

Mikroplastiklerin İnsan Sağlığı ve İmmün Sistem Üzerine Etkileri: Yaşamın Erken Döneminde Maruziyet

Gamze DOĞDU^{1*}, Şeyda KARABÖRK², Mustafa DİLEK³

¹Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 14030, Bolu

²Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Tıbbi Mikrobiyoloji Anabilim Dalı, 14030, Bolu

³Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Anabilim Dalı, 14030, Bolu

¹<https://orcid.org/0000-0002-0278-8503>

²<https://orcid.org/0000-0002-9026-4485>

³<https://orcid.org/0000-0002-3802-0336>

*Sorumlu yazar: gamzedogdu@ibu.edu.tr

Derleme

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 17.04.2023

Kabul tarihi: 24.09.2023

Online Yayınlanma: 11.03.2024

Anahtar Kelimeler:

Mikroplastikler

İnsan maruziyeti

Yenidoğan

İmmün sistem

Erken gelişim dönemi

Çevre kirliliği

ÖZ

Mikroplastikler (MP'ler), potansiyel çevresel ve insan sağlığı riskleri oluşturmaları nedeniyle akademik, sosyal ve politik tartışmaların önemli konularından biridir. Hamilelik, bebeklik ve çocukluk dönemleri çevresel maruziyet açısından hassas dönemlerdir. Bununla birlikte, nano- ve mikroplastiklere (NMP'ler) maruz kalmanın sağlık üzerindeki etkileri geniş ölçüde araştırılmamıştır ve erken yaşamda maruz kalmanın etkilerine yönelik spesifik yöntemlerle yapılan çalışmalar literatürde sınırlıdır. MP'lerin başta yeni doğanlar olmak üzere çocuklar üzerindeki toksikolojik etkilerine yeterince dikkat edilmediği göz önünde bulundurularak bu derlemede konunun öneminin vurgulanması, gerekli önlemlerin alınması, toplumun ve konuyla ilgili sektörlerin bilinçlendirilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca, bu farkındalık sayesinde, yaşamın erken dönemlerinde plastiğe maruziyetin azaltılmasına yönelik fırsatlara vesile olacak tedbirlerle yönelik öneriler sunulmaktadır.

Effects of Microplastics on Human Health and the Immune System: Exposure in Early Life

Reviews

Article History:

Received: 17.04.2023

Accepted: 24.09.2023

Published online: 11.03.2024

Keywords:

Microplastics

Human exposure

Newborn

Immune system

Early development stage

Environmental pollution

ABSTRACT

Microplastics (MPs) are one of the important topics of academic, social, and political debates as they pose potential environmental and human health risks. Pregnancy, infancy, and childhood are sensitive periods for environmental exposure. However, the effects of exposure to nano- and microplastics (NMPs) on health have not been studied to a large extent, and studies with specific methods for the effects of exposure in early life are limited in the literature. Considering the lack of attention to the toxicological effects of microplastics on children, especially newborns, this review aims to emphasize the subject's importance, take necessary precautions, and raise awareness of society and related sectors. In addition, through this awareness, it offers suggestions for measures that will lead to opportunities to reduce exposure to plastic in the early stages of life.

To Cite: Doğdu G., Karabörk Ş., Dilek M. Mikroplastiklerin İnsan Sağlığı ve İmmün Sistem Üzerine Etkileri: Yaşamın Erken Döneminde Maruziyet. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(2): 902-923.

1. Giriş

Küresel plastik kirliliği, son 70 yıldan beri dünya çapında artan plastik üretimi sonucu günümüzde en ciddi çevre ve sağlık endişelerinden birini oluşturmaktadır (Campanale ve ark., 2020; Moreau ve ark.,

2021; Song ve ark., 2021; Callaghan ve ark., 2022). Küresel plastik üretimi 2019 yılında 368 milyon metrik tona (Mt) ulaşmış olup bunun 20 yıl içinde iki katına çıkacağı tahmin edilmektedir (Lebreton ve Andrady, 2019; PlasticsEurope, 2020). Birleşmiş Milletler (BM) Genel Kurulu'nun 70/1 sayılı kararı olan 2030 Gündemi'nin içerisinde yer alan 17 adet Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinden (SDGs) birisi olan plastiklerin çevreden uzaklaştırılması ve plastik üretimine bağlı sağlık risklerinden kaçınılması, özellikle hedeflerden 1, 2, 3, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14 ve 15 ile ilişkilidir (Walker, 2021). Mikroplastikler (MP'ler), boyutları 5 mm'den küçük ve dünyanın hemen her köşesinde bulunan plastik parçacıklardır (Carbery ve ark., 2018). Plastikler, hidrokarbonlardan ekstrakte edilen monomerlerin polimerizasyon işlemi tarafından oluşturulan sentetik organik polimerlerdir (Rios ve ark., 2007). Plastik veya sentetik organik polimerler, kömür, doğal gaz ve ham petrol gibi doğal, organik polimer malzemeler tarafından izolasyon veya polikondenzasyon prosesleriyle meydana gelirler (Phuong ve ark., 2016). Plastikler fiziksel ve kimyasal parçalanmaya karşı dirençli olduklarından dolayı kararlı bir yapıya sahiptir. Ayrıca, düşük yoğunlukları ve maliyetleri ile birleştiğinde korozyon direnci, onları muazzam çeşitlilikteki tüketici ürünlerinde kullanıma uygun hale getirir (Kannan ve Vimalkumar, 2021). MP'lerin, ağır metaller, polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH), poliklorlu bifeniller (PCB), organoklorlu pestisitler (OCP) ve farmasötikler ve ilaç endüstriyel katkı maddeleri olarak kullanılan polibromludifenil eterler (PBDE'ler) gibi bromlu alev geciktiriciler, kurşun ısı stabilizatörleri ve ftalat plastikleştiriciler gibi kirleticilerden oluşan bir kokteyl olan eser konsantrasyonlarda kimyasal kirleticileri absorbe ettiği bilinmektedir (Halden, 2010; Lithner ve ark., 2011; Rochman ve ark., 2015; Brennecke ve ark., 2016; Camacho ve ark., 2019). Plastik atıklar, kişisel bakım ürünlerindeki mikro boncuklar ve giysilerdeki sentetik lifler gibi çeşitli kaynaklardan gelmektedirler. Tüm bu özelliklerinin yanı sıra, MP'lerin son yıllarda çevre ve halk sağlığı açısından çeşitli tehditler oluşturduğu da bilinmektedir (Çelik ve ark., 2022). Özellikle MP'ler, iklim değişikliği, özellikle yaşamın erken dönemi olarak tarif edilen yenidoğanlar ve bebekler birbiriyle yakından ilişkili önemli konular olarak son yıllarda gündemde hararetle tartışılmaktadır (The Guardian, 2020; Open Access Government, 2022; Euronews.green, 2021).

Öncelikle "yenidoğan (infant)" ve "bebek (baby)" arasındaki temel farklılıkların tanımlanması yenidoğan (infant) bebekler üzerindeki MP'lerin etkilerinin tartışılması öncesinde oldukça önemlidir. Her ne kadar "yenidoğan (infant)" ve "bebek (baby)" terimleri küçük çocukları anlatmak için atıfta bulunurken kullanılsa da anlamlarında ve kullanımlarında ince farklılıklar bulunmaktadır. "Yenidoğan", bir çocuğun yaşamının ilk 4 haftasına (~ 28 gün) denk gelen en erken aşamasını ifade ederken, "bebek" yaklaşık iki veya üç yaşına kadar olan küçük çocukları ifade edebilen daha geniş bir terimdir. Her iki terim de yaşamın erken evrelerinde genç, bağımlı ve gelişmekte olan bireyleri tanımlamak için kullanılmaktadır (<https://www.who.int/westernpacific/health-topics/newborn-health>). Yenidoğanlar hem MP'lerin hem de iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı oldukça hassas oldukları için toplumun en savunmasız üyeleridir. MP'ler üzerine yapılan araştırmalar, MP'lerin balık ve kabuklu deniz hayvanları gibi canlılar tarafından alınabileceğini ve dokularında birikerek potansiyel

olarak insan sağlığı için risk oluşturabileceğini göstermiştir (Smith ve ark., 2018). Ayrıca, musluk suyunda, şişelenmiş suda ve hatta soluduğumuz havada bile MP'lerin bulunması da insanların plastik maruziyeti risklerini giderek arttırmaktadır (Zhang ve ark., 2020). Bunların yanı sıra, MP'lerin vücuttaki hormonları düzenleyen endokrin sistemi bozabileceği ve potansiyel olarak bebeklerde gelişimsel ve üreme sorunlarına neden olabileceği gösterilmiştir. Fakat nano ve mikroplastiklere (NMP'ler) maruz kalmanın sağlık üzerindeki etkileri henüz büyük ölçüde araştırılmamış veya bu konuda spesifik olarak belirlenmiş metotlarla yapılan özellikle erken yaşam maruziyeti açısından incelemelere literatürde yeterince rastlanılmamıştır (Sripada ve ark., 2022). Hamilelik, yenidoğan dönemi, bebeklik ve çocukluk, çevresel maruziyet için hassas dönemlerdir. Yenidoğanın MP'lere maruz kalmasının etkileri, devam eden bir araştırma konusudur ve sonuçların boyutu henüz tam olarak anlaşılammış olsa da, birkaç potansiyel etki tanımlanmıştır (Amran ve ark., 2022):

*Gelişimsel ve Üremeyle İlgili Endişeler: Yenidoğanın MP'lere maruz kalması, üreme ve endokrin sistemlerinin gelişimini etkileyebilmektedir. Bu parçacıklar, hormonal dengeyi bozabilecek, potansiyel olarak gelişimsel anormalliklere ve yaşamın ilerleyen dönemlerinde üreme sorunlarına yol açabilecek çeşitli katkı maddeleri, kimyasallar ve kirleticiler içerdiklerinden bu etkilerden söz edilebilir.

