaki plastik atıkların (Şekil 1) varlığı da kirlilik açısından oldukça endişe vericidir. Çeşitli boyutlardaki eleklerden geçirdiğimiz örneklerde boyutları 5 mm'nin altında birçok mikropplastik elde edilmiştir (Şekil 2A). Ayrıca mikropplastiklerin 400 kat büyütme ile optik mikroskop görüntüleri çekilmiştir (Şekil 2B-C). Optik mikroskop görüntüleri, mikropplastiklerin incelenmesinde kullanılan yöntemlerden biri olmasına rağmen, karakterizasyonu açısından yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle çalışmamızda optik mikroskop incelemelerinin ardından, mikropplastik karakterizasyonu için SEM ve FT-IR analizleri gerçekleştirilmiştir.

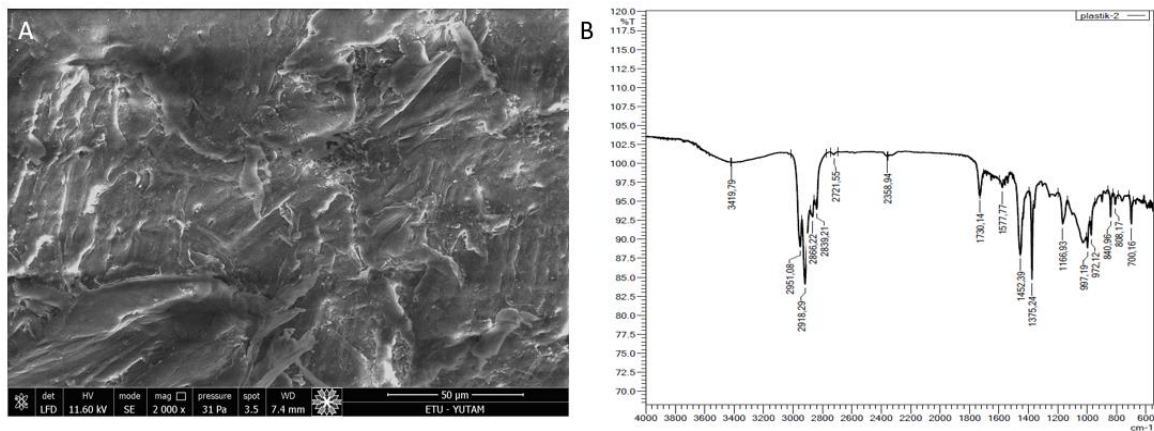


Şekil 2. Mikroplastiklerin görüntüleri

SEM ve FT-IR analizlerini farklı boyutlarda (<5 mm) seçmiş olduğumuz mikroplastikler üzerinde gerçekleştirdik (Şekil 3-7). FT-IR analizlerinde mikroplastik örneklerinin stiren-bütadien (SBS), akrilonitril bütadien stiren (ABS), polistiren (PS), etilenvinilalkol (EVOH), polipropilen (PP), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) polimerleri olduğu tespit edilmiştir.

