

An Overview of the Potential Impact of Nano and Microplastics on the Health of Sensitive Groups, Especially Children: A Narrative Review

Kosar Kouhi¹
Akram Abbasi Tajadod¹
Yalda Hashempour²

¹ Master's Student in Environmental Health Engineering, Student Research Committee, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

² Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

(Received August 20, 2023 ; Accepted November 25, 2023)

Abstract

Microplastics (MPs) and nanoplastics (NPs) have attracted significant attention due to their ubiquitous environmental presence and unique physical and chemical properties. MPs refer to plastic particles with sizes smaller than 5 micrometers, while NPs are particles with sizes smaller than 100 nanometers. Both types exist in the environment, can sediment, traverse biological barriers, and transport chemicals. Confirming their presence in human feces, meconium, and placenta underscores their potential impact on human health. These particles can enter the human body through inhalation, food and water consumption, mucus, skin, and ingestion of microplastic products. They can negatively affect the health of children, infants, and pregnant women. This can be particularly concerning and damaging to this group of individuals due to their immature immune systems and developing organs, and can lead to further harm. Pregnancy, infancy, and childhood are sensitive periods for environmental exposure. Therefore, further research on the effects of microplastics on children, infants, and pregnant women is necessary, and appropriate policies should be developed to reduce plastic use and protect the health of these groups.

Keywords: microplastic, nanoplastic, Children, ways of exposure

J Mazandaran Univ Med Sci 2023; 33 (227): 187-201 (Persian).

Corresponding Author: Yalda Hashempour - Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran.
(E-mail: y.hashempour@mazums.ac.ir)

مروری بر تاثیر بالقوه نانو و میکروپلاستیک ها بر سلامت گروه های حساس به ویژه کودکان: یک مرور روایتی

کوثر کوهی^۱اکرم عباسی تجدد^۱یلدا هاشم پور^۲

چکیده

میکروپلاستیک ها (MPs) به دلیل حضور همه جانبه خود در محیط زیست و نانوپلاستیک ها (NPs) با اندازه های کوچک تر به دلیل خواص فیزیکی و شیمیایی منحصر بفردشان توجه زیادی را به خود جلب کرده اند. میکروپلاستیک ها، ذرات پلاستیکی با اندازه کم تر از ۵ میکرومتر و نانوپلاستیک ها ذراتی با اندازه کم تر از ۱۰۰ نانومتر هستند که در محیط زیست وجود دارند و توانایی رسوب گذاری، عبور از موانع بیولوژیکی و حمل مواد شیمیایی را دارند. هم چنین حضور آنها در مدفوع، مکنونیم و جفت انسان تایید شده است. این ذرات می توانند از طریق تنفس، مصرف غذا و آب، مخاط، پوست و هم چنین بلع محصولات حاوی میکروپلاستیک به بدن انسان وارد شوند و اثرات منفی بر سلامت کودکان، نوزادان و زنان باردار بگذارد، که به دلیل سیستم ایمنی ناقص و ارگان های در حال تشکیل در این گروه از افراد می تواند جدی و نگران کننده باشد و آسیب های بیش تری به آنها وارد شود. دوران بارداری، نوزادی و کودکی دورانی حساس جهت مواجهه با محیط هستند. با توجه به این مسئله لازم است تحقیقات بیش تری در مورد اثرات میکروپلاستیک بر کودکان، نوزادان و زنان باردار انجام شود و سیاست های مناسبی برای کاهش استفاده از پلاستیک ها و محافظت از سلامت این گروه ها تدوین شود. لذا مطالعه حاضر با هدف مروری بر تاثیر بالقوه نانو و میکروپلاستیک ها بر سلامت گروه های حساس به ویژه کودکان انجام شد.

واژه های کلیدی: میکروپلاستیک، نانوپلاستیک، کودکان، راه های مواجهه

مقدمه

در سال های اخیر، میکروپلاستیک به عنوان آلاینده نوظهور شناخته شده است. سالانه ۳۳۵ میلیون تن پلاستیک در سراسر جهان تولید می شود که بسیاری از زباله های آن به محیط وارد می شود (۱). پلاستیک ها و محصولات تخریب شده آنها به ویژه نانو و میکروپلاستیک ها به دلیل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی پیچیده ای که دارند، مانند نوع پلیمر، اندازه، شکل و بار آنها به طور مکرر با

انسان در تماس هستند و می توانند بر سلامت انسان ها تأثیر منفی بگذارند (۲). نانوپلاستیک ها به موادی با اندازه کم تر از ۱۰۰ نانومتر یا ۱۰۰۰ نانومتر اطلاق می شوند و میکروپلاستیک ها پلیمرهای مصنوعی و غیرقابل تجزیه زیستی با قطر کم تر از ۵ میلی متر هستند (۳، ۴). تحقیقات نشان می دهد که محصولات پلاستیکی شامل بیش از

مؤلف مسئول: یلدا هاشم پور - ساری: کیلومتر ۱۷ جاده فرح آباد، مجتمع دانشگاهی پیامبر اعظم، دانشکده بهداشت E-mail: y.hashempour@mazums.ac.ir

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

۲. استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۶/۸ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: ۱۴۰۲/۷/۱۲ تاریخ تصویب: ۱۴۰۲/۹/۴

۴۰۰۰۰ ماده شیمیایی مختلف هستند، علاوه بر این برخی از این محصولات پلاستیکی بیش از ۸۰ درصد از مواد شیمیایی خود را به آب منتقل می کنند، در نتیجه احتمال مواجهه انسان با این مواد بیش تر می شود (۵). بنابراین، پلاستیک ها به عنوان منبعی برای مواجهه با ذرات و مواد شیمیایی در نظر گرفته می شوند و تأثیرات سلامتی آنها احتمالاً بر اثر سمیت فیزیکی و شیمیایی آنها خواهد بود. مکانیسم های احتمالی تأثیر میکرو-نانوپلاستیک ها بر سلامت عبارتند از: الف: توانایی رسوب گذاری و ایجاد واکنش های التهابی در صورت وجود تعداد زیاد آنها در نواحی حساس مانند ناحیه آلوئولی (۶)، ب: قابلیت جابه جایی این ذرات به دلیل اندازه کوچک و عبور از موانع بیولوژیکی (۷-۹)، ج: عملکرد آنها به عنوان حامل مواد شیمیایی و مواجهه با این مواد (۱۰-۱۲). میکروپلاستیک ها ممکن است از طریق تنفس، مصرف غذا و آب، مخاط، پوست و هم چنین بلع محصولات حاوی میکروپلاستیک به بدن انسان وارد شوند. این ذرات می توانند در اعضا و بافت های مختلف بدن مانند ریه ها، کبد، کلیه ها و حتی مغز تجمع یابند و تأثیرات منفی مختلفی را ایجاد کنند (۱۳). با توجه به مطالعات گذشته، ثابت شده است که میکرو و نانو پلاستیک ها باعث التهاب و مشکلات تنفسی می شوند و به دلیل سطح ایمنی کم تر در سالمندان، آنها بیش تر در معرض خطر آسم قرار می گیرند (۱۴، ۱۵). بارداری و کودکی دورانی حساس هستند که افراد در معرض خطرات محیطی و سموم بیش تری قرار می گیرند (۱۶). حتی مواجهه اولیه با مواد شیمیایی خطرناک در میزان کم، قادر است تأثیراتی را بر سلامت انسان در طول عمر بگذارد (۱۷).

در یک مطالعه با استفاده از یک مدل مبتنی بر فیزیولوژی بدن، تجمع میکروپلاستیک ها در طول عمر مدل سازی شده و نرخ دریافت روزانه ۵۵۳ ذره برای کودکان تخمین زده شده است (۱۸). علاوه بر این، کودکان به ازای وزن بدن بیش تر نسبت به بزرگسالان، مواد مصرفی بیش تری می خورند، مایعات بیش تری

مصرف می کنند و هم چنین تنفس بیش تری دارند. به همین دلیل، آلاینده ها در محیط به طرز نامناسبی توسط جوان ترین اعضای جامعه جذب می شوند و این مسئله برای نانو-میکروپلاستیک ها (NMPs) نیز صادق است. این مواجهه همزمان با رشد حیاتی سیستم های عصبی، ایمنی، متابولیک، قلبی عروقی و سایر سیستم های مهم بدن رخ می دهد. هدف این مطالعه، خلاصه کردن شواهد موجود در مورد مواجهه کودکان و خانم های باردار با NMPs و سمیت آنها در بلندمدت از طریق استنشاق، انتقال جفت، مصرف شیر مادر و جذب پوستی می باشد. با توجه به این که مواجهه و پیامدهای سلامتی NMPs تا حد زیادی بررسی نشده و به طور کامل مشخص نیست، در این مطالعه به مروری بر آسیب پذیری افراد به ویژه کودکان و زنان باردار در برابر این مواجهات می پردازیم و دلیل اهمیت این موضوع در طراحی سؤالات پژوهشی و تحقیقات مرتبط با پلاستیک و هم چنین در فرآیند توسعه سیاست های مربوط به پلاستیک را مورد توجه قرار می دهیم.