*Enflamasyon ve Bağışıklık Yanıtı: Yenidoğanların bağışıklık sistemleri hala gelişmektedir ve MP'ler vücutta enflamasyonu tetikleyebilir. Bu parçacıklara maruz kalmak, bağışıklık sistemi işlev bozukluğuna yol açarak yenidoğanları enfeksiyonlara ve uzun süreli bağışıklıkla ilgili kalıcı bozukluklara karşı daha duyarlı hale getirebilir.

*Nörolojik Etkiler: Erken yaşıta MP'lere maruz kalma, potansiyel nörolojik etkilerle ilişkilendirilmiştir. Bazı araştırmalar, bu parçacıkların nöral gelişimi ve davranışı etkileyebileceğini, potansiyel olarak öğrenme güçlüklerine, bilişsel bozukluklara ve değişen beyin işlevlerine yol açabileceğini öne sürmektedir.

*Gastrointestinal Problemler: Yenidoğanlar genellikle doğal bir keşif davranışı olarak nesnelere ağızlarına sokarlar. MP'ler yutulursa, potansiyel olarak gastrointestinal rahatsızlığa, iltihaplanmaya ve tahrişe neden olabilirler. Ayrıca, bu parçacıklar vücuda sızabilen zararlı kimyasalları da taşıyabilmektedirler ve bu durumda yine gastrointestinal sistem üzerinde sıkıntılara yol açabilmektedir.

*Endokrin Bozunma: MP'ler, bilinen endokrin bozucular olan ftalatlar ve bisfenoller gibi kimyasallar içerir. Bu maddeler de hormonların düzgün çalışmasına müdahale edebilmektedir ve metabolik bozukluklar ve gelişimsel anormallikler de dahil olmak üzere bu durum bir dizi sağlık sorunuyla ilişkilendirilmiştir.

*Potansiyel Uzun Vadeli Etkiler: Yenidoğanın MP'lere maruz kalması, yaşamın ilerleyen dönemlerinde ortaya çıkmayabilecek uzun vadeli sonuçlar doğurabilir. Bu parçacıklar zamanla dokularda birikebildikleri için kanser, kardiyovasküler hastalıklar ve metabolik bozukluklar gibi kronik sağlık sorunlarına katkıda bulunabilirler. Bu nedenle MP'lerin vücutta nasıl biriktiğinin tespiti

ve/veya bu birikimin nasıl önlenebileceğine dair alınacak önlemler ve yapılacak deneysel çalışmalar da yine önem arz etmektedir.

*Nesiller Arası Etkiler: MP'lere yenidoğan maruziyetinin etkilerinin maruz kalan neslin ötesine geçebileceğine dair artan bir endişe vardır. Araştırmalar, bu parçacıkların gen ifadesini düzenleyen epigenetik modifikasyonları etkileyerek gelecek nesilleri etkileyip etkilemeyeceği üzerinde yoğunlaşmaktadır. Özellikle kadmiyum, MP'ler ve bu iki karışıma maruz kalmanın *Daphnia magna* adı verilen bir tür su piresinin hayatta kalması, büyümesi, beslenme ve yaşam öyküsü üzerindeki etkileri üzerinde yol almaktadır. Mikroplastiklere maruz kalma, çevresel değişikliklere duyarlılığı nedeniyle ekotoksikoloji çalışmalarında yaygın olarak kullanılan bir model organizma olan *Daphnia magna* MP konusunda sıklıkla çalışılan bu canlı gibi suda yaşayan organizmalar üzerinde MP'ler çeşitli etkilere sahip olabilmektedir (Amran ve ark., 2022).

Bu hususta yaşanan tüm endişeleri gidermek için, yenidoğanların mikroplastik maruziyetini en aza indiren stratejiler uygulamak önem arz etmektedir. Plastik atıkları azaltmak, su ve hava filtreleme sistemlerini geliştirmek ve tüketici ürünlerinde MP'lerin kullanımına ilişkin düzenlemeleri uygulamak için bu uygulamaların hayata geçirilmesi gerekmektedir.

Yukarıda bahsedilen tüm bu nedenler çerçevesinde bu derleme çalışmasındaki asıl amaç, MP'lerin kısaca çevre ve insan sağlığı üzerine ciddi etkilerine kısaca değinerek MP'ler ile ilgili çocuklar özellikle de yenidoğanlar üzerinde yapılan toksikolojik araştırmalara henüz yeterince odaklanılmadığı düşünülerek bu konunun öneminin vurgulanması ve gerekli önlemlerin alınması ile, konu ile ilgili sektörler, karar vericiler ve toplumun her kesiminde ferdin bilinçlendirilmesini sağlamaktır. Bu sayede, yaşamın erken dönemlerinde plastiğe maruziyetin azaltılması için fırsatlara vesile olacak tedbirlere yönelik öneriler sunmaktır.

1.1. Mikroplastiklerin Tanımı ve Çevresel Etkileri

MP terimi, ilk olarak Thompson ve ark. (2004) tarafından bilimsel olarak çok küçük plastik parçacıkları ve lifleri olarak tanımlanır. MP'ler, "suda çözünmeyen, çevreye ve/veya biyolojik sistemlere girdikten sonra, biyotik ve abiyotik ayrışma yoluyla ve dönüşüm süreçleriyle küçük parçacıklara bölünerek, düzenli veya düzensiz şekilli ve boyutu 1 µm ila 5 mm arasında değişen sentetik katı parçacıklar veya polimerik matrisler" olarak tanımlanmaktadır (Frias ve Nash, 2018).

Plastikler ortamda bozulma devam ettikçe, plastik atık kütesinin ve/veya MP oranının 2060 yılına kadar %13'e ulaşacağı ve artmaya devam edeceği tahmin edilmektedir (Sharma ve ark., 2020). MP'ler çevresel kaynaklarına göre birincil veya ikincil olarak sınıflandırılır. Birincil MP'ler, kasıtlı olarak <5 mm boyutlarda üretilerek yüz temizleyicilerdeki mikro boncuklar/fırçalar, duş jelleri ve ovma süngerleri (bulaşık yıkama) ve ayrıca giysilerden mikrofiberler (bulaşık bezleri ve havlular) gibi uygulamalarda kullanılır. İkincil MP'ler ise plastik polimerlerden aşınma, korozyon, foto oksidasyon (kimyasal) ve biyolojik dönüşüm ve erozyon dahil olmak üzere normal ayrışma süreçleri yoluyla meydana gelirler (Kannan ve Vimalkumar, 2021).

Günümüzde en az 45 farklı plastik türü ticari kullanımdadır. Bunlar; polipropilen (PP), polietilen (PE), polietilen tereftalat (PET), polistiren (PS), poliüretan (PU), polivinil klorür (PVC) ve polikarbonat (PC)'tır (Li vd., 2016).

MP'ler çevrede yüzlerce ve hatta plastiğin özelliğine göre binlerce yıl kararlılık gösterebilirler. MP'ler esas olarak kara kökenli kaynaklardan üretilip (~%80), ayrıca deniz kaynaklı kaynaklardan (~%20) da oluşmakta olup (Barboza ve ark., 2019, Zhang ve ark., 2021b), hafiflik, dayanıklılık, batmazlık, şekil ve renk özelliklerinden dolayı uzun mesafeler boyunca hareket edebilmektedir (Karbalaei ve ark., 2018). Bunların yanı sıra, MP'ler okyanuslarımızda, nehirlerimizde ve depolama sahalarımızda biriktiğinden, plastik kirliliği dünya çapında büyüyen bir endişe kaynağıdır (Sana ve ark., 2020).

MP'ler tek başlarına önemli bir çevresel tehdit oluşturup, plastik parçacıklar ayrıca katkı maddeleri ve diğer üretim sırasında polimerlere dahil edilen performans arttırıcı kimyasalları da serbest bırakabilmekte ve böylece önemli riskler de oluşturmaktadır. Plastik ürünlerin ayrıca 40.000'den fazla kimyasaldan oluşan bir kokteyl içerdiği ve bazı plastiklerin kimyasallarının %80'inden fazlasını suya sızdırdığı ve canlıların maruz kalma potansiyelinin de vurgulandığı bildirilmiştir (Zimmermann ve ark., 2020; Zimmermann ve ark., 2021). MP'lerin çevresel kirleticilerle etkileşime girerek bu kirleticilerin taşıyıcıları gibi hareket etmesi, MP'lerin ikincil kirlilik yaratmasına neden olmaktadır ve böylece biyotayı ve ilgili ekolojik işlevi tehdit ederler. Diğer bir ifadeyle, MP'ler ekosistemlerde toksik kimyasallar taşırlar, böylece taşıyıcı vektörler olarak hizmet ederler (Campanale ve ark., 2020). Son yıllarda bazı çalışmalar MP'lerin organik ve inorganik kirleticilerin taşıyıcısı olarak rol oynadığını belirtmiştir (Wagner and Lambert, 2018; Li ve ark., 2018; Kinigopoulou ve ark., 2022). MP'ler, boyalar, ağır metaller, vb. gibi diğer kimyasal kirleticilerle etkileşime girebilmektedir. Bu etkileşimler, MP'lerin, yüzeylerine tutunan organik ve inorganik kirleticilerin birikmesi ve taşınması için vektörler olarak hareket etmesine izin verir. Sonuç olarak, MP'ler çevredeki diğer kirleticilerin biyolojik birikimini yoğunlaştırarak kirlilik potansiyellerini etkiler. MP'ler organik kirleticileri adsorbe edebilir ve/veya absorbe edebilir ve böylece MP'nin sorpsiyon potansiyeli artar (Ricardo ve ark., 2021). Birçok çalışma, yüzey suyu da dahil olmak üzere tortu, atık su, deniz suyu, agroekosistemler, Arktik ve Antarktika deniz buzu, atmosfer, şişelenmiş içme suyu ve belirli gıda ürünleri gibi çeşitli çevresel matrislerdeki MP'lerin her yerde ortaya çıktığını bildirmiştir (Cincinelli ve ark., 2017; Campanale ve ark., 2020; Kannan ve Vimalkumar, 2021). MP'ler üzerine yapılan araştırmalar, başlıca gıda ve su kaynaklarına ve MP'lerin okyanustan insanlara besin zinciri yoluyla transferine odaklanmıştır. Örneğin, hayvanların çevredeki MP'leri yutması (suyun plastik atıklarla kirlenmesi sonucu balıkların bu plastikleri yutarak bünyelerine alması ve besin zinciri yoluyla MP'lerin insanlara taşınması), gıda üretimi sırasında kirlenme ve/veya plastik ambalajlarla kirlenme yoluyla yaygın olarak tüketilen gıda maddelerine MP'ler entegre edilmektedir. Fakat MP'lerin plastik ürünlerden doğrudan serbest bırakılması hakkında literatürde yeterince araştırma mevcut değildir (Cox ve ark., 2019). Plastik kaplara sahip iki özel ürün (polietilen tereftalat-PET su şişeleri ve PET/naylon çay poşetleri) günlük kullanım koşulları altında yüksek düzeyde ortama MP bırakmaktadır

