

MİKROPLASTİKLER VE MİKROBİYOTA

Mustafa Doğan BEDİR

Öğr. Gör. Dr., Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Yıldızeli Meslek Yüksekokulu, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü, mdoganbedir@cumhuriyet.edu.tr, Sivas, Türkiye, 0000-0002-2628-0739

Ahmet YOKUŞ

Öğr. Gör., Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Yıldızeli Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, ayokus@cumhuriyet.edu.tr, Sivas, Türkiye, 0000-0002-2313-7515

Öz

Mikroplastikler (MP'ler), boyutu 5 mm'den küçük olan plastik parçacıklar olarak tanımlanmakta, çevresel kirleticiler olarak giderek daha fazla tanınmaktadır. Bu parçacıklar, daha büyük plastiklerin parçalanma ürünleri olarak ortaya çıkmakta; deniz, tatlı su ve karasal ekosistemlerde yaygın olarak bulunmaktadır. MP'ler, esas olarak polietilen, polipropilen, polivinil klorür, polistiren, poliüretan ve polietilen tereftalat gibi polimerlerden ve performanslarını artıran katkı maddelerinden oluşmaktadır. Ayrıca, kalıcı organik kirleticiler ve ağır metaller gibi zararlı çevresel kimyasalları adsorbe ederek insan ve çevre sağlığı için risk oluşturmaktadır. İnsanların mikroplastiklere maruziyeti, başlıca yutma ve soluma yoluyla gerçekleşmekte, mikroplastikler gıda ürünlerinde, suda ve hatta havada tespit edilmektedir. Mikroplastiklerin gastrointestinal sistemde biriktiği, mikrobiyota kompozisyonunu değiştirebildiği ve disbiyozise neden olduğu gösterilmiştir. Bu bozulma, gastrointestinal bozukluklar, sistemik inflamasyon ve kronik hastalıklar gibi çeşitli sağlık sorunlarıyla ilişkilendirilmiştir. Mikroplastiklerin bağırsak-beyin eksenindeki etkileri araştırılmış, potansiyel nöroinflamatuvar sonuçlar ortaya konmuştur. Bağırsak mikrobiyomundaki değişimler nörodejeneratif hastalıklarla ilişkilendirilmiştir. Mikroplastiklerin bağırsak mikrobiyota dengesini bozarak, kronik inflamasyon ve DNA hasarı gibi mekanizmalar yoluyla kanser gelişimine katkıda bulunabileceği düşünülmektedir. Polistiren mikroplastiklere maruz kalan bağırsak mikrobiyotasında metabolik yeniden programlama meydana geldiği gösterilmiştir. Mikroplastik-mikrobiyota etkileşimlerinin tam olarak anlaşılması için standardize edilmiş analiz yöntemlerine ve daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. Bu derleme, mikroplastiklerin mikrobiyota üzerindeki etkilerini anlamak ve gelecekteki araştırma yönelimlerini belirlemek için güncel bilgileri sentezlemektedir.

Anahtar Kelimeler: Mikroplastikler, mikrobiyota, bağırsak mikrobiyomu, disbiyozis, çevresel toksikoloji

MICROPLASTICS AND MICROBIOTA

Abstract

Microplastics (MPs), defined as plastic particles smaller than 5 mm, are increasingly recognized as environmental pollutants. These particles typically originate from the fragmentation of larger plastic debris and are prevalent across marine, freshwater, and terrestrial ecosystems. MPs are primarily composed of polymers such as polyethylene, polypropylene, polyvinyl chloride, polystyrene, polyurethane, and polyethylene terephthalate, along with various additives used to enhance their performance. Additionally, they can adsorb hazardous environmental chemicals, including persistent organic pollutants and heavy metals, thereby posing risks to human and environmental health. Human exposure to microplastics mainly occurs through ingestion and inhalation, with these particles being detected in food items, water sources, and even in the air. Evidence indicates that microplastics can accumulate within the gastrointestinal tract, potentially altering the composition of the gut microbiota and leading to dysbiosis. Such disturbances have been linked to various health issues, including gastrointestinal disorders, systemic inflammation, and chronic diseases. The potential impact of microplastics on the gut-brain axis has also been explored, revealing possible neuroinflammatory consequences. Alterations within the gut microbiome have been associated with the pathogenesis of neurodegenerative diseases. Furthermore, by disrupting the balance of the gut microbiota, microplastics may contribute to carcinogenesis through mechanisms such as chronic inflammation and DNA damage. Research has shown that exposure to polystyrene microplastics can induce metabolic reprogramming within the gut microbiota. To fully elucidate the complex interactions between microplastics and the gut microbiota, standardized analytical methodologies and further in-depth research are required. This review synthesizes current knowledge regarding the impacts of microplastics on the gut microbiota and aims to inform and guide future research directions in this evolving field.

