آلودگی و مخاطرات زیست محیطی میکروپلاستیک و راهکارهای کاهش آن در اکوسیستم‌های آبی

حامد شعبانلو*[۱]، سارا صفاری بیدهندی[۱]، طیبه علی بیگی[۲]، فردوس مؤمنی[۲]
۱ – گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۲ – گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه
Shabanloo.hamed@ut.ac.ir

چکیده

آلودگی میکروپلاستیک‌ها در اکوسیستم‌های آبی نگرانی‌های جهانی را برانگیخته است و این امر منجر به رشد تصاعدی مطالعات منتشر شده پیرامون میکروپلاستیک‌ها طی چند سال گذشته شده است. به منظور درک بهتر دانش فعلی در این زمینه، در مطالعه حاضر به بررسی آلودگی میکروپلاستیک، مخاطرات زیست محیطی میکروپلاستیک‌ها در سطوح زیستی و غیرزیستی ستون آب و رسوبات اکوسیستم‌های آبی و روش‌های کاهش یا حذف میکروپلاستیک‌ها، پرداخته شده است. طبق یافته‌های این بررسی، در میان آبزیان، ماهی‌ها متداول ترین گروه موجودات مورد مطالعه در مورد اثرات میکروپلاستیک‌ها بودند. بنابراین آگاهی یافتن در مورد تأثیرات میکروپلاستیک‌ها بر سایر گروه‌های آبزیان، به ویژه بی مهرگان امری ضروری است. از نظر پلیمری، بیشتر میکروپلاستیک‌های گزارش شده در مطالعات میدانی و آزمایشگاهی شامل پلی اتیلن، پلی پروپیلن و بقیه شامل پلی وینیل کلراید، پلی استایرن، پلی استر و پلی آمیدها بوده‌اند. طبق نتایج این مطالعه ورود فاضلاب صنعتی و خانگی منبع مهمی از میکروپلاستیک‌ها برای اکوسیستم‌های دریایی و آب شیرین است. با این حال، سهم این منابع در انتشار میکروپلاستیک‌ها همچنان مورد اختلاف است. بسیاری از پژوهشگران استفاده از مجموعه روش‌های فیزیکی و بیولوژیکی را بهترین گزینه برای حذف پسماندهای میکروپلاستیک از محیط‌های آبی می‌دانند. توسعه و بکارگیری مدیریت پسماند، تکنیک‌های مدیریت اقتصادی مناسب پسماند پلاستیکی، ارزش‌گذاری زباله، توسعه زیرساخت‌های مناسب و جایگزین‌های مناسب، انجام مطالعات میدانی بیشتر، پایش مستمر میکروپلاستیک‌ها و تصویب قوانین ملی و بین المللی، به عنوان راهکارهای کاهش آلودگی میکروپلاستیک توصیه می‌شوند.

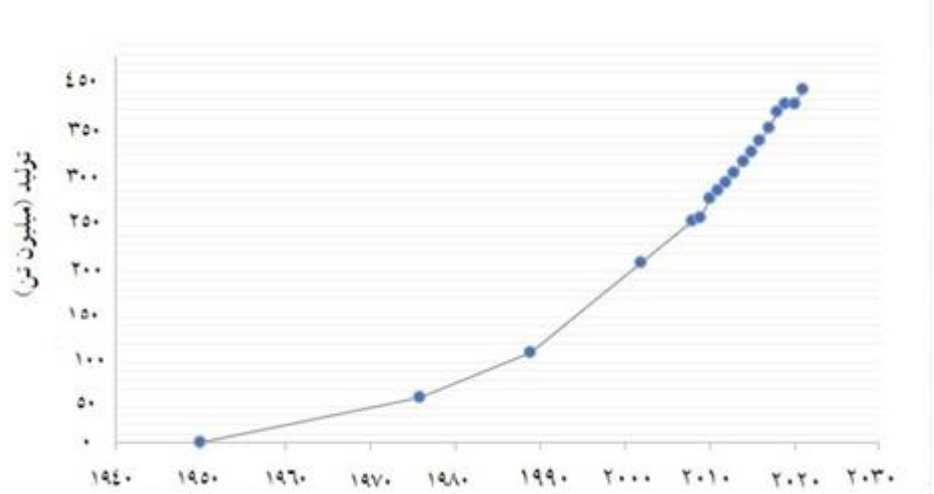
واژگان کلیدی: میکروپلاستیک، اکوسیستم‌های آبی، محیط زیست، مخاطرات، کاهش آلودگی

Journal of Aquatic Caspian Sea (J.A.C.S)

بیان مسئله

پلاستیک یک اصطلاح عمومی است که به خانواده‌ای از پلیمرهای آلی مشتق شده از منابع نفتی، از جمله پلی وینیل کلراید (PVC)، نایلون، پلی اتیلن (PE)، پلی استایرن (PS) و پلی پروپیلن (PP) اشاره دارد. از زمان تولید انبوه پلاستیک در سال ۱۹۴۰ تا زمان حال، روند تولید پلاستیک در دنیا رشد قابل ملاحظه‌ای داشته است، به طوریکه در سال ۲۰۱۷ حدود ۳۵۰ میلیون تن و در سال ۲۰۲۰ این تولیدات پلاستیکی در جهان به ۳۶۷ میلیون تن رسیده است (شکل ۱) (Statista, 2022). حدود ۹۵ درصد از زباله‌های تجمع یافته در سواحل، سطح دریا و بستر آن از جنس پلاستیک هستند. بخش زیادی از این پلاستیک‌ها بطور طبیعی تبدیل به ذرات ریزتر در محیط شده و بعضی از آنها هم به صورت سنتز شده و صنعتی وارد محیط می‌شوند. واژه «میکروپلاستیک» اولین بار در سال ۲۰۰۴ در توصیف قطعات پلاستیکی با اندازه تقریبی ۵۰۰ میکرومتر (۵ میلی‌متر) که در ستون آب و خط ساحلی یافت شده بودند، استفاده گردید (Lusher *et al.*, 2013).

