

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

میکروپلاستیک در منابع انسانی

E. V. Ramasamy and Ajay Kumar Harit

مؤلفین: ای وی . راماسامی و آجای کومار هاریت

مترجمان :

دکتر عبدالله درگاهی، مهندس فرنام مختارکوره، دکتر مهدی وثوقی

دکتر محمد حیدری، دکتر سمیه قاسم زاده، دکتر پروین سپهر



انتشارات دانشگاهی فرهنگ

نام کتاب : میکروپلاستیک در منابع انسانی

مؤلفین : ای وی . راماسامی و آجای کومار هاریت

مترجمان : عبدالله درگاهی / فرنام مختار کوره / مهدی وثوقی / محمد حیدری / سمیه قاسم زاده / دکتر پروین سپهر

تاریخ و نوبت چاپ : اول ۱۴۰۴

شمارگان : ۱۰۰۰ نسخه

بها : ۲۵۰۰۰۰۰ ریال

شابک : ۹۷۸-۶۲۲-۴۹۸۰-۴۲-۷

حق چاپ برای نشر دانشگاهی فرهنگ محفوظ می باشد

نشانی : تهران، خیابان انقلاب، روبروی دانشگاه تهران، پاساژ فروزنده، طبقه اول، واحد ۴۱۹

تلفن : ۶۶۴۱۰۶۸۸ - ۶۶۹۶۸۶۱۴

سرشناسه	: راماسامی، ای.، Ramasami, E.
عنوان و نام پدیدآور	: میکروپلاستیک در منابع انسانی/مؤلفین ای. وی. راماسامی، آجای کومار هاریت؛ مترجمان عبدالله درگاهی ... [و دیگران].
مشخصات نشر	: تهران: نشر دانشگاهی فرهنگ، ۱۴۰۴.
مشخصات ظاهری	: ۱۵۲ ص.، جدول.
شابک	: ۲۵۰۰۰۰۰ ریال 978-622-4980-42-7
وضعیت فهرست نویسی	: قیفا
یادداشت	: عنوان اصلی: Microplastics in human consumption, 2023.
یادداشت	: واژه نامه.
یادداشت	: کتابنامه.
موضوع	: آلودگی مواد غذایی Food contamination ریزپلاستیکها -- سم شناسی Microplastics -- Toxicology ریزپلاستیکها -- جنبه های زیست محیطی Microplastics -- Environmental aspects
شناسه افزوده	: هاریت، آجای کومار
شناسه افزوده	: Harit, Ajay Kumar
شناسه افزوده	: درگاهی، عبدالله، ۱۳۶۳ -، مترجم
رده بندی کنگره	: TX5۳۱
رده بندی دیویی	: ۳۶۳/۱۹۲۶
شماره کتابشناسی ملی	: ۱۰۲۲۸۴۱۴
اطلاعات رکورد کتابشناسی	: قیفا

فهرست

۵	پیش گفتار
۶	دبیاجه
۹	نویسندگان
۱۱	فصل اول : پلاستیک‌ها و میکروپلاستیک‌ها در محیط زیست
۱۱	۱,۱ مقدمه
۱۱	۱,۲ پلاستیک‌ها
۱۲	۱,۲,۱ انواع اصلی پلاستیک‌ها
۱۳	۱,۳ میکروپلاستیک‌ها
۱۴	۱,۳,۱ دسته‌بندی میکروپلاستیک‌ها
۱۷	۱,۴ منابع میکروپلاستیک‌ها
۱۷	۱,۴,۱ میکروپلاستیک‌ها در محیط خشکی
۱۸	۱,۴,۲ میکروپلاستیک‌ها در محیط هوا
۱۸	۱,۴,۳ میکروپلاستیک‌ها در محیط‌های آبی
۱۹	۱,۵ تأثیرات کلی میکروپلاستیک‌ها در آب‌ها
۲۰	منابع مراجعه
۲۴	واژه‌نامه
۲۷	فصل دوم : میکروپلاستیک‌ها در مواد غذایی انسان
۲۷	۲,۱ مقدمه
۵۷	منابع مراجعه
۷۱	واژه‌نامه
۷۳	فصل سوم : میکروپلاستیک‌ها در آب آشامیدنی و نوشیدنی‌ها
۷۳	۳,۱ مقدمه
۸۵	منابع مراجعه
۸۸	واژه‌نامه
۹۰	فصل چهارم: روش‌های استخراج و شناسایی میکروپلاستیک‌ها
۹۰	۴,۱ مقدمه
۹۰	۴,۲ استخراج میکروپلاستیک‌ها
۹۱	۴,۲,۱ الک کردن اولیه نمونه
۹۳	۴,۲,۲ هضم نمونه
۹۷	۴,۲,۳ جداسازی چگالی
۹۸	۴,۲,۴ فیلتراسیون
۹۸	۴,۳ تکنیک‌های میکروسکوپی مورد استفاده در ارزیابی مورفوتایپ، رنگ، اندازه و فراوانی میکروپلاستیک‌ها
۹۹	۴,۳,۱ میکروسکوپ استریو، نوری و تشریحی

۴,۳,۲	میکروسکوپ فلورسانس	۱۰۱
۴,۳,۳	میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس (EDX)	۱۰۱
۴,۴	تکنیک‌های شناسایی پروفایل پلیمری	۱۰۱
۴,۴,۱	طیف‌سنجی FTIR/میکرو FTIR	۱۰۱
۴,۴,۲	طیف‌سنجی رامان/میکرو-رامان	۱۰۲
۴,۴,۳	سایر تکنیک‌ها	۱۰۲
۴,۴,۴	تحلیل طیفی برای شناسایی پلیمر	۱۰۳
۴,۵	نتیجه‌گیری	۱۰۳
	منابع مراجعه	۱۰۵
	واژه‌نامه	۱۱۸
فصل پنجم: تأثیر میکروپلاستیک‌ها بر سلامت انسان ۱۲۰		
۵,۱	مقدمه	۱۲۰
۵,۲	ورود میکروپلاستیک‌ها به بدن انسان	۱۲۱
۵,۳	تأثیرات فیزیولوژیکی و عملکردی بر سلامت انسان	۱۲۲
۵,۳,۱	آسیب ریوی	۱۲۴
۵,۳,۲	آسیب پوستی و تأثیرات بر تولیدمثل	۱۲۴
۵,۳,۳	تأثیر مواد شیمیایی سمی و افزودنی‌ها	۱۲۵
۵,۴	نتیجه‌گیری	۱۲۵
	منابع مراجعه	۱۲۶
	واژه‌نامه	۱۳۲
فصل ششم: روندهای نوظهور در مدیریت آلودگی میکروپلاستیک‌ها، قوانین، سیاست‌ها و استراتژی‌های کاهش ۱۳۴		
۶,۱	مقدمه	۱۳۴
۶,۲	سیاست‌ها و استراتژی‌های کاهش: چشم‌انداز جهانی	۱۳۴
۶,۲,۱	قوانین و سیاست‌ها: چشم‌انداز جهانی	۱۳۵
۶,۲,۲	استراتژی کاهش	۱۴۴
۶,۳	نتیجه‌گیری	۱۴۵
	منابع مراجعه	۱۴۷
	واژه‌نامه	۱۵۰

پیش گفتار

در جهانی که به سرعت در حال تحول است، تأثیرات فعالیت‌های بشری بر محیط زیست بیش از پیش آشکار شده است. یکی از بارزترین نمودهای این تأثیر، گسترش روزافزون استفاده از پلاستیک‌ها و پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از آن است. پلاستیک‌ها، که به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد خود نظیر سبکی، دوام و هزینه پایین به ستون فقرات زندگی مدرن تبدیل شده‌اند، اکنون به یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی عصر ما بدل گشته‌اند. در این میان، ظهور میکروپلاستیک‌ها – ذرات ریز پلاستیکی که به واسطه تجزیه زباله‌های بزرگ‌تر یا تولید هدفمند برای مصارف صنعتی پدید آمده‌اند – نگرانی‌های عمیقی را در میان دانشمندان، سیاست‌گذاران و عموم مردم برانگیخته است. این ذرات کوچک، که قادرند به آسانی در اکوسیستم‌ها نفوذ کرده و از طریق زنجیره‌های غذایی به انسان منتقل شوند، نه تنها تهدیدی برای تنوع زیستی به شمار می‌روند، بلکه پرسش‌هایی جدی درباره سلامت انسان و ایمنی مواد غذایی مطرح می‌کنند.

کتاب حاضر، که ترجمه‌ای از اثری برجسته در این حوزه است، تلاشی برای روشن ساختن ابعاد مختلف این معضل نوظهور است. برخلاف بسیاری از مطالعات پیشین که عمدتاً بر آلودگی میکروپلاستیک‌ها در محیط‌های دریایی متمرکز بوده‌اند، این اثر با نگاهی جامع‌تر به بررسی حضور این ذرات در مواد غذایی و نوشیدنی‌های روزمره انسان می‌پردازد. از ماهی و صدف گرفته تا نمک، شکر و آب آشامیدنی، این کتاب شواهدی مستند ارائه می‌دهد که نشان‌دهنده گسترده‌ی نفوذ میکروپلاستیک‌ها در زندگی روزمره ماست. افزون بر این، روش‌های علمی پیشرفته برای نمونه‌برداری، استخراج و تحلیل این ذرات به زبانی روشن و دقیق تشریح شده است تا راهنمایی قابل اعتماد برای پژوهشگران و دانشجویان فراهم آورد.

