

**Review Article**

**Submission Date**  
19 / 02 / 2024

**Admission Date**  
17 / 05 / 2024



## Mikroplastik Tespitinde Güncel Stratejiler: Türkiye Örneği

### Contemporary Strategies for Microplastic Detection: A Case Study on Turkey

Mert SOYSAL<sup>1</sup> 

 **How to Cite:** Soysal, M. (2024). Mikroplastik Tespitinde Güncel Stratejiler: Türkiye Örneği. *Journal of Environmental and Natural Studies*, 6 (2), 107-116. <https://doi.org/10.53472/jenas.1439410>.

Plastik atıkların mikroplastik oluşumuna katkıda bulunan kaynaklar çeşitlidir ve kullanılmış ambalaj malzemeleri, bozunmuş tekstiller ve büyük plastik ürünlerinin parçalanması gibi faktörlerden meydana gelir. Bu plastikler, bir kere çevreye salındıklarında, abiyotik (canlı olmayan) ve biyotik (canlı) faktörler tarafından etkileşime girer ve mikroplastik formuna dönüşerek karasal ve sucul ekosistemlerde yaygın bir şekilde bulunur. Mikroplastiklerin çevresel etkisi uzun bir süredir bilinmekle birlikte, mikroplastik araştırmalarındaki artış, kaynakları, dağılımları ve potansiyel sonuçları daha detaylı bir şekilde anlama ihtiyacını öne çıkarmaktadır. Bu karmaşık sorunun ele alınması, çevre bilimleri, kimya ve ekoloji gibi alanlardaki uzmanlıkların disiplinlerarası işbirliğini gerektirir. Mikroplastik kirliliğini azaltma çabaları, geliştirilmiş atık yönetimi uygulamalarını, sürdürülebilir malzeme tasarımı ve bilinçli politika oluşturmayı içeren bütünlüklü bir yaklaşımı gerektirir. Bilimsel topluluk, plastik atıklardan mikroplastik oluşumunun karmaşıklıklarını çözümlenerek, etkili kirlilik önleme ve çevre koruma stratejilerine rehberlik edecek kritik içgörüler sunabilir. Bu noktada, özellikle bilgi ve tecrübelerin etik çerçevede paylaşılmasına önem verilmeli ve akademik dürüstlük ilkelerine riayet edilmelidir. Mikroplastiklerin plastik atıklardan türemesi, çeşitli fiziksel ve kimyasal mekanizmalar tarafından şekillendirilen birçok katmanlı bir süreçtir. Bu süreçleri anlamak, mikroplastik kirliliğini sınırlama ve ekosistemleri koruma stratejileri geliştirmek için temel bir gerekliliktir. Mikroplastik araştırmalarının disiplinlerarası doğası, bilimsel alanları aşan bütünlük gerektiren bir yaklaşımı zorunlu kılar. Devam eden ve gelecekteki araştırma çabaları, mevcut metodolojilerin geliştirilmesine, metodolojik tutarsızlıkların ele alınmasına ve çalışmalarındaki karşılaştırılabilirliği artırmak için standart bir çerçevenin oluşturulmasına odaklanmalıdır. Teknolojik ilerlemeler, sıkı metodoloji doğrulama ile birleştirildiğinde, mikroplastik tespiti ve analizi ile ilişkili karmaşık sorunların kapsamlı bir anlayışına ulaşmada önemli bir rol oynayacaktır. Bu derleme, mikroplastiklerle ilgili detaylı içgörüler sunarak, gelecekteki araştırmalar için metodolojiler önererek ve mikroplastik kirliliği sorununu ele almak için birleşik bir yaklaşımı savunarak özellikle Türkiye'deki mikroplastikler konusundaki tartışmaya önemli ölçüde katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Çevre Kirliliği, Çevre Sorunu, Mikroplastik, Mikroplastik Kirlilik, Mikroplastik Tespit

<sup>1</sup> **Mert SOYSAL:** Aydın Vocational School of Health Services, Aydın Adnan Menderes University, 09010 Aydın, Turkey, [msoysal@adu.edu.tr](mailto:msoysal@adu.edu.tr), <https://orcid.org/0000-0002-5685-0261>

**ABSTRACT:**

The sources contributing to the formation of microplastics from plastic waste are diverse, including used packaging materials, degraded textiles, and the fragmentation of large plastic products. Once released into the environment, these plastics undergo interaction with abiotic (non-living) and biotic (living) factors, transforming into microplastic particles that are widely prevalent in terrestrial and aquatic ecosystems. While the environmental impact of microplastics has been known for an extended period, the increasing focus on microplastic research highlights the need for a more detailed understanding of their sources, distributions, and potential consequences. Addressing this complex issue requires interdisciplinary collaboration among experts in environmental sciences, chemistry, and ecology. Efforts to reduce microplastic pollution necessitate a comprehensive approach, encompassing improved waste management practices, sustainable material design, and the formulation of informed policies. The scientific community can provide crucial insights by unraveling the complexities of microplastic formation from plastic waste, guiding effective pollution prevention, and offering key insights for environmental protection strategies. In this regard, the ethical sharing of knowledge and experiences and adherence to academic integrity principles are paramount. The derivation of microplastics from plastic waste involves a multifaceted process shaped by various physical and chemical mechanisms. Understanding these processes is essential for limiting microplastic pollution and developing strategies for ecosystem preservation. The interdisciplinary nature of microplastic research mandates an approach that transcends scientific boundaries. Ongoing and future research endeavors should focus on refining existing methodologies, addressing methodological inconsistencies, and establishing a standardized framework to enhance comparability across studies. Technological advancements, when combined with rigorous methodology validation, will play a crucial role in achieving a comprehensive understanding of the complex issues associated with microplastic detection and analysis. This review aims to significantly contribute to the ongoing discourse on microplastics in Turkey by providing detailed insights, proposing methodologies for future research, and advocating for a unified approach to address the issue of microplastic pollution, all while adhering to the principles of academic integrity.

**KEYWORDS:** *Environmental Pollution, Environmental Problem, Microplastic, Microplastic Pollution, Microplastic Detection*

**GİRİŞ:**

Çevresel kirlilik geniş bir ölçekte ortaya çıkar ve algılanabilirliği genellikle bireysel bakış açılarına bağlıdır. Bir maddenin kirlenmesi olarak sınıflandırılması subjektif olup, zaman ve konuma bağlı olarak değişir. Sürdürülebilirliğin temel ilkesi, maddelerin kirlenmesi olarak etiketlenmesinin, bu maddelerin çevreye olumlu katkıda bulunan uygulamalara dönüştürülmesindedir. Kirlenmesi olarak sınıflandırılan bir maddeye yönelik en geniş kabul görmüş tanım, onu çevredeki doğal seviyelerini aşan konsantrasyonlarda içeren ve insan faaliyetlerinden kaynaklanan, bu ekosistemdeki çevre veya değerli unsurlar üzerinde doğal olmayan etkilere sahip olan bir madde olarak tanımlar (Ekins & Simon, 2001; Loveland & Webb, 2003; Rockström et al., 2009).