Keywords: Microplastics, microbiota, gut microbiome, dysbiosis, environmental toxicology.

1. GİRİŞ

Plastikler, modern toplumun vazgeçilmez bir bileşeni haline gelmiş olup, küresel yıllık plastik üretimi katlanarak 380 milyon tonun üzerine çıkmıştır ve 6 tondan fazla plastik atık oluşması beklenmektedir; bu durum çevre kirliliği ve kaynakların tükenmesi ile ilgili endişeleri artırmaktadır. Plastik, dayanıklılığı ve sağlamlığı nedeniyle çevrede çok yavaş bozunur; bu süreç yüzlerce yıl sürebilir. Bu da plastiklerin uzun süre doğada kalarak önemli bir çevresel kirleticisi haline gelmesine neden olmaktadır (1,2,3). Kalıcı doğası, hızlı birikime ve yavaş bozunmaya yol açarak, çöp sahalarında ve su kütlelerinde çöp birikimi gibi çevresel sorunlara neden olmaktadır (3-5). Plastikler çevreye bırakıldıktan sonra, fizikokimyasal süreçler, UV radyasyonu ve mikrobiyal etkileşimler gibi etkenler sonucunda parçalanarak çevresel kirliliğe yol açan mikro ve nano boyutlu parçalara ayrılmaktadır (1,3,6). Mikroplastikler (MP'ler), boyutları 5 mm'den 0.1 µm'ye kadar değişen plastik parçacıklar olarak tanımlanmaktadır. (1,7). MP'ler deniz ve tatlı su kütleleri, atık su, gıda ve hatta hava gibi çok çeşitli ortamlarda yaygın bir kirleticisi haline gelmiş ve farklı bölgelerde değişken konsantrasyonlarda tespit edilmiştir (1,3,5,6). Bu nedenle, araştırmacılar MP'lerin çevresel etkileri nedeniyle küresel yaygınlığını yakından izlemektedir (3,5,8). Çevrede sıklıkla tespit edilen MP parçacıkları, esas olarak polietilen (PE), polipropilen (PP), polivinil klorür (PVC), polistiren (PS), poliüretan (PU) ve polietilen tereftalat (PET) gibi polimerlerden oluşmaktadır (1,9,10). Bu malzemeler birçok tüketici ürünüde yaygın olarak kullanılmaktadır (6). MP'ler iki tür kimyasal içerebilir: (A) Plastiklerden türetilen katkı maddeleri ve polimerik hammaddeler (örneğin, monomerler veya oligomerler) (1,3). Katkı maddeleri, üretim süreci sırasında plastiğe renk ve şeffaflık gibi özellikler vermek için kasıtlı olarak eklenen maddelerdir. Ayrıca, ozon, sıcaklık, ışık radyasyonu, küf, bakteri ve nem karşı dirençlerini artırmanın yanı sıra mekanik, termal ve elektriksel güçlerini artırarak plastik ürünlerin performansını iyileştirirler (11). (B) Çevreden emilen kimyasallar. MP'ler, kalıcı organik kirleticiler (KOK'lar) ve ağır metaller gibi çevresel kirleticiler için vektörler olarak hareket edebilir, çevresel kirleticileri adsorbe ederek yutulduklarında toksikolojik etkilere neden olabilir (1,3,8,12). Polilaktik asit (PLA) gibi biyo-bazlı plastikler MP halinde çevrede bulunabilir (1,7). Bu MP'lerin doğal ortamda parçalanma süreçleri genellikle yetersiz kaldığından, küçük plastik parçacıkları uzun süre kalıcılık gösterir (1,13). Ayrıca MP'ler atmosferik birikim, kara kaynakları, gübreler, yapay çim, yol akıntıları, çöp sahaları ve hava taşımacılığı gibi çeşitli yollarla çevreye karışır (3,4,7,14). Yapılan bir çalışmada dafnidler, kızböcekleri ve yusufçuklardan oluşan üç seviyeli bir besin zincirinin mikrobiyotası, MP'ler ve deltametrin etkisine karşı incelenmiş; bulgular, bu kirleticilere doğrudan aktarım veya avlanma yoluyla maruz kalmanın besin zincirinin üst basamaklarındaki mikrobiyomları da etkilediğini göstermiştir (15). Mikroplastiklerin çevrede yaygın olarak bulunması, özellikle gastrointestinal sistem, yerleşik bağırsak mikrobiyomu ve kronik hastalıklarla olası potansiyel bağlantıları nedeniyle uzun vadede ciddi endişelere yol açmaktadır (1,6,8,16). İnsanlar MP'lere başlıca yutma ve soluma yoluyla maruz kalmaktadır (3,6,9,17). MP'ler deniz ürünleri, sofraya tuzu, su (musluk ve şişelenmiş) ve hatta bal gibi çeşitli gıda ürünlerinde bulunmuştur (5,14,17). Deniz ürünleri tüketimi, insanları MP'lere önemli ölçüde maruz bırakır, bunlar deniz organizmalarının dokularında birikir ve sonunda insan diyetine girer. Kentsel havanın solunması da insanın MP maruziyetine katkıda bulunur (5,9,11).

