

شناسایی و تعیین منبع میکروپلاستیک‌ها در چهار گونه ماهی از مصب رودخانه سفیدرود، ایران

پویا پوراحمدی، مینا ترابی فرد*، شهرزاد خرم‌نژادیان، بهناز مرادی غیاث آبادی

گروه محیط‌زیست، واحد دماوند، دانشگاه آزاد اسلامی، دماوند، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۱۴

چکیده

آلودگی میکروپلاستیک یک تهدید نوظهور و فراگیر برای اکوسیستم‌های آبی جهان است. مصب سفیدرود، یکی از مهم‌ترین ورودی‌های آب شیرین و آلاینده‌ها به جنوب دریای خزر است. این پژوهش با هدف بررسی فراوانی، توزیع و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی میکروپلاستیک‌ها در دستگاه گوارش چهار گونه ماهی (به تعداد ۱۳ نمونه ماهی) با آشیان‌های اکولوژیک متفاوت (*Neogobius Alburnus chalcoides*، *Chelon saliens* و *Rutilus frisii melanostomus*) در پاییز ۱۴۰۳ به‌طور هدفمند انجام شد. دستگاه گوارش نمونه‌ها پس از هضم شیمیایی با KOH مورد جداسازی قرار گرفت و ذرات میکروپلاستیک استخراج شده شمارش و براساس مشخصات فیزیکی دسته‌بندی شدند. ترکیب پلیمری زیرمجموعه‌ای از ذرات با استفاده از طیف‌سنجی FTIR شناسایی گردید. نتایج نشان داد که تمام گونه‌ها به میکروپلاستیک آلوده بودند و بیشترین فراوانی در گاوماهی (*N. melanostomus*) با میانگین $3/21 \pm 0/6$ ذره به‌ازای هر فرد مشاهده شد. الیاف، شکل غالب در اکثر گونه‌ها بودند، اما گونه‌های کفزی *N. melanostomus* و *C. saliens* تنوع بیشتری از قطعات و فیلم‌ها را نشان دادند. تفاوت بارزی در ترکیب پلیمری بین گونه‌ها مشاهده شد. پلی‌اتیلن (PE) تنها در *A. chalcoides*، پلی‌اتیلن ترفتالات (PET) منحصراً در *R. frisii* و پلی‌آمید (PA) تنها در گونه *N. melanostomus* شناسایی شد. یافته‌ها نشان می‌دهد که آشیان اکولوژیک و استراتژی تغذیه ماهی، مسیرهای اصلی مواجهه با میکروپلاستیک را تعیین می‌کند و منجر به پروفایل‌های آلودگی خاص-گونه می‌شود. ماهیان این اکوسیستم می‌توانند به‌عنوان شاخص‌های زیستی مؤثر برای ردیابی منابع مختلف آلودگی عمل کنند. این مطالعه بر لزوم اجرای اقدامات مدیریتی فوری و هدفمند برای کاهش ورود پلاستیک به این اکوسیستم حیاتی تأکید می‌کند.

کلید واژگان: فیبر، ماهی‌های بومی، میکروپلاستیک، پلیمر، رودخانه سفیدرود

مقدمه

پلاستیک‌ها، پلیمرهای مصنوعی یا نیمه‌مصنوعی با منشأ پتروشیمی، به دلیل مقرون به صرفه بودن، سبکی، انعطاف‌پذیری و مقاومت در برابر خوردگی به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند (Bagheri et al., 2024; Gholiazadeh et al., 2024a). با این حال، ماندگاری مواد پلاستیکی و عدم مدیریت مؤثر زباله‌های پلاستیکی، آلودگی پلاستیک را به یک مسئله مهم زیست‌محیطی تبدیل کرده است. پیشرفت سریع فرآیندهای صنعتی و افزایش استفاده از مواد پلاستیکی منجر به تولید و دفع جهانی میلیاردها تن پلاستیک در سال شده است (Hedayati et al., 2023; Esmaeilbeigi et al., 2022). در میان آلودگی‌های خطرناک پلاستیکی، میکروپلاستیک‌ها (MPs) به دلیل توزیع فراگیر و اثرات احتمالی آنها بر اکوسیستم‌ها، در چند سال گذشته به‌عنوان یک نگرانی عمده زیست‌محیطی ظهور کرده‌اند.

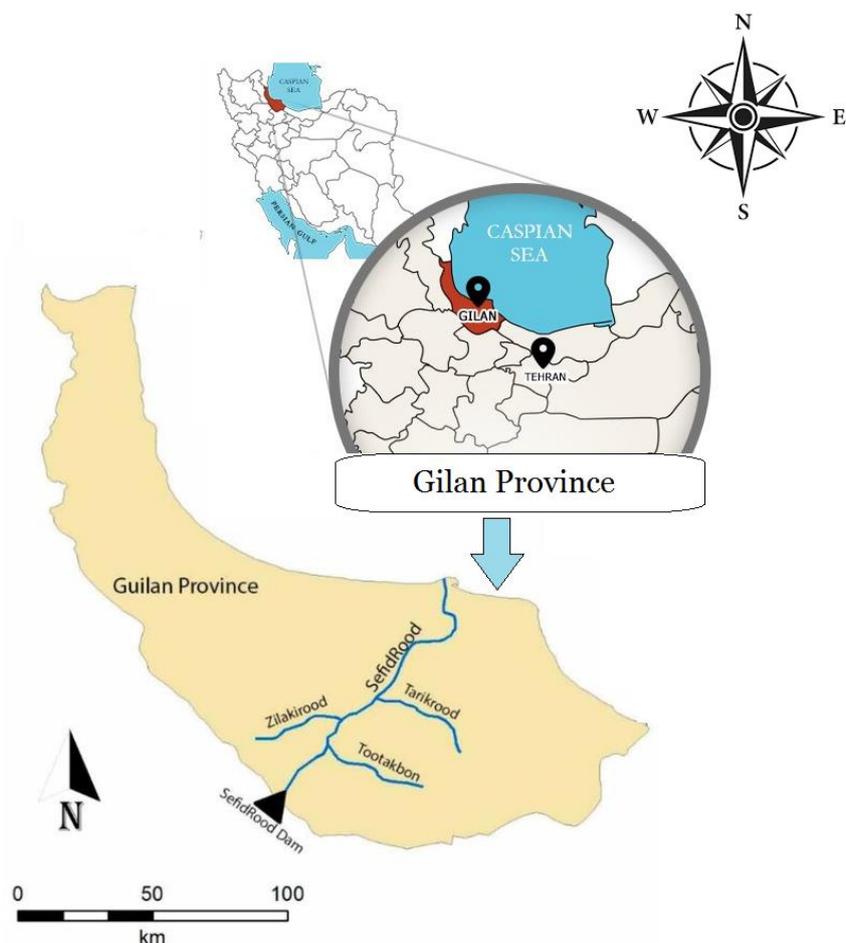
میکروپلاستیک‌ها ذرات پلیمری جامد و نامحلول در آب هستند که معمولاً به‌صورت اولیه یا ثانویه طبقه‌بندی می‌شوند و قطری کمتر از ۵ میلی‌متر دارند (Kasmuri et al., 2022). میکروپلیت‌های اولیه برای مصارف مسکونی و صنعتی تولید می‌شوند، در حالی که میکروپلاستیک‌های ثانویه از تجزیه مواد پلاستیکی بزرگتر از طریق فرآیندهای شیمیایی، بیولوژیک و فیزیکی ناشی می‌شوند. آلودگی میکروپلاستیک‌ها، یک مسئله زیست‌محیطی رو به افزایش در سراسر جهان، خطرات قابل توجهی را برای اکوسیستم‌ها، سلامت افراد و ایمنی مواد غذایی ایجاد می‌کند (Masoudi et al., 2022).

