

آلودگی میکروپلاستیک در صدف دوکفه‌ای آنودونت *Anodonta cygnea*، آب و رسوبات رودخانه سیاه‌درویشان استان گیلان

هاله رحمانی^۱، جاوید ایمانپور نمین^{۲*}، مسلم شریفی نیا^۳

DOI: 10.22124/japb.2024.28336.1552

تاریخ پذیرش: آبان ۱۴۰۳

تاریخ دریافت: شهریور ۱۴۰۳

چکیده

به ذرات پلاستیک کوچک‌تر از ۵ میلی‌متر میکروپلاستیک گفته می‌شود. آلودگی میکروپلاستیک‌ها (MPs) یک تهدید جهانی برای اکوسیستم‌های آبی است. با توجه به این که انواع آلاینده‌ها از جمله میکروپلاستیک‌ها از منابع مختلف وارد رودخانه سیاه‌درویشان (گیلان) می‌شوند، در مطالعه حاضر، آلودگی میکروپلاستیک در دوکفه‌ای آنودونت *Anodonta cygnea*، آب و رسوبات این رودخانه مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌های دوکفه‌ای، رسوب و آب از سه ایستگاه از خرداد تا شهریور ماه ۱۴۰۲ جمع‌آوری شد. تعداد ۶۵ دوکفه‌ای نمونه‌برداری و بررسی شدند. میانگین طول و وزن کل دوکفه‌ای‌ها به ترتیب $113/90 \pm 3/97$ میلی‌متر و $143/78 \pm 14/96$ گرم بود. میکروپلاستیک‌ها در تمام نمونه‌ها مشاهده و شناسایی شد. میانگین فراوانی میکروپلاستیک در بافت نرم دوکفه‌ای $34/13 \pm 11/88$ ذره در هر فرد و $0/38 \pm 0/15$ ذره در هر گرم بافت نرم، در رسوب $853/33 \pm 296/31$ ذره در یک کیلوگرم رسوب خشک و در آب $0/77 \pm 0/15$ ذره در لیتر بود. همبستگی معناداری از نظر مقدار میکروپلاستیک و شکل، بین آب و دوکفه‌ای، رسوب و دوکفه‌ای و رسوب و آب وجود نداشت ($P > 0/05$). اما از لحاظ اندازه ذرات، بین آب و دوکفه‌ای، رسوب و دوکفه‌ای و رسوب و آب همبستگی مثبت معناداری وجود داشت ($P < 0/05$). علاوه بر این، هیچ همبستگی بین غلظت میکروپلاستیک‌ها با وزن کل، وزن بافت نرم و طول پوسته وجود نداشت ($P > 0/05$). شکل غالب میکروپلاستیک‌ها فیبر و قطعه بود و اغلب به رنگ سیاه بودند. از میان پلیمرهای پلاستیکی که با استفاده از دستگاه ATR-FTIR شناسایی شدند، پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن به ترتیب غالب‌ترین پلیمرها بودند. میانگین اندازه غالب در بافت نرم دوکفه‌ای و رسوب در تمام ایستگاه‌ها ۱-۰/۵ میلی‌متر و در آب ۲-۱ میلی‌متر بود.

واژگان کلیدی: دوکفه‌ای *Anodonta cygnea*، میکروپلاستیک، رسوب، پلیمر، رودخانه ایران.

۱- دکتری بوم‌شناسی آبیان، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران.

۲- دانشیار گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران.

۳- استادیار پژوهشکده میگوی کشور، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بوشهر، ایران.

* نویسنده مسئول: imanpour@guilan.ac.ir

مقدمه

آلودگی پلاستیک در سیستم‌های آبی از دهه ۱۹۵۰ به طور قابل توجهی افزایش یافته است و به دلیل سرعت تجزیه پایین این مواد، به طور فزاینده‌ای به یک مشکل عمده در سراسر جهان تبدیل شده است (Aura et al., 2024). طبق گزارش اتحادیه بین‌المللی حفاظت از طبیعت (IUCN)، پلاستیک ۸۰ درصد از کل زباله‌های دریایی را تشکیل می‌دهد که از آب‌های سطحی تا رسوبات کف دریا گسترده شده‌اند و بخش عمده‌ای از آن (۸۰ تا ۹۰ درصد) از منابع مستقر در خشکی نشأت می‌گیرد. مقدار کمی پلاستیک نیز از طریق منابع مستقر در اقیانوس مانند صنعت ماهیگیری، آبی‌پروری و فعالیت‌های دریانوردی به این محیط اضافه می‌شود (Abisha et al., 2024). مسیرهای رودخانه‌ای می‌توانند کلیدی‌ترین عامل انتقال میکروپلاستیک‌ها از خشکی به محیط‌های دریایی باشند (Napper et al., 2023). منابع رایج آلودگی پلاستیکی در محیط‌های خشکی و دریایی از مواد بسته‌بندی که کاربرد روزانه دارند، ناشی می‌شود که از پلی‌اتیلن (PE)، پلی‌پروپیلن (PP)، پلی‌استایرن (PS)، پلی‌اتیلن ترفتالات (PET)، پلی‌وینیل کلرید (PVC) و پلی‌آمید (PA) تشکیل شده است (Bonifacio et al., 2022).

پلاستیک یک ماده مصنوعی با دوام بالا، ساخته شده از مولکول‌های آلی است که به دلیل قابلیت شکل‌دهی آسان به شکل‌های مختلف دارای کاربردهای گوناگون است (Dos Santos et al., 2023) و به دلیل داشتن وزن سبک، قیمت ارزان و انعطاف‌پذیری در بسته‌بندی مواد غذایی، تجهیزات پزشکی، داروها و صنعت ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرد (Aura et al., 2024; Otegui et al., 2024).

پلاستیک از مولکول‌های زنجیره‌ای بلند به نام ماکرومولکول تشکیل شده است. به دلیل همین زنجیره‌های بلند سازنده آن، پلاستیک نمی‌تواند به سرعت تجزیه شود. ذرات پلاستیک در اندازه‌های مختلفی وجود دارند که میکروپلاستیک‌ها یکی از آن دسته‌ها هستند. میکروپلاستیک‌ها (MP) ذرات پلاستیکی با اندازه‌ای کمتر از ۵ میلی‌متر هستند (Crawford and Quinn, 2017; Wang et al., 2022; Joshy et al., 2021). میکروپلاستیک‌ها بر اساس منشا به دو دسته اولیه و ثانویه تقسیم می‌شوند. بخش قابل توجهی از این ذرات میکروسکوپی به طور

مستقیم و در اندازه‌های کوچک تولید می‌شوند که میکروپلاستیک‌های اولیه نامیده می‌شوند. این میکروپلاستیک‌های اولیه به عنوان پایه پلاستیک به کار می‌روند و برای تولید وسایل پلاستیکی رایج، ذوب و قالب‌گیری می‌شوند. همچنین از این گرانول‌های ریز می‌توان در مواد ساینده موجود در محصولات بهداشتی مانند خمیر دندان و شوینده‌های صورت و در لوازم آرایشی و فعالیت‌های صنعتی استفاده کرد (Lin et al., 2018; Ferguson et al., 2024). میکروپلاستیک‌های ثانویه از طریق خرد شدن پلاستیک‌های بزرگ‌تر در اثر فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی از جمله تجزیه شدن توسط موجودات زنده، تخریب ناشی از نور خورشید (اشعه فرابنفش)، امواج و باد به ذرات کمتر از ۵ میلی‌متر تجزیه شده‌اند، تشکیل می‌شوند (Bom and Sa, 2021; Joshy et al., 2022; Aura et al., 2024; Ferguson et al., 2024). میکروپلاستیک‌ها در مصب‌ها، مانگروها، تالاب‌ها، خلیج‌ها، رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و اقیانوس‌ها و حتی در هوا و خاک یافت می‌شوند و به دلیل جذب آلاینده‌های شیمیایی و ورود به زنجیره غذایی، از موجودات کوچک تا انسان، به مشکل زیست‌محیطی تبدیل شده‌اند. میکروپلاستیک‌ها شناور هستند و در رسوبات ته‌نشین می‌شوند و این امکان را به ذرات می‌دهند که به طور تصادفی توسط موجودات بلعیده شوند. از آنجایی که تغذیه نرم‌تنان دوکفه‌ای از طریق فیلتراسیون مواد آلی و پلانکتون‌ها است، از این رو ذرات میکروپلاستیکی که شناور هستند و یا در رسوبات ته‌نشین شده‌اند، در هنگام فیلتراسیون به همراه مواد غذایی وارد بدن صدف شده و در بافت صدف انباشته می‌شوند (Aura et al., 2024).

دوکفه‌ایان (*Bivalvia*) به دلیل کم‌ تحرکی، مقاومت نسبی در برابر مواد زائد خطرناک و پراکنش گسترده در زیستگاه‌های آبی سراسر جهان، به عنوان نشانگرهای زیستی (*Biomarkers*) جهانی برای شناسایی مقدار آلاینده‌های شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Gedik and Atasarl, 2022).

صدف دوکفه‌ای آنودونت *Anodonta cygnea* عضوی از خانواده (*Unionidae*) است و یکی از بزرگترین صدف‌های آب شیرین به شمار می‌رود که پراکندگی وسیعی در جهان دارد (Chojnacki et al., 2011). این صدف در آبگیرهایی با عمق ۰/۲ متر تا چندین متر زندگی می‌کند (Moi et al., 2017). زیستگاه اصلی صدف آنودونت *A. cygnea* آب‌های کم عمق و

زباله‌های خانگی و زباله‌های پلاستیکی مواجهه است (Ismanto et al., 2023).

این مطالعه اولین شواهد را در مورد آلودگی با میکروپلاستیک در دوکفه‌ای آنودونت در رودخانه سیاه‌درویشان ارائه کرده و مبنایی را برای ارزیابی تغییرات در آینده ایجاد می‌کند. هدف این مطالعه، بررسی آلودگی میکروپلاستیک در بافت صدف دوکفه‌ای آنودونت، آب‌ها و رسوبات اطراف آن در رودخانه و همچنین بررسی رابطه آنها با یکدیگر در مناطق نمونه‌برداری برای اولین بار بود.

مواد و روش‌ها

منطقه نمونه‌برداری

برای بررسی مقدار میکروپلاستیک در دوکفه‌ای آنودونت (*Anodonta cygnea*) در سه ایستگاه رودخانه سیاه‌درویشان (گیلان) (شکل ۱)، از خرداد تا شهریور ۱۴۰۲، ۶۵ عدد صدف جمع‌آوری شد. انتخاب این ایستگاه‌ها بر اساس در دسترس بودن این دوکفه‌ای صورت گرفت. همزمان با جمع‌آوری صدف‌ها، نمونه‌برداری از رسوبات و آب نیز در این سه ایستگاه و به صورت سه تکرار انجام شد (Patterson et al., 2021).

راکد مانند تالاب‌ها و آبرگیرها است. اگرچه در رودخانه‌ها و نه‌های کم جریان نیز یافت می‌شود (Ranjbar et al., 2021). این گونه نسبت به شرایط نامناسب محیطی حساس است (Moi et al., 2017). صدف آنودونت از ساکنین بومی تالاب انزلی است و به دلیل آلودگی و افت کیفی زیستگاه، جمعیت آن در معرض تهدید قرار گرفته است (اشجع اردلان و همکاران، ۱۳۸۵). از آنجایی که این دوکفه‌ای‌ها طعمه برخی از ماهی‌ها، پرندگان و پستانداران هستند، میکروپلاستیک‌ها را به سطوح بالاتر زنجیره غذایی منتقل می‌کنند (Tran-Nguyen et al., 2023). میکروپلاستیک‌ها می‌توانند در بدن موجودات زنده انباشته شوند و بر سلامت مصرف‌کنندگان تاثیر بگذارند (Tran-Nguyen et al., 2023). مطالعات اندکی بر روی پتانسیل دوکفه‌ای‌ها به عنوان نشانگرهای زیستی آلودگی با میکروپلاستیک‌ها در ایران انجام شده است (Strady et al., 2021).

رودخانه سیاه‌درویشان (گیلان، ایران) یکی از رودخانه‌های مهمی است که به تالاب انزلی می‌ریزد. این رودخانه نیز با چالش جدی آلودگی ناشی از ورود فزاینده زباله از منابع مختلف از جمله پساب‌های صنعتی، رواناب‌های کشاورزی،



شکل ۱: ایستگاه‌های نمونه‌برداری از دوکفه‌ای آنودونت (*Anodonta cygnea*). آب و رسوبات رودخانه سیاه‌درویشان

جمع‌آوری نمونه‌ها

شدند و در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد برای تجزیه و تحلیل بعدی نگهداری شدند (Tran-Nguyen et al., 2023). برای نمونه‌برداری از آب، ۲۰ لیتر آب (با سه تکرار) با استفاده از یک نمونه‌گیر استوانه‌ای (PVC) به طول حدود ۲ متر و قطر ۶۳ میلی‌متر از عمق ۱/۵ متری برداشته شد. محتوای هر نمونه در محل از الک (۳۰ میکرومتر) عبور داده شده و در بطری شیشه‌ای درب‌دار جمع‌آوری شد و در کوتاه‌ترین زمان ممکن به آزمایشگاه منتقل شد (Wakkaf et

al., 2024). سپس صدف‌ها به صورت جداگانه در فویل آلومینیومی پیچیده و بلافاصله منجمد شدند. با استفاده از ساچوک از عمق ۱-۱/۵ متری جمع‌آوری شدند. نمونه‌های جمع‌آوری شده در یونولیت حاوی بسته‌های یخ و در شرایط عاری از هر گونه آلودگی نگهداری (Patterson et al., 2021) و برای بررسی‌های بعدی به آزمایشگاه زیست دریایی دانشگاه گیلان (دانشکده علوم پایه) منتقل شدند (Abisha et al., 2024).

محلول پتاسیم هیدروکسید (KOH) ۱۰ درصد به میزان دو برابر حجم توده بافتی استفاده شد. این محلول دارای ثبات بالایی است و اثر مخربی بر روی پلیمرها ندارد (Bom et al., 2022) و در بررسی مقدار میکروپلاستیک از آن استفاده می‌شود (Bom and Sa, 2021). دهانه بشر با فویل آلومینیومی پوشانده شد و در آن در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ تا ۴۸ ساعت (بسته به اثر هضم بافت نرم) قرار داده شد (Tran-Nguyen et al., 2023). پس از اطمینان از هضم، محتویات باقیمانده از کاغذ صافی واتمن با منافذ ۵ میکرومتر عبور داده شد (Agharokh et al., 2022). فیلترها درون پتری‌های شیشه‌ای با درپوش قرار داده شدند تا در دمای محیط خشک شوند (Bom et al., 2022).