MP'ler, yutulduktan sonra gastrointestinal sisteminde birikebilir ve sindirime dirençleri nedeniyle uzun süre orada kalabilir (5,6,10,13,14). Hayvan modellerinde yapılan birçok çalışma, MP'lerin bağırsak zarı ile fiziksel etkileşiminin mekanik yaralanmalara yol açtığını ve potansiyel olarak inflamatuvar yanıtları uyandırdığını bildirmiştir (6,9,11-13). Bağırsak mikrobiyomu, sindirim, metabolizma ve bağışıklık fonksiyonunda hayati rol oynayan karmaşık ve dinamik bir mikroorganizma topluluğudur ve mikroplastik maruziyetine karşı son derece hassastır (2,3,6,18). Birçok çalışma, mikroplastiklere maruz kalmayı, bağırsakta yararlı ve patojenik bakteriler arasındaki dengeyi bozan disbiyozis ile ilişkilendirmiştir (3,5,7,9,11,12,14,18). Bu mikrobiyal dengesizlik; bozulmuş bağırsak fonksiyonuna, zayıflamış bağışıklık yanıtına ve gastrointestinal bozukluk riskinin

artışına yol açabilir (6,13,17,19). MP maruziyetinin bağırsak mikrobiyomunda yol açtığı değişiklikler, sistemik inflamasyonu tetikleyebilir. Bu durum, çeşitli kronik hastalıkların gelişiminde rol oynayan önemli bir risk faktörü olarak kabul edilmektedir. Bağırsakla sınırlı kalmayan bu etkiler, obezite, diyabet, kardiyovasküler hastalıklar ve otoimmün bozukluklar gibi kronik sağlık sorunlarının ortaya çıkmasına zemin hazırlayabilir (1,6,8,11,13). Son yıllarda mikroplastiklerin (MP'ler), nöroinflamasyonla giderek daha fazla ilişkilendirildiği ve bağırsak-beyin eksenini üzerindeki potansiyel etkileri aracılığıyla çeşitli nörolojik ve psikolojik bozuklukların gelişimine katkıda bulunabileceği düşünülmektedir (1,3,6,9).

MP'lerin insan sağlığı üzerindeki olası riskleri giderek daha fazla endişe uyandırmaktadır. MP ile mikrobiyota arasındaki etkileşimler; insan, hayvan ve çevre sağlığı üzerinde belirleyici etkilere sahiptir ve bu nedenle "Tek Sağlık" yaklaşımı çerçevesinde ele alınmalıdır (1,3,5,8,9). MP, mikrobiyota kompozisyonu ve işlevinde değişikliklere yol açarak bağışıklık sistemi, metabolizma ve sindirim gibi temel fizyolojik süreçleri etkileyebilir. Bu etkileşimlerin anlaşılması, MP kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki etkilerinin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır (3,6,7,10,12,14,18).

