



بررسی حضور، فراوانی و ویژگی‌های میکروپلاستیک‌ها در رسوبات رودخانه زاینده‌رود

مکرمه بهمنش^۱، عاطفه چمنی^{۲*}، الهام چاوشی^۳

۱- گروه علوم محیط زیست، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

۲- گروه علوم و مهندسی محیط زیست، مرکز تحقیقات پسماند و پساب، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

۳- گروه علوم و مهندسی خاک، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

نوع مقاله:	چکیده
پژوهشی	پیشینه و هدف: یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های نوظهور در محیط‌های آبی که در سال‌های اخیر مورد توجه محققان جهانی قرار گرفته، زباله‌های پلاستیکی به‌ویژه میکروپلاستیک‌ها می‌باشد. جانوران آبی می‌توانند میکروپلاستیک‌ها را بخورند زیرا آن‌ها را به جای طعمه‌ی خود اشتباه می‌گیرند. در نتیجه، حیوان بعد از مصرف میکروپلاستیک، می‌تواند احساس سیری کند و باعث کاهش جذب مواد غذایی و کاهش مصرف انرژی شود که به نوبه خود ممکن است بر رشد، بقا، باروری و میزان تولید مثل تأثیر بگذارد. این ذرات پس از بلعیدن می‌توانند به سطوح بالاتر تغذیه‌ای منتقل شوند و در نهایت از طریق زنجیره‌ی غذایی به انسان برسند. با وجود این واقعیت که آب شیرین منبع آب آشامیدنی است، دانش در مورد اثرات آلودگی میکروپلاستیک در محیط‌های آب شیرین در مقایسه با محیط‌های دریایی، هنوز در مراحل ابتدایی خود است. از این‌رو هدف از مطالعه‌ی حاضر بررسی جامع حضور و پراکنش میکروپلاستیک در رسوبات رودخانه زاینده‌رود می‌باشد.
تاریخچه مقاله:	مواد و روش‌ها: از بالادست تا پایین‌دست رودخانه زاینده رود، ۲۱ ایستگاه نمونه‌برداری، انتخاب و در هر ایستگاه، نمونه‌برداری در مساحتی به ابعاد ۳۰×۳۰ سانتی‌متر تا عمق تقریبی ۱۰ سانتی‌متری بالای رسوب در سه تکرار انجام شد. پردازش نمونه طی دو مرحله‌ی هضم مواد آلی با استفاده از پراکسید هیدروژن و جداسازی چگالی با استفاده از نمک سدیم کلرید انجام شد. میکروپلاستیک‌ها با استفاده از میکروسکوپ نوری استاندارد با بزرگ‌نمایی‌های ۴۰×، ۱۰۰× و ۴۰۰×، شناسایی شدند. پروتکل‌های استاندارد مختلف مانند آزمون‌های فشار، کشیدگی، نور اضافی یا سوزن داغ برای تشخیص میکروپلاستیک‌ها استفاده شد. پس از شناسایی ذرات میکروپلاستیک، نوع و شکل آن‌ها، رنگ و اندازه آن‌ها تعیین و یادداشت شد. برای تعیین ترکیب پلیمری میکروپلاستیک‌ها از دستگاه طیف سنج رامان استفاده شد.
کلمات کلیدی:	نتایج: میانگین فراوانی میکروپلاستیک‌ها ۷۰/۴۸۱±۲۹/۳۹ ذره و ایستگاه‌های ۱، ۶ و ۷ با میانگین تعداد ۱/۳۳±۱/۵۲۸ ذره در ۵۰ گرم رسوب خشک بود. ایستگاه ۱۷ با میانگین تعداد ۳۶۳/۵۰±۱۴/۸۴۹ ذره و ایستگاه‌های ۱، ۶ و ۷ با میانگین تعداد ۱/۳۳±۱/۵۲۸ ذره در ۵۰ گرم رسوب خشک به ترتیب دارای بیشترین و کمترین میزان آلودگی بودند. اندازه تمامی میکروپلاستیک‌ها در محدوده ۵۰۰-۵۰ میکرومتر بود. میکروپلاستیک‌های کمتر از ۵۰۰ میکرون با ۶۴/۵ درصد دارای بیشترین فراوانی بودند. شکل غالب میکروپلاستیک‌ها با فراوانی ۳۴/۹ درصد، ۳۳ درصد و ۲۸/۸ درصد به ترتیب به رشته‌ای، قطعه و فیبر تعلق داشت. نتایج با طیف مرجع ارائه شده در پایگاه داده

Openspecy مقایسه شد. در مجموع ۳ پلیمر مختلف شامل پلی‌پروپیلن (PP)، پلی‌اتیلن (PE) و پلی‌آمید (PA) در رسوبات یافت شدند.