برای استخراج میکروپلاستیک‌ها از آب، محتوای آب که در بطری‌های شیشه‌ای نگهداری می‌شد، تحت هضم قلیایی قرار گرفت (Wakkaf et al., 2020). برای نمونه‌های آب، جداسازی میکروپلاستیک‌ها با استفاده از محلول سدیم کلرید (NaCl) با غلظت ۱/۲ گرم در لیتر انجام شد (Agharokh et al., 2022).

برای استخراج میکروپلاستیک‌ها از رسوبات، ۵۰ گرم رسوب خشک به بشر شیشه‌ای اضافه

al., 2020; Truchet et al., 2021; Gedik and Atasarl, 2022).

نمونه‌های رسوب با سه تکرار در هر ایستگاه توسط غرب ون‌وین ۰/۲×۰/۲ متر برداشت شد. از هر ایستگاه حدود ۱۰۰۰ گرم رسوب جمع‌آوری و در بطری‌های شیشه‌ای تمیز قرار داده شده (Nikhil et al., 2024) و به آزمایشگاه منتقل شد. خشک کردن رسوب در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. این دما کمتر از نقطه ذوب و تغییر شکل پلیمرها است، بنابراین شکل پلیمرها تغییر پیدا نمی‌کند (Agharokh et al., 2022).

استخراج میکروپلاستیک‌ها

صدف‌ها در دمای اتاق یخ‌زدایی شدند و سپس برای زیست‌سنجی شاخص‌های وزن کل (گرم)، طول پوسته (میلی‌متر) و وزن بافت نرم (گرم) اندازه‌گیری شد (Patterson et al., 2021; Jankauskas et al., 2024). برای تعیین وزن، از ترازو با دقت ۰/۰۱ (GR200، AND، ژاپن) استفاده شد و اندازه‌گیری طول صدف نیز با کولیس (با دقت ۰/۰۲) صورت گرفت (Jankauskas et al., 2024).

در مرحله بعد بافت نرم تک تک صدف‌ها از پوسته جدا شد (Patterson et al., 2021) و به درون بشر ریخته شد. به منظور هضم ماده آلی،

2022) و به شش دسته شامل ۰/۵-۱، ۱-۰/۵، ۱-۲، ۲-۳، ۳-۴ و ۴-۵ میلی‌متر (Nikhil et al., 2024) تقسیم شدند. برای اندازه‌گیری میکروپلاستیک‌ها، بیشترین طول ذرات در نظر گرفته شد.

ترکیب شیمیایی و ویژگی‌های مورفولوژیکی هر یک از میکروپلاستیک‌ها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM، Hitachi، SU3500، ژاپن) و طیف‌سنج پراش انرژی پرتو ایکس (EDS، Amptek، آمریکا) بررسی شد. از کل ذرات جدا شده، حدود ۱۵ درصد برای تایید نوع پلیمر با طیف گسترده‌ای از رنگ‌ها، شکل‌ها و اندازه‌ها به صورت تصادفی انتخاب شدند تا نمایشی فراگیر و دقیق از کل نمونه‌های آزمایش شده به دست آید. برای شناسایی نوع پلیمر، ذرات با شکل‌ها، رنگ‌ها و اندازه‌های مختلف انتخاب و با استفاده از طیف‌سنجی ATR-FTIR (Attenuated Total Reflectance- Fourier Transform Infrared Spectroscopy، Nicolette، Nexus 470، Thermo Fisher، آمریکا) تایید شدند. داده‌های به دست آمده با طیف‌های مرجع در یک بانک اطلاعاتی مقایسه شد (پایگاه داده Open Specy.org) (Abisha et al., 2024).

شد. سپس رسوبات با الک ۵ میلی‌متری غربال شدند تا ذرات درشت آن جدا شوند (Chinfak et al., 2021; Jiang et al., 2022; Fraissinet et al., 2024). به محلول جداسازی شده بر اساس چگالی ۲۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌لیتر محلول اشباع سدیم کلرید ۲۹۳ گرم در لیتر اضافه شد. نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای اتاق باقی ماندند و سپس قسمت بالایی محلول فیلتر شد (Abisha et al., 2024). کاغذهای صافی برای حذف نمک با آب یونیزه شستشو داده شد. تمامی فیلترها در درون پتری‌های شیشه‌ای با درپوش قرار داده شدند تا در دمای محیط خشک شوند (Bom et al., 2022).

مشاهده و شناسایی میکروپلاستیک‌ها

کاغذهای صافی حاوی ذرات میکروپلاستیک با استریومیکروسکوپ (Leica، WILD M3Z، آلمان) با بزرگنمایی ۶۵× بررسی شدند. ذرات بر اساس شکل (فیلم، فیبر، گرانول و قطعه) و رنگ (قرمز، آبی، سیاه، زرد، صورتی، سفید، سبز، خاکستری، قهوه‌ای و بنفش) شمارش و طبقه‌بندی شدند. از نظر اندازه، ذرات میکروپلاستیک با استفاده از عدسی مدرج کالیبره شده اندازه‌گیری (Agharokh et al., 2024).

دستکش‌های نیتریل و روپوش‌های آزمایشگاهی نخی و ظروف شیشه‌ای استفاده شد. تمام ظروف شیشه‌ای قبل از آزمایش، با آب مقطر شستشو داده شده و پس از خشک شدن، بلافاصله برای جلوگیری از آلودگی با میکروپلاستیک‌های موجود در هوا، با فویل آلومینیومی پوشانده شدند. در طول مراحل استخراج (نمونه صدف، رسوب و آب)، از فویل آلومینیومی برای ایزوله کردن نمونه‌ها از محیط استفاده شد (Rasta et al., 2022).

تحلیل داده‌های آماری

برای مقایسه میکروپلاستیک‌های آب، رسوب و صدف در ایستگاه‌ها از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) و پس‌آزمون توکی در سطح اطمینان ۹۵ درصد ($P < 0.05$) استفاده شد. نتایج به صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار ارائه شده است. ضریب همبستگی پیرسون برای بررسی روابط بین فراوانی میکروپلاستیک برای ترکیبات آب-رسوب، آب-صدف و صدف-رسوب و ارزیابی ارتباط بین طول پوسته و وزن بدن و میزان آلودگی میکروپلاستیک به کار رفت. برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از SPSS 22 و برای رسم

اگرچه طبق توصیه Hermesen و همکاران (۲۰۱۸) در مورد کمترین تعداد ذرات مورد نیاز برای تجزیه و تحلیل، برای تعداد ذرات بیشتر از ۱۰۰، بیش از ۵۰ درصد با دست کم ۱۰۰ ذره باید بررسی شوند، با این حال به دلیل محدودیت منابع مالی، سعی شد تا حد امکان بیشترین تعداد ذرات در شکل‌ها، رنگ‌ها و اندازه‌های مختلف بررسی شود.

فراوانی میکروپلاستیک‌ها در آب، رسوب و دوکفه‌ای‌ها به ترتیب به صورت تعداد ذره در لیتر، ذره در کیلوگرم وزن خشک و تعداد ذره در هر صدف و در هر گرم بافت نرم بیان شد (Chinfak et al., 2021).

برای محاسبه مقدار میکروپلاستیک در بافت نرم صدف‌ها، از وزن بافت نرم و تعداد ذرات میکروپلاستیک موجود در هر نمونه استفاده شد (Bruzaca et al., 2022).

ایمنی و کنترل آلودگی

تمامی نمونه‌های صدف جمع‌آوری شده قبل از خارج کردن بافت نرم، با آب مقطر شسته شدند. برای کاهش احتمال آلودگی، تمامی سطوح کار قبل و بعد از استفاده با الکل ۷۰ درصد شستشو داده شد. برای جلوگیری از هرگونه آلودگی در تمام مراحل آزمایش از

نمودارها از Microsoft Excel 2019 استفاده شد.

نتایج

نتایج زیست‌سنجی دوکفه‌ای‌های آنودونت جمع‌آوری شده از ایستگاه‌های مختلف رودخانه سیاه‌درویشان در جدول ۱ ارائه شده است.

فراوانی میکروپلاستیک‌ها در دوکفه‌ای‌ها

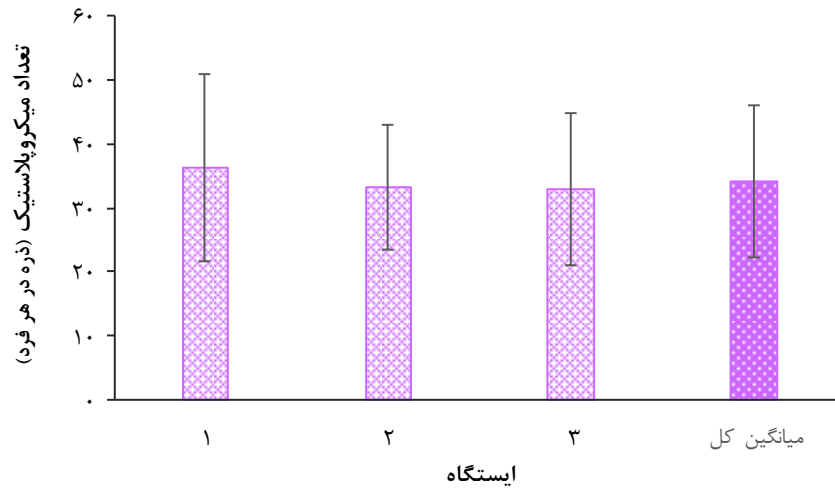
میکروپلاستیک‌ها در تمامی نمونه‌های دوکفه‌ای (*A. cygnea*) که از سه ایستگاه در رودخانه سیاه‌درویشان جمع‌آوری شده بودند، با شکل‌ها، اندازه‌ها و رنگ‌های مختلف وجود داشتند. میانگین تعداد میکروپلاستیک‌ها $34/13 \pm 11/88$ ذره در هر فرد و $0/38 \pm 0/15$

ذره در هر گرم بافت نرم بود. کمترین مقدار در ایستگاه شماره ۳ ($32/90 \pm 11/79$) ذره در هر فرد و $0/36 \pm 0/12$ ذره در هر گرم بافت نرم) و بیشترین مقدار در ایستگاه شماره ۱ ($36/30 \pm 14/51$) ذره در هر گرم بافت نرم) اندازه‌گیری شد (شکل ۲). تفاوت معناداری در فراوانی میکروپلاستیک‌های یافت شده (ذره در هر فرد و در هر گرم بافت نرم) در سه محل نمونه‌برداری وجود نداشت ($P > 0/05$). بررسی ارتباط بین فراوانی میکروپلاستیک و ویژگی‌های زیست‌سنجی صدف‌ها نشان داد که هیچگونه همبستگی بین مقدار میکروپلاستیک‌ها با وزن کل، وزن بافت نرم و طول پوسته وجود نداشت (آزمون همبستگی پیرسون، $P > 0/05$).

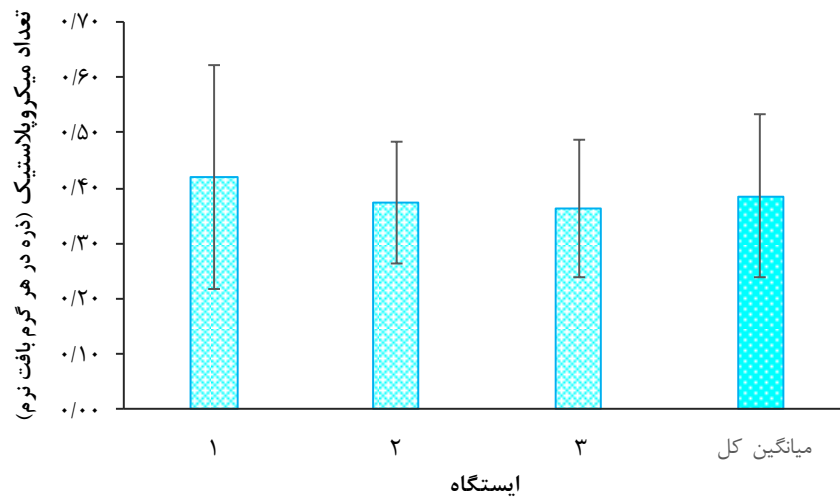
جدول ۱: ویژگی‌های زیست‌سنجی نمونه‌های دوکفه‌ای آنودونت جمع‌آوری شده از رودخانه سیاه‌درویشان (میانگین $\pm$ انحراف معیار)

ایستگاه	عرض جغرافیایی (N)	طول جغرافیایی (E)	طول پوسته (میلی‌متر)	وزن کل (گرم)	وزن بافت نرم (گرم)
۱	$37^{\circ}39'88/2''$	$49^{\circ}41'58/4''$	$116/69 \pm 3/08$	$154/59 \pm 15/75$	$93/67 \pm 21/90$
۲	$37^{\circ}41'05/2''$	$49^{\circ}40'53/3''$	$113/49 \pm 2/28$	$140/71 \pm 9/74$	$90/86 \pm 9/72$
۳	$37^{\circ}43'41/7''$	$49^{\circ}42'04/5''$	$112/65 \pm 3/41$	$138/03 \pm 12/48$	$90/99 \pm 9/17$

الف



ب



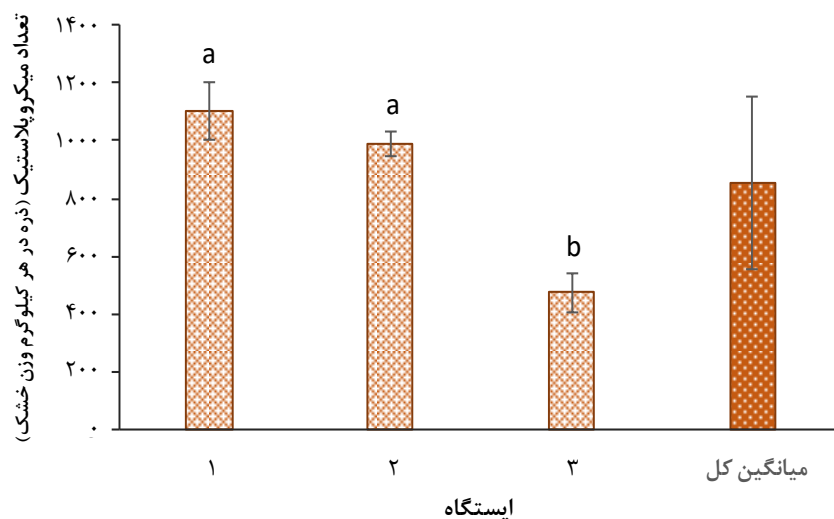
شکل ۲: فراوانی میکروپلاستیک‌ها در بافت نرم آنودونت *Anodonta cygnea* (میانگین $\pm$ انحراف معیار).
 الف) فراوانی میکروپلاستیک‌ها در هر صدف. ب) فراوانی میکروپلاستیک‌ها در هر گرم بافت نرم. اختلاف معنی‌داری بین ایستگاه‌های مختلف مشاهده نشد ($P > 0.05$).

