ره‌آورد سلامت
دوره ۵ – ۱/۱۳۹۸

مقاله مروری
http://rsj.iums.ac.ir

بررسی اثرات بهداشتی و محیطی میکروپلاستیک‌های هوابرد

مجید هاشمی [۱،۲]، مهدی رضایی [۱،۲*]

۱. مرکز تحقیقات مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان، ایران
۲. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان، ایران

* نویسنده مسئول: مهدی رضایی، Email: mahdirezaei1274@gmail.com

چکیده

زمینه و هدف: میکروپلاستیک‌های هوابرد، ذرات پلاستیکی با اندازه کوچکتر از ۵ میلی‌متر با منشأ اولیه و ثانویه هستند که مسیرهای مختلفی با بدن انسان مواجه شده و نیز باتوجه به پخش گسترده‌شان در محیط‌زیست، می‌توانند تهدیدی برای سایر موجودات زنده و حتی عناصر غیرزیستی باشند. بر این اساس، هدف مطالعه حاضر، بررسی اثرات بهداشتی و محیطی میکروپلاستیک‌های هوابرد می‌باشد.

روش‌شناسی: در جستجوی اولیه مقالات، جمعاً ۱۶۳ مقاله از سال ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳ میلادی یافت شد که پس از حذف موارد تکراری، این تعداد به ۱۰۷ رسید. سپس در مرحلهٔ غربالگری، عنوان و چکیده مقالات بررسی شد و در انتها، تعداد ۳۱ مقاله باقی ماند. سپس برای دستیابی به مقالات مرتبط، متن کامل مقالات غربال‌شده مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت، ۲۷ مقاله باقی ماند که در مطالعه حاضر، استفاده شد.

یافته‌ها: میکروپلاستیک‌های هوابرد، دربرگیرنده خصوصیات گوناگونی در شکل، اندازه و رنگ هستند که از منابع گوناگونی مانند البسه، لاستیک وسایل نقلیه، وسایل مراقبت بهداشتی و غیره منتشر می‌شوند. این ذرات، علاوه بر تأثیراتی که بر محیط‌زیست (گیاهان، خاک، جانوران آبزی، یخ‌های قطبی و غیره) دارند، می‌توانند منجر به عوارض مخربی در بدن انسان؛ مانند اختلال غدد درون‌ریز، ضعف سیستم عصبی، اختلال متابولیسم انرژی، آسم و حتی سرطان نیز شوند.

نتیجه‌گیری: میکروپلاستیک‌های هوابرد، به‌دلیل گسترش فراگیر، مقاومت بالا و خصوصاً تأثیرات بالقوه‌ای که بر روی موجودات زنده دارند، می‌توانند یک تهدید جدی در مقیاس جهانی محسوب شوند. با پیش‌بینی روند افزایشی حضور این ذرات در محیط زیست‌مان، مطالعات بیشتری برای مشخص‌شدن هرچه بیشتر اثرات میکروپلاستیک‌های هوابرد بر روی سلامتی انسان و محیط‌زیست مورد نیاز است.

واژگان کلیدی

میکروپلاستیک‌ها؛
بهداشت و تندرستی؛
بهداشت عمومی و محیط.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۳۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۸
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۷/۱۹

شیوه استناد به این مقاله:

Hashemi M, Rezaei M. Investigation of Health and Environmental Effects of Airborne Microplastics. *Rahavard Salamat Journal*. 2019; 5 (1): 1-20.

[Downloaded from rsj.iums.ac.ir on 2024-07-17]

مقدمه

واژه "پلاستیک" به موادی اطلاق می‌شود که از عناصر مختلفی از جمله کربن، هیدروژن، اکسیژن، نیتروژن، کلر و سولفور تشکیل شده‌اند. پلاستیک از مواد طبیعی؛ مانند سلولز، زغال، گاز طبیعی، نمک و نفت خام از طریق فرآیند پلیمرسازی ساخته می‌شوند (۱). آن‌ها به‌دلیل خصوصیات منحصربه‌فردشان مانند انعطاف‌پذیری، سبکی، مقاومت و دوام بالا، مقاومت در برابر خوردگی، عایق حرارت و الکتریسیته بودن؛ تبدیل به یکی از پرمصرف‌ترین و پرکاربردترین مواد در مقیاس جهانی شده‌اند (۲) که در صنایع مختلفی از جمله وسایل مراقبت بهداشتی و تجهیزات پزشکی یکبارمصرف، بسته‌بندی، ساخت‌وساز، اتومبیل‌سازی و هزاران صنعت دیگر استفاده می‌شوند (۳). پلاستیک‌ها، اولین بار در اوایل قرن ۱۹ام میلادی ساخته شدند و از آن زمان به بعد، تولید این محصول به‌طور فزاینده‌ای از ۱.۵ میلیون تن در سال ۱۹۵۰ میلادی، به ۳۶۸ میلیون تن در سال ۲۰۱۹ میلادی رسید (۴). در سال ۲۰۲۰ میلادی، تولید جهانی پلاستیک تقریباً به ۳۷۰ میلیون تن رسید و سهم آسیا، آمریکای شمالی و اروپا در تولید این محصول، به ترتیب ۴۹، ۱۹ و ۱۵ درصد بود (۵).

با افزایش میزان تولید پلاستیک، استفاده از آن در زندگی روزمره در اشکال و کاربردهای مختلف نیز افزایش یافته است (۶). علی‌رغم مزایای حاصله، پلاستیک‌ها یک تهدید حائز اهمیت نیز برای محیط زیست محسوب می‌شوند (۷). زباله پلاستیکی، که به‌عنوان یک بحران جهانی مطرح شده، در تمام بدنه محیط زیست گسترش پیدا کرده‌است، به‌طوری که بین ۸۰ تا ۸۵ درصد از زباله‌های اقیانوس‌ها را پلاستیک تشکیل می‌دهد. با تولید سالیانه ۴۰۰ میلیون تن پلاستیک در سرتاسر جهان، تا سال ۲۰۲۵ میلادی احتمال می‌رود که ۱۱ میلیارد تن پلاستیک در محیط زیست رها شود (۸) و در محل‌های دفن نیز دستخوش تغییرات و تجزیه (مکانیکی، فتوشیمیایی و بیولوژیکی) شوند درحالی که فقط درصد کمی از این ماده (۹ درصد) بازیافت می‌شود (۷). پلیمرهایی که عمدتاً در ساختار پلاستیک‌ها حضور دارند؛ شامل پلی‌پروپیلن[1] به میزان (۱۹.۴ درصد)، پلی‌اتیلن[2] کم‌چگال (۱۷.۴ درصد) و پُرچگال (۱۲.۴ درصد)، وینیل کلرید[3] (۱۰ درصد)، پلی‌اورتان[4] (۷.۹ درصد) و پلی‌اتیلن تری‌فتالات[5] به میزان (۷.۹ درصد) هستند. این پلیمرها قابل تجزیه به‌صورت زیستی نیستند؛ بنابراین، آن‌ها در محل‌های دفن و یا محیط زیست تجمع پیدا می‌کنند و در نتیجه، آلودگی محیط با پلاستیک‌ها تبدیل به یک چالش محیط زیستی بزرگی شده که روزبه‌روز در حال وخیم‌تر شدن است (۳).

مواد پلاستیکی، براساس اندازه، به‌صورت گسترده به پنج دسته تقسیم می‌شوند: مگاپلاستیک‌ها (بزرگ‌تر از ۱ متر)، ماکروپلاستیک‌ها (کوچک‌تر از ۱ متر)، مزوپلاستیک‌ها (کوچک‌تر از ۲.۵ سانتی‌متر)، میکروپلاستیک‌ها (کوچک‌تر از ۵ میلی‌متر) و نانوپلاستیک‌ها (کوچک‌تر از ۱ میکرومتر). آلودگی پلاستیکی، یک نگرانی بزرگ برای همه جوامع محسوب می‌شود. با این حال، از دهه گذشته، بیشتر توجه‌ها معطوف میکروپلاستیک‌ها[6] شده‌است (۴). برخی مطالعات، آلودگی جهانی ناشی از پلاستیک را به "پلاستیک‌کُره[7]" تشبیه کردند. این امر به این علت است که ذرات درشت پلاستیک وقتی در محیط رها شوند، به ذرات میکرو یا حتی کوچک‌تر تبدیل شده و به‌صورت گسترده، سرتاسر کرهٔ زمین را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند (۱).

واژه "میکروپلاستیک" اولین‌بار در سال ۲۰۰۴ میلادی برای توصیف ذرات ریز پلاستیک مطرح شد (۳). براساس تعریف "گروه مشترک متخصصان در زمینه جنبه‌های علمی

[1] - Polypropylene (PP)
[2] - Polyethylene (PE)
[3] - Vinyl Chloride (VC)
[4] - Polyurethane (PU)
[5] - Polyethylene Terephthalate (PET)
[6] - Microplastics (MPs)
[7] - Plastisphere

[Downloaded from rsj.iums.ac.ir on 2024-07-17]

حفاظت از محیط دریایی" در سال ۲۰۱۶ میلادی، میکروپلاستیک‌ها به‌عنوان ذرات پلاستیکی با قطر کمتر از ۵ میلی‌متر که هم‌چنین ذراتی در بازه نانو (قطر ۱ نانومتر) را هم شامل می‌شوند، تعریف شده‌اند. هم‌چنین "نش و فریاس"[1] در سال ۲۰۱۹ میلادی، تعریفی از میکروپلاستیک را به‌صورت "ذره مصنوعی جامد یا ماتریکس پلیمری با شکل منظم یا نامنظم و با اندازه بین ۱ میکرومتر تا ۵ میلی‌متر و نامحلول در آب" ارائه دادند (۴). همان‌طور که اشاره شد، میکروپلاستیک‌ها ذرات پلاستیکی با اندازه کوچک‌تر از ۵ میلی‌متر هستند. آن‌ها می‌توانند براساس منشأشان، در دو دسته میکروپلاستیک‌های "اولیه" و "ثانویه" قرار گیرند. میکروپلاستیک‌های اولیه، در همان ابتدا و به‌صورت مستقیم، در اندازه میکرو در صنایع داروسازی، نساجی، آرایشی-بهداشتی و وسایل مراقبت شخصی جهت اهداف مشخصی ساخته می‌شوند؛ اما نوع ثانویه این ذرات، بر اثر تجزیه و شکسته شدن زباله‌های دارای ترکیبات پلاستیکی (مانند نایلون‌ها) و یا استفاده روزمره از برخی محصولات (مانند البسه دارای الیاف مصنوعی) به‌وجود می‌آید (۹). رایج‌ترین فرآیند تولید ذرات ثانویه میکروپلاستیک‌ها، "هوازدگی[2]" است که معمولاً زمانی اتفاق می‌افتد که پلاستیک در معرض اشعه فرابنفش قرار گرفته باشد. هم‌زمان با این تجزیه، پلاستیک تغییر رنگ داده، استحکام مکانیکی خود را از دست داده، ضعیف‌تر شده و ترک‌های سطحی برمی‌دارد. علاوه بر اشعه فرابنفش، مکانیسم‌های دیگری مانند تنش‌های مکانیکی توسط باد، امواج، حرارت، هیدرولیز و فرآیندهای آنزیمی میکرواگانیسم‌ها به تجزیه و تخریب پلاستیک‌ها کمک می‌کنند (۳). انواعی از میکروپلاستیک‌های هوابرد که تاکنون شناسایی شده، عبارتند از؛ پلی‌وینیل استات[3]، پلی‌اورتان، تفلون، پلی‌اتیلن تری‌فتالات، پلی‌اتیلن، پلی‌استر[4]، پلی‌اکریلونیتریل[5]، رایون[6]، اتیلن وینیل استات[7]، اپوکسی رزین[8] و مواد طبیعی (پنبه و پشم) (۱۰). هم‌چنین آشکالی که از آن‌ها تا به حال در محیط مشاهده شده‌اند؛ شامل اشکال چندوجهی نامنظم، گرانولی، فومی، فیبرای و کروی هستند که این آشکال، طی فرآیندهای فوق‌الذکرِ تشکیل میکروپلاستیک‌های اولیه و ثانویه، ایجاد می‌شوند (۱۱).