Çevresel kirlilik, çeşitli durumlar ve madde kaynaklarında ortaya çıkan karmaşık bir sorun olarak belirir. Sanayi atıkları, kimyasal atıklar ve imalat tesislerinden kaynaklanan emisyonlar, su, hava ve toprağın kirlenmesine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Plastik kirliliğinin sonuçları, okyanuslar, su kütleleri ve karasal ekosistemlerde yayılan plastik atıklarının çevresel etkilerini içerir. Çevresel kirliliğin karmaşıklığı ve çeşitli tezahürleri, ortak çözüm süreçlerine ve sürdürülebilir çevre politikalarının uygulanmasına yönelik acil ihtiyacı vurgular. Son dönemlerde, plastik ve plastik ürün atıkları, çevresel kirliliğin önemli katkıda bulunan unsurları olarak ortaya çıkmış, kirlenmenin başlıca kaynakları arasında yer almıştır (Turner & Ruffio, 1997; Estevez et al., 2008; Sinn, 2008; Gans, 2012; Zhang & Jiang, 2014; Başar & Tosun, 2021).

Doğal hayatı Koruma Vakfı (WWF) 2019 yılı raporunda vurgulanan bir odak noktası şudur: her yıl okyanuslara sekiz milyon ton plastik girişi, hem insan nüfusları hem de vahşi yaşam için ciddi bir tehdit oluşturur (WWF report, 2019). Plastikler, polimer bileşimleri ile tanımlanan bir sentetik malzeme kategorisini oluşturur. Polimerler, tekrarlanan alt birimlerden oluşan yapılarıyla plastiklerin karmaşık moleküler yapısını oluşturur. Bu malzemelerin doğasındaki esneklik, çeşitli konfigürasyonlar ile şekil alma ve farklı endüstrilere geniş uygulanabilirlik sağlar. Sentetik polimerler, kullanım sırasında biyotik ve abiyotik dönüşümlere ve bozunma süreçlerine karşı direnç göstererek pratikliğini artıran dikkate değer bir özelliğe sahiptir. Ancak, istenilen ömürlerini tamamladıktan sonra, bu malzemelerin önemli bir kısmı katı atığa dönüşür ve atılma işlemi ya belirlenmiş atık tesislerinde gerçekleşir ya da plansız çevresel boşaltım yoluyla gerçekleşir. Sentetik polimerlerin dönüştürücü ve bozulmaya karşı dayanıklılığı, çevresel endişeleri önemli ölçüde artırır. Sentetik polimerlerden elde edilen atığın geri dönüştürülmesine yönelik çabalar övgüye değer olsa da, şu anda depolama alanlarına yerleştirilen katı atığın yaklaşık %30'u, biyolojik bozunmaya dirençli inorganik malzemelerden oluşmaktadır. Pratikte, polimerler yeniden işleme sürecine belirli bir ölçüde uyum gösterse de, tam geri dönüştürülebilirliği elde etmek, onların bozunma tepkimelerinin uzun süreli doğası ve kimyasal yapılarındaki içsel çeşitlilik nedeniyle aşılması zorluktur. Ayrıca, geri dönüştürülmüş ürün, amaçlanan kullanım durumundan sapacak özelliklere bürünebilir, bu da geri dönüşüm çabalarının uygulanabilirliğini karmaşık hale getirir. Endüstriyel ve ticari plastik atıkların büyük bir kısmı geri dönüşüme tabi tutulsa da, maalesef, evsel plastik atıkların çok küçük bir kısmı aynı geri dönüşüm süreçlerine dahil edilmektedir. Plastikler, yıllık evsel atık bertarafının

ağırlığına göre minimum %5 ve hacme göre minimum %10 ila %15'ini oluşturur (Davidovits, 1991; Valiev et al., 2000; Andrady, 2011; Cole et al., 2011; Jambeck et al., 2015).

Mikroplastikler, plastik ürünlerin zaman içinde bozunması veya çeşitli endüstriyel süreçlerle oluşan minik plastik parçacıkları ifade eder ve bu durum önemli bir çevresel sorun oluşturur. Genellikle 5 milimetre altında ölçülen bu mikroskopik partiküller, su, hava ve toprağı içeren çevresel sistemlerde yayılabilme kapasitesine sahiptir. Mikroplastiklerin etkisi özellikle deniz ortamlarında belirgindir ve denizlerde çevresel soruna önemli ölçüde katkıda bulunur. Plastik atığın zaman içinde kademeli olarak parçalanması ve çeşitli kaynaklardan mikroplastiklerin salınması, sucul yaşam ve ekosistemler üzerinde olumsuz etkiler yapma potansiyeline sahiptir. Bu infinitesimal plastik parçacıkları sucul organizmalar tarafından alınabilir, besin zincirini geçebilir ve insanlar dahil çeşitli türler üzerinde zarar yapabilir. Mikroplastik kirliliğinin yaygınlığı, plastik kullanımı ve bertarafının yetersiz kontrol edilmesinden kaynaklanır ve çevresel sürdürülebilirlikle ilgili endişelerde kritik bir odak noktası haline gelmiştir (Steensgaard et al., 2017; Hartmann et al., 2019; Toussaint et al., 2019).

