



Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi/ Kırşehir Ahi Evran University

Sağlık Bilimleri Dergisi/ Journal of Health Sciences

Cilt/Volume: 9 Sayı/Issue: 1 Yıl/Year: 2025

E-ISSN: 2791-7754



Derleme Makale/Review Article

MİKROPLASTİKLERİN İMMÜN SİSTEM ÜZERİNE ETKİLERİ VE GEBELİK

THE EFFECTS OF MICROPLASTICS ON THE IMMUNE SYSTEM AND PREGNANCY

Durmuş Burak DEMİRKAYA¹ Neslihan ÖZDEMİR² Serap YALÇIN AZARKAN³

¹ Doktora Öğrencisi, Marmara Üniversitesi, Pediatrik Alerji ve İmmünoloji Bölümü, İstanbul, Türkiye.

² Dr. Öğr. Üyesi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Ebelik Bölümü, Kırşehir, Türkiye.

³ Prof. Dr., Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Tıbbi Farmakoloji Bölümü, Kırşehir, Türkiye.

**Geliş tarihi/
Date of receipt:**
17 Eki 2024

**Kabul
tarihi/Date of
acceptance:** 25
Kas 2024

**Anahtar
kelimeler:** Fetal
gelişim, İmmün
sistem,
Mikroplastik,
Sitotoksitesite

Keywords:
Fetal
development,
Immune system,
Microplastics,
Cytotoxicity

**Sorumlu
yazar/Corres-
ponding author:**
nesliozdemir40
@gmail.com

ÖZET

Mikroplastikler, çevresel kirliliğin en yaygın kaynaklarından biridir. Mikroplastikler, 5 mm'den daha küçük sentetik parçacıklar olup, deniz ürünlerinden su kaynaklarına, hatta havaya kadar pek çok yolla insan vücuduna girebilir. Solunum, oral alım ve cilt teması yoluyla vücuda giren mikroplastiklerin insan sağlığı üzerindeki etkileri artan bir endişe kaynağıdır. Mikroplastiklerin sindirim ve solunum sistemlerinde birikimi, bağırsak mikrobiyotasında bozulmalara, inflamasyona ve immün yanıtın zayıflamasına yol açabilir. Özellikle plasenta ve amniyotik sıvı gibi anne ve fetus arasındaki kritik bariyerlerde mikroplastiklerin bulunması, fetal gelişim ve doğum sonuçları üzerindeki olumsuz etkileriyle dikkat çekmektedir. Yapılan çalışmalar, mikroplastiklere maruz kalan bebeklerin düşük doğum ağırlığı, kısa doğum uzunluğu ve düşük Apgar skorları gibi olumsuz sonuçlar gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu çalışmada, mikroplastiklerin insan sağlığı üzerindeki potansiyel etkileri, bağışıklık sistemine olan etkileri ve özellikle gebelik dönemindeki tehlikeleri ele alınmaktadır.

ABSTRACT

Microplastics are one of the most common sources of environmental pollution. Microplastics are synthetic particles smaller than 5 mm and can enter the human body through many means, from seafood to water sources and even the air. The effects of microplastics, which enter the body through inhalation, oral ingestion and skin contact, on human health are a growing concern. The accumulation of microplastics in the digestive and respiratory systems can lead to disruptions in the intestinal microbiota, inflammation and weakening of the immune response. The presence of microplastics, especially in critical barriers between the mother and the fetus, such as the placenta and amniotic fluid, draws attention with their negative effects on fetal development and birth outcomes. Studies have shown that babies exposed to microplastics exhibit negative outcomes such as low birth weight, short birth length and low Apgar scores. This study discusses the potential effects of microplastics on human health, their effects on the immune system and their dangers, especially during pregnancy.

Atf için/To cite: Demirkaya, D.B., Özdemir, N., & Yalçın Azarkan, S. (2025). Mikroplastiklerin immün sistem üzerine etkileri ve gebelik. *Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi* 9(1), 112-129.



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 International License.

GİRİŞ

Günlük hayatta sıkça kullanılan ve gözle görülebilen büyük boyutlardaki plastikler, bilim dünyasında kirletici olarak tartışılmaktadır (Öncü & Aydemir, 2024). 19. yüzyılda sanayi devrimiyle hayatımıza giren plastikler, o günden bu yana giderek artan bir şekilde kullanılmaya devam etmektedir. Plastiklerin yaygın şekilde kullanımlarının nedenleri olarak; üretim maliyetlerinin çok düşük olması, kimyasallara karşı bozulmadan yüksek seviyede direnç göstermeleri ve çok kapsamlı alanlarda kullanım özgürlüğü sağlamaları olarak sayılabilir. (Jambeck ve ark., 2015).

Mikroplastikler (MP), ortalama 5 mm boyutunda ve daha küçük boyutlarda olabilen ve hidrokarbonlardan ekstrakte edilen monomerlerin polimerizasyonları ile oluşturulan sentetik maddelerdir (Doğdu ve ark., 2024). MP'ler, okyanuslardan nehirlerle, kanalizasyon sistemlerinden soluduğumuz havaya kadar dünyanın dört bir yanında yaygın olarak bulunmaktadır (Rahman ve ark., 2021). Cilt teması durumunda, MP'ler epitel doku üzerindeki yaralar, ter bezleri ve saç folikülleri aracılığıyla vücuda nüfuz edebilir. Bununla birlikte, en yaygın alım yolu gıda ve su tüketimi ile gerçekleşen oral yoldur (Carbery ve ark., 2018). Mikroplastiklerin büyük bir kısmının okyanuslar ve nehirler gibi su ekosistemlerinde yoğunlaşması, özellikle deniz ürünleri tüketimi yoluyla insanlara ulaşmasını kolaylaştırmaktadır (Camacho ve ark., 2019). Yapılan bir çalışmada, mikroplastiklere sürekli maruz bırakılan farelerin gastrointestinal sistemlerinde ciddi hasarlar meydana geldiği ortaya konulmuştur (Qiao ve ark., 2021). Bağırsak mikrobiyotasının bozulması, insan sağlığı açısından son derece ciddi sonuçlar doğurabilir. MP'lerin şekil ve boyutları, bu hasar mekanizmasında kilit bir rol oynamaktadır (Yang ve ark., 2022). Özellikle gümüş yüklü MP'lerin bağırsak dokusunu bozduğu ve patojenik bakterilerin bağırsak duvarına tutunma yeteneklerini artırdığı gösterilmiştir (Perez ve ark., 2021).