فراوانی میکروپلاستیک‌ها در رسوبات و آب

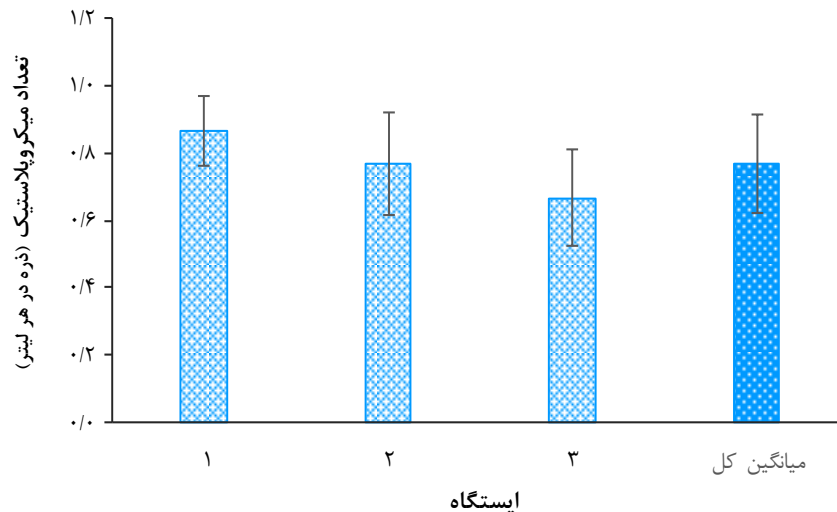
میکروپلاستیک‌ها در نمونه‌های رسوب هر سه ایستگاه یافت شدند. میانگین کل میکروپلاستیک‌ها $۸۵۳/۳۳ \pm ۲۹۶/۳۱$ ذره در یک کیلوگرم رسوب خشک بود. ایستگاه ۱ با تعداد ۱۱۰۰ ± ۱۰۰ ذره و ایستگاه ۳ با تعداد ۴۷۳ ± ۷۰ ذره در ۵۰ گرم رسوب خشک به ترتیب بیشترین و کمترین تعداد میکروپلاستیک را از لحاظ فراوانی به خود اختصاص دادند ($P < ۰/۰۵$; شکل ۳).

میانگین کل ذرات میکروپلاستیک مشاهده شده در نمونه‌های آب تمام ایستگاه‌ها

میانگین کل ذرات میکروپلاستیک مشاهده شده در نمونه‌های آب تمام ایستگاه‌ها $۰/۷۷ \pm ۰/۱۵$ ذره در لیتر بود. ایستگاه شماره ۱ با $۰/۸۷ \pm ۰/۱۰$ ذره در لیتر بیشترین فراوانی و ایستگاه شماره ۳ با $۰/۶۷ \pm ۰/۱۴$ ذره در لیتر کمترین فراوانی را نشان داد (شکل ۴). با این وجود، اختلاف معنی‌داری بین فراوانی میکروپلاستیک‌ها در نمونه‌های آب ایستگاه‌های مختلف وجود نداشت ($P > ۰/۰۵$).



شکل ۳: فراوانی میکروپلاستیک‌ها در رسوبات رودخانه سیاه‌درویشان (میانگین $\pm$ انحراف معیار). حروف متفاوت روی ستون‌ها نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری است ($P < ۰/۰۵$).

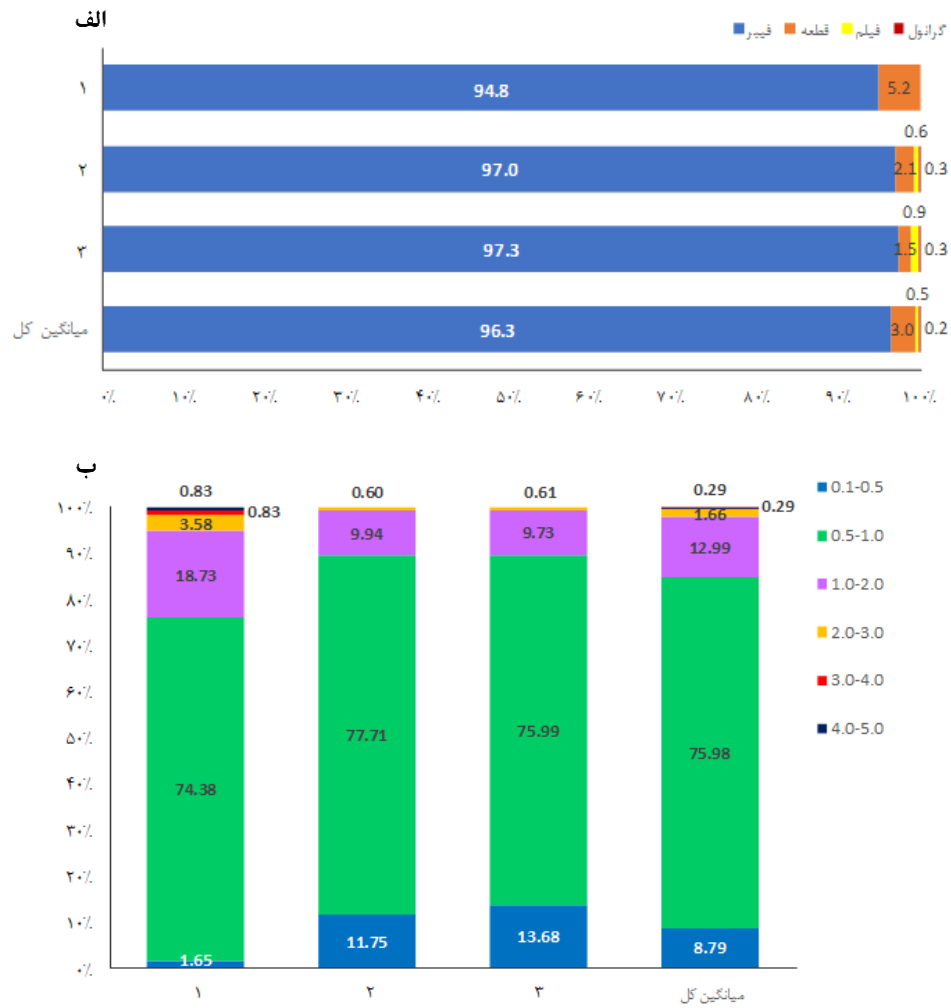


شکل ۴: فراوانی میکروپلاستیک‌ها در آب رودخانه سیاه‌درویشان (میانگین $\pm$ انحراف معیار). اختلاف معنی‌دار بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری مشاهده نشده است ($P > 0.05$).

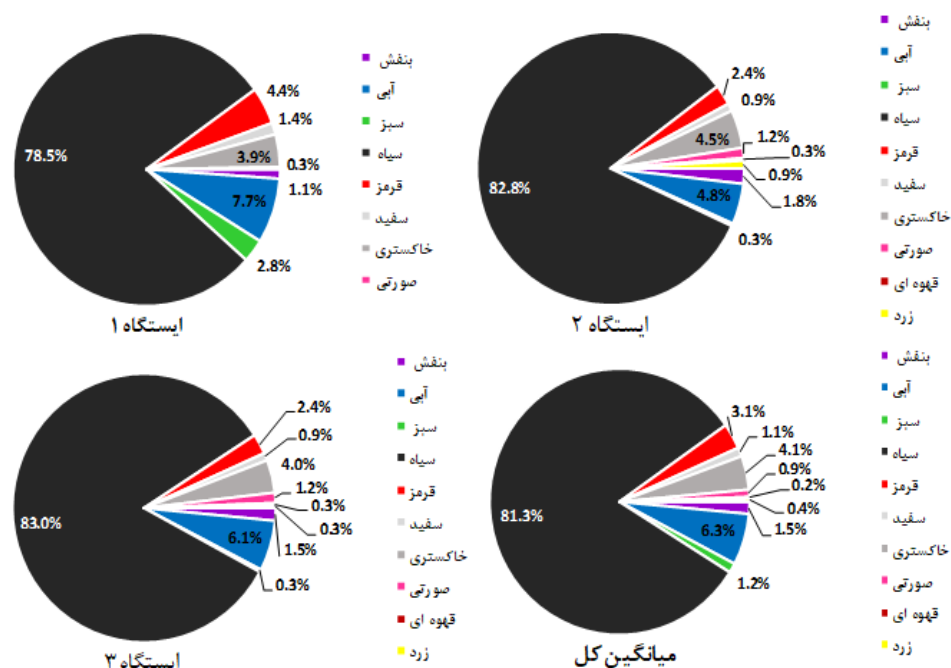
در شکل ۵- الف نشان داده شده است، فیبر و قطعه در نمونه‌های همه ایستگاه‌ها یافت شد و درصد فیبر در هر محل بیش از ۹۰ درصد بود. میانگین اندازه غالب در بافت نرم دوکفه‌ای در تمام ایستگاه‌ها ۱-۰/۵ میلی‌متر (۷۵/۹۸ درصد) بود (شکل ۵- ب). رنگ‌های میکروپلاستیک‌ها در دوکفه‌ای‌ها در ۱۰ رنگ مشاهده شد (شکل ۶) که، رنگ سیاه با میانگین ۸۱/۳ درصد در کل سه ایستگاه، رنگ غالب بود.

شکل، اندازه و رنگ میکروپلاستیک‌ها در دوکفه‌ای‌ها، رسوبات و آب

چهار شکل مختلف از میکروپلاستیک‌ها شامل فیبر (رشته‌ای)، قطعه (تکه پاره)، فیلم (غشایی) و گرانول (دانه‌ای) در نمونه‌های دوکفه‌ای شناسایی شد. رایج‌ترین شکل میکروپلاستیک‌ها، فیبر (۹۶/۳ درصد) بود و پس از آن قطعه (۳ درصد)، فیلم (۰/۵ درصد) و گرانول (۰/۲ درصد) قرار داشتند. همان‌طور که



شکل ۵: دسته‌بندی میکروپلاستیک‌های جداسازی شده از بافت نرم آنودونت (*Anodonta cygnea*). الف) دسته‌بندی از لحاظ شکل. ب) دسته‌بندی از لحاظ اندازه.



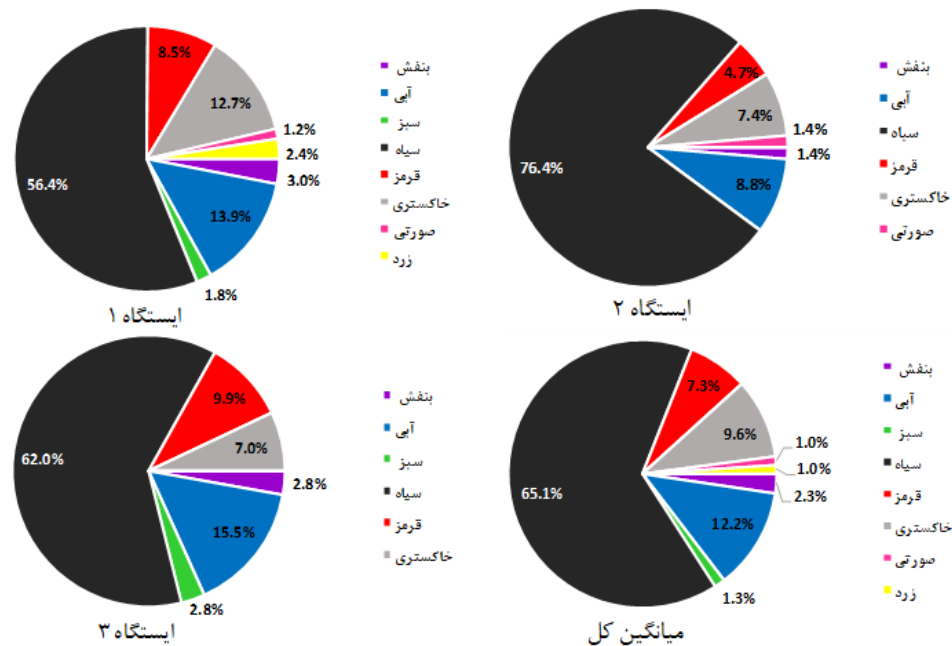
شکل ۶: دسته‌بندی میکروپلاستیک‌های جداسازی شده از بافت نرم آنودونت (*Anodonta cygnea*) از لحاظ رنگ

در رسوبات، میکروپلاستیک‌ها از لحاظ شکل به دو دسته فیبر و قطعه تقسیم‌بندی شدند و میکروپلاستیک‌های به شکل فیبر بیشترین فراوانی را در تمام ایستگاه‌ها (۸۹/۸ درصد) داشتند (شکل ۷-الف). اندازه تمامی میکروپلاستیک‌ها در محدوده ۰/۱-۵ میلی‌متر بود. در تمام ایستگاه‌ها، اندازه ۰/۵-۱ میلی‌متری فراوانی بودند (شکل ۸).

در رسوبات، میکروپلاستیک‌ها از لحاظ شکل به دو دسته فیبر و قطعه تقسیم‌بندی شدند و میکروپلاستیک‌های به شکل فیبر بیشترین فراوانی را در تمام ایستگاه‌ها (۸۹/۸ درصد) داشتند (شکل ۷-الف). اندازه تمامی میکروپلاستیک‌ها در محدوده ۰/۱-۵ میلی‌متر بود. در تمام ایستگاه‌ها، اندازه ۰/۵-۱ میلی‌متری فراوانی بودند (شکل ۸).



شکل ۷: دسته‌بندی میکروپلاستیک‌های جداسازی شده از رسوبات رودخانه سیاه‌درویشان. الف) دسته‌بندی از لحاظ شکل. ب) دسته‌بندی از لحاظ اندازه.