2. MİKROPLASTİKLER, MİKROBİYOTA VE SAĞLIK ETKİLERİ

2.1. Mikroplastiklerin Bağırsak Mikrobiyota Kompozisyonu Üzerindeki Etkileri

MP'ler, sucul canlıların bağırsak mikrobiyotasını, zenginlik ve çeşitlilikten ziyade, topluluk yapısını değiştirerek etkilemektedir. Yapılan bir meta-analiz çalışmasında, mikroplastiklerin bağırsak mikrobiyota kompozisyonu üzerinde anlamlı değişikliklere yol açtığını, ancak alfa çeşitliliği üzerinde sınırlı bir etkisi olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgular, mikroplastik maruziyetine bağlı etkilerin değerlendirilmesinde mikrobiyal topluluk yapısındaki değişimlerin dikkate alınmasının önemini göstermektedir (14,15,18,20).

Plastik mikropartiküllerin domuzların dışkı mikrobiyomu üzerindeki etkisinin doz bağımlı olduğu gösterilmiştir. Farklı dozlarda MP'lere maruz bırakılan domuzlarla yapılan bir çalışmada, artan MP dozlarına bağlı olarak bağırsak mikrobiyota kompozisyonunda anlamlı değişiklikler gözlemlenmiştir (2).

PET MP'lerin, simüle edilmiş gastrointestinal sindirim süreci sırasında insan bağırsak mikrobiyota topluluklarını etkilediği gösterilmiştir. Yapılan bir çalışmada, PET MP'lerin insan kolon mikrobiyota kompozisyonunu değiştirdiği ve bazı mikrobiyal türlerin sindirim süreci boyunca bu polimerlerin biyolojik ayrışmasına katkı sağlayabileceği ifade edilmiştir (16).

MP maruziyeti, yüksek risk altındaki bireylerin nazal ve bağırsak mikrobiyotasını etkilemektedir. Plastik geri dönüşüm işçileri üzerinde yapılan bir çalışmada, yoğun MP maruziyetinin hem nazal hem de bağırsak mikrobiyota kompozisyonunda belirgin değişikliklere yol açtığı ortaya konmuştur (21).

Farklı şekillere sahip MP'lerin birikimi, zebra balıklarının bağırsaklarında doku hasarına ve mikrobiyota disbiyozisine neden olmaktadır. Yapılan bir çalışmada, bu mikroplastiklerin zebra balıklarının bağırsaklarında biriktiği, epitel hücrelerine zarar verdiği ve mikrobiyota kompozisyonunda değişikliklere yol açtığı gösterilmiştir. Bu bulgular, MP'lerin şeklinin toksik etkiler üzerindeki rolünü anlamak açısından önem taşımaktadır (22).

Yapılan bir diğer çalışmada, MP kirliliğinin, yabani deniz kuşlarının bağırsak mikrobiyom kompozisyonu üzerinde olumsuz etkiler oluşturduğu gösterilmiştir (23).

2.2. Mikroplastiklerin Bağırsak Mikrobiyota Metabolizması Üzerindeki Etkileri

Polistiren MP maruziyeti, bağırsak mikrobiyotasında metabolik yeniden programlamaya yol açmaktadır. Yapılan çalışmalar, bu MP'lerin bağırsak bakterilerinin metabolik yollarını

değiştirerek enerji metabolizması, amino asit metabolizması ve ksenobiyotiklerin biyolojik ayrışması gibi temel süreçleri etkilediğini ortaya koymuştur (6,7,14,18).

MP maruziyetine bağlı olarak gelişen bağırsak mikrobiyom yanıtları, metagenomik ve metabolomik yaklaşımlar kullanılarak araştırılmıştır. Bu çalışmalar, MP'lerin mikrobiyota kompozisyonunu ve mikrobiyal metabolik aktiviteyi önemli ölçüde değiştirdiğini ortaya koymuştur. Özellikle polistiren MP'lere oral yolla maruz bırakılan farelerde, bağırsak mikrobiyotasının dengesi ve metabolik fonksiyonları bozulmuştur (6,7,12).