آلودگی ناشی از میکروپلاستیک‌ها در بسیاری از محیط‌های آبی شایع است و بر موجودات آبی مختلف، از جمله ماهی‌ها تأثیر می‌گذارد (Hossain and Olden, 2022). میکروپلاستیک‌ها به‌راحتی توسط چندین موجود آبی، از جمله زئوپلانکتون‌ها، صدف‌ها و ماهی‌ها (Shi et al., 2021) مصرف می‌شوند. این میکروپلاستیک‌ها می‌توانند آلاینده‌های آلی پایدار را جذب کنند که ممکن است پس از مصرف در سیستم گوارش دفع شده و جذب بافت‌های حیوانی شوند (Parker et al., 2021). گزارش شده است که جذب میکروپلاستیک‌ها توسط موجودات آبی باعث عوارض جانبی متعددی مانند اختلال مکانیکی، سمیت

بویایی، اختلال عملکرد سیستم ایمنی، سمیت عصبی، انسداد روده، کاهش باروری و کاهش نرخ رشد می‌شود (Shi et al., 2021). در نتیجه، میکروپلاستیک‌ها یک مسئله جهانی قابل توجه هستند که خطرات قابل توجهی را برای اکوسیستم‌های آبی و سلامت انسان ایجاد می‌کنند.

رودخانه‌ها به‌عنوان مسیرهای اصلی انتقال آلاینده‌های خشکی پایه به محیط‌های دریایی عمل می‌کنند و مصب‌ها، به‌عنوان مناطق گذار اکولوژیک، به نقاط کانونی (Hotspots) برای تجمع میکروپلاستیک‌ها تبدیل شده‌اند (فومنی و همکاران، ۱۳۹۹؛ جمنی و همکاران، ۱۴۰۰). مصب سفیدرود و دریای خزر به‌عنوان یک اکوسیستم منحصربه‌فرد و کمتر مطالعه‌شده، اهمیت منطقه‌ای پژوهش را تقویت می‌کند. ماهیان، به دلیل جایگاه‌های متنوعی که در شبکه‌های غذایی آبی اشغال می‌کنند و اهمیت اقتصادی و اکولوژیکی، به‌عنوان شاخص‌های زیستی کلیدی برای ارزیابی میزان و تأثیر آلودگی میکروپلاستیک در نظر گرفته می‌شوند. بلع میکروپلاستیک توسط ماهیان نه تنها سلامت خود آنها را به‌خطر می‌اندازد، بلکه می‌تواند منجر به انتقال این آلاینده‌ها در طول زنجیره غذایی و در نهایت رسیدن به مصرف‌کنندگان انسانی شود که نگرانی‌های جدی در زمینه ایمنی غذایی ایجاد می‌کند در حالی که مطالعات متعددی وجود میکروپلاستیک را در ماهیان مناطق مختلف جهان تأیید کرده‌اند، شکاف قابل توجهی در دانش ما در مورد چگونگی تأثیر تفاوت‌های بین‌گونه‌ای در اکولوژی تغذیه و زیستگاه بر مشخصات (شکل، اندازه و ترکیب پلیمری) میکروپلاستیک‌های بلعیده شده وجود دارد (Gholiazadeh et al., 2024b). درک این ارتباط برای شناسایی دقیق‌تر مسیرهای انتقال آلودگی و منشأیابی منابع آن حیاتی است. دریای خزر، به‌عنوان بزرگترین پهنه آبی محصور در خشکی جهان، تحت فشارهای انسانی فزاینده‌ای قرار دارد، اما تحقیقات در زمینه آلودگی میکروپلاستیک در این اکوسیستم منحصربه‌فرد، به‌ویژه در سواحل جنوبی آن، همچنان محدود است. رودخانه سفیدرود، به‌عنوان مهم‌ترین شریان ورودی به سواحل ایرانی دریای خزر، نقشی حیاتی در تعیین سلامت این بخش از دریا ایفا می‌کند، اما وضعیت آلودگی میکروپلاستیک در آبریان مصب آن تا به امروز به‌طور جامع بررسی نشده است.

بنابراین، این مطالعه با هدف پر کردن این شکاف دانش، به



شکل ۱- مکان نمونه برداری رودخانه سفیدرود، استان گیلان

به عنوان بزرگترین رودخانه حوضه آبریز دریای خزر در ایران، از مناطق پرجمعیت، کشاورزی و صنعتی عبور کرده و به همین دلیل یک مسیر بالقوه مهم برای انتقال آلاینده‌های خشکی پایه، از جمله میکروپلاستیک‌ها، به اکوسیستم دریایی محسوب می‌شود. نمونه‌ها با همکاری صیادان محلی و با استفاده از تورهای استاندارد صیادی صید شدند. بلافاصله پس از صید، نمونه‌ها برای جلوگیری از تجزیه در یخدان قرار گرفته و به آزمایشگاه منتقل شدند و تا زمان آنالیز در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. در مجموع ۱۳ نمونه متعلق به چهار گونه متفاوت (*Alburnus chalcoides*, *Neogobius melanostomus*, *Rutilus frisii*, *Chelon saliens*) برای این مطالعه مورد استفاده قرار گرفتند.

کنترل کیفیت و پیشگیری از آلودگی: برای به حداقل رساندن آلودگی متقاطع در آزمایشگاه، اقدامات احتیاطی سختگیرانه‌ای اعمال شد. تمامی مراحل در زیر هود لامینار انجام گرفت. پرسنل از روپوش آزمایشگاهی ۱۰۰٪ پنبه‌ای و دستکش نیتریل استفاده کردند. تمام ظروف شیشه‌ای پیش

بررسی جامع آلودگی میکروپلاستیک در چهار گونه ماهی (*Alburnus chalcoides*, *Neogobius melanostomus*, *Rutilus frisii*, and *Chelon saliens*) با آشیان‌های اکولوژیک متفاوت از مصب رودخانه سفیدرود پرداخت. اهداف مشخص این تحقیق عبارت بودند از: (۱) تعیین فراوانی میکروپلاستیک‌ها در هر گونه، (۲) مشخصه‌یابی ذرات براساس شکل، اندازه و رنگ، و (۳) شناسایی ترکیب پلیمری. نتایج این تحقیق داده‌های پایه ضروری برای ارزیابی ریسک اکولوژیکی فراهم کرده و می‌تواند به توسعه استراتژی‌های مدیریتی هدفمند برای کاهش آلودگی پلاستیک در این منطقه حیاتی کمک کند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و نمونه برداری: نمونه برداری در فصل پاییز سال ۱۴۰۳ از منطقه مصبی رودخانه سفیدرود (۳۷°۲۸' شمالی، ۴۹°۵۶' شرقی)، واقع در استان گیلان در سواحل جنوبی دریای خزر، انجام شد (شکل ۱). این رودخانه

بر فرد (items/individual) گزارش شد. شکل: براساس مورفولوژی به سه دسته الیاف (Fibers)، قطعات (Fragments) و فیلم‌ها (Films) طبقه‌بندی شدند. اندازه: بزرگترین بعد هر ذره با استفاده از نرم‌افزار تحلیل تصویر (ImageJ) اندازه‌گیری و در کلاس‌های اندازه‌ای مشخص (۱۰۰-۵۰۰، ۵۰۰-۱۰۰۰، ۱۰۰۰-۲۰۰۰ و ۲۰۰۰-۳۰۰۰ میکرومتر) دسته‌بندی شد. رنگ: رنگ هر ذره (سیاه، سفید، آبی، سبز و غیره) به‌صورت چشمی ثبت گردید.