اهمیت این کتاب نه تنها در موضوع بدیع و حیاتی آن، بلکه در رویکرد علمی و کاربردی آن نهفته است. در حالی که آگاهی جهانی درباره آلودگی پلاستیکی رو به افزایش است، اطلاعات مربوط به تأثیرات میکروپلاستیک‌ها بر مصرف انسانی هنوز در مراحل ابتدایی خود قرار دارد. این اثر با ارائه داده‌های نوین و تحلیل‌های عمیق، خلأ موجود در این زمینه را پر می‌کند و به خوانندگان امکان می‌دهد تا درک بهتری از این تهدید پنهان و راه‌های مواجهه با آن به دست آورند. از این رو، این کتاب نه تنها برای پژوهشگران و متخصصان محیط زیست، بلکه برای هر فردی که به آینده سیاره زمین و سلامت نسل‌های آتی اهمیت می‌دهد، منبعی ارزشمند است.

ترجمه این اثر به زبان فارسی فرصتی است تا این موضوع مهم و جهانی به مخاطبان فارسی زبان نیز معرفی شود. امیدوارم این کتاب بتواند گامی مؤثر در جهت افزایش آگاهی عمومی و ترغیب به اقدامات مسئولانه در قبال محیط زیست باشد. از تلاش نویسندگان اصلی که با دقت و تعهد این اثر را پدید آورده‌اند سپاسگزارم و آرزو دارم که این ترجمه بتواند به خوبی ارزش علمی و پیام زیست‌محیطی آن را منتقل کند. باشد که این کتاب نقطه شروعی برای گفت‌وگوهای بیشتر و اقدامات عملی در راستای جهانی پاک‌تر و سالم‌تر باشد.

دیباچه

مقاله‌ای با عنوان "طلوع پلاستیک‌ها" نوشته کریستینا رید^۱ که در مجله نیو ساینتیست^۲ (۲۰۱۵) منتشر شد، بر این موضوع تأکید می‌کند که "عشق ما به پلاستیک‌ها میراثی ماندگار از خود به جای می‌گذارد". برخی از نکات کلیدی این مقاله عبارتند از:

- ۵,۲۵ تریلیون قطعه پلاستیک در حال حاضر در دریاها شناور هستند.
- ۸۰٪ از زباله‌های دریایی از خشکی سرچشمه می‌گیرند.
- ذرات پلاستیکی مانند اسفنج عمل کرده و آلاینده‌های آلی و آفت‌کش‌ها را از آب دریا جذب می‌کنند و این ذرات می‌توانند ماهی‌ها را مسموم کنند.
- ذرات پلاستیکی در اقیانوس‌ها یک اکوسیستم کاملاً جدید به نام "پلاستیسفر"^۳ ایجاد کرده‌اند، جایی که میکروب‌ها از جمله پاتوژن‌هایی مانند ویبریو می‌توانند روی این ذرات کلونی تشکیل دهند.
- میکروپلاستیک‌های دریایی می‌توانند تهدیدی برای ایمنی غذایی باشند.

این مقاله من را به تحقیق در مورد میکروپلاستیک‌ها الهام بخشید. به همراه تیم تحقیقاتی‌ام، کار اولیه خود را بر روی ارزیابی آلودگی میکروپلاستیک‌ها در رسوبات دریاچه ویمباناد^۴، یکی از سه سایت رامسر در کرالا، هند، آغاز کردیم. یافته‌های ما از این تحقیق اولین گزارش از هند در مورد وجود میکروپلاستیک‌ها در رسوبات یک دریاچه بود. پس از آن، تیم ما وجود میکروپلاستیک‌ها را در آب و رسوبات رودخانه‌ها، مصب‌ها، آب‌های قطبی مانند فورده‌های قطب شمال و اقیانوس جنوبی (آب‌های قطب جنوب)، و همچنین گرد و غبار جاده‌ها و گرد و غبار داخل ساختمان‌ها مطالعه کرد. اخیراً متوجه اهمیت میکروپلاستیک‌ها شدیم زمانی که وارد زنجیره غذایی/شبکه غذایی می‌شوند و خطر انتقال سطح غذایی منجر به آلودگی مواد غذایی انسان با میکروپلاستیک‌ها می‌شود؛ سپس کار خود را بر روی آلودگی میکروپلاستیک‌ها در مواد مصرفی انسان آغاز کردیم، که نقطه شروع این کتاب بود. ادبیات گسترده موجود در این زمینه پایه این کتاب را تشکیل داد، علاوه بر یافته‌های خودمان در مورد میکروپلاستیک‌ها در مواد غذایی دریایی مانند صدف‌ها، نمک دریا و آب آشامیدنی. از نویسندگان تمام مقالات منتشر شده در مورد پلاستیک‌ها و میکروپلاستیک‌ها که در زمان نوشتن این کتاب در دسترس بودند، تشکر می‌کنیم.

هنگامی که من به عنوان شرکت‌کننده در سفر علمی هند به اقیانوس جنوبی (ISESO ۲۰۲۰) در کشتی تحقیقاتی SA آگولاس^۵ (کشتی تحقیقاتی آفریقای جنوبی)^۶ حضور داشتم و روی پروژه تحقیقاتی قطبی خود در مورد میکروپلاستیک‌ها کار می‌کردم، همکار پسادکتری من دکتر آجای کومار هاریت^۷ (نویسنده همکار این کتاب) از طریق تماس واتساپ خبر پذیرش پیشنهاد کتاب ما توسط Taylor & Francis (CRC Press) را به من داد، زیرا دسترسی من به ایمیل در کشتی بسیار محدود بود؛ بنابراین ما کار روی فصل‌های این کتاب را در حالی که

^۱ Christina Reed

^۲ New Scientist

^۳ Plastisphere

^۴ Vembanad

^۵ Agulhas

^۶ South African research vessel

^۷ Dr. Ajay Kumar Harit

کشتی آگولاس در حال حرکت به سمت قطب جنوب از میان امواج خروشان ۴۰ و ۶۰ درجه جنوبی اقیانوس جنوبی بود، آغاز کردیم.

در این کتاب، در فصل اول به بررسی کلی پلاستیک‌ها و میکروپلاستیک‌ها پرداخته‌ایم. در این فصل، دسته‌بندی‌ها و طبقه‌بندی‌های مختلف میکروپلاستیک‌ها بر اساس اندازه، شکل و محتوای پلیمری توضیح داده شده است. دو فصل بعدی به آلودگی میکروپلاستیک‌ها در مواد غذایی انسان، آب آشامیدنی و نوشیدنی‌ها می‌پردازند. روش‌های مورد استفاده در استخراج، تجزیه و تحلیل و شناسایی پلیمر میکروپلاستیک‌ها و تأثیرات کلی میکروپلاستیک‌ها در فصل‌های بعدی ارائه شده‌اند. جنبه‌های مدیریتی، قوانین، سیاست‌ها و راهبردهای کاهش آلودگی در فصل آخر گنجانده شده‌اند. به طور خلاصه، این کتاب علاوه بر اینکه به عنوان اولین منبع مطالعه در مورد آلودگی میکروپلاستیک‌ها در مواد غذایی انسان برای دانشجویان مناسب است، برای مبتدیان در تحقیقات میکروپلاستیک‌ها نیز ایده‌آل است، زیرا شامل مجموعه‌ای خوب از روش‌های مورد استفاده در استخراج، تجزیه و تحلیل و شناسایی پلیمر میکروپلاستیک‌ها می‌باشد.

تیم تحقیقاتی من که بر روی میکروپلاستیک‌ها کار می‌کند، در نگارش این کتاب نیز به ما کمک کرده است؛ تیم شامل دکتر سروتی اس نایر^۸، دکتر آرون بابو^۹، دکتر ویپین جوزف مارکوس^{۱۰}، خانم سروتی اس^{۱۱}، آقای ناوین بابو^{۱۲}، خانم آنالگا پی ال^{۱۳}، خانم ساندیا کی^{۱۴} و خانم ویجی ان. وی^{۱۵} هست. ما از مرکز ملی تحقیقات قطبی و اقیانوسی (NCPOR)^{۱۶} در گوا برای حمایت‌هایشان در اکتشافات قطب شمال و اقیانوس جنوبی قدردانی می‌کنیم؛ همچنین از مرکز ملی تحقیقات ساحلی (NCCR)^{۱۷}، وزارت علوم زمین (MoES)^{۱۸} دولت هند و شورای ایالتی کرالا برای علم، فناوری و محیط زیست (KSCSTE)^{۱۹} در تریواننتورام برای حمایت مالی در انجام تحقیقات میکروپلاستیک‌ها سپاسگزاریم. دکتر آجای کومار هاریت^{۲۰} از حمایت مالی DST-SERB برای برنامه N-PDF تشکر می‌کند. ما از دانشگاه Mahatma Gandhi در گتایام برای تمامی حمایت‌ها، زیرساخت‌ها و امکانات ابزاری، از جمله مرکز DST-SAIF برای تحلیل طیف‌سنجی رامان میکروپلاستیک‌ها، قدردانی می‌کنیم. من از همسرم دکتر دکتر پی. پادما^{۲۱} و پسر، آر. کساواپوگازندی^{۲۲}، برای تشویق و حمایت‌شان در نگارش این کتاب تشکر می‌کنم.

