

میکروپلاستیک‌ها؛ ذرات کوچک با اثرات بزرگ

نیلوفر رجبی

دانشجوی کارشناسی ارشد بیوشیمی، دانشگاه اراک

nilurajabi567@gmail.com

چکیده

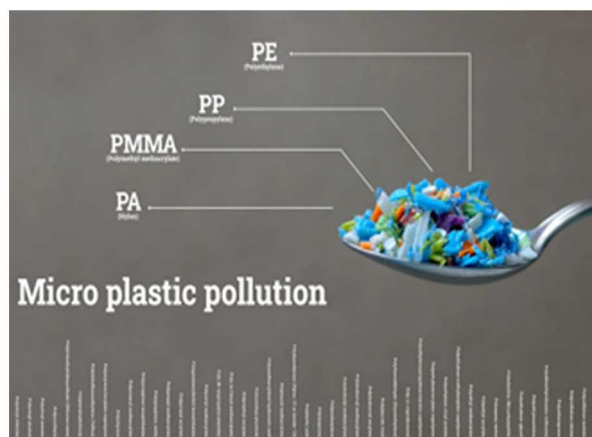
میکروپلاستیک‌ها (MPs) به عنوان آلاینده‌های محیطی نوظهور در سراسر جهان شناخته شده‌اند. وجود میکرو و نانوپلاستیک‌ها (NPs) در زنجیره غذایی یک امر چندگانه را تشکیل می‌دهد. مصرف محصولاتی که دارای این آلاینده هستند، بر سلامت عمومی مانند ماهی و سخت پوستان، میوه‌ها و سبزیجات و انسان‌ها تأثیر می‌گذارد. افزایش رو به رشد تولیدات پلاستیکی و مدیریت نادرست زباله‌های پلاستیکی که به یک نگرانی فزاینده تبدیل شده است، در حال حاضر با اقداماتی در حال بهبود است. جهان در حال سعی برای بهبود وضعیت محیط زیست است و تلاش‌های بین‌المللی برای کاهش تولید پلاستیک و افزایش بازیافت آن رو به جلو پیش می‌روند. در این مطالعه منشاء، محتویات آسیب‌های وارده این ریز ذرات در گیاهان خوراکی، آب، خاک، روش‌های انتقال آن‌ها، تأثیر منفی نانو و میکروپلاستیک‌ها بر انواع محصولات غذایی و تأثیر مخرب آن‌ها بر محیط زیست و انسان بررسی شده است.

کلمات کلیدی: میکروپلاستیک، محیط زیست، زباله پلاستیکی، سلامت عمومی، مدیریت پلاستیک

مقدمه

پلاستیک‌ها به دلیل وزن سبک، دوام بالا، و ارزان بودن یکی از پرکاربردترین مواد در جهان هستند که در برابر تجزیه زیستی بسیار مقاوم هستند و ممکن است برای قرن‌ها در محیط باقی بمانند. در فرآیند طولانی و کند تجزیه بسترهای پلاستیکی با اندازه بزرگ قبل از تجزیه کامل به احتمال زیاد به مزو پلاستیک قطعات پلاستیکی کوچک با اندازه ۵ تا ۴۰ میلی متر، میکروپلاستیک (MPs) ذرات پلاستیک با اندازه ۱ تا ۵۰۰۰ میکرومتر و نانوپلاستیک (NPs) ذرات پلاستیک در محدوده ۱/۰ میکرومتر یا کمتر تبدیل می‌شوند (Ter Halle et al. ۲۰۱۷). به دلیل مصرف زیاد پلاستیک، زباله‌های پلاستیکی به اجزای غالب زباله‌ها به خصوص زباله‌های دریایی تبدیل شده‌اند که به دلیل سوء مدیریت زباله‌های پلاستیکی به عنوان بخشی از مشکلات محیط زیست هستند. به طور خاص، ذرات پلاستیکی با اندازه‌های کمتر از ۱۰۰ میکرومتر نشان‌دهنده یک مسئله نوظهور هستند که تشخیص آن‌ها دشوار می‌باشد. اخیراً، میکروپلاستیک‌های کمتر از ۱۰ میکرومتر به عنوان فراوان‌ترین میکروپلاستیک شناخته شده هستند، این ذرات به عنوان مثال در آب‌های بطری و چندین غذا یافت شدند. ماهیت شیمیایی میکروپلاستیک‌ها و نانوپلاستیک‌ها در نمونه‌های آب، رسوب و حیوانات مشابه یکدیگر است (Cai et al. ۲۰۲۱). آنها معمولاً از پلی اتیلن^۱ (PE)، پلی استایرن^۲ (PS)، پلی پروپیلن^۳ (PP)، نایلون، پلی استر^۴، پلی اتیلن وینیل استات^۵ (PEVA)، پلی اکریلونیتریل^۶ (PAN) که همه مواد پلاستیکی سبک و محبوب هستند (شکل ۱) (M. Li et al. ۲۰۲۰).

