

Mikroplastikler ve Arı Sağlığı



Prof. Dr. Ender YARSAN

Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi
Farmakoloji Toksikoloji Anabilim Dalı

Günümüzün en önemli çevresel sorunlarından biri olan mikroplastikler (MP'ler), çevre ve insan sağlığı açısından giderek artan bir endişe kaynağıdır. Plastiklerin hızla artan üretim ve tüketimi sonucunda ortaya çıkan bu küçük parçacıklar, insan ve hayvan sağlığı ile ekosistem üzerindeki etkilerinin daha fazla araştırılmasını gerektirmektedir.

Plastikler

Plastikler; ucuzluk, hafiflik ve dayanıklılık gibi özellikleri sayesinde günlük yaşamda, endüstri, bilim ve teknoloji alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Nüfus artışıyla birlikte plastik kullanımı da yükselmiş, 1950'lerden bu yana üretim dramatik biçimde artarak 2018'de 359 milyon tona ulaşmıştır.

Ambalaj filmi, alışveriş ve çöp poşeti, sıvı kabı, oyuncak, ev eşyası, yapı ve otomotiv malzemeleri gibi pek çok alanda plastik kullanımı söz konusudur. Avrupa Birliği'nin 2016 raporuna göre plastik atıkların sektörlere göre dağılımı; ambalaj endüstrisi %39,9 ile ilk sırada, ardından %19,7 ile inşaat, %8,9 ile otomotiv, %5,8 ile elektrik-elektronik, %3,3 ile tarım ve %22,4 ile diğer sektörler (sağlık, spor, mobilya vb.) gelmektedir.

Plastiklerin hem sosyal hem de endüstriyel kullanımındaki artış, "mikroplastik" olarak adlandırılan yeni bir kirlenici türünün ortaya çıkmasına neden olmuştur. Plastik atıklar, çevrede kalıcı olmaları ve ekosistemler üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle ciddi bir çevre sorunudur. Plastiklerin bozunması iki ana yolla gerçekleşir:

- Biyotik bozunma: Plastiklerdeki karbonu enerji kaynağı olarak kullanan mikroorganizmalar tarafından parçalanma.



- Abiyotik bozunma: Mekanik kuvvet, sıcaklık, ışık, gaz ve su gibi çevresel faktörlerin neden olduğu aşınma.

Mikroplastikler

Mikroplastikler; belirli amaçlar için kasıtlı olarak üretilen veya daha büyük plastik malzemelerin aşınması ya da bozunmasıyla oluşan, boyutu 5 mm'nin altındaki plastik parçacıklardır. Toprağa ve sucul ortamlara genellikle nehirler, dereler ve arıtılmış atıksular yoluyla girer; ayrıca depolama alanlarından atmosfere dağılabilir ve yağışla göl, deniz ve okyanuslara taşınabilir. 1970'lerde plankton örneklerinde keşfedilmeleri, bu alandaki araştırmaların başlangıcı olmuştur.

Okyanus, tatlı su ve hava gibi birçok ortamda tespit edilen mikroplastiklerin başlıca kaynakları; büyük plastik döküntülerin parçalanması, kişisel bakım ürünlerindeki mikro kürecikler, yıkama sırasında tekstillerden dökülen lifler ile araç lastikleri ve yol işaretlerinin aşınmasıdır. Ayrıca, arıtma tesislerinden çıkan sular ve tarım alanlarından yüzeysel akışla gelen sular da önemli kaynaklardır.

Mikroplastikler kaynak ve morfolojiye göre ikiye ayrılır:

- Birincil mikroplastikler: Küçük boyutta üretilir; tekstil, ilaç ve kozmetik formülasyonlarında bulunur.



• **İkincil mikroplastikler:** Daha büyük plastiklerin mekanik aşınma, termal bozunma, fotoliz, oksidasyon ve biyolojik bozunma ile parçalanması sonucu oluşur. Bunların başlıca kaynakları; balık ağları, plastik filmler, ev eşyaları, endüstriyel hammaddeler ve diğer atık plastiklerdir. Sucul ortamlardaki kirliliğin büyük kısmının ikincil mikroplastiklerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Mikroplastikler; pelet, fragman, lif, sferoid, boncuk, granül, pul, levha, kırıntı, çizgi/çubuk ve köpük gibi farklı formlarda bulunabilir. İnsan vücudunda kan, akciğer, karaciğer ve hatta eklemlerde tespit edilmiştir. ABD'nin Oregon eyaletinde yapılan bir araştırmada deniz ürünlerinin %98,9'unda mikroplastik bulunmuştur. Ortalama bir insanın yılda 78.000 ila 211.000 mikroplastik parçacığını yediği, içtiği veya soluduğu tahmin edilmektedir.