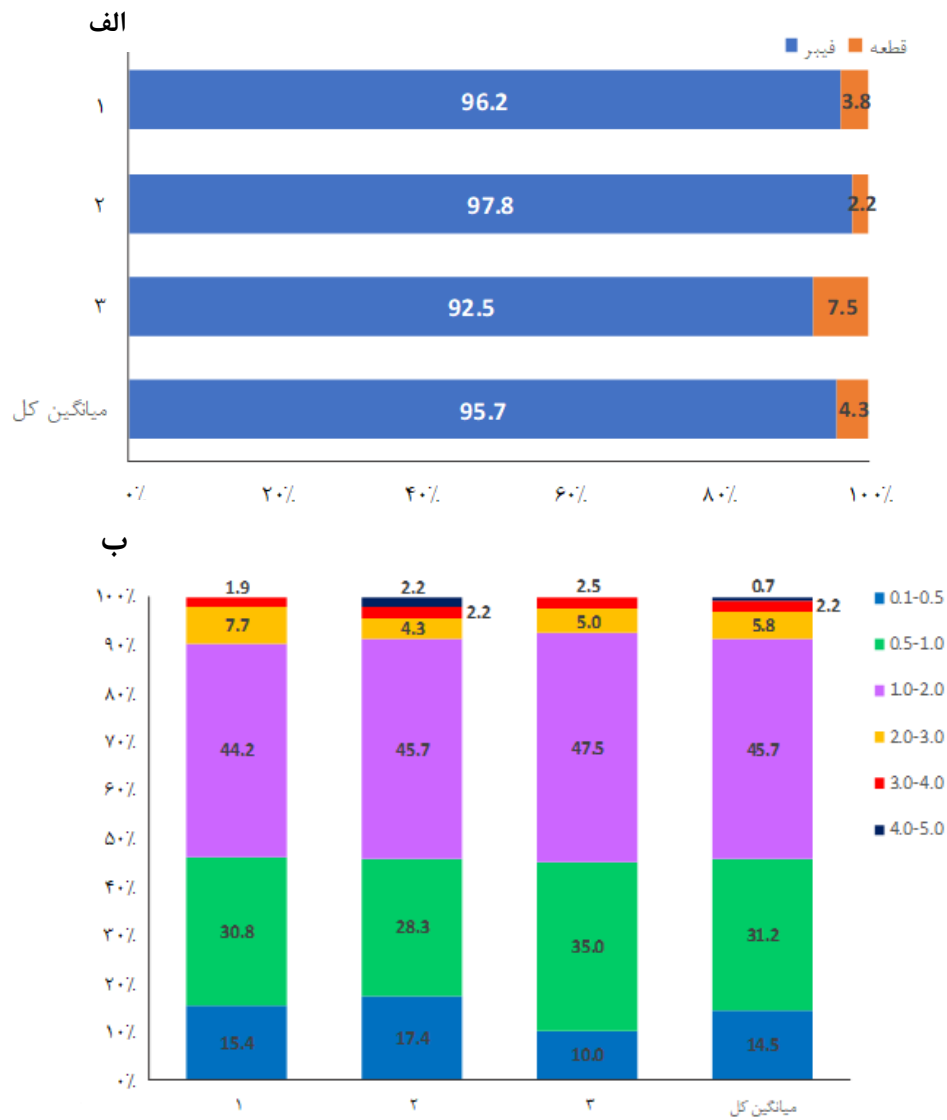


شکل ۸: دسته‌بندی میکروپلاستیک‌های جداسازی شده از رسوبات رودخانه سیاه‌درویشان از لحاظ رنگ

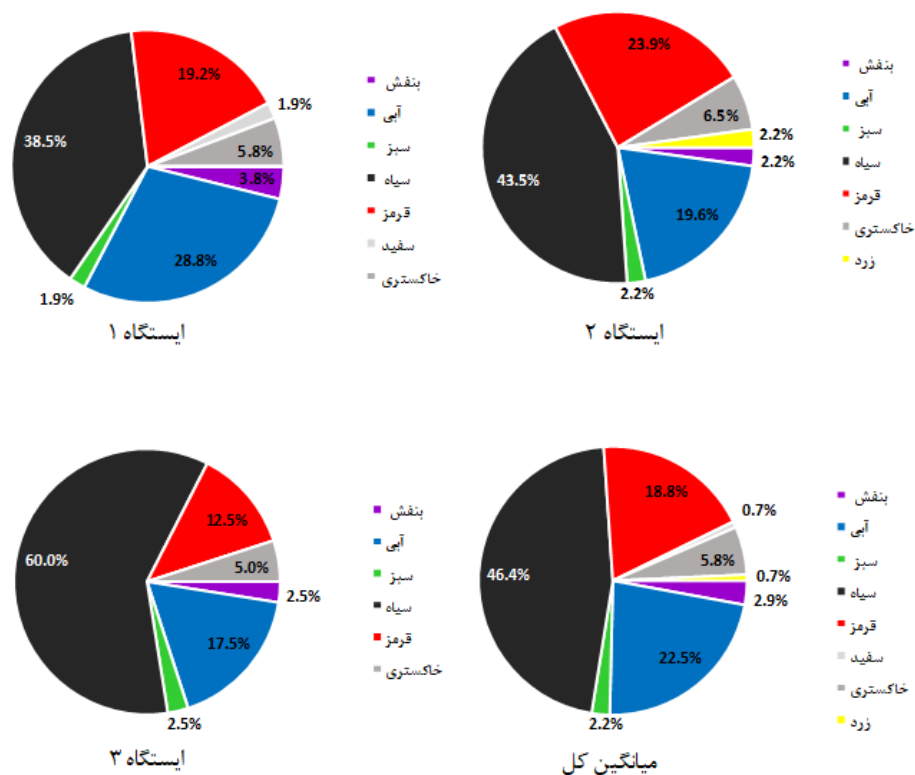
زرد، خاکستری و سفید یافت شدند. بیشترین رنگ‌های رایج، سیاه، آبی، قرمز، سبز و بنفش بودند (شکل ۱۰). میانگین کل فراوانی رنگ سیاه با ۴۶/۴ درصد، غالب‌ترین رنگ بود و سپس رنگ آبی (۲۲/۵ درصد) و قرمز (۱۸/۸ درصد) قرار داشت.

در شکل ۱۱ برخی از میکروپلاستیک‌های یافت شده از بافت دوکفه‌ای‌ها، رسوبات و آب رودخانه سیاه‌درویشان در رنگ‌ها، شکل‌ها و اندازه‌های مختلف قابل مشاهده است.

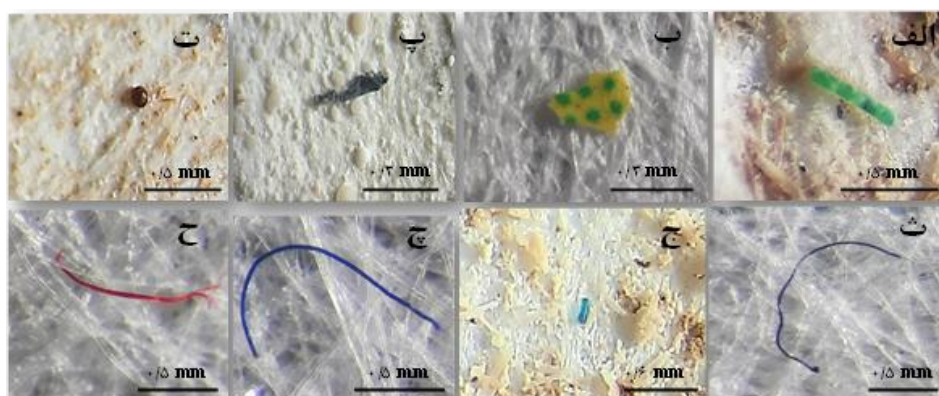
از نمونه‌های آب سه ایستگاه، فیبر و قطعه جداسازی شد. میانگین فراوانی فیبر ۹۵/۷۰ درصد بود که بیشترین میزان را داشت (شکل ۹-الف). میانگین اندازه بین ۱-۲ میلی‌متری (۴۵/۷۰ درصد) دارای بیشترین فراوانی و به دنبال آن اندازه بین ۰/۵-۱ میلی‌متری (۳۱/۲۰ درصد) قرار داشت و اندازه ۴-۵ میلی‌متری (۰/۷ درصد) دارای کمترین فراوانی بود (شکل ۹-ب). ذرات میکروپلاستیک مشاهده شده در رنگ‌های مختلف از جمله سیاه، قرمز، آبی، سبز، بنفش،



شکل ۹: دسته‌بندی میکروپلاستیک‌های جداسازی شده از آب رودخانه سیاه‌درویشان. الف) دسته‌بندی از لحاظ شکل. ب) دسته‌بندی از لحاظ اندازه.



شکل ۱۰: دسته‌بندی میکروپلاستیک‌های جداسازی شده از آب رودخانه سیاه‌درویشان از لحاظ رنگ



شکل ۱۱: نمونه‌هایی از میکروپلاستیک‌های استخراج شده از بافت دوکفه‌ای‌ها، رسوبات و آب در رنگ‌ها،

شکل‌ها و اندازه‌های مختلف. الف، ث، ج، چ و ح: فیبر. ب: قطعه. پ: فیلم. ت: گرانول.

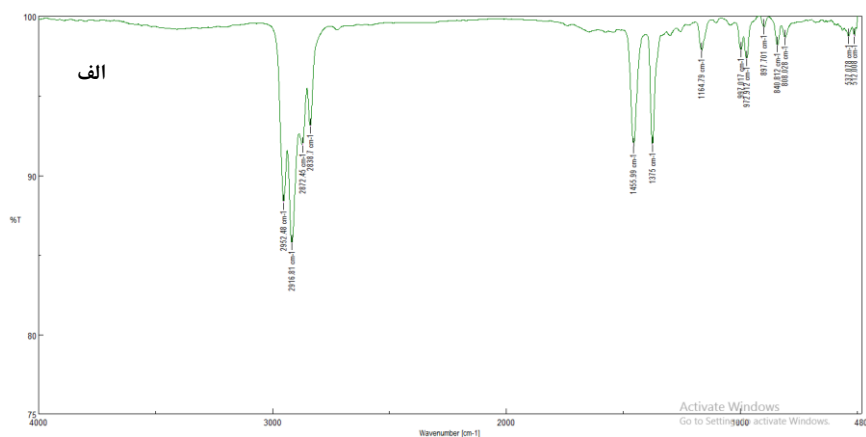
پلی‌اتیلن (PE)، پلی‌استایرن (PS)، پلی‌استر (PES)، پلی‌وینیل کلرید (PVC)، پلی‌اتیلن کم‌چگال (LDPE) و پلی‌آمید (نایلون) (PA) بود. طیف سنجی ATR-FTIR هر پلیمر در شکل ۱۲ نشان داده شده است.

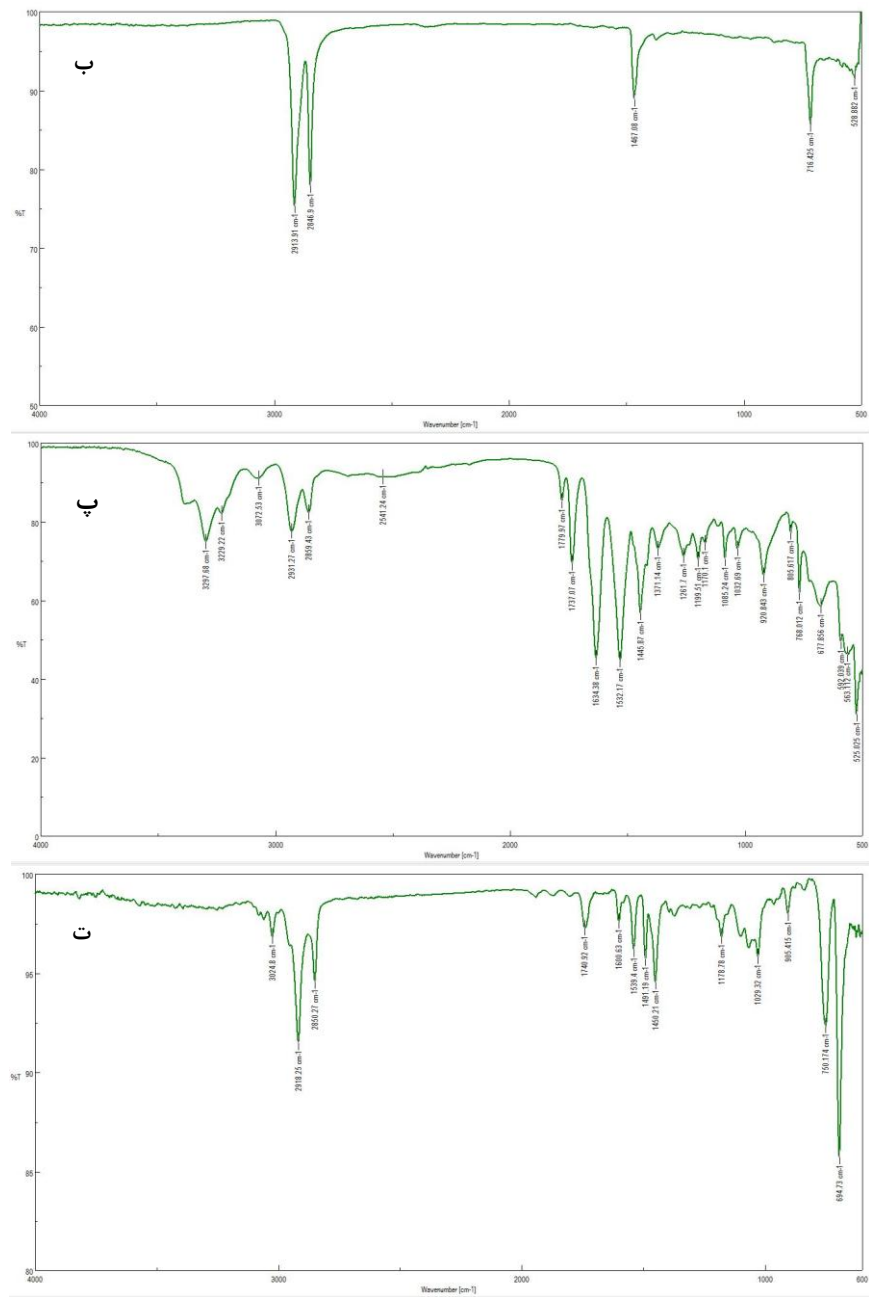
از مجموع پلیمرها در بافت دوکفه‌ای‌ها، رسوبات و آب، پلی‌پروپیلن (PP) و پلی‌اتیلن (PE)، پلیمرهای غالب بودند (شکل ۱۳).