میکروپلاستیک‌ها به‌طور گسترده‌ای در مناطق مختلف محیط زیست؛ مانند هوا، آب‌های شیرین، فاضلاب، آب دریا، خشکی و غیره پخش شده‌اند (۱۲). مسیرهای ورود این ذرات به محیط زیست، بسیار متنوع هستند که عمدتاً ناشی از فعالیت‌های انسانی (محصولات آرایشی و مراقبت بهداشتی)، حمل‌ونقل (فرسایش تایر وسایل نقلیه) و صنایع (مانند صنعت نساجی) هستند که وقتی از طریق عوامل طبیعی مانند رودخانه‌ها، باد و غیره در محیط زیست پراکنده می‌شوند، دستخوش فرآیندهای محیطی مثل تجزیه، فرسایش و هوازدگی می‌شوند (۱۳). بیش از ۲۰،۰۰۰ میکروپلاستیک در هر کیلومتر مربع در آب‌های سطحی نیمه گرمسیری اقیانوس اطلس گزارش شده‌است. تخمین زده شده که بیش از ۵ میلیارد ذرات پلاستیکی در اقیانوس‌ها معلق‌اند که این مقدار انتظار می‌رود که به‌دلیل عدم مدیریت صحیح زباله‌های پلاستیکی در مناطق پرجمعیت و انتقال این ذرات از طریق رودخانه‌ها به دریا، افزایش یابد (۱۴).

میکروپلاستیک‌ها می‌توانند در هوا نیز تا مسافتی طولانی (تا ۹۵ کیلومتر) جابه‌جا شوند. در نهایت، آن‌ها از طریق فرونشست می‌توانند علاوه بر هوا، سطوح آبی و خشکی را نیز آلوده کنند (۱). این ذرات، تقریباً در تمام قسمت‌های زمین؛ از جمله سیستم‌های آبی قطبی، یخ‌های اقیانوس قطبی، مرتفع‌ترین فلات جهان (تبّت) و عمیق‌ترین نقطه

[1] - Nash and Frias
[2] - Weathering
[3] - Polyvinyl Acetate (PVA)
[4] - Polyester (PES)
[5] - Polyacrylonitrile (PAN)
[6] - Rayon (RY)
[7] - Ethylene-vinyl acetate (EVA)
[8] - Epoxy Resins (ER)

[Downloaded from rsj.iums.ac.ir on 2024-07-17]

جهان (گودال ماریانا) یافت شده‌اند (۵). باتوجه به این یافته‌های حیرت‌انگیز، مطالعات پیشنهاد کرده‌اند که انتقال هوایی این ذرات، یک عامل بسیار مهم در گسترش آن‌ها محسوب می‌شود (۱۰). اغلب ذرات میکروپلاستیک موجود در اتمسفر، در اندازه میکرو و نانو بوده و مشاهده آن‌ها با چشم غیرمسلح ممکن نیست. با این‌حال، این ذرات از طریق انتقال هوایی و فرونشست در تمامی بخش‌های کره زمین، اثرات آلودگی گسترده‌ای را به محیط زیست و هم‌چنین انسان می‌گذارند (۱).

تمام میکروپلاستیک‌های موجود در هوا، ناشی از فعالیت‌های انسانی هستند. این فعالیت‌ها، به‌طور عمده در سه دسته صنعتی، کشاورزی و خانگی قرار می‌گیرند. در فعالیت‌های صنعتی، فرآیندهایی مثل بازیافت، خردسازی و سوزاندن پلاستیک، مسئول انتشار میکروپلاستیک‌های هوابرد هستند (۱۵). انتشار میکروپلاستیک‌ها در فعالیت‌های کشاورزی، ناشی از استفاده از عایق‌های پلاستیکی و کودهای آلی مشتق‌شده از لجن فاضلاب است. فعالیت بعدی نیز فعالیت خانگی است. امروزه وسایل خانگی مانند البسه، از مواد پلیمری مصنوعی ساخته شده‌اند. با این حال، به‌وسیله سایش‌های مکانیکی، فرسوده شدن، تماس مستقیم با نور خورشید و غیره، مقداری ذرات پلاستیکی به اتمسفر منتشر شده و شمار میکروپلاستیک‌های هوابرد موجود در اتمسفر را افزایش می‌دهند (۶). فرسایش تایر اتومبیل، گردوغبار جاده، مصالح ساختمانی، زباله‌سوزها، محل‌های دفن زباله و هم‌چنین باغچه‌ها (به‌دلیل استفاده از کودهای حاصله از لجن فاضلاب) (۱۲)؛ از جمله منابع دیگر انتشار میکروپلاستیک‌های هوابرد هستند که می‌توانند توسط عامل باد، به‌طور گسترده‌ای در محیط پراکنده شوند (۱۶). چاپگرهای سه‌بعدی نیز یک منبع بالقوه از میکروپلاستیک‌های هوابرد هستند. مواد فیبری که در چاپگرهای "مدلسازی لایه‌گذاری ذوب‌شونده[1]" استفاده می‌شوند، معمولاً از نوع ترموپلاستیک‌ها؛ شامل پلی‌اتیلن تری‌فتالات، نایلون، پلی‌لاکتیک اسید[2] و اکریلونیتریل بوتادین استایرن[3] هستند (۱۷). از زمان پاندمی ویروس کرونا، افزایش جهانی در تولید ضایعات خانگی و پزشکی یکبارمصرف مشهود است. دفن ضایعات مربوط به وسایل مراقبت بهداشتی (ماسک‌های صورت، کاور سر، دستکش، تجهیزات حفاظت فردی و غیره) منجر به تجمع بسیار بالای ذرات پلاستیک در محیط زیست شده که این خود باعث شکل‌گیری یک منبع نوظهور در انتشار میکروپلاستیک‌های هوابرد شده‌است (۸).

در رابطه با غلظت میکروپلاستیک‌های هوابرد، هنوز اطلاعات کمی وجود دارد. در یک مطالعه که در پاریس انجام شد، میکروپلاستیک‌های موجود در اتمسفر با استفاده از یک قیف استیل متصل به یک بطری شیشه‌ای ۲۰ لیتری ارزیابی شدند که در نهایت، غلظت‌ها به میزان ۱۱۸، ۱۱۰ و ۵۳ ذره میکروپلاستیک بر متر مربع در روز به‌دست آمد. این تغییر در میزان غلظت، احتمالاً ناشی از تغییرات اقلیمی و فصلی و هم‌چنین روش نمونه‌برداری است. به‌علاوه، دانش حاضر در مورد غلظت میکروپلاستیک‌های هوابرد هم‌چنان محدود به حدود تشخیص[4] و تعیین هویت ذرات پلیمری است.

سرنوشت میکروپلاستیک‌های هوابرد در محیط زیست، وابسته به چندین عامل است. عواملی که رفتار و جابجایی این ذرات را تحت تأثیر قرار می‌دهند؛ شامل شیب عمودی غلظت آلودگی (وجود غلظت بالای آلودگی در نزدیکی سطح زمین)، سرعت باد (کاهش غلظت آلودگی در نتیجه افزایش سرعت باد)، جهت باد (عمودی یا افقی بودن)، بارندگی (تأثیر بیشتر بر روی ذرات بزرگ‌تر از ۲.۵ میلی‌متر) و دما (افزایش تراکم ذرات به‌علت دمای پایین) است (۱۵). علاوه بر این، انتشار این ذرات در هوای شهری، ممکن است که ناشی از تغییر خصوصیات باد به‌دلیل توپوگرافی محل و

[1] - Fused Deposition Modeling (FDM)
[2] - Polylactic Acid (PLA)
[3] - Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)
[4] - Detection Limits

[Downloaded from rsj.iums.ac.ir on 2024-07-17]

قرارگیری ساختمان‌ها و شرایط هواشناسی محل باشد (۱۸). "آلن[1] و همکاران" در سال ۲۰۱۹ میلادی مشاهده کردند که انتشار گونه‌های مختلف میکروپلاستیک‌های هوابرد (پلی‌اتیلن، پلی‌استایرن، پلی‌پروپیلن، پلی‌وینیل کلرید و پلی‌اتیلن تری‌فتالات) به شرایط آب‌وهوایی بستگی دارد؛ به‌عنوان مثال، در ماه‌های نوامبر و دسامبر، درصد بالایی از ذرات از جنس پلی‌استایرن در اتمسفر دیده شد در حالی‌که در ماه‌های فوریه و مارس (افزایش بارندگی‌ها)، توزیع ذرات در اتمسفر کم بوده و اغلب از جنس پلی‌اتیلن بودند (۱۱).

زمان ماند ذرات در اتمسفر و سپس فرونشست آن‌ها، متأثر از بارندگی، باد، شرایط محلی و اندازه ذرات است که در نهایت به‌وسیله تراکم ذرات و نیروی ثقل، فرونشست ذرات اتفاق می‌افتد (۱۹). ذرات با چگالی کمتر، سبک‌تر بوده و می‌توانند توسط باد تا مسافت طولانی‌تری منتقل شوند که در نتیجه، قسمت بیشتری از محیط زیست را آلوده می‌کنند (۱۲).

همان‌طور که اشاره شد، میکروپلاستیک‌های هوابرد می‌توانند یک منبع آلودگی برای هوا، برای خشکی و نیز برای منابع آبی باشند. بنابراین، یک تبادل پویا از این ذرات بین دو محیط خشکی و آبی ممکن است اتفاق افتد؛ به‌طوری‌که میکروپلاستیک‌های موجود در بدنه آبی و خشکی ممکن است به هوا منتقل شوند در حالی‌که میکروپلاستیک‌های اتمسفری نیز ممکن است مناطق آبی و خشکی را آلوده کنند (۱۸). فرضیه‌ای که توسط "کای[2] و همکاران" در سال ۲۰۱۷ میلادی پیشنهاد شد، نشان داد که برخی از ذرات میکروپلاستیک موجود در محیط‌های آبی، ممکن است ناشی از فرونشست‌های اتمسفری باشد. هم‌چنین اشاره شد که این ذرات اتمسفری هم‌چنین می‌توانند در سطح زمین فرونشست پیدا کنند و به‌وسیله روناب‌ها، رودخانه‌ها و غیره وارد محیط‌های آبی شده و یا توسط جریان باد، دوباره در هوا معلق شوند (۱۷).