Mikroplastiklerin Çevresel Etkileri

Günümüzde tüm okyanuslarda, nehirlerde, göllerde, atık sulara, içme sularında, çeşitli gıda maddelerinde ve hatta yağmur suyunda mikroplastiklerin varlığı tespit edilmiştir. Arktik ve Antarktika'daki buzulların içinde bile MP'lere rastlanmıştır.

• **Besin zinciri kontaminasyonu:** Mikroplastikler deniz canlıları tarafından yutulduğunda, daha üst basamaktaki canlılara aktarılır ve besin zinciri boyunca yayılır.

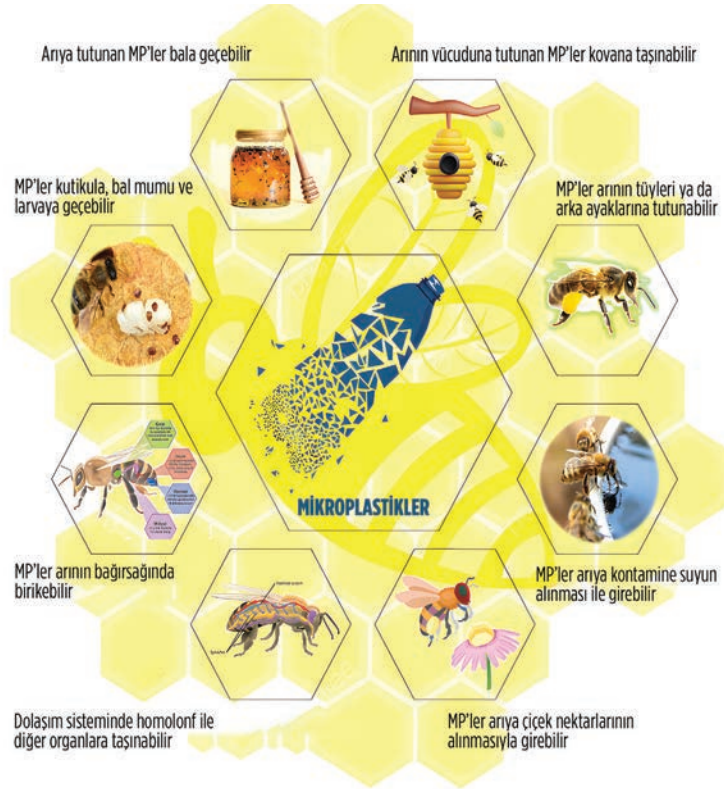
• **Taşıyıcı görevi:** MP'ler; stiren, toksik metaller, fitalatlar, bisfenol A, poliklorlubifeniller (PCB) ve polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH) gibi çevresel kirleticiler ile üretim süreçlerinde eklenen kimyasallar için taşıyıcı olabilir. Bu maddeler, yutulan MP'lerden hayvan dokularına geçerek temel vücut fonksiyonlarını bozabilir.

• **Toprak kirliliği:** MP'ler, toprak yapısını bozarak mikrobiyal yaşamı, su geçirgenliğini ve tarımsal verimliliği olumsuz etkiler.

• **Biyobirikim potansiyeli:** Küçük boyutları nedeniyle canlı dokularda birikebilir ve uzun vadeli toksik etkiler oluşturabilir.

Mikroplastiklerin Arılara Geçişi

Arıların nektarla birlikte mikroplastikleri yutabileceği ve bunların bağırsaklarında birikebileceği belirtilmektedir. Son on yılda mikroplastikler, arı popülasyonlarındaki düşüşe katkıda bulunan yeni bir risk faktörü olarak öne çıkmıştır.



Şekil 1. Bal arılarının MP'lere maruz kalışı ve MP'lerin bal ve diğer kovan ürünlerine geçişi.