آلودگی اکوسیستم‌های آبی توسط میکروپلاستیک‌ها، تهدیدی رو به رشد برای تنوع زیستی آبزیان، عملکرد اکوسیستم و خدمات اکوتوریسم (طبیعت‌گردی) است. میکروپلاستیک‌ها به دلیل وزن سبک و پایداری به وفور یافت می‌شوند و طی چندین سال اخیر، کانون بسیاری از توجهات در دنیا بوده‌اند، زیرا آنها آلودگی‌های نوظهور زیست‌محیطی هستند که به دلیل فراوانی زیاد و ماندگاری بالایی که در طبیعت دارند، نقش مهمی در آلودگی اکوسیستم‌های دریایی و آب شیرین دارند و در مقادیر مختلف در اکوسیستم‌های آبی سراسر جهان توزیع شده‌اند که همین امر باعث نگرانی جهانی شده است. این آلاینده‌ها با توجه به ابعاد کوچک و شباهتشان به مواد غذایی، به اشتباه توسط آبزیان تغذیه شده و می‌توانند بستر مناسبی برای تجمع ترکیبات آلی مقاوم مانند انواع PCB و فلزات سنگین باشند. درک ما از اهمیت نسبی تأثیرات میکروپلاستیک‌ها در اکوسیستم‌های آبی مختلف بسیار محدود است. در این مطالعه، تأثیرات گوناگون میکروپلاستیک‌ها بر اکوسیستم‌های آبی و روش‌های پیشنهادی برای کاهش و حذف میکروپلاستیک‌ها مورد توجه قرار گرفته است.



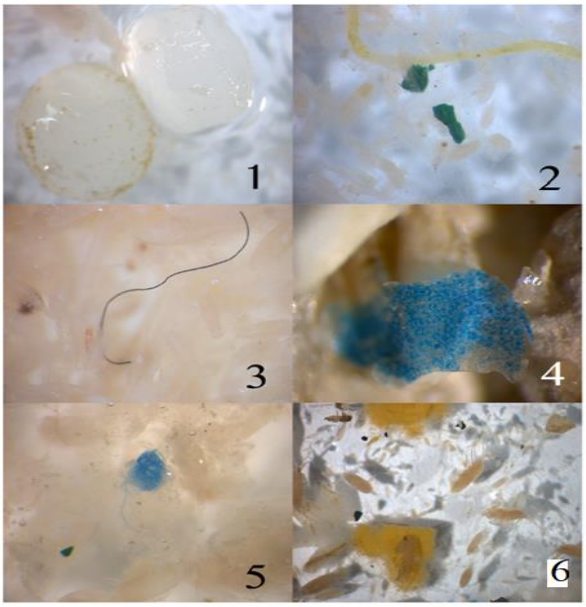
شکل ۱ . روند رو به رشد تولید پلاستیک در جهان (Statista, 2022).

Journal of Caspian Sea (J.A.C.S)

دستاوردها و راهکارها

منشأ و شکل میکروپلاستیک‌ها

طبق مطالعات صورت گرفته در زمینه منبع و منشأ تولید، می‌توان میکروپلاستیک‌ها را به دو نوع اولیه و ثانویه تقسیم‌بندی کرد. میکروپلاستیک‌های اولیه در صنایع مختلفی تولید می‌شوند. میکروپلاستیک‌های اولیه در واقع گرانول‌های پلاستیکی کوچکی هستند که در پاک‌کننده‌های صورت و صنایع آرایشی بهداشتی، در ساخت خمیر دندان و شامپوها، فناوری جریان سریع هوا و حامل‌های دارویی در پزشکی استفاده می‌شوند (Bhuyan, 2022). کشور ایران در جایگاه سومین کشور مصرف کننده محصولات آرایشی- بهداشتی در خاورمیانه و هفتمین وارد کننده جهان جای دارد. میکروپلاستیک‌های ثانویه قطعاتی از مواد پلاستیکی بزرگ‌تر هستند که از طریق مصرف شدن (مانند رها شدن الیاف از شستشوی لباس یا صنایع نساجی) و عدم مدیریت پسماندها یا تکه تکه شدن پلاستیک‌های بزرگ‌تر در محیط طبیعی تولید می‌شوند. میکروپلاستیک‌ها از نظر شکل نیز به پنج دسته مختلف تقسیم می‌شوند که شامل الیاف، فوم، گلوله، فیلم و قطعات (شکل۲) هستند و از لحاظ اندازه هم ذراتی با سایز کمتر از ۵ میلی‌متر هستند که در سال‌های اخیر در تمام مناطق جغرافیایی دریاها مشاهده شده‌اند. ذرات میکروپلاستیک می‌توانند به هم بچسبند و تا مسافت‌های طولانی به صورت شناور از قاره‌ها دور شوند و به اشکال کروی، چندوجهی، صفحه‌ای و رشته‌ای در محیط حضور داشته باشند. مشکل اصلی با میکروپلاستیک‌ها این است که به آسانی به مولکول‌های بی ضرر تجزیه نمی‌شوند و تجزیه میکروپلاستیک‌ها صدها یا هزاران سال طول می‌کشد. تخمین زده شده است که تقریباً ۸۰ درصد میکروپلاستیک‌های موجود در اقیانوس‌ها از خشکی‌ها و ۱۸ درصد دیگر از فعالیت‌های آبزی‌پروری یا صنایع صید و ماهیگیری منشاء می‌گیرند (Anderson *et al.*, 2016).