(Schymanski ve ark., 2018). Su ortamındaki özellikle okyanus çevresi MP kirliliği çalışmaları ise, on yıldan fazla bir süredir önemli ölçüde dikkat çekmekte olup, deniz ürünleri, bal, süt, bira, sofraya tuzu, içme suyu ve havada MP'nin tespit edilmesinin ardından MP'nin insan sağlığı üzerindeki etkileri oldukça yakın zamanda ilgi odağı olmaya başlamıştır (Cox ve ark., 2019).

2. Mikroplastiklerin İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri

Çalışmamız erken dönemdeki MP etkisinin özellikle üzerinde durmaktadır ancak MP konusu daha çok genel insan sağlığı üzerine yoğunlaşmıştır. Özellikle ülkemizde derleme olarak MP'lerin ele alındığı çalışma sayıları 80'e yakın olsa da sadece insan sağlığı üzerine derleme makale olarak yazılmış 4 temel derleme makalesi dikkat çekmiştir ve bu hususta çalışmamız içerisine eklenerek belirtilmiştir. Uluslararası literatüre bakıldığında ise "microplastic exposure and early life" anahtar kelimeleriyle 60'a yakın çalışma göze çarparken bu çalışmaların 21 tanesi ki çoğunlukla hayvanlar üzerinde in vivo olarak yapılmış 20 civarı literatüre rastlanmıştır. MP'lerin sağlık üzerindeki etkilerinin boyutu henüz tam olarak anlaşılammış olsa da araştırmalar, MP'lerin insan sağlığı üzerinde çeşitli olumsuz etkileri olabileceğini göstermiştir (Cox ve ark., 2019; Zhang ve ark., 2020; Cho ve Choi, 2021; Sripada ve ark., 2022). Karmaşık fiziksel ve kimyasal özellikleri (örneğin, polimer, boyut, şekil, yük) nedeniyle MP'ler insan sağlığını olumsuz etkileyebilmekte, ancak bu maruziyetler ve sağlık üzerindeki etkileri ya büyük ölçüde araştırılmamış ya da bilinmemektedir (WHO, 2019). Plastik atıklar kaçınılmaz olarak çevreye karışmakta ve çevresel maruziyet sonucu plastiklerin mekanik ve fizikokimyasal özelliklerinde bozulma meydana gelmekte ve boyutları <5 mm olduğunda MP olarak kabul edilen plastik parçaların oluşmasına yol açmaktadır. Plastik atıkların çevrede bozunması, MP'lerin oluşumuna katkıda bulunan önemli bir süreç olarak kabul edilmektedir. Çok yavaş bir hızda olsa da, çevresel ayrışma plastiklerin parçalanmasına neden olmakta, bu da biyolojik ve/veya abiyotik süreçler nedeniyle polimer özelliklerinde değişikliklere yol açmaktadır (Zhang ve ark., 2021b). Bu nedenle, plastikler hem partiküllere hem de kimyasallara maruz kalma kaynağıdır ve sağlık etkileri muhtemelen hem fiziksel hem de kimyasal toksisite tarafından yönlendirilecektir (Sripada ve ark., 2022). MP'lere maruz kalan organizmalar üzerindeki olumsuz etkiler fiziksel ve kimyasal olarak iki kategoriye ayrılabilir. İlki MP'lerin partikül boyutu, şekli ve konsantrasyonu ile, ikincisi ise MP'lerle ilişkili tehlikeli kimyasallarla ilgilidir. MP'ler iki tür kimyasal içerebilmektedir: (i) plastiklerden kaynaklanan katkı maddeleri ve polimerik hammaddeler (örneğin, monomerler veya oligomerler) ve (ii) çevredeki ortamdan emilen kimyasallar (Campanale ve ark., 2020).

İnsanların MP'lere maruz kalmasının ana kaynakları ise solunma, yutma ve cilt temasıdır. Solunan havadaki MP'ler esas olarak sentetik tekstillerden, toz sentetik kauçuk lastikler ve şehir tozundan kaynaklanır (Prata, 2018; Carbery ve ark., 2018). İnsan derisi, MP'leri ve doğrudan geçebilecek diğer kirlenmeleri önlemesine rağmen ter bezleri, açık cilt yaralanmaları veya saç folikülleri ile vücuda giriş olabilmektedir (Schneider ve ark., 2009). MP'ler, insan vücudunda hassas alanlarda (örneğin, sınırlı uzaklaştırma işlemlerine sahip alveol bölgesi) çok sayıda mevcutsa, birikme ve inflamatuvar

reaksiyonlara neden olma yeteneği gösterebilir (Hinds, 1999). Küçük boyutta (farklı engeller/organlar için farklı boyutlarda) olmaları nedeniyle biyolojik bariyerler yoluyla yer değiştirirler (Riediker ve ark., 2019; Amato-Lourenço ve ark., 2020) ve kimyasal karışımların taşıyıcıları olarak hareket ederek kimyasal maruziyetlere katkıda bulunur (Campanale ve ark., 2020; Eriksson ve ark., 2020). Literatürdeki çalışmalar, hayvanlar aracılığıyla çevredeki MP'lerin yutularak bünye alınması ve gıda üretimi esnasında yapılan plastik ambalajlaması ile de MP'lerin sıklıkla tüketilen gıda ürünlerine geçtiğini göstermektedir (Santillo ve ark., 2017). Kirletilmiş deniz ürünlerinin yenilmesinden, diğer çeşitli yiyecek ve kirletilmiş içme sularından gastrointestinal sisteme gelmektedir. Boyutu 130 µm çapından küçük MP'ler, insan dokularına geçme potansiyeline sahip olup lokalize bir bağışıklık tepkisini tetikleyerek plastik üretimi sırasında eklenen toksik kimyasallar, monomer bileşenleri ve ağır metaller ve PCB'ler gibi kalıcı organik kirleticiler ve DDT dahil çevreden absorplanan kirleticileri serbest bırakır (Wright ve Kelly, 2017). MP'lerin yüzey hidrofobikliğiyle beraber yüzey alanı: hacim oranının artması, çevredeki PCB, DDT ve PAH gibi organik maddelere kolayca bağlanması anlamına gelmektedir. DDT, Stockholm Sözleşmesi ile kullanımı yasaklanan bir kalıcı organik kirletici olup, bozulmaya kararlı, topraktaki yarılanma ömürleri uzun ve bozulmaya karşı oldukça dirençlidir. DDT'nin bir kalıcı organik kirletici olduğu, hidrofobik yapıda olmalarından dolayı organizmaların lipit yapılarında ve yağ dokularında hızlı bir şekilde birikebilmesi ve taşınabilirliği göz önüne alındığında tüm çevresel ortamlarda bulunması ve ölçülebilir limitlerde olması şaşırtıcı bir durum değildir (Sevim, 2014). Son zamanlarda, Çin'deki plajlardan alınan plastik peletlerde 2,4 mg/g'a kadar PAH ve 0,1 mg/g DDT rapor edilmiştir (Zhang ve ark., 2015). Genellikle büyük plastik polimerlerin inert olduğu ve büyüklüklerinden dolayı bağırsak sistemi tarafından emilmeyeceği bu nedenle de metabolize edilmeden atıldığı bilinmektedir. MP'ler oksidatif hasarı teşvik ederek bir dizi tehlikeli etkiye (lipid peroksidasyonu ve DNA zinciri hasarı), antioksidatif ve metabolik sistemlerde değişime (süperoksit dismutaz, katalaz ve glutatyon peroksidaz) ve indükleyici nörotoksisiteye (asetilkolinesteraz aktivitesini inhibe ederek) sebep olabilmektedir (Prokić ve ark., 2019; Du ve ark., 2020; Burgos-Aceves ve ark., 2021).

2.1. Mikroplastiklerin Yenidoğan Sağlığı Üzerine Etkileri

Hamilelik ve çocukluk, son yıllarda yapılan araştırmaların ortaya koyduğu gibi, çevresel toksik maddelere karşı savunmasız olunan dönemlerdir (Landrigan ve Etzel, 2013). Özellikle 36 aylıktan küçük çocuklar, fizyolojik farklılıklar (örneğin yetişkinlere göre daha düşük metabolizma kapasitesi) ve el-ağız davranışı gibi farklı maruz kalma kalıpları nedeniyle kimyasal maddeye maruz kalma konusunda daha hassas oldukları kabul edilir (US EPA, 2005). Düşük miktarlarda bile olsa tehlikeli kimyasallara erken yaşta maruz kalma, tüm yaşam süresi boyunca insan sağlığını etkileyebilir (Vizcaino ve ark., 2014). Bebeklik ve çocukluk döneminde, emikleme ve el-ağız etkinliği gibi çocuğa özgü davranışlarla çocuklar, çevreye yetişkinlerden farklı şekillerde maruz kalırlar (Moya ve ark.,

2004). Sonuçta çevredeki diğer kirleticilerde de olduğu gibi MP'ler orantısız olarak en küçükler tarafından alınır.