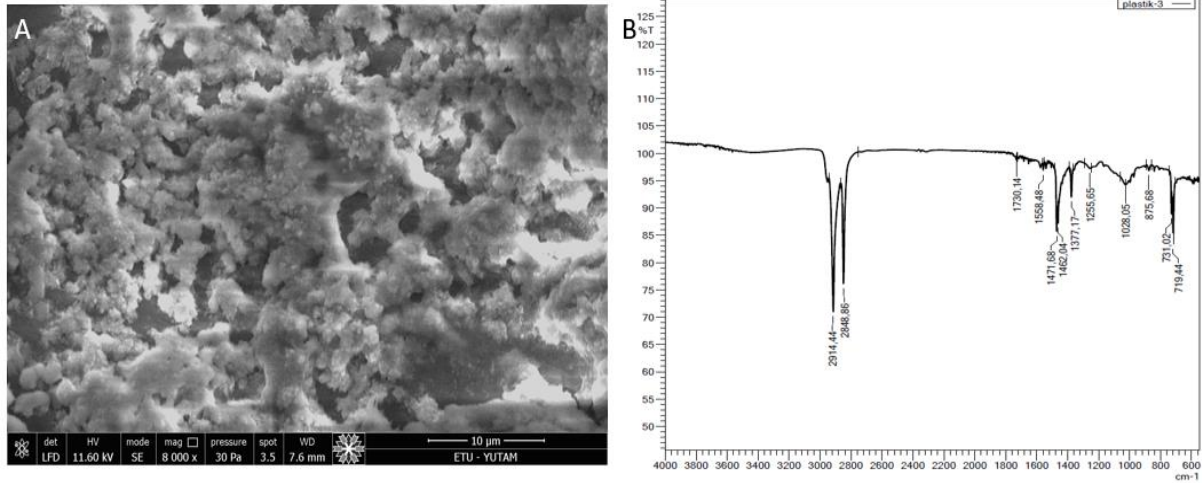


Şekil 3. SEM ve FT-IR analizi ile mikroplastiklerin karakterizasyonu. Transmittans sonuçları ile mikroplastığın stiren bütadien (SBS) olduğu tespit edilmiştir.

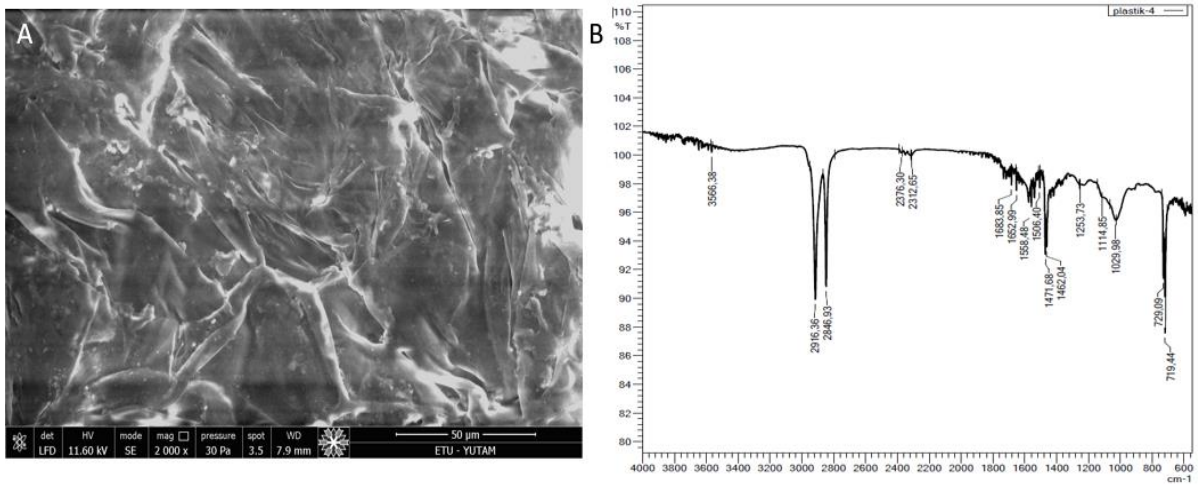


Şekil 4. SEM ve FT-IR analizi ile mikroplastiklerin karakterizasyonu. Transmittans sonuçları ile mikroplastığın polipropilen (PP) olduğu tespit edilmiştir