مواد و روش ها

این مطالعه به صورت مروری روایتی می باشد. جهت شناسایی مطالعاتی که اثرات سلامتی ذرات میکرو-نانوپلاستیک ها را در زمینه بارداری یا سلامت کودک بررسی می کنند به جستجوی مطالعات انگلیسی در ScienceDirect, Scholar, Scopus, Web of Knowledge و PubMed با کلید واژه های microplastic, nanoplastic, baby, child, way of exposure در بازه زمانی ۲۰۲۳-۲۰۰۰ پرداختیم و مقالات به شرح زیر تقسیم شده است: ۱- راه های مواجهه (استنشاق، بلع، شیردهی و جذب پوستی)، ۲- میکروپلاستیک بر بدن، ۳- سم شناسی میکرو و نانوپلاستیک ها.

یافته ها

پس از جستجو با کلید واژه های ذکر شده مقالات

بر رفتار و ارتباط آن‌ها برای مسیرهای مواجهه تأثیر می‌گذارد.

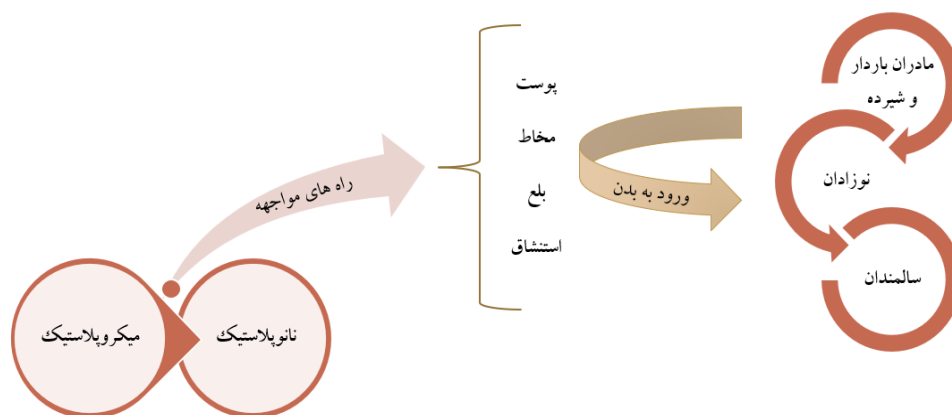
استنشاق

محصولات حاصل از تخریب پلاستیک، بسته به اندازه آن‌ها (>۱۰۰ میکرومتر)، ممکن است در هوا وجود داشته باشند و برای استنشاق در دسترس باشند (۴۷،۷). میکروپلاستیک‌ها در هوای محیط و در محیط‌های شهری (۴۹،۴۸،۲۱،۷) تا مناطق کوهستانی دور افتاده شناسایی شده‌اند (۵۰). وجود میکروپلاستیک‌ها در هوای داخل ساختمان (۵۱،۲۳) و گرد و غبار ته‌نشین شده (۲۴) نیز گزارش شده است. در مقایسه با فضای باز، غلظت‌های بسیار بالاتری از الیاف مصنوعی از جمله میکروپلاستیک‌ها در داخل ساختمان گزارش شده است که عمدتاً از پلی پروپیلن (PP) و پلی اتیلن تترافتالات (PET) تشکیل شده است. بنابراین پس از نشستن این ذرات بر روی سطوح، می‌توانند توسط نوزادان در طی رفتارهای دهانی معمولی بلعیده شوند (۵۲)، یا به دلیل حضور و تمایل طولانی مدت سالمندان در فضای بسته و خانه به راحتی می‌توانند با این ذرات در تماس طولانی مدت قرار گیرند و این افراد را تحت تأثیر قرار دهند (۵۳). با توجه به این که مردم کشورهای پردرآمد حدود ۹۰ درصد از زمان خود را در داخل خانه می‌گذرانند (۵۴)، ارزیابی مواجهه در داخل خانه از طریق استنشاق برای درک اثرات بالقوه سلامتی بسیار مهم

زیادی در زمینه اثر میکرو-نانوپلاستیک‌ها بر افراد کودکان یافت شد که بعد از حذف موارد تکراری و مقالاتی که متن کامل آن‌ها در دسترس نبود، مقالات را براساس مطالعات اپیدمیولوژی (۱ مقاله)، مطالعات مواجهه‌ای (۱۲ مقاله) و مطالعات تجربی (۱۱ مقاله) به سه بخش تقسیم کردیم که خلاصه آن در جدول شماره ۱ آورده شده است و نشان می‌دهد که افراد می‌توانند از طرق مختلف مانند هوای داخلی و خارجی، غذاهای دریایی، آب بطری شده، سبزیجات و میوه و بطری‌های تغذیه نوزاد در معرض میکروپلاستیک‌ها قرار گیرند و این امر می‌تواند اثراتی بر رشد جنین، تولید مثل و ایجاد آسم و آلرژی داشته باشد.

بحث

مواجهه با پلاستیک برای کودکان، نوزادان و زنان باردار در سراسر جهان اجتناب ناپذیر است. حضور میکروپلاستیک‌ها عمدتاً در هوا، مواد غذایی و نوشیدنی‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است (۴۴،۴۳). اگرچه مواجهه اولیه زندگی می‌تواند از طریق جفت و شیر مادر نیز رخ دهد. میکروپلاستیک‌ها در جفت انسان (۳۵) مکونیوم و مدفوع نوزاد (۴۶،۴۵) کشف شده‌اند، اما ردیابی منابع این پلاستیک‌ها دشوار است. تصویر شماره ۱ راه‌های مواجهه با میکروپلاستیک و نانو پلاستیک را نشان می‌دهد. تنوع در اندازه و سایر خصوصیات NMPs



تصویر شماره ۱: راه‌های مواجهه انسان با میکروپلاستیک و نانو پلاستیک‌ها

جدول شماره ۱: مطالعات شناسایی شده برای بررسی اثرات سلامتی نانو و میکروپلاستیک‌های مرتبط با بارداری و دوران کودکی