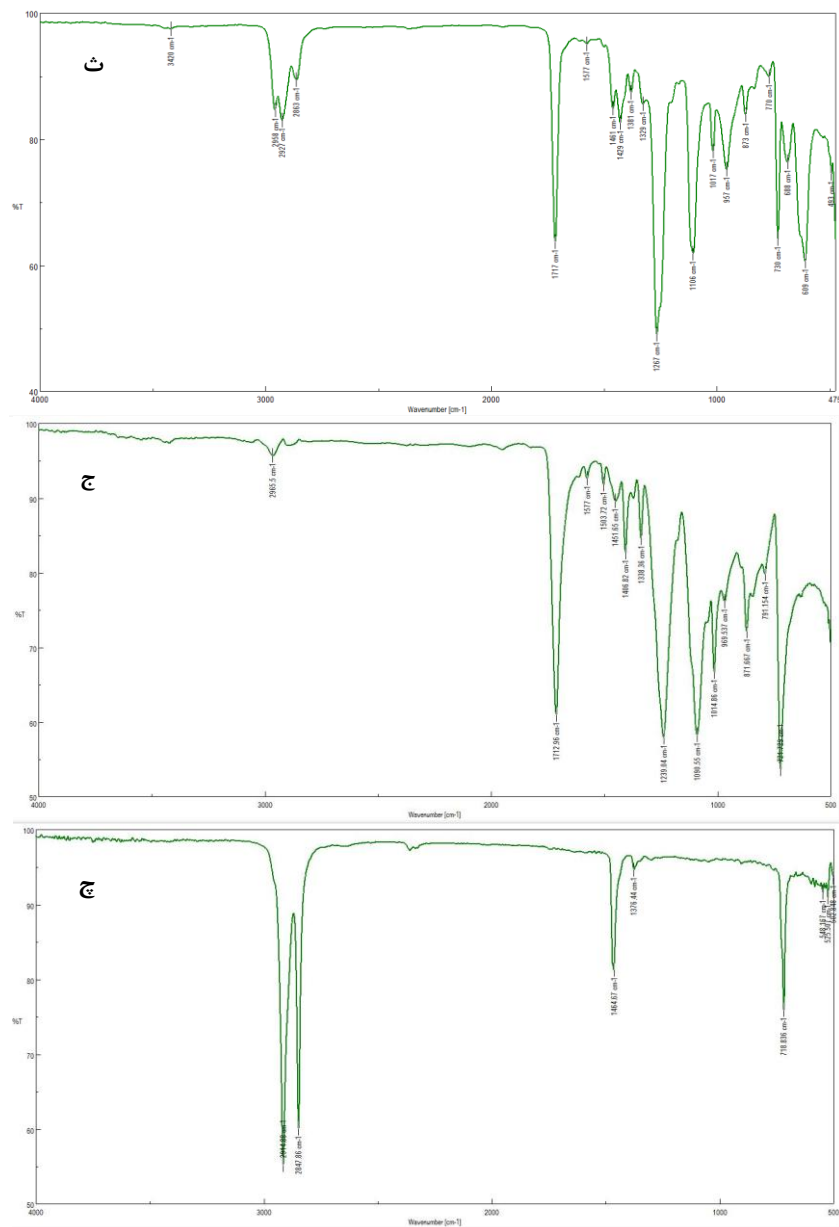
نتایج تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نشان داد که میکروپلاستیک‌های استخراج شده از نمونه‌های دوکفه‌ای‌ها، آب و رسوبات، دارای ویژگی‌های ظاهری مختلفی شامل سطح ناهموار، سطح صاف، فرورفته، ظاهر پوسته پوسته، شکاف دار و همچنین با لبه‌های نامنظم بودند (شکل ۱۴).

ارتباط همبستگی دوکفه‌ای با محیط اطراف نتایج محاسبه پیرسون همبستگی معناداری را از نظر تعداد میکروپلاستیک و شکل، بین آب و دوکفه‌ای، رسوب و دوکفه‌ای و رسوب و آب نشان نداد ($P > 0.05$). اما از لحاظ اندازه ذرات بین آب و دوکفه‌ای ($P < 0.05$, $r = 0.75$)، رسوب و دوکفه‌ای ($P < 0.05$, $r = 0.89$) و رسوب و آب ($P < 0.05$, $r = 0.67$) همبستگی مثبت معناداری وجود داشت.

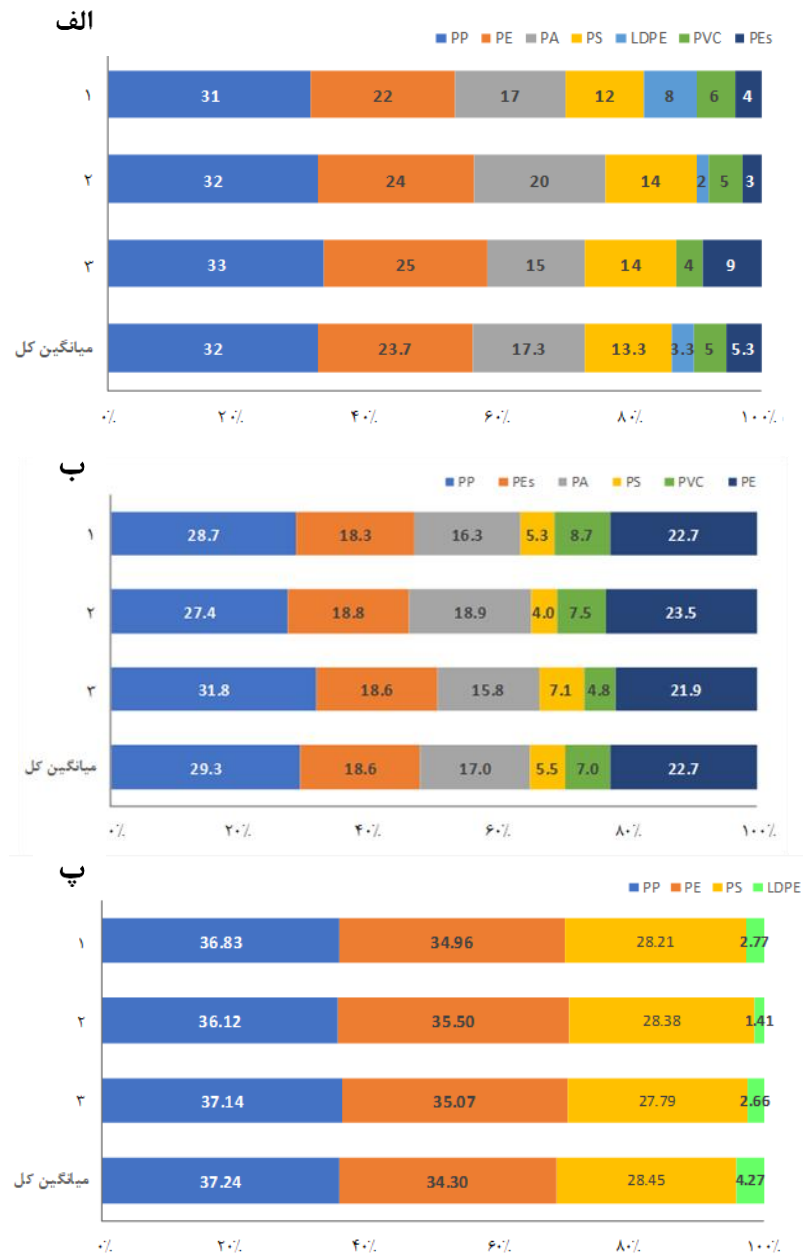
ویژگی‌های شیمیایی میکروپلاستیک‌های استخراج شده از دوکفه‌ای، رسوب و آب در این مطالعه، در مجموع ۷ نوع پلیمر پلاستیکی با استفاده از دستگاه ATR-FTIR شناسایی شدند که شامل پلی‌پروپیلن (PP)،



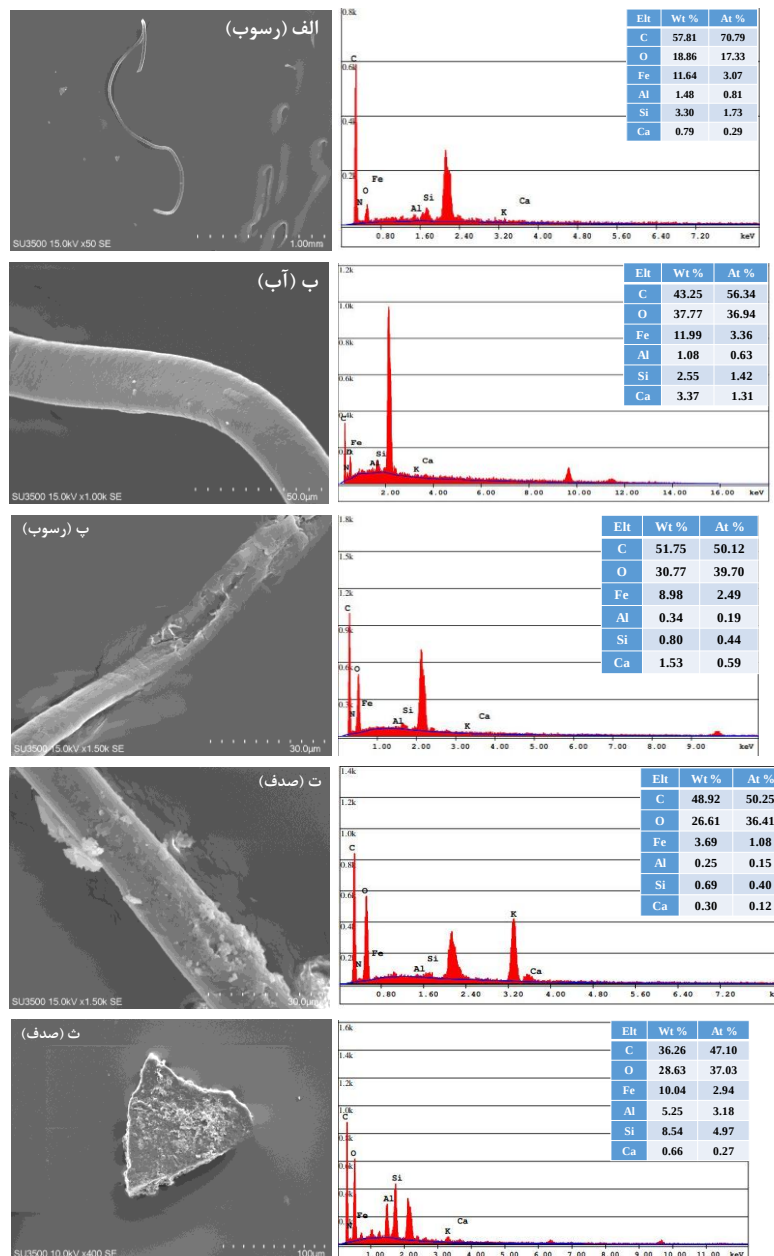




شکل ۱۲: طیف‌سنجی ATR-FTIR از میکروپلاستیک‌های جداسازی شده از بافت نرم آنودونت (*Anodonta cygnea*)، رسوبات و آب رودخانه سیاه‌درویشان. الف) پلی‌پروپیلن؛ ب) پلی‌اتیلن؛ پ) پلی‌آمید (نایلون)؛ ت) پلی‌استایرن؛ ث) پلی‌وینیل کلرید؛ ج) پلی‌استر؛ چ) پلی‌اتیلن کم‌چگال.



شکل ۱۳: درصد پلیمرهای یافت شده نمونه‌برداری‌های انجام شده از رودخانه سیاه‌درویشان. الف) در بافت نرم آنودونت (*Anodonta cygnea*). ب) رسوبات. پ) آب.



شکل ۱۴: آنالیز SEM/EDS میکروپلاستیک‌های استخراج شده از بافت نرم آنودونت (*Anodonta cygnea*)، رسوبات و آب رودخانه سیاه‌درویشان الف تا ث) فیبر؛ ج تا ح) قطعه.

بحث

مقادیر گزارش شده در هند در کِلَم‌های زرد (*Corbicula fluminea*, Yellow Clams) $۱۳۸/۶۱ \pm ۹۴/۷۴$ ذره در هر فرد و $۵۵/۰۴ \pm ۳۲/۱۵$ ذره در هر گرم بافت (Naidu et al., 2022)، در مراکش در کِلَم‌های *Donax trunculus* $۳/۳۵ \pm ۱/۵۸$ ذره در هر گرم بافت (Ben-Haddad et al., 2022) و در چین در اویسترهای (Oyster) گونه *Pinctada fucata* $۰/۵۳ \pm ۰/۳۷$ ذره در هر گرم بافت (Han et al., 2022) است.

در مطالعه‌ای، Thanh و همکاران (۲۰۲۲) فراوانی میکروپلاستیک در دو ناحیه خلیج ویتنام در ماسل‌های *Perna viridis* را $۳۰/۶۷$ و $۲۷/۰۰$ ذره در هر فرد گزارش کردند. همچنین Cho و همکاران (۲۰۲۱) فراوانی میکروپلاستیک را در اویسترها و ماسل‌های سواحل کره جنوبی $۰/۳۳ \pm ۰/۲۳$ ذره در هر گرم بافت نرم گزارش کردند که تقریباً مشابه مطالعه حاضر است. تفاوت‌های مشاهده شده با مطالعات دیگر می‌تواند ناشی از محل نمونه‌برداری، فصل، ویژگی‌های فیزیولوژیکی گونه، زیستگاه، روش‌های متفاوت استخراج و شناسایی میکروپلاستیک‌ها باشد (Bom et al., 2022; Bruzaca et al., 2022; Tran-Nguyen et al., 2023; Abd Rahman et

آلودگی میکروپلاستیک تهدیدی جدی برای محیط زیست و سلامت انسان به شمار می‌رود (Bom et al., 2022). حدود ۹۴ درصد از دوکفه‌ای‌ها دارای شدت‌های مختلفی از آلودگی میکروپلاستیک هستند (Wootton et al., 2022). در مطالعه حاضر برای اولین بار میزان فراوانی میکروپلاستیک در دوکفه‌ای آنودونت (*Anodonta cygnea*) گزارش شده است. مقدار میکروپلاستیک $۳۴/۱۳ \pm ۱۱/۸۸$ ذره در هر فرد و $۰/۳۸ \pm ۰/۱۵$ ذره در هر گرم بافت نرم بود. میانگین فراوانی میکروپلاستیک در این مطالعه بالاتر از مقادیر گزارش شده در آمریکا در کِلَم‌های (Clam) گونه *Siliqua patula* $۸/۸۴ \pm ۰/۴۵$ ذره در هر فرد و $۰/۳۵ \pm ۰/۰۴$ ذره در هر گرم بافت (Baechler et al., 2020)، در هند در ماسل‌های (Mussel) گونه *Perna perna* $۰/۸۷ \pm ۰/۵۵$ ذره در هر فرد و $۰/۱ \pm ۰/۰۳$ ذره در هر گرم بافت (Patterson et al., 2021)، در فرانسه در ماسل‌های *Mytilus edulis* $۰/۷۶ \pm ۰/۴$ ذره در هر فرد و $۰/۱۵ \pm ۰/۰۶$ ذره در هر گرم بافت (Hermabessiere et al., 2019) و در برزیل در ماسل‌های *Perna perna* $۸/۳ \pm ۱/۰$ ذره در هر فرد (Bom et al., 2022) است و کمتر از

کوچک‌تر به دلیل سرعت فیلتراسیون و پاک‌سازی بالاتر، تمایل بیشتری به بلعیدن میکروپلاستیک دارند. تفاوت‌های مشاهده شده در میزان میکروپلاستیک نمونه‌های صدف ممکن است ناشی از محیط‌های زندگی مختلف و گونه‌های مختلف با فعالیت متابولیک متفاوت باشد (Wang et al., 2021).