^۸ Dr. Sruthi S. Nair

^۹ Dr. Arun Babu

^{۱۰} Dr. Vipin Joseph Marcose

^{۱۱} Ms. Sruthy S

^{۱۲} Mr. Naveen Babu

^{۱۳} Ms. Anagha P. L

^{۱۴} Ms. Sandya K

^{۱۵} Ms. Vijji N. V

^{۱۶} National Center for Polar and Ocean Research (NCPOR)

^{۱۷} National Center for Coastal Research (NCCR)

^{۱۸} Ministry of Earth Sciences (MoES)

^{۱۹} Kerala State Council for Science, Technology and Environment (KSCSTE)

^{۲۰} Dr. Ajay Kumar Harit

^{۲۱} Dr. P. Padma

^{۲۲} R. Kesavapugazhendhi

کار کردن با تیلور اند فرانسیس (CRC Press)^{۲۳} واقعاً لذت بخش بوده و ما مشتاقیم که تو آینده هم باهاشون همکاری کنیم.

—پروفسور ای. وی. راماسامی^{۲۴}

^{۲۳} Taylor & Francis

^{۲۴} Prof. E. V. Ramasamy



دکتر ای. وی. راماسامی استاد دانشکده علوم محیط‌زیست دانشگاه مهاتما گاندی در شهر کتایام، ایالت کرالا، هند است. او همچنین رئیس دانشکده علوم محیط‌زیست و جوی و مدیر سابق دانشکده علوم محیط‌زیست این دانشگاه بوده است. در طول ۳۰ سال فعالیت حرفه‌ای خود، او ۱۶ دانشجوی دکتری و ۳۰ دانشجوی کارشناسی ارشد (MPhil) را راهنمایی کرده و ۱۲۰ مقاله پژوهشی، از جمله سه کتاب، منتشر کرده است. دکتر راماسامی به عنوان عضو چندین کمیته از دولت کرالا فعالیت می‌کند، از جمله کمیته سیاست مدیریت پسماند ایالتی و کمیته فنی مأموریت سوچیتوا، بخش خودگردانی محلی (LSGD) و همچنین شورای ایالتی کرالا برای علم، فناوری و محیط‌زیست – (KSCSTE) کمیته مشورتی برنامه برای برنامه محیط‌زیست و اکولوژی، دولت کرالا. او در اکتشاف علمی قطب شمال هند (تابستان ۲۰۱۹) و اکتشاف علمی هند به اقیانوس جنوبی (آب‌های قطب جنوب) در سال ۲۰۲۰ شرکت کرده و در هر دو سفر، روی میکروپلاستیک‌ها در محیط‌های قطبی تحقیق کرده است. او جایزه ۲۰۲۰ DUO-India برای استادی را از برنامه ASEM-DUO (سئول، کره جنوبی) دریافت کرده است. زمینه‌های تحقیقاتی او شامل مدیریت پسماند جامد شهری، تصفیه فاضلاب، سلول‌های سوختی میکروبی (MFCs)، آلاینده‌های آب مثل فلزات سنگین، شیرابه‌های محل دفن زباله، و میکروپلاستیک‌ها می‌شود. تحقیقات او درباره کرم‌های خاکی و دینامیک کربن خاک در مجله Scientific Reports از گروه انتشارات Nature منتشر شده است. مقاله او درباره میکروپلاستیک‌ها در رسوبات دریاچه ومباناد، اولین گزارش از این نوع در هند بود. همچنین، انتشار اخیر او درباره میکروپلاستیک‌ها در خلیج کونگس‌فجورد قطب شمال، نتیجه تحقیقات قطبی اوست که در سال ۲۰۲۱ منتشر شد.



آجای کومار هاریت به عنوان پژوهشگر در دانشکده علوم محیط زیست دانشگاه مهاتما گاندی در شهر کتایام، ایالت کرالا، هند فعالیت کرده است. او مدرک دکتری خود را از دانشگاه پوندیچری (یه دانشگاه مرکزی) در پودوچری، هند گرفته است. کار پسادکتری او در سلول هندو-فرانسوی علوم آب، دپارتمان مهندسی عمران مؤسسه علوم هند (IISc) در بنگلور، طی سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۷ انجام شده است. او در سال ۲۰۱۷ بورسیه ملی پسادکتری (N-PDF) از DST-SERB دریافت کرد و به عنوان پژوهشگر N-PDF به دانشگاه مهاتما گاندی در کرالا پیوست و این دوره را با موفقیت به پایان رساند.

تحقیقات دکتری و پسادکتری او روی بررسی ویژگی‌های موریانه‌ها (که به عنوان مهندسان اکوسیستم شناخته می‌شند) و تأثیر آن‌ها بر اکوسیستم خاک و جنگل، با تمرکز بر دینامیک خاک و مواد مغذی متمرکز بوده است. در طول فعالیتش در دانشگاه مهاتما گاندی، او به پژوهش درباره میکروپلاستیک‌ها علاقه‌مند شد و روی پایش آلودگی میکروپلاستیک‌ها در آب‌ها و اقلام مصرفی انسان تمرکز کرد. او مقالاتی درباره آلودگی میکروپلاستیک‌ها در رسوبات سطحی خلیج کونگس‌فجورد، در منطقه سوالبارد قطب شمال، به عنوان همکار نویسنده در مجله Marine Pollution Bulletin (انتشارات Elsevier) منتشر کرده است. همچنین، یه فصل کتاب به قلم او در انتشارات Cuvillier Verlag در گوتینگن، آلمان منتشر شده است. او یافته‌های پژوهشی خود را در کنفرانس‌های ملی و بین‌المللی در زمینه میکروپلاستیک‌ها ارائه داده است. در مجموع، او ۱۸ مقاله (که ۱۶ تاش در مجلات نمایه‌شده در SCI منتشر شده) و دو فصل کتاب به عنوان نتیجه تحقیقات دکتری و پسادکتری خود منتشر کرده است.

فصل اول : پلاستیک‌ها و میکروپلاستیک‌ها در محیط زیست

۱،۱ مقدمه

پلاستیک، اختراعی شگفت‌انگیز از سوی بشر است که تقریباً تمامی جنبه‌های زندگی انسان را تحت تأثیر قرار داده است. امروزه، پلاستیک‌ها به همراهانی جدایی‌ناپذیر از زندگی روزمره‌ی ما بدل شده‌اند. روزمان را با مسواک و خمیردندانی پلاستیکی آغاز می‌کنیم؛ حتی برخی برندهای خمیردندان، حاوی ذرات ریز پلاستیکی یا همان میکروپلاستیک‌ها هستند. از این‌رو، همین فعالیت ساده‌ی نظافت شخصی، سهمی هرچند ناچیز در افزودن میکروپلاستیک‌ها به محیط زیست ایفا می‌کند. چالش‌های مرتبط با پسماندهای پلاستیکی و دشواری‌های مدیریت آن‌ها، به‌ویژه در مورد پلاستیک‌های یک‌بار مصرف (^{25}SUP)، دلیل اصلی ممنوعیت استفاده از این مواد در شماری از کشورها بوده است. نبود زیرساخت‌ها و سازوکارهای مناسب برای مدیریت پسماندهای جامد شهری (^{26}MSW) اغلب به انباشت بی‌رویه‌ی زباله‌های پلاستیکی می‌انجامد؛ چنین انباشت‌هایی در محل‌های دفن زباله، یکی از مسیرهای اصلی ورود پلاستیک‌ها به منابع آبی به شمار می‌روند. پسماندهای پلاستیکی، چه در مسیر حرکت خود و چه پس از رسیدن به آب‌ها، ممکن است به قطعات کوچک‌تری تجزیه شوند. این قطعات، در صورتی که اندازه‌ای کمتر از ۵ میلی‌متر داشته باشند، تحت عنوان میکروپلاستیک (^{27}MPs) شناخته می‌شوند — گونه‌ای نوظهور از آلاینده‌ها که در گروه آلاینده‌های نوپدید نگران‌کننده (^{28}CEC) طبقه‌بندی شده‌اند.

۱،۲ پلاستیک‌ها

پلاستیک‌ها پلیمرهای مصنوعی آلی هستند که به‌دلیل ویژگی‌های ذاتی‌شان مانند دوام بالا، قیمت پایین، سبکی و... به‌طور گسترده‌ای توسط بشر مورد استفاده قرار گرفته‌اند. با این حال، تاریخچه‌ی شکل‌گیری — یا بهتر بگوییم، انقلاب پلاستیک‌ها — پدیده‌ای نسبتاً نوین است. نخستین پلاستیک سنتز شده، باکلیت بود که در دهه‌ی ۱۹۲۰ تولید شد. در ادامه، طی جنگ جهانی دوم، تولید پلاستیک‌ها به‌شدت افزایش یافت تا نیازهای نظامی همچون ساخت چتر نجات، طناب، قطعات هواپیما، خودرو و کلاه‌خود را پاسخ دهد. پس از پایان جنگ، صنایع تولیدکننده‌ی کالاهای خانگی، موج جدیدی از تقاضا را برای پلاستیک‌ها رقم زدند. از آن زمان تاکنون، تقاضا برای پلاستیک در بخش کالاهای مصرفی به‌طور پیوسته رو به افزایش بوده است، چراکه محصولات پلاستیکی به‌واسطه‌ی همان ویژگی‌های ذاتی، محبوبیتی فزاینده یافته‌اند. به همین دلیل، تولید سالانه‌ی پلاستیک‌ها از حدود ۳۰ میلیون تُن در دهه‌ی ۱۹۷۰ به بیش از ۳۵۹ میلیون تُن در سال ۲۰۱۸ رسیده است (Plastics Europe, ۲۰۱۹). افزون بر رشد چشمگیر تولید، یکی دیگر از تغییرات قابل توجه در صنعت پلاستیک طی دهه‌های اخیر، گذار از تولید پلاستیک‌های بادوام به سمت پلاستیک‌های یک‌بار مصرف است. بخش عمده‌ای از این پلاستیک‌های یک‌بار مصرف (^{25}SUP) مانند $^{29}LDPE$ ، $^{30}HDPE$ ، ^{31}PS و ^{32}EPS در منطقه شمال‌شرقی آسیا شامل چین، هنگ‌کنگ، ژاپن، کره جنوبی و تایوان تولید می‌شوند و پس از آن، آمریکای شمالی، خاورمیانه و اروپا قرار دارند (UNEP, ۲۰۱۸). نگرانی اصلی در خصوص این تغییر جهانی، از یک‌سو به مصرف بالای هیدروکربن‌های فسیلی به‌عنوان