^۱Polyethylene
^۲Polystyrene
^۳Polypropylene
^۴Polyester
^۵Poly Ethylene-vinyl acetate
^۶Polyacrylonitrile



شکل ۱- میکروپلاستیک ها و ماهیت شیمیایی آن ها

میکروپلاستیک ها و نانوپلاستیک ها به دلیل ویژگی های زیر که همگی به اندازه کوچک آن ها مربوط است به عنوان یک معضل برای محیط زیست و موجودات در نظر گرفته می شوند:

- (۱) سریع در محیط منتقل می شوند.
 - (۲) سطح بزرگی برای جذب سریع آلاینده ها و انتشار رسوبات و مواد شیمیایی دارند.
 - (۳) به راحتی وارد شبکه غذایی و سپس وارد بدن می شوند.
 - (۴) از طریق بافت های حیوانات مهاجرت می کنند.
- در میان تمام زباله های پلاستیکی، میکروپلاستیک ها (پلاستیک هایی با اندازه ذرات کمتر از ۵۰۰۰ میکرومتر) به دلیل فراوانی پراکنش، اندازه کوچک، سمیت و بلع توسط موجودات برای طبیعت پایدار نسل های آینده، به یک مسئله جهانی تبدیل شده اند. این مسئله باعث آسیب مکانیکی، کاهش باروری و اثرات منفی بر اکوسیستم و سرعت رشد ارگانیسم می شود (Prata et al. ۲۰۲۰).

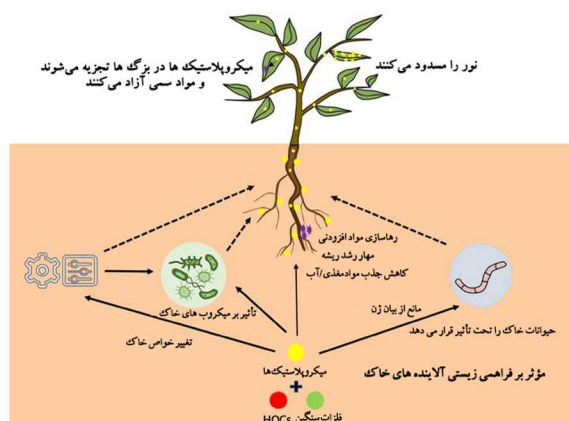
اثرات و تهدیدات میکروپلاستیک بر گیاهان

سبزیجات و میوه ها بیشتر در معرض میکروپلاستیک ها هستند. بالاترین سطح متوسط میکروپلاستیک ها (IQR) در نمونه های میوه و سبزیجات ۲۲۳۰۰۰ بود. به طور خاص، سیب آلوده ترین نمونه میوه گزارش شد، در حالی که در سبزیجات هویج آلوده ترین بوده است. با این وجود سطح میانه پایین (IQR) در نمونه های کاهو ۵۲۰۵۰ مشاهده شد (Carrasco Silva et al. ۲۰۲۱). میکروپلاستیک ها بر اساس اندازه و نوع خود قادر به نفوذ به دانه، ریشه، برگ، سلول گیاه و میوه ها هستند. اثرات نفوذ میکروپلاستیک ها به سیستم گیاه را می توان برای اصلاح رشد و طعم و مزه و سایر موارد بررسی کرد (Bosker et al. ۲۰۱۹). WHO^۷ نشان می دهد که رژیم غذایی سالم دارای حداقل ۴۰۰ گرم (یعنی پنج وعده) میوه و سبزیجات در روز برای سلامتی مناسب است. بنابراین نظارت بر کیفیت غذا بسیار مهم است و با توجه به گستردگی بالای میکروپلاستیک در محیط و به دلیل عدم وجود سیاست های خاص ملی و بین المللی و یا محدودیت های استاندارد برای کنترل آلودگی پلاستیکی مواد غذایی، ارزیابی نانو و میکروپلاستیک ها بسیار موثر و مرتبط است (Iri et al. ۲۰۲۱).

داده های تجربی در مورد جذب و انتقال میکروپلاستیک ها در بافت های گیاهی نشان می دهد که میکروپلاستیک ها به دلیل شباهت با نانو مواد کربنی، به طور مشابه در بافت های گیاهی جابه جا می شوند. برای این نوع نانو ذرات، جذب توسط سیستم گیاهی با اندازه آن نسبت معکوس دارد و می تواند بر رشد گیاه و میوه ها تأثیر بگذارد. بنابراین، ذرات با اندازه بزرگ وارد سلول گیاهی نشده و در نتیجه

^۷ World Health Organization

روی سطح جذب می‌شود. نانومواد کربن ممکن است از طریق ریشه گیاهان جذب شوند، اما در دانه‌ها ممکن است در صورت داشتن اندازه مناسب نفوذ کرده و با اندوسیتوز در اندام‌های هوایی به مکان‌هایی که اندازه آن‌ها مناسب باشد، منتقل و تجمع کنند، سپس از طریق رژیم غذایی به مصرف کننده منتقل شوند. مکانیسم جذب و جابه‌جایی برای میکرو و نانوپلاستیک‌ها که ذرات مبتنی بر کربن هستند به همین صورت می‌باشد. قرار گرفتن در معرض پلاستیک‌ها تأثیر قابل توجهی بر میکروارگانیسم و محیط خاک، جوامع زنی و رشد ریشه دارد. تجمع نانومواد کربنی با اندازه مناسب در سلول‌های گیاهی مانع جذب مواد مغذی ضروری می‌شود در نتیجه رشد و گلدهی را به تأخیر می‌اندازد (شکل ۲) (L. Li et al. ۲۰۲۰; Azeem et al. ۲۰۲۱).