باتوجه به پایداری بالا و چگالی کم این ذرات و هم‌چنین چالش فراگیری که در سطح جهانی درکنار مسئله مدیریت نادرست زباله‌های پلاستیکی ایجاد شده است؛ میکروپلاستیک‌ها به‌صورت گسترده‌ای در محیط زیست مشاهده می‌شوند که این موضوع از سوی محققین، در طول بیست سال گذشته مورد توجه خاصی قرار گرفته‌است (۲۰). این ذرات، باتوجه به خصوصیات ذکرشده، اثرات بالقوه‌ای را بر تمام عناصر محیطی بالأخص انسان، چه به‌صورت مستقیم و چه غیرمستقیم دارند که تاکنون، تعدادی از آن‌ها توسط محققین مختلف در سرتاسر جهان کشف شده‌است. در مطالعه حاضر، در کنار بیان خصوصیات و رفتارهای گوناگون میکروپلاستیک‌های هوابرد، اثرات بالقوه‌ای که در زمینه محیط‌های آبی، خشکی، زندگی گیاهی و جانوری و درنهایت سلامتی انسان توسط مطالعات مختلف به‌صورت پراکنده و کوتاه بیان شده‌است، به‌طور کامل و یکپارچه مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

روش‌شناسی

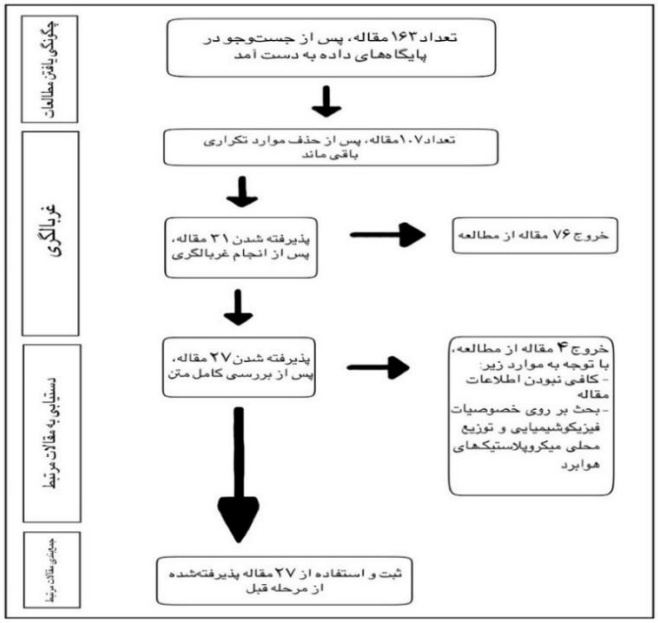
برای انجام مطالع حاضر، کلیدواژه‌های ((Airborne) AND (Microplastic) AND (Environmental) AND (Impacts); (Airborne) AND (Microplastic) AND (Health) AND (Impacts); (Airborne) AND (Microplastic) AND (Environmental) AND (Effects); (Airborne) AND (Microplastic) AND (Health) AND (Effects); (Airborne) AND (Microplastic) AND (Human) AND (Health); (Airborne) AND (Microplastic) AND (Environmental) AND (Health); (Atmospheric) AND (Microplastic) AND (Environmental) AND (Impacts); (Atmospheric) AND (Microplastic) AND (Health) AND (Impacts); (Atmospheric) AND (Microplastic) AND (Environmental) AND (Effects); (Atmospheric) AND (Microplastic)

[1] - Allen

[2] - Cai

[Downloaded from rsj.iums.ac.ir on 2024-07-17]

AND (Health) AND (Effects); (Atmospheric) AND (Microplastic) AND (Environmental) AND (Health); (Atmospheric) AND (Microplastic) AND (Human) AND (Health); (Atmospheric) AND (Microplastic) AND (Pollution); (Airborne) AND (Microplastic) AND (Pollution) همزمان در قسمت عنوان و چکیده مقالات، در پایگاه‌های اطلاعاتی "Google Scholar, ScienceDirect, PubMed, ResearchGate" جستجو شدند. پس از عمل جستجو، جمعاً ۱۶۳ مقاله از سال ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳ میلادی یافت شد که پس از حذف موارد تکراری، این تعداد به ۱۰۷ مقاله رسید. سپس در مرحله غربالگری، عنوان و چکیده مقالات مورد بررسی قرار گرفت و در نتیجه آن، تعداد ۳۱ مقاله باقی ماند. سپس برای دستیابی به مقالات مرتبط، متن کامل مقالات باقی‌مانده مورد بررسی شایستگی قرار گرفت و در نهایت، تعداد ۲۷ مقاله ثبت و در مطالعه حاضر استفاده شد (شکل ۱). معیار ورود مقالات به مطالعه، ارائه مطالب مرتبط با اثرات بهداشتی و محیطی میکروپلاستیک‌های هوابرد و معیار خروج مقالات نیز تکراری بودن آن‌ها، ناکافی بودن اطلاعات، صرفاً بحث در رابطه با خصوصیات فیزیکوشیمیایی و توزیع جغرافیایی میکروپلاستیک‌های هوابرد و هم‌چنین عدم تفکیک اثرات میکروپلاستیک‌های هوابرد از سایر میکروپلاستیک‌ها بوده است.



شکل ۱- فلوچارت جستجوی "پریسما"

یافته‌ها

اثرات میکروپلاستیک‌های هوابرد

الف) اثرات وارد بر انسان

اخیراً، تهدیدهای بالقوه میکروپلاستیک‌ها بر سلامت انسان، توجه خاصی را به‌دلیل تشخیص گسترده آن‌ها در مواد غذایی و جنبه‌های مختلف محیطی (مانند آب، خاک، هوا و موادغذایی مانند عسل، شیر، نوشیدنی‌ها، غذاهای دریایی، نمک طعام و غیره) به خود جلب کرده است (۱۶). در گزارش اخیر سازمان جهانی بهداشت در سال ۲۰۱۹ میلادی، این مسئله با تأکید بسیار اشاره شده است (۴).

مواجهه انسان با میکروپلاستیک‌های هوابرد، بستگی به منابع تولید آن داشته و هم‌چنین تحت‌تأثیر شرایط هواشناسی و جغرافیایی است (۲). از آن‌جایی‌که به‌نظر

[Downloaded from rsj.iums.ac.ir on 2024-07-17]

می‌رسد اغلب منابع تولیدکننده ذرات میکروپلاستیک، در هوای داخلی[1] حضور داشته و هم‌چنین افراد به‌طور میانگین به میزان ۷۰ تا ۹۰ درصد از وقت خود را در داخل منازل سپری می‌کنند؛ می‌توان گفت که مواجهه افراد با میکروپلاستیک‌های هوابرد در هوای داخلی، از اهمیت بیشتری نسبت به مواجهه با این ذرات در غذا و آب برخوردار است (۱۸). مطالعه‌ای که توسط "ویانلو[2] و همکاران" در سال ۲۰۱۹ میلادی انجام شد، میزان مواجهه انسان با میکروپلاستیک‌های هوابرد هوای داخلی را با استفاده از یک شبیه‌ساز ریوی انسان ارزیابی کرد. تمامی نمونه‌ها، حاوی میکروپلاستیک بودند که اغلب آن‌ها از ترکیبات پلی‌استری با غلظتی بین ۱.۷ تا ۱۶.۲ ذره بر مترمکعب تشکیل شده بودند. در مطالعه مشابهی که توسط "گسپری[3] و همکاران" در سال ۲۰۱۹ میلادی انجام شد، غلظت میکروپلاستیک‌های هوای داخلی در چندین آپارتمان و یک اداره، میزان ۳ تا ۱۵ ذره بر مترمکعب گزارش شد. غلظت بالای این ذرات در هوای داخلی، ممکن است که نشان‌دهنده حضور چندین منبع تولیدکننده (لباس‌های سنتتیک، وسایل منزل، مبلمان) و مکانیسم‌های دخیل در انتشار این ذرات (میزان تهویه، جریان هوا، قسمت‌بندی منزل، شرایط آب‌وهوایی) باشد (۲۱). هم‌چنین میکروپلاستیک‌های موجود در هوای خارجی[4] که از فعالیت‌های شهری و صنایع ایجاد می‌شوند نیز می‌توانند راه خود را به درون هوای داخلی از طریق منافذ ساختمان، کفش‌ها، دستگاه‌های تهویه منازل و غیره بیابند که این خود نیز تحت تأثیر عواملی مانند شرایط جوی محلی، نوع عوارض زمین‌شناختی اطراف و دما است (۲۰). علاوه بر این، میکروپلاستیک‌های هوای داخلی نیز می‌توانند هوای خارجی را آلوده کنند (۱۹)؛ به این دلیل که باتوجه به تفاوت غلظت ذرات بین هوای داخلی و خارجی، آن‌ها می‌توانند وارد هوای خارجی شده و در آن‌جا پخش شوند. در حالی‌که فقط ۳۰ درصد از ذرات موجود در هوای خارجی می‌توانند وارد یک اتاق دربسته (نماینده هوای داخلی) شوند (۲۲).

باتوجه به غلظت ذرات میکروپلاستیک هوابرد در هوای داخلی، مدت زمانی که افراد در منزل سپری می‌کنند و هم‌چنین حجم تنفسی ریه انسان (۶ لیتر بر دقیقه)؛ تخمین زده شده‌است که ریه‌های انسان در هر روز، در مواجهه با ۲۶ تا ۱۳۰ ذره میکروپلاستیک باشد (۱۹). این مسئله ممکن است که یک خطر برای سلامتی انسان خصوصاً گروه‌های حساس (کودکان و افراد دارای بیماری‌های تنفسی) محسوب شود، به این دلایل که: ۱) میکروپلاستیک‌ها، ظرفیت واکنش با مواد آلی را به‌دلیل دارا بودن مساحت سطح بالا دارند؛ ۲) به‌دلیل ساختار پلیمری و فیبری که دارند، حذف آن‌ها از دستگاه تنفسی سخت بوده؛ و ۳) توانایی آزادسازی ترکیبات شیمیایی سمی و بیولوژیکی را از سطح خود به بدن را دارند (۱۸). در یک مطالعه که در ایران توسط "عباسی[5] و همکاران" در سال ۲۰۲۱ میلادی بر روی پوست، موی سر و بزاق افراد محلی انجام شد، مشخص شد که ترکیبات پلی‌اتیلن، پلی‌اتیلن تری‌فتالات و فیبرهای پلی‌پروپیلن (منتشرشده از هر دو منبع داخلی و خارجی)، به‌طور مداوم و ثابت در تمام این ماتریس‌ها خصوصاً موی سر حضور داشته که این، خود نشان‌دهنده راه عمده مواجهه با این ذرات است (۸).