²⁵ Single-use plastics

²⁶ Municipal solid waste

²⁷ Microplastics

²⁸ Contaminants of emerging concern

²⁹ Low-density polyethylene

³⁰ High-density polyethylene

³¹ Polystyrene

³² Expanded polystyrene

منابعی غیرقابل تجدید بازمی‌گردد، و از سوی دیگر به مشکلات مدیریت ناصحیح پسماندهای پلاستیکی — به‌ویژه پسماندهای ناشی از پلاستیک‌های یک‌بار مصرف.

رشد تولید و مصرف پلاستیک، به‌طور مستقیم منجر به افزایش حجم پسماندهای پلاستیکی شده است. بر اساس گزارش‌ها، سالانه بین ۴,۸ تا ۱۲,۷ میلیون تُن از این پسماندها وارد اقیانوس‌ها می‌شود (Jambeck et al., ۲۰۱۵; Iñiguez et al., ۲۰۱۷)، به‌طوری‌که در حال حاضر، اقیانوس‌ها به بزرگ‌ترین محل دفن پلاستیک‌های دورریز بدل شده‌اند.

۱,۲,۱ انواع اصلی پلاستیک‌ها

بر پایه ویژگی‌های حرارتی، به‌ویژه توانایی ذوب و سرد شدن، پلاستیک‌ها به دو گروه اصلی تقسیم می‌شوند: ترموپلاستیک‌ها و ترموست‌ها.

۱,۲,۱,۱ ترموپلاستیک‌ها

ترموپلاستیک‌ها موادی هستند که در اثر گرما ذوب شده و در اثر سرما سخت می‌شوند. این فرآیند می‌تواند بارها تکرار شود؛ یعنی ترموپلاستیک‌ها را می‌توان به دفعات ذوب، شکل‌دهی و منجمد کرد. از جمله انواع رایج این گروه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: پلی‌اتیلن با چگالی بالا ($^{30}\text{HDPE}$)، پلی‌اتیلن ترفتالات (^{33}PET)، پلی‌وینیل کلراید (^{34}PVC)، پلی‌پروپیلن (^{35}PE)، پلی‌اتیلن با چگالی کم ($^{29}\text{LDPE}$)، پلی‌استایرن منبسط شده (^{32}EPS)، پلی‌استایرن (^{31}PS)، پلی‌کربنات (^{36}PC)، پلی‌پروپیلن (^{37}PP)، پلی‌لاکتیک اسید (^{38}PLA) و پلی‌هیدروکسی آلکونات‌ها (^{39}PHA).

۱,۲,۱,۲ ترموست‌ها

ترموست‌ها نوعی دیگر از پلاستیک‌ها هستند که هنگام گرم شدن، دچار تغییرات شیمیایی می‌شوند و یک ساختار سه‌بعدی پایدار ایجاد می‌کنند. همین ویژگی موجب می‌شود که این مواد پس از شکل‌گیری، دیگر قابلیت ذوب یا تغییر شکل مجدد نداشته باشند؛ از این رو به آن‌ها "پلاستیک‌های غیرقابل برگشت" می‌گویند. نمونه‌های رایج ترموست‌ها عبارتند از پلی‌اورتان (^{40}PUR)، رزین‌های اپوکسی، رزین‌های فنولیک، رزین‌های اوره‌فرمالدئید (^{41}UF)، سیلیکون، وینیل استر و رزین‌های آکریلیک.

۱,۲,۱,۳ آلودگی پلاستیکی

آلودگی پلاستیکی به یک معضل جهانی رو به رشد تبدیل شده است، چرا که پلاستیک‌ها همه‌جا حاضر، ماندگار و برای بسیاری از اکوسیستم‌ها زیان‌بار هستند. برخلاف پسماندهای آلی، زباله‌های پلاستیکی برای سال‌ها در محیط باقی می‌مانند و با تأثیر منفی بر سلامت موجودات زنده، محیط زیست را آلوده می‌سازند (Ramasamy et al., ۲۰۱۹). برآوردها نشان می‌دهند که حدود ۸۰ درصد از زباله‌های پلاستیکی موجود در اقیانوس‌ها، منشأ خشکی

^{۳۳} Polyethylene terephthalate

^{۳۴} Polyvinyl-chloride

^{۳۵} Polypropylene

^{۳۶} Polycarbonate

^{۳۷} Polypropylene

^{۳۸} Polylactic acid

^{۳۹} Polyhydroxy alkenoates

^{۴۰} Polyurethane

^{۴۱} Urea-formaldehyde

دارند و از طریق شبکه‌های آبی شامل جویبارها، رودخانه‌ها، تالاب‌ها، دریاچه‌ها و مصب‌ها به دریا منتقل می‌شوند (Sruthy & Ramasamy, ۲۰۱۷).

مطالعات متعددی حضور زباله‌های پلاستیکی را در محیط‌های مختلف از جمله دریاها (Barnes et al., ۲۰۰۹; Eriksen et al., ۲۰۱۴; Van Sebille et al., ۲۰۱۵; Cózar et al., ۲۰۱۴)، دریاچه‌ها (Eriksen et al., ۲۰۱۴; McCormick et al., ۲۰۱۴; Browne et al., ۲۰۱۱)، سواحل (Free et al., ۲۰۱۳; Yonkos et al., ۲۰۱۴; Kooi et al., ۲۰۱۶; Klein et al., ۲۰۱۵; Lechner et al., ۲۰۱۴)، گزارش کرده‌اند. بر اساس پژوهشی از Lebreton و همکاران (۲۰۱۷)، سالانه حدود ۱۰۱۵ تا ۲۰۴۱ میلیون تن زباله پلاستیکی از طریق رودخانه‌ها به اقیانوس‌ها وارد می‌شود؛ رقمی که انتظار می‌رود در دهه‌های آینده همچنان افزایش یابد (Jambeck et al., ۲۰۱۵).

مصرف فزاینده‌ی پلاستیک توسط جوامع انسانی، در کنار مدیریت نادرست پسماندهای پلاستیکی، از اصلی‌ترین عوامل شکل‌گیری این بحران جهانی به شمار می‌روند. تخمین‌ها نشان می‌دهد که سالانه حدود پنج تریلیون کیسه پلاستیکی در سراسر جهان استفاده می‌شود (UNEP, ۲۰۱۸) — معادل تقریباً ۱۰ میلیون کیسه در هر دقیقه. با توجه به سبک بودن، این کیسه‌ها به راحتی توسط باد جابه‌جا شده و سرانجام به خشکی‌ها یا دریاها راه می‌یابند. در این محیط‌ها، به واسطه‌ی تابش فرابنفش (UV)، حرکت امواج و عوامل زیستی، به قطعات کوچک‌تری تجزیه می‌شوند. زمانی که اندازه این ذرات به کمتر از ۵ میلی‌متر برسد، به میکروپلاستیک (Microplastic) تبدیل می‌شوند.

۱.۳ میکروپلاستیک‌ها

بر اساس تعریف ارائه‌شده توسط اداره ملی اقیانوسی و جوی ایالات متحده (NOAA^{۴۲})، میکروپلاستیک‌ها (MPs) به هر قطعه پلاستیکی گفته می‌شود که اندازه‌ای کمتر از پنج میلی‌متر داشته باشد (Arthur et al., ۲۰۰۹; Collignon et al., ۲۰۱۴; Crawford and Quinn, ۲۰۱۶). نخستین بار، تامپسون و همکاران (۲۰۰۴) واژه «پلاستیک‌های میکروسکوپی» را برای اشاره به زباله‌های پلاستیکی با اندازه‌ای در حدود ۲۰ میکرومتر به کار بردند. این دامنه بعدها گسترش یافت و واژه میکروپلاستیک (MPs^{۴۷}) برای ذراتی با اندازه کمتر از ۵ میلی‌متر رایج شد (Arthur et al., ۲۰۰۹; Betts, ۲۰۰۸; Fendall and Sewell, ۲۰۰۹; Hidalgo-Ruz et al., ۲۰۱۲). بر اندازه، ذرات پلاستیکی بسته به ابعادشان طبقه‌بندی می‌شوند (شکل ۱): ماکروپلاستیک‌ها (≥ 25 میلی‌متر)، مزوپلاستیک‌ها (۵ تا ۲۵ میلی‌متر)، میکروپلاستیک‌ها (۱ میکرومتر تا ۵ میلی‌متر) و نانوپلاستیک‌ها (< 1 میکرومتر) (Crawford and Quinn, ۲۰۱۶). علاوه بر ابعاد، میکروپلاستیک‌ها در اشکال گوناگونی در محیط یافت می‌شوند، از جمله قطعات، فیلم‌ها، گلوله‌ها، رشته‌ها، الیاف، فیلامنت‌ها و گرانول‌ها (Driedger et al., ۲۰۱۵).