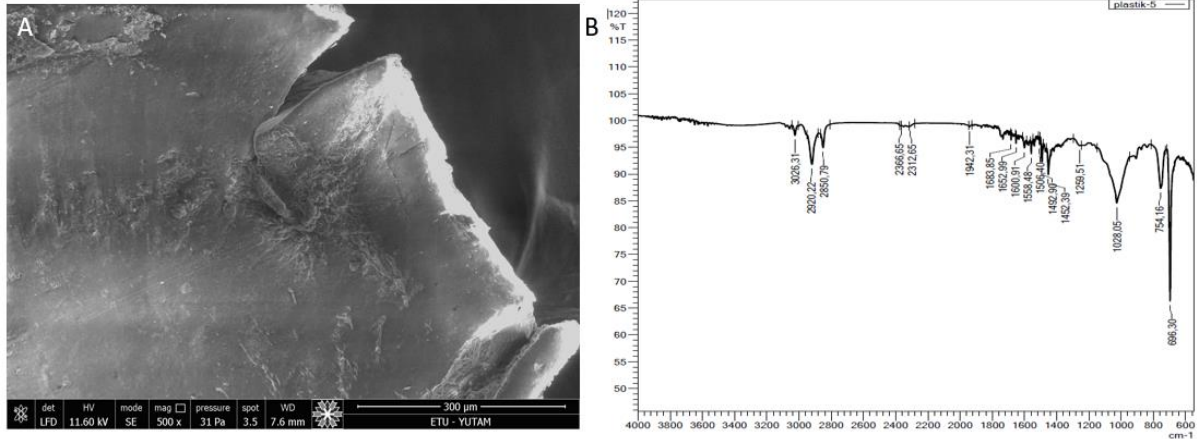
Mikroplastikler çok sayıda şekil ve renklere sahiplerdir [9]. Mikroplastiklerin şekilleri, onları ayırt etmeye yardımcı olarak gruplara ayırmak için sıklıkla kullanılır [10]. Bu nedenle, bizde çalışmamızda, mikroplastikleri öncelikle renk ve şekillerine göre ayrımını gerçekleştirdik. Ardından karakterizasyonunu gerçekleştirerek, bu plastiklerin özellikle, elektronik ve paketlenme malzemeleri kaynaklı olduğunu da ortaya koyduk.



Şekil 5. SEM ve FT-IR analizi ile mikroplastiklerin karakterizasyonu. Transmittans sonuçları ile mikroplastığın yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) olduğu tespit edilmiştir



Şekil 6. SEM ve FT-IR analizi ile mikroplastiklerin karakterizasyonu. Transmittans sonuçları ile mikroplastığın polietilen (PE) olduğu tespit edilmiştir



Şekil 7. SEM ve FT-IR analizi ile mikroplastiklerin karakterizasyonu. Transmittans sonuçları ile mikroplastığın polistiren (PS) olduğu tespit edilmiştir

Plastikler, yüksek moleküler ağırlıkları, çapraz bağlı kimyasal yapıları ve hidrofobik özelliklerinden dolayı biyolojik olarak parçalanamadıkları için doğada yüzlerce yıl kalabilirler [11]. Mikroplastikler toprak yüzeyinde birikmesi durumunda, toprağın alt katmanlarına ve belki de sonunda toprağın daha derin katmanlarına taşınabilme olasılığı vardır [12]. Topraktaki mikroplastikler, toprağın gözeneklerine sızma veya nüfuz etme yoluyla yeraltı suyu sistemine girebilir. Yapılan araştırmalarda, yeraltı suyunda mikroplastikler ve nitratlar gibi inorganik bileşiklerin neden olduğu kirliliğin tarım, balıkçılık, atık su arıtma ve insan faaliyetleriyle bağlantılı olduğu düşünülmektedir [11-13]. Mikroplastikler paketlenme, elektronik aletler, araba parçaları, çamaşır makinelerinin atık suları veya filmlerin parçalanması sonucu ortaya çıktığı bilinmektedir [14, 15]. Laboratuvar çalışmalarında, mikroplastiklerin alerjik reaksiyonlardan hücre ölümüne kadar insan hücrelerine zarar verdiği gösterilmiştir [16]. 2018 yılında yapılan bir araştırmada, sekiz kişinin dışkıında mikroplastik varlığı tespit edilmiştir [17]. Başka bir çalışma ise, plasentalarda mikroplastiklerin varlığını gösterilmiştir [18]. Bu durum, mikroplastiklerin yutularak veya hava yolu ile insan vücuduna girebileceğini göstermektedir [19]. Yüzlerce farklı kimyasal katkı maddesi ve bir dizi farklı polimerlerden oluşan mikroplastiklerin bazılarında toksik kimyasallar barındırabilirken, bazıları ise bakteri ve parazitler için uygun vektörler olabilir. Bu bakımdan enfeksiyon hastalıkları içinde bir risk faktörü olarak görülmektedir [20]. Günümüzde antibiyotik dirençliliği, küresel bir problem olmaya devam etmektedir. Antibiyotiklerin ve diğer birçok ilacın metabolize edilmiş hallerinin kanalizasyonlara karışması sonucunda büyük bir çevre kirliliği sorunu ortaya çıkmaktadır. Yapılan bazı çalışmalar, antibiyotiklerin aşırı kullanımı ve antibiyotik dirençlilik genlerinin (ARG) çevreye gelişigüzel dağılması ile mikroplastikler arasındaki ilişkiyi ortaya koymuştur. Antopojenik etkilerle mikroplastiklerin dağılımı büyük ölçüde ARG'lerin dağılımını da değiştirmektedir. Birçok antibiyotik dirençli mikroorganizmalar mikroplastikler üzerinde kolonize olmaktadır. Mikroplastikler ARG'lerin bulunduğu yerler olarak dikkat çekmektedir. Özellikle akuatik çevrelerde mikroplastikler vektör gibi davranarak patojenik bakteriler ve ARG'ler için taşıyıcı sistem görevi görmektedir [21]. Mikroplastikler, tarımsal verimliliği de olumsuz yönde etkiler. Örneğin,

