

# Besin Ambalajından Plastik Geçişinin Bulaşıcı Olmayan Kronik Hastalıklar Üzerine Etkisi

## *Impact of Plastic Migration from Food Packaging on Non-Communicable Chronic Diseases*

Hatice Karakoç<sup>1</sup>, Derya Dikmen<sup>2</sup>

Geliş tarihi/Received: 15.02.2024 • Kabul tarihi/Accepted: 16.07.2024

### ÖZET

Besinlerle temas eden besin ambalajı gibi malzemelerde plastiklerin kullanımı yaygındır. Plastiklerde bulunan monomerler, kasıtlı ve kasıtsız eklenen maddeler, mikro ve nano plastikler migrasyon ile besinlere geçebilir. Migrasyon, kimyasal bileşiklerin kütle transferidir. Ambalaj ve besinin doğası, ambalajda bulunan göç eden madde miktarı, temas sıcaklığı, polimer matrisinin durumu maruziyet süresi, göç eden maddenin tipi ve özellikleri plastiklerden besinlere migrasyonu etkileyen faktörlerdir. Yapılan çalışmalarda, plastiklerin endokrin bozucu özelliklerinin yanında kanser, obezite, diyabet ve kardiyovasküler hastalıklar gibi bulaşıcı olmayan hastalıklara neden olabileceği de bildirilmiştir. Bu hastalıklar besinle temas eden çeşitli kimyasal ve malzeme ile ilişkilendirilmektedir. Plastik ambalajlar yerine biyoplastik, cam, metal gibi farklı ambalajlar tercih edilebilir. Bu çalışma ile günümüze kadar daha çok endokrin bozucu özellikleri üzerinde durulan, plastik migrasyonunun, türleri ve bu migrasyonun bulaşıcı olmayan hastalıklar üzerindeki etkisinin gösterilmesi amaçlanmaktadır.

*Anahtar kelimeler: Plastik, migrasyon, bulaşıcı olmayan kronik hastalıklar*

### ABSTRACT

The use of plastics is common in materials that come into contact with food, such as food packaging. Monomers found in plastics, intentional and unintentional added substances, micro and nano plastics can migrate into foods. Migration is the mass transfer of chemical compounds. The nature of the packaging, the type of the food, the amount of migratory material in the package, contact temperature, the state of the polymer matrix, exposure time, the properties and the type of the migrating material affect migration from plastics to foods. Studies have reported that plastics can cause non-communicable diseases such as cancer, obesity, diabetes and cardiovascular diseases in addition to their endocrine disrupting properties. These diseases are associated with various chemicals and materials that come into contact with food. Different packaging, such as bioplastic, glass, and metal, can be preferred instead of plastics. This study aimed to show the plastic migration, types and the effect of this migration on non-communicable diseases of plastics, which have been mostly focused on their endocrine disrupting properties until today.

*Keywords: Plastic, migration, non-communicable chronic diseases*

1. Hacettepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü  
Ankara, Türkiye • <https://orcid.org/0009-0002-5117-3852>

2. **İletişim/Correspondence:** Hacettepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi,  
Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Ankara, Türkiye  
E-posta: [ddikmen@hacettepe.edu.tr](mailto:ddikmen@hacettepe.edu.tr) • <https://orcid.org/0000-0003-2099-2863>

## GİRİŞ

Günümüzde besin ambalajı, sofrta takımı, besin işleme ekipmanı gibi besinler ile temas eden malzemelerde plastik ürünlerin kullanımı yaygındır (1). Son yıllarda besin ticaretindeki uluslararası hızlı büyüme, kentleşme ve işlenmiş hazır besinlere olan talebin artması, paketlenmiş besinlere olan ihtiyacı artırmıştır (2). Besin ambalajları, besinleri çevresel kirlenmelerden, sıcaklık, nem, mikroorganizmalar gibi diğer etkenlerden korumak, raf ömrünü uzatmak, işlenmesi, dağıtılması ve taşınmalarını kolaylaştırmak, tüketiciye bilgi sunmak amacıyla kullanılır (2-4). Besin ambalaj malzemeleri arasında plastiklerin kullanımı oldukça yaygındır (5). Tepsiler, kapaklar, filmler, poşetler ve şişeler plastik ambalajlar arasında bulunur (6). Besin ambalajları, besinlerin kalitesini ve güvenliğini sağlamada önemlidir (3, 4). Ancak besin ambalajlarındaki çeşitli bileşenlerin ambalajdan besine geçme ihtimali vardır, bu nedenle besin ambalajları potansiyel bir kontaminasyon kaynağı olabilir (3, 5). Bu bileşenler sıcaklık, süre, ambalajın ve besinin doğası gibi özelliklere bağlı olarak migrasyon ile besinlere aktarılır. Migrasyon (göç), besin ve ambalaj arasındaki kimyasal bileşiklerin kütle transferidir. Migrasyon besinin kalitesi, güvenliği ve organoleptik özelliklerinde değişikliklere neden olabilir (7). Plastikler sıcaklık, su aktivitesi, güneş ışığına maruziyet gibi faktörlerle mikro plastik ve nano plastiklere dönüşebilir (8). Plastik malzemelerin üretiminde kullanılan ham maddeler, kasıtlı olarak eklenen çeşitli maddeler, kasıtsız eklenen maddeler, mikro ve nano plastikler migrasyona uğrayabilecek maddelerdir (3, 5, 8).

Plastik ambalajlardaki göç eden maddeler genellikle düşük moleküler ağırlıklıdır, besinlerle migrasyona ve reaksiyona girmeye duyarlıdır (9). Bu maddeler insanların sindirim kanalında emilerek tüketicinin sağlığını riske atabilir (3, 5). Bulaşıcı olmayan bazı kronik hastalıklar, besinle temas eden malzemelerdeki kimyasallarla ilişkilendirilmektedir (1).

Bu derleme ile günümüze kadar daha çok endokrin bozucu özellikleri üzerinde durulan (10), plastik migrasyonunun, türleri ve bu migrasyonunun bulaşıcı olmayan hastalıklar üzerindeki etkisinin gösterilmesi amaçlanmaktadır.

## PLASTİK

Plastikler, monomerlerin ve yapı taşlarının birbirine bağlandığı polimerizasyon işlemiyle üretilir (11). Düşük üretim maliyetleri, kolay taşınabilirlik, çok yönlülük, hafiflik ve dayanıklılık gibi olumlu özellikleri nedeniyle besinlerin taşınması ve depolanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (5, 8). Monomer ve kimyasal göç, gazlara ve ışığa karşı değişken geçirgenlik besin ambalajlarında plastik kullanımının dezavantajlarıdır (11).