MP'lerin bir diğer önemli özelliği, yüzeylerinin kimyasal kirleticiler ve patojenler için bağlanma noktaları sunmasıdır (Yang ve ark., 2022). Yapılan deneylerde, Polistiren (PS) ve Polietilen tereftalat (PET) gibi MP'lerin çevresel koşullara maruz kaldıklarında yüzeylerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Bu süreç, "yaşlandırma" olarak adlandırılır (Wang ve ark., 2022). Yaşlandırılmış polietilen MP'lerinin yüzeylerinde bakır moleküllerinin biriktiği gözlemlenmiş ve bunun, bu MP'lerin yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında yüzeylerinde meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişikliklerden kaynaklandığı öne sürülmüştür (Zhou ve ark., 2024). Yüzeyde oluşan bu değişiklikler, bakır gibi ağır metallerin MP'lere daha kolay bağlanmasına olanak sağlamaktadır (Wang ve ark., 2022). Sonuç olarak, yaşlandırılmış MP'ler çevresel ağır metaller için birer taşıyıcı platform haline gelir ve su ekosistemlerine karıştıklarında çevresel ve sağlık açısından ciddi riskler oluşturabilirler. Bu MP'lerin yüzey özelliklerindeki değişim, sadece kimyasal kirleticilerle değil, aynı zamanda mikroorganizmalarla da etkileşime girmelerine olanak tanır. Örneğin, *Helicobacter pylori* bakterisi, biyofilm oluşturmak için MP'lere bağlanma yeteneğine sahip olabilir. MP ile birlikte büyütülen bu bakterilerin sitotoksik etkilerinde önemli değişiklikler meydana geldiği ve bu durumun mide ve bağırsakta inflamasyon süreçlerini artırdığı tespit edilmiştir (Tong ve ark., 2022). Ayrıca, 2019 yılında Çin'in Wuhan bölgesinde ortaya çıkan ve tüm dünyaya yayılan SARS-CoV-2 virüsünün oda sıcaklığında plastik yüzeylere tutunabildiği ve bu sayede bulaşma yeteneğinin önemli ölçüde uzayabileceği gösterilmiştir (Amato-Lourenço ve ark., 2022; Zhang ve ark., 2022).

MP'lerin hem kimyasal hem de biyolojik tehlikeleri artırabileceği ve ciddi sağlık riskleri oluşturabileceği anlaşılmaktadır. Bu derlemenin amacı MP'lerin çevresel ve biyolojik kirletici özelliklerini, insan sağlığı üzerindeki olası etkilerini ve çevresel ağır metaller ile patojenik mikroorganizmalar gibi zararlı ajanlarla bağışıklık sistemi, fetal gelişim ve gebelik üzerindeki etkileşimlerini incelenmesidir.

Mikroplastiklerin Hücrelere Alınması

Bağıışıklık sistemi hücreleri ve patojenler arasında sürekli bir etkileşim ve bir mücadele bulunmaktadır. Bu mücadelenin başlıca amacı, patojenlerin epitel dokuları aşarak dolaşıma ya da hücreler boşluklara girişlerinin engellenmesi yönünde gerçekleşir. Patojen korumasının yanı sıra da artan plastik tüketimi ve dolaylı olarak ortaya çıkan MP'ler ve nanoplastiklerin de bu savunma mekanizmaları yolu ile vücut içerisine girişleri çeşitli mekanizmalar yolu ile engellenmeye çalışılsa da bazı durumlarda yetersiz kalınmaktadır. Patojenler ve MP'ler vücut içerisine giriş yönleri bakımından benzerlik gösterirler. Bunlar solunum yolları, gastrointestinal yollar ve deri Emilimi ile gerçekleşmektedir. Akciğerler ve bağırsaklarda dış çevre ile etkileşim konusunda daha fazla etkileşim kurma yönündedir (Yang ve ark., 2022). Solunum yolu ile burun mukozasına ve buradan akciğerlere tutunma özelliği gösteren MP'ler çoğunlukla mukus tabakasındaki kıllar ile hücre dışına atılım gösterebilirler ancak çok küçük boyutlarda olan nanoplastikler, endotel hücreler ile etkileşim kurabilir ve küçük boyutları sebebi ile bu hücrelerden geçebilir ve dolaşıma girebilirler (Wright & Kelly, 2017). MP'lerin hücreler tarafından içselleştirilmesi için hücreler ile temas kurmaları gerekmektedir ve hücre zarlarına yapışması ile hücrelerin içerisine alınma işlemi başlatılır. Bu adımdan sonra hücrelerin içine alınması için düşünülen sistemler penetrasyon ya da aktif endositoz yolu ile olmaktadır (Fiorentino ve ark., 2015). Solunan MP'lerin akciğerler üzerindeki sitotoksik etkileri A549 hücreleri üzerinde çalışılmıştır ve bu hücreler endositoz yolu ile MP moleküllerini içselleştirdiklerinde hücrelerin hücre döngülerinde bir duraksama, apoptozun ortaya çıkması ve hücrelerde inflamasyon gözlenmeye başladığı belirlenmiştir (Xu ve ark., 2019). Bağırsaklar özellikle deniz ürünlerinin tüketilmesi ile MP'lere maruz kalan en önemli organlardan birisidir ve buradaki hücreler üzerindeki etkileri daha detaylı çalışmalar sunmuştur. Peyer plakları, bağırsakta bulunan ve çok önemli bir ikincil lenfoid organ olan yapıdadır. Bağırsaktaki antijenlerin tanınması ve hızlı bir şekilde adaptif bağışıklık yanıtının gelişmesi için