شناسایی ترکیب پلیمری: برای تأیید ماهیت پلیمری و شناسایی نوع آن (به تعداد ۶ ذره)، زیرمجموعه‌ای از ذرات نماینده از هر دسته (شکل و رنگ) با استفاده از طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه با بازتاب کلی تضعیف‌شده (Bruker Alpha II Spectrometer) (FTIR) آنالیز شدند. طیف هر ذره در محدوده موج ۴۰۰۰ تا ۴۰۰ cm^{-1} و با تجمع ۳۲ اسکن ثبت شد. طیف‌های به‌دست‌آمده با کتابخانه‌های طیفی مرجع (Bruker FTIR Polymer Library و Hummel Polymer and Additives) مقایسه شدند. یک تطابق با شاخص کیفیت (Hit Quality Index) بالاتر از ۷۰٪ به‌عنوان یک شناسایی مثبت در نظر گرفته شد.

تحلیل آماری: تمام تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار R (نسخه ۴,۲,۱) انجام شد. از آمار توصیفی (میانگین \pm انحراف معیار) برای گزارش فراوانی میکروپلاستیک‌ها و از درصد برای نمایش توزیع مشخصات مختلف (شکل، اندازه، رنگ و پلیمر) استفاده گردید. به‌دلیل حجم کم نمونه در برخی گونه‌ها، از تحلیل‌های آماری استنباطی پیچیده پرهیز شد و نتایج به‌صورت توصیفی ارائه گردیدند.

نتایج

بالاترین میزان آلودگی در *Neogobius melanostomus* مشاهده شد (۳/۲۱ ذره در فرد). این گونه کفزی (benthic) است و تماس مستقیم بیشتری با رسوبات آلوده به میکروپلاستیک دارد (جدول ۱). این یافته با مطالعات جهانی مثلاً در Danube و Baltic Sea همخوانی دارد که نشان داده‌اند ماهیان کفزی به‌طور معنی‌داری میکروپلاستیک‌ها بیشتری مصرف می‌کنند. کمترین میزان آلودگی به گونه

از استفاده با آب دیونیزه فیلترشده (با فیلتر ۰/۴۵ میکرومتر) سه بار شسته شده و با فویل آلومینیومی پوشانده شدند. تمام سطوح کاری قبل و بعد از هر نمونه‌برداری تمیز شدند. برای ارزیابی آلودگی هوابرد، یک نمونه شاهد رویه (Procedural Blank) شامل یک بشر حاوی آب دیونیزه فیلترشده، به موازات نمونه‌های واقعی در تمام مراحل فرآیند قرار گرفت و آنالیز شد. هیچ میکروپلاستیکی در نمونه شاهد یافت نشد که نشان‌دهنده اثربخشی پروتکل‌های کنترلی بود.

تشریح و هضم شیمیایی: پس از یخ‌زدایی، اطلاعات زیست‌سنجی هر نمونه شامل طول کل (Total Length) با دقت ۰/۱ سانتی‌متر و وزن کل (Total Weight) با دقت ۰/۱ گرم ثبت شد. سپس کل دستگاه گوارش (Gastrointestinal Tract) از مری تا مخرج با استفاده از ابزارهای تشریح از پیش تمیز شده (فولاد ضد زنگ) جدا گردید. هر دستگاه گوارش در یک بشر شیشه‌ای مجزا قرار داده شد و با محلول هیدروکسید پتاسیم (KOH) ۱۰٪ (w/v) به نسبت حجمی ۱۰:۱ نسبت به وزن بافت، پوشانده شد. بشرها با فویل آلومینیومی پوشانده شده و به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد در انکوباتور شیکردار با چرخش آرام در ۱۵۰ rpm قرار گرفتند تا تمام مواد آلی به‌طور کامل هضم شوند.

شناسایی و مشخصه‌یابی میکروپلاستیک‌ها: پس از هضم کامل، محلول حاصل از طریق یک سیستم فیلتراسیون خلاء از روی فیلترهای میکروفایبر شیشه‌ای Whatman GF/C، با اندازه حفرات ۱/۲ میکرومتر عبور داده شد. بشرها سه بار با آب دیونیزه فیلترشده شستشو داده شدند تا اطمینان حاصل شود که تمام ذرات به فیلتر منتقل شده‌اند. سپس فیلترها در پتری‌دیش‌های شیشه‌ای تمیز قرار گرفته و در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. فیلترهای خشک شده زیر یک استریومیکروسکوپ (Leica S9i) مجهز به دوربین دیجیتال بررسی شدند. ذراتی که معیارهای زیر را داشتند به‌عنوان میکروپلاستیک بالقوه براساس مرجع معتبر (Dalu et al., 2024) به‌صورت (۱) فاقد ساختار سلولی یا ارگانیک قابل مشاهده، (۲) دارای رنگ همگن و بافت یکنواخت، و (۳) لبه‌های مشخص و واضح که نشان‌دهنده منشأ غیرطبیعی است، شناسایی شدند. ذرات شناسایی‌شده براساس مشخصات زیر دسته‌بندی شدند: فراوانی: تعداد کل ذرات شمارش شده و به‌صورت "تعداد ذره

جدول ۱- توزیع و فراوانی میکروپلاستیک‌ها در دستگاه گوارش در گونه‌های ماهی مورد مطالعه

گونه	تعداد افراد	فراوانی میکروپلاستیک (تعداد ذرات/فرد ± انحراف معیار)	طول کل (سانتی‌متر)	وزن کل (گرم)	سن
<i>Alburnus chalcoides</i>	۳	۲/۳۳±۰/۲۳	۱۳/۳۱	۵۵/۲	۲
<i>Neogobius melanostomus</i>	۵	۳/۲۱±۰/۱۶	۶/۲۲	۳/۵۶	۱
<i>Rutilus frisii</i>	۱	۳	۲۵/۱	۲۲۹/۵	۲
<i>Chelon saliens</i>	۴	۲/۵۵±۰/۱۵	۷/۰۳	۱۰/۱	۱

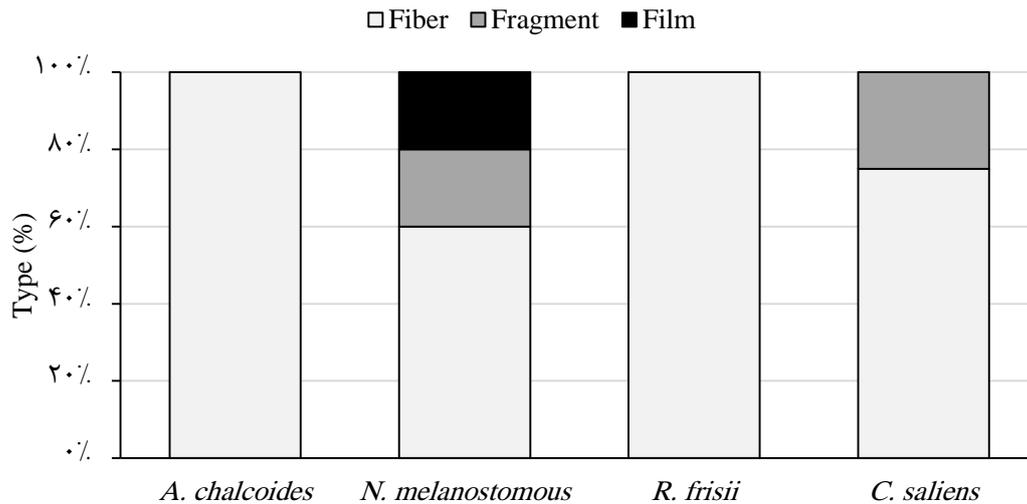


شکل ۲- عکس‌هایی که مورفوتایپ‌ها و رنگ‌های مختلف میکروپلاستیک‌ها موجود در گونه ماهیان مورد بررسی