شکل ۲- اثرات میکروپلاستیک بر روی گیاهان

اثرات و تهدیدات میکروپلاستیک بر محیط دریایی

بنابر گزارش قطعات پلاستیکی ۶۰ تا ۸۰ درصد از کل زباله‌های دریایی و ۹۰ درصد ذرات شناور را تشکیل می‌دهند که آن‌ها را به اجزای غالب زباله‌های دریایی تبدیل کرده است. در سال ۲۰۱۴، برنامه محیط زیست سازمان ملل متحد آلودگی پلاستیکی در اقیانوس‌ها را به عنوان یکی از ۱۰ مشکل محیط زیستی نوظهور جهانی معرفی کرد و هزینه‌ای معادل ۱۳ میلیارد دلار در سال برای خسارات ناشی از آن در نظر گرفت. در سال ۲۰۱۵ حدود ۱۵ تا ۵۱ تریلیون قطعه پلاستیک در اکوسیستم‌های دریایی تخمین زده شد، که معادل وزن کل ۹۳۰۰۰ تا ۲۶۳۰۰۰ تن بوده است. دو سال بعد، این مقدار به بیش از ۸ میلیون تن پلاستیک افزایش یافت. ورود پلاستیک به اقیانوس‌ها در سال ۲۰۱۷ سه برابر کل این مقدار بود که نشان دهنده نرخ هشدار دهنده‌ای از بدتر شدن وضعیت است (Dauvergne, ۲۰۱۸).

از آنجایی که کل جمعیت انسان در خشکی زندگی می‌کند و بیشتر فعالیت‌های انسانی مبتنی بر زمین است، طبیعی است که اکثر زباله‌های پلاستیکی از جمله ماکروپلاستیک‌ها، میکروپلاستیک‌ها و نانوپلاستیک‌ها مستقیماً به خشکی تخلیه می‌شوند. در نتیجه، اکثریت میکروپلاستیک‌های اولیه و ثانویه در اقیانوس‌ها از منابع زمینی مشتق شده‌اند. زباله‌های پلاستیکی زمینی می‌توانند از طریق سه مسیر وارد اقیانوس‌ها شوند (Cai, Li, and Zhao ۲۰۲۲).

- مسیرهای باد (مسیر هوایی)
- مسیر خاک
- مسیر آب

انتقال پلاستیک تحت تأثیر عوامل بسیاری از جمله:

- ویژگی‌های پلاستیک (ترکیب شیمیایی، بار سطحی، آبگریزی، چگالی، اندازه و شکل)
- شرایط دینامیکی اقیانوس (باد، امواج، جریان‌ها، جریان آب، گرداب‌ها، جزر و مد، گردش

ژئوستروفیک، و شیب ترموهالین)

- هندسه اقیانوس (زمین و شیب)
- ویژگی های خط ساحلی (سنگ بستر، شن، پوشش گیاهی ساحلی و یخ سطحی)
- فعل و انفعالات بیولوژیکی (رسوب زیستی و بلعیدن توسط حیوانات دریایی)
- فعالیت های انسانی (ماهیگیری، توسعه شهری و گردشگری)

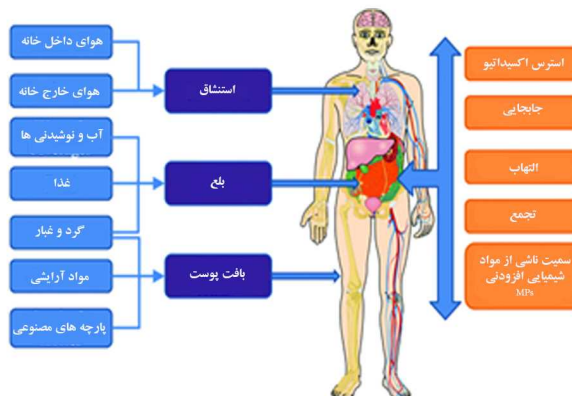
مطالعات وجود همه جانبه میکروپلاستیک ها را در اکوسیستم دریایی نشان داده است که تهدیدی جدی برای سلامت حیوانات دریایی ایجاد می کند و علائمی مانند سوء تغذیه، التهاب، مسمومیت شیمیایی، جلوگیری از رشد، کاهش باروری و مرگ ناشی از آسیب در سطوح فردی، اندام، بافت، سلول و مولکول را به همراه دارد (شکل ۳). آزمایش های *in vitro* و *in vivo* نشان داده اند، نانوذرات پتانسیل نفوذ به موانع زیستی مختلف از جمله سد گوارشی و سد خونی مغزی دارد و در بسیاری از اندام های مهم مانند مغز، سیستم گردش خون و کبد حیوانات نمونه برداری شده است (de Souza Machado et al. ۲۰۲۱; Weber et al. ۲۰۱۸).



شکل ۳- اثرات میکروپلاستیک ها بر روی جانوران دریایی

اثرات میکروپلاستیک ها بر روی سلامت انسان

آلودگی میکروپلاستیک در همه محیط های آبی و خشکی، رسوبات، درون موجودات و در جو موجود در آب، وجود دارد و دارای اثرات شیمیایی، فیزیکی و زیستی بر روی حیات جانوری و گیاهی می باشد. شواهدی مبنی بر اینکه انسان ها در معرض میکروپلاستیک ها از طریق خوردن غذا و نوشیدنی و از طریق استنشاق هستند در حال رشد است (شکل ۴). با وجود شیوع آلودگی، تحقیقات محدودی در مورد اثرات میکروپلاستیک ها بر سلامت انسان و ارگانیسم های موثر بر آن انجام شده است (Oluniyi Solomon and Palanisami 2016).



شکل ۴- راه های انتقال میکروپلاستیک ها به درون بدن انسان و اثرات میکروپلاستیک بر بدن

نتایج حاصل از مطالعات افرادی که در معرض غلظت بالایی از میکروپلاستیک ها قرار دارند و آزمایش های کشت سلولی و حیوانی، نشان می دهد که اثرات میکروپلاستیک ها شامل تحریک پاسخ های ایمنی و استرس و القاء سمیت تولید مثلی و رشدی می شود. اثرات میکروپلاستیک ها بر روی انسان شامل اثرات شیمیایی، فیزیکی و زیستی است که هر کدام به صورت مختصر شرح داده می شود (Auta, Emenike, and Fauziah, ۲۰۱۷).