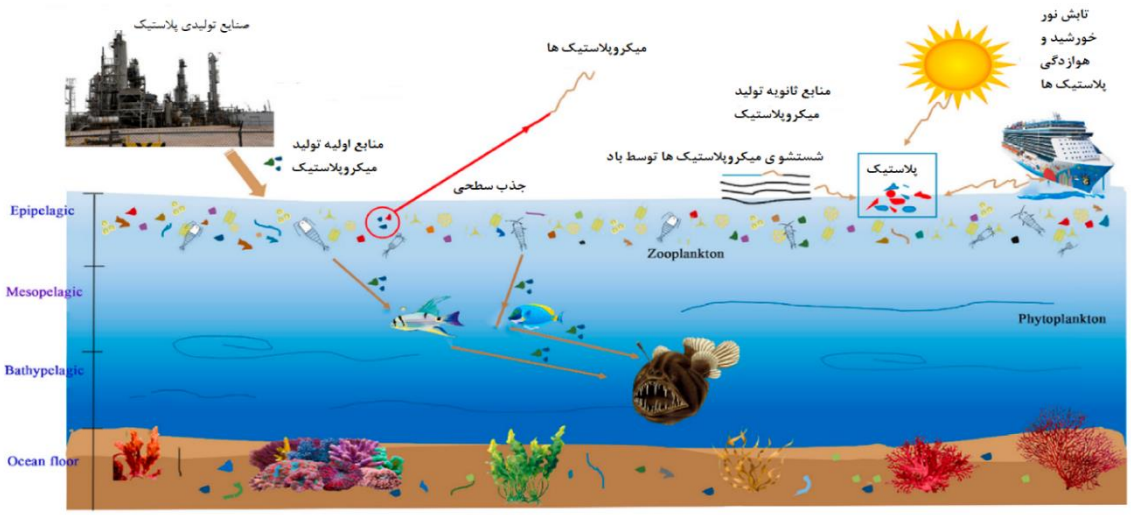
شکل ۲. میکروپلاستیک‌ها در اشکال گوناگونی در محیط یافت می‌شوند: ۱. گلوله؛ ۲. قطعه؛ ۳. فیبر؛ ۴. فیلم؛ ۵ . نخ و رشته‌ها؛ ۶ . اسفنج / فوم (Frias *et al.*, 2018).

ورود میکروپلاستیک‌ها به اکوسیستم‌های آبی

میکروپلاستیک‌ها از راه‌های مختلفی (شکل۳) مانند فاضلاب صنعتی، فاضلاب خانگی، فعالیت کشتی‌ها در اقیانوس‌ها، صنعت گردشگری در سواحل اکوسیستم‌های آبی و فعالیت کارگاه‌های صنعتی در مجاورت رودخانه‌ها وارد محیط آبی می‌شوند.

Journal of Caspian Sea (J.A.C.S)

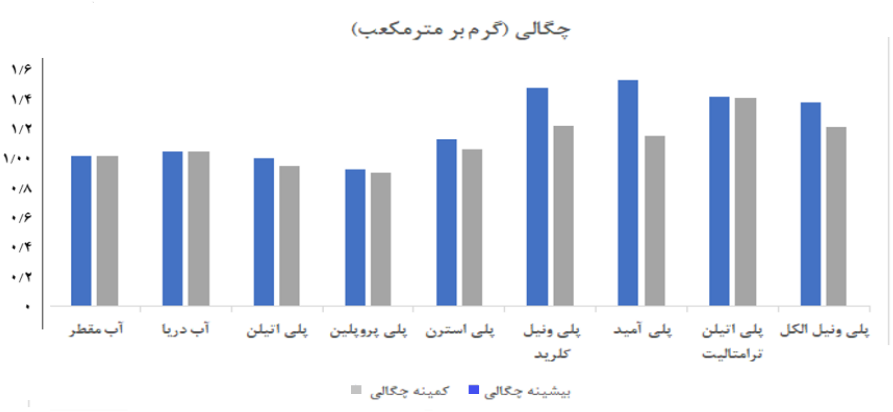
تخمین زده شده است که حدود ۲۴۵ تن ذرات میکروپلاستیک در هر سال تولید و سرانجام به آب‌های جهان وارد می‌شوند (Abarghouei *et al.*, 2021). فراوانی میکروپلاستیک‌ها با توجه به مکان اکوسیستم‌های آبی در محدوده بیش از ۱ میلیون قطعه در هر متر مکعب تا کمتر از ۱ قطعه در هر ۱۰۰ متر مکعب متفاوت است. در برخی از دریاچه‌ها یا رودخانه‌های آب شیرین نزدیک به مناطقی با جمعیت زیاد، فراوانی بالاتری از میکروپلاستیک‌ها به چشم می‌خورد. تفاوت زیادی در غلظت و مقدار میکروپلاستیک ثبت شده در محیط دریایی در سطح جهانی وجود دارد. بطوری‌که در یکی از نقاط تجمع میکروپلاستیک در یک لنگرگاه سوئدی نزدیک به یک کارخانه تولید پلی اتیلن، حداکثر غلظت صد هزار ذره در یک متر مکعب از آب دریا مشاهده شده است. مناطق ساحلی و چرخاب اقیانوس‌ها به عنوان نقاط انباشت میکروپلاستیک شناخته شده‌اند و موجودات در این حوضه‌ها بیشتر تحت تأثیر قرار می‌گیرند. علاوه براین، در اثر تغییرات اقلیمی، ذوب شدن سریع یخ‌های قطبی می‌تواند سطح بالایی از میکروپلاستیک‌های موجود در برف و یخ را که از منابع انسانی نشأت گرفته، به محیط دریایی وارد کند.