ذرات میکروپلاستیک در تمام نمونه‌های آب و رسوب ایستگاه‌ها وجود داشت که نشان دهنده پراکنش گسترده آنها در رودخانه سیاه‌درویشان است و مقدار آنها در نمونه رسوب این رودخانه بالاتر از مطالعه Patterson و همکاران (۲۰۲۱) بود که تعداد میکروپلاستیک‌ها را در رسوبات آب‌های ساحلی هند از $۱۸/۶۶ \pm ۷۹/۵۴$ تا $۳۶/۳۱ \pm ۱۰۸/۳۱$ ذره در کیلوگرم بیان کردند، اما مقدار میکروپلاستیک‌ها در آب‌های این منطقه (از $۳۱/۵۷ \pm ۷/۶۳$ تا $۵۹/۲۵ \pm ۱۴/۳۲$ ذره در لیتر) بالاتر از رودخانه سیاه‌درویشان بود. مقدار میکروپلاستیک یافت شده در رسوب و آب رودخانه سیاه‌درویشان بالاتر از رودخانه Ganges در هند بود، به طوری که Napper و همکاران (۲۰۲۳) تعداد میکروپلاستیک‌ها را $۵۷/۰۰ \pm ۵/۲۷$ ذره در یک کیلوگرم رسوب خشک و در آب $۰/۰۵ \pm ۰/۰۱$ ذره در لیتر اعلام کردند. فراوانی میکروپلاستیک‌ها در رودخانه

از نظر Hermabessiere و همکاران (۲۰۱۸)، موقعیت مکانی تاثیر بیشتری بر سطوح آلودگی میکروپلاستیک در صدف‌های دوکفه‌ای دارد. در بررسی حاضر زیستگاه و فعالیت‌های توریستی و گردشگری نقش مهم‌تری در تجمع میکروپلاستیک‌ها داشتند.

بین اندازه بدن دوکفه‌ای‌ها و میزان بلعیدن میکروپلاستیک همبستگی وجود نداشت که با نتایج مطالعات Wardlaw و Prosser (۲۰۲۰)، Wang و همکاران (۲۰۲۱)، Joshy و همکاران (۲۰۲۲)، Kallenbach و همکاران (۲۰۲۲)، Abd Rahman و همکاران (۲۰۲۴) مطابقت دارد. با این حال، Otegui و همکاران (۲۰۲۴) همبستگی مثبتی را بین اندازه دوکفه‌ای و میزان میکروپلاستیک تجمع یافته گزارش کردند، به طوری که صدف‌های بزرگ‌تر حجم بیشتری از آب را فیلتر کرده و میکروپلاستیک‌های بیشتری را می‌بلعند. برخی از مطالعات نیز همبستگی منفی را بین اندازه دوکفه‌ای و میزان میکروپلاستیک‌ها گزارش کرده‌اند (Dang et al., 2022; Le and Nguyen, 2024)، بدین ترتیب که با افزایش طول و وزن دوکفه‌ای‌ها، تعداد میکروپلاستیک کاهش یافت. همچنین عنوان شده است که دوکفه‌ای‌های جوان‌تر و

سیاه‌درویشان با رشد جمعیت، شهرنشینی، گردشگری و ماهیگیری همبستگی مثبت دارد و در همین راستا Bellasi و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که سطح آلودگی میکروپلاستیک در رودخانه‌ها و سواحل دارای تراکم پایین جمعیت و فعالیت‌های ماهیگیری و گردشگری نسبتاً پایین است.

مقدار میکروپلاستیک‌ها در نمونه رسوب رودخانه سیاه‌درویشان در مقایسه با رودخانه Pearl چین (۸۰ تا ۹۵۹۷ عدد در کیلوگرم) (Lin et al., 2018)، دلتای رودخانه زرد چین (۱۳۶ تا ۲۰۶۰ ذره در کیلوگرم) (Duan et al., 2020)، رسوبات آب‌های ساحلی کره جنوبی (۹۴۰±۶۹۰ ذره در کیلوگرم) (Jang et al., 2020) و رودخانه اروندرود در ایران (۷۰ تا ۱۵۶۲۰ ذره در کیلوگرم) (Soltani et al., 2022) پایین‌تر بود. در این مطالعه، ایستگاه‌های ۱ و ۲ نسبت به ایستگاه ۳ دارای میکروپلاستیک بیشتری بودند که می‌تواند ناشی از تراکم جمعیت، تخلیه پساب‌های صنعتی، کشاورزی و خانگی، بازارهای محلی، ماهیگیری، گردشگری، هتل‌ها و رستوران‌ها باشد (Huang et al., 2021; Rasta et al., 2022; Ilmi et al., 2023; Napper et al., 2023). عدم مشاهده اختلاف معنی‌دار فراوانی میکروپلاستیک‌ها در نمونه‌های آب سه ایستگاه ممکن است ناشی از محدودیت زیستگاه، تعداد نمونه پایین با توجه به شکننده بودن جمعیت گونه و توزیع نسبتاً همگن میکروپلاستیک‌ها در این بخش از رودخانه باشد (Napper et al., 2023).

میکروپلاستیک‌های یافت شده در این بررسی به شکل‌های فیبر (رشته‌ای)، قطعه (تکه پاره)، فیلم (غشایی) و گرانول (دانه‌ای) بودند که با مطالعه Bom و همکاران (۲۰۲۲)، Wang و همکاران (۲۰۲۱) و Abisha و همکاران (۲۰۲۴) مطابقت دارد. در نمونه‌های رسوبات و آب هم فیبر و قطعه مشاهده شدند. فراوانی فیبر در نمونه‌های دوکفه‌ای، رسوب و آب غالب بود و گرانول کمترین درصد را داشت. در مطالعات دیگر نیز شکل فیبر غالب بود (Patterson et al., 2021; Bom et al., 2022; Joshy et al., 2022; Abelouah et al., 2023; Ferguson et al., 2024; Zhao et al., 2024). زباله‌های جامد شهری، فاضلاب خانگی و تجزیه تجهیزات ماهیگیری (طناب، تور و قلاب) منابع اصلی فیبر هستند (Rasta et al., 2021). قطعه (تکه پاره) دومین شکل غالب میکروپلاستیک در آب، رسوب و دوکفه‌ای شناسایی شدند. منشا این قطعات ممکن است تجزیه یا هوازگی پلاستیک‌های بزرگ و رها شده باشد. فیلم (غشایی) هم در دوکفه‌ای‌ها

al., 2022; Khanjani et al., 2023; Song et al., 2023). با این حال، در مطالعات دیگری اندازه غالب ۲۰۰۰-۱۰۰۰ میکرومتر (Joshi et al., 2024) و کمتر از ۵۰۰ میکرومتر (Nikhil et al., 2024) نیز مشاهده شده است.

در مورد غالب بودن اندازه بین ۱-۰/۵ میلی‌متری میکروپلاستیک در رسوبات رودخانه، Chinfak و همکاران (۲۰۲۱) بیان کردند که فرایند سایش ماسه ممکن است پلاستیک‌های بزرگ را در هنگام حمل و نقل به ذرات کوچک تجزیه کند. مطالعات دیگری نیز بر غالب بودن میکروپلاستیک‌های کمتر از ۱ میلی‌متر تاکید داشته‌اند (Ismanto et al., 2023; Napper et al., 2023). در مطالعه‌ای توسط Li و همکاران (۲۰۲۱) بر روی رسوبات مصب رودخانه Pearl در چین نشان داد که ۵۳/۵ تا ۷۳/۹ درصد از میکروپلاستیک‌ها اندازه‌ای کمتر از ۰/۵ میلی‌متر دارند. در مطالعه حاضر اندازه میکروپلاستیک در نمونه‌های آب و رسوب متفاوت بود که احتمالاً به دلیل عوامل محیطی مانند گردش آب، تجزیه نوری، فعالیت زیستی جانوران کفزی، امواج، جریان آب، باد و غیره است که در تولید میکروپلاستیک نقش دارند (Ferguson et al., 2024).

مشاهده شد (Abisha et al., 2024). فیلم‌ها احتمالاً از تجزیه کیسه‌ها یا بسته‌بندی‌های پلاستیکی نشأت می‌گیرند (Fraissinet et al., 2024). گرانول‌ها کمترین نوع مشاهده شده در دوکفه‌ای‌های این مطالعه بودند. گرانول‌ها در دامنه اندازه ۰/۱ میلی‌متر قرار می‌گیرند که برای مصارف صنعتی و آرایشی تولید می‌شوند (Abisha et al., 2024).

از نظر اندازه، در این مطالعه، ذرات با اندازه بین ۱-۰/۵ میلی‌متری، ۲-۱ میلی‌متری و ۱-۰/۵ میلی‌متری به ترتیب در دوکفه‌ای‌ها، آب و رسوبات بیشترین فراوانی را داشتند. متداول‌ترین محدوده اندازه میکروپلاستیک‌ها در صدف‌ها در سراسر جهان کمتر از ۱۰۰۰ میکرومتر گزارش شده است (Ding et al., 2022). این امر با یافته‌های Truchet و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت دارد که نشان دادند قابلیت دسترسی زیستی میکروپلاستیک‌ها به اندازه آنها بستگی دارد. به این ترتیب که هرچه اندازه ذرات پلاستیک کوچک‌تر باشد، احتمال نگهداری و تجمع آنها در بافت‌ها بیشتر می‌شود. صدف‌ها ذرات کوچک‌تر از ۱ میلی‌متر را می‌بلعند، زیرا گرفتن آنها آسان‌تر است و ذرات بزرگ‌تر را دفع می‌کنند (Chinfak et al., 2021; Bruzaca et al., 2022; Zhang et

رنگ سیاه، رنگ غالب میکروپلاستیک‌ها در صدف، رسوب و آب بود. این رنگ و رنگ‌های دیگر می‌توانند ناشی از منسوجات مصنوعی، تورها و طناب‌های ماهیگیری، تجزیه محصولات مصرفی و کشاورزی باشند. رنگ سفید ممکن است به دلیل تخریب محیطی و فرسودگی ذرات میکروپلاستیک باشد که رنگ خود را از دست داده و به تکه‌های شفاف تبدیل شده‌اند (Abisha et al., 2024). جدول ۲ شکل، اندازه، رنگ و پلیمر غالب میکروپلاستیک‌ها در موجودات، رسوبات و آب‌های ایران و جهان را که در منابع علمی گزارش شده‌اند، خلاصه می‌کند.

جدول ۲: مشخصات غالب میکروپلاستیک‌ها در موجودات، رسوبات و آب‌های ایران و جهان

منطقه	نوع نمونه	شکل غالب	اندازه غالب (میلی‌متر)	رنگ غالب	پلیمر غالب	منبع
رودخانه سیاه درویشان (ایران)	Anodonta	فیبر	۰/۵ - ۱	سیاه	PE و PP	مطالعه حاضر
	رسوب	فیبر	۰/۵ - ۱	سیاه	PE و PP	
	آب	فیبر	۱ - ۲	سیاه	PE و PP	
رودخانه ارس (ایران)	رسوب	فیبر	۳ - ۴	سیاه	PE	Vayghan et al., 2022
	آب	فیبر	۱ - ۲	سیاه	PE	
خلیج گرگان (ایران)	رسوب	فیبر	۱ - ۲	شفاف	PE و PP	Bagheri et al., 2020
تالاب انزلی (ایران)	ماهی	فیبر	۰/۰۲ تا ۴/۸	سیاه	PE	Rasta et al., 2020
	رسوب	فیبر	۱ - ۲	قرمز و سیاه	PE و PP	
ساحل جنوب شرقی چین	رسوب	فیبر	۱ - ۵	شفاف و سفید	PE و PP	Yu et al., 2022
نواحی ساحلی چین	Oysters	فیبر	۰/۱ - ۰/۵	سیاه	PE	Wang et al., 2021
	رسوب	فیبر	۰/۱ - ۰/۵	سیاه	PE	
	آب	فیبر	۰/۱ - ۰/۵	سیاه	PE	
سواحل جنوب غربی هند	Mussels	فیبر	۰/۵ - ۱	آبی	PE و PP	Abisha et al., 2024
	رسوب	فیبر	۰/۳ - ۱	آبی	PE و PP	
	آب	فیبر	۰/۵ - ۱	آبی	PE و PP	
خلیج Panguil (فیلیپین)	Clam	فیبر	کمتر از ۱	سیاه و آبی	PP و PET و RY	Bonifacio et al., 2022
	رسوب	فیبر	کمتر از ۱	آبی و سیاه	PE و PVC و PP	

در این بررسی همبستگی معنی‌داری در مقدار میکروپلاستیک‌ها و شکل آنها بین دوکفه‌ای‌ها و محیط اطراف مشاهده نشد. در مطالعات Xu و همکاران (۲۰۲۰)، Cho و همکاران (۲۰۲۱) و Le و Nguyen (۲۰۲۴) نیز در مقدار و شکل میکروپلاستیک‌ها بین آب و رسوب، بین آب و دوکفه‌ای و دوکفه‌ای و رسوب همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد. در مقابل، Robin و همکاران (۲۰۲۰) و Joshy و همکاران (۲۰۲۲) بین فراوانی میکروپلاستیک‌ها در رسوبات و آب‌های اطراف با بافت دوکفه‌ای همبستگی مشاهده کردند. در مطالعه حاضر، همبستگی مثبتی در اندازه ذرات، بین دوکفه‌ای و محیط اطراف وجود داشت که نشان می‌دهد صدف‌ها می‌توانند بازتاب خوبی از میکروپلاستیک‌های موجود در محیط اطراف خود باشند (Li et al., 2021). همان‌طور که Ding و همکاران (۲۰۲۱) گزارش دادند، نشانه‌هایی مانند اندازه ذرات، وجود دارد که دوکفه‌ای‌ها می‌توانند آلودگی میکروپلاستیک در محیط را منعکس کنند.

نتایج مشابهی در مطالعات مختلف به دست آمد که در آن PP، PE و PS به دلیل تولید زیاد و چگالی کم، پلیمرهای اصلی در محیط‌های آبی مانند رسوبات، آب‌های سطحی و ستون آب بودند (Bom and Sa, 2021; Radhakrishnan et al., 2024). همچنین گزارش شده است که پلیمرهای PE، PP و PA رایج‌ترین پلیمرهای یافت شده در بافت دوکفه‌ای‌ها هستند (Abisha et al., 2024; Radhakrishnan et al., 2024). پلیمرهای PP، PE، PS و PA معمولاً در تولید کیسه‌های خرید، بطری‌های پلاستیکی، درپوش بطری و وسایل ماهیگیری به کار می‌روند. به نظر می‌رسد فاضلاب تصفیه نشده منبع اصلی و فعالیت‌های گردشگری منبع دوم انتشار میکروپلاستیک ناشی از محصولات مصرفی باشند (Rasta et al., 2020). میکروپلاستیک‌ها در ستون آب تحرک پیچیده‌تری دارند که ناشی از اختلاط هیدرودینامیکی شامل جریان، موج و باد است. میکروپلاستیک‌های شناور به دلیل چگالی کم (مانند PE، PP و PS) و کشش سطحی بالای آب معمولاً در سطح آب تجمع پیدا می‌کنند (Li et al., 2022) و به صورت شناور مسافت‌های طولانی را با جریان آب طی می‌کنند. به همین خاطر، این پلیمرها بوفور در آب توزیع می‌شوند و در دسترس موجودات زنده قرار می‌گیرند (Patterson et al., 2021). چگالی این پلیمرها می‌تواند به دلیل بیوفولینگ یعنی چسبیدن جانداران به سطح اجسام در آب،

شیمیایی و تجزیه مکانیکی پلاستیک‌های بزرگ‌تر است.