Son yıllarda, insan plasentasındaki, mekonyum ve bebek dışkılarındaki MP'lerin tanımlanması, intrauterin yani bir bebeğin gelişme geriliği olması MP'ye maruz kalmasıyla bu durumun ortaya çıkması yönündeki endişeleri arttırmıştır (Schwabl ve ark., 2019; Ragusa ve ark., 2021; Zhang ve ark., 2021; Braun ve ark., 2021). Zhang ve ark. (2021a) yaptıkları çalışmada, New York Eyaleti'nden üç mekonyum, altı bebek ve on yetişkin dışkılarından toplanan örneklerde PET ve PC konsantrasyonları nicel olarak belirlenmiştir. PET ve PC'ler bazı mekonyum numunelerinde (konsantrasyonda kantifikasyon sınırının altında, sırasıyla [$<LOQ$] ila 12,000 ve $<LOQ-110$ ng/g kuru ağırlıkça) ve tüm bebek dışkısı örneklerinde (PET: 5700-82,000 ng/g, medyan, 36,000 ng/g; PC: 49-2100 ng/g, medyan, 78 ng/g) bulunmuştur. PET ve PC'ler bebeklerin beslenme düzenlerinde sırasıyla 83,000 ve 860 ng/kg-bw/gün olarak elde edilirken bu miktar yetişkinlerden oldukça yüksektir (PET: 5800 ng/kg-bw/gün; PC: 200 ng/kg-bw/gün). Bu durumda, bebeklerin yetişkinlerden daha yüksek seviyede MP'ye maruz kaldığı söylenebilmektedir.

0 ila 36 ay arasındaki çocukların ağız davranışı üzerine gözlemlere dayalı birkaç çalışmada, oyuncaklar da dahil olmak üzere çocukların büyük çeşitlilikte nesnelere ağızlarına götürdükleri bilinmektedir (US EPA, 2005). Bebeklerde ve üç yaşına kadar olan çocuklara yönelik plastik oyuncaklarda ve çocuk ekipmanlarında bulunan kimyasal maddeler ile ilişkili riskleri değerlendiren çok az çalışma vardır. Plastik oyuncaklar, genellikle bir veya daha fazla polimerin plastikleştiriciler, alev geciktiriciler, antioksidanlar gibi çoklu katkı maddeleri ile birleştirilmesiyle meydana gelirler. Bu bileşenlerden bazıları polimerlere kovalent olarak bağlı olmadığından, plastikler, ftalatlar veya UV filtreleri gibi endokrin bozucular olarak bilinen kimyasalları saldı gösterilmiştir (Zimmermann ve ark., 2019). Son zamanlarda, PPMP'ler, ısı işleminden sonra mililitrede 16200 parçacık kadar yüksek oranda biberonlardan salındığı tespit edilmiş olup bunun da bebek sağlığı üzerinde MP'lerin bilinmeyen bir risk oluşturabileceğini öne sürmektedir (Li ve ark., 2020). Özellikle sterilizasyon ve yüksek sıcaklıktaki suya maruz kalma, biberonlardan PPMP'lerin salınımını önemli ölçüde arttırmıştır. Polipropilen bebek biberonları (PP-IFB'ler), bebek maması hazırlanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Mekanik sürtünme kuvveti PP'yi parçalayabildiğinden MP'lerin PP-IFB'lerden salınım potansiyeli vardır (Li ve ark., 2020). Song ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada, su şişeleri yapmak için PC ve biberonların yapımı içinse polifenilen sülfon reçineleri kullanılarak biberon ve su şişelerinden 100 açma/kapama döngüsü sırasında 53 ila 393 parçacık/mL arasında değişen miktarlarda mikropartiküller saldı belirtilmiştir. Rhie ve ark. (2014) çalışmalarında, bir endokrin bozucu kimyasal da olan BPA'ya biberonla beslenen bebeklerin maruziyetini araştırmıştır. Sonuçta biberonla beslenen bebeklerin serumlarındaki BPA seviyesinin ($n=30$) emzirilen bebeklerdekinden ($n=30$) daha yüksek çıktığı gösterilmiştir ($96,58 \pm 102,36$ 'e karşı $45,53 \pm 34,05$ pg/mL, $P = 0,014$). Zink ve ark. (2023) kadmiyum (Cd), MP'ler ve karışımlarına maruziyetin *Daphnia magna*'nın hayatta kalması, büyümesi, beslenmesi ve yaşam öyküsü üzerindeki etkilerini inceledikleri çalışmada Cd'ye maruz

kalma besleme verimliliğini engellerken, MP'lere maruz kalma durumunda ise yavruların büyüme oranlarını engellendiğini tespit etmişlerdir. Cd ve MP'ye birlikte maruz kalan *Daphnia magna*, hem beslenmede hem de üreme öncesi büyüme hızında önemli düşüşler göstermiştir. Sonuçta MP tek başına ne kadar zararlı ise yanına eklenen herhangi bir ağır metalin bu etkisini arttığı gözlemlenmiştir. Huang ve ark. (2022) farelerin gebelik ve emzirme dönemlerinde yaptıkları bir çalışmada ise annenin NMP'lere maruziyetinin erkek fare yavrularında karaciğer ve testislerde toksisiteye neden olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bu sonuç NMP'lerin memeli yavruları üzerinde oluşturabileceği zararlı etkilere dair yeni veriler elde edilmesine neden olmuştur. Polistiren MP'lere doğum öncesi ve doğum sonrası maruz kalmanın, testis gelişim bozukluğuna neden olduğu ve farelerde erkek fertilitatesini etkilediği Hunag ve ark. (2022) tarafından yapılan çalışma sonrasında Zhao ve ark. (2023) tarafından yine fareler üzerinde yapılan çalışmada da gösterilmiştir. Roshanzadeh ve ark. (2021) vücudun çeşitli organlarını etkiledikleri düşünülen MP'lerin yenidoğan kalbi üzerindeki etkisini merak ettikleri çalışmada yenidoğan yavruların daha az gelişmiş kalplerinin, yetişkinlerin olgun kalplerine kıyasla beslenme esnasında MP'lere karşı daha savunmasız olması muhtemel olduğundan sıçanlarda in vitro olarak kalp kasılmasını senkronize ederek elektrofizyolojik aktivite değerlendirmesi yapmışlardır. Çalışmada kullanılan yöntemler sayesinde hem yenidoğan hem bebek hem de yetişkin kalplerinde biriken MP kirliliğinin önemli risklerinin fark edilebilir hale gelebileceği sonucuna varmışlardır. Erken dönem MP maruziyetinin anlatan tüm çalışmaların ortak noktası MP'lerin sağlık üzerindeki etkilerinin göz ardı edilemeyecek kadar ciddi sonuçlar doğurabileceği üzerinedir.

2.2.Mikroplastiklerin İmmün Sistem Üzerindeki Etkileri

İklim değişikliği, öncelikle karbondioksit ve metan gibi sera gazlarının salınmasının neden olduğu, Dünya'nın iklim modellerinde uzun vadeli değişiklikleri ifade etmektedir (Ray ve Ming, 2020). Yenidoğanlar hem MP'lerin hem de iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı oldukça yüksek hassasiyet göstermektedir. Sıcak hava dalgaları ve kasırgalar gibi artan sıcaklıklar ve aşırı hava olayları, bebek ölümlerini ve hastalık riskini artırabilmektedir. İklim değişikliği, yenidoğan sağlığını etkileyebilecek bulaşıcı hastalıkların dağılımında da değişikliklere yol açabilmektedir. Ayrıca, iklim değişikliğinin neden olduğu hava kirliliğinin yaygınlığının artması, bebeklerde solunum yolu hastalıkları riskinin de artışıyla sonuçlanabilir. Genel olarak, MP'lerin ve iklim değişikliğinin bebek sağlığı için önemli riskler oluşturduğu açıktır. Bu nedenle, bireylerin, hükümetlerin ve şirketlerin çevre üzerindeki etkilerini azaltmak ve bu küresel sorunlara çözümler yaratmak için harekete geçilmesi önemlidir.

Okyanuslarda, nehirlerde, toprakta ve hatta soluduğumuz havada bile keşfedilen her yerde olabilen bu MP'lerin deniz yaşamına ve çevreye zarar verdiği bilinmekle birlikte, bağışıklık sistemimizi de olumsuz yönde etkileyebileceklerine dair artan kanıtlar vardır. MP'lerin yutulmasının, organizmalarda bağışıklık sistemlerini zayıflatabilecek inflamasyonlara ve oksidatif strese neden olduğu gösterilmiştir (Segovia-Mendoza ve ark., 2020; Cho ve Choi, 2021). Bağışıklık sistemi, vücudu zararlı patojenlere