2.3. Mikroplastiklerin Bağırsak Bariyeri Fonksiyonu Üzerindeki Etkileri

MP'ler, bağırsak-beyin eksenini etkileyerek nörodejeneratif hastalıkların gelişimine katkıda bulunabilecek potansiyele sahiptir. Bu etkiler, bağırsak bariyeri bütünlüğünün bozulması, mikrobiyota kompozisyonundaki değişiklikler ve inflamatuvar yanıtların tetiklenmesi yoluyla ortaya çıkmaktadır. Hem mikro hem de nanoplastikler, insan bağırsak sağlığı üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilir; bu parçacıklar epitel toksisitesine, mikrobiyota dengesizliğine ve bağırsak bariyeri disfonksiyonuna neden olabilmektedir (3,9-11,13,14,22).

2.4. Mikroplastiklerin İmmün Sistem Üzerindeki Etkileri ve Kronik Hastalıklarla İlişkisi

MP'lerin bağışıklık sistemi üzerinde çeşitli etkiler oluşturduğu bilinmektedir. Yapılan araştırmalar, MP'lerin immünotoksositeye neden olarak hücrel sinyal yollarını bozabildiğini ve bu yolla bağışıklık sistemi işlevlerinde bozulmalara yol açabileceğini ortaya koymuştur. Ayrıca, MP'lerle oksidatif stres arasındaki ilişki de araştırılmış; bu parçacıkların oksidatif stres mekanizmalarını tetikleyerek çeşitli sağlık sorunlarına katkıda bulunabileceği ileri sürülmüştür (1,3,8,9,11,17).

MP'ler, bağırsak mikrobiyota disbiyozisi ve kanser gelişimi açısından potansiyel bir çevresel risk faktörü olarak değerlendirilmektedir. Bu parçacıkların, bağırsak mikrobiyotasının dengesini bozarak kronik inflamasyon, DNA hasarı ve buna bağlı hücrel değişiklikler yoluyla kanser oluşumuna katkıda bulunabileceği öne sürülmektedir. Kronik inflamasyondan kansere geçiş sürecinde MP'ler genellikle göz ardı edilen bir etken olsa da, son çalışmalar bu ilişkinin önemine dikkat çekmektedir. MP'lerin toksik etkileri, ekotoksiteden başlayarak bağırsak mikrobiyotası üzerindeki bozulmalara kadar geniş bir yelpazede incelenmiştir (1,3,5,6,9-11).

2.5. Mikroplastiklerin Azaltılması ve Önlenmesi İçin Stratejiler

MP'leri adsorbe ederek vücuttan uzaklaştırabilen yeni nesil probiyotiklerin, bağırsak sağlığı üzerinde olumlu etkiler sağlayabileceği belirtilmiştir. Yapılan çalışmalar, bazı spesifik probiyotik suşlarının MP parçacıkları bağlayabildiğini ve bunların atılımını kolaylaştırdığını ortaya koymuştur. Bu özellikleri sayesinde söz konusu probiyotikler, MP maruziyetinin zararlı etkilerine karşı koruyucu bir strateji olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca, MP'lere maruz kalan bireylerin bağırsak mikrobiyotasında plastikleri parçalayan genlerin varlığı da tespit edilmiştir (1-3,5,13,14,24).

2.6. Mikroplastikler ve Mikrobiyota Arasındaki Etkileşimlerin Ekolojik Boyutu

MP'ler ve kimyasal kirleticiler, üç seviyeli bir besin zincirinde mikrobiyota yapısını önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Yapılan bir araştırmada, MP'ler ile birlikte kullanılan deltametrinin, dafnidler, kızböcekleri ve yusufçuklardan oluşan bir besin zincirindeki mikrobiyota üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bulgular, bu kirleticilere maruz kalmanın hem doğrudan temas yoluyla hem de av-avcı ilişkisi aracılığıyla besin zincirinin üst düzey organizmalarında mikrobiyom değişikliklerine yol açtığını ortaya koymuştur (3,1,5,20,14,19,15).