Mikroplastikler, sucul ve karasal ekosistemlerde geniş bir dağılıma sahip olmalarıyla birlikte, hayvan ve bitki sağlığına yönelik potansiyel riskler içermektedir. Su ortamlarında bulunan bu mikroskopik plastik partiküller, sucul organizmaların yaşamsal faaliyetleri sırasında vücutlarına girebilir; solunum, beslenme ve filtrasyon yollarıyla bu organizmaların iç sistemlerine nüfuz edebilir. Bu durum, özellikle deniz canlıları için endişe verici olup, mikroplastiklerin sindirilmesi, hayvanların sindirim sistemine zarar verebilir ve besin zinciri üzerinden diğer organizmalara geçebilir (İrfan et al., 2020; Xiong et al., 2022; Cai et al., 2022). Karasal ekosistemlerde yapılan araştırmalar, mikroplastiklerin toprakta birikerek bitki kökleri aracılığıyla bitkilere girebileceğini ortaya koymaktadır. Bu durum, bitki büyümesini ve gelişimini olumsuz etkileyebilir. Ayrıca, mikroplastiklerin içerdikleri kimyasal maddeler ve yüzey özellikleri, hayvan ve bitki sağlığı üzerinde potansiyel toksik etkilere yol açabilir. Ancak, bu konuda daha fazla derinleşen bilimsel araştırmalar ve çeşitli ekosistemlerdeki etkileşimlerin daha iyi anlaşılması, mikroplastiklerin hayvan ve bitki sağlığı üzerindeki tehditlerini daha kapsamlı bir şekilde değerlendirebilmemiz için elzemdir (Yu et al., 2022; Wang et al., 2023; Song et al., 2024). Mikroplastikler, özellikle su ve gıda zincirleri aracılığıyla insanlar tarafından tüketilebilmekte ve solunabilme potansiyeline sahiptir. Bu partiküller, biyolojik çeşitlilikteki biyolojik ve toksikolojik etkiler yoluyla organizmanın genel sağlığı üzerinde soru işaretleri oluşturabilir. Ayrıca, mikroplastiklerin içerdikleri kimyasal maddelerin, vücuda alındığında potansiyel toksik etkilere neden olma ihtimali üzerinde endişeler bulunmaktadır. Ancak, bu alandaki araştırmaların henüz sınırlı olması ve net sonuçlara ulaşılamamış olması, mikroplastiklerin insan sağlığına etkileri konusunda daha fazla çalışmanın gerekliliğini vurgulamaktadır. Bu bağlamda, mikroplastiklere maruziyetin potansiyel sağlık riskleri konusundaki bilgi eksikliği, bu alandaki araştırmaların önemini artırmaktadır (Muniasamy et al., 2023; Chowdhury et al., 2023).

Akdeniz bölgesi, coğrafi konumu, tarihi zenginlikleri ve ekonomik potansiyeliyle öne çıkan dünyanın önemli bölgelerinden birisidir ve bu bölgedeki ülkeler, dünya genelinde plastik üretiminin dördüncü büyük kaynağı olarak ön plana çıkmaktadır. Her yıl, bu bölgede yerel nüfus ve turistler tarafından toplamda 24 milyon ton plastik atık üretilmektedir. Özellikle yaz aylarında turistik faaliyetlerin artması, atık üretiminde belirgin bir artışa neden olmaktadır. Bu durum, yerel atık yönetim sistemlerinin aşırı yüklenmesine ve sürdürülemez bir atık yönetimi sorununa yol açmaktadır. Akdeniz bölgesindeki ülkeler, ekonomik faaliyetleri ve turistik çekicilikleri ile bilinmektedirler. Ancak, plastik atık sorunlarıyla baş etme konusunda sürdürülebilir çözümlere ihtiyaç duymaktadırlar. Plastik kirliliği, bu ülkelerin çevresel dengesini tehdit etmekte ve küresel çevre sorunlarına yönelik artan endişelerle birleşmektedir (Derraik, 2002; Eriksen et al., 2014; Suaria et al., 2016; Romeo et al., 2016; Alomar et al., 2016; Güven et al., 2017).

Bu kapsamda öncelikle mikroplastik analizinde kullanılan yöntemlerden kısaca bahsedilmesi gerekmektedir. Bu yöntemlerden ilki optik mikroskopi'dir. Optik mikroskopi, geniş bir kullanıma sahip bir görsel sistem olmasına rağmen, plastik ve benzeri maddelerin tespiti ile ilişkilendirilen hata payının genellikle %20'yi aştığını belirtmek önemlidir (Jung et al., 2021). Bu nedenle, mikroplastik analizi için iki aşamalı bir yaklaşıma ihtiyaç duyulmaktadır. İlk aşama, gözle veya optik mikroskoplar aracılığıyla erişilebilen basit ve hızlı bir ön eleme içerir, bu aşama temel bir tanı için hizmet verir. Ardından, ileri düzey ve güvenilir analizler, ön eleme sırasında şüpheli hale gelen mikroplastiklerin daha fazla incelenmesi ve kurtarılması için kaçınılmaz hale gelir. Bu iki aşamalı strateji, çevresel örneklerde mikroplastiklerin tanımlanması ve miktarının belirlenmesinde hata potansiyelini en aza indirir, daha kapsamlı ve doğru bir değerlendirme sağlar. Son yıllarda, mikroplastiklerin detaylı karakterizasyonunda etkili bir strateji olarak ortaya çıkan yöntem, Yarıiletken Taramalı Elektron Mikroskopi (SEM) ve Enerji Dağılımlı X-ışını Analizi (EDX) entegrasyonudur. Bu çift yaklaşım, mikroplastik örneklerinin temel bileşenlerini belirleme, katkı oranlarını değerlendirme ve kimyasal bileşimlerini anlama konularında önemli bir rol oynamaktadır. Mikroplastiklerin karakterizasyonunda, optik mikroskopinin yanı sıra kullanılan spektroskopik yöntemler olup bu yöntemlerde öne çıkan iki önemli teknik, Fourier Dönüşümü Kızılötesi (FTIR) ve Raman spektroskopisidir. Bu spektroskopik yöntemler, özellikle mikroplastiklerin kimyasal bileşimi ve yapısal özellikleri hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır. Gelişmiş mikroskopi ve spektroskopik tekniklerin bir arada kullanılması, mikroplastik kirliliği konusundaki çeşitli çevresel bağlamlarda kapsamlı bir anlayış elde etmek için etkili bir strateji oluşturmaktadır. Fourier Dönüşümü Kızılötesi (FTIR) spektroskopisi alanında üç farklı teknolojinin optimizasyonu gözlemlenmektedir. Bunlar, mikro-FTIR ( $\mu$ FTIR), Zayıflatılmış Toplam Yansıma-FTIR (ATR-FTIR) ve Odak Düzlem Dizisi-FTIR (FPA-FTIR) teknolojileridir. Her biri belirli zorlukları ele almakta ve mikroplastiklerin analizinde benzersiz avantajlar sunmaktadır (Hanvey et al., 2017; Wagner et al., 2017; Cowger et al., 2020). Mikroplastik analizleri için umut vadeden yöntemler arasında, termal analiz ve analitik pirolizle entegre spektroskopik yöntemler öne çıkmaktadır (Mai et al., 2018;

La Nasa et al., 2020). [ Özellikle, Piroliz-Gaz Kromatografi-Mass Spektrometresi (Py-GC-MS), mikroplastik bileşen analizi için kritik olan moleküler ve kütle spektral veriler sağlanması nedeniyle önemli bir ilgi görmüştür. Py-GC-MS'nin temel prensibi, çoğu polimerin termal çözünme temelli piroliz ürünlerine kontrol edilmiş dönüşümüne dayanır; bu ürünler daha sonra gaz kromatografisi (GC) ve kütle spektrometresi (Hermabessiere et al., 2018) ile ayrılır ve tanımlanır. Bu yöntem, bir örnekteki birden çok sentetik polimeri aynı anda tanımlama konusunda üstün bir başarı gösterir ve kütle tabanlı konsantrasyonlarının tahminine izin verir. Py-GC-MS'nin yüksek hassasiyeti, nanoplastiklerin bile küçük miktarlarının ölçülmesine olanak tanır. Ancak, Py-GC-MS'nin doğruluğu, termal bozunma sırasında örneklerin tahrip olması nedeniyle zorlanır ve bu da bazı parçacıklarla ilgili bilgilerin kaybına yol açar (Picó & Barceló, 2020). Bu derleme sürecinde, çeşitli çevresel bağlamlarda mikroplastik tespiti için kullanılan kimyasal metodlardaki son gelişmelerle ve Türkiye'de yapılmış olan çalışmalarla ilgili bilgilerin verilmesi amaçlanmıştır.