Bal arıları gibi tozlayıcılar, yiyecek ararken ve kirlenmiş bitkiler, hava, toprak ile suyla temas hâlindeyken uzun mesafeler kat eder ve doğrudan MP'lere maruz kalırlar. Hem solunum hem de yutma yoluyla MP kontaminasyonu meydana gelebilir; bu da solunum ve sindirim sistemlerinde birikime yol açar. Bal arısı solunum sisteminin yapısı ve boyutu nedeniyle özellikle 60 µm'den küçük MP'ler daha kolay solunabilir.

Ağız yoluyla alınan MP'ler yedi gün içinde bağırsaklara ulaşabilir, yayılabilir ve solunum ile boşaltım sistemleri gibi farklı organlarda kalabilir. Böylece bağırsaktan dolaşım sistemine (hemolenf) ve oradan trakeaya taşınabilirler. Arılar, bitkilerden polenle birlikte MP parçacıklarını kütikül ve anten temaslarıyla da alabilir.

Uçuş sırasında bal arıları, tüylerinin polen ve MP gibi yüklü yüzeylere yapışmasına neden olan pozitif yüklü statik elektrik üretir. MP'ler ayrıca kanat ve vücut uçlarında da birikebilir. Bu parçacıklar kovana taşınarak bal ve kovan ürünleri için kontaminasyon riski oluşturur.

Uzun süre, MP'lerin bitki dokusuna geçemeyeceği düşünülmüştür. Ancak son araştırmalar, MP'lerin kirliliği toprak veya sudan bitki kökleri aracılığıyla

liğıyla emilebildiğini ve bitki dokularında birikebildiğini ortaya koymuştur.

Bal arıları polen, nektar, su ve diğer bitki salgılarını toplarken bitkilerin tüm kısımlarıyla temas eder. Kovan yakınındaki kirli suyu veya çiçeklerden gelen nektarı doğrudan alarak MP'lere maruz kalabilirler. Bu maruziyetler sonucunda MP'ler; arıların kütikülünde, sindirim sisteminde, bal munda, larvalarda ve balda tespit edilebilir. Araştırmalar, MP'lerin yetişkin bal arılarından larvalara aktarılabildiğini ve larvaları kirleterek olumsuz etkilere yol açabileceğini göstermektedir.

Kentsel alanlarda arıların vücutlarında daha fazla iç partikül bulunması, doğal olmayan kaynakların beslenme alışkanlıklarına girdiğini düşündürmektedir. Kovanın türü ve bileşimi de maruziyeti etkiler; özellikle arıcılıkta plastik bazlı malzemeler kullanılıyorsa bu risk artar. Plastik kovan parçaları, koruyucu giysiler, besleyiciler ve çerçeveler zamanla parçalanarak arılar tarafından yutulabilen veya solunabilen MP'ler salabilir. Arılara verilen yemler, kirlenmiş kaynaklardan elde edilmişse MP içerebilir ve bu durum kolonilerde birikime, sağlık ve davranış değişimlerine yol açabilir.

Mikroplastiklerin Arılara Yönelik Etkileri

Araştırmalar, polistiren (PS) ve polietilen (PE) parçalarının bal arılarında ve kovan ürünlerinde bulunduğunu; bu kirleticilerin bal ve bal mumu gibi farklı kovan matrislerine geçebildiğini göstermektedir. Bazı çalışmalar, kronik maruziyetin arıların hayatta kalmasını ciddi ölçüde etkilemediğini belirtse de beslenme oranlarında ve vücut ağırlığında azalmalar görülebilir. MP'ler detoksifikasyon ve bağışıklık ile ilgili genlerde değişimlere yol açarak sağlık riskleri oluşturabilir. Bu nedenle etkilerin tam olarak anlaşılması, ekolojik risklerin değerlendirilmesi ve popülasyonların korunması için kapsamlı çalışmalara ihtiyaç vardır.

Yaşam Süresi ve Ölüm Oranı

- PS ve polimetilmetakrilat (PMMA) karışımına maruz kalmak arı ölümlerini %25'e kadar artırabilir.
- 50 mg/L PE-MP kürelerine maruz kalan arılarda 7 gün sonra ölüm oranı artmıştır.
- 100 µm PE-MP kürelerine oral maruziyet mortaliteyi (~%40) ve enfeksiyon hassasiyetini yükseltmiştir.