مسیرهای مواجهه

میکروپلاستیک‌ها، آلاینده‌های منتشره در طیف گسترده‌ای هستند. بدن انسان از طریق مصرف آب و مواد غذایی، تنفس هوای آلوده و تماس پوستی، با ذرات میکروپلاستیک منتشره از منابع گوناگون مواجه می‌شود. این مسیرهای مواجهه، در بخش‌های ذیل مورد بررسی قرار گرفته‌اند (۲۳).

[1] - Indoor Air
[2] - Vianello
[3] - Gasperi
[4] - Outdoor Air
[5] - Abbasi

[Downloaded from rsj.iums.ac.ir on 2024-07-17]

- **تنفس**

تنفس، مسیر اصلی مواجهه با میکروپلاستیک‌ها می‌باشد (۸). به‌طوری که تخمین زده شده‌است روزانه به تعداد ۲۶ تا ۱۳۰ ذره از طریق تنفس وارد بدن انسان می‌شود و نیز یک فرد با انجام فعالیت‌های روتین در طول روز، میزان ۲۷۲ میکروپلاستیک را تنفس می‌کند (۲۳).

گردوغبار، یک بستر حائز اهمیت برای تجمع ذرات میکروپلاستیک است (۸). "عباسی و همکاران" در سال ۲۰۱۷ میلادی، وجود گسترده این ذرات را در گردوغبار شهر بوشهر، با استفاده از دستگاه میکروسکوپ فلورسنس ثابت کرده است (۲۰). ماسک‌های صورت مورد استفاده توسط افراد در سرتاسر دنیا، تبدیل به یک منبع نوظهور برای انتشار و مواجهه با میکروپلاستیک‌های هوابرد شده است. استفاده از این ماسک‌ها، می‌تواند مواجهه تنفسی (دهان و بینی) با ذرات میکروپلاستیک را افزایش دهد خصوصاً هنگامی که از ماسک، بیش از یک بار استفاده شود. با این حال، این مسئله نیز وجود دارد که استفاده (حتی طولانی‌مدت) از ماسک‌های صورت، میزان خطر مواجهه با میکروپلاستیک‌های کروی و چندوجهی را از طریق مسیر تنفسی، کاهش داده؛ اما از آن طرف، خطر مواجهه با نوع فیبری ذرات را (به‌دلیل ساختار خودِ ماسک) افزایش می‌دهد (۸).

مکانیسم‌های فیزیکی مانند فرونشست، برخورد و انتشار؛ در قرارگیری ذرات میکروپلاستیک در قسمت‌های مختلف ریه (مانند نایژه و کیسه‌های هوایی) مؤثر هستند (۳). عمق قرارگیری (ته‌نشست) این ذرات در ریه نیز بستگی به "قطر معادل آیرودینامیکی" دارد، که معمولاً برای اندازه‌گیری سرعت ته‌نشینی ذرات در اندازه و چگالی‌های مختلف کاربرد دارد. ذراتی با قطر معادل آیرودینامیکی کمتر، احتمال بیشتری برای رسیدن به قسمت‌های انتهایی ریه دارند همانطور که پلاستیک‌های فیبری شکل، در بافت ریه تشخیص داده شده‌اند. این، خود بیانگر احتمال نفوذ قوی ذرات میکروپلاستیک در قسمت‌های انتهایی ریه است (۱۶). با این‌حال، بدن انسان دارای مکانیسم‌های دفاعی مکانیکی است که از ورود این ذرات به داخل ریه جلوگیری می‌کند؛ مانند وجود مخاط، عطسه کردن، عمل بیگانه‌خواری ماکروفاژها و سیستم لنفاوی برای جلوگیری از ماندگاری میکروارگانیسم‌های منتقله توسط میکروپلاستیک‌ها (۲). اما به هر حال، این مکانیسم‌های پاکسازی (کلیرانس) نمی‌توانند از ایجاد اثرات التهابی ناشی از مکانیسم‌های به‌هم‌پیوسته ذیل جلوگیری کنند: اضافه‌بار غبار[1]، استرس اکسیداتیو[2]، سمیت سلولی[3] و جابه‌جاشدگی[4].

مکانیسم "اضافه‌بار غبار"، تأثیر تجمع ذرات را در سیستم تنفسی بیان می‌کند. در این مورد، مکانیسم پاکسازی، به‌دلیل از دست رفتن تحرک ماکروفاژها ناشی از تجمع بیش از حد ذرات، متوقف می‌شود. مکانیسم "استرس اکسیداتیو" نیز هنگامی‌که میکروپلاستیک‌ها در ریه باعث تحریک تولید گونه‌های فعال اکسیژن[5] می‌شوند، به‌وجود می‌آید. درنتیجه، بدن به‌دلیل اشباع پاسخ‌های محافظتی آنتی‌اکسیدانی، شروع به آزادسازی سیتوکین‌های پیش‌التهابی و واسطه‌های فیبروژنیک می‌کنند . در آخر نیز، میکروپلاسیتک‌ها می‌توانند بسته به میزان آب دوستی‌شان، در بدن جابه‌جا شده و به سیستم گردش خون (خصوصاً در زمان التهاب) وارد شوند، به این دلیل که در این زمان، نفوذپذیری بافت بیشتر می‌شود. ناراحتی‌ها و التهاب‌های مزمن ایجادشده توسط مکانیسم‌های فوق، ممکن است که پیشرفت سرطان را سرعت ببخشند. این امر، به‌دلیل عدم حذف کامل ذرات توسط ماکروفاژها، صدمات ژنتیکیِ وارده

[1] - Dust Overloading
[2] - Oxidative Stress
[3] - Cytotoxicity
[4] - Translocation
[5] - Reactive Oxygen Species (ROS)

[Downloaded from rsj.iums.ac.ir on 2024-07-17]

به سلول‌ها به‌دلیل استرس اکسیداتیو، عدم تشخیص ذرات توسط سیستم ایمنی بدن و جهش ژنی است که همگی به شکل‌گیری و پیشرفت سلول‌های سرطانی کمک می‌کنند (۳).

باتوجه به مطالب فوق، میکروپلاستیک‌های هوابرد زمانی که تنفس می‌شوند، ممکن است ظرفیت ایجاد طیف وسیعی از اختلالات و بیماری‌ها را در سیستم تنفسی و قلبی-عروقی ایجاد کنند و حتی منجر به سرطان شوند (۸). براساس مطالعه انجام‌شده توسط "کربلایی[1] و همکاران" در سال ۲۰۱۸ میلادی، ذرات میکروپلاستیک در بدن انسان می‌توانند بیماری‌های حائز اهمیتی را، هم در کوتاه‌مدت (مانند تنگی نفس، سرفه و افزایش تولید مخاط) و هم در درازمدت (مانند بیماری‌های قلبی-عروقی، سرطان و آسم) ایجاد کنند (۴). هم‌چنین میکروپلاستیک‌های هوابرد می‌توانند مواد شیمیایی سمی را که روی سطح خود جذب کرده را داخل ریه آزاد کنند و میکروارگانیسم‌هایی که به‌صورت کلنی بر روی سطح این ذرات چسبیده‌اند را نیز می‌توانند در ریه جای‌دهند. چندین نوع از میکروارگانیسم‌ها از جمله میکروارگانیسم‌های تولیدکننده سموم و گونه‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک در سطح میکروپلاستیک‌های هوابرد شناسایی شده‌اند. هر دو نوع میکروپلاستیک‌های سنتتیک و زیست-تجزیه‌شونده، می‌توانند منزلگاه گونه‌های زیادی از باکتری‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک و سایر داروها باشند (۸).

میکروپلاستیک‌های هوابرد، هم‌چنین در کارکنان صنایع نیز به‌عنوان عوامل مولد بیماری شناخته شده‌اند (۱۵). بر خلاف مواجهه‌ی عادی با غلظت‌های پایین محیطی با این ذرات، کارکنان شاغل در موقعیت‌های خاص، ممکن است در مواجهه با غلظت‌های بالای ذرات میکروپلاستیک باشند که خود منجر به بیماری‌های شغلی می‌شود (۲۴). سه نوع از صنایع می‌توانند این مسئله را به تصویر بکشند: ۱) صنایع نساجی سنتتیک؛ ۲) صنایع ساخت پودر فلوک؛ و ۳) صنایع تولید وینیل کلرید و پلی‌وینیل کلرید[2].

۱) فیبرهای ریز سنتتیک منتشره از صنایع نساجی سنتتیک، غالباً از جنس نایلون، پلی‌استر، پلی‌اورتان، پلی‌اولفین، آکریلیک و پلیمرهای حاوی وینیل هستند. اغلب مطالعات، تنفس این فیبرهای سنتتیک را به ناراحتی‌های تنفسی ربط می‌دهند. سرطان نیز ممکن است یکی از نتایج مواجهه مزمن با این فیبرها باشد، همان‌گونه که برخی مطالعات، افزایش خطر ابتلا به سرطان ناشی از مواجهه با فیبرهای ریز سنتتیک را بعد از گذشت ۱۰ تا ۲۰ سال نشان داده‌اند.

۲) پارچه‌های مخملی یا پشمی، از پودرسازی یا بریدن فیبرها تا اندازه ۰.۲ تا ۵ میلی‌متر (فلوک) تولید می‌شوند که اغلب از جنس نایلون، پلی‌استر، پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن ساخته شده که به روی مواد چسبنده قرار می‌گیرند. فیبرهای سنتتیک، گاهی اوقات در حین بریده شدن و پودرسازی، فیبرهای ریزی را تولید کرده که قابل تنفس هستند و باعث ناراحتی‌های تنفسی می‌شوند.

۳) عمل پلیمرسازی وینیل کلرید، ماده پلی‌وینیل کلرید را که یک پودر سفیدرنگ است، تولید می‌کند که ممکن است در این حین، ذرات قابل تنفس نیز در هوا آزاد شود. در حالی‌که برخی مطالعات، ارتباط بین مواجهه با گردهای پلی‌وینیل کلرید و مونومرهای وینیل کلرید مورد استفاده در فعالیت‌های مختلف را بر تأثیرگذاری در ایجاد بیماری‌های ریوی مشخص کردند؛ اما مطالعات دیگر، این ارتباط را نیافتند. به هر حال، بیماری‌های تنفسی کارکنان شاغل در این صنعت، ممکن است تحت تأثیر گردهای ریز پلی‌وینیل کلرید و مونومرهای وینیل کلرید قرار گیرد (۱۸).

[1] - Karbalaei

[2] - Polyvinyl Chloride (PVC)

[Downloaded from rsj.iums.ac.ir on 2024-07-17]

بیماری "ریه کارکنان فلوک[1]"، یک بیماری ریوی شغلی (فیبروزیس ریوی) است که به‌دلیل تنفس فیبرهای ریز فلوک که عمدتاً از نایلون ساخته شده‌اند ایجاد می‌شوند، اگرچه ترکیبات دیگری مانند پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن نیز ممکن است حضور داشته باشند. به‌طور مشابه، مواجهه شغلی با وینیل کلرید نیز می‌تواند خطر ابتلا به بیماری‌های تحدید ریوی (مانند پنوموکونیوزیس) را افزایش دهد (۳).