نتایج به دست آمده نشان داد که عناصری مانند کربن (C)، اکسیژن (O)، آهن (Fe)، آلومینیوم (Al)، سیلیسیم (Si) و کلسیم (Ca) در ساختار میکروپلاستیک‌ها وجود دارند. بر اساس آنالیزهای EDS، کربن و اکسیژن عناصر اصلی ذرات در این مطالعه بودند (شکل ۱۴) که به عنوان اجزای اصلی پلاستیک در نظر گرفته می‌شوند (Agharokh et al., 2022). دیگر عناصر شناسایی شده احتمالاً به عنوان افزودنی به محصولات پلاستیکی اضافه شده‌اند و یا توسط ذرات میکروپلاستیک در محیط جذب شده‌اند (Rasta et al., 2022).

در مجموع، نرم‌تنان بویژه دوکفه‌ای‌ها، نقش حیاتی در کارکرد اکوسیستم دارند. این جانداران حاملانی برای انتقال آلاینده‌ها به سطوح بالاتر زنجیره غذایی عمل می‌کنند. همچنین به عنوان نشانگرهای حساس تغییرات محیطی، بویژه آلاینده‌هایی مانند میکروپلاستیک‌ها و فلزات سنگین شناخته می‌شوند. مقایسه نتایج این مطالعه با نمونه‌های آب و رسوب اطراف آنها، اطلاعاتی را در مورد ویژگی‌های منحصربه‌فرد میکروپلاستیک‌های بلعیده شده توسط دوکفه‌ای‌ها ارائه می‌دهد که می‌تواند به عنوان

هوازدگی، چسبیدن ذرات مختلف به هم یا جذب بیومولکول‌ها افزایش یابد و باعث ته‌نشینی و تجمع آنها در رسوبات شود (Jiang et al., 2022; Soltani et al., 2022; Abisha et al., 2024).

پلیمر PVC در نمونه‌های دوکفه‌ای و رسوب در سه ایستگاه مشاهده شد. در این ایستگاه‌ها PVC به عنوان زباله حاصل از لوله‌های آب، لوازم خانگی، اسباب‌بازی‌ها، کفش‌های پلاستیکی، کابل‌های برق و غیره رهاسازی می‌شود (Abisha et al., 2024). در حالی که PES یافت شده در مطالعه حاضر در صنایع نساجی، ساخت بدنه تجهیزات حمل و نقل، قایق، کشتی‌سازی و همچنین برای از بین بردن زنگ‌زدگی و رنگ ماشین‌آلات و قایق‌ها کاربرد دارد (Rasta et al., 2021).

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نشان داد که میکروپلاستیک‌ها با اشکال مختلف، دارای ریخت‌شناسی سطحی پیچیده‌ای مانند سطح ناهموار، سطح صاف، فرورفته، ظاهر پوسته پوسته، شکاف‌دار و لبه‌های نامنظم بودند. این ساختارها نشان دهنده مدت زمان قرارگیری میکروپلاستیک در محیط، هوازدگی ناشی از عوامل فیزیکی،

اطلاعات پایه‌ای در ارزیابی‌های بعدی آلودگی میکروپلاستیک مورد استفاده قرار گیرد. در این مطالعه همبستگی معناداری در مقدار میکروپلاستیک و شکل، بین آب و دوکفه‌ای، رسوب و دوکفه‌ای و رسوب و آب وجود نداشت، اما از لحاظ اندازه ذرات بین آب و دوکفه‌ای، رسوب و دوکفه‌ای و رسوب و آب همبستگی مثبت معناداری مشاهده شد. همچنین بین غلظت میکروپلاستیک‌ها با وزن کل، وزن بافت نرم و طول پوسته نیز همبستگی وجود نداشت. مطالعات اندکی در محیط‌های آب شیرین انجام شده است و از این رو، انجام مطالعات بیشتر در این مناطق برای درک بهتر توزیع محلی و جهانی میکروپلاستیک‌ها و تاثیر آنها بر اکوسیستم‌های آبی ضرورت دارد. در نهایت، این پژوهش نشان می‌دهد که مطالعاتی از این دست هم برای اکوسیستم‌های آبی و هم سلامت انسان بسیار مهم هستند، زیرا بسیاری از صدف‌های مورد بررسی در این مطالعات، به عنوان غذای انسان مصرف می‌شوند. بنابراین، انجام این مطالعات با بررسی گونه‌های مختلف و در سراسر ایران و نیز جهان باید همچنان ادامه یابد. این مطالعه به افزایش دانش موجود درباره آلودگی میکروپلاستیک‌ها در سیستم‌های آب شیرین داخلی کمک خواهد کرد و پیشنهاد می‌شود که سیاست‌های مدیریتی گام‌های اساسی را برای کاهش این مشکل در اکوسیستم‌های آب شیرین بردارند.

منابع

- Abd Rahman N.N., Mazlan N., Shukhairi S.S., Nazahuddin M.N.A., Shawel A.S., Harun H. and Baktir A. 2024.** Evaluation of the microplastics in bivalves and water column at Pantai Teluk Likas, North Borneo, Malaysia. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(15): 23178–23192. doi: 10.1007/s11356-024-32628-z
- Abelouah M.R., Romdhani I., Ben-Haddad M., Hajji S., De-la-Torre G.E., Gaaied S., Barra I., Banni M. and Alla A.A. 2023.** Binational survey using *Mytilus galloprovincialis* as a bioindicator of microplastic pollution: Insights into chemical analysis and potential risk on humans. *Science of the Total Environment*, 870: 161894. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.161894
- Abisha C., Kutty R., Gurjar U.R., Jaiswar A.K., Deshmuke G., Sasidharan A. and Xavier K.M. 2024.** Microplastic prevalence, diversity and characteristics in commercially important edible bivalves and gastropods in relation to environmental matrices. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 13: 100392. doi: 10.1016/j.hazadv.2023.100392
- Agharokh A., Taleshi M.S., Bibak M., Rasta M., Torabi Jafroudi H. and Rubio Armesto B. 2022.** Assessing the relationship between the abundance of microplastics in sediments, surface waters, and fish in the Iran southern shores. *Environmental Science and Pollution Research*, 29: 18546–18558. doi: 10.1007/s11356-021-17128-8
- Ashja Ardalan A., Khoshkhoo Z., Rabbani M., Moini S. 2007.** Comparative study for heavy metal concentration (Zn, Cu, Pb, Cd and Hg) in water, sediments and soft tissue of Anzali lagoon anodont (*Anodonta cygnea*) sampled in two seasons, autumn and spring (2004–2005). *Veterinary Research and Biological Products*, 19(4): 103–113.
- Aura S.M., Deswati D. and Emriadi E. 2024.** The Presence of microplastics in shellfish: A review. *Hydrogen: Jurnal Kependidikan Kimia*, 12(1): 85–97. doi: 10.33394/hjkk.v12i1.10820
- Baechler B.R., Granek E.F., Hunter M.V. and Conn K.E. 2020.** Microplastic concentrations in two Oregon bivalve species: Spatial, temporal, and species variability. *Limnology and Oceanography Letters*, 5(1): 54–65. doi: 10.1002/lol2.10124
- Bagheri T., Gholizadeh M., Abarghouei S., Zakeri M., Hedayati A., Rabaniha M., Aghaeimoghadam A. and**

- Hafezieh M. 2020.** Microplastics distribution, abundance and composition in sediment, fishes and benthic organisms of the Gorgan Bay, Caspian Sea. *Chemosphere*, 257: 1–32 (127201). doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.127201
- Bellasi A., Binda G., Pozzi A., Galafassi S., Volta P. and Bettinetti R. 2020.** Microplastic contamination in freshwater environments: A review, focusing on interactions with sediments and benthic organisms. *Environments*, 7(4): 1–32 (30). doi: 10.3390/environments7040030
- Ben-Haddad M., Abelouah M.R., Hajji S., De-la-Torre G.E., Abou Oualid H., Rangel-Buitrago N. and Alla A.A. 2022.** The wedge clam *Donax trunculus* L., 1758 as a bioindicator of microplastic pollution. *Marine Pollution Bulletin*, 178: 123–130. doi: 10.1016/j.marpolbul.2022.113607
- Bom F.C. and Sa F. 2021.** Concentration of microplastics in bivalves of the environment: A systematic review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193: 1–30 (846). doi: 10.1007/s10661-021-09639-1
- Bom F.C., De Brito W.V.F. and Sa F., 2022.** Microplastics concentration in bivalve of economic importance, a case study on the southeastern Brazilian coast. *Regional Studies in Marine Science*, 52: 102346. doi: 10.1016/j.rsma.2022.102346
- Bonifacio P.S.P., Metillo E.B. and Romano E.F. 2022.** Microplastic in sediments and ingestion rates in three edible bivalve mollusc species in a Southern Philippine Estuary. *Water, Air and Soil Pollution*, 233: 1–16 (455). doi: 10.1007/s11270-022-05926-w
- Bruzaca D.N., Justino A.K., Mota G.C., Costa G.A., Lucena-Fredou F. and Galvez A.O. 2022.** Occurrence of microplastics in bivalve molluscs *Anomalocardia flexuosa* captured in Pernambuco, Northeast Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 179: 1–6 (113659). doi: 10.1016/j.marpolbul.2022.113659
- Chinfak N., Sompongchaiyakul P., Charoenpong C., Shi H., Yeemin T. and Zhang J. 2021.** Abundance, composition, and fate of microplastics in water, sediment, and shellfish in the Tapi-Phumduang River system and Bandon Bay, Thailand. *Science of the Total Environment*: 781: 1–17 (146700). doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.146700
- Cho Y., Shim W.J., Jang M., Han G.M. and Hong S.H. 2021.** Nationwide monitoring of microplastics in bivalves from the coastal environment of Korea. *Environmental Pollution*, 270: 1–11 (116175). doi: 10.1016/j.envpol.2020.116175

- Chojnacki J.C., Rosinska B., Rudkiewicz J. and Smola M. 2011.** Biometrics of the swan mussel *Anodonta cygnea*. Polish Journal of Environmental Studies, 20(1): 225–230.
- Crawford C.B. and Quinn B. 2017.** Plastic production, waste and legislation. Microplastic pollutants, 30: 39–56. doi: 10.1016/b978-0-12-809406-8.00003-7
- Dang T.T., Le X.T.T., Nguyen D.T., Phung T.V., Vu D.N. and Pham H.V. 2022.** Abundance of microplastics in cultured oysters (*Crassostrea gigas*) from Danang Bay of Vietnam. Marine Pollution Bulletin, 180: 113800. doi: 10.1016/j.marpolbul.2022.113800
- Ding J., Sun C., He C., Li J., Ju P. and Li F. 2021.** Microplastics in four bivalve species and basis for using bivalves as bioindicators of microplastic pollution. Science of the Total Environment, 782: 1–10 (146830). doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.146830
- Ding J., Sun C., Li J., Shi H., Xu X., Ju P., Jiang F. and Li F. 2022.** Microplastics in global bivalve mollusks: A call for protocol standardization. Journal of Hazardous Materials, 438: 129490. doi: 10.1016/j.jhazmat.2022.129490
- Dos Santos I.E., Fernandes E.H., Pinho G.L. and Abdallah P.R. 2023.** Characteristics and fluxes of plastic debris based on socio-economic data for Patos Lagoon-a choked coastal lagoon in South Brazil. Environmental Science and Pollution Research, 30(21): 59382–59400. doi: 10.1007/s11356-023-26660-8
- Duan Z., Zhao S., Zhao L., Duan X., Xie S., Zhang H., Liu Y., Peng Y., Liu C. and Wang L. 2020.** Microplastics in Yellow River Delta wetland: Occurrence, characteristics, human influences, and marker. Environmental Pollution, 258: 1–27 (113232). doi: 10.1016/j.envpol.2019.113232
- Ferguson L., Awe A. and Sparks C. 2024.** Microplastic concentrations and risk assessment in water, sediment and invertebrates from Simon's Town, South Africa. Heliyon, 10(7): 1–11 (e28514). doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e28514
- Fraissinet S., De Benedetto G.E., Malitesta C., Holzinger R. and Materic D. 2024.** Microplastics and nanoplastics size distribution in farmed mussel tissues. Communications Earth and Environment, 5(1): 128. doi: 10.1038/s43247-024-01300-2
- Gedik K. and Atasaral S. 2022.** The microplastic pattern in Turkish lakes: Sediment and bivalve samples from Çildir Lake, Almus Dam Lake, and Kartalkaya Dam Lake. Turkish Journal of Zoology, 46(5): 397–408. doi: 10.55730/1300-0179.3093
- Han Z., Jiang T., Xie L. and Zhang R. 2022.** Microplastics impact shell

- and pearl biomineralization of the pearl oyster *Pinctada fucata*. *Environmental Pollution*, 293: 118522. doi: 10.1016/j.envpol.2021.118522
- Hermabessiere L., Himber C., Boricaud B., Kazour M., Amara R., Cassone A.L., Laurentie M., Paul-Pont I., Soudant P., Dehaut A. and Duflos G. 2018.** Optimization, performance, and application of a pyrolysis-GC/MS method for the identification of microplastics. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 410: 6663–6676. doi: 10.1007/s00216-018-1279-0
- Hermabessiere L., Paul-Pont I., Cassone A.L., Himber C., Receveur J., Jezequel R., El Rakwe M., Rinnert E., Riviere G., Lambert C. and Huvet A. 2019.** Microplastic contamination and pollutant levels in mussels and cockles collected along the channel coasts. *Environmental Pollution*, 250: 807–819. doi: 10.1016/j.envpol.2019.04.051
- Hermesen E., Mintenig S.M., Besseling E. and Koelmans A.A. 2018.** Quality criteria for the analysis of microplastic in biota samples: A critical review. *Environmental Science and Technology*, 52(18): 10230–10240. doi: 10.1021/acs.est.8b01611
- Huang D., Li X., Ouyang Z., Zhao X., Wu R., Zhang C., Lin C., Li Y. and Guo X. 2021.** The occurrence and abundance of microplastics in surface water and sediment of the West River downstream, in the south of China. *Science of the Total Environment*, 756: 143857. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.143857
- Ilmi F., Muntalif B.S., Chazanah N. and Sari N.E. 2023.** Microplastic risk assessment in river sediments along the cascading dam system (case study: Midstream of the Citarum River, Indonesia). *Water, Air and Soil Pollution*, 234(6): 358. doi: 10.1007/s11270-023-06370-0
- Ismanto A., Hadibarata T., Sugianto D.N., Zainuri M., Kristanti R.A., Wisha U.J., Hernawan U., Anindita M.A., Gonsilou A.P., Elshikh M.S. and Al-Mohaimeed A.M. 2023.** First evidence of microplastics in the water and sediment of Surakarta city river basin, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 196: 115677. doi: 10.1016/j.marpolbul.2023.115677
- Jang M., Shim W.J., Cho Y., Han G.M., Song Y.K. and Hong S.H. 2020.** A close relationship between microplastic contamination and coastal area use pattern. *Water Research*, 171: 115400. doi: 10.1016/j.watres.2019.115400
- Jankauskas L., Pinho G.L.L., Sanz-Lazaro C., Casado-Coy N., Rangel D.F., Ribeiro V.V. and Castro I.B. 2024.** Microplastic in clams: An extensive spatial assessment in south Brazil. *Marine*