karşı savunmaktan sorumludur ve işlevindeki herhangi bir aksama, enfeksiyonlara ve hastalıklara karşı duyarlılığın artmasına neden olabilir. İnsanlarda, MP'lerin yutulması ise, bağışıklık sisteminin hücresel bağışıklıktan sorumlu T-hücreleri gibi hücrelerinin seviyelerinin düşmesi ve C-reaktif protein gibi inflamatuvar belirteçlerin artmasıyla ilişkilendirilmiştir. Bu değişiklikler bulaşıcı hastalıklar ve diğer sağlık sorunları riskini de artırabilir (Segovia-Mendoza ve ark., 2020). Ayrıca, BPA ve ftalatlar gibi plastik yapımında kullanılan kimyasalların da immünotoksik etkileri olduğu gösterilmiştir. Bu kimyasallar, bağışıklık hücrelerinin normal işleyişini bozabilir ve proinflamatuvar ve antiinflamatuvar sitokinler arasındaki dengeyi değiştirebilir. Bu durum kanser, kalp hastalığı ve otoimmün bozukluklar dahil olmak üzere bir dizi sağlık sorunuyla bağlantılı kronik inflamasyona yol açabilir. Liu ve ark. (2022), MP'lerin bağışıklık sistemi işlevinde önemli bir rol oynayan bağırsak mikrobiyomunu bozabileceğini göstermiştir. Bağırsak mikrobiyomu, bakteriler, mantarlar ve virüsler dahil olmak üzere trilyonlarca mikroorganizmadan oluşmaktadır. Bu mikroorganizmalar, yiyecekleri sindirmeye, temel vitaminleri üretmeye ve bağışıklık sistemi işlevini düzenlemeye yardımcı olur. Bağırsak mikrobiyomunun bozulması, bağışıklık sisteminin zayıflamasına ve kronik hastalık riskinin artmasına neden olabilir. Liu ve ark. (2023) ise çalışmasında, MP'lerin hamile kadınlarda plasentayı geçebildiğini ve karaciğer ve akciğerler dahil olmak üzere cenin organlarında birikebildiğini saptamıştır. Bu, gelişmekte olan bağışıklık sistemine potansiyel olarak zarar verebilir ve bebeklerde enfeksiyon ve diğer sağlık sorunları riskini artırabilir. Plastik kirliliğinin çevre üzerindeki etkisi literatürde ayrıntılı bir şekilde ortaya koyulmuştur. Ancak araştırmalar, plastik kirliliğinin bebeklerin bağışıklık sistemi de dahil olmak üzere insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olabileceğini göstermeye henüz başlamamıştır (Liu ve ark., 2023). Bir bebeğin doğumundan itibaren bağışıklık sistemi yeni gelişmektedir. Bu nedenle de bebekler çevresel toksinlerin zararlı etkilerine karşı daha hassastır. Plastik kirliliği, hastalığa neden olan mikroorganizmaların yayılmasına da katkıda bulunabilir (Rist ve ark., 2018; Liu ve ark., 2023). Çevredeki plastik atıklar, daha sonra temas veya yutma yoluyla insanlara aktarılabilen bakteri ve diğer patojenler için bir üreme alanı sağlayabilir. Bu, özellikle enfeksiyonlara karşı daha savunmasız olan bebekler ve küçük çocuklar için bulaşıcı hastalık riskini artırabilir. Ayrıca plastik kirliliği, özellikle plastik parçacıkları tüketen deniz hayvanlarında gıdanın besin değerini de etkileyebilir. Bu, sağlıklı büyüme ve gelişme için gerekli besinleri temin edemeyeceklerinden, bu hayvanları tüketen bebeklerde yetersiz beslenmeye yol açabilir. Genel olarak, plastik kirliliğinin bebeklerin bağışıklık sistemi üzerindeki etkisi de giderek artan bir endişe kaynağıdır. Plastik tüketimini azaltmak, daha iyi atık yönetimi uygulamaları uygulamak ve alternatif, çevre dostu malzemeler geliştirmek gibi önlemler alınarak bu olumsuz etkilerin önüne geçilebilir. Plastik kirliliğiyle ilgili temel endişelerden biri, BPA ve ftalatlar gibi bağışıklık sistemi hücrelerinin gelişimine ve işlevine müdahale edebilecek toksik kimyasallar salma potansiyelidir. Çalışmalar, bu kimyasallara maruz kalmanın, T ve B lenfositleri gibi bağışıklık hücrelerinin sayısında azalmaya ve enfeksiyonlara yanıt verme yeteneklerinde azalmaya yol açabileceğini göstermiştir. Ayrıca, plastik kirliliği bebeklerde alerji ve otoimmün hastalık riskini de artırabilir. Çevredeki plastik parçacıklara

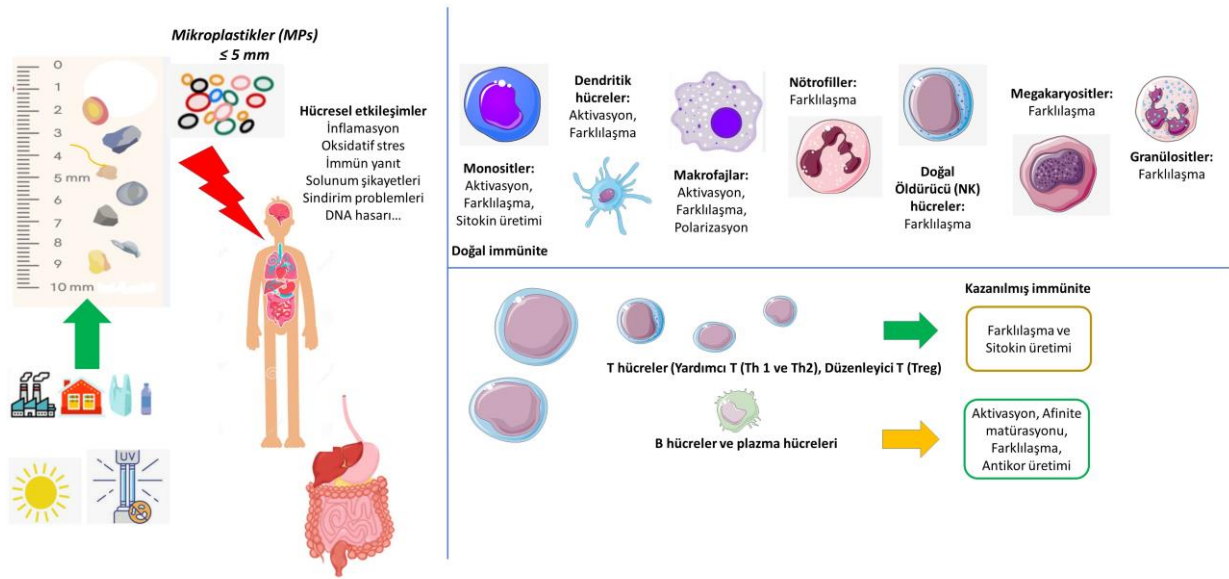
maruz kalmak, bağışıklık sisteminin aşırı tepki vermesine neden olarak antikor üretiminin artmasına ve alerji ve otoimmün hastalık geliştirme riskinin artmasına neden olabilir. Bu immünotoksik etkilere ek olarak, plastik kirliliğinin bebekler üzerinde solunum sorunları ve gelişimsel gecikmeler dahil olmak üzere başka olumsuz sağlık etkileri de olabilir. Plastik parçacıkların solunması, özellikle solunum yolu enfeksiyonlarına daha duyarlı olan bebeklerde solunum sorunlarına yol açabilir. Ayrıca, plastik kirliliğine maruz kalmak, plastik kirliliğinin saldığı zehirli kimyasallar gelişen sinir sistemini etkileyebileceğinden, özellikle beyin gelişiminde gelişimsel gecikmelere yol açabilir (Segovia-Mendoza ve ark., 2020; Zhang ve ark., 2023).

2.3.Mikroplastiklerin doğal bağışıklık sistemi üzerindeki etkisi

Doğal bağışıklık sistemi, vücudumuza giren patojenlere ve yabancı maddelere karşı oluşan ilk savunma hattıdır. Deri gibi fiziksel engellerden ve beyaz kan hücreleri, makrofajlar ve doğal öldürücü hücreler gibi hücresel bileşenlerden oluşur. Bu hücreler, patojenleri ve yabancı maddeleri tespit etmek ve ortadan kaldırmak için birlikte çalışarak vücudumuzu enfeksiyonlardan ve hastalıklardan korur (Sattler, 2017). Son araştırmalar, MP'lerin doğal bağışıklık sisteminin işlevi üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olabileceğini göstermiştir (Liu ve ark., 2019). Jeon ve ark. (2021) çalışmalarında, MP'lere maruz kalmanın, makrofajlar gibi doğal bağışıklık sisteminin hücrelerinde inflamasyon ve oksidatif strese neden olabileceğini saptamıştır (Şekil 1). Bu durum, makrofajların patojenleri ve yabancı maddeleri fagositoz (yutma ve yok etme) yeteneğini bozarak enfeksiyon riskinin artmasına neden olabilir. Chen ve ark. (2020) ise, MP'lerin balıkların solungaçlarında bağışıklıkla ilgili genlerin gen ifadesinde değışikliklere neden olabileceğini göstermiştir. Araştırmacılar, MP'lere maruz kalmanın, doğal bağışıklık yanıtında yer alan genlerin ifadesini azaltabileceğini, bunun da bağışıklık sisteminin zayıflamasına ve enfeksiyonlara karşı duyarlılığın artmasına yol açabileceğini göstermişlerdir.

2.4.Mikroplastiklerin adaptif/kazanılmış bağışıklık sistemi üzerindeki etkisi

Adaptif bağışıklık sistemi, patojenlerin ve yabancı maddelerin spesifik olarak tanınmasından ve hedeflenmesinden sorumludur. Patojenleri ve yabancı maddeleri tespit etmek ve ortadan kaldırmak için birlikte çalışan ve böylece vücudumuzu enfeksiyonlardan ve hastalıklardan koruyan T hücreleri, B hücreleri ve antikorlardan oluşur (Sattler, 2017; McComb ve ark., 2019).



Şekil 1. Mikroplastiklerin insan sağlığı ve immün sistem üzerindeki etkileri

Son araştırmalar, MP'lerin adaptif bağışıklık sisteminin işlevi üzerinde de tıpkı doğal bağışıklık üzerinde olduğu gibi olumsuz bir etkiye sahip olabileceğini göstermiştir. Gu ve ark. (2020) çalışmalarında MP'lerin T hücrelerinin gen ifadesini değiştirebildiğini ve bunun da zayıflamış bir bağışıklık tepkisine yol açtığını ve MP'lere maruz kalmanın, T hücrelerinin enfeksiyonlara yanıt verme yeteneğini bozabilen, T hücresi aktivasyonu ve farklılaşmasında yer alan genlerin ekspresyonunu azaltabileceğini saptamıştır (Gu ve ark., 2020) (Şekil 1).