^{۴۲} National Oceanic and Atmospheric Administration



شکل ۱ طبقه‌بندی زباله‌های پلاستیکی بر اساس اندازه

۱,۳,۱ دسته‌بندی میکروپلاستیک‌ها

میکروپلاستیک‌ها به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند: اولیه و ثانویه.

۱,۳,۱,۱ میکروپلاستیک‌های اولیه

میکروپلاستیک‌های اولیه به‌طور مستقیم و عمدی در اندازه‌های میکروسکوپی تولید می‌شوند و معمولاً به شکل گلوله یا مهره برای کاربردهای صنعتی و مصرفی مورد استفاده قرار می‌گیرند. گلوله‌های رزین، مواد خام اولیه‌ای هستند که در صنعت پلاستیک برای ساخت طیف وسیعی از محصولات به کار می‌روند (Peng et al., ۲۰۱۷). از جمله کاربردهای رایج این ذرات می‌توان به استفاده از میکروبیدها در محصولات آرایشی، بهداشتی و مراقبت شخصی اشاره کرد؛ این ذرات به‌عنوان مواد ساینده و لایه‌بردار در صابون‌ها، پاک‌کننده‌های صورت، خمیردندان‌ها، ژل‌های دوش و شامپوها کاربرد دارند (Arthur et al., ۲۰۰۹; Cole et al., ۲۰۱۱; Fendall and Sewell, ۲۰۱۷; Peng et al., ۲۰۱۷; Siegfried et al., ۲۰۰۹). با وجود مصرف گسترده، میکروپلاستیک‌های اولیه تنها بخش کوچکی از بار آلودگی جهانی ناشی از میکروپلاستیک‌ها را تشکیل می‌دهند. بسیاری از کشورها نیز در راستای کاهش آلودگی، استفاده از این ذرات را در محصولات مصرفی به‌شدت محدود کرده‌اند (Lassen et al., ۲۰۱۵). با این حال، اصلی‌ترین منبع نگرانی در مورد آلودگی میکروپلاستیکی، به دسته دوم این ذرات مربوط می‌شود: میکروپلاستیک‌های ثانویه.

۱,۳,۱,۲ میکروپلاستیک‌های ثانویه

میکروپلاستیک‌های ثانویه در نتیجه‌ی تجزیه فیزیکی و شیمیایی زباله‌های پلاستیکی بزرگ‌تر به‌وجود می‌آیند. این فرآیند ممکن است تحت تأثیر تابش فرابنفش خورشید (UV)، نیروهای مکانیکی مانند باد و امواج، یا فعالیت‌های بیولوژیکی رخ دهد (Siegfried et al., ۲۰۱۷; Gewert et al., ۲۰۱۵; Wagner et al., ۲۰۱۸). سرعت تجزیه پلاستیک‌ها به شدت تحت تأثیر شرایط محیطی است؛ عواملی نظیر دما، شدت نور فرابنفش، محل قرارگیری پلاستیک (روی سطح زمین، دفن‌شده یا شناور در آب)، همگی در میزان و سرعت تجزیه نقش دارند (UNEP, ۲۰۱۷). ویژگی چگالی پلیمر تعیین می‌کند که پلاستیک در محیط آبی شناور بماند یا ته‌نشین شود. پلاستیک‌هایی با چگالی کمتر از ۱,۰۲ (چگالی متوسط آب دریا) شناور باقی می‌مانند، در حالی که پلیمرهای سنگین‌تر در بستر

فصل اول : پلاستیک ها و میکروپلاستیک ها در محیط زیست | ۱۵

دریا ته نشین می شوند (جدول ۱). سواحل از جمله محیط هایی هستند که شرایط ایده آلی برای تجزیه پلاستیک ها فراهم می کنند، زیرا در معرض باد، تابش خورشید و سایش مکانیکی ناشی از امواج قرار دارند. اما زمانی که زباله های پلاستیکی در شن دفن شوند یا در آب غوطه ور باشند، میزان نور UV و دما به شدت کاهش می یابد و در نتیجه، فرآیند تجزیه بسیار کند می شود. در کف اقیانوس نیز به دلیل شرایط نوری و دمایی ضعیف تر، تجزیه پلاستیک ها با سرعت بسیار کمتری انجام می گیرد. افزون بر نوع پلیمر، افزودنی های شیمیایی موجود در ترکیب پلاستیک نیز نقش تعیین کننده ای در سرعت تجزیه دارند. برای مثال، حضور تثبیت کننده های UV در ترکیب پلاستیک می تواند تأثیر تابش فرابنفش را کاهش داده و روند تجزیه را کندتر سازد (Peng et al., ۲۰۱۷; UNEP, ۲۰۱۷).

جدول ۱ پلاستیک های رایج (پلیمرها) موجود در محیط دریایی، کاربردهای آن ها و چگالی ویژه

دسته بندی یا کلاس ها	کاربردهای رایج	چگالی ویژه
پلی اتیلن (PE)	کپس های پلاستیکی، حلقه های شستابو تجهیزا	۰/۹۴-۰/۹۱
پلی پروپیلن (PP)	ظناب، درب بطری، تجهیزا، بند	۰/۹۲-۰/۹۰
پلی استایرن منبسط شد (PS)	جعبه های طعمه، شناور ها، لوان ها	۱/۰۵-۱/۰۱
آب دریا		~ ۱/۰۲
پلی استایرن (PS)	ظروف، لوازم آشپزخانه	۱/۰۹-۱/۰۴
پلی وینیل کلراید (PVC)	فیلم، لوله، ظروف	۱/۳-۱/۱۶
پلی آمید یا نایلون	تجهیزا، ظناب	۱/۱۵-۱/۱۳
پلی اتیلن ترفتالات (PET)	بطری ها، بند، تجهیزا	۱/۳۹-۱/۳۴
رزین پلی استر + الیاف شیشه	منسوجا	> ۱/۳۵

شناور شدن (روی سطح ماندن)

غرق شدن (غرق رفتن به زیر سطح)

منابع: (۲۰۱۱) Andrady; (۲۰۱۷) UNEP

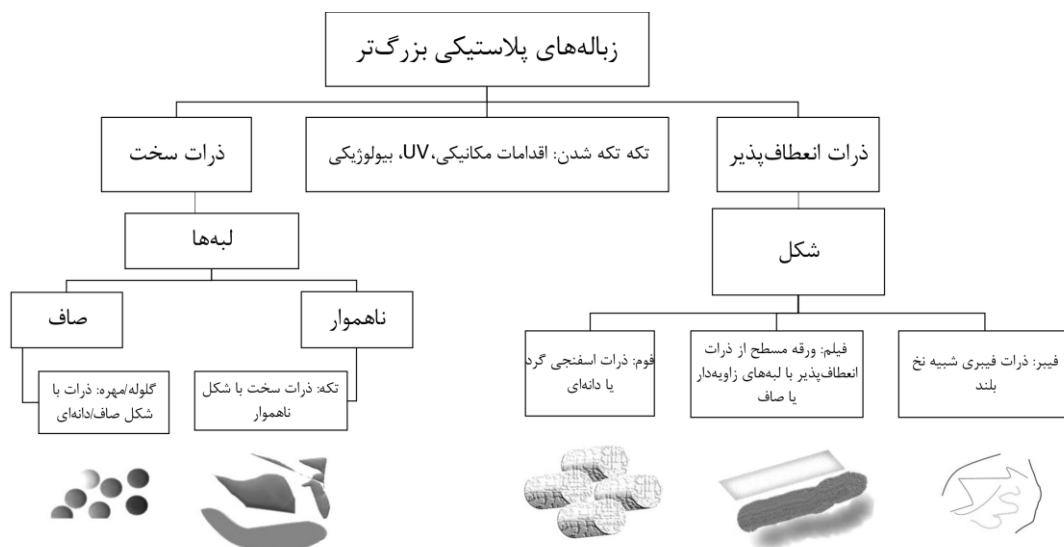
۱.۳.۱.۳ دسته بندی میکروپلاستیک ها بر اساس اندازه و شکل

بر اساس اندازه، ذرات پلاستیکی به پنج گروه اصلی تقسیم می شوند: قطعات پلاستیکی به عنوان ماکروپلاستیک ها طبقه بندی می شوند اگر اندازه آن ها ≤ ۲۵ میلی متر باشد؛ مزوپلاستیک ها اگر اندازه آن ها بین ۵ میلی متر و ۲۵ میلی متر باشد؛ میکروپلاستیک ها اگر اندازه آن ها بین ۱ تا ۵ میلی متر باشد؛ مینی میکروپلاستیک ها اگر اندازه آن ها بین > ۱ میلی متر و ۱ میکرومتر باشد؛ و نانوپلاستیک ها اگر اندازه آن ها > ۱ میکرومتر باشد (Crawford and Quinn, ۲۰۱۶).