- Pollution Bulletin, 201: 116203. doi: 10.1016/j.marpolbul.2024.116203
- Jiang Y., Yang F., Kazmi S.S.U.H., Zhao Y., Chen M. and Wang J. 2022.** A review of microplastic pollution in seawater, sediments and organisms of the Chinese coastal and marginal seas. *Chemosphere*, 286: 131677. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.131677
- Joshi K., Rabari V., Patel H., Patel K., Rakib M.R.J., Trivedi J., Paray B.A., Walker T.R. and Jakariya M. 2024.** Microplastic contamination in filter-feeding oyster *Saccostrea cucullata*: Novel insights in a marine ecosystem. *Marine Pollution Bulletin*, 202: 116326. doi: 10.1016/j.marpolbul.2024.116326
- Joshy A., Sharma S.K. and Mini K.G. 2022.** Microplastic contamination in commercially important bivalves from the southwest coast of India. *Environmental Pollution*, 305: 119250. doi: 10.1016/j.envpol.2022.119250
- Kallenbach E.M., Friberg N., Lusher A., Jacobsen D. and Hurley R.R. 2022.** Anthropogenically impacted lake catchments in Denmark reveal low microplastic pollution. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(31): 47726–47739. doi: 10.1007/s11356-022-19001-8
- Khanjani M.H., Sharifinia M. and Mohammadi A.R. 2023.** The impact of microplastics on bivalve mollusks: A bibliometric and scientific review. *Marine Pollution Bulletin*, 194: 115271. doi: 10.1016/j.marpolbul.2023.115271
- Le X.T.T. and Nguyen D.T. 2024.** Evaluation of microplastic bio-accumulation capacity of mussel (*Perna viridis*) and surrounding environment in the North coast of Vietnam. *Marine Pollution Bulletin*, 199: 115987. doi: 10.1016/j.marpolbul.2023.115987
- Li H.X., Shi M., Tian F., Lin L., Liu S., Hou R., Peng J.P. and Xu X.R. 2022.** Microplastics contamination in bivalves from the Daya Bay: Species variability and spatio-temporal distribution and human health risks. *Science of the Total Environment*, 841: 156749. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.156749
- Li S., Wang Y., Liu L., Lai H., Zeng X., Chen J., Liu C. and Luo Q. 2021.** Temporal and spatial distribution of microplastics in a coastal region of the Pearl River Estuary, China. *Water*, 13(12): 1618. doi: 10.3390/w13121618
- Lin L., Zuo L.Z., Peng J.P., Cai L.Q., Fok L., Yan Y., Li H.X. and Xu X.R. 2018.** Occurrence and distribution of microplastics in an urban river: A case study in the Pearl River along Guangzhou City, China. *Science of the Total Environment*, 644: 375–381. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.06.327
- Moi F., Poorbagher H., Ghadermazi A., Parvizi F. and Benam S. 2017.**

- Variation in the shell form of the swan mussel, *Anodonta cygnea* (Linea, 1876) in response to water current. *International Journal of Aquatic Biology*, 5(4): 275–281. doi: 10.22034/ijab.v5i4.296
- Naidu B.C., Xavier K.M., Shukla S.P., Jaiswar A.K. and Nayak B.B. 2022.** Comparative study on the microplastics abundance, characteristics, and possible sources in yellow clams of different demographic regions of the northwest coast of India. *Journal of Hazardous Materials Letters*, 3: 100051. doi: 10.1016/j.hazl.2022.100051.
- Napper I.E., Baroth A., Barrett A.C., Bhola S., wdury G.W., Davies B.F., Duncan E.M., Kumar S., Nelms S.E., Niloy M.N.H. and Nishat B. 2023.** The distribution and characterisation of microplastics in air, surface water and sediment within a major river system. *Science of the Total Environment*, 901: 166640. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.166640
- Nikhil V.G., Amritha G.G., Ranjeet K. and Varghese G.K. 2024.** Distribution of microplastics in seafloor sediments and their differential assimilation in nearshore benthic molluscs along the south-west coast of India. *Environmental Pollution*, 344: 123350. doi: 10.1016/j.envpol.2024.123350
- Otegui M.B.P., Schuab J.M., França M.A., Caniçali F.B., Yapuchura E.R., Zamprogno G.C. and Da Costa M.B. 2024.** Microplastic contamination in different shell length in *Tivela mactroides* (Born, 1778). *Science of The Total Environment*, 922: 171283. doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.171283
- Patterson J., Jeyasanta K.I., Laju R.L. and Edward J.P. 2021.** Microplastic contamination in Indian edible mussels (*Perna perna* and *Perna viridis*) and their environs. *Marine Pollution Bulletin*, 171: 112678. doi: 10.1016/j.marpolbul.2021.112678
- Radhakrishnan N.K.K., Sangeetha J., Alabhai J.M. and Jayasree P. 2024.** Accumulation of microplastics in bivalves within the Chandragiri River in South-Western India. *Anthropocene Coasts*, 7(1): 1–13. doi: 10.1007/s44218-024-00038-w
- Ranjbar R., Shariati F.P., Tavakoli O. and Ehteshami F. 2021.** Fabrication of a new reactor design to apply freshwater mussel *Anodonta cygnea* for biological removal of water pollution. *Aquaculture*, 544: 737077. doi: 10.1016/j.aquaculture.2021.737077
- Rasta M., Rahimibashar M.R., Ershad A., Jafroudi H.T. and Kouhbane S.T. 2021.** Characteristics and seasonal distribution of microplastics in the surface waters of southwest coast of the Caspian

- Sea (Guilan Province, Iran). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 107(4): 671–676. doi: 10.1007/s00128-021-03268-7
- Rasta M., Rahimibashar M.R., Torabi Jafroudi H., Fakheri S., Tagheipour Kouhbane S. and Taridashti F. 2022.** Microplastics in sediments of southwest Caspian Sea: Characteristics, distribution and seasonal variability. *Soil and Sediment Contamination*, 31(6): 785–799. doi: 10.1080/15320383.2021.2010648
- Rasta M., Sattari M., Taleshi M.S. and Namin J.I. 2020.** Identification and distribution of microplastics in the sediments and surface waters of Anzali Wetland in the Southwest Caspian Sea, Northern Iran. *Marine Pollution Bulletin*, 160: 111541. doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111541
- Robin R.S., Karthik R., Purvaja R., Ganguly D., Anandavelu I., Mugilarasan M. and Ramesh R. 2020.** Holistic assessment of microplastics in various coastal environmental matrices, southwest coast of India. *Science of the Total Environment*, 703: 134947. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134947
- Soltani N., Keshavarzi B., Moore F., Busquets R., Nematollahi M.J., Javid R. and Gobert S. 2022.** Effect of land use on microplastic pollution in a major boundary waterway: The Arvand River. *Science of the Total Environment*, 830: 154728. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.154728
- Song K., Wang R., Yang G., Xie S., Chen Y., Yang F., Huang W., Zhang T. and Feng Z. 2023.** Pollution concerns in mariculture water and cultured economical bivalves: Occurrence of microplastics under different aquaculture modes. *Journal of Cleaner Production*, 406: 136913. doi: 10.1016/j.jclepro.2023.136913
- Strady E., Dang T.H., Dao T.D., Dinh H.N., Do T.T.D., Duong T.N., Duong, T.T., Hoang, D.A., Kieu-Le T.C., Le T.P.Q. and Mai H. 2021.** Baseline assessment of microplastic concentrations in marine and freshwater environments of a developing Southeast Asian country, Viet Nam. *Marine Pollution Bulletin*, 162: 111870. doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111870
- Thanh N.D., Thu V.A., Thom D.T., Manh D.T., Tuan P.M., Ngo V.D. and Van Tuyen T. 2022.** Investigation of microplastics existence in mussel (*Perna viridis*) from Ha Long Bay, Viet Nam. *Vietnam Journal of Science and Technology*, 60(5): 1–10. doi: 10.15625/2525-2518/17327
- Tran-Nguyen Q.A., Nguyen T.Q., Phan T.L.T., Vo M.V. and Trinh-Dang M. 2023.** Abundance of microplastics in two Venus clams (*Meretrix lyrata* and *Paratapes undulatus*) from estuaries in central

- Vietnam. Water, 15(7): 1312. doi: 10.3390/w15071312
- Truchet D.M., Lopez A.F., Arduoso M.G., Rimondino G.N., Buzzi N.S., Malanca F.E., Spetter C.V. and Severini M.F. 2021.** Microplastics in bivalves, water and sediments from a touristic sandy beach of Argentina. Marine Pollution Bulletin, 173: 113023. doi: 10.1016/j.marpolbul.2021.113023
- Vayghan A.H., Rasta M., Zakeri M. and Kelly F.J. 2022.** Spatial distribution of microplastics pollution in sediments and surface waters of the Aras River and reservoir: An international river in Northwestern Iran. Science of the Total Environment, 843: 156894. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.156894
- Wakkaf T., El Zrelli R., Kedzierski M., Balti R., Shaiek M., Mansour L., Tlig-Zouari S., Bruzard S. and Rabaoui L. 2020.** Microplastics in edible mussels from a southern Mediterranean lagoon: Preliminary results on seawater-mussel transfer and implications for environmental protection and seafood safety. Marine Pollution Bulletin, 158: 111355. doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111355
- Wang D., Su L., Ruan H.D., Chen J., Lu J., Lee C.H. and Jiang S.Y. 2021.** Quantitative and qualitative determination of microplastics in oyster, seawater and sediment from the coastal areas in Zhuhai, China. Marine Pollution Bulletin, 164: 112000. doi: 10.1016/j.marpolbul.2021.112000
- Wardlaw C. and Prosser R.S. 2020.** Investigation of microplastics in freshwater mussels (*Lasmigona costata*) from the Grand River watershed in Ontario, Canada. Water, Air and Soil Pollution, 231: 1–14. doi: 10.1007/s11270-020-04741-5
- Wootton N., Sarakinis K., Varea R., Reis-Santos P. and Gillanders B.M. 2022.** Microplastic in oysters: A review of global trends and comparison to southern Australia. Chemosphere, 307: 1–25. doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.136065
- Xu X., Wong C.Y., Tam N.F., Lo H.S. and Cheung S.G. 2020.** Microplastics in invertebrates on soft shores in Hong Kong: Influence of habitat, taxa and feeding mode. Science of the Total Environment, 715: 1–10 (136999). doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.136999
- Yu L., Li R., Zhang Z., Wu H., Chai M., Zhu X. and Guo W. 2022.** Distribution, characteristics, and human exposure to microplastics in mangroves within the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. Marine Pollution Bulletin, 175: 113395. doi: 10.1016/j.marpolbul.2022.113395
- Zhang T., Song K., Meng L., Tang R., Song T., Huang W. and Feng Z. 2022.** Distribution and characteristics of microplastics in

barnacles and wild bivalves on the coast of the Yellow Sea, China. *Frontiers in Marine Science*, 8: 789615. doi: 10.3389/fmars.2021.789615

Zhao S., Liu Y., Sun C., Wang X., Hou C., Teng J., Zhao J., Fang Y.

and Wang Q. 2024. The pollution characteristics and risk assessment of microplastics in mollusks collected from the Bohai Sea. *Science of The Total Environment*, 913: 169739. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.169739



Research Paper

The microplastics pollution in bivalve *Anodonta cygnea*, water and sediments of the Siyahdarvishan River (Guilan Province)

Haleh Rahmani¹, Javid Imanpour Namin^{2*}, Moslem Sharifinia³

DOI: 10.22124/japb.2024.28336.1552

Received: September 2024

Accepted: November 2024

Abstract

Microplastic particles smaller than 5mm are referred to as microplastics (MPs). Microplastic pollution is a widespread global threat to aquatic ecosystems. Considering that various sources of pollutants, including microplastics, enter the Siyahdarvishan River, in present study, the level of microplastic pollution in the bivalve *Anodonta cygnea*, water and sediments of the Siyahdarvishan River (Guilan) was studied. Samples of bivalves, sediments, and water were collected from three stations from June to September 2023. A total of 65 bivalve specimens were sampled and analyzed. The mean length and total weight of the sampled bivalves were 113.90 ± 3.97 mm and 143.78 ± 14.96 g, respectively. Microplastics were observed and identified in all samples. The average abundance of microplastics in bivalve tissue was 34.13 ± 11.88 particles per individual and 0.38 ± 0.15 particles per gram of soft tissue, 853.33 ± 296.31 particles per kilogram of dry weight in sediment and 0.77 ± 0.15 particles per liter in water. There was no significant correlation in terms of the amount of microplastics and shape, between water and bivalves, sediment and bivalves, and sediment and water ($P > 0.05$). But a significant positive correlation was observed in terms of particle size between water and bivalves, sediment and bivalves, and sediment and water ($P < 0.05$). Additionally, there was no correlation between microplastic concentration and the total weight, soft tissue weight or shell length ($P > 0.05$). The predominant shapes of microplastics were fibers and fragments, and mainly black in color. Among the plastic polymers identified by the ATR-FTIR device, polypropylene (PP) and polyethylene (PE) were the most common polymers. The average size of particles in bivalve soft tissue and sediment across all stations was 0.5-1mm and 1-2mm in water.

Key words: Bivalve *Anodonta cygnea*, Microplastic, Sediment, Polymere, Iran River.

1- Ph.D. in Aquatic Ecology, Department of Fisheries, Faculty of Natural Resource, University of Guilan, Somesara, Iran.

2- Associate Professor in Department of Fisheries, Faculty of Natural Resource, University of Guilan, Somesara, Iran.

3- Assistant Professor in Shrimp Research Center, Iranian Fisheries Science Research Institute (IFSRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Booshehr, Iran.

*Corresponding Author: imanpour@guilan.ac.ir