- **بلع**

این مسیر، به‌عنوان یکی از مسیرهای مهم مواجهه انسان با میکروپلاستیک‌ها است (۲۳). میکروپلاستیک‌ها ممکن است وارد زنجیره‌ی غذایی شده و با توانایی که در جذب مواد شیمیایی سمی بر روی سطح خود دارند، بعد از ورود به بدن جانوران، باعث تجمع زیستی مواد آلاینده در بافت‌های بدنشان شده و در نهایت با مصرف مواد غذایی آلوده توسط انسان، نگرانی‌های مرتبط با سلامتی انسان نیز دوچندان خواهد شد (۲۵). باتوجه به مصرف مواد غذایی، میزان ورود این ذرات به بدن، در حدود ۳۹,۰۰۰ تا ۵۲,۰۰۰ ذره به ازای هر نفر در سال تخمین زده شده است. این ذرات ممکن است از طریق مواد غذایی آلوده، وارد سیستم معدی و روده‌ای شده و این، خود ممکن است منجر به پاسخ‌های التهابی، افزایش نفوذپذیری بافت و تغییر در تشکیل و متابولیسم جمعیت میکروبی روده شود (۲۳). در رژیم غذایی افراد، ذرات میکروپلاستیک متعددی شناسایی شده‌اند؛ از جمله در آب‌های بسته‌بندی‌شده، شیر، ماهی، صدف‌های خوراکی، نمک، عسل و شکر که ممکن است در زمان آماده‌سازی، بسته‌بندی، حمل‌ونقل و ذخیره‌سازی‌شان، با میکروپلاستیک‌ها آلوده شده باشند (۲۶). اخیراً، مطالعه‌ای که توسط "کاکس[2] و همکاران" در سال ۲۰۱۹ میلادی انجام شد، نشان داد که میزان ۰.۴۴ میکروپلاستیک بر گرم، در شکر و ۰.۱۱ میکروپلاستیک بر گرم، در نمک و ۰.۰۳ میکروپلاستیک بر گرم، در الکل و در نهایت، ۰.۰۹ میکروپلاستیک بر گرم در آب‌های بسته‌بندی شده وجود دارد (۴). به‌طور میانگین، یک شخص در هر سال، میزان ۴۰۰۰ ذره میکروپلاستیک از طریق آب آشامیدنی، ۱۱,۰۰۰ ذره از طریق صدف‌های خوراکی و ۳۷ تا ۱۰۰۰ ذره نیز از طریق نمک‌های دریایی را وارد بدن خود می‌کند.

یافته‌های فوق، نشان می‌دهند که ذرات میکروپلاستیک ممکن است از طریق مصرف مواد غذایی گوناگونی وارد بدن انسان شده و مشکلاتی را خصوصاً در سیستم معدی و روده‌ای به‌وجود آورند (۱۳). هم‌چنین، افرادی که عادت به "خاک‌خوری[3]" دارند، علاوه بر موادغذایی، از طریق مصرف خاک نیز در مواجهه با ذرات میکروپلاستیک هستند. در جزیره هرمز (واقع در خلیج فارس) برخی افراد محلی، از خاک سرخ‌رنگ این جزیره، برای تهیه ادویه و سس جهت طعم‌دار کردن موادغذایی، پخت نان و هم‌چنین برای دفع سموم بدن خود استفاده می‌کنند. در طی مطالعه‌ای که توسط "امیری[4] و همکاران"در سال ۲۰۲۱ میلادی در جزیره هرمز انجام شد، مشخص شد که خاک سرخ این منطقه، آلوده به ذرات میکروپلاستیک است. در این مطالعه، البسه حاوی الیاف سنتتیکی مورد استفاده توسط افراد محلی و توریست‌ها و هم‌چنین میکروپلاستیک‌های هوابرد ناشی از منابع گوناگونی که بر روی این منطقه ته‌نشین شده‌اند، از جمله منابع احتمالی میکروپلاستیک‌های موجود در خاک این جزیره برشمرده شده‌اند (۲۶). باتوجه به یافته‌های مطالعه "دِنگ[5] و همکاران" در سال ۲۰۱۷ میلادی که بر روی موش انجام گرفت، مشخص شد که ذرات میکروپلاستیک بعد از مواجهه ممکن است در کبد، کلیه و روده‌ی موش تجمع یابند. تجمع این ذرات، ممکن است تأثیراتی از جمله؛ استرس اکسیداتیو، اختلال در

[1] - Flock Workers Lung
[2] - Cox
[3] - Geophagia
[4] - Amiri
[5] - Deng

[Downloaded from rsj.iums.ac.ir on 2024-07-17]

متابولیسم چربی و انرژی و هم‌چنین پاسخ‌های عصبی را داشته باشد. یافته‌های فوق، این حقیقت را آشکار می‌کند که ذرات میکروپلاستیک ممکن است باعث ایجاد اثرات بیشتری بر روی سلامت انسان شوند. این امر، به این دلیل است که میکروپلاستیک‌های بلعیده‌شده، شانس بیشتری را برای ایجاد سمیت سلولی در سلول‌های کبدی انسان دارند (۴).

- **تماس پوستی**

تماس پوستی با ذرات میکروپلاستیک، به‌عنوان مسیری کم‌خطر برای مواجهه در نظر گرفته شده است (۲۳). از آن‌جایی که جذب ذرات از طریق پوست، نیازمند نفوذ در لایه شاخی پوست است؛ تنها ذراتی با اندازه کمتر از ۱۰۰ نانومتر موفق به جذب از طریق پوست می‌شوند و سایر میکروپلاستیک‌ها نمی‌توانند این مسیر را طی کنند (۱۳). با این‌حال، امکان ایجاد سمیت در بدن توسط نانوپلاستیک‌ها بعد از عبور از لایه شاخی پوست، نباید مورد غفلت قرار گیرد (۲۳).

ب) اثرات وارد بر جانوران آبزی

میکروپلاستیک‌ها می‌توانند از چندین راه مختلف، تهدیدی برای سلامت محیط باشند. یکی از این راه‌ها، تغییر در جمعیت ارگانیسم‌ها به‌دلیل تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم این ذرات است. اثرات مستقیم در یک گونه، می‌تولند تأثیرات گسترده‌ای را در اکوسیستم داشته باشد؛ به‌عنوان مثال، جمعیت ریزجلبک‌ها می‌تواند از وجود میکروپلاستیک‌ها بهره ببرد اگر که این ذرات، جمعیت تغذیه‌کننده از ریزجلبک‌ها را کاهش دهد؛ اما اگر همین ذرات باعث منع جذب برخی مواد مغذی توسط ریزجلبک‌ها شود، اثری منفی برای گونه مذکور خطاب خواهد شد (۱۴). در محیط‌های آبی، ذرات میکروپلاستیک ممکن است توسط طیف وسیعی از جانوران آبزی، به‌عنوان غذا بلعیده شده و این ذرات در سیستم گوارش آن‌ها تجمع یافته و منجر به گرفتگی و تحت تأثیر قرار دادن سلامت و رشد این جانوران شود (۲۰). به‌عنوان مثال،"لو[1] و همکاران" در سال ۲۰۱۶ میلادی، در مطالعه خود گزارش کرد که ذرات میکروپلاستیک با قطر ۵ میکرومتر و کمتر، در روده و کبد ماهیان تجمع می‌یابند. تجمع این ذرات در کبد، باتوجه به افزایش بیش از حد چربی در آن، باعث سمیت و التهاب کبد می‌شود. هم‌چنین در یک مطالعه که توسط "فوسی[2] و همکاران" در سال ۲۰۱۶ میلادی صورت گرفت، مشخص شد که ذرات میکروپلاستیک می‌توانند باعث ایجاد استرس اکسیداتیو در نهنگ باله شوند (۴).

میکروپلاستیک‌های بلعیده شده، هم‌چنین می‌توانند به‌عنوان یک ناقل که روی سطح خود بسیاری از ترکیبات و سموم شیمیایی و میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا را دارا هستند، عمل کنند و باعث آلودگی شیمیایی و بیولوژیکی جانوران آبزی شوند (۲۰). ثابت شده است که میکروپلاستیک‌ها، باعث کاهش فتوسنتز و رشد جلبک‌ها، اختلال در تغذیه زئوپلانکتون‌ها و کرم‌های کرانه[3]، تجمع و ایجاد تغییراتی در بافت و نشانه‌های زیستی ماهی‌ها می‌شوند (۱۸). علاوه بر ایجاد اثرات منفی در آبزیان از طریق بلع، میکروپلاستیک‌هایی که از طریق دستگاه تنفس وارد این جانوران می‌شوند، ممکن است با بافت‌های مخاطی واکنش داده و یا از طریق وارد کردن عوامل پاتوژن به این قسمت، باعث ایجاد سمیت شده و اثرات مخربی را در بحث تغذیه، سیستم ایمنی و رشد جانوران وارد کند و حتی منجربه مرگ سلولی و التهاب بافت‌ها شود که این اثرات، بسیار شبیه‌به وقتی است که میکروپلاستیک‌ها از طریق بلع وارد بدن آبزیان شوند (۸).

[1] - Lu
[2] - Fossi
[3] - Lugworms

[Downloaded from rsj.iums.ac.ir on 2024-07-17]

ج) اثرات وارد بر گیاهان

رشد و نمو گیاهان نیز می‌تواند تحت تأثیر افزایش آلودگی محیط به ذرات میکروپلاستیک باشد. مطالعات اثبات کردند که میکروپلاستیک‌هایی با قطر کم می‌توانند توسط ریشه گیاهان، از خاک جذب شده و در ریشه تجمع یابند و سپس به سطوح بالاتر گیاه منتقل شوند. جذب ذرات توسط گیاهان از طریق برگ‌ها، منبعی دیگر از بار آلودگی در گیاهان است. هنگامی که ذرات میکروپلاستیک در گیاه جذب شوند، می‌توانند باعث ایجاد صدمات مکانیکی، کاهش سرعت رشد، سمیت ژنوم گیاه و افزایش استرس اکسیداتیو شوند (۱۲). علاوه بر این، میکروپلاستیک‌ها می‌توانند در قسمت‌های خوراکی گیاه (برگ، میوه و ساقه) تجمع یافته و با ورود به زنجیره غذایی جانوران، منجر به افزایش خطر سمیت در آن‌ها (به خصوص انسان) شوند. ریشه‌ها، با ذرات میکروپلاستیک در ارتباط متقابل هستند. بنابراین، اغلب مطالعات، صرفاً بر روی جذب میکروپلاستیک‌ها در گیاهان از طریق ریشه آن‌ها تمرکز یافته‌اند. از آن‌جایی که میکروپلاستیک‌ها معمولاً مساحت سطح بزرگی دارند و ریشه گیاهان نیز معمولاً مواد مترشحه از خود ترشح می‌کند، میکروپلاستیک‌ها به‌طور جدایی‌ناپذیری به سطح ریشه می‌چسبند؛ ولی بعضی از آن‌ها، از سطح عبور کرده و جذب گیاه می‌شوند. این ذرات جذب‌شده، می‌توانند از طریق فشار تعرقی در گیاه، به قسمت‌های مختلف آن (مانند ساقه، میوه و برگ) رسیده و باعث آلودگی گسترده گیاهان شوند (۵).