özellemiştir. Bu bölgede bulunan M hücreleri, bağışıklık sisteminde önemli bir rol oynar ve antijenlerin yakalanması ve bağışıklık hücrelerine sunulmasında oldukça etkilidir. MP'ler bu M hücreleri tarafından endositoz ile hücre içine alınması ve daha sonra bu hücreleri mukozal lenf nodlarına taşıma görevi yaparlar (Mowat, 2003). MP'lerin bu hücreler tarafından içselleştirilmeleri gen ifadelerinde bozulmalara ve sinyal iletimindeki bozukluklarla sonuçlanır (Deng ve ark., 2017). MP'lerin hücre içine alınmasındaki yol olarak endositoz olduğunu daha önceden belirtmiştir ancak endositoz çeşitli yollarla gerçekleşebilir ve çeşitli boyuttaki MP'ler bu yolları kullanmaktadır. 40 nm boyutunda olan polistiren moleküllerinin epitel hücreler tarafından alınma mekanizması hem kltrin hem de kaveolin aracılı şekilde olduğu tanımlanmıştır (Kuhn ve ark., 2014). Yapılan diğer çalışmalarda 20-120 ve 190 nm boyutundaki plastiklerin akciğer epitel hücreleri tarafından kltrin aracılı endositoz ile hücrelere içselleştirildiği düşünülmektedir (Ji ve ark., 2021).

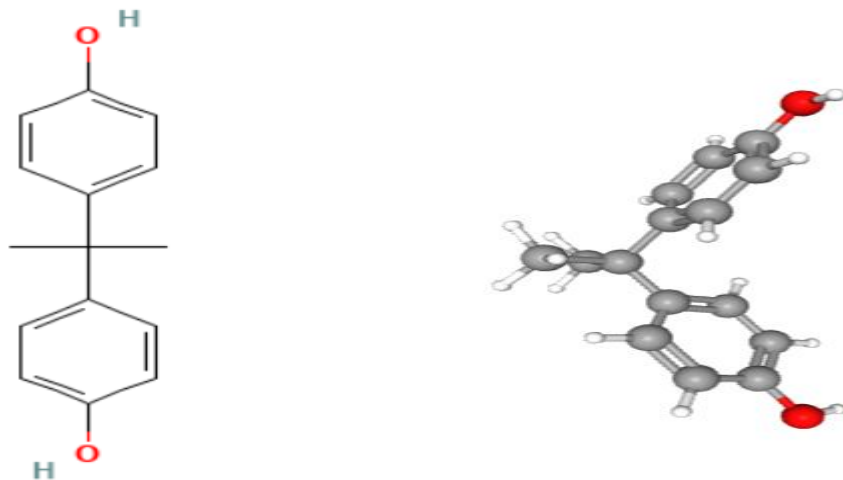
Mikroplastik Maruziyetinin Bağışıklık Sistemi Üzerindeki Etkileri

Doğal bağışıklık sistemi patojenlere karşı verilen savunmada, ilk karşılaşılan savunma hattımızdır ve bu sistem tüm antijenlere karşı aynı şekilde savunma yanıtı oluşturduğu için spesifik olmayan savunma olarak adlandırılmıştır (Yang ve ark., 2022). Bu sistemin içerisindeki fagositik hücreler (nötrofiller, makrofajlar ve dendritik hücreler) bu antijenleri yakalayıp sindirerek major doku uygunluk kompleksi (MHC) molekülleri ile bu antijenlerin adaptif bağışıklık tarafından tanınip spesifik savunma sisteminin devreye girmesini sağlamaktadır (McKechne & Blish, 2020). MP'ler hücreler tarafından içselleştirildikten sonra hücrelerin salgıladıkları sitokin ve transkripsiyon seviyesinde değişiklikler gözlemlenmektedir (Yang ve ark., 2022). Yamashita ve arkadaşları çalışmalarında Bisfenol A (BPA) maddesine maruz kalan farelerde pro-inflamatavuar sitokinler olan IL-1, IL-6 ve IL-12'nin artmasına sebep olduğunu ve T hücre aktivasyonunda çok kritik bir öneme sahip olan kostimülatör molekülü olan CD86'nın da artış göstermesine neden olmuştur (Yamashita ve ark, 2003). Bu çalışmaya

benzer sonuçlar gösteren başka bir çalışmada ise BPA'ya maruz kalan farelerin IRF₅ ve TNF α gibi sitokinlerin artış gösterdiği ve bunun sonucunda da ise makrofajların sitotoksik etki gösteren makrofaj tipi olan M₁ makrofajlara dönüştüğü bildirilmiştir. Aynı zamanda M₂ makrofajlara BPA maruziyetinin ise bu M₂ makrofajların imza sitokinleri olan IL-10 ve TGF- β seviyelerinde azalmalara neden olarak M₁ makrofajlara farklılaşmalarında etki gösterebilmektedirler ve bu da BPA gibi moleküllerin makrofajların farklılaşmasındaki etkilerini ortaya koymaktadır (Lu ve ark., 2019). BPA moleküllerine yönelik hedefleme çalışmalarının yapılması, bu moleküllerin bağışıklık hücreleri üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılmasına katkı sağlayabilir. Şekil 1'de, BPA molekülünün iki boyutlu ve üç boyutlu yapıları sunulmuştur (Şekil 1) (National Center for Biotechnology Information, 2025). Bu yapıların ayrıntılı bir şekilde bilinmesi, BPA'ya yönelik hedefleme çalışmalarının bilgisayar destekli analizlerle gerçekleştirilmesine olanak tanıyarak, araştırma maliyetlerinin düşürülmesine yardımcı olabilir. Moleküler yapı analizleri, BPA'nın bağışıklık hücreleriyle olan etkileşimlerini daha iyi anlamayı ve bu zararlı etkilerin azaltılması için stratejik yaklaşımlar geliştirmeyi mümkün kılmaktadır.