نوع مطالعه	تمرکز مطالعه	نام نویسنده/سال/مجله	هدف از مطالعه	نتایج
مطالعات اپیدمیولوژیک	مواجهه و تحرک در مدارس	Malmberg و همکاران/ ۲۰۰۰/۱۹	بررسی اثر بالقوه پودر جلائی کف بر روی غشاهای مخاطی چشم و دستگاه تنفسی	پودر جلائی کف ممکن است باعث ایجاد علائم تحریکی از چشم و مجاری تنفسی با نسبت شیوع ۰/۳۷ در کودکان مدرسه ای شود.
مطالعات مواجهه ای	میکروپلاستیک در هوای داخلی یا خارجی یا در گرد و غبار	عباسی و همکاران/ ۲۰۱۷/۲۰	بررسی ریزلاستیک ها و شناسایی میکروپلاستیک ها و تعیین منابع احتمالی فلزات سنگین موثر بر سلامت کودکان و بزرگسالان در گرد و غبار خیابان	دو منبع احتمالی شامل انتشارات ترافیک جاده ای و ذرات معلق خاک می باشد. اغلب میکروپلاستیک ها فیبر و قطعات بودند و در همه نمونه ها، میکروپلاستیک ها از ۲۱۰ تا ۱۶۵۸ و ریزلاستیک ها از ۴۴ تا ۷۸۲ مورد در هر ۱۰ گرم غبار شناسایی شد. شاخص خطر اکولوژیک برای جیوه متوسط و برای آرسنیک بالا بوده است.
		عباسی و همکاران/ ۲۰۱۹/۲۱	تعیین میکروپلاستیک‌ها و نانولاستیک‌ها در گرد و غبار محیط‌های شهری و صنعتی قابل بلع اکثر نمونه‌ها حاوی ذرات کروی، فیلم و قطعه بودند. بر اساس غلظت متوسط در گرد و غبار خیابان، برآورد مواجهه حاد از طریق بلع حدود ۵ و ۱۵ میکروپلاستیک در روز و ۲ و ۷ میکروپلاستیک در روز به ترتیب برای کارگران ساختمانی، کودکان و جوانان است. همچنین در غبار شهری به طور متوسط ۹۰۰ میکروپلاستیک و ۱۵۰ میکروپلاستیک به ازای هر ۱۵ گرم نمونه وجود داشت.	
		دهقانی و همکاران/ ۲۰۱۷/۲۲	حضور، ویژگی‌ها و خطرات بالقوه سلامتی ناشی از بلعیدن گرد و غبار حاوی میکروپلاستیک در هر سال طی مواجهه به ترتیب توسط کودکان و بزرگسالان بلعیده می‌شود.	
		Dris و همکاران/ ۲۰۱۶/۳۳	بررسی فیبرها در هوای داخلی و خارجی	به طور میانگین غلظت فیبر در فضای داخلی و خارجی به ترتیب، ۱ تا ۶۰ و ۰/۳ تا ۵/۵ اذره در هر متر مکعب بود و الیاف مشاهده شده بیش از حد بزرگ بودند که قابلیت استنشاق نداشتند، اما مواجهه در معرض آن ممکن است از طریق بلعیدن گرد و غبار، به ویژه برای کودکان خردسال، رخ دهد.
		Liu و همکاران/ ۲۰۱۹/۲۴	نامشخص بودن غلظت MPs در گرد و غبار و خطر مواجهه در معرض آن برای انسان	شکل اصلی MPs مشکوک فیبر بود و پلی استر از جمله PET به عنوان یک جزء مهم در MP گرد و غبار شناسایی شد. گرد و غبار داخل خانه منبع غیر قابل اغماض مواجهه انسان در معرض MPs است که مصرف روزانه ۱۷۳۰۰ توگرم بر کیلوگرم وزن بدن از PET MPs در کودکان را به خود اختصاص می‌دهد. PET در همه نمونه‌ها در غلظت بالای ۱۵۵۰ تا ۱۲۰۰۰ در محیط داخل و ۲۱۲ تا ۹۰۲۰ میلی گرم بر کیلوگرم در محیط خارج وجود داشته است.
		Zhang و همکاران/ ۲۰۲۰/۲۵	تعیین کمی MPs مبتنی بر پلی اتیلن ترناتالات (PET) و پلی کربنات (PC) در ۲۸۶ نمونه گرد و غبار داخلی جمع آوری شده از ۱۲ کشور	PET در تمام نمونه های گرد و غبار در غلظت های ۳۸ تا ۱۲۰۰۰ میکروگرم بر گرم شناسایی شد در حالی که PC در کمتر از ۱۱/۰ تا ۱۷۰۰ میکروگرم بر گرم اندازه گیری شد.
	میکروپلاستیک در مایه و غذاهای دریایی بر مصرف انسان	Barboza و همکاران/ ۲۰۲۰/۲۶	بررسی سیفونول A در کبد و مایچه ماهی و خطر مصرف آن توسط انسان	غلظت سیفونول A در کبد ۵ تا ۳۰۲۰۲ توگرم در هر گرم وزن خشک بوده است و در عضله بالاترین غلظت را سیفونول E با ۲۷۲ توگرم بر گرم وزن خشک داشته است.
		زوزولی و همکاران/ ۲۰۲۲/۲۷	وقوع میکروپلاستیک در دستگاه گوارش ماهیان	وقوع MPs در دستگاه گوارش ماهیان در منابع آبی بسته به ۸۶/۵ اذره و بیش تر از منبع آب آزاد با ۴۶/۲ اذره بود.
	اخباری زاده و همکاران/ ۲۰۱۷/۲۸	بررسی غلظت میکروپلاستیک‌ها (MPs) و فلزات در مایچه‌های ماهیان اصماق دریا و ماهیان دریایی شمال شرق خلیج فارس و ارزیابی خطر فایده مصرف آن‌ها	بررسی غلظت میکروپلاستیک‌ها (MPs) و فلزات در مایچه‌های ماهیان اصماق دریا و ماهیان دریایی شمال شرق خلیج فارس و ارزیابی خطر فایده مصرف آن‌ها	با توجه به سمیت شیمیایی MPs، فلزات و روابط خطی آن‌ها در برخی گونه ها، مصرف دوزهای بالای ماهی ممکن است سلامتی مصرف کنندگان را تهدید کند. میانگین دریافت میکروپلاستیک‌ها برای گونه‌های خاص از ۱۶۹ تا ۵۵۵ اذره به ازای هر ۳۰۰ گرم در نظر گرفته‌اند.
	میکروپلاستیک در بطری آب	Cox و همکاران/ ۲۰۱۹/۲۹	مصرف میکروپلاستیک توسط انسان	تخمین زده شد میزان مصرف میکروپلاستیک سالانه از ۳۹۰۰۰ تا ۵۲۰۰۰ اذره بسته به سن و جنس متغیر است و گزارش شد این تخمین به ۷۴۰۰۰ و ۱۱۱۰۰۰ با در نظر گرفتن استنشاق افزایش می یابد.
		مخدومی و همکاران/ ۲۰۱۹/۳۰	بررسی آلودگی در بطری های آب معدنی	پیش ترین MPهای شناسایی شده به شکل قطعه (۹۲ درصد) و فیبر (۹ درصد) با میانگین غلظت تقریباً ۸۵ اذره در لیتر بودند. علاوه بر این، در ۲۰ درصد نمونه‌های جمع آوری شده MPs وجود نداشت.
		Zuccarello و همکاران/ ۲۰۱۹/۳۱	الف) ارزیابی تعداد MPs با قطر بین ۰/۵-۱۰۰ میکرومتر در آب‌های معدنی موجود در بطری‌های پلاستیکی، ب) ارزیابی خواص فیزیکی و شیمیایی آب‌های معدنی و کیفیت بطری بر انتشار MPs ج) برآورد مواجهه روزانه انسان با MPs ناشی از مصرف آب معدنی.	بیشترین غلظت میکروپلاستیک‌ها ۶۵۶ میکروگرم بر لیتر و قطر شناسایی شده ۲۴۴ میکرومتر بوده است و میزان میکروپلاستیک ورودی به بدن بزرگسالان و کودکان را به ترتیب ۱۵۳۱۵۲۴ و ۳۳۵۰۲۰۸ اذره به ازای هر کیلوگرم وزن بدن در روز تخمین زدند.
مطالعات تجربی	تاکیکو کیتیک - انتقال جنینی / جنینی	Grafmueller و همکاران/ ۲۰۱۵/۳۲	بررسی اینکه کدام مکانیسم انتقال زیرین انتقال جنینی تانوذرات است.	مکانیسم اصلی زیرین انتقال این جالبی می‌تواند بر انتشار غیر فعال نیست، اما احتمالاً شامل یک مسیر انتقال فعال و وابسته به انرژی است. این یافته ها برای سم شناسی تولید مثل و همچنین برای مهندسی دارویی حامل های دارویی جدید مهم خواهد بود.
		Gruber و همکاران/ ۲۰۲۰/۳۳	تمرکز بر روی تأثیر تاج پروتئینی پلاسمای انسانی تشکیل شده در محل بر انتقال نانوذرات پلی استایرن ۸۰ نانومتری (ذرات PS در جفت انسان)	تغییرات کمی و کیفی پروتئین های پلاسمای تغییرات در انتقال PS را تعیین کرد. پروتئین تاج تشکیل شده توسط آلبومین انسانی به طور قابل توجهی باعث انتقال ذرات PS در سراسر بافت تشکیل شده است.
		Huang و همکاران/ ۲۰۱۵/۳۴	اثر نانوذرات با اندازه خاص جهت عبور از جفت و تأثیر آن بر عملکرد تروفوبلاست*	نانوذرات می‌توانند از جفت عبور کرده و توسط تمام های جنین جذب شوند. غلظت های خاصی از نانوذرات پلی استایرن اصلاح شده با کریو کسيلات (۲۰۰ میکروگرم بر لیتر و ۵۰۰ میکروگرم بر لیتر) ممکن است برای تروفوبلاست ها سمی باشد که می تواند عملکرد جفت را تغییر دهد.
		Ragusa و همکاران/ ۲۰۲۱/۳۵	ارزیابی وجود میکروپلاستیک در زنان دارای حاملگی فیزیولوژیک	همه ذرات میکروپلاستیک از نظر مورفولوژی و ترکیب شیمیایی مشخص شدند و در مجموع ۱۲ قطعه میکروپلاستیک در اندازه ۵ تا ۱۵ میکرومتر یافت شد.
		Wick و همکاران/ ۲۰۱۰/۳۶	بررسی عبور ذرات از سد جفت و تأثیر آن بر روی جنین	یان کردند توهمواد پتانسیل انتقال از طریق جفت را دارند و نیاز به بررسی بیشتر سمیت نانوذرات بر روی اندام‌های مهم را تأکید کردند.
		Fournier و همکاران/ ۲۰۲۰/۳۷	بررسی عبور ذرات نانولی استایرن از سد جفت و رسوب آن پس از مواجهه در معرض مواجهه رویی مادر با نانولی استایرن منجر به انتقال ذرات پلاستیک به بافت‌های جفت و جنین می‌شود و ریه مادر در بافت های جنین	جفت را در برابر اثرات نامطلوب آسیب‌پذیر می کند.
	سموم - آگز، آسم، التهاب	Alberg و همکاران/ ۲۰۱۴/۳۸	تأید تأثیر اندازه ذرات بر ظرفیت ارتقاء ایمنوئولوژیک (IgE) ذرات در مدل آلرژی راه هوایی.	تأید تأثیر اندازه ذرات بر ظرفیت ارتقاء ایمنوئولوژیک (IgE) ذرات در مدل آلرژی راه هوایی.
		Inocencio و همکاران/ ۲۰۱۷/۳۹	تأید اثرات ضد التهابی نانوذرات پلی استایرن ۵۰ نانومتری در گوسفند و بررسی اثرات تجویز پیشگیرانه این ذرات بر آسیب ریه ناشی از تهویه در بردهای نارس	تجویز پیشگیرانه این ذرات پلی استایرن ۵۰ نانومتری در گوسفند و بررسی اثرات تجویز پیشگیرانه این ذرات بر آسیب ریه ناشی از تهویه در بردهای نارس
	سموم - تولید مثل	Han و همکاران/ ۲۰۲۰/۴۰	آیا MPs از طریق مسیر استنشاق می‌تواند به جنین موش ها منتقل شوند و سمیت سیستمیک شیردهی هم در مادر و هم در نوزاد کمتر بر جسته است، پتانسیل سمیت نسل دوم را می توان برای بررسی پیش تر در نظر گرفت.	نتایج نشان می‌دهد جنینی اگر اثرات نامطلوب مواجهه در معرض PE-MPs در دوران بارداری و شیردهی هم در مادر و هم در نوزاد کمتر بر جسته است، پتانسیل سمیت نسل دوم را می توان برای بررسی پیش تر در نظر گرفت.
	سموم - متابولیسم	Lu و همکاران/ ۲۰۱۹/۴۱	ارزیابی مواجهه در معرض پلی استایرن MP مادر در دوران بارداری و شیردهی و بررسی اثرات بالقوه بر روی سدها و نسل های ۱F (هر دو ۲۲PND و ۲۸) و ۲F (۳۲PND).	قرار گرفتن مادر در معرض MPs در دوران بارداری و شیردهی و بررسی می‌دهد و این نتایج پیش‌بینی جدیدی در مورد خطرات بالقوه بلندمدت MPs ارائه می‌دهد.
		Lu و همکاران/ ۲۰۱۹/۴۲	موش‌های باردار را در ۵ و ۵ میکرومتر با MPs پلی استایرن ۱۰۰ و ۱۰۰۰ ug/L قرار دادند، سپس قرار گرفتن در معرض MPs مادر را در طول بارداری بررسی و اثرات بالقوه را بر روی فرزندان موش ها (۳۲PND) ارزیابی کردند.	داده‌ها را رابطه بالقوه بین MPs و خطر اختلال متابولیک را حتی در نسل بعدی خبر می‌دهد، که ممکن است پیش‌بینی جدیدی را در مورد ارزیابی خطر سلامتی نسل‌های آینده ارائه دهد.