اثرات شیمیایی

افزودنی های سمی

افزودنی هایی مانند رنگ ها یا نرم کننده ها می توانند باعث سمیت، سرطان زایی و جهش زایی شوند. افزودنی ها، رنگ ها و رنگدانه ها می توانند از میکروپلاستیک ها شسته شده و بر روی سطوح و منابع آب تجمع کنند و پیامدهای سلامتی را به همراه داشته باشند. فتالات^۱ یک افزودنی که معمولاً به عنوان نرم کننده و انعطاف پذیری پلاستیک از آنها استفاده می شود. فتالات ها از نظر شیمیایی با پیوند کووالانسی به پلیمر متصل می شود بنابراین احتمال رها شدن و انتقال آن به محیط بیشتر است. بیش از ۸۰ درصد از نرم کننده های مورد استفاده در سراسر جهان فتالات ها هستند که آن ها در خانه، گرد و غبار، ادرار انسان و شیر مادر ظاهر می شوند.

شواهدی در ارتباط با سطح فتالات و بروز آسم و آلرژی به ویژه در کودکان وجود دارد. همچنین نشان داده شده است که قرار گرفتن در معرض فتالات ها تأثیر زیستی در رحم دارد و می تواند با مدت زمان بارداری کوتاه تر همراه باشد. پلی برومید دی فنیل اترها (PBDE) مواد افزودنی هستند که به عنوان بازدارنده شعله در بسیاری از محصولات تجاری استفاده می شود. ۱۵٪ PBDE در تولید پلاستیک می تواند استفاده شود و از نظر شیمیایی اتصالی ندارد. فرآیندهای دفع غلظت مواد افزودنی از جمله PBDE در بدن حیات وحش و انسان ها در طول سال های اخیر در کشور افزایش یافته است که همراه با اثرات ناشناخته طولانی مدت همراه است. حضور گسترده این مواد شیمیایی که اکثر آن ها مواد شیمیایی برم دار هستند در جمعیت عمومی یافت شده است که یک نگرانی برای سلامتی ایجاد می کند. مواد شیمیایی که از پلاستیک ها آزاد شده و به درون بدن انتقال می یابند به بافت های مختلف ورود پیدا کرده و باعث آسیب جدی به اندام ها می شوند (Campanale et al. ۲۰۲۰a).

در یک مطالعه، ارزیابی سطح خطر ۳۱ پلیمر از ۵۵ پلیمر پلاستیکی نشان داد این پلیمرها از مونومرهای با شدیدترین سطوح خطر تشکیل شده اند. پلی وینیل کلرید (PVC) دارای یک مونومر سرطانزا و چندین افزودنی های خطرناک آن را به احتمال زیاد خطرناک ترین پلاستیک از نظر سمیت تبدیل می کند. در مورد اینکه چگونه میکروپلاستیک ها و افزودنی های آن ها می توانند باعث ایجاد اثر سمی در سطح سلولی شوند، با بررسی سمیت سلولی، استرس اکسیداتیو و زنده مانی سلولی انجام شده است. سلول های مغزی و اپیتلیال انسان در معرض سطوح مختلف آلاینده ها قرار گرفتند و استرس اکسیداتیو را در هنگام تماس با میکروپلاستیک ها نشان دادند. مطالعه دیگری نشان داد که در تماس مستقیم پلی پروپیلن با سلول های انسانی می تواند تولید سیتوکین ها و هیستامین القا شود (Barboza et al. ۲۰۲۰; Bhuyan ۲۰۲۲).

سموم ثانویه

تعامل میکروپلاستیک ها و آلاینده های شیمیایی منطقه ای به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است. این آلاینده ها آب گریز هستند و به راحتی یافت شده اند. به عنوان مثال، ورق های مالچ پلی اتیلن، که در کشاورزی استفاده می شود، یک منبع اصلی میکروپلاستیک در خاک زراعی هستند. آن ها همچنین

^۱ Phthalate

می‌توانند آفت کش‌هایی را که در خاک یا قبلاً روی پلاستیک اسپری شده است را جذب کنند. دیپترکس^۹ و مالاتیون^{۱۰} نمونه‌هایی از آفت کش‌هایی هستند که می‌توانند به میکروپلاستیک جذب شوند (Hwang et al. ۲۰۱۹). علاوه بر این، آنتی بیوتیک‌ها می‌توانند به میکروپلاستیک‌ها در آب‌های آلوده جذب شوند که منجر به حمل طولانی مدت آن‌ها می‌شوند. یک مطالعه نشان داد که پلی آمید (PA) قادر به جذب آنتی بیوتیک‌ها از جمله (سولفادیازین^{۱۱}، آموکسی سیلین، تتراسایکلین، سیپروفلوکساسین^{۱۲} و تری متوپریم^{۱۳}) است. پنج میکروپلاستیک (پلی اتیلن، پلی استایرن، پلی پروپیلن، PA و PVC) در آب شیرین و آب دریا یک مشکل سمی برای شبکه غذایی ایجاد می‌کنند (Rist et al. ۲۰۱۸; Smith et al. ۲۰۱۸).