Gıda Alımı ve Vücut Ağırlığı

- PS fragmanlarına maruz kalındığında gıda alımı %16, vücut ağırlığı %18,5 oranında düşmüştür.
- Düşük PE konsantrasyonlarında ise bazen gıda tüketimi artmıştır.
- Düzensiz şekilli fragmanlar sindirim sistemini tıkayarak sindirimi zorlaştırabilir.

Bağırsak Mikrobiyotası ve Bağışıklık Sistemi

- PS-MP'ler bağırsak mikrobiyotasının çeşitliliğini azaltır, oksidatif hasara ve bağışıklıkla ilgili genlerde değişime yol açabilir.
- Nanoplastikler, bağırsak bariyerini bozarak metabolik bozukluklara neden olabilir.
- 100 nm PS küreleri, Bifidobacterium ve Lactobacillus miktarını azaltırken patojenlere duyarlılığı artırır.
- Snodgrassella alvi'nin PE-MP'ler üzerinde yoğunlaşması, mikrobiyal dengeyi bozarak patojenlere karşı direnci azaltabilir.

Bilişsel Etkiler ve Beyin Birikimi

- MP'ler arı beynine ulaşarak öğrenme ve hafıza yetilerini zayıflatır.
- Floresan MP'lerle beslenen arılar, kokuları ödülle ilişkilendirme eğitiminde öğrendiklerini 24 saat içinde unutmuştur.

Sinerjistik Etkiler

- MP'lerin toksisitesi, pestisit, antibiyotik, fungusit ve ağır metaller gibi kirleticilerle birlikte arttığı gözlemlenmiştir.
- Örneğin, tetrasiklin ile bağırsak mikrobiyotası azaltıldığında MP kaynaklı mortalite yükselmiştir.

Sakkaroz Tepkisi

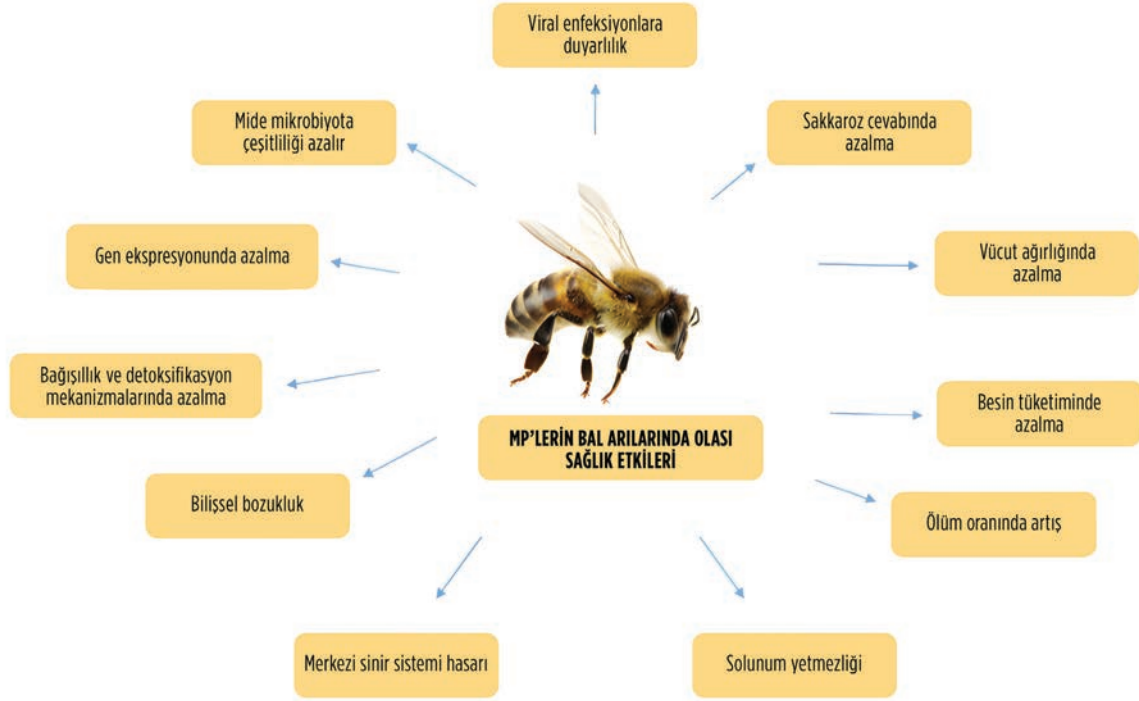
- MP'ler, özellikle PS parçaları, arıların sakkaroz duyarlılığını düşürerek nektar seçiminde bozulmalara neden olur.