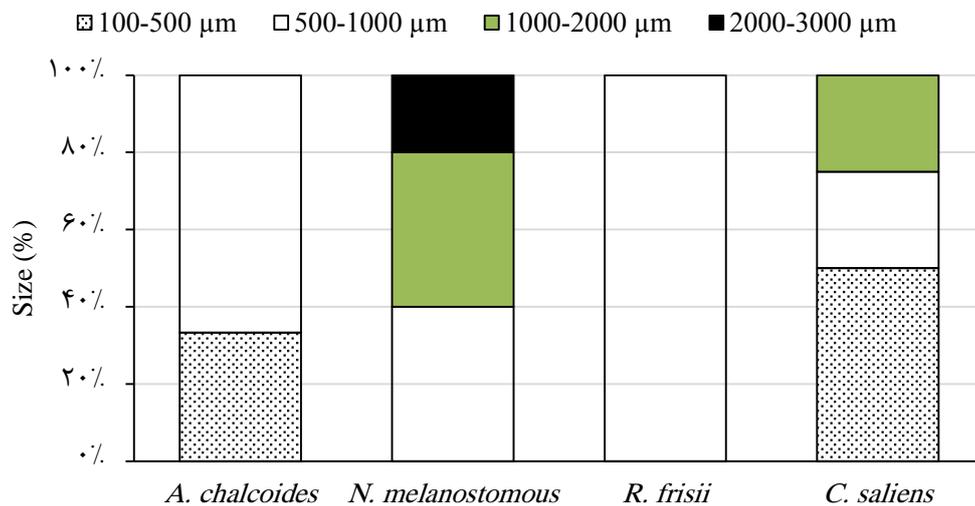
C. saliens بیشترین نوع میکروپلاستیک فیبر (۱۰۰٪) بوده است (شکل ۳). این الگو همسو با بسیاری از مطالعات جهانی است که فیبرها را شایع‌ترین شکل میکروپلاستیک‌ها در ماهیان گزارش کرده‌اند. فیبرها معمولاً از منسوجات مصنوعی (polyester, nylon, acrylic) که از طریق شستشوی لباس‌ها وارد پساب می‌شوند یا از تورهای ماهیگیری و طناب‌های پلاستیکی منشأ می‌گیرند، ناشی می‌شوند. در *A. chalcoides* و *R. frisii*، تمام ذرات میکروپلاستیک‌ها فیبر ۱۰۰٪ بودند که نشان‌دهنده یک منبع آلودگی فراگیر و مشترک است. در حالی که دو گونه اول تقریباً به‌طور انحصاری الیاف را بلعیده‌اند، دو گونه دیگر، *N. melanostomus* و *C. saliens*، تنوع بیشتری از انواع میکروپلاستیک را نشان می‌دهند. گونه *N. melanostomus* متنوع‌ترین پروفایل آلودگی را با حضور هر سه نوع میکروپلاستیک (تقریباً ۶۰٪ الیاف، ۲۰٪ قطعات و ۲۰٪ فیلم) نشان می‌دهد. گونه *C. saliens* نیز علاوه بر الیاف (حدود ۷۵٪)، درصد قابل توجهی از قطعات (حدود ۲۵٪) را بلعیده است. نکته قابل توجه این است که قطعات و فیلم‌ها عمدتاً یا منحصرراً در این دو گونه (که هر دو خانواده کفزی هستند) یافت شده‌اند. آنالیز توزیع اندازه میکروپلاستیک‌های استخراج‌شده، تفاوت‌های قابل توجهی

Alburnus chalcoides (معمولاً گونه سطح‌زی یا pelagic) تعلق دارد. این گونه بیشتر در لایه‌های میانی-سطحی آب تغذیه می‌کند و تماس کمتری با رسوبات آلوده دارد. به‌نظر نمی‌رسد رابطه مستقیمی بین طول/وزن و تراکم میکروپلاستیک‌ها وجود داشته باشد. برای مثال، گونه ماهی *Rutilus frisii* با بیشترین طول ۲۵/۱ سانتی‌متر و وزن ۲۲۹/۵ گرم آلودگی بالایی دارد (۳ ذره)، اما با توجه به اینکه تعداد آن فقط یک نمونه است نمی‌توان نتیجه قطعی گرفت. در مقابل، گونه‌های کوچک‌تر مثل گوبی‌ها و کفال کوچک (*Chelon saliens*) نیز میکروپلاستیک‌ها قابل توجهی داشتند. بنابراین، الگوی تغذیه و بوم‌زیستی مهم‌تر از اندازه بدن است. مقدار انحراف معیار نسبتاً پایین (۰/۴-۰/۶) نشان‌دهنده همگنی نسبی آلودگی در بین افراد هر گونه است. این می‌تواند به منشأ یکنواخت آلودگی (مثلاً ورودی‌های رودخانه سفیدرود و فعالیت‌های انسانی اطراف) اشاره داشته باشد.

در این مطالعه، میکروپلاستیک‌ها براساس نوع، رنگ و اندازه طبقه‌بندی شدند. از نظر مورفوتایپ، سه نوع متمایز از میکروپلاستیک‌ها در ماهی تشخیص داده شد: الیاف، قطعات و فیلم (شکل ۲). در هر چهار گونه مورد مطالعه (*A. chalcoides*, *N. melanostomus*, *R. frisii*،)



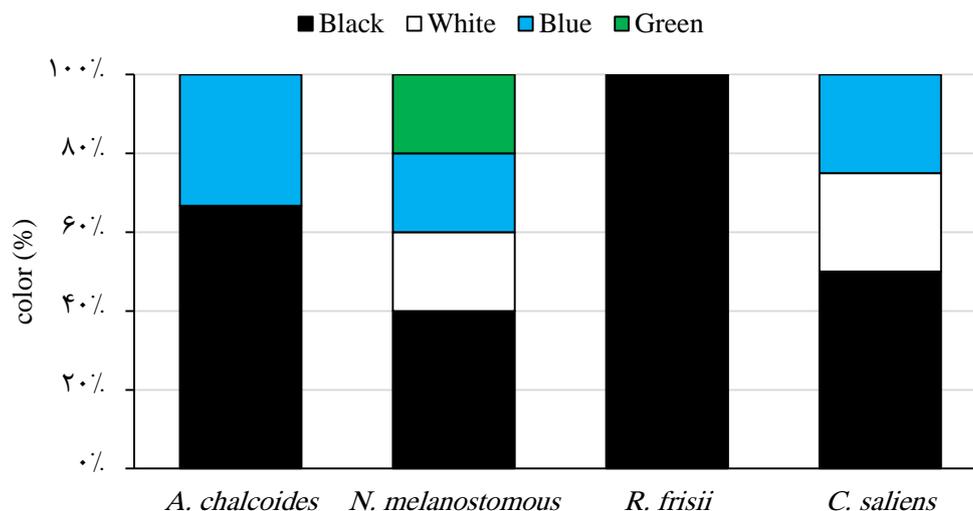
شکل ۳- نوع (%) میکروپلاستیک‌های مختلف در ماهی‌های مورد بررسی



شکل ۴- اندازه (%) میکروپلاستیک‌های مختلف در ماهی‌های مورد بررسی

۱۰۰۰-۵۰۰ میکرومتر، ۴۰٪ در محدوده ۱۰۰-۲۰۰ میکرومتر و ۲۰٪ در بزرگترین کلاس اندازه‌ای (۳۰۰۰-۲۰۰۰ میکرومتر) قرار داشتند. قابل ذکر است که کوچکترین کلاس اندازه‌ای (۱۰۰-۵۰۰ میکرومتر) به‌طور کامل در این گونه مشاهده نشد. گونه ماهی سفید یکنواخت‌ترین پروفایل اندازه‌ای را از خود نشان داد، به‌طوری که ۱۰۰٪ ذرات شناسایی شده به‌طور انحصاری در کلاس اندازه‌ای ۵۰۰-۱۰۰۰ میکرومتر قرار گرفتند. در گونه کفال، فراوانی ذرات کوچکتر غالب بود. نیمی از ذرات (۵۰٪) متعلق به کوچکترین کلاس اندازه‌ای (۱۰۰-۵۰۰ میکرومتر) بودند. بقیه ذرات بین کلاس‌های ۱۰۰-۵۰۰ میکرومتر (تقریباً ۲۵٪) و ۲۰۰-