اثرات فیزیکی

استنشاق

مطالعات زیادی انجام شده است که نشان می‌دهد میکروپلاستیک‌ها در جو حضور دارند که به راحتی می‌توان آن را استنشاق کرد. تولید الیاف نساجی پلاستیکی بیش از ۶ درصد در سال افزایش یافته است و حدود ۱۶ درصد از تولید پلاستیک جهان را تشکیل می‌دهد. الیاف کوچک به دلیل فرسودگی و شستشوی عمومی می‌توانند از لباس ریزش کنند. پیش بینی شده است که فقط با یک لباس ۱۹۰۰ الیاف در هر شستشو در فاضلاب آزاد می‌شود. با توجه به مقیاس تولید الیاف پلاستیکی در سراسر جهان و پتانسیل بعدی برای استنشاق پیشنهاد می‌شود که اثرات آن‌ها بر سلامت انسان باید در نظر گرفته شود. میکروپلاستیک‌های فیبری اکثریت قریب به اتفاق پلاستیک‌های یافت شده (۹۲٪) در اتمسفر را تشکیل می‌دهند. از این مقدار ۶۷٪ میکرو فیبرها، ۳۰٪ تکه‌های ریز و ۳ درصد گرانول بودند، که منجر به این فرض می‌شود که منبع احتمالی اکثر میکرو پلاستیک‌ها منسوجات مصنوعی بوده است. همچنین تخمین می‌زنند که فعالیت در فضای باز می‌تواند منجر به قرار گرفتن در معرض ۳۲۲۳ ذره در سال برای کودکان و ۱۰۶۳ ذره در سال برای بزرگسالان شود. میکرو پلاستیک‌های جوی نیز می‌توانند از رسوب یا باران حاصل شوند. این ذرات می‌توانند تا ۹۵ کیلومتر جابه‌جا شوند تا از طریق حمل و نقل جوی به مناطق دورتر برسند (Yao et al. ۲۰۲۲).

اثرات استنشاق میکروپلاستیک‌های فیبری بر سلامت انسان تا حدودی مشخص شده است. تصور می‌شود که اکثریت فیبرها را می‌توان از سیستم تنفسی پاک کرد، با این حال، برخی از آن‌ها منجر به ایجاد پاسخ‌های التهابی و حتی ضایعات تنفسی می‌شوند، از ۱۱۴ نمونه ریه از بیماران تحت درمان ریه رزکسیون برای برداشتن تومور، ۸۷٪ آن‌ها حاوی الیاف سلولزی یا پلاستیکی است که نشان می‌دهد این الیاف کوچک قابل تنفس هستند و در بافت ریه تجمع می‌یابند (Campanale et al. ۲۰۲۰b).

گوارشی

۸ نمونه مدفوع انسان آزمایش شد و میکروپلاستیک‌ها را در همه آن‌ها یافتند. در بین میکروپلاستیک‌های بلعیده شده پلی پروپیلن، پلی اتیلن و فتالات فراوان ترین نوع بودند. با غذا خوردن میانگین سالانه دریافت میکروپلاستیک‌ها در محدوده ۳۹۰۰۰ تا ۵۹۰۰۰ ذره بودند. هنگامی که استنشاق میکروپلاستیک‌ها در نظر گرفته شود، به ۷۴۰۰ تا ۱۲۱۰۰۰ ذره افزایش می‌یابد. آن‌ها همچنین دریافتند هنگام مصرف آب با استفاده از یک منبع بطری پلاستیکی ۹۰۰۰۰ ذره بیشتر مصرف می‌شود. میوه‌ها و سبزیجات خوراکی نمونه دیگری از بلع احتمالی میکروپلاستیک‌ها توسط انسان هستند (Nugraha et al. ۲۰۲۲). بلع و در معرض میکروپلاستیک‌ها قرار گرفتن باعث اختلال در متابولیسم کبد، متابولیسم چربی و انرژی، آسیب مخاطی، نفوذپذیری و التهاب می‌شود (شکل ۵).

^۹ Diptera

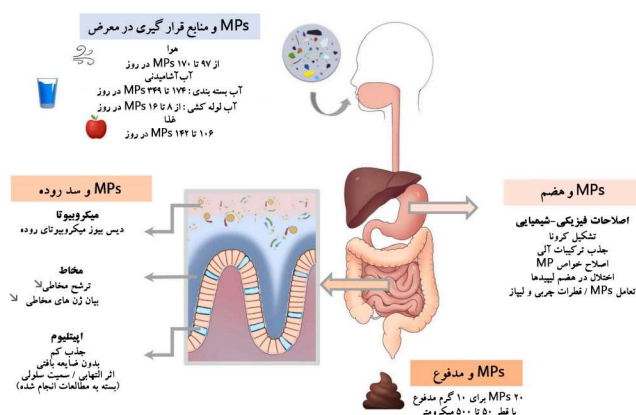
^{۱۰} Malathion

^{۱۱} Sulfadiazine

^{۱۲} Ciprofloxacin

^{۱۳} Trimethoprim

مقدار میکروپلاستیک پلی اتیلن باعث افزایش تعداد گونه های میکروبی روده، فراوانی باکتری ها و تنوع فلور و افزایش سطوح اینترلوکین سرم می شود. آن ها دریافتند که میکروپلاستیک ها تا قطر ۲۴۰ نانومتر می توانند از سد جفت عبور کنند (Anon n.d.; Fournier et al. ۲۰۲۱).



شکل ۵- اثرات گوارشی میکروپلاستیک (Fournier et al., ۲۰۲۱)

تماس پوستی

احتمال کمی وجود دارد که انسان با میکرو پلاستیک ها از طریق تماس پوستی در معرض قرار بگیرد اما نانو پلاستیک ها (کمتر از ۱۰۰ نانومتر) می توانند از پوست عبور کنند. مونومرها و مواد افزودنی پلاستیک، مانند بیسفنول A^{۱۴} و فتالات، که از استفاده روزانه وسایل معمولی حاصل می شوند، پوست را بیشتر در معرض تماس قرار می دهند (Rahman et al. ۲۰۲۱).