علاوه بر اندازه، شکل ظاهری نیز یکی از شاخص های مهم در طبقه بندی میکروپلاستیک ها است. (شکل ۲) شکل هایی مانند کره ها (مهره ها، گلوله ها و گرانول ها) عمدتاً به عنوان میکروپلاستیک های اولیه شناخته می شوند، چرا که مستقیماً در این اشکال تولید می گردند. در مقابل، سایر اشکال مانند الیاف (فیلامنت ها و رشته ها)، فیلم ها، قطعات و فوم ها، معمولاً حاصل تجزیه پلاستیک های بزرگ تر و بنابراین متعلق به گروه میکروپلاستیک های ثانویه هستند (Karami et al., ۲۰۱۷; Free et al., ۲۰۱۴). کرافورد و کوئین (۲۰۱۶) نیز یک نظام طبقه بندی ترکیبی، بر مبنای اندازه و شکل ذرات پلاستیکی، ارائه کرده اند (جدول ۲).

جدول ۲ دسته‌بندی میکروپلاستیک‌ها بر اساس شکل و اندازه

نوع/شکل	اندازه	توضیحات
قطعه (FR)	میلی‌متر تا ۱ میلی‌متر < ۵	قطعه پلاستیکی با شکل نامنظم و اندازه ۱ تا ۵ میلی‌متر در طولانی‌ترین بعد آن
میکروقطعه (MFR)	میلی‌متر تا ۱ میکرومتر < ۱	قطعه پلاستیکی با شکل نامنظم و اندازه ۱ میکرومتر تا ۱ میلی‌متر در طولانی‌ترین بعد آن
گلوله (PT)	میلی‌متر تا ۱ میلی‌متر < ۵	قطعه پلاستیکی کروی شکل با اندازه ۱ تا ۵ میلی‌متر در قطر آن
میکروبیید (MBD)	میلی‌متر تا ۱ میکرومتر < ۱	قطعه پلاستیکی کروی شکل با اندازه ۱ میکرومتر تا ۱ میلی‌متر در قطر آن
الیاف (FB)	میلی‌متر تا ۱ میلی‌متر < ۵	قطعه پلاستیکی به شکل رشته یا فیلامنت با اندازه ۱ تا ۵ میلی‌متر در طولانی‌ترین بعد آن
میکروالیاف (MFB)	میلی‌متر تا ۱ میکرومتر < ۱	قطعه پلاستیکی به شکل رشته یا فیلامنت با اندازه ۱ میکرومتر تا ۱ میلی‌متر در طولانی‌ترین بعد آن
فیلم (FI)	میلی‌متر تا ۱ میلی‌متر < ۵	قطعه پلاستیکی به شکل غشا یا ورق نازک با اندازه ۱ تا ۵ میلی‌متر در طولانی‌ترین بعد آن
میکروفیلم (MFI)	میلی‌متر تا ۱ میکرومتر < ۱	قطعه پلاستیکی به شکل غشا یا ورق نازک با اندازه ۱ میکرومتر تا ۱ میلی‌متر در طولانی‌ترین بعد آن
فوم (FM)	میلی‌متر تا ۱ میلی‌متر < ۵	قطعه پلاستیکی به شکل فوم یا اسفنج با اندازه ۱ تا ۵ میلی‌متر در طولانی‌ترین بعد آن
میکروفوم (MFM)	میلی‌متر تا ۱ میکرومتر < ۱	قطعه پلاستیکی به شکل فوم یا اسفنج با اندازه ۱ میکرومتر تا ۱ میلی‌متر در طولانی‌ترین بعد آن



شکل ۲ نمایش شماتیک از اشکال مورفولوژیکی میکروپلاستیک‌ها. منبع: اقتباس از GESAMP (۲۰۱۹).

۱,۴ منابع میکروپلاستیک‌ها

میکروپلاستیک‌های ثانویه عمدتاً از طریق رهاسازی زباله‌های پلاستیکی پس از مصرف یا نشت تصادفی آن‌ها به محیط، وارد چرخه طبیعت می‌شوند. منابع اصلی این نوع آلودگی، مدیریت ناکارآمد پسماندهای پلاستیکی در سطح خشکی است. برآوردها نشان می‌دهد که حدود ۸۰٪ از میکروپلاستیک‌های موجود در اقیانوس‌ها منشأ خشکی دارند و از طریق مسیرهایی نظیر رودخانه‌ها، رواناب سطحی، شبکه‌های فاضلاب، پساب‌های صنعتی و خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، به محیط‌های آبی وارد می‌شوند.

۱,۴,۱ میکروپلاستیک‌ها در محیط خشکی

فعالیت‌های انسانی منبع اصلی انتشار پلاستیک و در نتیجه میکروپلاستیک‌ها هستند. حدود نیمی از جمعیت جهان در شعاع ۱۰۰ کیلومتری سواحل زندگی می‌کنند (UNEP, ۲۰۱۷)؛ از این‌رو، انتظار می‌رود حجم قابل توجهی از پسماندهای پلاستیکی از خشکی به دریاها و اقیانوس‌ها وارد شود، مگر آن‌که اصلاحات اساسی در سامانه‌های مدیریت پسماند زمینی صورت گیرد. مطالعه‌ای توسط Geyer و همکاران (۲۰۱۷) نشان می‌دهد که تا کنون حدود ۷۹٪ از پسماندهای پلاستیکی تولیدشده در محل‌های دفن زباله، دپوهای موقت یا در دل طبیعت باقی مانده‌اند؛ تنها ۱۲٪ سوزانده شده و ۹٪ بازیافت شده‌اند. این آمار، تصویری گویا از پتانسیل بالای تبدیل این زباله‌ها به میکروپلاستیک در محیط‌های زمینی ارائه می‌دهد.

آلودگی میکروپلاستیک‌ها می‌تواند از منابع نقطه‌ای یا غیرنقطه‌ای سرچشمه بگیرد.

منابع نقطه‌ای شامل خروجی‌های مشخصی هستند که میکروپلاستیک‌ها را به محیط وارد می‌کنند. مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از: فاضلاب‌های خانگی، پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب (WWTPs)^{۴۳}، و پساب ماشین‌های لباس‌شویی. میکروپلاستیک‌های موجود در این فاضلاب‌ها یا به تصفیه‌خانه‌ها منتقل می‌شوند، یا همان‌گونه که در بسیاری از کشورهای کمتر توسعه‌یافته (LDC)^{۴۴} رایج است، بدون هیچ‌گونه تصفیه وارد آب‌های سطحی می‌گردند. برای مثال، پساب حاصل از شست‌وشوی لباس حاوی مقادیر زیادی الیاف مصنوعی مانند پلی‌استر و نایلون است. طبق گزارش Browne و همکاران (۲۰۱۱)، هر لباس می‌تواند تا ۱۹۰۰ فیبر میکروپلاستیکی به پساب یک چرخه شست‌وشو وارد کند (Browne et al., ۲۰۱۱). در مورد عملکرد تصفیه‌خانه‌ها، نتایج تحقیقات متناقض است. برخی منابع گزارش کرده‌اند که تصفیه‌خانه‌های ثانویه و ثالثیه به ترتیب قادر به حذف ۹۸٪ و ۹۵٪ از میکروپلاستیک‌ها هستند (Conley et al., ۲۰۱۹). در مقابل، سایر مطالعات از باقی ماندن مقادیر قابل توجهی ذرات در پساب نهایی خبر داده‌اند؛ برای نمونه، گزارش شده که در برخی تصفیه‌خانه‌ها، خروجی ساعتی تا ۱۷۰۰ ذره (Magnusson & Norén, ۲۰۱۴) و روزانه تا ۶۵ میلیون ذره (Murphy et al., ۲۰۱۶, ۲۰۱۷) می‌رسد. با توجه به حجم عظیم خروجی‌های جهانی تصفیه‌خانه‌ها، حتی با راندمان بالا نیز مقدار قابل توجهی از میکروپلاستیک‌ها وارد محیط زیست می‌شود (Peng et al., ۲۰۱۷; He et al., ۲۰۱۹).

منابع غیرنقطه‌ای یا پراکنده، شامل مسیرهایی هستند که فاقد خروجی مشخص و متمرکز برای ورود میکروپلاستیک‌ها هستند. رواناب سطحی، بارش باران و باد، سه عامل اصلی حمل و انتقال پراکنده این ذرات به منابع آبی محسوب می‌شوند. محل‌های دفن زباله شهری، به‌ویژه در کشورهای کمتر توسعه‌یافته که اغلب فاقد مدیریت اصولی هستند، منبع بالقوه آلودگی میکروپلاستیکی محسوب می‌شوند. آب باران یا رواناب سطحی می‌تواند پلاستیک‌ها را از این مکان‌ها شسته و وارد رودخانه‌ها، دریاچه‌ها یا دریاها کند.

۱,۴,۲ میکروپلاستیک‌ها در محیط هوا

باد نقش مهمی در پراکندگی زباله‌های پلاستیکی دارد و عمدتاً این انتقال از طریق توده‌های زباله، محل‌های دفن و دپوهای غیراستاندارد صورت می‌گیرد (Barnes et al., ۲۰۰۹). شواهد علمی، وجود میکروپلاستیک‌ها به‌ویژه به شکل الیاف را در رسوبات جوی و هوای داخل و خارج از ساختمان‌ها تأیید کرده‌اند (Dris et al., ۲۰۱۶, ۲۰۱۷). با این حال، هنوز تعداد مطالعاتی که به بررسی میکروپلاستیک‌ها در محیط هوا پرداخته‌اند، محدود است و این حوزه نیازمند پژوهش‌های گسترده‌تری است.