* : لایه ای از سلول ها که در تشکیل جفت بافت های خارج جنینی و بافت آندومتر مادری، همچنین تغذیه جنین نقش دارد

است. همان طور که نوزادان و کودکان رشد می کنند، تغییراتی در بافت ریه و سرعت و الگوهای تنفسی ایجاد می کنند. در جوندگان، انتقال نانوذرات استنشاقی از فضای هوای کیسه هوایی به اندام های ثانویه در دوران نوزادی آن ها بیش از یک مرتبه بزرگ تر از بزرگسالان است (۵۵) و تا حدی این امر در مورد استنشاق NMPs توسط انسان صدق می کند. مطالعات در مورد استنشاق NMPs عمدتاً از بزرگسالان و از محیط های شغلی مانند سایت های تولید منسوجات مصنوعی انجام می شود (۵۶). هر دو میکروالیاف سلولزی و پلاستیک گرفته شده از بیماران مبتلا به انواع مختلف سرطان ریه مشاهده شده است (۵۷) که در آن الیاف در ۸۷ درصد از ۱۱۴ نمونه بافت ریه انسان مورد بررسی قرار گرفته که نشان دهنده پایداری زیستی آن هاست.

مشاهدات در مطالعه Pauly و همکاران (۵۷) تایید کرد که برخی از الیاف قادر به رسیدن به عمق ریه و اجتناب از مکانیسم های پاکسازی هستند. از آنجایی که این اجسام خارجی باقی می مانند، ممکن است باعث التهاب حاد یا مزمن شوند. انتقال جفت از طریق مواجهه مادر می تواند تعیین کننده سلامت کودک باشد. سمومی که مادر در دوران بارداری در معرض آن ها قرار می گیرد یا آن هایی که از سال ها قبل در بدن او ذخیره شده اند، می توانند در دوران بارداری و شیردهی به فرزندش منتقل شوند. اخیراً، Ragusa و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از میکرواسپکتروسکوپی رامان، میکروپلاستیک هایی را در جفت انسان در محدوده اندازه ۱۰-۵ میکرومتر کشف کردند (۳۵)، در حالی که محققان نیاز به ارزیابی دقیق پتانسیل آلودگی نمونه ها از ریزش هوایی را تأکید کردند. تحقیقات نشان می دهد که درجه انتقال ذرات در جفت در طول سه ماهه با افزایش سن حاملگی تغییر می کند (۵۸).

شیردهی و بلع

آلاینده های شیمیایی را می توان از طریق شیردهی از مادر به کودک منتقل کرد (۵۹). بسته به مدت

شیردهی، بار بدن کودک منعکس کننده مواجهه مادر است. میزان انتقال NMPs ها در دوران شیردهی مشخص نیست. کودک می تواند گرد و غبار حاوی NMPs را در محیط خانه خود استنشاق و هضم کند. چشیدن، لیسیدن و جویدن اسباب بازی ها و منسوجات پلاستیکی مسیرهای بالقوه مواجهه NMPs ها و آلاینده های مرتبط هستند. در مطالعه ای مشخص شد که مدفوع نوزاد در مقایسه با مدفوع بزرگسالان دارای غلظت قابل توجه بالاتری از میکروپلاستیک های PET می باشد، یافته ای که نویسندگان آن را عمدتاً به خوردن نسبت می دهند (۴۵). علاوه بر این، بسته بندی پلاستیکی اقلام غذایی کودک و بطری های کودک باید منابع بالقوه NMPs و مواد شیمیایی پلاستیکی در نظر گرفته شود (۶۰). مطالعات نشان دادند که وقتی بطری های پلاستیکی کودک با آب گرم تکان داده می شوند تا ۱۶ میلیون میکروپلاستیک در لیتر آزاد می شوند و استریل سازی و آب با دمای بالا به طور قابل توجهی رهاسازی میکروپلاستیک را افزایش می دهد. آن ها به این نتیجه رسیدند کودکانی که از بطری های پلاستیکی کودک تغذیه می شوند، در معرض ۱۴۶۰۰ تا ۴۵۵۰۰۰۰ ذره در روز قرار می گیرند (۶۱). تحقیقات آینده باید به دنبال بررسی اثر استفاده از پلاستیک در دوران بارداری و در اوایل دوران کودکی باشیم.