#### **METOT:**

Bu makalenin derleme sürecinde, mevcut literatürün kapsamlı bir incelenmesi gerçekleştirilmiş ve Mikroplastiklerin (MP'ler) konuları ve kökenleri ile ilgili en uygun bilgilerin çıkarılmasına özel bir odaklanma benimsenmiştir. Başlıca referanslar, Web of Science (236 adet) ve Dergipark veritabanları (45 adet) aracılığıyla erişilebilen bilimsel çalışmalardan seçilmiştir. Kapsamlı bir anlayış sunabilmek adına, "Mikroplastik," "analiz" ve "Türkiye" gibi arama terimleri, başlıklar, anahtar kelimeler ve özetler stratejik bir biçimde kullanılmıştır. Seçilen makalelerin tam metinleri detaylı bir analize tabi tutularak, metodolojileri ve bulguları anlamının nüanslı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

### **1. Türkiye'de Yapılmış Güncel Mikroplastik Analiz Çalışmaları**

Türk mutfağının önemli bir unsuru olan tuz, Türkiye genelinde üretilen farklı markalardaki sofr tuzları üzerine yapılan bir çalışmada incelenmiştir (Özçifçi et al., 2023). Bu araştırmada, kaya, göl ve deniz tuzları olmak üzere ülkede popüler olan 9 farklı markanın sofr tuzları FT-IR yöntemi kullanılarak detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda, 36 numunede toplamda 10 farklı türde mikroplastik kirlilik olarak polimer artığı tespit edilmiştir. Bulgular, mikroplastik miktarının kaya, göl ve deniz tuzları arasında farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu veriler, sofr tuzlarında var olan mikroplastik düzeylerinin endişe verici olduğunu göstermektedir. Türkiye'de sofr tuzlarında bu düzeyde mikroplastik tespit edilmesi, güvenli gıda üretimi ve halk sağlığı açısından acil yasal düzenlemelerin yapılma ihtiyacını vurgulamaktadır. Bu çerçevede, elde edilen verilerin halk sağlığı ve gıda güvenliği politikalarının oluşturulmasında etkili bir rol oynayabileceği düşünülmektedir.

Mikroplastik kirliliği, çevre, hayvan ve insan sağlığı açısından ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Gıda zincirinde özellikle insanlar için en önemli bulaş yolu olarak bilinen gıdalardan biri olan süt, Türkiye'de mikroplastik araştırmalarına konu olmuştur (Zipak et al., 2024). Bu çalışma, Türkiye'nin önemli sanayi ve tarım bölgesi olan Marmara Bölgesi'nden çeşitli süt üreten hayvanlardan (n:588) alınan örnekler üzerinde yapılmıştır. Numune alma ve analiz sırasında kontaminasyonu önlemek adına sıkı kalite kontrol önlemleri uygulanmıştır. Mikroplastikler, mikroskopik analiz yöntemiyle tanımlandı, sınıflandırıldı ve ölçüldü. Yüzey morfolojileri ve kimyasal bileşimleri, Taramalı Elektron Mikroskopu Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi (SEM-EDS) ve Zayıflatılmış Toplam Yansıma-Fourier-Transform Kızılötesi Spektroskopisi (ATR-FTIR) gibi ileri teknikler kullanılarak değerlendirildi. Çalışmanın sonuçlarına göre, süt örneklerinin %89'unda mikroplastiklerin tespit edildiği belirlendi. Bu mikroplastikler çeşitli renkler, şekiller ve boyutlarda bulunmakta olup, en yaygın olanı lifli parçacıklar (%52) idi. ATR-FTIR analizi, mikroplastiklerin %77'sinin etilen propilen türünde olduğunu gösterdi. Marmara bölgesindeki farklı türlere ait çiğ süt numunelerinin mikroplastiklerle belirgin şekilde kontamine olduğu görülmüştür. Bu durum, kentleşme ve sanayileşmenin neden olduğu çevre kirliliğinin sütte mikroplastik birikimine yol açtığını ve bu durumun güvenliği tehdit ettiğini ortaya koymaktadır. Mikroplastiklerin numunelerdeki kökeni, farklı kaynaklardan gelen polimer kirleticilerdir. Bu kapsamlı çalışma, çiğ sütteki mikroplastik konsantrasyonlarını tespit ederek, kaynaklarını ortaya çıkararak, süt endüstrisi paydaşlarına değerli veriler sunarak önemli bir örneklem seti ile gerçekleştirilmiştir.

Mikroplastik kirliliği genellikle deniz veya deniz ürünleri üzerinde yapılan çalışmalarda vurgulanmakta olup, maalesef karasal gıdalardaki mikroplastik varlığı, gelecekteki potansiyel büyük çevresel risklere rağmen yeterince dikkat çekmemektedir. Ancak, şişelenmiş su, musluk suyu, bal, sofr tuzu, süt ve meşrubatlar gibi çeşitli karasal gıdalarda yapılan çalışmalar, bu gıdalarda da mikroplastiklerin bulunduğunu göstermektedir. Meşrubatlarla ilgili yapılan çalışmalar arasında, Türkiye dahil olmak üzere Avrupa kıtasındaki meşrubatlarda mikroplastik varlığını değerlendiren araştırmalar henüz yeterli düzeyde değildir. Bu bağlamda, Türkiye'deki on farklı meşrubat markasında mikroplastik varlığına ve dağılımına odaklanan bir çalışma gerçekleştirilmiştir (Altunışık, 2023). Bu çalışmada, FTIR stereoskopisi ve stereomikroskop incelemesi kullanılarak bu meşrubat markalarının tamamında mikroplastikler tespit edilmiştir. Mikroplastik kontaminasyon faktörü (MPCF) sınıflandırmasına göre, meşrubat numunelerinin %80'i yüksek düzeyde mikroplastik kontaminasyonu gösterilmiştir. Bu veriler, karasal gıdalardaki mikroplastik kirliliğinin ciddi bir sorun olabileceğini ve bu konuda daha fazla araştırmaya ve önleyici tedbirlerin alınmasına ihtiyaç olduğunu vurgulamaktadır.