3. Sonuç

Son on yıl içerisinde dünya genelinde plastik çeşitliliğine olan maruziyet giderek artmakta olup (Kannan ve Vimalkumar, 2021; Amran ve ark., 2022; ourworldindata.org/plastic-pollution) özellikle kadınlar ve çocuklar bu durumdan en yüksek oranda olumsuz yönde etkilenmektedir. Yenidoğanın mikroplastiklere maruz kalmasının etkileri karmaşık ve gelişen bir çalışma alanıdır. Kesin etkileri hala çözülüyor olsa da, bu küçük plastik parçacıkların yenidoğan sağlığı ve gelişimi için potansiyel riskler oluşturduğu açıktır. Mikroplastığe maruz kalmanın toplumumuzun en savunmasız üyeleri üzerindeki potansiyel olumsuz etkilerini daha iyi anlamak, azaltmak ve önlemek için acil eylem gereklidir. Bu hususta yaşanan tüm endişeleri gidermek için, yenidoğanların mikroplastik maruziyetini en aza indiren stratejiler uygulamak önem arz etmektedir. Plastik atıkları azaltmak, su ve hava filtreleme sistemlerini geliştirmek ve tüketici ürünlerinde MP'lerin kullanımına ilişkin düzenlemeleri uygulamak için bu uygulamaların hayata geçirilmesi gerekmektedir. Hamilelik ve emzirme dönemlerinde annelerin MP maruziyetini en aza indirmesinin de önem arz ettiği görülmektedir. Ayrıca, risklerin kapsamını tam olarak anlamak ve etkili azaltma stratejileri geliştirmek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

MP'lere maruz kalınmasının yenidoğanların savunma/bağışıklık sistemlerini de etkilediği ancak bu noktada yapılan çocuklara özgü toksikoloji test ve yöntemlerinin de eksik kaldığı veya yeterli olmadığı görülmektedir. MP'lerin doğrudan insan sağlığı üzerindeki etkileri konusunda hala önemli bir veri eksikliği vardır. Bundan dolayı gelecekteki çalışmalar, çevresel maruziyeti gerçekçi bir şekilde yansıtan boyutlarda inflamasyona ve hücrel hasara odaklanarak MP'lerin insan sağlığı üzerindeki doğrudan etkilerini hedeflemelidir. Yaşamın erken dönemlerinde MP'lere maruz kalınmasının giderek çoğalması endişe uyandırıcı boyutlara ulaşmaktadır. MP'ler hakkında toplum genelindeki bilgi eksikliği ivedilikle halk sağlığı üzerinde alınması gereken tedbirleri/önlemleri yavaşlatmaktadır. MP maruziyeti ve toksisitesine dair geçerli kanıtların ve genel epidemiyolojik verilerin tespit edilmesi, risk değerlendirmesi ve risk yönetimi belirlenmesi ile bu hususta yapılacak araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Sağlık ve immün sistem üzerinden değerlendirildiğinde ise, MP'lerin hücrel döngüler, oksidatif stres, doğal ve adaptif immün yanıt üzerinde de etki gösteren bir çevre sorunu olduğu aşikârdır. Bu olumsuz etkinin boyutunu tam olarak anlamak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulsa da plastiğe olan bağımlılığımızı azaltmak ve MP'lere maruz kalmamızı en aza indirmek için harekete geçmemiz gerektiği açıktır. Bunun içinde vakit kaybetmeden plastik ürünlerin döngüsel ekonominin belki de en önemli getirisi olacak geri kazanım/geri dönüşüm işlemlerine maruz kalması ve sürdürülebilir ve çevre dostu uygulamaları teşvik eden destekleyici eğitim politikalarının belirlenmesi gerekmektedir.

MP kirliliği sorununu ele almak için çeşitli önlemler ve tavsiyeler önerilmiş veya uygulanmıştır. Bu hususta uygulanacak bilecek bazı temel yaklaşımlar maddeler halinde sıralanmıştır:

***Yönetmelik ve Mevzuat:**

-Yasaklar ve Kısıtlamalar: Hükümetler, MP'lerin kişisel bakım ürünlerinde, kozmetik ürünlerinde, temizlik ürünlerinde ve diğer tüketim mallarında kullanımına yasaklar veya kısıtlamalar getirebilir. Birçok ülke ve bölgede, belirli ürünlerde MP'lerin kullanımını kısıtlama önlemleri başlamış durumdadır.

-Etiketleme Gereksinimleri: MP içeren ürünlerin açık bir şekilde etiketlenmesini zorunlu kılmak, tüketicilerin bilinçli seçimler yapmasına yardımcı olabilir ve şirketleri MP kullanımını azaltmaya veya ortadan kaldırmaya teşvik edebilir.

***Ürün Reformu:**

-MP'lere Alternatifler: Endüstrileri, ürünlerinde MP'leri doğal veya biyolojik olarak parçalanabilen alternatiflerle değiştirmeye teşvik etmek çözüm sunabilir. Örneğin, kayısı kabuğu, yulaf ezmesi veya pirinç kepeği gibi doğal eksfoliantlar, kişisel bakım ürünlerindeki mikro boncukların yerini alabilir.

***Atık su arıtma:**

-İyileştirilmiş Filtrasyon Sistemleri: Atık su arıtma tesislerini, MP'leri su kütlelerine salınmadan önce atık sudan yakalayıp çıkarabilen gelişmiş filtreleme sistemlerini içerecek şekilde yükseltilebilir.

Yağmur Suyu Yönetimi: MP akışın su kütlelerine girmesini önlemek için etkili yağmur suyu yönetimi uygulamaları uygulanabilir.

***Eğitim ve Sosyal Yardım:**

-Halkı Bilinçlendirme Kampanyaları: Eğitim programları, kampanyalar ve medya yoluyla MP'lerin kaynakları ve etkileri hakkında kamuoyu farkındalığı artırılabilir.

-Tüketici Eğitimi: Tüketiciler çeşitli ürünlerde MP'lerin varlığı konusunda eğitilip alternatifleri seçmeleri konusunda teşvik edilebilir.

***Plastik Atık Yönetimi:**

-Plastik Kullanımını Azaltma: Daha az plastik ürün, MP üretimi için daha az fırsat anlamına geldiğinden, genel olarak plastik tüketiminin azaltılması teşvik edilebilir.

Uygun İmha: Plastik atıkların çevreye girmesi ve MP'lere dönüşmesini önlemek için uygun imha uygulamaları vurgulanabilir.

***Araştırma ve İzleme:**

-Bilimsel Çalışmalar: MP'lerin farklı ekosistemlerdeki kaynaklarını, dağılımını ve etkilerini daha iyi anlamak için araştırmalar projeler ile desteklenebilir.

-İzleme Programları: Su kütlelerindeki MP kirlilik seviyelerini izlemek ve hafifletme çabalarının etkinliğini değerlendirmek için izleme programları oluşturulabilir.

***Uluslararası iş birliği:**

-Küresel Anlaşmalar: MP kirliliğinin sınırlar ötesinde ele alınması ve en iyi uygulamaların paylaşılması için anlaşmalar ve yönergeler geliştirmek üzere uluslararası iş birlikleri yapılabilir.

***İnovasyon ve Teknoloji:**

-Mikroplastik Filtrasyon Teknolojileri: Atık su ve yüzey akışı gibi çeşitli kaynaklardan MP'leri yakalamak için yeni teknolojiler geliştirilip uygulama aşamasına geçilebilir.

-Plastik Atık Geri Dönüşümü: Plastik atıkları en aza indirmek ve MP'lere dönüşmesini önlemek için gelişmiş plastik geri dönüşüm teknolojilerine yatırım yapmak önerilebilir.

***Kurumsal sorumluluk:**

-Gönüllü Taahhütler: Endüstrileri, ürünlerinden ve tedarik zincirlerinden MP'leri azaltma veya ortadan kaldırma taahhüdünde bulunmaya teşvik etme çalışmaları yapılabilir.

-Genişletilmiş Üretici Sorumluluğu: MP kirliliğin uygun şekilde atılması ve önlenmesi de dahil olmak üzere, ürünlerinin tüm yaşam döngüsünden üreticileri sorumlu tutmak alınabilecek önlemler arasında yer alabilir.

***Paydaşlar Arası İş birliği:**

Devlet-Sanayi Ortaklıkları: MP kirliliği sorununu toplu olarak ele almak için hükümetler, endüstriler, akademi ve sivil toplum kuruluşları arasındaki iş birliği teşvik edilebilir.

Özellikle MP'ye bolca maruz kalınan bebek biberonlarında TSE belgeli, cam ürünlerin kullanılması veya sıcaklık içermeyen UV ışığı gibi sterilizasyon yöntemlerinin tercih edilmesi, bebek oyuncaklarında tahta veya pamuktan yapılmış doğal ürünlerin kullanılmasının teşvik edilmesi hayati önem taşımaktadır. Ancak burada ışığa, özellikle ultraviyole (UV) ışığa maruz kalmanın, genellikle fotodegradasyon olarak adlandırılan bir olgu olan plastikler ve mikroplastikler üzerinde önemli etkilere sahip olabileceğini de bilerek bu sterilizasyon yöntemini kullanmaktır. UV ışığı ve diğer ışık biçimleri, fotolitik bozunma adı verilen bir işlemle bu polimer zincirlerini daha küçük parçalara ayırabilecek bir yöntem olarak tercih edilebilir. UV ışınlarının MP oluşumunu engel olabilmesi için de belirli öneriler fayda sağlayabilir. Plastik üreten endüstriler plastiğin UV bozulmasına karşı direncini artırmak için üretim sırasında UV stabilizatörleri ve katkı maddeleri kullanabilir. Güneş ışığına maruz kalacak ürünler için UV direnci daha iyi olan plastikler seçilebilir. Doğrudan UV ışınlarından korumak için plastik ürünlerin yüzeyine koruyucu kaplamalar, boyalar veya filmler uygulanarak UV ışınına karşı bir bariyer görevi görülebilir. UV ışığına doğrudan maruz kalmayı azaltmak için plastik nesneleri gölgeli veya korunaklı alanlara yerleştirmek alınabilecek önlemler arasındadır. Çöpe atılan plastikler UV ışığına maruz kalabileceğinden ve MP oluşumuna katkıda bulunabileceğinden, plastiklerin ve plastik ürünlerin uygun şekilde imha edildiğinden emin olunmalıdır.