جذب پوستی

اگرچه تحقیقات با توجه به ویژگی های سطحی ذرات پلاستیک و ویژگی های بازدارنده عالی پوست بزرگسالان، احتمال مواجهه کم پوست با NMPs را بیان کرده اند (۴۴)، به طور کامل مشخص نیست که پوست کودکان چقدر آسیب پذیر است. سد پوستی بزرگسالان متفاوت از سد پوستی نوزادان و کودکان می باشد. خصوصاً نوزادان نارس که دارای لایه شاخی نازک تر و کم کارآمدتری هستند (۶۲). گزارش شده است که بلوغ مانع پوستی تا سال چهارم زندگی کودک ادامه دارد (۶۳). شواهد کمی برای انتقال نانوپلاستیک های بیش از ۱۰۰

نانومتر وجود دارد (۶۴)؛ برای NMPs های کوچک تر، راه های ورودی می تواند فولیکول های مو، غدد عرق (۶۵) یا پوست آسیب دیده واگرم باشد، که یک بیماری شایع دوران کودکی است (۶۶). استفاده مکرر از بسته بندی های پلاستیکی، نرم کننده ها و سایر محصولات مراقبت شخصی کودک نیز می تواند مواجهه NMPs باشد، اما تحقیقات در مورد منابع مرتبط وجود ندارد.

میکروپلاستیک ها در بدن

مطالعات نشان داده میکروپلاستیک ها می توانند در بدن یافت شوند که در جدول شماره ۲ به بعضی از آن ها اشاره شده است.

سم شناسی میکرو-نانوپلاستیک ها

اثرات سلامتی ذرات پلاستیک هنوز به خوبی شناخته نشده است و ارزیابی های اخیر به شکاف های دانش در رابطه با سموم سینتیک و پویایی NMPs اشاره می کند (۷۱). ذرات پلاستیکی کوچک تر احتمال بیشتری برای عبور از موانع بیولوژیکی و در نتیجه ورود به بافت ها یا توزیع سیستماتیک دارند. شواهد نشان می دهد که NMPs کم تر از ۱۰ میلی متر می تواند به طور فعال در سراسر بافت پوششی (به عنوان مثال، توسط سلول های M در روده کوچک) منتقل شود، در حالی که میکروپلاستیک های بزرگ تر تا ۱۳۰ میکرومتر می توانند به صورت غیر فعال از طریق جذب منتقل شوند (۷۲).

اثرات NMPs بر سلامت کودک مشکل ساز است زیرا مکانیسم های دفاعی بدن (ریه ها و سیستم ایمنی) در

بدو تولد به طور کامل توسعه نیافته اند و به عنوان مثال منجر به نرخ بسیار بالاتر عفونت های تنفسی و آسم در بین کودکان نسبت به بزرگسالان می شود (۱۶). این بدان معناست که مواجهه با محیط های مضر بزرگسالان ممکن است اثرات نامطلوبی بر سلامتی در اوایل زندگی داشته باشد. در بدو تولد سیستم ایمنی انسان ها ضعیف است و این موجب کاهش تعداد سلول های نوتروفیل و مونوسیت، کاهش عملکرد سلول های کشنده طبیعی می شود. به جای آن از ایمونوگلوبین های سلول های T مشتق شده از مادر و سایر عوامل ایمنی برای مبارزه با عفونت ها استفاده می شود (۷۳، ۷۴).

اطلاعات کمی در مورد تأثیر مواجهه NMPs بر سیستم ایمنی در دوران رشد انسان وجود دارد. به نظر می رسد مطالعات اخیر تأیید می کند که ذرات PS، می توانند در محدوده اندازه نانو، اثرات سمی داشته باشند. گزارش شده است که نانوذرات PS (۲۵ و ۷۰ نانومتر) اثرات سمی روی سلول های بافت پوششی کیسه هوایی انسان دارند، در نتیجه بر زنده ماندن سلولی تأثیر می گذارند و باعث توقف فاز S چرخه سلولی، استرس اکسیداتیو، رونویسی ژن التهابی و تغییر بیان پروتئین های مرتبط با چرخه سلولی و مرگ سلولی می شود (۷۵، ۷۶). ذرات نامحلول کمتر از ۱۰ میکرومتر که می توانند به تعداد زیادی در ناحیه کیسه هوایی رسوب کنند، ممکن است باعث التهاب و تغییرات سیستمیک شوند (۷۷). این اتفاق به دلیل رسوب در محل کیسه هوایی و محدود بودن مکانیسم های پاکسازی است که فقط توسط

جدول شماره ۲: میکروپلاستیک در بدن

نویسنده/سال/مکان	اندام هدف	نتایج
Guan و همکاران / ۲۰۱۳ (۶۷)	توزیع زیستی ریز ذرات را در ۱۳ نوع مایعات مختلف بدن انسان که ۸ سیسم بدن را پوشش می دهد.	۷۰۲ میکرومتر با اندازه های ۱۰۳/۲۷ تا ۱۹/۶۶ میکرومتر در مایعات بدن انسان گزارش شده است.
Barcelo و همکاران / ۲۰۱۳ (۶۸)	شیر مادر، مدفوع و خون	رایج ترین میکروپلاستیک ها در شیر مادر با اندازه ۱۲ تا ۱۲۰ میکرومتر شامل PVC، PE و PP شناسایی شدند که حضور آن ها به شدت بر رشد بعدی نوزاد تأثیر می گذارد و همچنین حداکثر مقدار PS، PE، PET در خون، ۷/۱ و ۴/۸ میکروگرم بر میلی لیتر بوده است. PP نیز در مدفوع با غلظت ۱۹/۱ میکروگرم بر گرم فراوان ترین بود.
شهسواری پور و همکاران / ۲۰۱۳ (۶۹)	مو، پوست، بزاق و دست	۴۸۰۲ ذره با اندازه ۱۰۰ تا ۵۰۰ میکرومتر به صورت رشته ای، کروی و قطعه شناسایی شدند. فیر با اندازه بیش از ۱۰۰۰ میکرومتر جزو فراوان ترین ذرات بوده است و دهان، پوست و مو به عنوان مسیر قطعی مواجهه میکروپلاستیک در نظر گرفته شد و بیان شد که وجود ذرات میکروپلاستیک در صنایع تولید محصولات پلاستیکی می تواند خطری جدی برای کارگران باشد.
Yang و همکاران / ۲۰۱۲ (۷۰)	فولیکول های مو، غدد عرق یا پوست آسیب دیده	ذرات زیر ۱۰۰ نانومتر ممکن است از سد پوستی عبور کرده و از طریق پوست انسان نفوذ کنند.

ماکروفاژها درگیر می شود و فرآیند پاکسازی ذرات نامحلول ممکن است ماه ها یا حتی سال ها طول بکشد (۷۸، ۷۹). ذرات پلاستیک ممکن است به عنوان حامل مخلوطی از مواد شیمیایی و مواد جذب شده روی آن ها عمل کنند. این مواد شیمیایی ممکن است همراه با ذرات به قسمت های حساس تحتانی ریه ها منتقل شوند و پس از رسوب، ممکن است ذرات حل شده و وارد جریان خون شوند. شواهد نشان می دهد که ذرات نامحلول با اندازه کمتر از ۱۰۰ نانومتر (که در مطالعات آلودگی هوا به آن ها ذرات بسیار ریز می گویند) می توانند از طریق کیسه های ریوی وارد جریان خون شوند (۸۰) و هم چنین تعداد کمی از مطالعات حیوانی نشان دادند که مواجهه اولیه با NMPs می تواند اثر بر متابولیسم، تعادل ایمنی مادر و جنین، میکروبیوم، استرس اکسیداتیو و التهاب داشته باشد (۴۱-۳۸، ۸۱).