Plastikler, çevresel faktörlerin etkisi ile bozularak 0.1-5000 µm boyutundaki mikro plastikleri ve 1-100 nm boyutundaki nano plastikleri oluşturur. Mikro ve nano plastikler, plastik bileşiminde yer alabilir (8). Plastiklerin özelliklerini iyileştirmek için plastikleştiriciler, antioksidanlar, stabilizatörler gibi katkı maddeleri kullanılır (3). Katkı maddeleri ve monomerlerin safsızlıkları, bozunma, reaksiyon ürünleri ve yeni oluşan bileşikler gibi kasıtsız olarak eklenen maddeler de plastiklerin yapısında yer alır (3).

Plastik ambalaj malzemeleri genellikle polietilen tereftalat (PET- Polyethylene terephthalate), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE- High density polyethylene), düşük yoğunluklu polietilen (LDPE- Low density polyethylene), polipropilen (PP- Polypropylene), polivinil klorür (PVC-Polyvinyl chloride), polistirenden (PS- Polystyrene) oluşur. Her polimer tipi farklı özelliklere sahip olduğu için farklı ambalajlamalar için kullanılmaktadır (8). Tablo 1'de besin ambalajlarında yaygın kullanılan plastik türleri verilmiştir.

**Tablo 1.** Besin ambalajlarında yaygın kullanılan plastik türleri

Plastik türü	Plastik kodu	Monomer	Özellikleri
PET		Etilen tereftalat	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kimyasal direnç, hafiflik, berraklık, yüksek bariyer özellik, düşük erime sıcaklığı (12)</li> <li>Su şişeleri, meyve suyu ambalajları (8)</li> </ul>
HDPE		Etilen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Yüksek yoğunluk, kristallik (6)</li> <li>İyi bariyer özellikleri (12)</li> <li>Süt şişesi (8)</li> </ul>
PVC		Vinil klorür	<ul style="list-style-type: none"> <li>Isıyla şekillendirme kolaylığı, şeffaflık ve düşük maliyet</li> <li>Yüksek sıcaklıkta kolay bozunma</li> <li>Kırmızı et ve sebze-meyve ürünlerini streç filmle paketlenme (12)</li> </ul>
LDPE		Etilen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Düşük moleküler ağırlık, kristallik derecesi (6)</li> <li>Yumuşak, esnek</li> <li>Streç ambalaj, poşet (12)</li> </ul>
PP		Propilen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ucuz, iyi kimyasal ve yağ direnci (12)</li> <li>Besin ambalajları, kapaklar (8)</li> <li>Süt ürünleri (13, 14)</li> </ul>
PS		Stiren	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gazlara ve buharlara karşı yüksek geçirgen (15)</li> <li>Probiyotik süt ürünleri (13)</li> <li>Kahve, dondurma, yoğurt, krema, bal gibi az yağlı yiyecekler, yumurta ve meyve paketlenme (6)</li> </ul>
Diğer		Polikarbonatlar: Bisfenol A Poliamid: kaprolaktam	<ul style="list-style-type: none"> <li>Polikarbonatlar: Yüksek sıcaklıklara dayanıklılık. Hazır yemek kutuları, içecek kutuları, fırın pişirme kapları (6)</li> <li>Poliamidler (PA): Kimyasal direnç, mekanik dayanıklılık. Peynir, taze ve işlenmiş etler, dondurulmuş besinler (12).</li> </ul>

HDPE: yüksek yoğunluklu polietilen, LDPE: düşük yoğunluklu polietilen, PA: poliamid, PET: polietilen tereftalat, PP: polipropilen, PS: polistiren, PVC: polivinil klorür.

## PLASTİK BESİN AMBALAJLARINDAN BESİNLERE GÖÇ EDEBİLECEK MADDELER

Plastik malzemelerin üretiminde, dayanıklılığını ve mekanik özelliklerini artıran ham maddeler ve kasıtlı olarak eklenen çeşitli maddeler kullanılmaktadır. Kasıtsız olarak eklenen maddeler de plastiklerin bileşiminde bulunmaktadır. Monomerler, polimerler, yüzey aktif maddeler, antioksidanlar ve yağlayıcılar besinlerle temas eden malzemelere kasıtlı olarak eklenen maddelerdir. Kasıtsız olarak eklenen maddeler reaksiyon yan ürünleri, bozunma süreçleri

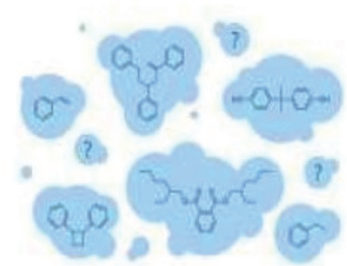
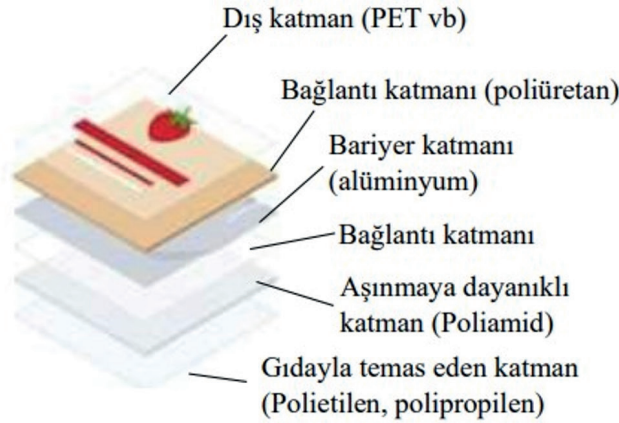
sonucu oluşan ürünler, oligomerler, ambalaj malzemeleri ve besinler arasındaki kimyasal reaksiyonlardan kaynaklanan maddeleri içerir. Plastik besin ambalajlarında bulunan kasıtlı, kasıtsız maddeler çeşitli faktörlere bağlı olarak plastiklerden besinlere geçebilir (3, 5). Avrupa Birliği (AB) ve Türk Gıda Kodeksi'ne göre plastik bileşenlerin besin bileşenlerine geçişi, besinle temas eden yüzeyin  $dm^2$ 'si başına 10 miligramı ( $10 mg/dm^2$ ) geçmemelidir (16, 17).

Şekil 1'de plastik besin ambalajından migrasyon yoluyla besine geçebilen maddeler gösterilmiştir.