Şekil 1

BPA kimyasal yapısının 2D ve 3D gösterimleri



Makrofajlar gibi dendritik hücreler (DC) de doğuştan gelen bağışıklık sisteminin en önemli hücre gruplarını oluşturmalarına karşın bu hücrelerin makrofajlardan ayıran önemli bir yönü bu hücrelerin fagositoz yapma işlevlerinin hücreleri parçalamak değil, antijenleri lenf nodlarına götürerek burada naif T hücrelerine sunum yapmaktadır ve bu özellikleri sebebi ile de profesyonel antijen sunan hücreler olarak da anılmaktadırlar (Gaudino & Kumar, 2019). BPA'nın DC hücreleri üzerindeki etkileri uzun zamandır çalışılmıştır, PBMC örneklerinden alınan DC hücrelerinin kültür seviyelerinde çoğaltılması ile bu hücrelere uygulanan BPA sonunda T hücrelerinin TH2 yönüne doğru bir polirezasyonuna neden olabileceği görülmüştür bu etkinin ise kemokin ligand 1 (CCL1), IL-5, IL-10 ve IL-13 gibi TH2 yanıtında üretilen sitokinlerin artış göstermesi ile GATA3 TF'ünün üretimindeki yükselme ile olabileceği düşünülmektedir (Guo ve ark., 2010). Ayrıca BPA maddesinin DC'ler üzerinde sitokin ya da TF üzerindeki etkilerinin yanı sıra antijen sunma yeteneklerinde bir etki göstermiştir. Bu molekülün, dendritik hücreler (DC) üzerinde ko-stimülatör molekülleri ve HLA-DR (MHC proteini) üzerinde etkileri bulunmaktadır (Švajger ve ark., 2016).

T lenfositler, adaptif bağışıklık sisteminin hem yardımcı hem de sitotoksik roller üstlenen en önemli hücre grubudur. Salgıladıkları sitokinler aracılığıyla hem B hücrelerinin aktivasyonunu destekler hem de doğal bağışıklık hücrelerini modüle ederek, antikor yanıtının gelişmesi veya makrofajların sitotoksik etkilerinin artırılması gibi önemli işlevler gerçekleştirirler. Ayrıca, sitotoksik hücrelere farklılaşarak enfekte hücreleri yok etme kapasitesine sahiptirler, bu da onları çok yönlü bağışıklık hücreleri haline getirir (Gaudino & Kumar, 2019). Çeşitli çalışmalar DC'lerde olduğu gibi T hücreleri üzerindeki MP etkilerini incelenmiştir. Bu çalışmalardan bazıları BPA maruziyetinin doğum öncesinde CD4T hücrelerinin seviyesinde önemli derecede düşüşe sebep olacağını ve İnterferon gamma seviyesinde de azalmalara neden olduğunu ve ov albümin antijenine karşı savunmasız kalmasına neden olabileceğini göstermiştir (Land, 2018).

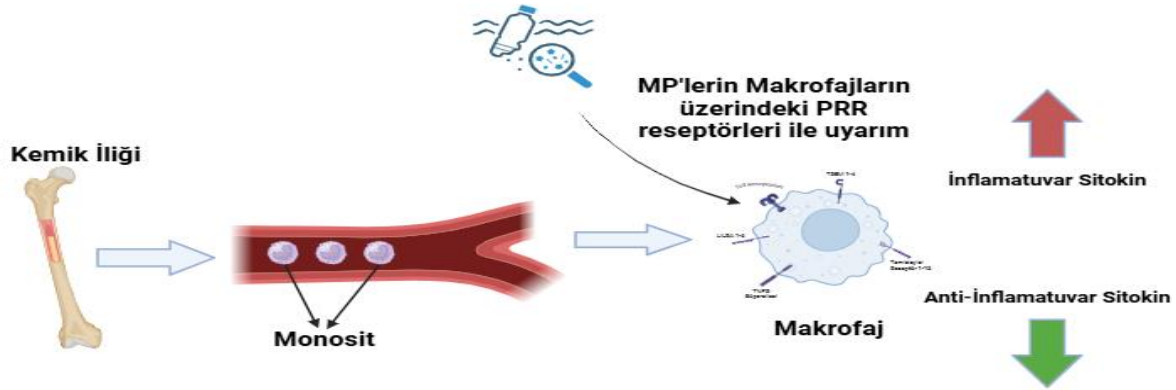
Gebeliğin 9. gününden itibaren BPA'ya maruz kalan farelerde yapılan çalışmalarda içme

suyuna karıştırılmış olan farelerin TH17 hücre farklılaşmasında önemli bir TF olan ROR γ t seviyesinde artışa neden olurlarken, düzenleyici hücreler olan TREG'lerin seviyelerinde düşüş olmasına bu inflamasyona katkı sağlayabilir (Dong ve ark., 2020).