در مطالعه بر روی موش های باردار، آن ها را در دوران بارداری و شیردهی در معرض میکروپلاستیک های پلی استایرن از طریق آب آشامیدنی قرار دادند و اثرات متابولیکی این ذرات را گزارش کردند (۴۱). با این حال با توجه به مراحل اولیه تحقیق، این مطالعات محدودیت های خاصی دارند، مانند استفاده از دوزهای بسیار بالای NMPs که عمدتاً از پلی استایرن تشکیل شده اند (۷۱) و اثرات طولانی مدت مواجهه سمیت بالقوه NMPs بر روی سیستم های دیگر و مغز در حال رشد نیز به شدت ناشناخته است. در یک مطالعه، جلا دهنده کف کوپلیم آکریلات-استایرن در محیط مدرسه مورد مطالعه قرار گرفت و گزارش شد نوجوانان سوزش چشم و مجاری هوایی تحتانی را تجربه کردند. تجزیه و تحلیل شیمیایی نشان داد مونومرهای آکریلات می توانند از طریق گرد و غبار قابل تنفس منتقل شوند. برخلاف کمبود داده های تجربی و اپیدمیولوژیک در مورد NMPs، داده های بهداشت حرفه ای از کارگران در صنایع پلاستیک و تحقیقات ارتوپدی روی ایمپلنت های پلاستیکی فراوان تر است. مواجهه شغلی در معرض

الیاف پلاستیکی و گرد و غبار باعث علائم تنفسی و اختلال در عملکرد ریوی شد (۲). در دهه ۱۹۸۰، محققان به بررسی سقط جنین در زنان شاغل در صنعت پلاستیک پرداختند (۸۲، ۸۳). بررسی این موضوع از نظر اثر بر سلامت کودک بسیار مهم است زیرا می دانیم که کودکان به طور گسترده تحت تأثیر آلودگی هوای محیط (۸۴، ۸۵)، که شامل NMPs نیز می شود هستند. بررسی اثرات سلامتی در اثر مواجهه با پلاستیک به تنهایی غیر ممکن است چرا که ذرات پلاستیک می توانند به عنوان حامل برای گروه متنوعی از مواد شیمیایی عمل کنند (۱۲، ۸۶، ۸۷). این شامل مواد شیمیایی مورد استفاده در تولید پلاستیک مانند فتالات ها (۸۸)، بیسفنول ها (۸۹) و بازدارنده های شعله برم دار (۹۰، ۹۱) و هم چنین مواد شیمیایی مانند هیدروکربن های اروماتیک چند حلقه ای، آفت کش های آلی کلردار و بی فیل هایی که از محیط به پلاستیک ها جذب می شوند (۹۲). ذرات پلاستیک هم چنین می توانند حاوی فلزاتی مانند کادمیوم، روی، نیکل و سرب باشند که به عنوان رنگ دهنده یا تثبیت کننده آن ها اضافه می شوند (۱۰). تعدادی از مواد شیمیایی مورد استفاده در پلاستیک و سایر موادی که NMPs حمل می کنند به عنوان مواد شیمیایی مختل کننده غدد درون ریز طبقه بندی می شوند (۹۳). اسباب بازی های پلاستیکی قدیمی تر با سطوح نایمن سرب، کادمیوم و برم هنوز به طور گسترده در مغازه های دست دوم و در میان وسایل دست دوم و اهدایی موجود هستند (۹۴). در مجموع، منجر به مواجهه ترکیبی از مواد شیمیایی و ذرات می شود که تا حد زیادی مشخص نشده باقی می ماند (۵). بر این اساس، ممکن است به دو صورت سمیت NMPs بروز کند که شامل وجود خود ذرات و یا از طریق انتشار آلاینده های جذب شده آن ها می باشد (۹۵، ۹۶).

تلاش برای جدا کردن سمیت فیزیکی از اثرات شیمیایی NMPs به صورت تجربی، دشوار و بسیار پیچیده است. کودکان به علت ویژگی های خود مانند

سرامیک، جلوگیری از تماس مستقیم با مواد پلاستیکی و منع تماس مستقیم با اسباب بازی‌ها و لوازم پلاستیکی که ممکن است حاوی میکروپلاستیک باشند، آموزش به کودکان جهت حفاظت از محیط زیست و کاهش استفاده از مواد پلاستیکی و هم‌چنین استفاده از محصولات طبیعی برای مراقبت از پوست کودکان باشد.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل طرح تحقیقاتی با کد ۱۸۳۱۲ و کد اخلاق IR.MAZUMS.REC.1402.373 می‌باشد. بدینوسیله نویسندگان مقاله از کمیته تحقیقات دانشجویی دانشگاه علوم پزشکی مازندران جهت حمایت از این طرح تقدیر و تشکر می‌نمایند.

References

1. Hashempour H, Zozouli MA. Microplastics in aquatic resources: distribution, effects and fate. *Waste Management* 1400; 20(0): 12-20.
2. Koelmans B, Pahl S, Backhaus T, Bessa F, van Calster G, Contzen N, et al. A scientific perspective on microplastics in nature and society. Berlin: SAPEA; 2019.
3. Dronjak L, Exposito N, Rovira J, Florencio K, Emiliano P, Corzo B, et al. Microplastics Presence in Water and Sludge Lines of a Drinking Water Treatment Plant in Catalonia, Spain.
4. Shi Q, Tang J, Liu R, Wang L. Toxicity in vitro reveals potential impacts of microplastics and nanoplastics on human health: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 2022; 52(21): 3863-3895.
5. Zimmermann L, Dierkes G, Ternes TA, Völker C, Wagner M. Benchmarking the in vitro toxicity and chemical composition of plastic consumer products. *Environ Sci Technol* 2019; 53(19): 11467-11477.
6. Hinds WC, Zhu Y. Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles. 3rd ed. John Wiley & Sons; 2022.
7. 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 microplastics to respiratory human health? *Sci Total Environ* 2020; 749: 141676.
8. Riediker M, Zink D, Kreyling W, Oberdörster G, Elder A, Graham U, et al. Particle toxicology and health-where are we? *Particle and Fibre Toxicology* 2019; 16(1): 19.
9. Stone V, Miller MR, Clift MJ, Elder A, Mills NL, Møller P, et al. Nanomaterials versus ambient ultrafine particles: an opportunity to exchange toxicology knowledge. *Environ Health Perspect* 2017; 125(10): 106002.
10. 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.

حساسیت و آسیب‌پذیری بیش‌تر نسبت به مواد شیمیایی NMPs، در معرض خطرات بیش‌تری قرار دارند.

بررسی‌ها بر اساس شواهد موجود در مورد تماس اولیه با NMPs، نگرانی‌هایی را مطرح می‌کند، هم‌چنین نقصان دانش باعث کاهش تدابیر بهداشت عمومی درباره پلاستیک و به ویژه NMPs می‌شود. برطرف کردن نقصان دانش در مورد اثرات NMPs بر سلامت انسان و محیط زیست، هم‌چنین حمایت از توسعه جایگزین‌های ایمن‌تر مانند مواد با NMPs کم و شستشوی کمتر با مواد شیمیایی پلاستیکی، ضروری است. برخی از اقدامات پیشگیرانه که می‌توان جهت کاهش مواجهه کودکان با میکروپلاستیک‌ها انجام داد می‌تواند شامل استفاده از ظروف غیر پلاستیکی مثل شیشه، فلز یا

- Int J Environ Res Public Health 2020; 17(4): 1212.
11. Eriksson AC, Andersen C, Kraus AM, Nøjgaard JK, Clausen P-A, Gudmundsson A, et al. Influence of airborne particles' chemical composition on SVOC uptake from PVC flooring—Time-resolved analysis with aerosol mass spectrometry. *Environmental Science & Technology* 2019; 54(1): 85-91.
 12. Rochman CM, Brookson C, Bikker J, Djuric N, Earn A, Bucci K, et al. Rethinking microplastics as a diverse contaminant suite. *Environmental toxicology and chemistry* 2019; 38(4): 703-711.
 13. Senathirajah K, Attwood S, Bhagwat G, Carbery M, Wilson S, Palanisami T. Estimation of the mass of microplastics ingested—A pivotal first step towards human health risk assessment. *J Hazard Mater* 2021; 404(pt B): 124004.
 14. Shivhare S, Sharma A. Plastic Pollution from River to Ocean: A Comprehensive Review in Indian Scenario. *Preprints* 2023.
 15. Soma T, Nagata M. Immunosenescence, inflammaging, and lung senescence in asthma in the elderly. *Biomolecules* 2022; 12(10): 1456.
 16. Landrigan PJ, Etzel RA. *Textbook of children's environmental health*: Oxford University Press, USA; 2013.
 17. Vizcaino E, Grimalt JO, Glomstad B, Fernández-Somoano A, Tardón A. Gestational weight gain and exposure of newborns to persistent organic pollutants. *Environ Health Perspect* 2014; 122(8): 873-879.
 18. Mohamed Nor NH, Kooi M, Diepens NJ, Koelmans AA. Lifetime accumulation of microplastic in children and adults. *Environ Sci Technol* 2021; 55(8): 5084-5096.
 19. Malmberg B, Leanderson P, Nilsson A, Flodin U. Powdering floor polish and mucous membrane irritation in secondary school pupils. *International archives of occupational and Environmental Health* 2000; 73: 498-502.
 20. Abbasi S, Keshavarzi B, Moore F, Delshab H, Soltani N, Sorooshian A. Investigation of microrubbers, microplastics and heavy metals in street dust: a study in Bushehr city, Iran. *Environmental Earth Sciences* 2017; 76: 798.
 21. Abbasi S, Keshavarzi B, Moore F, Turner A, Kelly FJ, Dominguez AO, et al. Distribution and potential health impacts of microplastics and microrubbers in air and street dusts from Asaluyeh County, Iran. *Environ Pollut* 2019; 244: 153-164.
 22. Dehghani S, Moore F, Akhbarizadeh R. Microplastic pollution in deposited urban dust, Tehran metropolis, Iran. *Environ Sci Pollut Res Int* 2017; 24(25): 20360-20371.
 23. Dris R, Gasperi J, Mirande C, Mandin C, Guerrouache M, Langlois V, et al. A first overview of textile fibers, including microplastics, in indoor and outdoor environments. *Environ Pollut* 2017; 221: 453-458.
 24. Liu C, Li J, Zhang Y, Wang L, Deng J, Gao Y, et al. Widespread distribution of PET and PC microplastics in dust in urban China and their estimated human exposure. *Environment international* 2019; 128: 116-124.
 25. Zhang J, Wang L, Kannan K. Microplastics in house dust from 12 countries and associated human exposure. *Environment International* 2020; 134: 105314.
 26. Barboza LGA, Cunha SC, Monteiro C, Fernandes JO, Guilhermino L. Bisphenol A and its analogs in muscle and liver of fish from the North East Atlantic Ocean in relation to microplastic contamination. *Exposure and risk*