Çevresel kirleticiler ile insan bağırsak mikrobiyotası arasında karmaşık ve çift yönlü bir etkileşim bulunmaktadır. MP'ler de dâhil olmak üzere çeşitli kirleticiler, bağırsak mikrobiyotasının kompozisyonunu ve işlevini bozarak sağlık üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilir. Öte yandan,

bağırsak mikrobiyotası da bu kirleticilerin metabolizmasını, biyoyararlanımını ve toksisitesini etkileyerek vücut üzerindeki etkilerini şekillendirebilir. MP'lere kronik olarak maruz kalan canlı türlerinde ise, mikrobiyota dengesinin bozulduğu ve bağırsak disbiyozisinin gelişebileceği gösterilmiştir (1-3,6,7,13,14,18,19).

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

MP'lerin toksik etkilerinin anlaşılması, mevcut araştırmaların derinlemesine incelenmesiyle birlikte, gelecekteki çalışmalar için önemli yollar açmaktadır. Mevcut literatür, MP maruziyetinin ekotoksikolojik etkilerden bağırsak mikrobiyotasında bozulmalara kadar geniş bir yelpazede zararlı sonuçlara yol açtığını açıkça ortaya koymaktadır. Özellikle, MP'ler bağırsak mikrobiyotası bileşimini ve çeşitliliğini değiştirerek disbiyozu neden olmaktadır (1,3,8,9,11). Bu değişiklikler, farelerde *Firmicutes* ve *Melainabacteria* popülasyonlarında artış, *Bacteroidetes* popülasyonlarında ise azalma şeklinde gözlemlenmiştir. Zehirli etkililiklerinin genellikle MP'lerin tipinden ziyade boyutlarına bağlı olduğu ve daha küçük parçacıkların daha ciddi mikrobiyota değişiklikleri ve organ hasarı indüklediği belirtilmiştir. Ayrıca, MP'lerin bağırsak mikrobiyotasının karbonhidrat, lipid ve amino asit metabolizması gibi işlevsel yollarını bozduğu ve oksidatif stres ile inflamatuvar yanıtları artırdığı gösterilmiştir (1,2,5,7,8,12,13,18).

Gelecekteki araştırmalar için kritik alanlar, mevcut çalışmalardaki boşlukları doldurmaya odaklanmalıdır. Kaynaklar, şu anki çalışmaların çoğunlukla polistiren (PS) MP'lere odaklandığını ve çevresel maruziyeti daha iyi yansıtmak için polietilen (PE), polipropilen (PP), polietilen tereftalat (PET) ve polivinil klorür (PVC) gibi diğer yaygın polimer türleri ile lifler ve fragmanlar gibi çeşitli MP şekillerinin incelenmesinin önemini vurgulamaktadır (1,3,5,8,10,11). Ayrıca, laboratuvar çalışmalarında gerçekçi çevresel konsantrasyonların ve uzun süreli maruziyet etkilerinin araştırılması gerekmektedir. İnsan popülasyonları üzerindeki araştırmaların "buzdağının görünen kısmı" olduğu ve daha güçlü klinik verilerle temel deneylerin bu spesifik ilişkileri ve mekanizmaları aydınlatmak için zorunlu olduğu belirtilmektedir (3,5,7,8,14). Bu bağlamda, mikrobiyota değişikliklerinin ötesinde, metagenomik ve metabolomik gibi çoklu-omik yaklaşımların MP maruziyetinin işlevsel sonuçlarını ve potansiyel biyobelirteçlerini kapsamlı bir şekilde anlamak için entegrasyonu hayati öneme sahiptir. Araştırma yöntemlerinin standardizasyonu, karşılaştırılabilir ve güvenilir sonuçlar elde etmek için de kritik bir ihtiyaç olarak belirlenmiştir (3,6,7,8,11,13,18).

Sonuç olarak, MP'lerin bağırsak mikrobiyotası üzerindeki karmaşık etkileşimlerini ve bunun insan sağlığı üzerindeki geniş kapsamlı sonuçlarını tam olarak anlamak için multidisipliner bir yaklaşım şarttır (3,4,10,14,19). Gelecekteki çalışmalar, MP maruziyetinin neden olduğu mikrobiyota disbiyozunun bağırsak-beyin eksenini üzerindeki etkileri ve metabolik sonuçlar arasındaki bağlantıları derinlemesine araştırmalıdır (2,6,13,14,18). Ayrıca, mikrobiyota kaynaklı kısa zincirli yağ asitleri üretimindeki bozulmaların potansiyel etkileri ve probiyotikler gibi terapötik müdahalelerin MP toksisitesini hafifletme potansiyeli de araştırılmalıdır (2,5,18). MP'lerin birikimi ile kanser gelişimi arasındaki potansiyel ilişki ve immün homeostazi disregülasyonu gibi daha ciddi sağlık sonuçları da gelecekteki araştırmaların odak noktası olmalıdır (1,7,9,14). Geniş ölçekli, uzun vadeli insan kohort çalışmaları ve farklı MP türlerinin biyoakümüülasyonu ve toksisite mekanizmalarının karşılaştırmalı analizi, kapsamlı risk değerlendirmeleri ve halk sağlığı politikalarının geliştirilmesi için şarttır (1,3,5,8,14).