شکل۳. منابع و مسیرهای انتقال میکروپلاستیک‌ها در آبزیان (Bhuyan, 2022)

سرنوشت میکروپلاستیک در اکوسیستم‌های آبی

به طور کلی سرنوشت میکروپلاستیک در محیط آب به وزن مخصوص آن بستگی دارد (شکل۴). بدین‌ترتیب که پلاستیک‌های با وزن مخصوص بیش از آب دریا در بستر دریا ته نشین شده و بر سطح رسوبات بستر نهشته می‌شوند، در حالی که ذرات با وزن مخصوص کمتر از آب دریا در سطح یا لایه‌های میانی آب شناور می‌مانند. با این وجود، عواملی مانند ورودی‌های آب شیرین، طوفان‌ها و تشکیل بیوفیلم می‌تواند منجر به اختلاط عمودی این قطعات میکروپلاستیک شود. پلاستیک می‌تواند تحت انواع مختلفی از تجزیه شامل تجزیه زیستی، تجزیه نوری، حرارتی، مکانیکی، اکسیداتیو و هیدرولیز قرار گیرد. سپس محصولات تجزیه شده می‌توانند در اندازه میکرو یا حتی به طور بالقوه در اندازه نانو باشند. این قطعات می‌توانند تحت تجزیه بیشتری (به عنوان مثال، بیولوژیکی) قرار گیرند که در آن کربن موجود در ماتریکس به دی اکسید کربن تبدیل شده و به زیست توده ملحق می‌شود. اما از آنجایی که برای مدت زمان طولانی در اکوسیستم باقی می‌مانند، از دیدگاه پژوهشگران، این مواد به راحتی زیست‌تخریب‌پذیر نیستند. زمان مورد نیاز برای تجزیه کامل(معدنی کردن) میکروپلاستیک‌ها حدود صدها تا هزاران سال تخمین زده می‌شود (Anderson *et al.*, 2016).



شکل ۴. چگالی آب مقطر، آب دریا و انواع پلاستیک‌های پرکاربرد

تأثیر میکروپلاستیک‌ها بر محیط زیست دریایی

بررسی وضعیت میکروپلاستیک‌ها در اقیانوس‌ها و دریاها برای نخستین بار در جهان در سال ۱۹۷۲ مورد توجه قرار گرفت و این واژه نیز برای اولین بار در سال ۲۰۰۴، توسط Thompson و همکاران در مقاله‌ای به نام Lost at sea: Where is all the plastic? مورد استفاده قرار گرفت (Thompson *et al.*, 2004). نیروی شناوری و همچنین امکان انتقال و جابه‌جایی طولانی میکروپلاستیک‌ها در آب می‌تواند موجب گسترش مجموعه‌های میکروبی منحصر به فردی در منابع آب گردد. این ترکیبات آبگریز، همچنین می‌توانند بستر مناسبی برای تجمع ترکیبات آلی مقاوم و فلزات سنگین باشند. علاوه بر خطرات ناشی از حضور فیزیکی ذرات میکروپلاستیک، این ذرات می‌توانند آلودگی‌هایی مانند، DDT، POPs، PCBs، PAHs و فلزات سنگین را به سطح خود جذب کرده و تا فاصله‌ای بسیار دورتر از منشا اصلی خود انتقال دهند (Lahijan zadeh *et al.*, 2020). ذرات پلیمری مختلف، مانند پلی وینیل کلراید، پلی اتیلن، پلی پروپیلن، پلی استایرن، ظرفیت بالایی برای جذب DDT ها، هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای (PAHs) ، بعضی آلاینده‌های آلی پایدار (POPs) آفت‌کش‌های هالوژنه، دیوکسین‌ها و ترکیبات آلاینده نشان داده‌اند. میکروپلاستیک‌ها همچنین موجب سفت و سخت شدن بستر اکوسیستم‌های آبی می‌شوند که متعاقباً می‌تواند ترکیب جوامع دریایی و باکتریایی را تغییر دهد (Anderson *et al.*, 2016). موجودات دریایی مقادیر متفاوتی از این ترکیبات را در خود جذب می‌کنند و در صورتیکه این ترکیبات، بستر جذب آلاینده‌های محیط باشند، مقادیر زیادی از آلاینده‌ها به مصرف کننده منتقل می‌شوند. گزارشات حاکی از آن است که یک حرکت عمودی وابسته به اندازه‌ی میکروپلاستیک‌ها از طریق فرسایش زیستی وجود دارد که منجر به افزایش غلظت میکروپلاستیک‌ها در عمق میانی آب می‌شود، بنابراین، بسیاری از موجودات زنده مانند زئوپلانکتون‌ها در طول مهاجرت عمودی روزانه خود به طور مداوم با میکروپلاستیک‌ها در مناطق مختلف ستون آبی مواجه می‌شوند. اگر میکروپلاستیک‌ها از طریق سیستم گوارش عبور کنند، به عنوان جزئی از ماده دفعی در اعماق دریا آزاد می‌شوند. در مطالعه کاظمی درسنگی و علیجانپور (۱۴۰۱)، جمع بندی از نتایج تحقیقات مختلف در خصوص میزان آلودگی میکروپلاستیک در رسوبات سواحل دریای خزر انجام شده که آلودگی میکروپلاستیک را در این اکوسیستم تأیید می‌کند (جدول ۱).