Koloni Performansı ve Büyüme

- PE alımı, bağırsak hasarı ve bağışıklık tepkileriyle ilişkilidir.
- PS-MP maruziyeti yiyecek tüketimini ve vücut ağırlığını azaltabilir; bu durum üremeyi ve hayatta kalmayı olumsuz etkileyebilir.
- Nano ve mikropolistirenler, enerji metabolizmasıyla ilgili genlerin düzenlenmesini değiştirebilir.

Diğer Fiziksel ve Biyolojik Etkiler

- NanoPS ve insektisit cyfluthrin kombinasyonu, bağırsak duvarında incelleme ve hücre çekirdeği kaybına yol açmıştır.
- PS-100 nm maruziyeti bağırsak atrofisine, saç kaybına ve vücut rengi değişimine neden olmuştur.
- MP'ler, kütiküler bileşiklerin bolluğunu değiştirebilir.
- Larvalara polistiren, polietilen tereftalat ve titanyum dioksit verilmesi, erişkin arıların vücut ağırlığını artırabilir ve yürüyüş davranışlarını değiştirebilir; kan hücresi sayılarında da farklılıklar görülebilir.



Şekil 2. Mikroplastiklerin bal arılarına yönelik olası sağlık etkileri.

Mikroplastiklerin Bala Geçişi ve Halk Sağlığı Boyutu

MP'ler, bal arılarının sindirim sisteminde parçalanmadan geçerek midelerinden kovana aktarılır ve burada zamanla birikir. Boyut, şekil, tür ve konsantrasyonları toksikolojik etkilerinin değerlendirilmesinde önemli faktörlerdir. Düzensiz şekilleri nedeniyle ürünleri kirletme, bal üretiminin kalitesini ve miktarını etkileme potansiyelleri yüksektir. Yüksek hidrofobisiteyi sebebiyle bal mumu MP'lerin önemli bir kısmını emer, bu da kovan içinde birikime ve arıların uzun süre maruz kalmasına yol açar.

Araştırmalarda bal örneklerinde mikroplastik varlığı tespit edilmiştir. Almanya, Fransa, İtalya, İspanya ve Meksika'dan alınan 19 bal örneğinde lifler (40–660/kg) ve parçacıklar (0–38/kg) bulunmuştur. Alman ticari balında yaklaşık 300 parça/pound MP saptanmıştır. Bu kirliliğin, arılar tarafından kovana taşınma veya balın işlenme aşamasında kontaminasyon sonucu oluşabileceği belirtilmektedir. Bal mumu ve larvalara da gıdadan MP transferi görülmüştür. Ayrıca, özellikle plastik ambalajlarda saklanan ballarda ftalat (plastikleri esnek hale getiren kimyasal) konsantrasyonlarının daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Sonuç

Mikroplastiklerin insan sağlığı üzerindeki etkileri henüz tam olarak aydınlatılamamış olup, gıdalardaki miktarları konusunda detaylı veriler sınırlıdır. MP ve nanoplastiklerin memeli hücreleri ile dokuları üzerindeki etkileri yeterince araştırılmamıştır.

Son çalışmalar, MP'lerin kovanlarda birikebileceğini; bal, bal mumu ve larvaları etkileyebileceğini göstermektedir. Bal arılarında yaygın olarak tespit edilen MP türleri polipropilen, polistiren ve polietilendir. Bu parçacıkların çevrede kalıcılığı ve zararlı kimyasalları emme yetenekleri toksik etkilerini artırmaktadır. En önemli sağlık etkileri arasında bağırsak mikrobiyom çeşitliliğinin azalması, ağırlık kaybı ve bilişsel bozukluk yer almaktadır.

Mikroplastik kirliliğinin önlenmesi için şu stratejiler öne çıkmaktadır:

- Geri dönüşümün teşviki
- Plastik kullanımının azaltılması
- Tüketici bilinçlendirme çalışmaları
- Arıcılıkta plastik içermeyen malzemelerin kullanımı