mikroplastikler, atık su arıtma sistemlerine girerek, tarlalara ve karasal ekosisteme yayılırlar. Toprağa karışan mikroplastikler, ürün kalitesini etkilerler. Mikroplastikler, toprağa yararlı olan mikroorganizmaların azalmasına neden olur iken buna karşın, PE ve Lifli PP özellikli mikroplastikler ise, toprağın mikrobiyal çeşitliliğini artırırlar [17, 18]. Mikrobiyal ekosistem açısından düşünüldüğünde, mikro plastikler potansiyel toksisite ve patojenik mikrobiyotaya ile ilişkileri dolayısıyla ciddi riskler oluşturabilmektedir [2]. Nitekim, plastik malzemelerin yaygın ve bilinçsiz kullanımı sonucunda karasal ve sucul ekosistem mikrobiyotalarında değişiklikler gözlemlenmiştir [22]. Plastik bozulmalar neticesinde oluşan ftalat, aminler gibi bazı maddeler kanserojenik, mutajenik veya üreme için toksik etkiler oluşturmaktadır [3]. Mikroplastikler karasal ekosistemde toprak gözeneklerini etkili ve kolayca doldurabilmektedir [23]. Bu durum toprakta oksijen akışı ve su döngüsünde değişikliklere neden olmaktadır. Topraktaki bu değişiklik anaerobik veya aerobik mikroorganizmaların miktar ve çeşitliliğini de etkilemektedir [2, 3]. Funguslar da topraktaki mikroplastiklerden etkilenmektedir. *Aspergillus*, *Fusarium* ve *Penicillium* gibi funguslar, bazı kompostlanabilir plastik mikro-filmleri (PLA, PCL, PHA gibi) karbon kaynağı olarak kullanmaktadır [3], [24]. Mikroplastik ile kirlenmiş toprak birçok canlı için zarar oluşturabilecek patojen mikroorganizmaların çoğalması için uygun ortam sağlanmaktadır, örnek olarak bir bitki patojeni olan *Xanthomonas*'ın miktarının artmasına neden olmaktadır [25]. Sucul sistemlerde yaşayan algler ise mikroplastikleri hücre içine almasalar bile hücre zarlarının bütünlüğü bozulmakta ve yağ asitlerinin birikiminin engellenmesi sonucunda fotosentez yeteneği azalmaktadır [26, 27]. Ayrıca deniz patojenlerinden olan *Vibrio* cinsi bakterilerin de artmasına neden olmaktadır [28]. Örnek olarak *Vibrio parahaemolyticus* insanlar için patojendir ve mikroplastiklerin yüzeylerinde kolonileşebilmektedir [29].