Journal of Aquatic Caspian Sea (J.A.C.S)

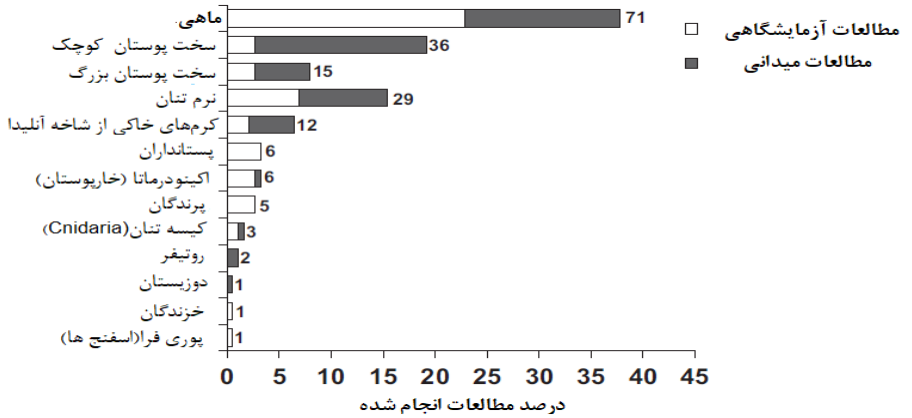
جدول ۱. میزان آلودگی زیست محیطی میکروپلاستیک در آبهای سطحی و رسوبات ساحلی دریای خزر(کاظمی درسنگی و علیجانپور، ۱۴۰۱)

محل مطالعه	سال مطالعه	نوع میکروپلاستیک	ماهیت پلیمری	نتیجه
سواحل جنوبی خزر	۱۳۹۷	۳۱/۴۲ درصد قطعه ۳۸/۷۵ درصد فیبر ۱۱/۴۲ درصد دانه ۳۰ درصد فیلم	پلی وینیل کلراید، پلی اتیلن	از ۵۱ نمونه مورد بررسی از ۶ ایستگاه، ۷۵ قطعه پلاستیک به دست آمد.
دریای خزر- تالاب انزلی	۱۳۹۹	فیبر	پلی استایرن، پلی پروپلین، پلی استر، پلی اتیلن و پلی اکریلونیتریل	میکروپلاستیک در تمام ۱۱ ایستگاه مورد بررسی شناسایی شد (۲۸۲۰-۱۴۰ قطعه در کیلوگرم رسوب خشک).
دریای خزر	۱۳۹۹	۹۷ درصد فیبر ۳ درصد قطعه	پلی اتیلن ترفتالات، پلی استایرن و نایلون	از ۱۰ نمونه مورد بررسی، ۷۱۰۰ قطعه میکروپلاستیک شناسایی شد.
دریای خزر- خلیج گرگان	۱۳۹۹	فیبر> قطعه > گلوله > فیلم	پلی پروپلین، نایلون و پلی استایرن	از ۲۱ ایستگاه مورد بررسی، آلودگی بالای میکروپلاستیک گزارش شد.
دریای خزر	۱۳۹۹	۵۴/۷۵ درصد قطعه ۴۰/۳۰ درصد فیبر ۰/۲۸ درصد کروی ۱/۶۸ درصد فیلم	پلی استایرن و پلی پروپلین	۱۸۳۰ قطعه میکروپلاستیک از ۱۷ ایستگاه مورد بررسی، شناسایی شد.
دریای خزر	۱۳۹۹	۹۷ درصد فیبر ۲ درصد قطعه ۱ درصد گلوله	پلی اتیلن ترفتالات، پلی استایرن و نایلون	از ۳۲ نمونه مورد بررسی، ۴۸۰ قطعه میکروپلاستیک شناسایی شد.
دریای خزر	۱۳۹۹	فوم> قطعه > گلوله > فیلم> فیبر	پلی وینیل کلراید، پلی اتیلن، پلی پروپلین، پلی آمید(نایلون) و پلی استایرن	۱۰۴۶ قطعه میکروپلاستیک طی این مطالعه شناسایی شد.
دریای خزر	۱۴۰۰	فیبر> قطعه > غشایی	پلی استایرن، پلی پروپلین و پلی استر	از ۱۳ ایستگاه مورد بررسی؛ ۹۰۹ قطعه میکروپلاستیک شناسایی شد.
دریای خزر	۱۴۰۰	۸۶ درصد فیبر ۱۳ درصد قطعه ۱ درصد فیلم	پلی پروپیلن	تمام نمونه‌های سه ایستگاه مورد بررسی، آلوده به میکروپلاستیک بودند.