Bu önlemler ve tavsiyeler, birleştirildiğinde ve belirli bağlamlara göre uyarlandığında, MP'lerin çevreye salınmasının ve etkisinin azaltılmasına katkıda bulunulabilir. Etkili çözümler ve politikalar uygulamak için ise hükümetlerin, endüstrilerin, araştırmacıların ve halkın birlikte çalışması önemlidir. Sonuç olarak MP'lerin insan ve çevre sağlığı üzerindeki etkilerine ilişkin bilgi boşluklarının doldurulması öncelikle kaçınılmazdır. Yaşamın her alanında daha az MP sağan ve daha az plastik üreten malzemeler gibi daha güvenli alternatiflerin (yeniden kullanılabilir çanta ve malzemelerin kullanılması gibi) geliştirilmesinin ve ayrıca multidisipliner alanlarda birlikte çalışılıp yeni çözümler üretmemizin sağlığımızı ve gezegen sağlığını da koruyabileceği düşüncesindeyiz.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Amato-Lourenço LF., Dos Santos Galvão L., de Weger LA., Hiemstra PS., Vijver MG., Mauad T. An emerging class of air pollutants: potential effects of micro-plastics to respiratory human health? *Science of the Total Environment* 2020; 749: 141676.
- Amran NH., Zaid SSM., Mokhtar MH., Manaf LA., Othman S. Exposure to microplastics during early developmental stage: Review of Current Evidence. *Toxics* 2022; 10(10): 597.
- Barboza LGA., Lopes C., Oliveira P., Bessa F., Otero V., Henriques B., Guilhermino, L. Microplastics in wild fish from North East Atlantic Ocean and its potential for causing neurotoxic effects, lipid oxidative damage, and human health risks associated with ingestion exposure. *Science of the Total Environment* 2020; 717: 134625.
- Braun T., Ehrlich L., Henrich W., Koepfel S., Lomako I., Schwabl P., Liebmann B. Detection of microplastic in human placenta and meconium in a clinical setting. *Pharmaceutics* 2021; 13(7): 921.
- Brennecke D., Duarte B., Paiva F., Cacador I., Canning-Clode J. Microplastics as vectors for heavy metal contamination from the marine environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 2016; 178: 189–195.
- Burgos-Aceves MA., Abo-Al-Ela HG., Faggio C. Physiological and metabolic approach of plastic additive effects: immune cells responses. *Journal of Hazardous Materials* 2021; 404: 124114.
- Callaghan B., McCormack C., Tottenham N., Monk C. Evidence for cognitive plasticity during pregnancy via enhanced learning and memory. *Memory* 2022; 30(5): 519-536.
- Camacho M., Herrera A., Gómez M., Acosta-Dacal A., Martínez I., Henríquez-Hernández L., Luzardo OP. Organic pollutants in marine plastic debris from Canary Islands beaches. *Science of the Total Environment* 2019; 662: 22–31.
- Campanale C., Massarelli C., Savino I., Locaputo V., Uricchio VF. A detailed review study on potential effects of microplastics and additives of concern on human health. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2020; 17(4): 1212.
- Carbery M., O'Connor W, Palanisami T. Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health. *Environmental International* 2018; 115: 400-409.
- Chen Q., Lackmann C., Wang W., Seiler TB., Hollert H., Shi H. Microplastics lead to hyperactive swimming behaviour in adult zebrafish. *Aquatic Toxicology* 2020; 224: 105521.
- Cho YM., Choi KH. The current status of studies of human exposure assessment of microplastics and their health effects: a rapid systematic review. *Environmental Analysis Health and Toxicology* 2021; 36(1): e2021004-0.
- Cincinelli A., Scopetani C., Chelazzi D., Lombardini E., Martellini T., Katsoyiannis A., Fossi MC., Corsolini S. Microplastic in the surface waters of the Ross Sea (Antarctica): Occurrence, distribution and characterization by FTIR. *Chemosphere* 2017; 175: 391-400.

- Cox KD., Covernton GA., Davies HL., Dower JF., Juanes F., Dudas SE. Human consumption of microplastics. *Environmental Science & Technology* 2019; 53(12): 7068-7074.
- Çelik E., Yüksel D., Turgay Ö. Farklı ekosistemlerde mikroplastik kirlilik: Oluşum, toksisite ve riskler. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(3): 1815-1842.
- Du J., Xu S., Zhou Q., Li H., Fu L., Tang J., Wang Y., Peng X., Xu Y., Du X. A review of microplastics in the aquatic environment: distribution, transport, ecotoxicology, and toxicological mechanisms. *Environmental Science and Pollution Research International* 2020; 27: 11494–11505.
- Eriksson AC., Andersen C., Kraus AM., Nøjgaard JK., Clausen PA., Gudmundsson A., Wierzbicka A., Pagels J. Influence of airborne particles' chemical composition on SVOC uptake from PVC flooring—time-resolved analysis with aerosol mass spectrometry. *Environmental Science and Technology* 2020; 54(1): 85–91.
- Euronews.green. Babies are full of microplastics, new research shows <https://www.euronews.com/green/2021/10/01/babies-are-full-of-microplastics-new-research-shows> [Erişim tarihi: 01 October 2021].
- Frias J., Nash R. Microplastics: Finding a consensus on the definition. *Marine Pollution Bulletin* 2018; 138: 145-147.
- Gu W., Liu S., Chen L., Liu Y., Gu C., Ren HQ., Wu B. Single-cell RNA sequencing reveals size-dependent effects of polystyrene microplastics on immune and secretory cell populations from zebrafish intestines. *Environmental Science and Technology* 2020; 54(6): 3417-3427.
- Halden RU. Plastics and health risks. *Annual Review of Public Health* 2010; 31: 179–294.
- Hinds WC. *Aerosol technology: Properties, behavior, and measurement of airborne particles*. 2nd ed. New York, NY: John Wiley & Sons 1999.
- <https://ourworldindata.org/plastic-pollution>
- Huang T., Zhang W., Lin T., Liu S., Sun Z., Liu F., Yuan Y., Xiang X., Kuang H., Yang B., Zhang D. Maternal exposure to polystyrene nanoplastics during gestation and lactation induces hepatic and testicular toxicity in male mouse offspring. *Food and Chemical Toxicology* 2022; 160: 112803.
- Jeon S., Lee DK., Jeong J., Yang SI., Kim JS., Kim J., Cho WS. The reactive oxygen species as pathogenic factors of fragmented microplastics to macrophages. *Environmental Pollution* 2021; 281: 117006.
- Kannan K., Vimalkumar KA. Review of Human exposure to microplastics and insights into microplastics as obesogens. *Frontiers in Endocrinology* 2021; 12.
- Karbalaei S., Hanachi P., Walker TR., Cole M. Occurrence, sources, human health impacts and mitigation of microplastic pollution. *Environmental Science and Pollution Research* 2018; 25: 36046-36063.

- Kinigopoulou V., Pashalidis I., Kalderis D., Anastopoulos I. Microplastics as carriers of inorganic and organic contaminants in the environment: A review of recent progress. *Journal of Molecular Liquids* 2022; 350: 118580.
- Landrigan PJ., Etzel RA. *Textbook of children's environmental health*. Oxford, UK: Oxford University Press, 2013.
- Lebreton L., Andrady A. Future scenarios of global plastic waste generation and disposal. *Palgrave Communications* 2019; 5: 1–11.
- Li D., Shi Y., Yang L., Xiao L., Kehoe DK., Gun'ko YK., Boland JJ., Wang JJ. Microplastic release from the degradation of polypropylene feeding bottles during infant formula preparation. *Nature Food* 2020; 1: 746–754.
- Li J., Qu X., Su L., Zhang W., Yang D., Kolandhasamy P., Li D., Shi H. Microplastics in mussels along the coastal waters of China. *Environmental Pollution* 2016; 214: 177–184.
- Li J., Zhang K., Zhang H. Adsorption of antibiotics on microplastics. *Environmental Pollution* 2018; 237: 460–467.
- Lithner D., Larsson A., Dave G. Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition. *Science of the Total Environment* 2011; 409: 3309–3324.
- Liu S., Guo J., Liu X., Yang R., Wang H., Sun Y., Bo C., Dong R. Detection of various microplastics in placentas, meconium, infant feces, breastmilk and infant formula: A pilot prospective study. *Science of The Total Environment*, 2023; 854: 158699.
- Liu, S., Liu, X., Guo, J., Yang, R., Wang, H., Sun, Y., Bo C., Dong R. The association between microplastics and microbiota in placentas and meconium: The first evidence in humans. *Environmental Science and Technology* 2022.
- Liu Z., Yu P., Cai M., Wu D., Zhang M., Chen M., Zhao Y. Effects of microplastics on the innate immunity and intestinal microflora of juvenile *Eriocheir sinensis*. *Science of the Total Environment*, 2019; 685: 836-846.
- McComb S., Thiriot A., Akache B., Krishnan L., Stark F. Introduction to the Immune System. In: Fulton, K., Twine, S. (eds) *Immunoproteomics. Methods in Molecular Biology* 2019; 2024. Humana, New York, NY.
- Moreau J., Gatimel N., Lippi Y., Tavenier G., Fauque P., Guilleman M, Naylies C., Huesca A., Gayrard V., Parinaud J., Leandri RD. Impact of the polycarbonate strippers used in assisted reproduction techniques on embryonic development. *Human Reproduction* 2021; 25: 36(2): 331-339.
- Moya J., Bearer CF., Etzel RA. Children's behavior and physiology and how it affects exposure to environmental contaminants. *Pediatrics* 2004; 113(suppl 4): 996–1006.