د) اثرات وارد بر عناصر غیرزیستی

اثرات غیرزیستی میکروپلاستیک‌ها، به معنی ایجاد اثرات منفی در پارامترهای غیرزنده است که درنهایت، بر روی ارگانیسم‌ها تأثیر می‌گذارد (مانند تغییرات بازگشت‌ناپذیر در خصوصیات ماتریس‌های مختلف یا عملکرد یک اکوسیستم) که در ظاهر، مسئله‌ای بی‌اهمیت جلوه کرده؛ اما می‌تواند نتایج بسیار تأثیرگذاری را داشته باشد. میکروپلاستیک‌های موجود در خاک، از طریق ایجاد حفره‌هایی که انتقال آب را در خاک تسهیل می‌کنند، می‌توانند باعث افزایش میزان تبخیر آب از خاک و در نتیجه، باعث خشک شدن خاک و ترک برداشتن آن شوند که این، خود باعث بیابان‌زایی می‌شود. تغییر در فعالیت‌های میکروبی و چگالی خاک نیز در خاک‌های حاوی ذرات میکروپلاستیک دیده شده که این تأثیرات ممکن است وابسته به نوع پلیمر میکروپلاستیک‌ها باشد. برای مثال، فیبرهای پلی‌استر باعث کاهش چگالی حجمی خاک شده؛ ولی فیبرهای پلی‌اکریلیک و قطعات پلی‌اتیلن، این تأثیر را در خاک ندارند. هم‌چنین، میکروپلاستیک‌ها ممکن است در یخ‌های دریای قطبی نیز تجمع یافته و باعث افزایش شوری یخ شود. تجمع این ذرات بر روی سطح یخ‌ها، باعث تحت تأثیر قرار دادن فرآیند نفوذ نور خورشید در یخ و افزایش جذب نور شده و در نهایت، منجربه تسریع در ذوب یخ‌های قطبی خواهد شد. تغییرات غیرزیستی، هنوز به‌طور کامل و جامع مورد بررسی قرار نگرفته‌اند؛ لیکن یک دیدگاه وسیع‌تری از تأثیرات محیطی میکروپلاستیک‌ها بر روی ماتریس‌های غیرزنده مورد نیاز است (۱۴).

بحث و نتیجه‌گیری

۱. اهمیت میکروپلاستیک‌های هوابرد

هوا، مهم‌ترین عامل برای زندگی انسان و موجودات زنده است. با این حال، تنفس هوای آلوده به آلاینده‌های مختلف حتی می‌تواند منجربه مرگ شود (۱۰). تهدید برخاسته از آلودگی هوا که در سطح جهانی در حال گسترش است، عمدتاً ناشی از افزایش جمعیت می‌باشد که نقشی اساسی در تخریب اکوسیستم‌ها به‌عهده دارد (۱۹). در بین آلاینده‌های متعدد اتمسفر، میکروپلاستیک‌های هوابرد به تازگی شناسایی شده و در حال حاضر، تبدیل به یک نگرانی در میان محققین، سازمان‌ها و عموم مردم شده‌است (۲۴).

[Downloaded from rsj.iums.ac.ir on 2024-07-17]

تا به امروز، اغلب مطالعات مربوط به میکروپلاستیک‌ها در محیط‌زیست، در مورد محیط‌های آبی بودند. محیط خشکی نیز باتوجه به تأثیرات میکروپلاستیک‌ها بر روی گیاهان و موجودات خاک‌زی، به‌تازگی در معرض توجه محققین قرار گرفته است (۱۲). در حالی‌که اطلاعات مربوط به میکروپلاستیک‌های هوابرد در مقایسه با دو محیط فوق‌الذکر، بسیار اندک است. در مطالعه اخیری که در "خبرنامه آلودگی دریایی[1]" در سال ۲۰۱۶ میلادی و "آلودگی محیط‌زیستی[2]" در سال ۲۰۱۷ میلادی توسط "دریس[3] و همکاران" به چاپ رسید، توضیح داده شد که اکنون میکروپلاستیک‌ها در اتمسفر نیز حضور دارند. این مسئله، در مطالعات بعدی که توسط محققین مختلف انجام شد، به اثبات رسید که میکروپلاستیک‌ها می‌توانند توسط هوا در قالب اشکال گوناگون منتقل شوند. این یافته‌ها، اثبات می‌کنند که میکروپلاستیک‌ها اکنون در تمام اکوسیستم‌ها حضور دارند (۱۱).

میزان سمیت میکروپلاستیک‌ها، هم می‌تواند مرتبط با خصوصیات شیمیایی‌شان مانند آب‌گریز بودن و پتانسیل واکنش دادن با هموگلوبین خون و مختل کردن اکسیژن‌رسانی به اندام‌های بیولوژیکی باشد (۴) و هم مربوط به این مسئله باشد که این ذرات می‌توانند با مواد شیمیایی مانند رنگ‌ها، فلزات سنگین، پلی‌کلرینیتد بیفنیل‌ها[4]، هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای و آنتی‌بیوتیک‌ها واکنش داده و آلاینده‌هایی نگران‌کننده‌تر را شکل دهند. این واکنش‌های متقابل، یک بستری را برای تجمع و انتقال آلاینده‌ها روی سطح میکروپلاستیک‌ها فراهم می‌آورند؛ بنابراین، چسبیدن و تجمع آلاینده‌ها روی سطح این ذرات، آلودگی محیطی را نیز افزایش خواهد داد (۷). علاوه بر این، بعضی از داروها (ترامادول و دیکلوفناک) و آفت‌کش‌ها مانند دیازینون نیز بر روی سطح میکروپلاستیک‌های سرگردان در محیط مشاهده شده‌اند (۱۴).

میکروپلاستیک‌ها هم‌چنین می‌توانند میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا را نیز روی سطح خودشان حمل کنند. با این حال، انتقال میکروارگانیسم‌ها در هوا توسط میکروپلاستیک‌ها ممکن است امری عادی نباشد؛ چون که این انتقال، بستگی به میزان تماس سطح ذرات با میکروارگانیسم‌ها و چسبیدن این عوامل به سطح ذرات دارد (۱۲). این میکروپلاستیک‌ها می‌توانند به‌عنوان یک سپر دفاعی برای میکروارگانیسم‌ها عمل کرده و علاوه بر امر حفاظت، باعث انتقال این عوامل به مسافت‌های طولانی شود که در نتیجه، شاهد افزایش بار بیماری‌ها در جوامع شهری خواهیم بود. با وجود یافته‌های فوق، هنوز بر روی رابطه بین میکروپلاستیک‌ها و میکروارگانیسم‌ها در اتمسفر، تحقیقات جامع و کافی انجام نشده است (۱۳). مکانیسم جذب مواد بر روی سطح میکروپلاستیک‌ها، عمدتاً تحت‌تأثیر خصوصیات سطح آن‌هاست. برای مثال، یک سطح بزرگ‌تر و دارای تخلخل و زبری بیشتر، ظرفیت جذب توسط میکروپلاستیک‌ها را به‌وسیله فراهم آوردن سطوح جذب بیشتر، فراهم می‌آورد. هم‌چنین تغییرات در آب‌گریز بودن ذرات، بار ذرات یا گروه عاملی آن‌ها، می‌تواند رفتار جذب آلاینده‌ها توسط میکروپلاستیک‌ها را تغییر دهد (۲۷).

این امری بدیهی است که تأثیراتی که میکروپلاستیک‌ها بر روی سلامتی انسان می‌گذارند، در مواجهه شغلی نسبت به مواجهه در منازل، بیشتر است (۱۵). شرایط تهویه ناکافی در محل کار کارکنان صنایعی که با مقادیر بالایی از مواد پلیمری سر وکار دارند، ممکن است که منجر به مواجهه مزمن کارکنان با این ذرات شده و درنهایت، بیماری‌های فوق‌الذکر در بدن ایجاد شوند (۱۸). در حال حاضر، متأسفانه هیچ کشوری برای حدود مجاز میزان مواجهه شغلی با میکروپلاستیک‌ها، چارچوب قانونی را مشخص نکرده‌است. دو دلیل عمده برای فقدان چارچوب قانونی برای این امر وجود دارد: ۱) میکروپلاستیک‌ها هنوز به‌عنوان

[1] - Marine Pollution Bulletin
[2] - Environmental Pollution
[3] - Dris
[4] - Polychlorinated Biphenyl (PCB)

[Downloaded from rsj.iums.ac.ir on 2024-07-17]

آلاینده‌ای نگران‌کننده در نظر گرفته نشده و در سرتاسر جهان نیز شواهد مبتنی بر آن محدود است؛ و ۲) اولین اندازه‌گیری از میکروپلاستیک‌های هوابرد، تنها حدود ۶ سال پیش انجام شده و بنابراین، روش‌های استاندارد تعیین مشخصات هنوز برای این ذرات در دسترس نیست. به‌عنوان مثال، دولت هند، رهنمودی را برای مخاطرات شغلی تصویب نموده که مانند قوانین مرتبط با استعمال دخانیات[1] و کارگران عملیات ساخت‌وساز[2] است؛ اما این قوانین شامل مواجهه با ذرات میکروپلاستیک نمی‌شوند. برخی کشورها مانند انگلستان، ایالات متحده آمریکا و چین نیز مقررات و رهنمودهای خود را در رابطه با میزان ذرات معلق در هوای خروجی (که میکروپلاستیک‌ها نیز جزو همین دسته هستند)، به‌روزرسانی کرده‌اند. با این حال، تحقیقات بیشتری برای به‌روزرسانی مقررات مربوط به مخاطرات شغلی در جهت مواجهه طولانی‌مدت و میزان سمیت ذرات میکروپلاستیک نیاز است (۸).

مواجهه انسان با میکروپلاستیک‌ها از طریق بلع، بسیار محتمل است؛ زیرا محیط زیست و مواد غذایی مورد مصرف ما، همگی با این ذرات آلوده شده‌اند (۲۳). علاوه بر این، کودکان ممکن است مقادیر بالایی از میکروپلاستیک‌های ته‌نشین‌شده بر سطح زمین را مستقیماً از طریق دستان و یا اسباب‌بازی‌هایشان ببلعند. "عباسی و همکاران" در سال ۲۰۱۹ میلادی، در مطالعه خود محاسبه کردند که بیش از ۹۰۰ ذره میکروپلاستیک ممکن است توسط یک کودک در طول یک سال بلعیده شود (تقریباً ۲۰۰ ذره در هر روز) (۱۶). با این حال، خطر بلع ذرات میکروپلاستیک، هنوز به‌طور کامل شناخته نشده‌است؛ زیرا تاکنون، مطالعات اندکی در زمینه تخمین میزان مواجهه انسان با این ذرات از طریق بلع و در نتیجه، اثرات این مواجهه انجام گرفته است (۲۳).