اثرات زیستی

میکروارگانیزم ها

میکروپلاستیک ها می توانند خطرات زیستی نیز داشته باشند. مونومر و مواد افزودنی ممکن است از ماتریس میکروپلاستیک به داخل ارگانیزم شسته شوند. بافت ها در معرض مواد شیمیایی مانند فتالات ها و بیسفنول A قرار می گیرند که به عنوان اختلالات غدد درون ریز - هورمون ها شناخته می شوند. سطح میکروارگانیزم ها به عنوان ناقل میکروپلاستیک ها یا مواد شیمیایی که با آن ها در تماس هستند می باشند. به عنوان مثال، آلاینده های آلی پایدار و هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای (PAHs)^{۱۵} در میکروپلاستیک های بازیابی شده از محیط، شناسایی شده اند. هنگامی که میکروپلاستیک ها بلعیده می شوند، می توانند موجودات زنده را در معرض غلظت های بالاتری از این مواد شیمیایی بالقوه سمی قرار دهند یا حتی سمیت آن ها را تشدید کنند. میکروارگانیزم ها همچنین ممکن است سطح میکروپلاستیک ها را مستعمره کنند. در این مورد، میکروپلاستیک ها می توانند به عنوان بردار عمل کنند و میکروارگانیزم ها را به بافت ها تحویل دهند، بنابراین محافظت از آن ها در برابر سیستم ایمنی و ایجاد آسیب بافتی که منجر به عفونت می شوند لازم است. علاوه بر این، میکروپلاستیک های تغییر یافته منجر به افزایش تنوع میکروبیوم روده در موجودات خاک می شود. همین اثر می تواند در انسان پس از مصرف مقدار قابل توجهی میکروپلاستیک اتفاق بیفتد. تغییرات در میکروبیوم روده می تواند منجر به اثرات نامطلوب، مانند تکثیر گونه های مضر، نفوذ پذیری و افزایش اندوتوکسمی در روده شود. با این حال، اثرات منفی از انتشار مواد شیمیایی یا میکروارگانیزم های جذب شده به میکروپلاستیک ها بستگی زیادی به انواع مرتبط با ذرات بلعیده شده، زمان پاکسازی جابجایی میکروپلاستیک ها، سرعت انتشار، میزان آلاینده، انتقال و اثرات مضر آن در بافت های انسانی دارد (Campanale et al. ۲۰۲۰b).

^{۱۴} Bisphenol A
^{۱۵} Polycyclic Aromatic Hydrocarbons

راهبردهای مدیریتی ممکن برای مشکلات میکروپلاستیک ها

پیچیدگی و افزایش مقیاس موضوع آلودگی پلاستیک خیلی بزرگ است که حل آن در سطح بین المللی نیز سخت می باشد. بنابراین، برای رسیدگی و مقابله با این مشکل ادغام و هماهنگ کردن چندین اقدام (مدیریت، ابزارهای نظارتی، فنی و عملیاتی) در سطوح محلی، ملی، منطقه ای و بین المللی ضروری است.

قانون گذاری

مهمترین قوانینی که در حال اجراست در رابطه با مشکل آلودگی دریا، پروتکل ۱۹۷۸ کنوانسیون بین المللی جلوگیری از آلودگی ناشی از کشتی ها (MARPOL) است که شامل:

- تصفیه فاضلاب
- منع استفاده از مواد شیمیائی آلوده کننده
- منع دفع روغن و گریس
- تأمین بستر مناسب برای جمع آوری زباله ها
- حفاظت از حیات دریایی

سیستم های دفع زباله کارآمد

سیستم های دفع زباله کارآمد باید در سواحل تهیه شود و سطل های زباله و بازیافت کافی برای جمع آوری ضایعات تجاری، شهری و کشاورزی از منازل، خیابان ها، پارک ها و محل ها در مناطق ساحلی باید وجود داشته باشد. علاوه بر این، تعداد زیادی زباله سوز برای سوزاندن زباله های پلاستیکی در جای خود قرار داده شود (Goutam Mukherjee et al. ۲۰۲۱).

بازیافت و ارزش گذاری مواد پلاستیکی

این یک روش مهم برای کاهش اثرات منفی زیست محیطی شناخته می شود. در حال حاضر، دفن زباله ها و سوزاندن آن ها در هوای آزاد که به طور عمده در کشورهای در حال توسعه برای مدیریت زباله ها استفاده می شود، باعث کاهش گسترش آلودگی پلاستیک در اقیانوس ها و کاهش تولید پسماندهای خانگی شده است.

آموزش و روشنگری عمومی

آموزش و روشنگری عمومی در مورد پاکسازی زباله دریایی یک ابزار قدرتمند برای رسیدن به هدف مشارکت عمومی است. این آموزش می تواند به دو صورت رسمی و غیررسمی در مدارس وجود داشته باشد.

آموزش رسمی شامل گنجاندن مباحث زیست محیطی در سیستم درسی کشور است. این نوع آموزش به دانش آموزان اطلاعات لازم را درباره حفظ محیط زیست و پاکسازی زباله های دریایی ارائه می دهد. آموزش غیررسمی شامل مشارکت عامه پسند است که شامل فعالان عامل هستند که در پروژه های داوطلبانه شرکت می کنند. این نوع آموزش شامل فعالیت های عملیاتی هستند، مانند پاکسازی ساحل، برگزاری کمپین ها، سمینارها و رالی ها. این فعالیت ها به کاهش هزینه ها کمک می کنند و بهبود آگاهی عمومی را نیز به همراه دارند.