**Gıdayla temas eden ürün****Gıdayla temas eden malzeme****Gıdayla temas eden kimyasal**

- Plastikler
- Kaplama
- Alüminyum (Al)
- Yapıştırıcılar
- ...

- Monomerler
- Polimerler
- Oligomerler
- Katkı maddeleri
- Pigmentler
- ...



**Şekil 1.** Plastik besin ambalajında gıdayla temas eden ürün, malzeme ve kimyasal maddelerin gösterimi. Çok katmanlı plastik gıda ambalajının gösterimi (1, 18).

Al: Alüminyum, PET: polietilen tereftalat.

**Monomerler ve oligomerler**

Monomerler, polimer zincirine dahil edilmemiş, reaksiyona girmemiş veya moleküler halde bulunabilir (9). Oligomerler, polimerlerin bilinmeyen bileşenleridir (19). Çalışmalarda, PS besin ambalajıyla temas eden besinlere stiren monomerinin geçtiği bildirilmiştir (15, 20).

**Plastikleştiriciler**

Plastikleştiriciler, plastikleri yumuşatmak amacıyla materyale eklenirler ve düşük moleküler ağırlığa sahiptirler. Polimerlerin esnekliğini ve işlenebilirliğini artırırken sertliğini ve yoğunluğunu azaltırlar. Plastik ürünlerde kullanılan plastikleştirici miktarının artmasıyla ürünün oksijen iletim hızı artar. Besin ambalajlarında yüksek oranda kullanılan plastikleştiriciler, besinin oksijene daha fazla erişimine neden olur ve besinin son kullanma tarihini erkene alarak değiştirir. Bu nedenle besin ambalajlarında uygun oranlarda plastikleştirici

kullanımı önemlidir. Fitalatlar, Bisfenol A (BPA-Bisphenol A), fosfatlar, sitratlar, klorlu hidrokarbon bazlı bileşikler plastikleştiriciler arasında yer almaktadır (21). Avrupa Birliği (AB) kullanılan bazı plastikleştiriciler için spesifik migrasyon limitleri belirlemiştir. Dibütil ester (DBP- Dibutyl ester), benzil bütül ester (BBP- Benzyl butyl ester) ve Bis(2-etilheksil) ftalat [DEHP-di-(2-ethylhexyl) phthalate] için spesifik migrasyon limitleri sırasıyla 0.12 mg/kg, 6 mg/kg ve 0.6 mg/kg'dır. Toplam plastikleştiriciler için migrasyon limiti 60 mg/kg olarak belirlenmiştir (16).

**Antioksidanlar**

Plastik oksidasyonunu önlemek için eklenen maddelerdir. Arilaminler, Irganox 1076, Irganox 1010, organofosfitler plastik gıda ambalajlarında kullanılan antioksidanlar arasındadır (6, 22). Besinlerde bütillenmiş hidroksitolüen (BHT- Butylated hydroxy toluene), Irganox 1076 ve Irganox 1010 gibi antioksidanların tespit edilmiştir (23).

### Isı stabilizatörleri

Isı stabilizatörleri, polimerlerin ısı işleme maruz kaldıklarında termal bozulmayı önleyen maddelerdir. Kurşun bileşikleri, metal-tuz karışımları, epoksi bileşikleri ısı stabilizatörlerine örnektir (6).

### Işık stabilizatörleri

Polimerlerin uzun süreli hava koşullarına dayanıklılık gösterebilmesi için eklenir. Polimerik engellenmiş aminler olan Tunuvin 622 ve Chimasorb 944 ışık stabilizatörü olarak kullanılmaktadır (22).

### Kayma ajanları

Kayma ajanları malzemeye polimerin yüzeyinin sürtünme katsayısını azaltmak amacıyla eklenir. Yüzey direncinin düşürülmesi, yapışmayı önleme, kalıptan kolay ayrılma gibi olumlu özellikleri de polimerlere kazandırır. Oleamid, yağ asidi esterleri, çinko stearat plastiklerde kullanılan kayma ajanları arasındadır (6).

### Bozunma ürünleri

Bozunma, polimerin kendisinde veya eklenen katkı maddesinde meydana gelebilir. Mikrodalga işlemi,

ışınlama, tüketici tarafından ambalajın yanlış kullanılması bozunma reaksiyonlarının oluşumunda etkilidir (5).

### Safsızlıklar

Ambalaj üretimi sırasında kullanılan ham maddeler ve katkı maddelerinden oluşur. Baskı mürekkepleri için yapılan azo pigmentlerde birincil aromatik aminler ve  $\beta$ -naftol safsızlık olarak bulunabilir (5).

### Kirleticiler

Çevreden gelen toz, bakteri gibi çeşitli kirleticiler, katkı maddelerinin veya monomerlerin ayrışmasından türetilen maddeler, PVC polimerlerde bulunabilen dioksinler kirletici maddeler arasında yer alır (22).

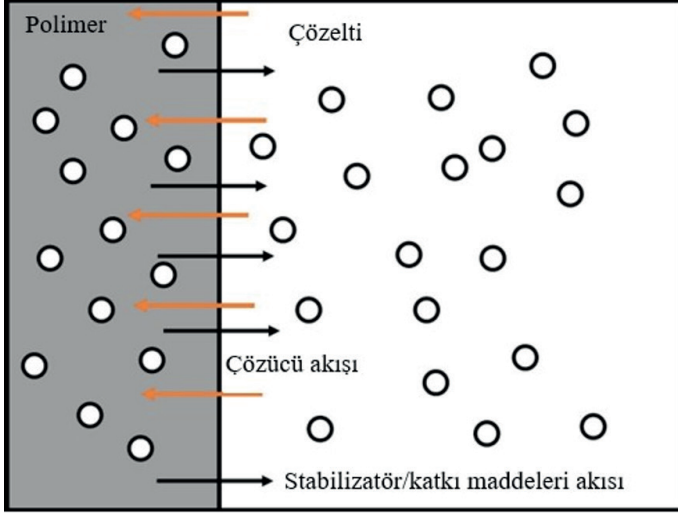
Plastik madde ve malzemelerden geçen ağır metaller için spesifik migrasyon limitleri belirlenmiştir. Alüminyum, baryum, kobalt, bakır, demir, lityum, mangan, nikel ve çinko için spesifik migrasyon limitleri sırasıyla 1, 1, 0.05, 5, 48, 0.6, 0.6, 0.02 ve 5 mg/kg'dır (16, 17).

Tablo 2'de farklı plastik ambalajlardan besinlere geçen kimyasal maddeler gösterilmiştir.