Plastik, kolay üretimi ve yaygın kullanımı nedeniyle insanlar tarafından sıkça tercih edilen temel malzemelerden biri olmuştur. Ancak, bu malzemenin yoğun ve düşüncesizce üretimi ve/veya kullanımı, çevre sorunlarını artırmıştır. Özellikle doğada kontrolsüz bir şekilde varlığını sürdüren plastik atıklar, çevresel etmenler tarafından görülemeyecek kadar küçük parçacıklara ayrılmış ve besin

zincirinde geniş bir yer edinmiştir. Hatta bu mikroplastikler, temel besin maddelerinin yapısında doğrudan insan gıdasına ulaşmıştır. Dünya genelinde yapılan araştırmalar, temel gıda gruplarından biri olan içme suyunda bile mikroplastik varlığını göstermektedir. Bu bağlamda, Türkiye'de gerçekleştirilen örnek bir çalışma kapsamında (Yozukmaz, 2022), yerel olarak üretilen ve satılan 6 farklı markanın tek kullanımlık (PET) şişelerindeki numuneler mikroplastik bakımından mikroskopik ve micro-Raman yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda, tüm numunelerde mikroplastik varlığı tespit edilmiş olup, 36 örnekte toplam 207 mikroplastik tanımlanmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, mikroplastik sorununun kaynağında azaltılması için geri dönüşümün yaygınlaştırılması, tüketicilerin bilinçlendirilmesi ve konuyla ilgili gerekli yasal düzenlemelerin yapılmasının önemini vurgulamaktadır. Mikroplastik kirliliğiyle mücadelede alınacak önlemlerin, sürdürülebilir bir çevre için kritik bir adım olduğu açıkça ortaya konmuştur.

Denizel ortamlar, özellikle nehirler aracılığıyla taşınan kirlenmelere maruz kalan hassas alanlardır. Mikroplastik kirliliği, son yıllarda küresel bir endişe kaynağı olmuştur; ancak ülkemizde denizel organizmalar üzerine yapılan çalışmalar maalesef sınırlıdır. Bu bağlamda, Mutlu, Gedik ve Eryaşar'ın yapmış olduğu çalışma (2022) Türkiye'nin Karadeniz kıyılarından avlanan ve yoğun bir şekilde tüketilen istavrit balıklarının gastrointestinal sistemlerindeki (GİT) mikroplastik bolluğunu ve kompozisyonunu mikroskopik ve ATR-IR yöntemleriyle incelemeyi amaçlamaktadır. Analizler sonucunda, 121 adet incelenen istavrit balığı örneğinin GİT bölgelerinde toplam 27 adet mikroplastik tespit edilmiştir. Belirlenen mikroplastiklerin en baskın şekli fiber (%66) olarak ortaya çıkmıştır, ayrıca boyutları 500-1000 µm (%33) arasında dağılım göstermiştir. Bu bulgular, özellikle Karadeniz gibi yarı kapalı deniz alanlarında mikroplastiklerin bolluğu, şekli ve miktarındaki önemli eğilimleri anlamak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğunu vurgulamaktadır. Deniz ekosistemlerinde mikroplastik kontaminasyonunun etkilerini anlamak için gelecekte yapılacak araştırmaların, bu konuda en hassas olan türleri belirlemeye odaklanması önemlidir. Bu çalışma, mikroplastik kirliliğinin denizel organizmalar üzerindeki potansiyel etkilerini değerlendirme açısından önemli bir adım olup, benzer ekolojik sistemlerde daha geniş kapsamlı araştırmalara yol açabilir.

#### SONUÇ:

Mikroplastiklerin küresel tehdidi, bu parçacıkların uzak mesafelere taşınabilme ve ekosistemlere zarar verebilme özelliklerinin yanı sıra gıda ve içecekleri kontamine etme potansiyeli, özellikle endişe vericidir. Bu nedenle, plastik kirliliği kaynaklı sorunlarla başa çıkabilmek ve çeşitli çevresel matrislerde plastik parçacıklarının dinamiklerini daha iyi anlamak için kapsamlı çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Su kütlelerinde yaygın olarak bulunan mikroplastikler, midyelerden planktonlara kadar çeşitli organizmalar tarafından asimile edilme eğilimindedir. Bu mikroskobik partiküllerin yaygın doğası, onların omurgasızlardan balıklara, kaplumbağalara ve diğer büyük hayvanlara kadar geniş bir yelpazede organizmanın gastrointestinal sistemlerinde tespit edilmesine kadar uzanır. Mikroplastiklerin varlığı sadece deniz ekosistemleriyle sınırlı değildir; aynı zamanda dağ ormanları gibi uzak ekosistemlerden başlayarak çeşitli ortamlarda belirlenmiştir. Bu partiküller, toprakta yaşayan organizmaların, örneğin solucanlar, kadar karmaşık ekosistemlerinde olduğu gibi orman kuşları ve evcil hayvanların biyolojik sistemlerinde de bulunmuştur. Ayrıca, mikroplastikler insan gıda zincirine sızarak, insan tüketimi için tasarlanmış çeşitli gıda maddelerinde tespit edilmiştir. Özellikle, bu yaygın varlık, mikroplastiklerin insan dışkılarında dahi tespit edilmesine kadar uzanmaktadır. Mikroplastiklerin yaygın etkisi, ekosistemlerde ve insan sağlığında olası sonuçları ele almak için kapsamlı araştırmalar ve proaktif önlemlerin acil olarak alınması gerektiğini vurgular. Mikroplastik kirliliği, çevresel bir sorun olarak ele alındığında, gelecekteki araştırma girişimlerinde dikkate alınması gereken birkaç önemli boyut ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda, mikroplastik malzemelerin tanımlanması ve ölçülmesinde karşılaşılan zorluklar, özellikle bu malzemelerin içsel yapılarını koruma konusundaki güçlükler önemli bir konudur. Analitik tekniklerin mikroplastikleri etkili bir şekilde tespit etmesi ve karakterize etmesi kritik önem taşır; ancak çeşitli çevresel bağlamlarda mikroplastiklerin varlığını izlemek ve ölçmek için doğru ve etkili araçların geliştirilmesi, bu sorunla başa çıkabilmek için hayati öneme sahiptir.