ادغام و هماهنگی بین رشته ای

تحقق بخشیدن به اجرای برنامه های اقدام شده برای کاهش ورود پلاستیک به محیط زیست در سراسر جهان، نیاز فوری به مشارکت ذینفعان مختلف از جمله صنایع پلاستیک، صنایع ماهیگیری، صنایع غذایی، گردشگری، کشتی رانی دارد. شرکت ها، سازمان های غیردولتی، جامعه، مقامات محلی، شبه دولتی ملی، منطقه ای و بین المللی، در پرداختن به مسائل اجتماعی-اقتصادی و مشکلات زیست محیطی مرتبط با آلودگی پلاستیک و همچنین در فرایند تصمیم گیری نقش پررنگی دارند.

نوآوری در پلاستیک های زیست تخریب پذیر و جایگزین های دیگر

برای تولید پلاستیک های زیستی که قابل تجزیه و تخریب در محیط زیست هستند و همچنین جایگزین مناسب برای پلاستیک های معمولی به منظور کاهش آلودگی محیط زیست، نوآوری و فناوری پیشرفته لازم است. این نوآوری ها باید با هزینه کم صورت گیرد و برای عموم جامعه قابل دسترس باشد. اگر چه اثرات نهایی این تغییرات در تولید محصولات هنوز مشخص نشده است، اما بررسی و برنامه ریزی دقیق لازم است. روش دیگر کاهش پلاستیک استفاده از محصولات ساخته شده از مواد جایگزینی مانند فلزات ضد زنگ (ظروف نوشیدنی)، آلومینیوم، شیشه و پارچه مانند کیسه های خرید است (Confente, Scarpi, and Russo ۲۰۲۰).

منابع:

- Auta, H. S., C. U. Emenike, and S. H. Fauziah. ۲۰۱۷. "Distribution and Importance of Microplastics in the Marine EnvironmentA Review of the Sources, Fate, Effects, and Potential Solutions." *Environment International* ۱۰۲:۱۶۵-۷۶
- Azeem, Imran, Muhammad Adeel, Muhammad Arslan Ahmad, Noman Shakoor, Gama Dingba Jiangcuo, Kamran Azeem, Muhammad Ishfaq, Awais Shakoor, Muhammad Ayaz, Ming Xu, and Yukui Rui. ۲۰۲۱. "Uptake and Accumulation of Nano/Microplastics in Plants: A Critical Review." *Nanomaterials* ۱۱(۱۱)
- Barboza, Luís Gabriel A., Clara Lopes, Patrícia Oliveira, Filipa Bessa, Vanessa Otero, Bruno Henriques, Joana Raimundo, Miguel Caetano, Carlos Vale, and Lúcia Guilhermino. ۲۰۲۰. "Microplastics in Wild Fish from North East Atlantic Ocean and Its Potential for Causing Neurotoxic Effects, Lipid Oxidative Damage, and Human Health Risks Associated with Ingestion Exposure." *Science of the Total Environment* ۷۱۷. doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.scitotenv.۲۰۱۹.۱۳۴۶۲۵
- Bhuyan, Md Simul. ۲۰۲۲. "Effects of Microplastics on Fish and in Human Health." *Frontiers in Environmental Science* ۱۰
- Bosker, Thijs, Lotte J. Bouwman, Nadja R. Brun, Paul Behrens, and Martina G. Vijver. ۲۰۱۹. "Microplastics Accumulate on Pores in Seed Capsule and Delay Germination and Root Growth of the Terrestrial Vascular Plant *Lepidium Sativum*." *Chemosphere* ۲۲۶:۷۷۴-۸۱. doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.chemosphere.۲۰۱۹.۰۳.۱۶۳
- Cai, Huiwen, Elvis Genbo Xu, Fangni Du, Ruilong Li, Jingfu Liu, and Huahong Shi. ۲۰۲۱. "Analysis of Environmental Nanoplastics: Progress and Challenges." *Chemical Engineering Journal* ۴۱۰. doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.cej.۲۰۲۰.۱۲۸۲۰۸
- Cai, Yamei, Chen Li, and Yaqian Zhao. 2022. "A Review of the Migration and Transformation of Microplastics