**Tablo 2.** Plastik ambalajlardan besinlere geçen kimyasal maddeler

Ambalaj malzemesi	Göç eden madde	Besin	Miktar	Referans
PS ambalaj	Stiren	Çiğ tavuk	2,58 ng/g <sup>-1</sup>	(20)
PS ambalaj	Stiren	Çiğ kıyma	5,60 ng/g <sup>-1</sup>	(20)
PS ambalaj	Stiren	Çikolata parçacıklı kurabiye	107 ng/g <sup>-1</sup>	(20)
PS ambalaj	Stiren	Çocuklar için yoğurt tatlısı	11,2 ng/g <sup>-1</sup>	(15)
PS ambalaj	Stiren	İnek sütünden yoğurt	5,6 ng/g <sup>-1</sup>	(15)
PS ambalaj	Stiren	Koyun sütünden yoğurt	7,9 ng/g <sup>-1</sup>	(15)
PS köpük bardak	Stiren	Süt	89,2 ng/g <sup>-1</sup>	(15)
PA mutfak eşyası	Oligomer	Tam yağlı süt	3,6 mg/kg	(19)
PVC streç film ve sert plastik	DEHA	40 farklı peynir (30 pozitif)	0,71-879 $\mu$ g/g	(24)
PVC streç film ve sert plastik	DEHP	40 farklı peynir (9 pozitif)	0,29-15 $\mu$ g/g	(24)
PVC streç film ve sert plastik	DEHA	16 farklı balık (13 pozitif)	0,84-17 $\mu$ g/g	(24)

DEHA: di (2-etilheksil) adipat, DEHP: Bis(2-etilheksil) ester, PA: poliamid, PS: polistiren, PVC: polivinil klorür



Şekil 2. Plastik ambalaj ve besin arasındaki difüzyon (7).

## PLASTİKLERDEN BESİNE MADDE GEÇİŞİ

Plastik besin ambalajlarında bulunan monomerler, plastikleştiriciler gibi kimyasallar işleme, paketlenme, depolama gibi tedarik zincirinin farklı aşamalarında besinlere geçebilirler. Migrasyon genellikle maddelerin daha yüksek konsantrasyonlu bir bölgeden daha düşük konsantrasyonlu bir bölgeye difüzyonudur (6, 7, 9). Şekil 2'de plastik ambalaj ve besin arasındaki migrasyon gösterilmektedir.

Kimyasalların besinlere geçişi genellikle dört ana adımda gerçekleşir:

- I. Kimyasal maddelerin polimerler aracılığıyla difüzyonu,
- II. Polimer yüzeyinden moleküllerin desorpsiyonu,
- III. Plastik-besin arayüzünde bileşiklerin emilmesi,
- IV. Besindeki bileşiklerin emilimi (9).

Difüzyon, dengeye ulaşılıncaya kadar moleküllerin yüksek konsantrasyonlu bölgelerden düşük konsantrasyonlu bölgelere rastgele hareketi nedeniyle kütle transferidir. Yayılma süreci, Fick'in ikinci yasası ile matematiksel olarak ifade edilir (6, 22).

Migrasyon sırasında plastik ambalajlardan monomer, oligomer, plastikleştirici gibi düşük moleküler ağırlıklı maddeler besine geçebileceği gibi besinin aroması,

rengi ve besin öğeleri besinden ambalaja geçebilir. Yani migrasyon iki yönlü gerçekleşebilir (7).

### Göç eden madde sayısına göre göç

Göç, genel göç ve spesifik göç olarak iki gruba ayrılır. Genel göç, paketin birim alanı başına salınan tüm taşınabilir ambalaj maddelerini kapsarken, spesifik göç belirli, bilinen bir maddeyi kapsar (22).

### Besinin niteliğine göre göç türü

Göç, besinlerin niteliğine bağlı olarak; göç etmeyen sistem, uçucu sistem ve sızıntı sistemi olmak üzere üç farklı kategoriye ayrılabilir (22). Göç etmeyen sistemde, yüksek moleküler ağırlıklı polimerik malzemeler, az sayıda inorganik madde veya pigmentlerden çok az kütle transferi gerçekleşir (7, 22). Uçucu sistemde, küçük uçucu aromatik bileşikler, gıda ile ambalaj malzemesi arasında doğrudan temas olmasa da ambalaja aktarılır. Sızıntı sisteminde, migrasyon transferinin gerçekleşebilmesi için gıda ve ambalaj arasında temas gereklidir (7).

### Difüzyon katsayısına göre göç

Difüzyon, migrasyon hızının temel belirleyicisidir. Temas difüzyon hızını değiştirebilir. Göç üç kategoriye ayrılabilir. Birinci kategoride difüzyon katsayısı sıfıra yaklaşır ve minimum göç vardır. İkinci kategoride difüzyon katsayısı sabit bir değerdir ve besin bileşeninden veya saklama süresinden etkilenmez. Üçüncü kategoride, temas önemlidir ve besin ambalaj malzemesiyle doğrudan temas etmedikçe maddenin difüzyonu önemsizdir (7, 22).

Migrasyon, temas, yoğunlaşma, gaz fazı, penetrasyon ve mahsuplaştırma gibi farklı yollarla gerçekleşebilir. Temas migrasyonu, ambalaj bileşimindeki maddelerin, ambalajın besinle temas eden yüzeyinden besine doğrudan transferidir. Plastik tepsi, ambalaj veya poşetten besinlerle temaslarında besine madde geçişi örnektir (7, 11, 25). Uçucu kimyasalların, besin ve ambalaj arasındaki hava boşluğundan difüzyon yoluyla besine aktarılması gaz fazı migrasyonudur.

Plastik ekmek ambalajından ekmeğe gaz difüzyonu gerçekleşmesi örnektir (7, 11, 25). Penetrasyon migrasyonu, ambalaj aracılığıyla, ambalajın kaplamalı veya baskılı bölümü gibi besinle temas etmeyen yüzeyinden gelen maddelerin, alt katmana veya besinle temas eden yüzeyine aktarılmasıdır. Yoğurt ambalajında gerçekleşen etkileşimler migrasyona örnektir (7, 11, 25). Mahsuplaştırma (Set-off) migrasyonu, baskılı ambalajlı besinlerin, istifleme veya sarma sırasında, ambalaj malzemesinin besinle temas etmeyen dış yüzeyindeki vernik, mürekkep ve kaplamaların ambalajın iç tarafına geçmesidir. Ambalajlı ekmek paketleri üst üste yığıldığında ambalajla temas eden alt tabakadan besinle temas eden iç tarafa doğru gerçekleşen madde difüzyonu mahsuplaştırma migrasyonuna örnektir. Penetrasyon ve mahsuplaştırma migrasyonunda, kimyasallar ambalajın besinle temas eden yüzeyine ulaştığında gaz fazı veya temas migrasyonu yoluyla besinlere geçebilir (7, 11, 25). Yoğunlaşma/damıtma migrasyonu, kaynatma veya sterilizasyon gibi ısıl işlemler sırasında besin ambalajındaki kimyasal maddelerin besine geçmesidir. Ambalajdaki uçucu bileşenlerin buharlaştırılmasını ve nemli/sulu besinlerin buharla damıtılmasını içerir. Poşetlenmiş yemeklerin fırında veya mikrodalgada pişirilmesi bu kapsama örnektir (7, 11, 25).