محل مطالعه	سال مطالعه	نوع میکروپلاستیک	ماهیت پلیمری	نتیجه
دریای خزر	۱۴۰۰	۹۳/۰۹ درصد فیبر ۵/۷ درصد قطعه ۱/۲۱ درصد فیلم	سلفون، پلی اتیلن، پلی پروپیلن و پلی وینیل استات	میزان آلودگی ۲۰ الی ۱۵۶ قطعه در کیلوگرم رسوب خشک متغیر بود.
دریای خزر- خلیج گرگان- خور قره‌سو	۱۴۰۱	۷۲ درصد فیبر ۲۶ درصد قطعه ۲ درصد فیلم	پلی پروپیلن، پلی اتیلن، نایلون و پلی استایرن	ایستگاه‌های مورد بررسی دارای فراوانی بالایی از قطعات میکروپلاستیکی بودند.

تأثیر میکروپلاستیک‌ها بر آبزیان

قرار گرفتن طولانی مدت آبزیان در معرض میکروپلاستیک‌ها منجر به مسمومیت زیست‌محیطی آنها می‌شود. تحقیق «اثرات زیست محیطی میکروپلاستیک‌ها بر اکوسیستم‌های آبی» نشان داد که در معرض قرارگرفتن موجودات به طور همزمان توسط میکروپلاستیک‌ها و آلاینده‌های شیمیایی باعث افزایش سمیّت این ترکیبات در بدن آنها می‌شود. در واقع میکروپلاستیک‌های موجود در محیط را می‌توان به عنوان یک کمپلکس پیچیده از سموم مختلف در نظر گرفت که هنگامی که توسط موجودات آبزی مصرف می‌شوند، مواد شیمیایی همراه آنها به آسانی تحت شرایطی خاص در روده حیوانات آزاد می‌شود و ممکن است در امتداد زنجیره غذایی منتقل شود. میکروپلاستیک‌های موجود در محیط دریایی، برای هر سطحی از زنجیره غذایی در دسترس هستند، از تولیدکنندگان اولیه گرفته تا موجوداتی که سطح غذایی بالاتری دارند. بیشتر مطالعات ارزیابی تأثیرات میکروپلاستیک‌ها بر موجودات زیستی اکوسیستم‌های آبی، بر روی ماهیان (شکل ۵) متمرکز بوده است و بیشتر شواهد مربوط به مصرف میکروپلاستیک‌ها توسط گونه‌های ماهیان، از تجزیه و تحلیل محتویات دستگاه گوارش آنها به دست آمده است. یکی از مواردی که در مسیر نوپای بررسی آسیب‌ها و تأثیرات میکروپلاستیک مطرح می‌باشد، بررسی اثرات توکسیکولوژیک (فیزیکی و شیمیایی) میکروپلاستیک همراه با مواد افزودنی و یا آلاینده‌های رسوب کرده بر روی آن بر عملکرد فیزیولوژیک و سازگاری‌های اکوفیزیولوژیک موجودات زنده است. خلاصه‌ای از اثرات اکوتوکسیکولوژیکی (بوم شناسی سموم) انواع مختلف میکروپلاستیک‌ها در چندین گروه از آبزیان در این مطالعه گردآوری شده است (جدول ۲).



شکل ۵. بررسی درصد پژوهش‌های صورت گرفته در مورد تأثیرات میکروپلاستیک‌ها بر گروه‌های مختلف آبزیان در مطالعه مروری (De Sá *et al.*, 2018)

Journal of Aquatic Caspian Sea (J. A.)

جدول ۲. اثرات اکوتوکسیکولوژیکی (بوم سم شناسی) میکروپلاستیک‌ها در برخی از آبزیان (Elizalde-Velázquez and Gómez-Oliván, 2021)

نام گونه	زمان در معرض قرارگیری	نوع میکروپلاستیک	اندازه و شکل میکروپلاستیک	اثرات اکوتوکسیکولوژیکی
گورخرماهی (*Danio rerio*)	۱۲۰ ساعت	پلی استایرن (PS)	کروی و رشته‌ای ۴۵ تا ۵۰ نانومتر	کوچک شدن اندازه لارو/کاهش جذب هورمون آلفا اتینیل استرادیول (EE2)/ کاهش فعالیت استیل کولین استراز (Acetylcholinesterase)
تیلاپیای نیل (*Oreochromis Niloticus*)	۱۴ روز	پلی اتیلن با چگالی کم (LDPE)	گلوله‌ای شکل و ۰/۱ نانومتر	طی ۱۴روز: تغییرات در روده: $23.3\text{-}174.6X10^4\mu g/kg$ کبد: $12\text{-}37.6X10^4\mu g/kg$ آبشش: $17.8\text{-}81X10^4\mu g/kg$ مغز: $10\text{-}41.1X10^4\mu g/kg$
ماهی کاراس طلایی (*Carassius auratus*)	۷ روز	پلی استایرن (PS)	۰/۲۵ میکرومتر و ۸ میکرومتر	خونریزی، نکروز، تورم سلولی، رکود صفرا، رقیق شدن فضای سینوزوئید و تجمع خونی در بافت کبد و نکروز، ازبین رفتن پرز روده، واکوئله شدن، فساد پرزها و دژنره شدن اپیتلیوم در بافت روده
ماهی قزل آلای رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*)	۴ روز	پلی استایرن (PS)	گلوله‌های پلی استایرین با اندازه ۴۶ تا ۱۵۰میکرومتر	باعث مهار فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) در سه بافت کبد، کلیه و ماهیچه