“ MİKROPLASTİKLER VE MİKROBİYOTA” Başlıklı Makalenin Araştırma ve Etik Beyanı Bilgileri

Bu çalışma “Araştırma ve Yayın Etiği” değerlerine uygun olarak hazırlanmış ve intihal kontrol programında kontrol edilmiştir. Çalışmanın tüm sorumluluğu yazar(lar)a aittir.

Bilgilendirme	Bu çalışma, 4-6 Temmuz 2025 tarihinde gerçekleşen Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Uluslararası Multidisipliner Bilimsel Araştırma Kongresi'nde özet bildiri olarak sunulmuştur.
Yazar Çıkar Çatışması Beyanı	Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.
Finansal Destek	Bu çalışma için herhangi bir finansal destek alınmamıştır.
Yazar Katkı Oranı Beyanı	Yazarlar çalışmaya eşit oranda katkı sağlamıştır.
Teşekkür	Bu çalışmanın hazırlanmasında herhangi bir kişi, kurum veya projeden maddi ya da akademik destek alınmamıştır.
Etik Kurul Onay Belgesi	Bu çalışma için etik kurul onayı gerekmemektedir.
Ölçek İzni	Bu çalışmada herhangi bir ölçek kullanılmamıştır.

KAYNAKÇA

1. Aliya, S., Alhammedi, M., Ilangoan, S., Han, S., Tamang, S., Son, B., Lee, H. U., & Huh, Y. S. (2025). Microplastics: An emerging environmental risk factor for gut microbiota dysbiosis and cancer development? *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 7, 706-728.
2. Gałęcka, I., Rychlik, A., & Całka, J. (2025). Influence of selected dosages of plastic microparticles on the porcine fecal microbiome. *Scientific Reports*, 15(1), 1269.
3. Procopio, A. C., Soggiu, A., Urbani, A., & Roncada, P. (2025). Interactions between microplastics and microbiota in a One Health perspective. *One Health*, 101002.
4. Fackelmann, G., & Sommer, S. (2019). Microplastics and the gut microbiome: How chronically exposed species may suffer from gut dysbiosis. *Marine Pollution Bulletin*, 143, 193-203.
5. Teng, X., Zhang, T., & Rao, C. (2025). Novel probiotics adsorbing and excreting microplastics in vivo show potential gut health benefits. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1522794.
6. Chi, J., Patterson, J. S., Jin, Y., Kim, K. J., Lalime, N., Hawley, D., Lewis, F., Li, L., Wang, X., Campen, M. J., Cui, J. Y., & Gu, H. (2025). Metabolic Reprogramming in Gut Microbiota Exposed to Polystyrene Microplastics. *Biomedicine*, 13(2), 446.
7. Gao, B., Shi, X., Zhao, M., Ren, F., Xu, W., Gao, N., ... & Shen, W. (2025). Mixture Effects of Polystyrene Microplastics on the Gut Microbiota in C57BL/6 Mice. *ACS omega*, 10(8), 7597-7608.
8. Kadac-Czapska, K., Ciesielski, S., & Wiśniewska, A. (2024). Microplastics and Oxidative Stress—Current Problems and Prospects. *Antioxidants*, 13(5), 579.
9. Cheng, Y., Yang, Y., Bai, L., & Cui, J. (2024). Microplastics: an often-overlooked issue in the transition from chronic inflammation to cancer. *Journal of Translational Medicine*, 22(1), 959.
10. Demarquoy, J. (2024). Microplastics and microbiota: Unraveling the hidden environmental challenge. *World Journal of Gastroenterology*, 30(16), 2191–2194.
11. Bora, S. S., Gogoi, R., Sharma, M. R., Anshu, Borah, M. P., Deka, P., Bora, J., Naorem, R. S., Das, J., & Teli, A. B. (2024). Microplastics and human health: unveiling the gut microbiome disruption and chronic disease risks. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 14, 1492759.