Şekil 3'te besin ambalajlarından besinlere göç eden kimyasalların farklı yollarla migrasyonu gösterilmiştir.

### **Besin ambalajlarında monomerlerin besinlere geçişini etkileyen faktörler**

**Ambalaj malzemesinin özellikleri:** Farklı yüzeylerin göç eden bileşiklere karşı geçirgenlikleri de farklıdır. Plastiklerin kalınlığı, yoğunluğu, kimyasal yapısı ve geçirgenliği gibi faktörler göçte etkilidir. Kalın ambalajlar migrasyonu yavaşlatırken daha ince ambalajlar daha fazla migrasyona neden olur. Besinin ağırlığına göre ambalaj yüzey alanı arttıkça migrasyon olasılığı da artar (7, 25).

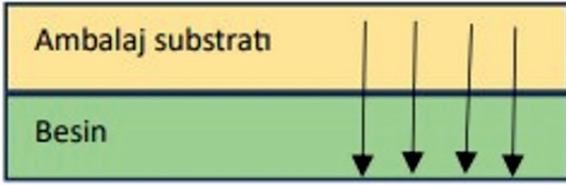
**Besinin doğası:** Besinin katı veya sulu olması, yağ ve nem içeriği, parçacıklı olması, yüzey alanı gibi özellikleri migrasyonda önemlidir (25). Genel olarak yağ içeriği yüksek besinlerde daha fazla migrasyon gerçekleştiği kabul edilmektedir (7). Makarna gibi yüzey alanı/hacim oranı yüksek olan yiyecekler genellikle göçe karşı daha hassastır (25). Peynirlerdeki Dietilhidroksilamin (DEHA- Diethylhydroxylamine) konsantrasyonları, birkaç değer dışında, süt yağı konsantrasyonunun artmasıyla genel olarak artmıştır (24). Ancak bir çalışmada PP ile paketlenmiş besinlerin artan lipit içeriği, DEHP'nin gıdaya geçişini sınırlamıştır (26).

**Göç eden maddelerin özellikleri:** Göç eden maddenin yapısı, küresel veya dallanmış yapıda olması, moleküler boyutu, uçuculuğu gibi özellikleri migrasyonda önemli rol oynamaktadır (11). Genellikle uçucu yapıda olan maddeler daha yüksek migrasyon gösterir (22). Plastik besin ambalajlarındaki uzun zincirli moleküller genellikle besinlere geçmez (9). Küçük boyutlu moleküller büyük olanlardan daha hızlı göç eder. Göç eden maddelerin moleküler ağırlığı genel olarak 1000 Dalton'un altındadır (25).

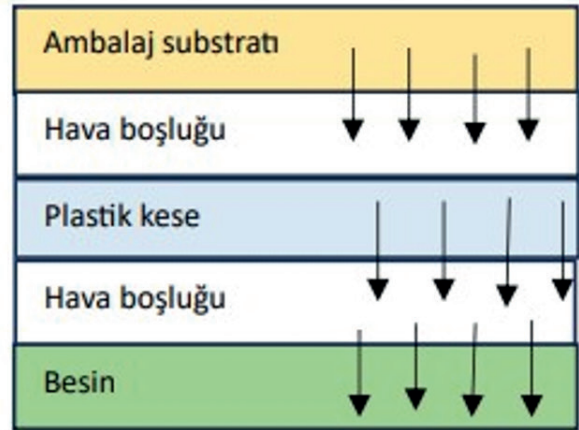
**Temas tipi:** Ambalaj malzemesi ve besinin doğrudan veya dolaylı temas etmesi göçü etkiler. Gıda ile ambalaj arasındaki doğrudan temas, kütle aktarım hızını artırır. Dolaylı temasla, gıda ile ambalaj arasındaki gaz ortamı, nispeten daha yavaş bir migrasyona neden olur (7).

**Temas süresi:** Besinler uzun süre saklandığında migrasyon olasılığı artar (6). Süt ürünlerinde stiren seviyeleri, 30 günden fazla soğuk depolama ile birlikte 1.6, 1.9 ve 76.4 ng/g-1'den sırasıyla 11.9, 16.1 ve 134.7 ng/g-1'e önemli ölçüde artmıştır. Raf ömrü daha uzun olan ve son kullanma tarihi yaklaşan ürünlerde genellikle daha yüksek stiren seviyeleri tespit edilmiştir (15). Depolama sürelerinin artmasıyla PET şişelerden suya antimon ve alüminyum migrasyonu artmıştır (27). Temas süresinin artması ile PP ve PVC ambalajlarla paketlenmiş deniz ürünlerinde, fitalat esterlerinin migrasyonu artmıştır (26).

### Temas migrasyonu



### Gaz fazı migrasyonu



### Penetrasyon migrasyonu



### Yoğunlaşma/damıtma migrasyonu



### Set off migrasyon

#### Yığın veya bobin



Şekil 3. Ambalaj ve besin arasındaki farklı migrasyon çeşitleri (25).

**Temas sıcaklığı:** Migrasyon, fizikokimyasal süreçlerle gerçekleştiği için genellikle sıcaklık arttıkça göç artar. Pişirme, işleme ve depolama sıcaklıkları da migrasyonda etkilidir. Donmuş koşullarda çok az migrasyon meydana gelir (25). Polistiren kaplardan stiren geçişinin araştırıldığı çalışmada, sıcaklık

arttıkça difüzyon hızı da artmıştır (20). Besinlerdeki yağ içeriği ve depolama sıcaklıklarının artması ile plastik ambalajlardan besinlere Irganox 1076 migrasyonu artmıştır (28). Depolama sıcaklıklarının artması ile PET şişelerden suya antimon ve alüminyum migrasyonu artmıştır (27).