Mikroplastiklerde biyofilm tabakaları oluşmaktadır. Bu biyofilmler incelendiğinde, mikoplasitklerde doğal olarak bulunan biyofilmlerden mikroorganizma çeşidi bakımından farklı olduğu görülmektedir [30]. Mikroplastiklerdeki biyofilmlerde genellikle *Proteobakteriler*, *Bacteroidetes* ve *Firmicutes* filumlarına ait bakteriler olduğu görülmüştür. Örneğin bitki patojenleri olan *Agrobacterium* spp, balık patojenleri olan *Chryseobacterium* spp. ve *Flavobacterium* spp. düşük yoğunluklu polietilen mikroplastik biyofilmlerde bol miktarda bulunduğu bilinmektedir. Ayrıca iki fırsatçı insan patojeni olan *Pseudomonas monteilii* ve *Pseudomonas mendocina* mikroplastik biyofilmleri de bulunmuştur [1, 24]. Probiyotik *Bacillus amyloliquefaciens* ile yapılan bir çalışmada PLA mikroplastiklerinin bakteride enzimatik antioksidan sistemine, hücre duvarının teikoik asit ve protein bileşimine zarar vererek enerji metabolizmasını bozduğu görülmüştür. Bu durum da *B. amyloliquefacien*'in büyümesini ve çoğalmasını engellemiştir. Ayrıca PLA mikroplastiklerinin toksik etkisine karşı direnç göstermek amacıyla çok sayıda spor üretmiştir [8]. *Thermobifida* ve *Thermomonospora* cinsi bazı bakteriler tarafından mikroplastikler çevrede parçalanarak elemine edilebilmektedir [31]. Abiyotik ve biyotik faktörlerin kombinasyonuyla mikroplastikler mineralleşebilme özelliğine sahiptir. Mikroplastikler abiyotik faktörler ve mikroorganizmaların hücre dışı enzimleri ile oligomerlere ve monomerlere parçalanır. Daha

sonra mikroorganizmalar tarafından bu parçalar hücre içine alınır ve karbon kaynağı olarak kullanılır. Bu durum mikroplastiklerin mineralleşmesini ve çevre temizliğini sağlar [32].

Sonuç

Bu çalışma ile tarım arazilerinin de mikroplastik kirliliği ile karşı karşıya olduğu görülmüştür. Nitekim bu çalışmada, Erzurum bölgesi pilot olarak seçilmiş ve öncelikle mikroplastik varlığı belirlenmiştir. Ardından, mikroplastiklerin karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bundan sonraki çalışmalarda da Erzurum bölgesindeki mikroplastiklerin ARG barındırma kapasiteleri tespit edilmesini önermekteyiz.

Teşekkür Bu çalışma Hiranur Aydın'ın yürütücülüğünde ve Ayşenur Yazıcı'nın danışmanlığında yapılan TÜBİTAK 2209-A Projesi kapsamında desteklenmiştir.

Fon/Finansman bilgileri Çalışma, TÜBİTAK 2209-A projesi kapsamında desteklenmiştir.

Etik Kurul Onayı ve İzinler Çalışma, etik kurul izni veya herhangi bir özel izin gerektirmemektedir

Çıkar çatışmaları/Çatışan çıkarlar Herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Yazarların Katkısı Hiranur Aydın %30, Pınar Özer %10, Simay Aldağ %40, Şeymanur Çobanoğlu %10, Ayşenur Yazıcı %10