- .(in Inland Water Systems.” International Journal of Environmental Research and Public Health 19(1
- Campanale, Claudia, Carmine Massarelli, Ilaria Savino, Vito Locaputo, and Vito Felice Uricchio. 2020a. “A Detailed Review Study on Potential Effects of Microplastics and Additives of Concern on Human Health.” (International Journal of Environmental Research and Public Health 17(4
- Campanale, Claudia, Carmine Massarelli, Ilaria Savino, Vito Locaputo, and Vito Felice Uricchio. 2020b. “A Detailed Review Study on Potential Effects of Microplastics and Additives of Concern on Human Health.” (International Journal of Environmental Research and Public Health 17(4
- Carrasco Silva, Gilda, Felipe M. Galleguillos Madrid, Diógenes Hernández, Gonzalo Pincheira, Ana Karina Peralta, Miguel Urrestarazu Gavilán, Victor Vergara-Carmona, and Fernando Fuentes-Peñailillo. 2021. (“Microplastics and Their Effect in Horticultural Crops: Food Safety and Plant Stress.” Agronomy 11(8
- Confente, Ilenia, Daniele Scarpi, and Ivan Russo. 2020. “Marketing a New Generation of Bio-Plastics Products for a Circular Economy: The Role of Green Self-Identity, Self-Congruity, and Perceived Value.” Journal of Business Research 112:431–39. doi: 10.1016/j.jbusres.2019.10.030
- Dauvergne, Peter. 2018. “Why Is the Global Governance of Plastic Failing the Oceans?” Global Environmental Change 51:22–31. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2018.05.002
- Eneh, Anselm E. O. n.d. APPLICATION OF RECYCLED PLASTICS AND ITS COMPOSITES IN THE BUILT ENVIRONMENT
- Fournier, Elora, Lucie Etienne-Mesmin, Charlotte Grootaert, Lotte Jelsbak, Kristian Syberg, Stéphanie Blanquet-Diot, and Muriel Mercier-Bonin. 2021. “Microplastics in the Human Digestive Environment: A Focus on the Potential and Challenges Facing in Vitro Gut Model Development.” Journal of Hazardous Materials 415. doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.125632
- Goutam Mukherjee, Anirban, Uddesh Ramesh Wanjari, Rituraj Chakraborty, Kaviyarasi Renu, Balachandar Vellingiri, Alex George, Sundara Rajan Sundara, and Abilash Valsala Gopalakrishnan. 2021. “A Review on Modern and Smart Technologies for Efficient Waste Disposal and Management.” Journal of Environmental Management 297. doi: 10.1016/j.jenvman.2021.113347
- Ter Halle, Alexandra, Laurent Jeanneau, Marion Martignac, Emilie Jardé, Boris Pedrono, Laurent Brach, and Julien Gigault. 2017. “Nanoplastic in the North Atlantic Subtropical Gyre.” Environmental Science and Technology 51(23):13689–97. doi: 10.1021/acs.est.7b03667
- Hwang, Jangsun, Daheui Choi, Seora Han, Jonghoon Choi, and Jinkee Hong. 2019. “An Assessment of the Toxicity of Polypropylene Microplastics in Human Derived Cells.” Science of the Total Environment 684:657–69. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.05.071
- Iri, Ahmet H., Malek H. A. Shahrah, Ali M. Ali, Sayed A. Qadri, Talha Erdem, Ibrahim T. Ozdur, and Kutay Icoz. 2021. “Optical Detection of Microplastics in Water.” Environmental Science and Pollution Research 28(45):63860–66. doi: 10.1007/s11356-021-12358-2
- Li, Lianzhen, Yongming Luo, Willie J. G. M. Peijnenburg, Ruijie Li, Jie Yang, and Qian Zhou. 2020. “Confocal Measurement of Microplastics Uptake by Plants.” MethodsX 7. doi: 10.1016/j.mex.2019.11.023
- Li, Miao, Haiying Yu, Yifei Wang, Jiagen Li, Guangcai Ma, and Xiaoxuan Wei. 2020. “QSPR Models for

- Predicting the Adsorption Capacity for Microplastics of Polyethylene, Polypropylene and Polystyrene." Scientific Reports 10(1). doi: 10.1038/s41598-020-71390-3
- Nugrahapraja, Husna, Pramudya Wisnu Wicaksono Sugiyono, Balqis Qonita Putri, Ni'matuzahroh, Fatimah, Li Huang, Nourhane Hafza, Friedrich Götz, Heri Santoso, Anjar Tri Wibowo, and Arif Luqman. 2022. "Effects of Microplastic on Human Gut Microbiome: Detection of Plastic-Degrading Genes in Human Gut Exposed to .Microplastics—Preliminary Study." Environments - MDPI 9(11). doi: 10.3390/environments9110140
- Ogunola, Oluniyi Solomon, Olawale Ahmed Onada, and Augustine Eyiunmi Falaye. 2018. "Mitigation Measures to Avert the Impacts of Plastics and Microplastics in the Marine Environment (a Review)." .Environmental Science and Pollution Research 25(10):9293–9310
- Oluniyi Solomon, Ogunola, and Thava Palanisami. 2016. "Microplastics in the Marine Environment: Current Status, Assessment Methodologies, Impacts and Solutions." Journal of Pollution Effects & Control 04(02). doi: .10.4172/2375-4397.1000161
- Prata, Joana Correia, João P. da Costa, Isabel Lopes, Armando C. Duarte, and Teresa Rocha-Santos. 2020. "Environmental Exposure to Microplastics: An Overview on Possible Human Health Effects." Science of the .Total Environment 702
- Rahman, Arifur, Atanu Sarkar, Om Prakash Yadav, Gopal Achari, and Jaroslav Slobodnik. 2021. "Potential Human Health Risks Due to Environmental Exposure to Nano- and Microplastics and Knowledge Gaps: A .Scoping Review." Science of the Total Environment 757
- Rist, Sinja, Bethanie Carney Almroth, Nanna B. Hartmann, and Therese M. Karlsson. 2018. "A Critical Perspective on Early Communications Concerning Human Health Aspects of Microplastics." Science of the .Total Environment 626:720–26
- Smith, Madeleine, David C. Love, Chelsea M. Rochman, and Roni A. Neff. 2018. "Microplastics in Seafood and .the Implications for Human Health." Current Environmental Health Reports 5(3):375–86
- de Souza Machado, Anderson Abel, Werner Kloas, Christiane Zarfl, Stefan Hempel, and Matthias C. Rillig. .2018. "Microplastics as an Emerging Threat to Terrestrial Ecosystems." Global Change Biology 24(4):1405–16
- Weber, Annkatrin, Nina Jeckel, Carolin Weil, Simon Umbach, Nicole Brennholt, Georg Reifferscheid, and Martin Wagner. 2021. "Ingestion and Toxicity of Polystyrene Microplastics in Freshwater Bivalves." .Environmental Toxicology and Chemistry 40(8):2247–60. doi: 10.1002/etc.5076
- Yao, Xuewen, Xiao San Luo, Jiayi Fan, Tingting Zhang, Hanhan Li, and Yaqian Wei. 2022. "Ecological and Human Health Risks of Atmospheric Microplastics (MPs): A Review." Environmental Science: Atmospheres .2(5):921–42