**Ambalaj malzemesindeki göç eden madde miktarı:**

Ambalaj malzemesinde bulunan göç eden madde miktarı arttıkça besine göç eden madde miktarı da artar (7). Ambalajda bulunan bütün bileşenler dikkate alınmalıdır (25).

**Polimer matrisinin durumu:**

Depolama sıcaklığında polimer matrisinin camı veya kauçuk benzeri yapıda olması göçü etkiler. Difüzyon, camı polimerde kauçuk yapıda olan polimerlere göre daha yavaş gerçekleşir (6).

**İNSAN SAĞLIĞI RİSKLERİ**

Plastik üretiminde kullanılan BPA, ftalatlar, dioksinler, polibromlu bifenil eterler endokrin bozucu kimyasallardır. Bu maddeler, vücudun endokrin sistemini etkileyerek insanlarda olumsuz bağışıklık, üreme, gelişimsel ve nörolojik etkilere neden olabilirler. Endokrin bozucular doğal hormon sistemlerine müdahale ederek sağlık üzerindeki etkilerini gösterirler (10). Plastik üretiminde yaygın olarak kullanılan BPA, bisfenol F (BPF- Bisphenol F), perklorat ve DEHP gibi maddeler endokrin bozucu etkilerinin yanında bulaşıcı olmayan hastalıklarla da ilişkilendirilmektedir (1).

**Kanser:** Besinle temas eden ürünlerde kanserojen ve mutajen kimyasallar bulunabilir (1). Perflorooktanoik asitin (PFOA- Perfluorooctanoic acid) böbrek, testis ve meme kanseriyle ilişkilendirildiği ve BPA'nın meme, yumurtalık, rahim, prostat ve testis kanseriyle ilişkilendirildiği bildirilmiştir (1, 11). Stiren ve vinil klorür monomerleri de kanserle ilişkilendirilmektedir (11). Meme kanseri olan kadınlarda, meme kanseri riski ile triklosan ve parabenlere maruz kalma arasında zayıf bir ters ilişki ve BPA'ya maruz kalma ile herhangi bir ilişki olmadığı gösterilmiştir (29).

**Obezite:** Perfloroalkil ve polifluroalkil maddeler (PFAS- Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances), BPA gibi maddeler enerji alımı ile harcaması arasındaki dengeyi bozarak obeziteye katkıda bulunabilir (1). İdrar BPA konsantrasyonları ile beden kütle indeksi,

vücut yağı ve bel çevresi arasında pozitif bir ilişki olduğu tespit edilmiştir (30). Yetişkin bireylerde, DEHP ve benzilbutilftalat (BzBP- Benzylbutyl phthalate)'ye maruz kalma obezite ile ilişkilendirilmiştir (31).

**Diyabet:** BPA, ftalatlar, PFAS'ın diyabet ile ilişkilendirildiği bildirilmiştir (1). İdrar ftalatları ile tip 2 diyabet arasında pozitif ilişki bulunmuştur (32). İdrarda daha yüksek etil paraben (EtP- Ethyl paraben) ve BPA konsantrasyonlarının obezite ve diyabet ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (31).

**Nörolojik hastalıklar:** Plastiklerde bulunan BPA, ftalatlar, PFAS, perklorat ve kurşun gibi kimyasallar birçok nörolojik hastalıkla ilişkilendirilmektedir (1). Avustralyalı erkeklerde yapılan bir çalışmada toplam ftalat maruziyeti ile depresyon arasında bir ilişki bulunmamıştır (32). Erken dönemlerde ftalatlara maruziyet, tiroid fonksiyonunu bozarak, gonadal hormon düzeylerini azaltarak veya beyindeki yağ asidi konsantrasyonlarını değiştirerek çocukların nörogelişimini olumsuz yönde etkileyebilmektedir (33). İdrar MBzP (methyl-benzylpiperazine) düzeyleri çocuğun IQ'su (Intelligence quotient- entelektüel zeka) ile ters orantılı bulunmuştur. Üç yaşındaki çeşitli ftalat metabolitlerinin idrardaki konsantrasyonları, diğer zaman dilimleriyle karşılaştırıldığında, çocuklarda bilişsel yeteneklerin azalmasıyla ilişkilidir (33). Stirenin merkezi sinir sisteminde toksik etkileri vardır. Solunum yoluyla maruz kalmada nörolojik etkiler gözlenmiştir ve yutma yoluyla maruz kalma ile de benzer etkiler göstereceği beklenmektedir (20).

**Kardiyovasküler hastalıklar:** Koroner kalp hastalığı, serebrovasküler hastalık gibi kardiyovasküler hastalıklar, kalp ve kan damarlarındaki fonksiyon bozukluğundan kaynaklanır. BPA ve ftalatlar kardiyovasküler hastalıklarla ilişkilendirilmektedir (1). DEHP ve dibutil ftalatlarına maruz kalmanın koroner kalp hastalıkları ile pozitif ilişkili olduğu bildirilmiştir (34). Avustralyalı erkeklerde idrar ftalatları ile kardiyovasküler hastalıklar ve hipertansiyon arasında pozitif bir ilişki bildirilmiştir (32).

**Üreme bozuklukları:** Üreme bozukluklarıyla BPA, BPS, paraben ve fitalatların ilişkilendirildiği bildirilmiştir (1, 11). İn vitro fertilizasyon uygulamasının kullanıldığı bir çalışmada, kadınların idrarındaki organofosfat alev geciktirici metabolitlerin konsantrasyonları, başarılı fertilizasyon, implantasyon, gebelik ve canlı doğum oranlarıyla ters ilişkili bulunmuştur (35). İdrar fitalat metabolitleri, genç erkek yetişkinlerde düşük testosteron seviyeleriyle ilişkilendirilmiştir (36).

**İmmünolojik hastalıklar:** BPA, perflorooktansülfonat (PFOS- Perfluorooctane sulfonate), perflorooktanoik asit (PFOA- Perfluorooctanoic acid), fitalatlar ve melaminin immünolojik hastalıklarla ilişkilendirildiği bildirilmiştir (1, 11). İdrar fitalat seviyeleri arttıkça daha yüksek eC-reaktif protein (CRP), interlökin-6 (IL-6) ve Tümör nekrozis faktör-alfa (TNF- $\alpha$ ) seviyeleri tespit edilmiştir. Fitalatlar ve astım arasında ilişki bulunmamıştır (32).