Journal of Aquatic Caspian C.S)

مصرف میکروپلاستیک توسط آبزیان ممکن است باعث سایش، ایجاد زخم و خونریزی داخلی و همچنین انسداد دستگاه گوارش شود. جذب این ذرات به بدن آبزیان به خصوص ماهیان باعث آسیب بافتی، استرس اکسیداتیو و تغییر در بیان ژن مربوط به ایمنی و همچنین وضعیت آنتی اکسیدانی در ماهیان می‌شود (Bhuyan, 2022). همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهند که تجمع در اندام‌ها، انسداد مجاری، کاهش انرژی، التهاب و نقص تکاملی از عوارض بلعیدن میکروپلاستیک‌ها توسط ماهیان است (Lahijan zadeh *et al*., 2020). علاوه بر این، مصرف میکروپلاستیک می‌تواند بر فیزیولوژی جانوران تأثیر بگذارد و موجب انسداد روده، تغییر در رشد، تغییر در پارامترهای بیوشیمیایی خون و سرکوب سیستم ایمنی شود که افزایش مرگ و میر و تغییر در رفتارهای اکولوژیک مانند تعاملات اجتماعی، شنا، فرار از شکارچی و تولید مثل را به دنبال دارد

(Abarghouei *et al.*, 2021). ماهیان پس از قرار گرفتن در معرض میکروپلاستیک‌ها دچار مسمومیت عصبی، تأخیر در رشد و ناهنجاری‌های رفتاری می‌شوند (Bhuyan, 2022). در مطالعات صورت گرفته برای زئوپلانکتون، کاهش تغذیه از جلبک‌ها مشاهده شده است. در کوپه پودها میکروپلاستیک، مرگ و میر را افزایش داده و موجب کاهش رشد و تکثیر شد.

راهکارهای گوناگونی برای کاهش آلودگی میکروپلاستیک پیشنهاد شده است که به طور گسترده در سه دسته مهار تولید میکروپلاستیک، کاهش مقدار میکروپلاستیک در منابع و تفکیک و مدیریت پسماند، قرار می‌گیرند. هدف این راهکارها کاهش مقدار میکروپلاستیک در منابع حیاتی از طریق نوآوری ابتکارات است. مهار تولید میکروپلاستیک را می توان به کاهش تولید محصولات پلاستیکی در کارخانه‌ها مربوط دانست. کاهش مقدار میکروپلاستیک بیشتر بر شیوه‌های مناسب دفع پلاستیک تمرکز دارد که اصلاح رفتارهای انسانی را که منجر به افزایش آلودگی میکروپلاستیک می‌شود، هدف قرار می‌دهد و تفکیک و مدیریت پسماند، راهبردی است که به وسیله آن میکروپلاستیک‌ها از پساب در طول مدیریت پسماند حذف می‌شوند. روش‌های کنترلی اقداماتی هستند که توسط سازمان‌های ملی و بین‌المللی زیست محیطی برای مبارزه با تأثیر میکروپلاستیک‌ها ترسیم شده‌اند. ایجاد آگاهی از طریق آموزش، نمونه‌ای از این روش‌هاست که در بخش‌های خصوصی و دولتی کمک زیادی به کاهش ورود میکروپلاستیک‌ها به محیط زیست کرده است. با این حال، می‌توان با بهره‌برداری از پتانسیل‌های میکروارگانیسم‌ها، به‌ویژه آن‌هایی که منشأ دریایی دارند و می‌توانند میکروپلاستیک‌ها را تجزیه کنند، یک رویکرد امیدوارکننده‌تر و ایمن‌تر از نظر زیست‌محیطی ارائه کرد. کاهش استفاده از محصولات پلاستیکی در محیط‌های آبزی پروری و اکوسیستم‌های آبی از دیگر راهکارهای بیان شده در تقلیل پیامدهای میکروپلاستیک‌ها در اکوسیستم‌های آبی است. با این وجود ممنوع کردن مصرف پلاستیک در مدیریت زباله کمک بزرگی نخواهد کرد، زیرا چنین قوانین و محدودیت‌هایی به ندرت از سوی جامعه پذیرفته می‌شوند. حذف و تجزیه زیستی میکروپلاستیک‌ها از آب و سیستم‌های آبی هنوز در آزمایشگاه‌ها محدود است که می‌تواند در مقیاس بزرگ با استفاده از میکروارگانیسم‌هایی مانند قارچ‌ها، تک یاخته‌ها و باکتری‌ها در آینده مقرون به صرفه شود. تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مسیر مهمی در رابطه با ورود میکروپلاستیک‌ها به محیط‌های آبی محسوب می‌شوند. در حال حاضر فرآیندهای تصفیه پساب برای حذف ناخالصی‌هایی از جمله رسوبات، فلز یا چوب از آب طراحی شده‌اند، با این حال هیچ یک از آنها برای حذف میکروپلاستیک‌ها اختصاصی نشده‌اند. طبق یافته‌های مطالعه حاضر ماهی‌ها متداولترین گروه موجودات مورد مطالعه در این زمینه بودند، بنابراین آگاهی یافتن در مورد اثرات میکروپلاستیک‌ها بر سایر گروه‌های آبزیان، به ویژه بی‌مهرگان امری ضروری است، زیرا آنها توانایی تغلیظ و انباشت آلاینده‌ها را به میزان قابل توجهی بالاتر از سطوح محیطی دارند.