Kaynaklar

- [1] Yurtsever, M. (2015). Mikroplastikler'e genel bir bakış. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 17(50), 68-83.
- [2] Yang, Y., Liu, W., Zhang, Z., Grossart, H.-P., & Gadd, G. M. (2020). Microplastics provide new microbial niches in aquatic environments. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104, 6501-6511. <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10704-x>
- [3] Zhang, X., Li, Y., Ouyang, D., Lei, J., Tan, Q., Xie, L., Li, Z., Liu, T., Xiao, Y., & Farooq, T. H. (2021). Systematical review of interactions between microplastics and microorganisms in the soil environment. *Journal of Hazardous Materials*, 418, 126288. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126288>
- [4] Zhang, Q., Xu, E. G., Li, J., Chen, Q., Ma, L., Zeng, E. Y., & Shi, H. (2020). A review of microplastics in table salt, drinking water, and air: direct human exposure. *Environmental Science & Technology*, 54(7), 3740-3751. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.9b04535>.
- [5] Rubol, S., Manzoni, S., Bellin, A., & Porporato, A. (2013). Modeling soil moisture and oxygen effects on soil biogeochemical cycles including dissimilatory nitrate reduction to ammonium (DNRA). *Advances in Water Resources*, 62, 106–124. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2013.09.016>
- [6] Yao, X., Luo, X.-S., Fan, J., Zhang, T., Li, H., & Wei, Y. (2022). Ecological and human health risks of atmospheric microplastics (MPs): a review. *Environmental Science: Atmospheres*, 2(5), 921–942. <https://doi.org/10.1039/D2EA00041E>

- [7] Aves, A. R., Revell, L. E., Gaw, S., Ruffell, H., Schuddeboom, A., Wotherspoon, N. E., LaRue, M., & McDonald, A. J. (2022). First evidence of microplastics in Antarctic snow. *The Cryosphere*, 16(6), 2127–2145. <https://doi.org/10.5194/tc-16-2127-2022>
- [8] Li, R., Tao, J., Huang, D., Zhou, W., Gao, L., Wang, X., Chen, H., & Huang, H. (2023). Investigating the effects of biodegradable microplastics and copper ions on probiotic (*Bacillus amyloliquefaciens*): Toxicity and application. *Journal of Hazardous Materials*, 443, 130081. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130081>
- [9] Fu, Z., & Wang, J. (2019). Current practices and future perspectives of microplastic pollution in freshwater ecosystems in China. *Science of the Total Environment*, 691, 697–712. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.167>
- [10] Lusher, A. L., Brate, I. L. N., Munno, K., Hurley, R. R., & Welden, N. A. (2020). Is it or isn't it: the importance of visual classification in microplastic characterization. *Applied Spectroscopy*, 74(9), 1139–1153. <https://doi.org/10.1177/0003702820930733>
- [11] Horton, A. A., Walton, A., Spurgeon, D. J., 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. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.190>
- [12] Li, H., Lu, X., Wang, S., Zheng, B., & Xu, Y. (2021). Vertical migration of microplastics along soil profile under different crop root systems. *Environmental Pollution*, 278, 116833. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116833>
- [13] Raza, M., & Lee, J. Y. (2019). Factors affecting spatial pattern of ground water hydrochemical variables and nitrate in agricultural region of Korea. *Episodes Journal of International Geoscience*, 42(2), 135–148. <https://doi.org/10.18814/epiiugs/2019/019011>
- [14] Kumar, R., & Sharma, P. (2021). Recent developments in extraction, identification, and quantification of microplastics from agricultural soil and groundwater. *Fate and Transport of Subsurface Pollutants*, 24, 125–14. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6564-9_7
- [15] Allé, P. H., Garcia-Muñoz, P., Adouby, K., Keller, N., & Robert, D. (2021). Efficient photocatalytic mineralization of polymethylmethacrylate and polystyrene nanoplastics by TiO₂/β-SiC alveolar foams. *Environmental Chemistry Letters*, 19, 1803–1808. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01099-2>
- [16] Zhang, Q., Xu, E. G., Li, J., Chen, Q., Ma, L., Zeng, E. Y., & Shi, H. (2020). Are view of microplastics in table salt, drinking water, and air: direct human exposure. *Environmental Science & Technology*, 54(7), 3740–3751. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b04535>
- [17] Liebmann, B., Köppel, S., Königshofer, P., Bucsics, T., Reiberger, T., & Schwabl, P. (2018). Assessment of microplastic concentrations in human stool: Final results of a prospective study. *Conference on Nano and Microplastics in Technical and Freshwater Systems, 2018*, 28–31. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16638.02884>
- [18] Ragusa, A., Matta, M., Cristiano, L., Matassa, R., Battaglione, E., Svelato, A., De Luca, C., D'Avino, S., Gulotta, A., Rongioletti, M. C. A., Catalano, P., Santacroce, C., Notarstefano, V., Carnevali, O., Giorgini, E., Vizza, E., Familiari, G., & Nottola, S. A. (2022). Deeply in plasticenta: presence of microplastics in the intracellular compartment of human placentas. *International Journal*

of Environmental Research and Public Health, 19(18), 11593.
<https://doi.org/10.3390/ijerph191811593>