[1] - Beedi and Cigars Act
[2] - Building and Other Construction Workers Act

۲. روش‌های کنترل آلودگی میکروپلاستیک‌های هوابرد

در تلاش برای کاهش آلودگی‌های محیطی توسط میکروپلاستیک‌ها، بعضی کشورها یک‌سری مقرراتی را در جهت منع تولید میکروپلاستیک‌های اولیه (مانند میکرودانه‌ها) و استفاده از پلاستیک‌های یکبار مصرف (بطری‌ها، کیسه‌ها و غیره) اتخاذ کردند. به‌عنوان مثال، قانونی که در استان "اُنتاریو[3]" واقع در کشور کانادا مصوب شد، مربوط به منع تولید میکرودانه‌ها[4] بود. در نتیجه آن، ایالات متحده نیز برای کنترل آلودگی مذکور، همین قانون را مصوب کرد.

در مجموع، این استراتژی‌ها، به کاهش حضور میکروپلاستیک‌ها در محیط‌های آبی و خشکی و خصوصاً در هوا کمک می‌کنند. صنایع، نقشی حیاتی در کاهش میزان میکروپلاستیک‌ها در زنجیره تأمین محصولات دارند که می‌توانند با اتخاذ یکسری استراتژی‌ها (مانند به‌کارگیری و ارتقای امر بازچرخش و استفاده مجدد از مواد پلاستیکی در زنجیره تأمین) کمک بزرگی به کاهش انتشار این آلاینده پلاستیکی در بدنه محیط زیست کنند. پیشرفت در اصول چرخه اقتصادی، مانند استراتژی‌های بازچرخش و مدیریت اصولی پسماند، با کمک همکاری‌های اجتماعی و اصول محیط زیستی؛ می‌تواند باعث کاهش چشمگیر مصرف پلاستیک شود که در نتیجه، آلودگی منتشره نیز بسیار کاهش خواهد یافت.

کنترل میکروپلاستیک‌ها در محل تولید نیز به‌عنوان یکی از کارآمدترین و پایدارترین روش‌ها برای جلوگیری از آلودگی محیط زیست مطرح شده‌است؛ به‌عنوان مثال، ممنوعیت استفاده از کیسه‌های پلاستیکی می‌تواند به‌طور مؤثری استفاده بیش از حد پلاستیک را کاهش داده و این، خود باعث کاهش بار آلودگی توسط ذرات میکروپلاستیک شود.

[3] - Ontario
[4] - Microbeads

[Downloaded from rsj.iums.ac.ir on 2024-07-17]

در کنار این مسئله، تولیدکنندگان پلاستیک باید تضمین کنند که محصولات آن‌ها به‌صورت مرتب، استانداردسازی و برچسب‌گذاری شود تا امر بازچرخش آن‌ها تسهیل یابد. علاوه‌بر این، افزایش آگاهی اجتماعی در مجامع آکادمیک، سازمان‌ها و شبکه‌های اجتماعی در رابطه با مسائل جهانی میکروپلاستیک‌ها از طریق آموزش مسئولیت فردی در قبال کاهش مصرف پلاستیک و استفاده از استراتژی‌های بازیافت، بازچرخش، کاهش در مبدأ و استفاده مجدد؛ کمک بسیار بزرگی در کاهش مصرف پلاستیک، ایجاد مدیریت صحیح فردی در رابطه با پسماندهای پلاستیکی و در نتیجه، کاهش آلودگی محیط زیست با ذرات میکروپلاستیک می‌کند.

در رابطه با تجزیه زیستی میکروپلاستیک‌ها توسط میکروارگانیسم‌ها، بازده خوبی از مطالعات گزارش شده است. تجزیه زیستی، یک راه مؤثر برای کنترل میکروپلاسیتک‌ها می‌باشد. میکروارگانیسم‌هایی مانند باکتری‌ها، قارچ‌ها و بعضی از گونه‌های کرمی[1] تاکنون برای تجزیه پلاستیک استفاده شده‌اند. این امر، به‌عنوان یک برنامه قابل اعتماد و دوستدار محیط زیست معرفی شده که می‌تواند به مهار کردن آلودگی پلاستیکی از طریق تجزیه کردن آن‌ها بدون ایجاد اثرات منفی، کمک شایانی کند. مطالعه‌ای که توسط "بُمبِلی[2] و همکاران" در سال ۲۰۱۷ میلادی انجام شد، نشان داد که لاروهای کرم موم‌خوار[3] می‌توانند پلی‌اتیلن را با سرعت بالایی در حدود ۰.۲۳ میلی‌گرم بر سانتی‌متر مربع در هر ساعت تجزیه کنند که محصول حاصل از تجزیه‌شان نیز یک ماده بی‌خطر به نام اتیلن گلایکول است. هم‌چنین "اوتا[4] و همکاران" در سال ۲۰۱۷ میلادی در مطالعه خود از دو گونه باکتری باسیلوس[5] برای حذف میکروپلاستیک‌هایی از جنس پلی‌اتیلن، پلی‌استایرن، پلی‌اتیلن تری‌فتالات و پلی‌پروپیلن استفاده کردند و نتایج کار، بسیار امیدبخش بود.

این عوامل زیستی تجزیه‌کننده پلاستیک، روشی دوست‌دار محیط زیست را برای مدیریت پسماندهای پلاستیکی جهت کنترل میکروپلاستیک‌ها ارائه دادند. توسعه در امر تجزیه زیستی این ترکیبات، نیازمند آن است که دولت‌ها بتوانند تحقیقات بیشتر در این زمینه را جهت یافتن گونه‌های بیشتری که قادر به تجزیه پلاستیک به ترکیبات ساده‌تر و بی‌خطر هستند، حمایت کند. تجزیه زیستی، روشی تضمین‌شده برای تجزیه ذرات میکروپلاستیک و کنترل آلودگی آن در محیط زیست است که به‌عنوان "فناوری سبز" شناخته می‌شود (۴).

به‌عنوان یک آلاینده محیطی نوظهور، میکروپلاستیک‌ها و اثرات اکولوژیک‌شان، تبدیل‌به یک معضل جهانی شده‌اند. در حال حاضر، اکوسیستم‌ها به‌دلیل افزایش روزافزون تولید و به‌کارگیری محصولات پلاستیکی و عدم مدیریت اصولی پسماندهای ناشی از این محصولات، با طیف گسترده‌ای از ذرات میکروپلاستیک آلوده شده‌اند که در این میان، باید به اثرات بالقوهٔ محیطی که این ذرات می‌توانند داشته باشند، توجه ویژه‌ای داشت (۱۷).

میکروپلاستیک‌های هوابرد، آلاینده‌هایی حائزاهمیت در محیط‌های شهری و صنعتی محسوب می‌شوند که متأسفانه، توجه خاصی معطوف به آن‌ها نشده‌است. این ذرات، دربرگیرنده خصوصیات گوناگونی در شکل (فیبری، کروی و قطعات چندوجهی)، اندازه و رنگ (شکل ۲) هستند (۲۰) که از منابع گوناگونی مانند البسه، لاستیک وسایل نقلیه، وسایل مراقبت بهداشتی و محصولات آرایشی تولید و در محیط، منتشر می‌شوند. پارامترهایی مانند نحوه پیدایش، انتقال و سرنوشت آن‌ها در قسمت‌های مختلف محیط

[1] - Mealworms
[2] - Bombelli
[3] - Wax Moth Galleria Mellonella
[4] - Auta
[5] - Bacillus Cereus and Bacillus Gottheilii

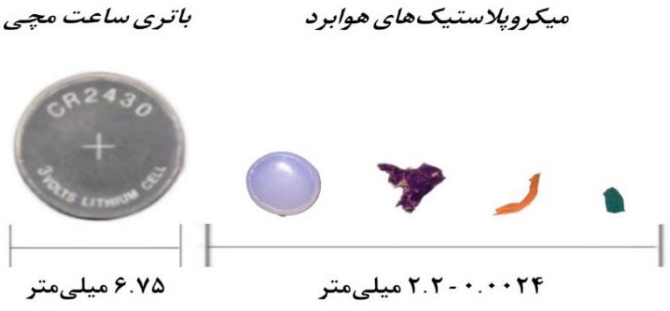
[Downloaded from rsj.iums.ac.ir on 2024-07-17]

زیست، تحت تأثیر طیف گسترده‌ای از عوامل طبیعی (مانند دما، نور خورشید، اقلیم منطقه، باد و غیره) و نیز خصوصیات فیزیکوشیمیایی خودشان (مانند اندازه، شکل، چگالی، جنس و غیره) است (۱۳).

میکروپلاستیک‌ها به‌دلیل گسترش فراگیرشان، مقاومت بالا و خصوصاً تأثیرات بالقوه‌ای که از طریق مسیرهای مختلفی بر روی موجودات زنده می‌گذارند، می‌توانند یک تهدید جدی در مقیاس جهانی محسوب شوند (شکل ۳) (۱۰)؛ اما درخصوص رابطه‌ای که بین میکروپلاستیک‌ها و جمعیت گونه‌های مختلف در محیط زیست می‌تواند وجود داشته باشد، هنوز اطلاعات کافی در دست نیست (۱۴).

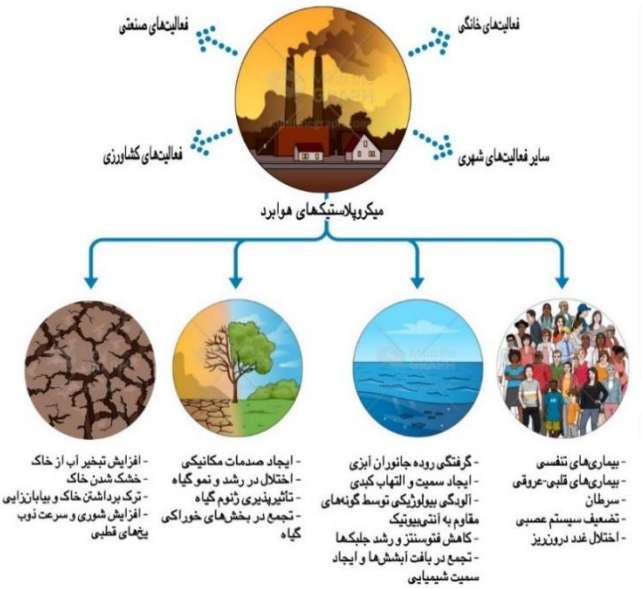
علاوه بر تأثیراتی که میکروپلاستیک‌ها در محیط زیست وارد می‌کند، این ذرات توانسته از مسیرهای مواجهه مختلفی (بلع، تنفس و تماس پوستی) وارد بدن انسان شده و سلامتی آن را به خطر اندازد (۱۳). به گونه‌ای که درصورت وجود غلظت بالای میکروپلاستیک‌ها در محیط و یا حساسیت بالای فرد، این ذرات می‌توانند منجر به تأثیرات مخرب به‌صورت مستقیم و یا غیرمستقیم؛ مانند اختلال غدد درون‌ریز، ضعف سیستم عصبی، اختلال متابولیسم انرژی (کاهش میزان آدنوزین تری‌فسفات و افزایش میزان گونه‌های فعال اکسیژن)، تغییر چارچوب سلولی و حتی سرطان شوند (۹). همان‌طور که اشاره شد، میکروپلاستیک‌ها در هوا نیز حضور دارند که به‌طور بالقوه‌ای باعث آلودگی اکوسیستم‌ها از طریق فرونشست خود و یا باعث ایجاد بیماری بعد از ورودشان به دستگاه تنفسی انسان می‌شوند. این ذرات، به کمک مکانیسم‌هایی مانند استرس اکسیداتیو (افزایش رادیکال‌های آزاد بدن که باعث آسیب به بافت می‌شود)، جابه‌جاشدگی، و جهش‌زایی؛ تأثیری بالقوه در ایجاد بیماری، خصوصاً در ریه دارند (۱۸).