۱,۴,۳ میکروپلاستیک‌ها در محیط‌های آبی

در میان مسیرهای گوناگون انتقال میکروپلاستیک‌ها، کانال‌ها، رودخانه‌ها و جویبارها نقش محوری ایفا می‌کنند. این مسیرهای آبی نه تنها خشکی را به دریا پیوند می‌دهند، بلکه به عنوان راهکارهای اصلی انتقال آلاینده‌های میکروپلاستیکی از منابع زمینی به محیط‌های دریایی شناخته می‌شوند. یکی از نگرانی‌های اصلی در این حوزه، آلودگی شبکه غذایی در اکوسیستم‌های آبی است. به دلیل اندازه ریز میکروپلاستیک‌ها، بسیاری از موجودات آبی این ذرات را با غذا اشتباه گرفته و مصرف می‌کنند. این پدیده منجر به ورود مستقیم میکروپلاستیک‌ها به

^{۴۳} Wastewater treatment plants

^{۴۴} Less developed countries

زنجیره‌های غذایی و انتقال آن‌ها به سطوح بالاتر تغذیه‌ای می‌شود. افزون بر تأثیر بر موجودات زنده، حتی مواد غیرزنده‌ای مانند نمک دریا نیز به حضور این آلاینده‌ها آلوده شده‌اند.

۱.۵ تأثیرات کلی میکروپلاستیک‌ها در آب‌ها

پایداری و ماندگاری میکروپلاستیک‌ها در محیط‌های آبی - که ممکن است صدها تا هزاران سال ادامه یابد - باعث شده است تا این موضوع به‌طور گسترده در ادبیات علمی مورد بررسی قرار گیرد. سرنوشت میکروپلاستیک‌ها در آب‌های آزاد عمدتاً تحت تأثیر چهار فرآیند کلیدی قرار دارد: رسوب‌گذاری در بستر دریا، انباشت در مناطق ساحلی، نانوتجزیه (تجزیه تا مقیاس نانومتری) و بلع توسط موجودات زنده (Law and Thompson, ۲۰۱۴; Law et al., ۲۰۱۴; Cózar et al., ۲۰۱۴; Eriksen et al., ۲۰۱۴). رسوب میکروپلاستیک‌ها در سواحل می‌تواند ساختار فیزیکی رسوبات را تغییر داده و تأثیرات منفی بر زیستگاه‌های تخم‌ریزی سخت‌پوستان و لاک‌پشت‌های دریایی بر جای گذارد (Carson et al., ۲۰۱۱). همچنین ذرات شناور در سطح دریا ممکن است مانع نفوذ نور شده و شرایط زندگی ارگانسیم‌های فتوسنتزکننده یا سایر موجودات زیرسطحی را مختل کنند. مهم‌ترین نگرانی اما، بلع میکروپلاستیک‌ها توسط جانوران دریایی است. تا کنون، حدود ۱۸۰ گونه از جمله ماهی‌ها، لاک‌پشت‌ها، پرندگان و پستانداران دریایی گزارش شده‌اند که این ذرات را مصرف کرده‌اند. شواهدی از حضور میکروپلاستیک‌ها در اندام‌هایی چون آبشش، معده، هیپاتوپانکراس و بافت‌های گوارشی این جانداران وجود دارد (Von Moos et al., ۲۰۱۳; Farrell and Nelson, ۲۰۱۲). همچنین مطالعاتی انتقال میکروپلاستیک‌ها از روده به سیستم گردش خون و سپس به بافت‌های مختلف بدن در گونه‌هایی مانند صدف خوراکی *Mytilus edulis* را تأیید کرده‌اند (Browne et al., ۲۰۰۸; Von Moos et al., ۲۰۱۲). این انتقال در سطوح مختلف زنجیره غذایی نیز رخ می‌دهد و نگرانی‌های زیادی در مورد ورود غیرمستقیم این آلاینده‌ها به غذای انسان ایجاد کرده است (Farrell and Nelson, ۲۰۱۳; Setälä et al., ۲۰۱۴).

همان‌گونه که در بخش‌های پیشین اشاره شد، چه میکروپلاستیک‌های اولیه و چه ثانویه، در نهایت راه خود را به سوی محیط‌های آبی می‌یابند. تأثیرات اصلی میکروپلاستیک‌ها در محیط‌های آبی به طور خلاصه در این فصل مورد بررسی قرار گرفته است. علاوه بر تأثیرات فیزیکی و اکولوژیکی میکروپلاستیک‌ها بر محیط‌های آبی، تأثیر آن‌ها بر زنجیره غذایی/شبکه غذایی از اهمیت بیشتری برخوردار است. فصل‌های بعدی این کتاب بر آلودگی مواد غذایی انسان‌ها با میکروپلاستیک‌ها، چه از طریق مسیرهای زنجیره غذایی/شبکه غذایی و چه از طریق نقص‌های صنایع غذایی در تولید، پردازش، بسته‌بندی و غیره، تمرکز می‌کنند.

منابع مراجعه

- Andrady, A. L. (۲۰۱۱). Microplastics in the marine environment. *Marine pollution bulletin*, ۶۲(۸), ۱۵۹۶-۱۶۰۵.
- Arthur, C., Baker, J. E., & Bamford, H. A. (Eds.) (۲۰۰۹). *Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects, and Fate of Microplastic Marine Debris*, September ۹-۱۱, ۲۰۰۸, University of Washington Tacoma, Tacoma, WA, USA, NOAA Technical Memorandum NOS-OR & R-۳۰.
- Barnes, D. K., Galgani, F., Thompson, R. C., & Barlaz, M. (۲۰۰۹). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, ۳۶۴(۱۵۲۶), ۱۹۸۵-۱۹۹۸.
- Betts, K. (۲۰۰۸). Why small plastic particles may pose a big problem in the oceans. *Environmental Science and Technology*, ۴۲(۲۴), ۸۹۹۵-۸۹۹۵.
- Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., & Thompson, R. (۲۰۱۱). Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: Sources and sinks. *Environmental Science & Technology*, ۴۵(۲۱), ۹۱۷۵-۹۱۷۹.
- Browne, M. A., Dissanayake, A., Galloway, T. S., Lowe, D. M., & Thompson, R. C. (۲۰۰۸). Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, *Mytilus edulis* (L.). *Environmental Science & Technology*, ۴۲(۱۳), ۵۰۲۶-۵۰۳۱.
- Carson, H. S., Colbert, S. L., Kaylor, M. J., & McDermid, K. J. (۲۰۱۱). Small plastic debris changes water movement and heat transfer through beach sediments. *Marine Pollution Bulletin*, ۶۲, ۱۷۰۸-۱۷۱۳.
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (۲۰۱۱). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*, ۶۲(۱۲), ۲۵۸۸-۲۵۹۷.
- Collignon, A., Hecq, J. H., Galgani, F., Collard, F., & Goffart, A. (۲۰۱۴). Annual variation in neustonic micro-and meso-plastic particles and zooplankton in the Bay of Calvi (Mediterranean-Corsica). *Marine Pollution Bulletin*, ۷۹(۱-۲), ۲۹۳-۲۹۸.
- Conley, K., Clum, A., Deepe, J., Lane, H., & Beckingham, B. (۲۰۱۹). Wastewater treatment plants as a source of microplastics to an urban estuary: Removal efficiencies and loading per capita over one year. *Water Research X*, ۳, ۱۰۰۰۳۰.
- Cózar, A., Echevarría, F., González-Gordillo, J. I., Irigoien, X., Úbeda, B., Hernández-León, S., ... & Fernández-de-Puelles, M. L. (۲۰۱۴). Plastic debris in the open ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, ۱۱۱(۲۸), ۱۰۲۳۹-۱۰۲۴۴.
- Crawford, C. B., & Quinn, B. (۲۰۱۶). *Microplastic Pollutants* (p. ۳۳۶). Elsevier Science, Elsevier publications (ISBN: ۹۷۸۰۱۲۸۰۹۴۰۶۸).