- [19] Eriksen, M., Lebreton, L. C., Carson, H. S., Thiel, M., Moore, C. J., Borerro, J. C., Galgani F., Ryan P.G., & Reisser, J. (2014). Plastic pollution in the world's oceans: more than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea. *PloS One*, 9(12), e111913. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111913>
- [20] Wright, S. L., & Kelly, F. J. (2017). Plastic and human health: a micro issue? *Environmental Science & Technology*, 51(12), 6634–6647. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00423>
- [21] Sun, Y., & Wang, J. (2022). How microplastics and nanoplastics shape antibiotic resistance. *Water Emerging Contaminants Nanoplastics*, 1, 8. <http://dx.doi.org/10.20517/wecn.2022.09>
- [22] Besseling, E., Wegner, A., Foekema, E. M., Van Den Heuvel-Greve, M. J., & Koelmans, A. A. (2013). Effects of microplastic on fitness and PCB bioaccumulation by the lugworm *Arenicola marina* (L.). *Environmental Science & Technology*, 47(1), 593–600. <https://doi.org/10.1021/es302763x>
- [23] Sridharan, S., Kumar, M., Saha, M., Kirkham, M. B., Singh, L., & Bolan, N. S. (2022). The polymers and their additives in particulate plastics: what makes them hazardous to the fauna? *Science of the Total Environment*, 824, 153828. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153828>
- [24] Accinelli, C., Abbas, H. K., Bruno, V., Nissen, L., Vicari, A., Bellaloui, N., Little, N. S., & Shier, W. T. (2020). Persistence in soil of microplastic films from ultra-thin compostable plastic bags and implications on soil *Aspergillus flavus* population. *Waste Management*, 113, 312–318. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.06.011>
- [25] Parsaeimehr, A., Miller, C. M., & Ozbay, G. (2023). Microplastics and their interactions with microbiota. *Heliyon*, 9(4). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114425>
- [26] Zhang, T., Jiang, B., Xing, Y., Ya, H., Lv, M., & Wang, X. (2022). Current status of microplastics pollution in the aquatic environment, interaction with other pollutants, and effects on aquatic organisms. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 1–30. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18504-8>
- [27] Guschina, I. A., Hayes, A. J., & Ormerod, S. J. (2020). Polystyrene microplastics decrease accumulation of essential fatty acids in common freshwater algae. *Environmental Pollution*, 263, 114425. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114425>
- [28] Zettler, E. R., Mincer, T. J., & Amaral-Zettler, L. A. (2013). Life in the “plastisphere”: microbial communities on plastic marine debris. *Environmental Science & Technology*, 47(13), 7137–7146. <https://doi.org/10.1021/es401288x>
- [29] Çakmak, Ö., & Acaröz, U. (2021). Su kaynaklarında mikroplastiklerin varlığı ve insan sağlığı açısından önemi. *Veteriner Farmakoloji ve Toksikoloji Derneği Bülteni*, 12(2), 79-88.
- [30] Raddadi, N., & Fava, F. (2019). Biodegradation of oil-based plastics in the environment: Existing knowledge and needs of research and innovation. *Science of the Total Environment*, 679, 148–158. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.419>
- [31] Anand, U., Dey, S., Bontempi, E., Ducoli, S., Vethaak, A. D., Dey, A., & Federici, S. (2023). Biotechnological methods to remove microplastics: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 21(3), 1787–1810. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01552-4>

- [32] Danso, D., Chow, J., & Streit, W. R. (2019). Plastics: environmental and biotechnological perspectives on microbial degradation. *Applied and Environmental Microbiology*, 85(19), e01095-
<https://doi.org/10.1128/AEM.01095-1919>.