در خلال پاندمی ویروس کرونا، توجه ویژه به افزایش تولید پسماندهای پلاستیکی و تنفس ذرات میکروپلاستیک به‌دلیل استفاده از ماسک‌ها، امری ضروری می‌نمود. استفاده از این ماسک‌ها در جوامع تبدیل به یک ضرورت بود؛ بنابراین، بهتر است که پژوهش‌های آتی، در زمینه خطر سلامتی مرتبط با تنفس ذرات میکروپلاستیک در مدت زمان کوتاه و طولانی نیز انجام شود (۳). با پیش‌بینی روند افزایشی حضور این ذرات انسان‌ساخت در محیط زیست‌مان، مطالعات بیشتری نیاز است تا بتوان خطر میکروپلاستیک‌ها بر روی سلامتی انسان را به‌طور دقیق‌تری مشخص کرد که این، خود نیازمند دانشی فراگیر در رابطه با میزان مواجهه انسان با این ذرات و تأثیرات پیش رو است (۲۳).



شکل ۲- تنوع میکروپلاستیک‌های هوابرد در خصوصیات فیزیکی و مقایسه اندازه آن‌ها با یک جسم خارجی

[Downloaded from rsj.iums.ac.ir on 2024-07-17]



شکل ۳- خلاصه‌ای از اثرات بهداشتی و محیطی میکروپلاستیک‌های هوابرد

فهرست منابع

1. Shao L, Li Y, Jones T, Santosh M, Liu P, Zhang M, et al. Airborne Microplastics: a review of current perspectives and environmental implications. *Journal of Cleaner Production*. 2022; 347 (23): 131048. doi: 10.1016/j.jclepro.2022.131048.

2. Amato-Lourenço LF, Carvalho-Oliveira R, Júnior GR, dos Santos Galvão L, Ando RA, Mauad T. Presence of Airborne Microplastics in Human Lung Tissue. *Journal of Hazardous Materials*. 2021; 15 (416): 126124. doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.126124.

3. Torres-Agullo A, Karanasiou A, Moreno T, Lacorte S. Overview on the Occurrence of Microplastics in Air and Implications from the Use of Face Masks During the COVID-19 Pandemic. *Science of The Total Environment*. 2021; 800: 149555. doi: doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149555.

4. Akanyange SN, Lyu X, Zhao X, Li X, Zhang Y, Crittenden JC, et al. Does Microplastic Really Represent a Threat? a review of the atmospheric contamination sources and potential impacts. *Science of The Total Environment*. 2021; 777: 146020. doi: doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146020.

5. Gan Q, Cui J, Jin B. Environmental Microplastics: Classification, Sources, Fates, and Effects on Plants. *Chemosphere*. 2023; 313: 137559. doi: doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137559.

6. Mbachu O, Jenkins G, Pratt C, Kaparaju P. A New Contaminant Superhighway? a review of sources, measurement techniques and fate of atmospheric microplastics. *Water, Air, & Soil Pollution.* 2020; 231 (85). doi: 10.1007/s11270-020-4459-4.

7. Khan NA, Khan AH, López-Maldonado EA, Alam SS, López López JR, Méndez Herrera PF, et al. Microplastics: Occurrences, Treatment Methods, Regulations and Foreseen Environmental Impacts. *Environmental Research*. 2022; 215: 114224. doi.org/10.1016/j.envres.2022.114224.

8. Sridharan S, Kumar M, Singh L, Bolan NS, Saha M. Microplastics as an Emerging

[Downloaded from rsj.iums.ac.ir on 2024-07-17]

Source of Particulate Air Pollution: a critical review. *Journal of Hazardous Materials*. 2021; 418: 126245. doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.126245.

9. Mohammadi A, Malakootian M, Dobaradaran S, Hashemi M, Jaafarzadeh N. Occurrence, Seasonal Distribution, and Ecological Risk Assessment of Microplastics and Phthalate Esters in Leachates of a Landfill Site Located Near the Marine Environment: Bushehr Port, Iran as a Case. *Science of The Total Environment*. 2022; 842: 156838. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.156838.

10. Huang Y, Qing X, Wang W, Han G, Wang J. Mini-Review on Current Studies of Airborne Microplastics: Analytical Methods, Occurrence, Sources, Fate and Potential Risk to Human Beings. *Trends in Analytical Chemistry*. 2020; 125: 115821. doi: 10.1016/j.trac.2020.115821.

11. Enyoh CE, Verla AW, Verla EN, Ibe FC, Amaobi CE. Airborne Microplastics: a Review Study on Method for Analysis, Occurrence, Movement and Risks. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2019; 191 (11): 668. doi: 10.1007/s10661-019-7842-0.

12. Zhao X, Zhou Y, Liang C, Song J, Yu S, Liao G, et al. Airborne Microplastics: Occurrence, Sources, Fate, Risks and Mitigation. *Science of The Total Environment*. 2023; 858: 159943. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.159943.

13. Wang C, Zhao J, Xing B. Environmental Source, Fate, and Toxicity of Microplastics. *Journal of Hazardous Materials*. 2021; 407: 124357. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.124357.

14. Prata JC, da Costa JP, Lopes I, Andrady AL, Duarte AC, Rocha-Santos T. A One Health Perspective of the Impacts of Microplastics on Animal, Human and Environmental Health. *Science of The Total Environment*. 2021; 777: 146094. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.146094.

15. Chen G, Feng Q, Wang J. Mini-Review of Microplastics in the Atmosphere and Their Risks to Humans. *Science of The Total Environment*. 2020; 703: 135504. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135504.

16. Zhang Q, Xu EG, Li J, Chen Q, Ma L, Zeng EY, et al. A Review of Microplastics in Table Salt, Drinking Water, and Air: direct human exposure. *Environmental Science & Technology*. 2020; 54 (7): 3740-3751. doi: 10.1021/acs.est.9b04535.

17. Du H, Wang J. Characterization and Environmental Impacts of Microplastics. *Gondwana Research*. 2021; 98 (1): 63-75. doi: 10.1016/j.gr.2021.05.023.

18. Prata JC. Airborne microplastics: Consequences to Human Health? *Environmental Pollution*. 2018; 234:115-126. doi: 10.1016/j.envpol.2017.11.043.

19. Prata JC, Castro JL, da Costa JP, Cerqueira M, Duarte AC, Rocha-Santos T. Airborne Microplastics: concerns over public health and environmental impacts. In: Rocha-Santos, T., Costa, M., Mouneyrac, C, editors. Handbook of Microplastics in the Environment. Springer Cham.; 2021, pp. 1-25. doi: 10.1007/978-3-030-10618-8_37-2.

20. 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. *Environmental Pollution*. 2019; 244: 153-164. doi: 10.1016/j.envpol.2018.10.039.

21. 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? *Science of The Total Environment*. 2020; 749: 141676. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141676.

22. Karbalaei S, Hanachi P, Walker TR, Cole M. Occurrence, Sources, Human Health Impacts and Mitigation of Microplastic Pollution. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018; 25 (36): 36046-63. doi: 10.1007/s11356-018-3508-7.

23. Prata JC, da Costa JP, Lopes I, Duarte AC, Rocha-Santos T. Environmental Exposure to Microplastics: An Overview on Possible

[Downloaded from rsj.iums.ac.ir on 2024-07-17]

Human Health Effects. *Science of The Total Environment*. 2020; 702: 134455. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134455.

24. Chen G, Li Y, Wang J. Chapter Eight - Human Health Effects of Airborne Microplastics. *Comprehensive Analytical Chemistry*. 2023; 100: 185-223. doi: 10.1016/bs.coac.2022.07.008.

25. Batool I, Qadir A, Levermore JM, Kelly FJ. Dynamics of Airborne Microplastics, Appraisal and Distributional Behaviour in Atmosphere: a review. *Science of The Total Environment*. 2022; 806: 150745. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.150745.

26. Amiri H, Hoseini M, Abbasi S, Malakootian M, Hashemi M, Jaafarzadeh N, et al. Geophagy and Microplastic Ingestion. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2022; 106: 104290. doi: 10.1016/j.jfca.2021.104290.

27. Yuan Z, Xu X-R. Chapter Six - Surface Characteristics and Biotoxicity of Airborne Microplastics. *Comprehensive Analytical Chemistry*. 2023; 100: 117-164. doi: 10.1016/bs.coac.2022.07.006.

[Downloaded from rsj.iums.ac.ir on 2024-07-17]

Rahavard Salamat Journal
5 – 2019/1

Review Article
http://rsj.iums.ac.ir

Investigation of Health and Environmental Effects of Airborne Microplastics

Majid Hashemi [1, 2], Mahdi Rezaei [1, 2*]

1. Environmental Health Engineering Research Center, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran
2. Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Public Health, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran

*Corresponding Author: Mahdi Rezaei, Email: mahdirezaei1274@gmail.com

Keywords

Microplastics;
Health;
Environmental and Public Health.

Received: 22 Jul 2023
Accepted:19 Sep 2023
Published: 11 Oct 2023

Abstract

Background & Objectives: Airborne microplastics are plastic particles smaller than 5 mm in diameter, with primary and secondary sources that come into contact with the human body in various ways. Due to their widespread distribution in the environment, they can pose a threat to other living organisms and even non-living elements. The aim of the current study is to investigate the health and environmental effects of airborne microplastics.

Materials & Methods: In the initial search for articles, a total of 163 articles were found from 2018 to 2023, which was reduced to 107 after removing duplicates. Then, during the screening stage, the titles and abstracts of the articles were reviewed, resulting in 31 articles remaining. The full text of the screened articles was studied to obtain relevant articles, and finally, 27 articles were used in the present study.

Results: Airborne microplastics exhibit various characteristics in terms of shape, size, and color. They are distributed from various sources such as clothing, vehicle tires, and healthcare products. In addition to their effects on the environment (vegetation, soil, aquatic animals, polar ice, etc.), these particles can also have destructive effects on the human body, including endocrine disorders, weakness in the nervous system, energy metabolism disorders, asthma, and even cancer.

Conclusion: Due to their widespread distribution, high resistance, and especially their potential effects on living organisms, airborne microplastics can be considered a serious global threat. With the anticipated increasing trend of the presence of these particles in our environment, more studies are needed to determine the effects of airborne microplastics on human health and the environment as much as possible.

Cite as:

Hashemi M, Rezaei M. Investigation of Health and Environmental Effects of Airborne Microplastics. *Rahavard Salamat Journal*. 2019; 5 (1): 1-20.

[Downloaded from rsj.iums.ac.ir on 2024-07-17]