MP'lerin immün sistemdeki etkileri “eğitilmiş bağışıklık” teriminin hayatımıza girmesi ile daha da artmıştır. Bu sistem doğuştan gelen hücrelerin kısa süreli de olsa bir bellek yeteneklerinin kazanmasına ve antijen ile tekrar karşılaşmada daha güçlü bir birincil savunma sistemi ile karşılaşmalarına neden olmaktadır (Boraschi & Italiani, 2018). Bu sistemin gelişmesi için doğal bağışıklık hücreleri epigenetik değişiklikler ve metabolizma değişimleri göstermeleri ve bu sayede hücrelerin histon bölgelerinin açık ya da kapatılmasına ve sitokin salgılarının sürekli devam etmesine dayanmaktadır. Mikroplastikler ve nanoplastikler üzerinde yapılan çalışmalarda bu moleküllerin “eğitilmiş bağışıklık” hücrelerinin gelişmesini etkileme yetenekleri olduğunu göstermiştir (Ochando ve ark., 2023). Bozulmamış grafen parçaları, kemik iliği kaynaklı olan makrofajların yüzeylerinde bulunan ve bir PRR molekülü olan TLR reseptörleri ile aktive edilen antijenlere karşı etkisi bulunmaktadır bu etki inflamatuvar sitokinlerin seviyelerinde bir artışa sebep olurken, anti-inflamatuvar sitokinlerin seviyelerinde azalmalara neden olur (Lebre ve ark., 2020). Bu süreç, özellikle inflamatuvar sitokinlerin artışıyla bağışıklık hücrelerinde bir tür "hafıza" oluşturulmasına yol açabilir. Aynı zamanda, bu tür plastik maddelerin insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceği belirtilmektedir, zira bu mekanizmalar, vücut ile uzun vadeli etkileşimlerde doğrudan bağışıklık hafızasını tetikleyebilir (Limonta ve ark., 2019).

Şekil 2

MP'lerin Makrofaj Üzerindeki PRR Reseptörleri ile Uyarımı



MP molekülleri, kemik iliği kökenli makrofajları aktive ederek, bu hücrelerden salgılanan pro-inflamatuvar sitokinlerin artmasına ve anti-inflamatuvar sitokinlerin azalmasına yol açabilir. Bu değişim, inflamatuvar yanıtın güçlenmesine ve bağışıklık dengesinin bozulmasına katkı sağlamaktadır (Yang ve ark., 2022).

MP'lerin Fetal Gelişim ve Yeni Doğan Sağlığı Üzerindeki Etkileri

Hamilelik ve çocukluk dönemi insan yaşamının patojenlere karşı en savunmasız dönemlerini oluşturmaktadır ve bu son yapılan çalışmalarda ortaya konuşmuştur. Son 50 yıllık dönemde plastiklerin kullanımındaki bu dönem içerisinde hem anne hem de çocuğu etkilemektedir. Bu etkileşimi daha detaylı incelemek amacıyla ilk önce MP'lerin insan vücudunda bulunma bölgeleri belirlenmiş ve plasenta, akciğer, karaciğer, balgam, anne sütü ve kanda MP'lere rastlanmıştır (Halfar ve ark., 2023; Ragusa ve ark., 2022). Plasentada MP'lerin bulunması anne adaylarının ve çocuk üzerinde ciddi etkilerinin olabileceğini düşündürmektedir ve bu maddelerin dolaşıma girmesi birçok organ üzerinde ciddi etkiler oluşturmaktadır. Ragusa ve arkadaşları 2021 yılında yapmış oldukları çalışmalarda, 6 hasta plasentasında MP varlığını incelemişlerdir ve boyutları 5 ile 10 nm olacak şekilde on iki adet MP buldular ve bu bulunanlar arasında en çok rastlanan kullanımı en çok olan poliprobilen moleküldür (Ragusa ve ark., 2021).

Bu maddelerin ayrıca mitokondri ya da endoplazmik retikulum üzerinde de yapısal değişikliklerinin olabileceğini de düşünülmektedir. Bu moleküllere maruz kalım, fetal büyümenin kısıtlanmasına ve yenidoğanlar üzerinde vücut ağırlıklarındaki azalmaların görülmesine neden olmaktadır bununla ilgili fare modellerinde yapılan çalışmalar da 70 ve 100 nm boyutundaki nanoplastiklere maruz kalmasının %7 ile 15 arasında ağırlık kaybı ile sonuçlanmıştır (Huang ve ark., 2022). Weingrill ve arkadaşları çalışmalarında plasentalarda bulunan MP sayısının artmış olduğuna yönelik çalışmaları olmuştur bu analiz ise plastik polimerlerinin belirli durumlar ve şartlar altında bırakıldıklarında yapılarında oluşan değişimlerle ve plasentada her birim başına düşen MP parçalarının sayısındaki artma ile orantılı oldukları göstermişlerdir (Weingrill ve ark., 2023).

MP'lerin plasenta üzerindeki etkilerini inceleyen başka bir çalışma örneğinde Amereh ve arkadaşları 43 hamile kadında plasentalarında bulunan MP'lerin ve bunların yeni doğan bebeklerin gelişimi ile etkilerini incelediler, bu çalışmayı diğer çalışmalardan ayıran en önemli farklılıklardan birisi çalışmada intrauterin büyüme geriliği (IUGR) olan gebeliklerden ve normal gebeliklerden örneklerin çalışmaya dahil edilmesi idi (Amereh ve ark., 2022). IUGR, bebeklerin rahim içinde normalden daha yavaş büyümesine yol açan bir durumdur. Çalışmada, IUGR olan gebelikler ile normal gebelikler karşılaştırıldığında, MP maruziyeti ile bebeklerin doğum sonuçları arasında olumsuz ilişkiler bulundu, özellikle MP'lere daha fazla maruz kalmanın bebeklerin doğum ağırlığı ($r=-0.82$), doğum uzunluğu ($r=-0.56$), baş çevresi ($r=-0.50$) ve 1 dakikalık Apgar skoruyla ($r=-0.75$) negatif bir ilişki gösterdiği ortaya kondu. (Amereh ve ark., 2022). Bu sonuçlar, plasentadaki MP'lerin artmasıyla birlikte bebeklerin daha düşük doğum ağırlığı, daha kısa doğum uzunluğu ve daha düşük Apgar skoru gibi olumsuz doğum sonuçları gösterdiğini ortaya koymaktadır. Özellikle, bu ilişkiler oldukça güçlü olup, MP maruziyetinin bebeklerin sağlığı üzerinde önemli bir etkisi olabileceğini düşündürmektedir.