**Tablo1.** Son dört yılda çeşitli teknikler kullanılarak dünya genelinde yapılan mikroplastik tayinine yönelik çalışmalara örnekler

| Kullanılan Metot    | Numune tipi                       | Bulunan Mikroplastik cinsi   | Tayin sınırı                 | Kaynakçası            |
|---------------------|-----------------------------------|--|------------------------------|-----------------------|
| Elektron Mikroskopu | Su ve toprak tortuları            | Polietilen, polietilen-co-vinil asetat, polivinil-bütiral, polivinil alkol vb. | NA                           | Miserli et al., 2023  |
| TGA-MS              | Tarımsal alan atmosferinde        | Polistiren   | 7.7 – 25.8 ng/m <sup>3</sup> | Penalver et al., 2021 |
| Raman mikroskopisi  | Su ve Gıda saklama kapları        | Polipropilen, polietilentetraftalat, polistiren                                | < 5 µm                       | Guo et al., 2024      |
| Py-GC-MS            | İnsan testis ve meni örneklerinde | Polistiren, polietilen polivinil klorür  | 21.76 – 286.71 µm            | Zao et al., 2023      |

|                                       |  |                              |                |                            |
|---------------------------------------|--|------------------------------|----------------|----------------------------|
| Raman ve Taramalı Elektron Mikroskopu | Antarktika bölgesindeki atmosferik aerosol | Polistiren vb                | NA             | Marina-Montes et al., 2022 |
| STXM                                  | Çevre ve gıda ürünlerinde                  | Polistiren, polipropilen vb. | 100 nm         | Foetisch et al., 2022      |
| NMR                                   | Deniz tabakası                             | Polistiren                   | 12.3-64.6 µg/L | Papini et al., 2024        |

Tablo 1'de belirtildiği üzere, mikroplastik varlığı dünya genelinde farklı teknikler ve örneklerle tespit edilmiştir, hatta insan metabolizmasında bile. Ancak, ülkemizde mikroplastik analizine yönelik çalışmalar henüz emekleme aşamasındadır ve bu alandaki araştırmaların detaylı bir şekilde genişletilmesi gerekmektedir. Özellikle, Türkiye'nin coğrafi ve endüstriyel yapısı göz önüne alındığında, mikroplastik kirliliğinin yerel boyutları ve etkileri üzerine daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır. Bu çerçevede, çevresel örneklerin kapsamlı bir şekilde incelenmesi, mikroplastik kaynaklarının belirlenmesi ve etkilerinin değerlendirilmesi için multidisipliner araştırmaların teşvik edilmesi önemlidir. Bu çabalar, mikroplastik kirliliğiyle mücadelede etkili stratejilerin geliştirilmesine ve çevresel sağlık üzerindeki olası etkilerin azaltılmasına yardımcı olabilir.

Bu karmaşık sorunun üstesinden gelmek, mikroplastik kirliliğinin etkileri konusunda farkındalığı artırmak ve anlamak amacıyla güçlü çevre eğitimi girişimlerini içermelidir. Ayrıca, mikroplastiklerin çeşitli ekosistemlerde yayılmasını sınırlamak için daha etkili polimer atık yönetimi uygulamalarının geliştirilmesi ve uygulanması kritik öneme sahiptir. Bu çabaları tamamlamak için, mikroplastikleri çevremizden sistemli bir şekilde uzaklaştırmak için etkili ve ekonomik olarak sürdürülebilir teknolojileri tanımlamak, geliştirmek ve kullanmak için devam eden araştırmalara olan zorunlu ihtiyaç bulunmaktadır. Bu stratejilerin kapsamlı ve işbirlikçi bir şekilde izlenmesi, mikroplastiklerin ekosistemlere ve insan refahına olan etkisini hafifletmek için sürdürülebilir çözümlerin yolunu açabilir.

Avrupa Komisyonu, 30 Ağustos 2022 tarihinde, çeşitli ürünlere kasıtlı olarak ilave edilen mikroplastiklerin (primer mikroplastikler) kullanımını sınırlamak amacıyla bir taslak öneri sunmuştur. Bu öneri, ürünlerde kasıtlı olarak kullanılan ve çevreye salınan sonuçlanabilecek 5 mm'nin altındaki sentetik polimer mikropartikülleri ile 15 mm'nin altındaki fiber benzeri partiküllerin kullanımının kısıtlanmasını içermektedir. Tasarı, AB üye ülkelerinin otoriteleri tarafından değerlendirilmiş ve ardından Avrupa Parlamentosu ile Avrupa Komisyonu tarafından incelenerek 25 Eylül 2023 tarihinde kabul edilmiştir (EU 2023/2055, 2023).

10 Aralık 2018 tarihli ve 30621 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren "Çevre Kanunu ve Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun" kapsamında, çevrenin korunması, çevre kirliliğinin önlenmesi ve giderilmesi amacıyla geri kazanım katılım payı uygulaması getirilmiştir. Bu düzenleme, özellikle plastik poşet ve plastik ambalaj kullanımının azaltılması, depozito uygulaması gibi önlemleri içermektedir. Ancak, mevcut düzenleme plastik poşet kullanımının azaltılmasına yönelik olup, mikroplastiklerin tespit ve analizine dair spesifik hükümler içermemektedir.

Mikroplastiklerin uluslararası düzeyde değerlendirilmesine rağmen, bu partiküller için henüz uluslararası bir standart tanım oluşturulmamıştır. Ayrıca, mikroplastiklerin tespitinde kullanılacak genel bir analiz yöntemi bulunmamaktadır, bu da karşılaştırılabilir sonuçlara ulaşmayı zorlaştırmaktadır. Ancak, "5 mm'den küçük plastik parçacıklar" şeklinde bir tanım yaygın olarak kullanılmaktadır. Mikroplastik analizlerinde genellikle, organik ve inorganik maddeler numune içerisinden uzaklaştırıldıktan sonra fiziksel metotlarla veya spektroskopik/kromatografik yöntemler kullanılarak tespit yapılmaktadır. Türkiye'deki mikroplastik sorununu değerlendirdiğimizde, ülkemizde mikroplastiklerin tanımı ve değerlendirilmesi için henüz net bir ulusal standart belirlenmemiştir. Bu bağlamda, mikroplastiklerin tespiti ve gerekli analizlerinin Türkiye'de nasıl yapılması gerektiği, mevcut durumun ulusal mevzuat tarafından nasıl ele alınacağı gibi konularda detaylı bir değerlendirme çalışmalarının hızlı bir şekilde gündeme alınması oldukça önemlidir.