- to human consumers. *Journal of hazardous materials* 2020; 393: 122419.
27. Zazouli M, Nejati H, Hashempour Y, Dehbandi R, Fakhri Y. Occurrence of microplastics (MPs) in the gastrointestinal tract of fishes: A global systematic review and meta-analysis and meta-regression. *Sci Total Environ* 2022; 815: 152743.
 28. Akhbarizadeh R, Moore F, Keshavarzi B. Investigating a probable relationship between microplastics and potentially toxic elements in fish muscles from northeast of Persian Gulf. *Environ Pollut* 2018; 232: 154-163.
 29. Cox KD, Covernton GA, Davies HL, Dower JF, Juanes F, Dudas SE. Human consumption of microplastics. *Environ Sci Technol* 2019; 53(12): 7068-7074.
 30. Makhdoumi P, Amin AA, Karimi H, Pirsahab M, Kim H, Hossini H. Occurrence of microplastic particles in the most popular Iranian bottled mineral water brands and an assessment of human exposure. *Journal of Water Process Engineering* 2021; 39: 101708.
 31. Zuccarello P, Ferrante M, Cristaldi A, Copat C, Grasso A, Sangregorio D, et al. Exposure to microplastics (<10 µm) associated to plastic bottles mineral water consumption: The first quantitative study. *Water Res* 2019; 157: 365-371.
 32. Grafmueller S, Manser P, Diener L, Diener PA, Maeder-Althaus X, Maurizi L, et al. Bidirectional transfer study of polystyrene nanoparticles across the placental barrier in an ex vivo human placental perfusion model. *Environ Health Perspect* 2015; 123(12): 1280-1286.
 33. Gruber MM, Hirschmugl B, Berger N, Holter M, Radulović S, Leitinger G, et al. Plasma proteins facilitates placental transfer of polystyrene particles. *J Nanobiotechnol* 2020; 18(1): 128.
 34. Huang JP, Hsieh PC, Chen CY, Wang TY, Chen PC, Liu CC, et al. Nanoparticles can cross mouse placenta and induce trophoblast apoptosis. *Placenta* 2015; 36(12): 1433-1441.
 35. Ragusa A, Svelato A, Santacroce C, Catalano P, Notarstefano V, Carnevali O, et al. Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. *Environ Int* 2021; 146: 106274.
 36. Wick P, Malek A, Manser P, Meili D, Maeder-Althaus X, Diener L, et al. Barrier capacity of human placenta for nanosized materials. *Environ Health Perspect* 2010; 118(3): 432-436.
 37. Fournier SB, D'Errico JN, Adler DS, Kollontzi S, Goedken MJ, Fabris L, et al. Nanopolystyrene translocation and fetal deposition after acute lung exposure during late-stage pregnancy. *Particle and Fibre Toxicology* 2020; 17: 55.
 38. Alberg T, Hansen JS, Lovik M, Nygaard UC. Particles influence allergic responses in mice—role of gender and particle size. *J Toxicol Environ Health A* 2014; 77(5): 281-292.
 39. Inocencio IM, Bischof RJ, Xiang SD, Zahra VA, Nguyen V, Lim T, et al. Exacerbation of ventilation-induced lung injury and inflammation in preterm lambs by high-dose nanoparticles. *Sci Rep* 2017; 7(1): 14704.
 40. Han Y, Song Y, Kim GW, Ha C, Lee J, Kim M, et al. No prominent toxicity of polyethylene microplastics observed in neonatal mice following intratracheal instillation to dams during gestational and neonatal period. *Toxicol Res* 2021; 37(4): 443-450.
 41. Luo T, Wang C, Pan Z, Jin C, Fu Z, Jin Y. Maternal polystyrene microplastic exposure during gestation and lactation altered

- metabolic homeostasis in the dams and their F1 and F2 offspring. *Environ Sci Technol* 2019; 53(18): 10978-10992.
42. Luo T, Zhang Y, Wang C, Wang X, Zhou J, Shen M, et al. Maternal exposure to different sizes of polystyrene microplastics during gestation causes metabolic disorders in their offspring. *Environ Pollut* 2019; 255: 113122.
 43. Kannan K, Vimalkumar K. A review of human exposure to microplastics and insights into microplastics as obesogens. *Front Endocrinol* 2021; 12: 724989.
 44. Lehner R, Weder C, Petri-Fink A, Rothen-Rutishauser B. Emergence of nanoplastic in the environment and possible impact on human health. *Environ Sci Technol* 2019; 53(4): 1748-1765.
 45. Zhang J, Wang L, Trasande L, Kannan K. Occurrence of polyethylene terephthalate and polycarbonate microplastics in infant and adult feces. *Environmental Science & Technology Letters* 2021; 8(11): 989-994.
 46. Schwabl P, Köppel S, Königshofer P, Bucsics T, Trauner M, Reiberger T, et al. Detection of various microplastics in human stool: a prospective case series. *Ann Intern Med* 2019; 171(7): 453-457.
 47. Prata JC. Airborne microplastics: consequences to human health? *Environmental pollution* 2018; 234: 115-126.
 48. Akhbarizadeh R, Dobaradaran S, Torkmahalleh MA, Saeedi R, Aibaghi R, Ghasemi FF. Suspended fine particulate matter (PM_{2.5}), microplastics (MPs), and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in air: their possible relationships and health implications. *Environ Res* 2021; 192: 110339.
 49. Cai L, Wang J, Peng J, Tan Z, Zhan Z, Tan X, et al. Characteristic of microplastics in the atmospheric fallout from Dongguan city, China: preliminary research and first evidence. *Environ Sci Pollut Res* 2017; 24(32): 24928-24935.
 50. Allen S, Allen D, Phoenix V, Le Roux G, Durántez Jiménez P, Simonneau A, et al. Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment. *Nature Geoscience* 2019; 12(5): 339-344.
 51. Soltani NS, Taylor MP, Wilson SP. Quantification and exposure assessment of microplastics in Australian indoor house dust. *Environ Pollut* 2021; 283: 117064.
 52. Xue J, Zartarian V, Moya J, Freeman N, Beamer P, Black K, et al. A meta-analysis of children's hand-to-mouth frequency data for estimating nondietary ingestion exposure. *Risk Anal* 2007; 27(2): 411-420.
 53. Mata TM, Felgueiras F, Martins AA, Monteiro H, Ferraz MP, Oliveira GM, et al. Indoor air quality in elderly centers: Pollutants emission and health effects. *Environments* 2022; 9(7): 86.
 54. Brasche S, Bischof W. Daily time spent indoors in German homes—baseline data for the assessment of indoor exposure of German occupants. *Int J Hyg Environ Health* 2005; 208(4): 247-253.
 55. Semmler-Behnke M, Kreyling WG, Schulz H, Takenaka S, Butler JP, Henry FS, et al. Nanoparticle delivery in infant lungs. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2012; 109(13): 5092-5097.
 56. Kremer A, Pal T, Boleij J, Schouten J, Rijcken B. Airway hyperresponsiveness, prevalence of chronic respiratory symptoms, and lung function in workers exposed to irritants. *Occup Environ Med* 1994; 51(1): 3-13.
 57. Pauly JL, Stegmeier SJ, Allaart HA, Cheney RT, Zhang PJ, Mayer AG, et al. Inhaled cellulosic and plastic fibers found in human