Xue ve arkadaşlarının araştırmalarında, annelerin amniyotik sıvılarında bulunan MP seviyeleri ve bu seviyelerin fetal gelişim üzerindeki potansiyel etkileri incelenmiştir. 40 kişiyi kapsayan bu çalışmada, 32 katılımcıda amniyotik sıvıda MP'lerin varlığı tespit edilmiştir. Bu 32 kişide deniz ürünleri tüketiminin yaygın olduğu ve sıklıkla plastik su şişelerinden su tüketildiği belirlenmiştir. Araştırmacılar, bu tüketim alışkanlıklarının amniyotik sıvıda MP birikimi ile ilişkili olabileceğini öne sürmektedir (Xue ve ark., 2024). Ragusa ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmalarda MP'lerin plasentaya ulaştığı ve çeşitli taşıma mekanizmalarıyla plasentanın farklı seviyelerine girebildiği gösterilmiştir. Özellikle 5-10 μ m boyutundaki MP'lerin plasentadan geçebilmesi, bu partiküllerin doğrudan fetüsle temas edebileceği anlamına gelir. Bu durum, bağışıklık tepkilerinde bozulmalara ve potansiyel olarak fetüsün gelişimini olumsuz etkileyebilecek toksik etkilere neden olabilir. Çalışmada, MP maruziyeti ile fetal gelişim sonuçları arasındaki olumsuz ilişkiler (daha düşük doğum ağırlığı, uzunluk, baş çevresi ve Apgar skorları) oldukça dikkat çekicidir (Ragusa ve ark., 2021). Son zamanlardaki yapılan çalışmalar da bebekler ve insanlarda MP'lerin varlığını kanıtlamıştır (Zhang ve ark., 2021; Doğdu ve ark., 2024). Zhang ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada mekonyum, bebek ve yetişkinlerin dışkılarındaki MP seviyesini ölçmüşlerdir ve bu ölçümler günlük alınan besin değerlerine göre oranlayarak hesaplanmıştır. Sonuçlar bebeklerin yetişkinlere göre daha fazla MP'lere maruz kaldığını göstermektedir ve bunun sorumlusu olarak kullanılan mamalar, bebek biberonlarının kullanılmasından kaynaklı olabileceğini öne sürmüşlerdir (Zhang ve ark., 2021).

MP'lerin üreme sistemleri üzerindeki etkileri, insanlar yerine daha çok sıçanlar ve fareler üzerinde ayrıntılı olarak incelenmiştir. Kemirgenlere maruz bırakılan MP'lerin, östrus döngüsünde önemli değişikliklere yol açabileceği, yumurtalık rezervlerinin azalmasına neden olabileceği, ayrıca yavru boyutu ve ağırlığında belirgin azalmalar gözlemlenebileceği rapor edilmiştir (Wei ve ark., 2022). Üreme sistemi üzerindeki bu bozulmaların, MP'lerin yol açtığı oksidatif stresle bağlantılı olabileceği düşünülmektedir (Haddadi ve ark., 2022).

SONUÇ VE ÖNERİLER

MP'ler, yaygın kullanımları ve çevrede uzun süre kalıcı olmaları nedeniyle insan sağlığı üzerinde ciddi riskler oluşturmaktadır. Yapılan araştırmalar, MP'lerin solunum, sindirim ve cilt yoluyla vücuda girebildiğini ve bu süreçlerde çeşitli dokulara zarar verebildiğini göstermektedir. Özellikle bağırsaklarda görülen mikrobiyota bozulmaları, inflamasyonun artması ve bağışıklık sisteminin bu plastik parçacıklara karşı verdiği yanıtta değişiklikler, MP'lerin sağlığı nasıl tehdit ettiğine dair önemli ipuçları sunmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar, plasenta ve amniyotik sıvıda da MP'lerin varlığını ortaya koymuş, bu durumun fetal gelişim üzerindeki olumsuz etkileri gözlemlenmiştir. MP'lere maruz kalan hamile kadınların bebeklerinde düşük doğum ağırlığı, kısa doğum uzunluğu ve düşük Apgar skorları gibi olumsuz doğum sonuçları ortaya çıkmıştır. Ayrıca MP'lerin hem kimyasal hem biyolojik tehlikeleri artırdığı, çevresel kirleticilerle etkileşime girerek insan sağlığı üzerinde daha geniş kapsamlı riskler oluşturabileceği anlaşılmıştır. Sonuç olarak, MP'lerin çevresel ve biyolojik etkilerinin daha derinlemesine incelenmesi ve insan sağlığı üzerindeki uzun vadeli etkilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Özellikle gebelik döneminde ve çocuklarda MP maruziyetinin azaltılması için daha sıkı çevre koruma önlemleri ve bilinçlendirme kampanyaları gereklidir.

ARAŞTIRMANIN ETİK YÖNÜ

Araştırma bir derleme makale olduğu için etik kurul iznine gerek yoktur.

YAZAR KATKI ORANI

Fikir/kavram: DBD, NÖ, SYA; Tasarım: DBD, NÖ, SYA; Veri toplama: DBD, NÖ, SYA; Veri işleme: DBD, NÖ, SYA; Analiz ve/veya yorum: DBD, NÖ, SYA; Kaynak tarama: DBD, NÖ, SYA; Makalenin yazımı: DBD, NÖ, SYA; Eleştirel inceleme: DBD, NÖ, SYA.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

FİNANSAL DESTEK

Herhangi bir kurum ya da kuruluştan destek alınmamıştır.

HAKEM DEĞERLENDİRMESİ

Dış bağımsız.