**ETİK STANDARTLAR:**

**Çıkar Çatışması:** Yazar herhangi bir çıkar çatışmasının olmadığını beyan eder.

**Etik Kurul İzni:** Bu çalışma için etik kurul iznine gerek yoktur.

**Finansal Destek:** Bu çalışma için herhangi bir finansal destek alınmamıştır.

**Teşekkür:** Teşekkürümüz yoktur.

**KAYNAKÇA:**

- Alomar, C., Estarellas, F., Deudero, S. (2016). Microplastics in the Mediterranean sea: deposition in coastal shallow sediments, spatial variation and preferential grain size, *Marine Environmental Research*, 115:1-10. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.01.005>
- Altunışık, A. (2023). Prevalance of microplastics in commercially sold soft drinks and human risk assessment, *Journal of Environmental Management*, 336:117720. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117720>
- Andrady, AL. (2011). Microplastics in the marine environment, *Marine pollution bulletin*, 62(8):1596-1605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>
- Başar, S., Tosun, B. (2021). Environmental Pollution Index and economic growth: evidence from OECD countries, *Environmental Science and Pollution Research*, 28:36870-36879. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13225-w>
- Cai, Y., Li, C., Zhao, Y. (2022). A Review of the Migration and Transformation of Microplastics in Inland Water Systems, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(1):148. <https://doi.org/10.3390/ijerph19010148>
- Chowdhury, SR., Dey, A., Mondal, S., Gautam, MK. (2023). Environmental microplastics and nanoplastics: Effects on cardiovascular system, *Toxicologie Analytique et Clinique, In press*. <https://doi.org/10.1016/j.toxac.2023.11.006>
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., Galloway, TS. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review, *Marine Pollution Bulletin*, 62(12): 2588-2597. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>
- Cowger, W., Gray, A., Christiansen, SH., DeFrond, H., Deshpande, AD., Hemabessiere, L., et.al.. (2020). Critical review of processing and classification techniques for images and spectra in microplastic research, *Applied Spectroscopy*, 74(9): 989-1010. <https://doi.org/10.1177/0003702820929064>
- Davidovits, J. (1991). Geopolymers-inorganic polymeric new materials, *Journal of thermal analysis*, 37(8):1633-1656. <https://doi.org/10.1007/BF01912193>
- Derraik, JGB. (2002). The pollution of the marine environment by plastic debris: a review, *Marine pollution*, 44(9):842-852. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00220-5](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00220-5)
- Ekins, P., Simon, S. (2001). Estimating sustainability gaps: methods and preliminary applications for the UK and the Netherlands, *Ecological Economics*, 37(1):5-22. [https://doi.org/10.106/S0921-8009\(00\)00279-2](https://doi.org/10.106/S0921-8009(00)00279-2)
- Eriksen, M., Lebreton, LCM., Carson, HS., Thiel, M., Moore, CJ., Borerro, JC., et.al.. (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):1-15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111913>
- Estevez, MA., Lopez-Periago, E., Martinez-Carballo, E., Simal-Gandara, J., Mejuto, JC., Garcia-Rio, L. (2008). The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 123(4):247-260. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.07.011>
- EU Commission Regulation 2023/2055 – Restriction of microplastics intentionally added to products, ([https://single-market-economy.ec.europa.eu/commission-regulation-eu-20232055-restriction-microplastics-intentionally-added-products\\_en#:~:text=added%20to%20products-Commission%20Regulation%20\(EU\)%202023%2F2055%20%2D%20Restriction%20of%20microplastics,applying%20on%2017%20October%202023.](https://single-market-economy.ec.europa.eu/commission-regulation-eu-20232055-restriction-microplastics-intentionally-added-products_en#:~:text=added%20to%20products-Commission%20Regulation%20(EU)%202023%2F2055%20%2D%20Restriction%20of%20microplastics,applying%20on%2017%20October%202023.) )

- Foetisch, A., Filella, M., Watts, B., Vinot, L.H., Bigalke, M. (2022). Identification and characterisation of individual nanoplastics by scanning transmission X-ray microscopy (STXM), *Journal of Hazardous Materials*, 426:127804. <https://doi.org/10.1016/j.hazmat.2021.127804>
- Gans, JS. (2012). Innovation and Climate Change Policy, *American Economics Journal: Economic policy*, 4(4):125-145. <https://doi.org/10.1257/pol.4.4.125>
- Guo, X., Dai, H., He, L. (2024). Migration testing of microplastics from selected water and food containers by Raman spectroscopy, *Journal of Hazardous Materials*, 462:132798. <https://doi.org/10.1016/j.hazmat.2023.132798>
- Güven, O., Gökdağ, K., Jovanovic, B., Kideys, AE. (2017). Microplastic litter composition of the Turkish territorial waters of the Mediterranean sea, and its occurrence in the gastrointestinal tract of fish, *Environmental Pollution*, 223:286-294. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.01.025>
- Hanvey, JS., Lewis, PJ., Lavers, JL., Crosbie, ND., Pozo, K., Clarke, BO. (2017). A review of analytical techniques for quantifying microplastics in sediments, *Analytical Methods*, 9(9): 1369-1383. <https://doi.org/10.1039/c6ay02707e>
- Hartmann, NB., Hüffer, T., Thompson, RC., Hassellöv, M., Verschoor, A., Daugaard, AE., et.al. (2019). Are we speaking the same language? Recommendations for a definition and categorization framework for plastic debris, *Environmental Science & Technology*, 53(3):1039-1047. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b05297>
- Hermabessiere, L., Himber, C., Boricaud, B., Kazour, M., Amara, R., Cassone, AL., et.al. (2018). Optimization, performance, and application of a pyrolysis-GC/MS method for the identification of microplastics, *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 410(25):6663-6676. <https://doi.org/10.1007/s00216-018-1279-0>
- İrfan, M., Qadir, A., Mumtaz, M., Ahmad, SR. (2020). An intended challenge of microplastic pollution in the urban surface water system of Lahore, Pakistan, *Environmental Science and Pollution Research*, 27:16718-16730. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08114-7>
- Jambeck, JR., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, TR., Perryman, M., Andrady, A., et. al. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean, *Science*, 347(6223): 768-771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
- Jung, S., Cho, SH., Kim, KH., Kwon, EE. (2021). Progress in quantitative analysis of microplastics in the environment: A review, *Chemical Engineering Journal*, 421(15): 130154. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.130154>
- La Nasa, J., Biale, G., Fabbri, D., Modugno, F. (2020). A review on challenges and developments of analytical pyrolysis and other thermoanalytical techniques for the quali-quantitative determination of microplastics, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 149:104841. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2020.104841>
- Loveland, P., Webb, J. (2003). Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperature regions: a review, *Soil and Tillage Research*, 70(1):1-18. [https://doi.org/10.1016/S0167-S0167-1987\(02\)00139-3](https://doi.org/10.1016/S0167-S0167-1987(02)00139-3)
- Mai, L., Bao, L.J., Shi, L., Wong, CS., Zeng, EY. (2017). A review of methods for measuring microplastics in aquatic environments, *Environmental Science & Pollution Research*, 25(12): 11319-11332. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1692-0>
- Marina-Montes, C., Perez-Arribas, LV., Anzano, J., Fdez-Ortiz de Vallejuelo, S., Aramendia, J., Gomez-Nubla, L. et al. (2022). Characterization of atmospheric aerosols in the Antarctic region using Raman Spectroscopy and Scanning Electron Microscopy, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 266:120452. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2021.120452>
- Miserli, K., Lykos, C., Kalamponias, AG., Konstantinou, I. (2023). Screening of Microplastics in Aquaculture Systems (Fish, Mussel, and Water Samples) by FTIR, Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy and Micro-Raman Spectroscopies, *Applied Sciences*, 13(17):9705. <https://doi.org/10.3390/app13179705>
- Muniasamy, GK., Shruti, VC., Perez-Guevara, F., Roy, PD. (2023). Microplastic diagnostics in humans: "The 3Ps" Progress, problems, and prospects, *Science of The Total Environment*, 856(2):159164. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159164>
- Mutlu, T., Gedik, K., Eryaşar, AR. (2022). Investigation of Microplastic Accumulation in Horse Mackerel (*Trachurus mediterraneus*) Caught in the Black Sea, *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 7(4):561-567. <https://doi.org/10.35229/jaes.1204060>