را در میان چهار گونه ماهی مورد مطالعه نشان داد (شکل ۴). به‌طور کلی، اندازه ذرات از ۱۰۰ میکرومتر تا ۳۰۰۰ میکرومتر متغیر بود، اما هر گونه الگوی توزیع خاص خود را به نمایش گذاشت. در گونه شاه‌کولی، میکروپلاستیک‌های یافت‌شده به کلاس‌های اندازه‌ای کوچکتر محدود بودند. تقریباً ۳۴٪ از ذرات در محدوده ۵۰۰-۱۰۰ میکرومتر و ۶۶٪ باقیمانده در محدوده ۱۰۰-۵۰۰ میکرومتر قرار داشتند. هیچ ذره‌ای با اندازه بزرگتر از ۱۰۰۰ میکرومتر در این گونه مشاهده نشد. در مقابل، گونه گاماهی گرد بزرگترین ذرات را در میان تمام گونه‌ها بلعیده بود. توزیع اندازه در این گونه تحت سلطه کلاس‌های بزرگتر بود: ۴۰٪ از ذرات در محدوده



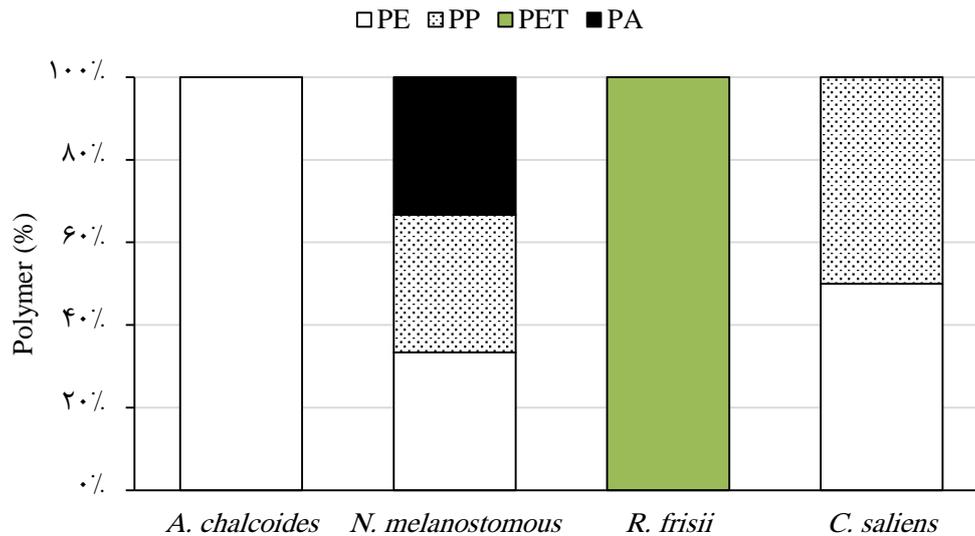
شکل ۵- رنگ (%) میکروپلاستیک‌های مختلف در ماهی‌های مورد بررسی

تفاوت‌های بین‌گونه‌ای مشخص در پروفایل رنگی میکروپلاستیک‌های بلعیده‌شده است. رنگ سیاه در تمام گونه‌ها حضور داشت و در ماهی سفید به صورت انحصاری غالب بود، در حالی که گاوماهی گرد با حضور هر چهار رنگ، متنوع‌ترین طیف رنگی را به نمایش گذاشت.

شناسایی ترکیبات پلیمری میکروپلاستیک‌های استخراج‌شده با استفاده از طیف‌سنجی، تنوع قابل توجهی را در میان چهار گونه ماهی مورد بررسی آشکار ساخت (شکل ۶). در مجموع چهار نوع پلیمر شامل پلی‌اتیلن (PE)، پلی‌پروپیلن (PP)، پلی‌اتیلن ترفتالات (PET) و پلی‌آمید (PA) شناسایی شدند. توزیع این پلیمرها به شدت به گونه ماهی بستگی داشت. میکروپلاستیک‌های یافت‌شده در گونه شاه‌کولی به طور انحصاری از پلی‌اتیلن (PE) تشکیل شده بودند (۱۰۰٪). هیچ نوع پلیمر دیگری در نمونه‌های این گونه شناسایی نشد. به طور مشابه، تمام ذرات شناسایی‌شده در گونه ماهی سفید از نوع پلی‌اتیلن ترفتالات بودند (۱۰۰٪). این پلیمر در هیچ یک از سه گونه دیگر مشاهده نگردید. در مقابل، گونه گاوماهی گرد متنوع‌ترین ترکیب پلیمری را نشان داد. در این گونه، سه نوع پلیمر شامل پلی‌اتیلن (تقریباً ۲۳٪)، پلی‌پروپیلن (تقریباً ۳۴٪) و پلی‌آمید (تقریباً ۳۳٪) با نسبت‌های تقریباً برابر شناسایی شدند. پلیمر پلی‌آمید تنها در این گونه یافت شد. ترکیب پلیمری در گونه گاوماهی از دو نوع پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن، هر کدام با سهم ۵۰٪، تشکیل شده بود. نتایج نشان‌دهنده یک الگوی توزیع پلیمری خاص برای هر گونه است. پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن رایج‌ترین پلیمرها

۱۰۰۰ میکرومتر (تقریباً ۲۵٪) توزیع شده بودند. نتایج حاکی از الگوهای مشخص و خاص-گونه در توزیع اندازه میکروپلاستیک‌های بلعیده‌شده است؛ برخی گونه‌ها به طور انحصاری ذرات کوچکتر را مصرف می‌کنند، در حالی که برخی دیگر طیف وسیع‌تر و بزرگتری از اندازه‌ها را به خود اختصاص داده‌اند.

آنالیز رنگ میکروپلاستیک‌های استخراج‌شده از دستگاه گوارش چهار گونه ماهی مورد مطالعه، توزیع ناهمگنی را در بین گونه‌ها نشان داد (شکل ۵). به طور کلی، رنگ‌های سیاه، آبی و سفید بیشترین فراوانی را داشتند، در حالی که رنگ سبز تنها در یک گونه مشاهده شد. در گونه ماهی سفید، به طور غالب میکروپلاستیک‌های سیاه مشاهده شد که تقریباً ۱۰۰٪ از کل ذرات شناسایی‌شده در این گونه را تشکیل می‌داد. هیچ ذره‌ای با رنگ دیگر در نمونه‌های این گونه یافت نشد. در مقابل، گونه گاوماهی گرد بالاترین تنوع رنگی را از خود نشان داد. در این گونه، ذرات سیاه (تقریباً ۴۰٪)، سفید (تقریباً ۲۰٪)، آبی (تقریباً ۲۰٪) و سبز (تقریباً ۲۰٪) همگی با درصد‌های قابل توجهی حضور داشتند. قابل ذکر است که میکروپلاستیک‌های سبز منحصراً در این گونه یافت شدند. میکروپلاستیک‌های بازیابی‌شده از شاه‌کولی عمدتاً به دو رنگ سیاه (تقریباً ۶۷٪) و آبی (تقریباً ۳۳٪) محدود می‌شد. در نمونه‌های این گونه، ذرات سفید و سبز به طور کامل غایب بودند. بقیه ذرات به طور مساوی بین رنگ‌های سفید (تقریباً ۲۵٪) و آبی (تقریباً ۲۵٪) تقسیم شده بودند و هیچ ذره سبزی در این گونه مشاهده نگردید. نتایج نشان‌دهنده