KAYNAKLAR

- Amato-Lourenço, L.F., Costa, N.D.S.X., Dantas, K.C., dos Santos Galvão, L., Moralles, F.N., Lombardi, S.C.F.S., Junior A.M., Lindoso, J.A.L., Ando, R.A., Lima, F.G., Olivera, R.C., & Mauad, T. (2022). Airborne microplastics and SARS-CoV-2 in total suspended particles in the area surrounding the largest medical centre in Latin America. *Environmental Pollution*, 292, 118299.
- Amereh, F., Amjadi, N., Mohseni-Bandpei, A., Isazadeh, S., Mehrabi, Y., Eslami, A., Naeiji, Z., & Rafiee, M. (2022). Placental plastics in young women from general population correlate with reduced foetal growth in IUGR pregnancies. *Environmental Pollution*, 314, 120174.
- Boraschi, D., & Italiani, P. (2018). Innate immune memory: time for adopting a correct terminology. *Frontiers in Immunology*, 9, 799.
- Camacho, M., Herrera, A., Gómez, M., Acosta-Dacal, A., Martínez, I., Henríquez-Hernández, L. A., & Luzardo, O. P. (2019). Organic pollutants in marine plastic debris from Canary Islands beaches. *Science of the Total Environment*, 662, 22-31.
- Carbery, M., O'Connor, W., & Palanisami, T. (2018). Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health. *Environment International*, 115, 400-409.
- Deng, Y., Zhang, Y., Lemos, B., & Ren, H. (2017). Tissue accumulation of microplastics in mice and biomarker responses suggest widespread health risks of exposure. *Scientific Reports*, 7(1), 46687.

- Doğdu, G., Karabörk, Ş., & Dilek, M. (2024). Mikroplastiklerin yenidoğan maruziyeti ve immün sistem üzerine etkileri. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(2), 902-923.
- Dong, Y.-d., Gao, L., Wu, F.-j., Lin, R., Meng, Y., Jia, L.-h., & Wang, X.-f. (2020). Abnormal differentiation of regulatory T cells and Th17 cells induced by perinatal bisphenol A exposure in female offspring mice. *Molecular & Cellular Toxicology*, 16, 167-174.
- Fiorentino, I., Gualtieri, R., Barbato, V., Mollo, V., Braun, S., Angrisani, A., Turano, M., Furia, M., Netti, P. A. Guarnieri, D., Fusco, S., & Talevi, R. (2015). Energy independent uptake and release of polystyrene nanoparticles in primary mammalian cell cultures. *Experimental Cell Research*, 330(2), 240-247.
- Gaudino, S. J., & Kumar, P. (2019). Cross-talk between antigen presenting cells and T cells impacts intestinal homeostasis, bacterial infections, and tumorigenesis. *Frontiers in Immunology*, 10, 360.
- Guo, H., Liu, T., Uemura, Y., Jiao, S., Wang, D., Lin, Z., Narita, Y., Suziki, M., Hirosawa, N., Ichihara, Y., Ishihara, O., Kikuchi, H., Sakamoto, Y., Senju, S., Zhang, Q., & Ling, F. (2010). Bisphenol A in combination with TNF- α selectively induces Th2 cell-promoting dendritic cells in vitro with an estrogen-like activity. *Cellular & Molecular Immunology*, 7(3), 227-234.
- Haddadi, A., Kessabi, K., Boughammoura, S., Rhouma, M. B., Mlouka, R., Banni, M., & Messaoudi, I. (2022). Exposure to microplastics leads to a defective ovarian function and change in cytoskeleton protein expression in rat. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(23), 34594-34606.
- Halfar, J., Čabanová, K., Vávra, K., Delongová, P., Motyka, O., Špaček, R., Kukutschová, J. Šimetka, O., & Heviánková, S. (2023). Microplastics and additives in patients with

- preterm birth: The first evidence of their presence in both human amniotic fluid and placenta. *Chemosphere*, 343, 140301.
- Huang, T., Zhang, W., Lin, T., Liu, S., Sun, Z., Liu, F., Yuan, Y., Xiang, X., Kuang, H., Yang, B., & Zhang, D. (2022). Maternal exposure to polystyrene nanoplastics during gestation and lactation induces hepatic and testicular toxicity in male mouse offspring. *Food and Chemical Toxicology*, 160, 112803.
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan Y., & Kara, L. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768-771.
- Ji, Y., Wang, Y., Shen, D., Kang, Q., & Chen, L. (2021). Mucin corona delays intracellular trafficking and alleviates cytotoxicity of nanoplastic-benzopyrene combined contaminant. *Journal of Hazardous Materials*, 406, 124306.
- Kuhn, D. A., Vanhecke, D., Michen, B., Blank, F., Gehr, P., Petri-Fink, A., & Rothen-Rutishauser, B. (2014). Different endocytotic uptake mechanisms for nanoparticles in epithelial cells and macrophages. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 5(1), 1625-1636.
- Land, W.G. (2018). Antigen Uptake, Processing, and Presentation by Dendritic Cells. In W.G. Land, (Ed.), *Damage-Associated Molecular Patterns in Human Diseases*, (pp. 723-748) Springer.
- Lebre, F., Boland, J. B., Gouveia, P., Gorman, A. L., Lundahl, M. L., Lynch, R. I., O'Brien, F. j., Coleman, J., & Lavelle, E. C. (2020). Pristine graphene induces innate immune training. *Nanoscale*, 12(20), 11192-11200.
- Limonta, G., Mancina, A., Benkhalqui, A., Bertolucci, C., Abelli, L., Fossi, M. C., & Panti, C. (2019). Microplastics induce transcriptional changes, immune response and behavioral alterations in adult zebrafish. *Scientific Reports*, 9(1), 15775.