- Özçifçi, Z., Başaran, B., Akçay, HK. (2023). Microplastic contamination and risk assessment in table salts: Turkey, *Food and Chemical Toxicology*, 175:113698. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2023.113698>
- Papini, G., Petrella, G., Cicero, DO., Bognione, C., Rakaj, A. (2024). Identification and quantification of polystyrene microplastics in marine sediments facing a river mouth through NMR spectroscopy, *Marine Pollution Bulletin*, 198:115784. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115784>
- Penalver, R., Costa-Gomez, I., Arroyo-Manzanares, N., Moreno, JM., Lopez-Garcia, I., Moreno-Grau, S., et. al.. (2022). Assessing the level of airborne polystyrene microplastics using thermogravimetry-mass spectrometry: Results for an agricultural area, *Science of The Total Environment*, 787:147656. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147656>
- Picó, Y., Barceló, D. (2020). Pyrolysis gas chromatography-mass spectrometry in environmental analysis: Focus on organic matter and microplastics, *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 130:115964. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2020.115964>
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, A., Chapin III, FS., Lambin, EF., et. al.. (2009). A safe operating space for humanity, *Nature*, 461:472-475. <https://doi.org/10.1038/461472a>
- Romeo, T., Pietro, B., Peda, C., Consoli, P., Andaloro, F., Fossi, MC. (2015). First evidence of presence of plastic debris in stomach of large pelagic fish in the Mediterranean sea, *Marine Pollution Bulletin*, 95(1):358-361. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.04.048>
- Sinn, HW. (2008). Public policies against global warming: a supply side approach. *International Tax and Public Finance*, 15:360-394. <https://doi.org/10.1007/s10797-008-9082-z>
- Song, J., Chen, X., Li, S., Tang, S., Dong, S., Wang, M., et al.. (2024). The environmental impact of mask-derived microplastics on soil ecosystems, *Science of The Total Environment*, 912:169182. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169182>
- Steensgaard, IM., Syberg, K., Rist, S., Hartmann, NB., Boldrin, A., Hanesen, SF. (2017). From macro- to microplastic-Analysis of EU regulation along the life cycle of plastic bags, *Environmental pollution*, 224:289-299. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.02.007>
- Suaria, G., Avio, CG., Mineo, A., Lattin, GL., Magaldi, MG., Belmonte, G., et al.. (2016). The Mediterranean plastic soup: synthetic polymers in Mediterranean surface waters, *Scientific Reports*, 6:37551. <https://doi.org/10.1038/srep37551>
- Toussaint, B., Raffael, B., Angers-Loustau, A., Gilliland, D., Kestens, V., Petrillo, M., et al.. (2019). Review of micro- and nanoplastic contamination in the food chain, *Food Additives and Contaminants part A-Chemistry Analysis Control Exposure & Risk Assessment*, 36(5):639-673. <https://doi.org/10.1080/19440049.2019.1583381>
- Turner, GW., Ruffio, RMC. (1997). Comparing Environmental Conditions Using Indicators of Pollution Hazard, *Environmental Management*, 21:623-634. <https://doi.org/10.1007/s002679900055>
- Valiev, RZ., Islamgaliev, RK., Alexandrov, IV. (2000). Bulk nanostructured materials from severe plastic deformation, *Progress in Materials Science*, 45(2): 103-189. [https://doi.org/10.1016/S0079-6425\(99\)00007-9](https://doi.org/10.1016/S0079-6425(99)00007-9)
- Wagner, J., Wang, ZM., Ghosal, S., Rochman, C., Gassel, M., Wall, S. (2017). Novel method for the extraction and identification of microplastics in ocean trawl and fish gut matrices, *Analytical Methods*, 9(9): 1479-1490. <https://doi.org/10.1039/c6ay02396g>
- Wang, Y., Xiang, L., Amelung, W., Elsner, M., Gan, J., Kueppers, S., et al.. (2023). Micro- and nanoplastics in soil ecosystems: Analytical methods, fate, and effects, *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 169:117309. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2023.117309>
- WWF report. (2019). Stop the flood of plastic How Mediterranean countries can save their sea, (<https://www.wwfmmi.org/?348053/Flawed-plastic-system-hits-the-Mediterranean-Sea-and-its-economy>).
- Xiong, X., Xie, S., Feng, K., Wang, Q. (2022). Occurrence of microplastics in a pond-river-lake connection water system: How does the aquaculture process affect microplastics in natural water bodies, *Journal of Cleaner Production*, 352:131632. <https://doi.org/10.1016/j.clepro.2022.131632>
- Yozukmaz, A. (2022). Detection and public health risk assessment of microplastics in disposable (PET) bottled water produced and sold locally in the Aegean Region, *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 39(4):275-283. <https://doi.org/10.12714/egejfas.39.4.02>

- Yu, JR., Adingo, S., Liu, XL., Li, XD., Sun, J., Zhang, XN. (2022). Micro plastics in soil ecosystem-a review of sources, fate, and ecological impact, *Plant, Soil and Environment*, 68(1):1-17. <https://doi.org/10.17221/242/2021-PSE>
- Zao, Q., Zhu, L., Weng, J., Jin, Z., Cao, Y., Jiang, H., et al.. (2023). Detection and characterization of microplastics in the human testis and semen, *Science of The Total Environment*, 877:162713. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162713>
- Zhang, J., Jiang, S. (2014). Economics Analysis on the Environmental Pollution Control, *Applied Mechanics and Materials*, 675-677:1793-1796. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.675-677.1793>
- Zipak, SR., Muratoglu, K., Büyükcinal, SK. (2024). Microplastics in raw milk samples from the Marmara region in Turkey, *Journal of Consumer Protection and Food Safety*, In Press. <https://doi.org/10.1007/s00003-023-01477-2>