شکل ۶- درصد ترکیبات پلیمری میکروپلاستیک‌های استخراج‌شده

است که گونه‌های با عادات تغذیه‌ای نزدیک به رسوب (منطقه بنتوپلاژیک) نسبت به گونه‌های صرفاً سطحی ممکن است بار میکروپلاستیک‌ها بیشتری داشته باشند (Dalu et al., 2024). در مطالعه‌ای دیگر بر روی ماهی‌های رودخانه راین، Bosshart و همکاران (۲۰۲۰) دریافته‌اند که بار پلاستیک در ماهیان کفزی بسیار کم بوده و ورود پلاستیک به دستگاه گوارش مستقل از محیط آبی گزارش شده است. بنابراین، یافته‌های این مطالعه در محدوده‌ای قابل مقایسه با مطالعات بین‌المللی قرار می‌گیرند، اما تفاوت‌های منطقه‌ای (شرایط فیزیوشیمیایی آب، میزان ورود آلودگی، ساختار رسوب، جریان آب) احتمالاً نقش تعیین‌کننده‌ای دارند. گونه‌های مورد مطالعه ممکن است بخشی از رژیم غذایی جوامع محلی یا بازار مصرف ماهی باشند. ورود میکروپلاستیک به دستگاه گوارش ماهی امکان انتقال به بافت‌های نرم (در صورت نفوذ) می‌تواند ریسک بهداشتی بالقوه‌ای برای مصرف‌کنندگان ایجاد کند، خصوصاً اگر ذرات همراه با آلاینده‌های جذب‌شده (مانند فلزات سنگین یا ترکیبات آلی پایدار) باشند (قلی‌زاده و حیدری، ۱۳۹۹).

شاه‌کولی و ماهی سفید، عمدتاً گونه‌های پلاژیک یا بنتوپلاژیک هستند و بخش زیادی از تغذیه خود را در ستون آب انجام می‌دهند. الیاف به دلیل چگالی پایین و سطح مقطع بالا، به راحتی در ستون آب معلق می‌مانند. این ماهیان ممکن است الیاف را به دلیل شباهت به طعمه‌های طبیعی

بودند که در دو گونه مختلف یافت شدند، در حالی که پلی‌اتیلن ترفتالات و پلی‌امید هر کدام تنها به یک گونه به ترتیب *R. frisii* و *N. melanostomus* محدود بودند.

بحث

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که در تمامی گونه‌های ماهی نمونه‌برداری شده از مصب رودخانه سفیدرود، آلودگی میکروپلاستیک مشاهده شد. مقادیر متوسط میکروپلاستیک‌ها در هر گونه به ترتیب برای *Alburnus chalcoides* برابر با $2/33 \pm 0/4$ ، *Neogobius melanostomus* برابر با $3/21 \pm 0/6$ ، *Rutilus frisii* (نمونه منفرد) برابر با $2/55 \pm 0/5$ و برابر با ۳ بوده است. این یافته‌ها نشان‌دهنده ورود گسترده ذرات پلاستیکی به اکوسیستم آبی منطقه است. مطالعات مروری در حوزه میکروپلاستیک در آب‌های شیرین نشان می‌دهند که وجود میکروپلاستیک‌ها در ماهیان یک پدیده جهانی و رو به رشد است. Parker و همکاران (۲۰۲۱) مروری بر وضعیت آلودگی ماهیان در محیط‌های آب شیرین منتشر کرده‌اند و تأکید دارند که تنوع در روش نمونه‌برداری، اندازه ذرات، نوع زیستگاه و رفتار تغذیه‌ای گونه‌ها، موجب پراکندگی زیاد نتایج در مطالعات مختلف می‌شود. در مطالعه‌ای دیگر در مخزن ناندونی (آفریقای جنوبی)، $1/86/6\%$ ماهیان نمونه‌برداری شده دارای میکروپلاستیک‌ها بودند و ذرات فیبری شایع‌ترین نوع بودند. همچنین مشخص شده

خود (مانند زئوپلانکتون‌ها) اشتباه ببلعند یا از طریق تغذیه از طعمه‌های آلوده (انتقال در زنجیره غذایی) آنها را دریافت کنند. انحصار تقریباً کامل الیاف در این گونه‌ها نشان می‌دهد که منبع اصلی مواجهه آنها، آلودگی موجود در ستون آب است.

در هر چهار گونه مورد مطالعه بیشترین نوع میکروپلاستیک فیبر (۱۰۰-۶۰٪) بوده است. این الگو همسو با بسیاری از مطالعات جهانی است که فیبرها را شایع‌ترین شکل میکروپلاستیک‌ها در ماهیان گزارش کرده‌اند. فیبرها معمولاً از منسوجات مصنوعی (polyester, nylon, acrylic) که از طریق شستشوی لباس‌ها وارد پساب می‌شوند یا از تورهای ماهیگیری و طناب‌های پلاستیکی منشأ می‌گیرند، ناشی می‌شوند. در *R. frisii* و *A. chalcoides*، تمام ذرات میکروپلاستیک‌ها فیبر ۱۰۰٪ بودند. این موضوع نشان می‌دهد که این گونه‌ها احتمالاً در معرض یک منبع آلودگی غالب (الیاف پلاستیکی) قرار دارند و فرصت کمتری برای بلع سایر انواع میکروپلاستیک‌ها (مانند فیلم و قطعات سخت) دارند. از آنجا که این گونه‌ها بیشتر در ستون آب فعال هستند (سطح‌زی و میان‌زی)، محتمل است که فیبرها به دلیل شناوری بالا در ستون آب بیشتر در دسترس آنها قرار گرفته باشند. در گونه کفزی *N. melanostomus* حدود ۶۰٪ فیبر، قطعات ۲۰٪ و فیلم ۲۰٪ مشاهده شد. این تنوع بالا نشان‌دهنده تماس مستقیم این گونه با رسوبات آلوده است، جایی که ذرات سنگین‌تر مثل قطعات شکسته سخت و فیلم (بقایای پلاستیک‌های نازک مانند کیسه‌ها و بسته‌بندی‌ها) ته‌نشین می‌شوند. *N. melanostomus* و *C. saliens* این دو گونه کفزی هستند و رژیم غذایی آنها ارتباط تنگاتنگی با رسوبات بستر دارد. قطعات و فیلم‌ها که عمدتاً از تجزیه پلاستیک‌های سخت‌تر و بسته‌بندی‌ها (مانند پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن) حاصل می‌شوند، چگالی بالاتری داشته و تمایل به ته‌نشینی و تجمع در رسوبات دارند. تغذیه گاوماهیان از بی‌مهرگان کفزی یا کاوش مستقیم در رسوبات، آنها را در معرض طیف وسیع‌تری از میکروپلاستیک‌ها، از جمله قطعات و فیلم‌های ته‌نشین شده، قرار می‌دهد. حضور فیلم‌ها منحصراً در گونه *N. melanostomus* که یک شکارچی فرصت‌طلب و مهاجم شناخته می‌شود، ممکن است بازتابی از رژیم غذایی بسیار متنوع و توانایی آن در بهره‌برداری از

منابع مختلف غذایی آلوده در بستر باشد. این تحقیق نشان می‌دهد که ارزیابی ریسک آلودگی میکروپلاستیک نباید به صورت کلی انجام شود، بلکه باید با در نظر گرفتن ویژگی‌های اکولوژیک گونه‌ها صورت گیرد. ماهیان پلاژیک و کفزی از مسیرهای متفاوتی در معرض آلودگی قرار می‌گیرند که این امر می‌تواند بر نوع و میزان اثرات سمی (Toxicological Effects) نیز تأثیرگذار باشد. حضور قطعات و فیلم‌ها نشان‌دهنده اهمیت مدیریت پسماندهای جامد در حوضه آبریز برای جلوگیری از ورود زباله‌های پلاستیکی بزرگ به رودخانه است که در نهایت به قطعات و فیلم‌ها تجزیه می‌شوند (Amerizadeh et al., 2023). تحقیق حاضر شواهد قانع‌کننده‌ای از تفاوت‌های چشمگیر در ترکیب پلیمری میکروپلاستیک‌های بلعیده‌شده توسط گونه‌های مختلف ماهی در مصب رودخانه سفیدرود ارائه می‌دهد. این یافته که هر گونه ماهی دارای یک امضای پلیمری (Polymer Signature) تقریباً منحصربه‌فرد است، قویاً نشان می‌دهد که مسیرهای مواجهه با آلودگی به‌طور تنگاتنگی با آشیان اکولوژیک و استراتژی تغذیه هر گونه مرتبط است.

پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن به‌عنوان دو پلیمر پرکاربرد در تولید محصولات یک‌بارمصرف و بسته‌بندی، در سه گونه از چهار گونه مورد مطالعه یافت شدند. این امر نشان‌دهنده فراگیری آلودگی ناشی از پسماندهای مصرفی در اکوسیستم مصب است. حضور انحصاری PE در گونه شاه‌کولی که یک گونه عمدتاً سطح‌زی است، می‌تواند به دلیل چگالی پایین این پلیمر باشد که باعث شناوری و تجمع آن در لایه‌های سطحی آب می‌شود. حضور ترکیبی PE و PP در دو گونه کفزی *N. melanostomus* و *C. saliens* با عادات تغذیه‌ای مرتبط با بستر سازگار است. این پلیمرها پس از تجزیه و یا چسبیدن زیستی (biofouling) می‌توانند ته‌نشین شده و در رسوبات تجمع یابند و از این طریق در دسترس گونه‌های کفزی قرار گیرند.

یکی از مهم‌ترین یافته‌های این مطالعه، حضور انحصاری پلی‌آمید در گاوماهی گرد (*N. melanostomus*) است. پلی‌آمید (که معمولاً با نام نایلون شناخته می‌شود) پلیمر اصلی مورد استفاده در ساخت تورها و طناب‌های ماهیگیری است. گاوماهی گرد یک گونه کفزی مهاجم با رژیم غذایی فرصت‌طلبانه است که در بستر رودخانه و دریا زندگی می‌کند.

دریای خزر بررسی کرد و وجود این آلاینده را در تمام گونه‌های مورد مطالعه تأیید نمود. یافته اصلی و برجسته این مطالعه، وجود یک ارتباط قوی و مستقیم بین آشیان اکولوژیک (زیستگاه و رژیم غذایی) هر گونه و مشخصات فیزیکی و شیمیایی میکروپلاستیک‌های بلعیده شده است. گونه‌های پلاژیک و بنتوپلاژیک *A. chalcoides* و *R. frisii* عمدتاً الیاف را مصرف کرده بودند که به دلیل شناوری، در ستون آب فراوان تر هستند. در مقابل، گونه‌های کفزی *N. melanostomus* و *C. saliens* طیف وسیع‌تری از ذرات شامل قطعات و فیلم‌ها را بلعیده بودند که تمایل به ته‌نشینی و تجمع در رسوبات دارند. این مطالعه برای اولین بار نشان داد که ترکیب پلیمری میکروپلاستیک‌ها در ماهیان مصب رودخانه سفیدرود به‌طور معنی‌داری بین گونه‌ها متفاوت است و این تفاوت‌ها به‌شدت تحت تأثیر آشیان اکولوژیک و عادات تغذیه‌ای آنها قرار دارد. این یافته‌ها نه تنها درک ما را از سرنوشت و مسیرهای انتقال پلاستیک در یکی از مهم‌ترین اکوسیستم‌های جنوب دریای خزر تعمیق می‌بخشد، بلکه شواهد قدرتمندی برای استفاده از گونه‌های خاص ماهی به‌عنوان شاخص‌های زیستی برای ردیابی منابع مختلف آلودگی (پسماند مصرفی، تجهیزات شیلات) فراهم می‌کند. نتایج این تحقیق بر لزوم اتخاذ رویکردهای مدیریتی چندجانبه و منبع‌محور (Source-Specific) برای کاهش ورود انواع مختلف پلاستیک به این سیستم آبی حیاتی تأکید می‌ورزد. این مطالعه به‌طور قاطع نشان می‌دهد که ریخت‌شناسی میکروپلاستیک‌های بلعیده‌شده توسط ماهیان مصب سفیدرود، یک شاخص قدرتمند برای شناسایی منابع آلودگی و درک مسیرهای اکولوژیک مواجهه است، در حالی که الیاف ناشی از پساب‌ها آلودگی فراگیری را در ستون آب ایجاد کرده‌اند که گونه‌های پلاژیک را تحت تأثیر قرار می‌دهد، رسوبات بستر به‌عنوان مخزن قطعات و فیلم‌ها عمل کرده و گونه‌های کفزی را به‌طور متفاوتی در معرض خطر قرار می‌دهند. این تفکیک، اطلاعات حیاتی برای طراحی استراتژی‌های پایش و مدیریت هدفمند آلودگی پلاستیک در اکوسیستم‌های ساحلی دریای خزر فراهم می‌کند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از جناب آقای دکتر محمد قلی‌زاده به‌خاطر راهنمایی‌های ارزشمند و پشتیبانی فنی

این زیستگاه دقیقاً محلی است که تجهیزات صیادی گمشده یا دور ریخته‌شده (ALDFG) معروف به "تورهای ارواح"، تجمع می‌یابند. تجزیه این تجهیزات منجر به آزادسازی الیاف و قطعات پلی‌آمید می‌شود. بنابراین، حضور PA در این گونه به‌طور مستقیم فعالیت‌های شیلات در منطقه را به‌عنوان یک منبع مهم آلودگی میکروپلاستیک معرفی می‌کند و *N. melanostomus* را به‌عنوان یک شاخص زیستی (Bioindicator) مؤثر برای این نوع خاص از آلودگی مطرح می‌سازد. یافته دیگر، حضور انحصاری پلی‌اتیلن ترفتالات در ماهی سفید (*R. frisii*). پلی‌اتیلن ترفتالات عمدتاً در تولید بطری‌های نوشیدنی و الیاف نساجی (پلی‌استر) به‌کار می‌رود، چگالی بالاتری نسبت به آب دارد و به سرعت ته‌نشین می‌شود. ماهی سفید یک گونه بنتوپلاژیک است که هم در ستون آب و هم نزدیک به بستر تغذیه می‌کند. این انحصار کامل پلی‌اتیلن ترفتالات در این گونه، که از نظر اقتصادی نیز اهمیت بالایی دارد، سوالات مهمی را مطرح می‌کند. این پدیده ممکن است ناشی از یک ترجیح غذایی خاص برای طعمه‌ای باشد که به‌طور انتخابی ذرات PET را در خود انباشته می‌کند، یا شباهت فیزیکی ذرات PET (مثلاً الیاف پلی‌استر) به یکی از طعمه‌های اصلی این ماهی باشد. این الگوی منحصربه‌فرد بر لزوم مطالعات بیشتر برای درک مسیرهای خاص انتقال PET در شبکه غذایی این اکوسیستم تأکید دارد.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که ماهیان می‌توانند به‌عنوان ابزاری برای ردیابی منابع آلودگی (Source Tracking) عمل کنند. فراوانی PE و PP به لزوم بهبود مدیریت پسماندهای جامد شهری و روستایی در حوضه آبریز سفیدرود اشاره دارد. حضور PA بر ضرورت اجرای برنامه‌هایی برای مدیریت و جمع‌آوری تجهیزات فرسوده صیادی جهت جلوگیری از تبدیل شدن آنها به میکروپلاستیک تأکید می‌کند. غلبه PET در یک گونه تجاری مهم مانند ماهی سفید، زنگ خطری جدی برای ایمنی غذایی و لزوم کنترل ورود بطری‌های پلاستیکی و پساب‌های نساجی به رودخانه است.