12. Hasegawa, Y., Okamura, T., Ono, Y., Ichikawa, T., Saijo, Y., Nakanishi, N., Sasano, R., Hamaguchi, M., Takano, H., & Fukui, M. (2024). Oral exposure to high concentrations of polystyrene microplastics alters the intestinal environment and metabolic outcomes in mice. *Frontiers in Immunology*, 15, 1407936.
13. Sofield, C. E., Anderton, R. S., & Gorecki, A. M. (2024). Mind over microplastics: exploring microplastic-induced gut disruption and gut-brain-axis consequences. *Current issues in molecular biology*, 46(5), 4186-4202.
14. Niu, H., Liu, S., Jiang, Y., Hu, Y., Li, Y., He, L., Xing, M., Li, X., Wu, L., Chen, Z., Wang, X., & Lou, X. (2023). Are Microplastics Toxic? A Review from Eco-Toxicity to Effects on the Gut Microbiota. *Metabolites*, 13(6), 739.
15. Varg, J. E., Outomuro, D., Kuncze, W., Kuehrer, L., Svanbäck, R., & Johansson, F. (2022). Microplastic exposure across trophic levels: Effects on the host–microbiota of freshwater organisms. *Environmental Microbiome*, 17(1), 36.
16. Tamargo, A., Molinero, N., Reinosa, J. J., Alcolea-Rodriguez, V., Portela, R., Bañares, M. A., ... & Moreno-Arribas, M. V. (2022). PET microplastics affect human gut microbiota communities during simulated gastrointestinal digestion, first evidence of plausible polymer biodegradation during human digestion. *Scientific Report*, 12(1), 528.
17. Yang, W., Jannatun, N., Zeng, Y., Liu, T., Zhang, G., Chen, C., & Li, Y. (2022). Impacts of microplastics on immunity. *Frontiers in Toxicology*, 4, 956885.
18. Tu, P., Xue, J., Niu, H., Tang, Q., Mo, Z., Zheng, X., Wu, L., Chen, Z., Cai, Y., & Wang, X. (2023). Deciphering Gut Microbiome Responses upon Microplastic Exposure via Integrating Metagenomics and Activity-Based Metabolomics. *Metabolites*, 13(4), 530.
19. Giambò, F., Costa, C., Teodoro, M., & Fenga, C. (2022). Role-playing between environmental pollutants and human gut microbiota: A complex bidirectional interaction. *Frontiers in Medicine*, 9, 810397.
20. Shi, Z., Yao, F., Liu, Z., & Zhang, J. (2024). Microplastics predominantly affect gut microbiota by altering community structure rather than richness and diversity: A meta-analysis of aquatic animals. *Environmental Pollution*, 360, 124639.
21. Zhang, X., Wang, H., Peng, S., Kang, J., Xie, Z., Tang, R., ... & Liu, Y. (2022). Effect of microplastics on nasal and intestinal microbiota of the high-exposure population. *Frontiers in public health*, 10, 1005535.
22. Qiao, R., Deng, Y., Zhang, S., Wolosker, M. B., Zhu, Q., Ren, H., & Zhang, Y. (2019). Accumulation of different shapes of microplastics initiates intestinal injury and gut microbiota dysbiosis in the gut of zebrafish. *Chemosphere*, 236, 124334.
23. Fackelmann, G., Pham, C. K., Rodriguez, Y., Mallory, M. L., Provencher, J. F., Baak, J. E., & Sommer, S. (2023). Current levels of microplastic pollution impact wild seabird gut microbiomes. *Nature Ecology & Evolution*, 7(5), 698-706.
24. Nugrahapraja, H., Sugiyo, P. W. W., Putri, B. Q., Huang, L., Hafza, N., Götz, F., ... & Luqman, A. (2022). Effects of microplastic on human gut microbiome: detection of plastic-degrading genes in human gut exposed to microplastics—Preliminary study. *Environments*, 9(11), 140.