توصیه ترویجی

تلاش‌های جوامع در زمینه نوآوری محصول و اقدامات راهبردی باید تشدید شود. پایش دائمی میکروپلاستیک‌ها و تحقیقات مستمر برای نشان دادن اثرات بوم سم شناسی میکروپلاستیک‌ها بر آبزیان از سطح فردی به سطح جمعیت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با توجه به خصوصیات گوناگون مواد پلاستیکی مختلف، مکانیسم اثرات سمی آنها بر موجودات آبزی، نه تنها در سطح فردی، بلکه در سطح سلول‌ها و ژن‌ها نیز باید مورد توجه قرار گیرد. همچنین رابطه بین عوامل محیطی و سمیّت میکروپلاستیک‌ها مانند دما، pH، شدت نور، شوری و غیره در نظر گرفته شود. لازم است اقدامات مبتنی بر تحقیقات بیشتر در مورد نحوه بازیافت و استفاده مجدد میکروپلاستیک‌ها در محیط تحت محدودیت‌های انتشار کربن انجام شود. حذف میکروپلاستیک‌ها با استفاده از روش‌های فیزیکی (مانند فیلتر غشایی)، شیمیایی و بیولوژیکی (به واسطه جلبک‌ها و عوامل باکتریایی) صورت می‌گیرد که در این بین، کاربرد روش‌های فیزیکی و بیولوژیکی به دلیل آسانی و همچنین صرفه اقتصادی

Journal of Aquatic Caspian Sea (J.A.C.S)

برتری دارد. بسیاری از پژوهشگران استفاده از مجموعه روش‌های فیزیکی و بیولوژیکی را بهترین گزینه برای حذف پسماندهای میکروپلاستیک‌ها از محیط‌های آبی می‌دانند. فرآیندهای تولید پلاستیک نیز باید بهبود یابد تا پلاستیک و محصولات جانبی سازگارتری با محیط زیست تولید شوند. استراتژی‌های پیشگیری از انتشار میکروپلاستیک‌ها و تسریع توسعه پایدار و مدیریت پسماند توصیه می‌شود. جایگاه ایران در میزان واردات و مصرف محصولات آرایشی- بهداشتی در جهان و خاورمیانه ایجاب می‌کند که مسئولان در رابطه با تولید یا واردات محصولات آرایشی و بهداشتی حاوی میکروپلاستیک‌ها، نگرانی‌های زیست محیطی را مد نظر قرار دهند و قانون‌گذاران با تدوین قوانین مناسب از گسترش بیشتر آلودگی میکروپلاستیک‌ها جلوگیری نمایند.

منابع

-کاظمی درسنکی، ز. و علیجانپور، س.، ۱۴۰۱. آلاینده‌های نوظهور میکروپلاستیک در اکوسیستم آبی خلیج‌فارس، دریای عمان و خزر. نشریه نشاء علم، ۱۲ (۲): ۱۸۰-۱۹۰.

-Abarghouei, S., Hedayati, S. A., Raeisi, M., Shirkavand Hadavand, B., Rezaei, H. and Abed-Elmdoust, A., 2021. Effect of different sizes and concentrations of polystyrene microplastic on the histopathology of Goldfish (*Carassius auratus*). Aquaculture Sciences, 8(2), 24-36.

-Anderson, J. C., Park, B. J., and Palace, V. P., 2016. Microplastics in aquatic environments: implications for Canadian ecosystems. Environmental Pollution, 218: 269-280.

-Bhuyan, M.S., 2022. Effects of microplastics on fish and in human health. Frontiers in Environmental Science, 10, p.250.

-De Sá, L. C., Oliveira, M., Ribeiro, F., Rocha, T. L. and Futter, M. N., 2018. Studies of the effects of microplastics on aquatic organisms: what do we know and where should we focus our efforts in the future? Science of the total environment, 645, 1029-1039.

-Elizalde-Velázquez, G.A. and Gómez-Oliván, L.M., 2021. Microplastics in aquatic environments: A review on occurrence, distribution, toxic effects, and implications for human health. Science of the Total Environment, 780, p.146551.

-Frias, J., Pagter, E., Nash, R., O'Connor, I., Carretero, O., Filgueiras, A., Viñas, L., Gago, J., Antunes, J., Bessa, F. and Sobral, P., 2018. Standardised protocol for monitoring microplastics in sediments. Deliverable 4.2.

-Lahijan zadeh, A., Mohammadi roozbahani, M., Sabzalipour, S. and Nabavi, M., 2020. The Investigation of Microplastic Particles in Khor-e-Musa in Persian Gulf Sediments. Journal title, 11 (43) :17-25.

-Lusher, A. L., Mchugh, M. and Thompson, R. C.,2013. Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. Marine pollution bulletin, 67(1-2): 94-99.

-Statista, 2022. Annual production of plastics worldwide from 1950 to 2020. https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950.

-Thompson, R.C., Olsen, Y., Mitchell, R.P., Davis, A., Rowland, S.J., John, A.W., McGonigle, D. and Russell, A.E., 2004. Lost at sea: where is all the plastic? Science, 304(5672), pp.838-838.

Journal of Persian Gulf (J.P.G.S)