- Driedger, A. G., Dürr, H. H., Mitchell, K., & Van Cappellen, P. (۲۰۱۵). Plastic debris in the Laurentian Great Lakes: A review. *Journal of Great Lakes Research*, ۴۱(۱), ۹-۱۹.
- Dris, R., Gasperi, J., Mirande, C., Mandin, C., Guerrouache, M., Langlois, V., & Tassin, B. (۲۰۱۷). A first overview of textile fibers, including microplastics, in indoor and outdoor environments. *Environmental Pollution*, ۲۲۱, ۴۵۳-۴۵۸.
- Dris, R., Gasperi, J., Saad, M., Mirande, C., & Tassin, B. (۲۰۱۶). Synthetic fibers in atmospheric fallout: A source of microplastics in the environment? *Marine Pollution Bulletin*, ۱۰۴(۱-۲), ۲۹۰-۲۹۳.
- Eriksen, M., Mason, S., Wilson, S., Box, C., Zellers, A., Edwards, W., ... & Amato, S. (۲۰۱۳). Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. *Marine pollution bulletin*, ۷۷(۱-۲), ۱۷۷-۱۸۲.
- Eriksen, M., Lebreton, L. C., Carson, H. S., Thiel, M., Moore, C. J., Borerro, J. C., ... & Reisser, J. (۲۰۱۴). Plastic pollution in the world's oceans: More than ۵ trillion plastic pieces weighing over ۲۵۰,۰۰۰ tons afloat at sea. *PloS One*, ۹(۱۲), e۱۱۱۹۱۳.
- Farrell, P., & Nelson, K. (۲۰۱۳). Trophic level transfer of microplastic: *Mytilus edulis* (L.) to *Carcinus maenas* (L.). *Environmental Pollution*, ۱۷۷, ۱-۳.
- Fendall, L. S., & Sewell, M. A. (۲۰۰۹). Contributing to marine pollution by washing your face: Microplastics in facial cleansers. *Marine Pollution Bulletin*, ۵۸(۸), ۱۲۲۵-۱۲۲۸.
- Free, C. M., Jensen, O. P., Mason, S. A., Eriksen, M., Williamson, N. J., & Boldgiv, B. (۲۰۱۴). High-levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake. *Marine Pollution Bulletin*, ۸۵(۱), ۱۵۶-۱۶۳.
- Gewert, B., Plassmann, M. M., & MacLeod, M. (۲۰۱۵). Pathways for degradation of plastic polymers floating in the marine environment. *Environmental Science: Processes & Impacts*, ۱۷(۹), ۱۵۱۳-۱۵۲۱.
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (۲۰۱۷). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, ۳(۷), e۱۷۰۰۷۸۲.
- GESAMP ۲۰۱۹, Guidelines for the Monitoring and Assessment of Plastic Litter in the Ocean. <http://www.gesamp.org/publications/guidelines-for-the-monitoring-and-assessment-of-plastic-litter-in-the-ocean>
- He, P., Chen, L., Shao, L., Zhang, H., & Lü, F. (۲۰۱۹). Municipal solid waste (MSW) landfill: A source of microplastics?-Evidence of microplastics in landfill leach- ate. *Water Research*, ۱۵۹, ۳۸-۴۵.
- Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R. C., & Thiel, M. (۲۰۱۲). Microplastics in the marine environment: A review of the methods used for identification and quanti- fication. *Environmental Science & Technology*, ۴۶(۶), ۳۰۶۰-۳۰۷۵.

- Iñiguez, M. E., Conesa, J. A., & Fullana, A. (۲۰۱۷). Microplastics in Spanish table salt. *Scientific Reports*, ۷(۱), ۸۶۲۰.
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., ... & Law, K. L. (۲۰۱۵). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, ۳۴۷(۶۲۲۳), ۷۶۸-۷۷۱.
- Karami, A., Golieskardi, A., Choo, C. K., Larat, V., Galloway, T. S., & Salamatnia, B. (۲۰۱۷). The presence of microplastics in commercial salts from different countries. *Scientific Reports*, ۷, ۴۶۱۷۳.
- Klein, S., Worch, E., & Knepper, T. P. (۲۰۱۵). Occurrence and spatial distribution of microplastics in river shore sediments of the Rhine-Main area in Germany. *Environmental Science & Technology*, ۴۹(۱۰), ۶۰۷۰-۶۰۷۶.
- Kooi, M., Reisser, J., Slat, B., Ferrari, F. F., Schmid, M. S., Cunsolo, S., ... & Schoeneich-Argent, R. I. (۲۰۱۶). The effect of particle properties on the depth profile of buoyant plastics in the ocean. *Scientific Reports*, ۶, ۳۳۸۸۲.
- Lassen, C., Hansen, S. F., Magnusson, K., Hartmann, N. B., Jensen, P. R., Nielsen, T. G., & Brinch, A. (۲۰۱۵). Microplastics: Occurrence, effects and sources of releases to the environment in Denmark. Environmental project No. ۱۷۹۳, Danish Environmental Protection Agency. https://www.tilogaard.dk/Miljostyrelsens_rapport_om_mikroplast_۹۷۸-۸۷-۹۳۳۵۲-۸۰-۳.pdf
- Law, K. L., & Thompson, R. C. (۲۰۱۴). Microplastics in the seas. *Science*, ۳۴۵(۶۱۹۳), ۱۴۴-۱۴۵.
- Law, K. L., Morét-Ferguson, S. E., Goodwin, D. S., Zettler, E. R., DeForce, E., Kukulka, T., & Proskurowski, G. (۲۰۱۴). Distribution of surface plastic debris in the eastern Pacific Ocean from an ۱۱-year data set. *Environmental Science & Technology*, ۴۸(۹), ۴۷۳۲-۴۷۳۸.
- Lebreton, L. C., Van der Zwet, J., Damsteeg, J. W., Slat, B., Andrady, A., & Reisser, J. (۲۰۱۷). River plastic emissions to the world's oceans. *Nature Communications*, ۸, ۱۵۶۱۱.
- Lechner, A., Keckeis, H., Lumesberger-Loisl, F., Zens, B., Krusch, R., Tritthart, M., ... & Schludermann, E. (۲۰۱۴). The Danube so colourful: A potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe's second largest river. *Environmental Pollution*, ۱۸۸, ۱۷۷-۱۸۱.
- Magnusson, K., & Norén, F. (۲۰۱۴). Screening of microplastic particles in and down-stream a wastewater treatment plant. <http://naturvardsverket.diva-portal.org/smash/get/diva۲:۷۷۳۵۰۵/FULLTEXT۰۱.pdf>
- McCormick, A., Hoellein, T. J., Mason, S. A., Schluep, J., & Kelly, J. J. (۲۰۱۴). Microplastic is an abundant and distinct microbial habitat in an urban river. *Environmental Science & Technology*, ۴۸(۲۰), ۱۱۸۶۳-۱۱۸۷۱.

Murphy, F., Ewins, C., Carbonnier, F., & Quinn, B. (۲۰۱۶). Wastewater treatment works (WwTW) as a source of microplastics in the aquatic environment. *Environmental Science & Technology*, ۵۰(۱۱), ۵۸۰۰-۵۸۰۸.

Murphy, F., Russell, M., Ewins, C., & Quinn, B. (۲۰۱۷). The uptake of macroplastic & microplastic by demersal & pelagic fish in the Northeast Atlantic around Scotland. *Marine Pollution Bulletin*, ۱۲۲(۱-۲), ۳۵۳-۳۵۹.

Peng, G., Zhu, B., Yang, D., Su, L., Shi, H., & Li, D. (۲۰۱۷). Microplastics in sediments of the Changjiang Estuary, China. *Environmental Pollution*, ۲۲۵, ۲۸۳-۲۹۰.

Plastics Europe (۲۰۱۹). *Plastics – the Facts ۲۰۱۹* An analysis of European plastics production, demand and waste data, Published on the occasion of the special show of K ۲۰۱۹. A project of the German plastics industry under the leadership of Plastics Europe Deutschland e. V. and Messe Düsseldorf.

Ramasamy, E. V., Sruthi, S. N., Harit A. K., & Babu, N. (۲۰۱۹). Microplastics in human consumption: Table salt contaminated with microplastics. In S. Babel, A. Haarstrick, M. S. Babel, A. Sharp (Eds.), *Microplastics in the Water Environment* (pp. ۷۴-۸۰). Cuvillier Verlag. (ISBN ۹۷۸-۳-۷۳۶۹-۷۰۸۹-۲ eISBN ۹۷۸-۳-۷۳۶۹-۶۰۸۹-۳).

Setälä, O., Fleming-Lehtinen, V., & Lehtiniemi, M. (۲۰۱۴). Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web. *Environmental Pollution*, ۱۸۵, ۷۷-۸۳.

Siegfried, M., Koelmans, A. A., Besseling, E., & Kroeze, C. (۲۰۱۷). Export of microplastics from land to sea. A modelling approach. *Water Research*, ۱۲۷, ۲۴۹-۲۵۷.

Sruthy, S and Ramasamy, E. V. (۲۰۱۷). Microplastic pollution in Vembanad Lake, Kerala, India: The first report of microplastics in lake and estuarine sediments in India. *Environmental Pollution (Elsevier)*, ۲۲۲, ۳۱۵-۳۲۲.

Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W., ... & Russell, A. E. (۲۰۰۴). Lost at sea: where is all the plastic? *Science*, ۳۰۴(۵۶۷۲), ۸۳۸-۸۳۸.

UNEP (۲۰۱۷). *Microplastic an Emerging Issue*. United Nations Environment Programme.

UNEP (۲۰۱۸). *Single-Use Plastics: A Roadmap for Sustainability*. United Nations Environment Programme. ۲۰۱۸ ISBN: ۹۷۸-۹۲-۸۰۷-۳۷۰۵-۹ DTI/۲۱۷۹/JP.

Van Sebille, E., Wilcox, C., Lebreton, L., Maximenko, N., Hardesty, B. D., Van Franeker, J. A., ... & Law, K. L. (۲۰۱۵). A global inventory of small floating plastic debris. *Environmental Research Letters*, ۱۰(۱۲), ۱۲۴۰۰۶.

Von Moos, N., Burkhardt-Holm, P., & Köhler, A. (۲۰۱۲). Uptake and effects of microplastics on cells and tissue of the blue mussel *Mytilus edulis* L. after an experimental exposure. *Environmental Science & Technology*, ۴۶(۲۰), ۱۱۳۲۷-۱۱۳۳۵.

Wagner, M., Lambert, S., & Lambert, M. W. (۲۰۱۸). *Freshwater Microplastics*. Springer International Publishing.