- Open Access Government. Microplastics found in placenta and newborns <https://www.openaccessgovernment.org/microplastics-babies/128723/> [Erişimtarihi: 1 December 2022].
- Phuong NN., Zalouk-Vergnoux A., Poirier L., Kamari A., Châtal A., Mouneyrac C., Lagarde F. Is there any consistency between the microplastics found in the field and those used in laboratory experiments? *Environmental Pollution* 2016; 211: 111–123.
- Plastics Europe: Plastics - The Facts 2020. <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2020/> [Erişim tarihi: 29.09.2022].
- Prata JC. Airborne microplastics: consequences to human health? *Environmental Pollution* 2018; 234:115–126.
- Prokić MD., Radovanović TB., Gavrić JP., Faggio C. Ecotoxicological effects of microplastics: examination of biomarkers, current state and future perspectives. *Trends in Analytical Chemistry* 2019; 111: 37–46.
- Ragusa A., Svelato A., Santacroce C., Catalano P., Notarstefano V., Carnevali O., Papa F., Rongioletti MCA., Baiocco F., Draghi S., D'Amore E., Rinaldo D., Matta M., Giorgini E. Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. *Environmental International* 2021; 146: 106274.
- Ray C., Ming X. Climate change and human health: A review of allergies, autoimmunity and the microbiome. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2020; 17(13): 4814.
- Rhie YJ., Nam HK., Oh YJ., Kim HS., Lee KH. Influence of bottle-feeding on serum bisphenol levels in infants. *The Korean Academy of Medical Sciences* 2014; 29: 261-264.
- Ricardo IA., Alberto EA., Silva Júnior AH., Macuvele DLP., Padoin N., Soares C., Riella HG., Starling MCVM., Trovó AG. A critical review on microplastics, interaction with organic and inorganic pollutants, impacts and effectiveness of advanced oxidation processes applied for their removal from aqueous matrices. *Chemical Engineering Journal* 2021; 424: 130282.
- Riediker M., Zink D., Kreyling W., Oberdörster G., Elder A., Graham U., Lynch I., Duschl A., Ichihara G., Ichihara S., Kobayashi T., Hisanaga N., Umezawa M., Cheng TJ., Handy R., Gulumian M., Tinkle S., Cassee F. Particle toxicology and health-where are we? *Particle and Fibre Toxicology* 2019; 16(1): 19.
- Rios LM., Moore C., Jones PR. Persistent organic pollutants carried by synthetic polymers in the ocean environment. *Marine Pollution Bulletin* 2007; 54: 1230–1237.
- Rist S., Carney Almroth B., Hartmann NB., Karlsson TM. A critical perspective on early communications concerning human health aspects of microplastics. *Science of the Total Environment* 2018; 1(626): 720-726.
- Rochman CM., Tahir A., Williams SL., Baxa DV., Lam R., Miller JT., Teh FC., Werorilangi S., Teh SJ. Anthropogenic debris in seafood: plastic debris and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption. *Science Reports* 2015; 5: 14340.

- Roshanzadeh A., Oyunbaatar NE., Ganjbakhsh SE., Park S., Kim DS., Kanade PP., Lee S., Lee DW., Kim ES. Exposure to nanoplastics impairs collective contractility of neonatal cardiomyocytes under electrical synchronization. *Biomaterials*. 2021; 278: 121175.
- Sana SS., Dogiparthi LK., Gangadhar L., Chakravorty A., Abhishek N. Effects of microplastics and nanoplastics on marine environment and human health. *Environmental Science and Pollution Research International* 2020; 27(36): 44743-44756.
- Santillo D., Miller K., Johnston P. Microplastics as contaminants in commercially important seafood species: Microplastics in Seafood. *Integrated Environmental Assessment and Management* 2017; 13(3): 516–521.
- Sattler S. The role of the immune system beyond the fight against infection. *Advances in Experimental Medicine and Biology* 2017; 1003: 3-14.
- Schneider M., Stracke F., Hansen S., Schaefer UF. Nanoparticles and their interactions with the dermal barrier. *Dermato-Endocrinology* 2009; 1: 197–206.
- Schwabl P., Köppel S., Königshofer P., Bucsics T., Trauner M., Reiberger T., Liebmann B. Detection of various microplastics in human stool. *Annals of Internal Medicine* 2019; 171(7): 453–457.
- Schymanski D., Goldbeck C., Humpf HU., Fürst P. Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: release of plastic particles from different packaging into mineral water. *Water Research* 2018; 129: 154-162.
- Segovia-Mendoza M., Nava-Castro KE., Palacios-Arreola MI., Garay-Canales C., Morales-Montor J. How microplastic components influence the immune system and impact on children health: Focus on cancer. *Birth Defects Research* 2020; 112(17): 1341-1361.
- Sevim P. Organik katkılı toprakta yıllanmış DDT'nin Kabakgillerde birikiminin incelenmesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2014.
- Sharma S., Basu S., Shetti NP., Nadagouda MN., Aminabhavi TM. Microplastics in the environment: Occurrence, perils, and eradication. *Chemical Engineering Journal* 2020; 408: 127317.
- Smith M., Love DC., Rochman CM., Neff RA. Microplastics in seafood and the implications for human health. *Current Environmental Health Reports* 2018; 5(3): 375-386.
- Song K., Ding R., Sun C., Yao L., Zhang W. Microparticles and microplastics released from daily use of plastic feeding and water bottles and plastic injectors: potential risks to infants and children in China. *Environ Science and Pollution Research International* 2021; 28(42): 59813-59820.
- Sripada K., Wierzbicka A., Abass K., Grimalt JO., Erbe A., Röllin HB., Weihe P., Díaz GJ., Singh RR., Visnes T., Rautio A., Odland JØ, Wagner M. A children's health perspective on nano- and microplastics. *Environmental Health Perspectives* 2022; 130(1): 15001.
- The Guardian. Microplastics revealed in the placentas of unborn babies <https://www.theguardian.com/environment/2020/dec/22/microplastics-revealed-in-placentas-unborn-babies> [Erişim tarihi: 22 December 2020].

- Thompson RC., Olsen Y., Mitchell RP., Davis A., Rowland SJ., John AWG, McGonigle D., Russell AE. Lost at sea: where is all the plastic? *Science* 2004; 304: 838–838.
- US EPA. Guidance on selecting age groups for monitoring and assessing childhood exposures to environmental contaminants. National Center for Environmental Assessment, Washington, DC, EPA/630/P-03/003F November 2005.
- Vizcaino E., Grimalt JO., Glomstad B., Fernández-Somoano A., Tardón A. Gestational weight gain and exposure of newborns to persistent organic pollutants. *Environmental Health Perspectives* 2014; 122(8): 873–879.
- Wagner M., Lambert S. Freshwater microplastics. Emerging environmental contaminants? In *The Handbook of Environmental Chemistry*; Springer Open: Cham, Switzerland, 2018; 58.
- Walker TR. (Micro)plastics and the UN sustainable development goals. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry* 2021; 30: 100497.
- WHO. Microplastics in Drinking Water. 2019. <https://apps.who.int/iris/rest/bitstreams/1243269/retrieve> [Erişimtarihi: 24 December 2021].
- Wright SL., Kelly FJ. Plastic and human health: A Micro Issue? *Environmental Science and Technology* 2017; 51(12): 6634–6647.
- Zhang J., Wang L., Trasande L., Kannan K. Occurrence of polyethylene terephthalate and polycarbonate microplastics in infant and adult feces. *Environmental Science & Technology Letters* 2021a; 8(11): 989-994.
- Zhang K., Hamidian AH., Tubic A., Zhang Y., Fang JKH., Wu C., Lam PKS. Understanding plastic degradation and microplastic formation in the environment: A review. *Environmental Pollution* 2021b; 274: 116554.
- Zhang Q., Liu L., Jiang Y., Zhang Y., Fan Y., Rao W., Qian X. Microplastics in infant milk powder. *Environmental Pollution* 2023; 5(323): 121225.
- Zhang Q., Xu EG., Li J., Chen Q., Ma L., Zeng EY., Shi H. A review of microplastics in table salt, drinking water, and air: direct human exposure. *Environmental Science and Technology* 2020; 54(7): 3740-3751.
- Zhang W., Ma X., Zhang Z., Wang Y., Wang J., Wang J., Ma D. Persistent organic pollutants carried on plastic resin pellets from two beaches in China. *Marine Pollution Bulletin* 2015; 99 (1-2): 28-34.
- Zhao T., Shen L., Ye X., Bai G., Liao C., Chen Z., Peng T., Li X., Kang X., An G. Prenatal and postnatal exposure to polystyrene microplastics induces testis developmental disorder and affects male fertility in mice. *J Hazard Mater.* 2023; 445: 130544.
- Zimmermann L., Bartosova Z., Braun K., Oehlmann J., Volker C., Wagner M. Plastic products leach chemicals that induce invitrotoxicity under realistic use conditions. *Environmental Science and Technology* 2021; 55(17): 11814–11823.

- Zimmermann L., Dierkes G., Ternes TA., Völker C., Wagner M. Benchmarking the in vitro toxicity and chemical composition of plastic consumer products. *Environmental Science and Technology* 2019; 53(19): 11467–11477.
- Zimmermann L., Dombrowski A., Völker C., Wagner M. Are bioplastics and plant-based materials safer than conventional plastics? In vitro toxicity and chemical composition. *Environmental International* 2020; 145: 106066.
- Zink L., Shearer AY, Wiseman S, Pyle GG. Effects of exposure to cadmium, microplastics, and their mixture on survival, growth, feeding, and life history of *daphnia magna*. *Environmental Toxicology and Chemistry* 2023; 42(6): 1401-1408.