نتیجه‌گیری کلی

این تحقیق به‌طور جامع آلودگی میکروپلاستیک را در چهار گونه ماهی از مصب استراتژیک رودخانه سفیدرود در جنوب

ایشان، و همچنین از همکاران محترم آزمایشگاه بوم‌شناسی دانشگاه گنبد کاووس جهت فراهم آوردن امکانات و تجهیزات لازم برای انجام این تحقیق، صمیمانه قدردانی نمایم.

منابع

- جمنی س.، قلی‌زاده م.، پتیمار ر.، فتح‌آبادی ع. ۱۴۰۰. شناسایی و فراوانی ماکروبتوتوزها در مصب رودخانه قره‌سو. نشریه شیلات، ۷۴(۱)، ۳۱-۴۳.
- فومنی ع.، قلی‌زاده م.، حرثیج م.، صلواتیان م. ۱۳۹۹. ارزیابی سلامت رودخانه با استفاده از ماکروبی‌مهره‌داران و پارامترهای کیفیت آب: مطالعه موردی رودخانه شانبه‌بازار، تالاب انزلی، ایران. نشریه شیلات/ایران، ۱۹(۵)، صص ۲۲۹۴-۲۲۷۴.
- قلی‌زاده م.، حیدری ا. ۱۳۹۹. ارزیابی کیفیت آب رودخانه گرگان‌رود بر اساس شاخص‌های کیفیت آب سطحی در گنبد کاووس. نشریه بهداشت و محیط‌زیست ایران، ۱۳(۱)، ۳۳-۴۸.
- Amerizadeh A., Gholizadeh M., Karimi R. 2023 Meta-analysis and health risk assessment of toxic heavy metals in muscles of commercial fishes in Caspian Sea. *Environmental Monitoring and Assessment* 195(4), pp. 457.
- Bagheri T., Pourang N., Saravi H.N., Bandpei M.A.A., Fazli H., Gholizadeh M., Yazarlou M. 2024 Risk assessment of microplastics influenced by human activities along the gorganroud river (Iran) and its estuary to the Caspian Sea. *Journal of Polymers and the Environment* 32(2), 815-825.
- Bosshart S., Erni-Cassola G., Burkhardt-Holm P. 2020 Independence of microplastic ingestion from environmental load in the round goby (*Neogobius melanostomus*) from the Rhine River using high quality standards. *Environmental Pollution* 267, pp. 115664.
- Dalu T., Themba S.T., Dondofema F., Wu N., Munyai L.F. 2024 Assessing microplastic abundances in freshwater fishes in a subtropical African reservoir, *Discover Sustainability* 5(1), pp. 360.
- Esmailbeigi M., Kazemi A., Gholizadeh M., Rezaeiyyeh R.D. 2023 Microplastics and heavy metals contamination in *Atropus atropos* and associated health risk assessment in the northwest of the Persian Gulf, Iran. *Regional Studies in Marine Science*, 57, pp. 102750.
- Foomani A., Gholizadeh M., Harsij M., Salavatian M. 2020 River health assessment using macroinvertebrates and water quality parameters: A case of the Shanbeh-Bazar River, Anzali Wetland, Iran, *Iranian Journal of Fisheries Sciences* 19(5), 2274-2292.
- Gholizadeh M., Heydari O. 2020 Evaluation of Gorganroud River water quality based on surface water quality indicators in Gonbad Kavous. *Iranian Journal of Health and Environment* 13(1), 33-48.
- Gholizadeh M., Bagheri T., Harsij M., Danabas D., Zakeri M. Siddique M.A.M. 2024b Assessment of microplastic contamination in some commercial fishes of the southern Caspian Sea and its potential risks. *Environmental Science and Pollution Research* 31(17), 26006-26018.
- Gholizadeh M., Hedayati A., Pouladi M., Sundaramanickam A. 2024a Source of plastic contamination of the rivers ending to the Gorgan Bay, southeast of the Caspian Sea, Iran. *Frontiers in Marine Science* 11, pp. 1150755.
- Hedayati A., Gholizadeh M., Bagheri T., Abarghouei S., Zamani W. 2022 Microplastics in marine ecosystems. *Sustainable Aquatic Research* 1(2), 63-73.
- Hossain M.A., Olden J.D. 2022 Global meta- analysis reveals diverse effects of microplastics on freshwater and marine fishes. *Fish and Fisheries* 23(6), 1439-1454.
- Jamani S., Gholizadeh M., Patimar R., Fathabadi A. 2021 Identification and Abundance of Macroinvertebrates in Estuary of the Gharehsou River, *Journal of Fisheries* 74(1), 31-43.
- Kasmuri N., Tarmizi N.A.A., Mojiri A. 2022 Occurrence, impact, toxicity, and degradation methods of microplastics in environment—a review. *Environmental Science and Pollution Research* 29(21), 30820-30836.
- Masoudi E., Hedayati A., Bagheri T., Salati A., Safari R., Gholizadeh M., Zakeri M. 2022 Different land uses influenced on characteristics and distribution of microplastics in Qarasu Basin Rivers, Gorgan Bay, Caspian Sea. *Environmental Science and Pollution Research* 29(42), 64031-64039.
- Parker B., Andreou D., Green I.D., Britton J.R. 2021 Microplastics in freshwater fishes: Occurrence, impacts and future perspectives. *Fish and Fisheries* 22(3), 467-488.
- Shi W., Sun S., Han Y., Tang Y., Zhou W., Du X., Liu G. 2021 Microplastics impair olfactory-mediated behaviors of goldfish *Carassius auratus*. *Journal of Hazardous Materials* 409, pp. 125016.

Characterization and source apportionment of microplastics in four fish species from the Sefid-Rud River estuary, Iran

Pouya Pourahmadi, Mina Torabifard*, Shahrzad Khoramnejadian, Behnaz Moradi Ghiasabadi

Department of Environment, Dmv.c., Islamic Azad University, Damavand, Iran.

*Corresponding author: torabifard.mina@iau.ir

Received: 5.Sep.2025

Accepted: 15.Oct.2025

Abstract

Micro plastic pollution is an emerging and widespread threat to aquatic ecosystems worldwide. The Sefidrud estuary is one of the major entry points of freshwater and contaminants into the southern Caspian Sea. This study aimed to investigate the abundance, distribution, and physicochemical characteristics of microplastics in the gastrointestinal tract of four fish species with different ecological niches (*Alburnus chalcoides*, *Neogobius melanostomus*, *Rutilus frisii*, and *Chelon saliens*) during autumn 2024. The gastrointestinal tracts were chemically digested using KOH, and the extracted microplastic particles were isolated, counted, and classified based on their physical properties. The polymer composition of a subset of particles was identified using FTIR spectroscopy. The results revealed that all species were contaminated with micro plastics, with the highest abundance observed in *N. melanostomus* (3.21 ± 0.6 particles per individual). Fibers were the dominant shape in most species; however, the benthic species *N. melanostomus* and *C. saliens* exhibited a greater diversity of fragments and films. A distinct variation in polymer composition was observed among species. Polyethylene (PE) was detected exclusively in *A. chalcoides*, polyethylene terephthalate (PET) solely in *R. frisii*, and polyamide (PA) only in *N. melanostomus*. These findings indicate that ecological niche and feeding strategy are key determinants of micro plastic exposure pathways, resulting in species-specific contamination profiles. Fish in this ecosystem can serve as effective bio indicators for tracing diverse pollution sources. The study highlights the urgent need for targeted management actions to reduce plastic inputs into this vital ecosystem.

Keywords: Fibers, Native Fish, Microplastic pollution, Polymer composition, Sefid-Rud River