## BESİNLERLE TEMAS EDEN MADDE VE KİMYASALLARIN ETKİLERİNİ AZALTMA/ÖNLEME YOLLARI

Plastik besin ambalajının olumsuz etkilerini azaltmak için biyoplastik ambalajlar veya aktif ve akıllı ambalajlama kullanılabilir. Bitki, hayvan, mikroorganizma ve deniz kökenli doğal polisakkaritler, proteinler ve lipit bazlı malzemeler biyoplastik üretiminde kullanılmaktadır. Bu maddeler genellikle antimikrobiyal aktiviteye sahiptirler, besinin raf ömrünü uzatırlar ve toksik değildirler. Ancak doğal biyoplastiklerin suda çözünürlük, nem duyarlılığı ve su buharı geçirgenliği gibi dezavantajları bulunmaktadır (8). Aktif ve akıllı ambalajlama gıda paketlenme ortamıyla etkileşime girer. Bazı maddeleri ambalajın üst kısmından serbest bırakır, temizler ve besinlerin raf ömrünü uzatır (7). Aktif ve akıllı maddelerin migrasyonu, aktif bileşenlerin kazara sızması, aktif ve akıllı maddelerin insan tarafından yutulması, teknik kısıtlamalar, maliyet ve fiyatların yüksek olması aktif ve akıllı ambalaj kullanımını sınırlamaktadır (4).

Kimyasal olarak aktif olmayan ve temas ettiği besinle reaksiyona girmeyen metal ve cam gibi gıda ambalajları ve plastik yerine biyoplastik veya balmumu ile kaplanmış kağıt ambalajlar plastik ambalajlar yerine tercih edilebilir (8).

Ambalaj malzemesi ve besin arasındaki etkileşim birçok faktörden etkilendiği için besin ambalajlarında plastikler kullanılırken besin güvenliğini sağlamak ve besinin raf ömrünü arttırmak için çeşitli faktörlerin dikkate alınması gereklidir. Depolama sıcaklığı, taşıma, besin ve ambalaj etkileşimi, kimyasalların ambalajdan gıda ürününe geçişi ve etkileşim süresi dikkate alınarak uygun plastik türlerinin seçilmesi önemlidir. Plastik ambalajların bileşimi, küresel ve ulusal migrasyon limitlerine uygun olmalıdır (7, 37).

## SONUÇ

Küresel çapta besinlerde temas eden ürünlerin büyük bir bölümünde plastikler yer almaktadır. Plastiklerin besinlerde kullanımının birçok avantajı olmasına rağmen plastiklerden besinlere geçen maddeler insan sağlığı için risk oluşturmaktadır. Bulaşıcı olmayan hastalıkların küresel yükü son yıllarda giderek artmaktadır ve plastikler de bu hastalık yüküne katkıda bulunabilirler. Stiren, DEHA, DEHP, ağır metaller, antioksidanlar ve oligomerler gibi plastik ambalajların yapısında bulunan bileşenler besinlere geçebilir. Plastik ambalajlar ev ortamında da tekrar kullanılabilirliği için plastik ambalaj ve besin arasındaki migrasyon önemlidir. Migrasyon birçok faktörden etkilendiği için besinlerle temas eden ürünlerde kullanılan plastiklerin üretim, depolama, işleme koşullarına uygun seçilmesi, uygun koşullarda depolanması, taşınması ve tüketiciye güvenli bir şekilde ulaşması önemlidir. Üretilen plastikler mevzuatlara uygun olmalı ve denetimler gerçekleştirilmelidir. Tüketiciye ürünleri kullandıktan sonra depolama ve saklama amacı ile kullanılmamasına yönelik eğitimler verilmelidir.

**Yazarlık katkısı • Author contributions:** Çalışmanın tasarımı: HK, DD; İlgili literatürün taranması: HK; Makale taslağının oluşturulması: HK, DD; İçerik için eleştirel gözden

*geçirme: HK, DD; Yayınlanacak versiyonun son onayı: HK, DD. • Study design: HK, DD; Literature review: HK; Draft preparation: HK, DD; Critical review for content: HK, DD; Final approval of the version to be published: HK, DD.*

**Çıkar çatışması • Conflict of interest:** *Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan ederler. • The authors declare that they have no conflict of interest.*