- Lu, X., Li, M., Wu, C., Zhou, C., Zhang, J., Zhu, Q., & Shen, T. (2019). Bisphenol A promotes macrophage proinflammatory subtype polarization via upregulation of IRF5 expression in vitro. *Toxicology in Vitro*, 60, 97-106.
- McKechnie, J. L., & Blish, C. A. (2020). The innate immune system: fighting on the front lines or fanning the flames of COVID-19? *Cell Host & Microbe*, 27(6), 863-869.
- Mowat, A. M. (2003). Anatomical basis of tolerance and immunity to intestinal antigens. *Nature Reviews Immunology*, 3(4), 331-341.
- National Center for Biotechnology Information (2025). *PubChem Compound Summary for CID 6623, Bisphenol A*. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Bisphenol-A>
- Ochando, J., Mulder, W. J., Madsen, J. C., Netea, M. G., & Duivenvoorden, R. (2023). Trained immunity—basic concepts and contributions to immunopathology. *Nature Reviews Nephrology*, 19(1), 23-37.
- Öncü, C., & Aydemir, M. E. (2024). Microplastics and Public Health: Microplastics. *Mehes Journal*, 2(2), 29-43.
- Perez, L., Scarcello, E., Ibouaadataen, S., Yakoub, Y., Leinardi, R., Ambroise, J., Bearzatto, B., Gala, J. I., Paquot, A., Muccioli, G. G., Bouzin, C., Brule, S van den, & Lison, D. (2021). Dietary nanoparticles alter the composition and function of the gut microbiota in mice at dose levels relevant for human exposure. *Food and Chemical Toxicology*, 154, 112352.
- Qiao, J., Chen, R., Wang, M., Bai, R., Cui, X., Liu, Y., Wu, C., & Chen, C. (2021). Perturbation of gut microbiota plays an important role in micro/nanoplastics-induced gut barrier dysfunction. *Nanoscale*, 13(19), 8806-8816.
- Ragusa, A., Notarstefano, V., Svelato, A., Belloni, A., Gioacchini, G., Blondeel, C., Zucchelli, E., Luca, C. D., D'Avino, S., Gulotta, A., Carnevali, O., & Giorgini, E. (2022). Raman

- microspectroscopy detection and characterisation of microplastics in human breastmilk. *Polymers*, 14(13), 2700.
- Ragusa, A., Svelato, A., Santacroce, C., Catalano, P., Notarstefano, V., Carnevali, O., Papa, F., Rongioletti, M. C. A., Baiocco, F., Draghi, S., D'Amore, E., Rinaldo, D., Matta, M., & Giorgini, E. (2021). Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. *Environment International*, 146, 106274.
- Rahman, A., Sarkar, A., Yadav, O. P., Achari, G., & Slobodnik, J. (2021). Potential human health risks due to environmental exposure to nano-and microplastics and knowledge gaps: A scoping review. *Science of the Total Environment*, 757, 143872.
- Švajger, U., Dolenc, M. S., & Jeras, M. (2016). In vitro impact of bisphenols BPA, BPF, BPAF and 17 β -estradiol (E2) on human monocyte-derived dendritic cell generation, maturation and function. *International Immunopharmacology*, 34, 146-154.
- Tong, X., Li, B., Li, J., Li, L., Zhang, R., Du, Y., & Zhang, Y. (2022). Polyethylene microplastics cooperate with *Helicobacter pylori* to promote gastric injury and inflammation in mice. *Chemosphere*, 288, 132579.
- Wang, X., Zhang, R., Li, Z., & Yan, B. (2022). Adsorption properties and influencing factors of Cu (II) on polystyrene and polyethylene terephthalate microplastics in seawater. *Science of the Total Environment*, 812, 152573.
- Wei, Z., Wang, Y., Wang, S., Xie, J., Han, Q., & Chen, M. (2022). Comparing the effects of polystyrene microplastics exposure on reproduction and fertility in male and female mice. *Toxicology*, 465, 153059.
- Weingrill, R. B., Lee, M.-J., Benny, P., Riel, J., Saiki, K., Garcia, J., Oliveria, L. F. A. de M., Fonseca, E. J. da S., de Souza, S. T., D'Amato, F. d. O. S., Silva, U. R., Dutra, M. L., Marques, A. L. X., Borbely, A. U., & Urschitz, J. (2023). Temporal trends in

- microplastic accumulation in placentas from pregnancies in Hawai'i. *Environment International*, 180, 108220.
- Wright, S. L., & Kelly, F. J. (2017). Plastic and human health: A micro issue? *Environmental Science & Technology*, 51(12), 6634-6647.
- Xu, M., Halimu, G., Zhang, Q., Song, Y., Fu, X., Li, Y., Li, Y., & Zhang, H. (2019). Internalization and toxicity: A preliminary study of effects of nanoplastic particles on human lung epithelial cell. *Science of the Total Environment*, 694, 133794.
- Xue, J., Xu, Z., Hu, X., Lu, Y., Zhao, Y., & Zhang, H. (2024). Microplastics in maternal amniotic fluid and their associations with gestational age. *Science of the Total Environment*, 920, 171044.
- Yamashita, U., Sugiura, T., Yoshida, Y., & Kuroda, E. (2003). Effect of endocrine disrupters on thymocytes in vitro. *Journal of UOEH*, 25(2), 161-170.
- 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.
- Zhang, G., Cao, G., Luo, R.-H., Song, Q., Zeng, Y., Liu, K., Qu, J., Lin, X., Liu, F. L., Wang, G., Li, H., Li, L., Zheng, Y. T., Boraschi, D., Wu, L., Chang, Y. Z., & Li, Y. (2022). Microplastics interact with SARS-CoV-2 and facilitate host cell infection. *Environmental Science: Nano*, 9(8), 2653-2664.
- Zhang, J., Wang, L., Trasande, L., & Kannan, K. (2021). Occurrence of polyethylene terephthalate and polycarbonate microplastics in infant and adult feces. *Environmental Science & Technology Letters*, 8(11), 989-994.
- Zhou, L., Masset, T., & Breider, F. (2024). Adsorption of copper by naturally and artificially aged microplastics and subsequent release in simulated gastrointestinal fluid. *Environmental Science: Processes & Impacts* 26, 411-420.