- lung tissue. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 1998; 7(5): 419-428.
58. Vähäkangas K, Myllynen P. Drug transporters in the human blood- placental barrier. *Br J Pharmacol* 2009; 158(3): 665-678.
59. Mogensen UB, Grandjean P, Nielsen F, Weihe P, Budtz-Jørgensen E. Breastfeeding as an exposure pathway for perfluorinated alkylates. *Environ Sci Technol* 2015; 49(17): 10466-10473.
60. Li D, Shi Y, Yang L, Xiao L, Kehoe DK, Gun'ko YK, et al. Microplastic release from the degradation of polypropylene feeding bottles during infant formula preparation. *Nat Food* 2020; 1(11): 746-754.
61. Li D, Shi Y, Yang L, Xiao L, Kehoe DK, Gun'ko YK, et al. Microplastic release from the degradation of polypropylene feeding bottles during infant formula preparation. *Nat Food* 2020; 1(11): 746-754.
62. Mancini AJ. *Skin. Pediatrics* 2004; 113 (Supplement_3): 1114-1119.
63. Mack MC, Chu MR, Tierney NK, Ruvolo Jr E, Stamatas GN, Kollias N, et al. Water-holding and transport properties of skin stratum corneum of infants and toddlers are different from those of adults: studies in three geographical regions and four ethnic groups. *Pediat Dermatol* 2016; 33(3): 275-282.
64. Bouwstra J, Pilgram G, Gooris G, Koerten H, Ponc M. New aspects of the skin barrier organization. *Skin Pharmacol Appl Skin Physiol* 2001; 14(Suppl 1): 52-62.
65. Alvarez-Román R, Naik A, Kalia Y, Guy RH, Fessi H. Skin penetration and distribution of polymeric nanoparticles. *J Controlled Release* 2004; 99(1): 53-62.
66. Myers JMB, Hershey GKK. Eczema in early life: genetics, the skin barrier, and lessons learned from birth cohort studies. *J Pediatr* 2010; 157(5): 704-714.
67. Guan Q, Jiang J, Huang Y, Wang Q, Liu Z, Ma X, et al. The landscape of micron-scale particles including microplastics in human enclosed body fluids. *Journal of Hazardous Materials* 2023; 442: 130138.
68. Barceló D, Picó Y, Alfaro AH. Microplastics: Detection in human samples, cell line studies, and health impacts. *Environ Toxicol Pharmacol* 2023; 101: 104204.
69. Shahsavaripour M, Abbasi S, Mirzaee M, Amiri H. Human occupational exposure to microplastics: A cross-sectional study in a plastic products manufacturing plant. *Sci Total Environ* 2023; 882: 163576.
70. Yang X, Man YB, Wong MH, Owen RB, Chow KL. Environmental health impacts of microplastics exposure on structural organization levels in the human body. *Science of the Total Environment* 2022; 825(8): 154025.
71. Marsden P, Koelmans A, Bourdon-Lacombe J, Gouin T, D'Anglada L, Cunliffe D, et al. Microplastics in drinking water. *World Health Organization* 2019: 124.
72. Wright SL, Kelly FJ. Plastic and human health: a micro issue? *Environ Sci Technol* 2017; 51(12): 6634-6647.
73. Pollard AJ, Bijker EM. A guide to vaccinology: from basic principles to new developments. *Nature Reviews Immunology* 2021; 21(2): 83-100.
74. Simon AK, Hollander GA, McMichael A. Evolution of the immune system in humans from infancy to old age. *Proc Biol Sci* 2015; 282(1821): 20143085.
75. Dong CD, Chen CW, Chen YC, Chen HH, Lee JS, Lin CH. Polystyrene microplastic particles: In vitro pulmonary toxicity assessment. *J*

- Hazard Mater 2020; 385: 121575.
76. Xu M, Halimu G, Zhang Q, Song Y, Fu X, Li Y, et al. Internalization and toxicity: A preliminary study of effects of nanoplastic particles on human lung epithelial cell. *Sci Total Environ* 2019; 694: 133794.
 77. Garcés M, Cáceres L, Chiappetta D, Magnani N, Evelson P. Current understanding of nanoparticle toxicity mechanisms and interactions with biological systems. *New J Chem* 2021; 45(32): 14328-14344.
 78. Hinds W. *Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles* 2nd ed. ed Wiley. New York. 1999.
 79. Nagre N, Cong X, Pearson AC, Zhao X. Alveolar macrophage phagocytosis and bacteria clearance in mice. *J Vis Exp* 2019(145): 10.3791/59088.
 80. Saenen ND, Bové H, Steuwe C, Roeffaers MB, Provost EB, Lefebvre W, et al. Children's urinary environmental carbon load. A novel marker reflecting residential ambient air pollution exposure? *Am J Respir Crit Care Med* 2017; 196(7): 873-881.
 81. Bosman S, Nieto S, Patton W, Jacobson J, Corselli J, Chan P. Development of mammalian embryos exposed to mixed-size nanoparticles. *Clin Exp Obstet Gynecol* 2005; 32(4): 222-224.
 82. Lindbohm ML, Hemminki K, Kyyrönen P. Spontaneous abortions among women employed in the plastics industry. *Am J Ind Med* 1985; 8(6): 579-586.
 83. McDonald AD, Lavoie J, Côté R, McDonald JC. Spontaneous abortion in women employed in plastics manufacture. *Am J Ind Med* 1988; 14(1): 9-14.
 84. Pollution WA. *Child Health: Prescribing Clean Air*. World Health Organization: Geneva, Switzerland. 2018. Available from: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/275545/WHO-CED-PHE-18.01-eng.pdf>.
 85. Organization WH. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide: World Health Organization; 2021.
 86. Hartmann N, Rist S, Bodin J, Jensen L, Schmidt S, Mayer P, et al. Microplastics as vectors for environmental contaminants: exploring sorption, desorption, and transfer to biota. *Integr Environ Assess Manag* 2017; 13(3): 488-493.
 87. Wiesinger H, Wang Z, Hellweg S. Deep dive into plastic monomers, additives, and processing aids. *Environ Sci Technol* 2021; 55(13): 9339-9351.
 88. Bølling AK, Sripada K, Becher R, Bekö G. Phthalate exposure and allergic diseases: Review of epidemiological and experimental evidence. *Environ Int* 2020; 139: 105706.
 89. Asimakopoulos AG, Elangovan M, Kannan K. Migration of parabens, bisphenols, benzophenone-type UV filters, triclosan, and triclocarban from teethingers and its implications for infant exposure. *Environ Sci Technol* 2016; 50(24): 13539-13547.
 90. Sindiku O, Babayemi J, Osibanjo O, Schlummer M, Schluep M, Watson A, et al. Polybrominated diphenyl ethers listed as Stockholm Convention POPs, other brominated flame retardants and heavy metals in e-waste polymers in Nigeria. *Environ Sci Pollut Res Int* 2015; 22: 14489-14501.
 91. Tsydenova O, Bengtsson M. Chemical hazards associated with treatment of waste electrical and electronic equipment. *Waste Management* 2011; 31(1): 45-58.

92. Gasperi J, Wright SL, Dris R, Collard F, Mandin C, Guerrouache M, et al. Microplastics in air: are we breathing it in? *Current Opinion in Environmental Science & Health* 2018; 1: 1-5.
93. Wu X. Applications of titanium dioxide materials. *Titanium Dioxide—Advances and Applications*. 2021 Aug 9. Available from: <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=urBjEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA175&dq=Application+of+Titanium+Dioxide+in+the+Plastic+Industry&ots=roZPZ9TPLO&sig=Kb17O3nVr6OcYTjkN92EEcVYcW0#v=onepage&q=Application%20of%20Titanium%20Dioxide%20in%20the%20Plastic%20Industry&f=false>.
94. Turner A. Concentrations and migratabilities of hazardous elements in second-hand children's plastic toys. *Environ Sci Technol* 2018; 52(5): 3110-3116.
95. Bouwmeester H, Hollman PC, Peters RJ. Potential health impact of environmentally released micro-and nanoplastics in the human food production chain: experiences from nanotoxicology. *Environ Sci Technol* 2015; 49(15): 8932-8947.
96. Vethaak AD, Legler J. Microplastics and human health. *Science* 2021; 371(6530): 672-674.