## KAYNAKLAR

- Muncke J, Andersson A-M, Backhaus T, Belcher SM, Boucher JM, Carney Almroth B, et al. A vision for safer food contact materials: Public health concerns as drivers for improved testing. *Environ Int.* 2023 Oct;180:108161.
- Chakori S, Aziz AA, Smith C, Dargusch P. Untangling the underlying drivers of the use of single-use food packaging. *Ecological Economics.* 2021;185:107063.
- Galmán Graiño S, Sendón R, López Hernández J, Rodríguez-Bernaldo de Quirós A. GC-MS Screening Analysis for the Identification of Potential Migrants in Plastic and Paper-Based Candy Wrappers. *Polymers (Basel).* 2018;10(7).
- Han JW, Ruiz-Garcia L, Qian JP, Yang XT. Food Packaging: A Comprehensive Review and Future Trends. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2018;17(4):860-77.
- Peters RJB, Groeneveld I, Sanchez PL, Gebbink W, Gersen A, de Nijs M, et al. Review of analytical approaches for the identification of non-intentionally added substances in paper and board food contact materials. *Trends Food Sci Technol.* 2019;85:44-54.
- Bhunja K, Sablani SS, Tang J, Rasco B. Migration of Chemical Compounds from Packaging Polymers during Microwave, Conventional Heat Treatment, and Storage. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2013;12(5):523-45.
- Alamri MS, Qasem AAA, Mohamed AA, Hussain S, Ibraheem MA, Shamlan G, et al. Food packaging's materials: A food safety perspective. *Saudi Journal of Biological Sciences.* 2021;28(8):4490-9.
- Jadhav EB, Sankhla MS, Bhat RA, Bhagat DS. Microplastics from food packaging: An overview of human consumption, health threats, and alternative solutions. *Environ Nanotechnol Monit Manag.* 2021;16:100608.
- Velickova Nikova E, Temkov M, Rocha JM. Occurrence of meso/micro/nano plastics and plastic additives in food from food packaging. *Adv Food Nutr Res.* 2023;103:41-99.
- Monneret C. What is an endocrine disruptor? *C R Biol.* 2017;340(9):403-5.
- Muzeza C, Ngole-Jeme V, Msagati TAM. The Mechanisms of Plastic Food-Packaging Monomers' Migration into Food Matrix and the Implications on Human Health. *Foods.* 2023;12(18).
- Shin J, Selke SE. *Food Processing: Principles and Applications.* 2nd ed. Clark S, Jung S, Lamsal B, editör. Wiley. 2014. 592 p.
- Guazzotti V, Hendrich V, Gruner A, Fiedler D, Störmer A, Welle F. Migration of Styrene in Yogurt and Dairy Products Packaged in Polystyrene: Results from Market Samples. *Foods.* 2022;11(14).
- Ambalaj Sanayicileri Derneği. Plastik Ambalajlar. Erişim: <https://ambalaj.org.tr/tr/ambalaj-ve-cevre-plastik-ambalajlar> Erişim tarihi: 24.11.2023.
- Kontou S, Dessipri E, Lampi E. Determination of styrene monomer migrating in foodstuffs from polystyrene food contact articles using HS-SPME-GC-MS/MS: Results from the Greek market. *Food Additives & Contaminants: Part A.* 2022;39(2):415-27.
- European Union, Commission Regulation. On plastic materials and articles intended to come into contact with food, No 10/2011. *Official Journal of the European Union:* 14.01.2011. Erişim: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2011/10/oj> Erişim tarihi: 06.12.2023.
- T.C. Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Türk Gıda Kodeksi Yönetmeliği. Gıda ile Temas Eden Plastik Madde ve Malzemeler Tebliği, Tebliğ No (2019/44). *Resmi Gazete:*25.12.2019-30989. Erişim: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/12/20191225M1-10.htm> Erişim tarihi: 06.12.2023.
- Kol R, Roosen M, Ugduler S, Van Geem K, Ragaert K, Achilias D, et al. Recent Advances in Pre-Treatment of Plastic Packaging Waste. *Current Topics in Recycling [Working Title].* 2021.
- Canellas E, Vera P, Song X-C, Nerin C, Goshawk J, Dreolin N. The use of ion mobility time-of-flight mass spectrometry to assess the migration of polyamide 6 and polyamide 66 oligomers from kitchenware utensils to food. *Food Chem.* 2021;350:129260.
- Genualdi S, Nyman P, Begley T. Updated evaluation of the migration of styrene monomer and oligomers from polystyrene food contact materials to foods and food simulants. *Food Additives & Contaminants: Part A.* 2014;31(4):723-33.
- Fink JK. *A Concise Introduction to Additives for Thermoplastic Polymers.* Salem, Scrivener. 2009. 282 p.
- Arvanitoyannis IS, Kotsanopoulos KV. Migration phenomenon in food packaging. Food-package interactions, mechanisms, types of migrants, testing and relative legislation—a review. *Food Bioproc Tech.* 2014;7:21-36.
- Du B, Shen M, Pan Z, Zhu C, Luo D, Zeng L. Trace analysis of multiple synthetic phenolic antioxidants in foods by liquid chromatography–tandem mass spectrometry with complementary use of electrospray ionization and atmospheric pressure chemical ionization. *Food Chem.* 2022;375:131663.

24. Cao X-L, Zhao W, Churchill R, Hilt C. Occurrence of Di-(2-Ethylhexyl) Adipate and Phthalate Plasticizers in Samples of Meat, Fish, and Cheese and Their Packaging Films. *Journal of Food Protection*. 2014;77(4):610-20.
25. Joint BRC, FDF, Campden BRI Migration Guideline. BRC F, Campden BRI. BRC/FDF and Campden BRI Guidance on migration from packaging materials into food Consultation Draft Only. 2015. 27 p. Erişim: <https://www.pac.gr/bcm/uploads/migration-guideline-consultation-draft-august-2015.pdf> Erişim tarihi: 27.11.2023.
26. Alp AC, Yerlikaya P. Phthalate ester migration into food: Effect of packaging material and time. *European Food Research and Technology*. 2020;246:425-35.
27. Molaee Aghaee E, Alimohammadi M, Nabizadeh R, Jahed Khaniki G, Naseri S, Mahvi AH, et al. Effects of storage time and temperature on the antimony and some trace element release from polyethylene terephthalate (PET) into the bottled drinking water. *J Environ Health Sci Eng*. 2014;12(1):133.
28. Beldi G, Pastorelli S, Franchini F, Simoneau C. Time-and temperature-dependent migration studies of Irganox 1076 from plastics into foods and food simulants. *Food Additives & Contaminants: Part A*. 2012;29(5):836-45.
29. Wu AH, Franke AA, Wilkens LR, Tseng C, Conroy SM, Li Y, et al. Risk of breast cancer and prediagnostic urinary excretion of bisphenol A, triclosan and parabens: The Multiethnic Cohort Study. *International journal of cancer*. 2021;149(7):1426-34.
30. Ko A, Hwang M-S, Park J-H, Kang H-S, Lee H-S, Hong J-H. Association between urinary bisphenol A and waist circumference in Korean adults. *Toxicological Res*. 2014;30:39-44.
31. Lee I, Park YJ, Kim MJ, Kim S, Choi S, Park J, et al. Associations of urinary concentrations of phthalate metabolites, bisphenol A, and parabens with obesity and diabetes mellitus in a Korean adult population: Korean National Environmental Health Survey (KoNEHS) 2015–2017. *Environment International*. 2021;146:106227.
32. Bai PY, Wittert G, Taylor AW, Martin SA, Milne RW, Jenkins AJ, et al. The association between total phthalate concentration and non-communicable diseases and chronic inflammation in South Australian urban dwelling men. *Environmental Research*. 2017;158:366-72.
33. Li N, Papandonatos GD, Calafat AM, Yolton K, Lanphear BP, Chen A, et al. Identifying periods of susceptibility to the impact of phthalates on children's cognitive abilities. *Environmental Research*. 2019;172:604-14.
34. Su T-C, Hwang J-J, Sun C-W, Wang S-L. Urinary phthalate metabolites, coronary heart disease, and atherothrombotic markers. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2019;173:37-44.
35. Carignan CC, Mínguez-Alarcón L, Butt CM, Williams PL, Meeker JD, Stapleton HM, et al. Urinary Concentrations of Organophosphate Flame Retardant Metabolites and Pregnancy Outcomes among Women Undergoing In Vitro Fertilization. *Environ Health Perspect*. 2017;125(8):087018.
36. Chen S-Y, Hwang J-S, Sung F-C, Lin C-Y, Hsieh C-J, Chen P-C, et al. Mono-2-ethylhexyl phthalate associated with insulin resistance and lower testosterone levels in a young population. *Environmental Pollution*. 2017;225:112-7.
37. Siracusa V. Packaging Material in the Food Industry. Chapter 7, *Antimicrobial Food Packaging*. Barros-Velázquez J, editor. San Diego, Academic Press. 2016. 95-106 p.