بحث: نتایج این پژوهش نشان‌دهنده‌ی پراکندگی میکروپلاستیک‌ها در رسوبات رودخانه زاینده‌رود است. پلیمرهای پلی‌پروپیلن (PP)، پلی‌آمید (PA) و پلی‌اتیلن (PE) یافت‌شده در رسوبات رودخانه زاینده‌رود اغلب در پارچه‌ها استفاده می‌شوند. ترکیب پلیمر، در رسوبات رودخانه زاینده‌رود به وضوح نشان‌دهنده‌ی ورود فاضلاب‌های حاصل از شست‌وشوی پارچه‌های مصنوعی به رودخانه می‌باشد. پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن برای ساخت طناب‌ها و تورهای ماهیگیری استفاده می‌شود. علاوه‌براین الیاف پلی‌پروپیلن به طور گسترده برای تولید پوشش کفپوش، فرش و قالی، لباس ورزشی، ساخت مالچ کشاورزی، تورهای ماهیگیری، کیسه‌های بسته‌بندی و طناب استفاده می‌شود. پلی‌آمید با توجه به استحکام و سختی بالا برای تولید وسایلی مانند طناب، کمر بند ایمنی، چتر نجات، نخ و تور ماهیگیری، هم‌چنین در تولید الیاف مصنوعی از قبیل انواع البسه و جوراب و الیاف فرش استفاده می‌شود. بنابراین می‌توان ادعان نمود که فعالیت‌های انسانی از جمله رهاسازی فاضلاب‌های شهری و صنعتی، ریختن زباله توسط گردشگران در ساحل رودخانه و استفاده از تور ماهیگیری از طرف صیادان نقش مهمی در آلودگی میکروپلاستیک در این منطقه داشته است. بنابراین پایش دوره‌ای میکروپلاستیک‌ها در آب و رسوب رودخانه زاینده‌رود کمک شایانی به اقدامات مدیریتی برای کنترل این آلودگی خواهد بود.

مقدمه

(Frias & Nash, 2019). به طور کلی، میکروپلاستیک‌ها را با توجه به نحوه‌ی تولید آن‌ها به دو نوع اولیه یا ثانویه طبقه‌بندی می‌کنند. میکروپلاستیک‌های اولیه برای تولید پلاستیک در اندازه‌های میکرو ساخته می‌شوند. به عنوان مثال می‌توان به لایه‌بردارها در لوازم آرایشی یا مواد اولیه‌ی دانه‌ای پلاستیکی، مانند رزین‌ها در صنایع اشاره کرد. میکروپلاستیک‌های ثانویه نتیجه‌ی تجزیه یا قطعه‌قطعه شدن پلاستیک‌های بزرگ‌تر است. تجزیه‌ی پلاستیک می‌تواند به دلیل ترکیبی از فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی یا بیولوژیکی باشد که باعث کاهش یکپارچگی سطح پلاستیک و منجر به قطعه‌قطعه شدن آن می‌شود (Cole et al., 2011).

در حال حاضر، میکروپلاستیک‌ها در خاک (Nizzetto et al., 2016)، دریاچه‌های دور از مناطق شهری (Free et al., 2014)، رودخانه‌های دوردست (Jiang et al., 2019)، مناطق قطبی (Obbard et al., 2018) و کلیه‌ی قسمت‌های محیط‌زیست در تمام قاره‌ها از جمله محیط‌های آبی وجود دارند (Horton et al., 2017) که ظرفیت پراکندگی بالای آنها را نشان می‌دهد (Zhang et al., 2016).

مقدار قابل توجهی از زباله‌ها، در مقیاس جهانی توسط انسان‌ها تولید می‌گردد و به طور مداوم در حال افزایش می‌باشند. پلاستیک جزء اصلی زباله‌هاست و گاهی تا ۹۵ درصد از زباله‌های تجمع‌یافته در سطح اقیانوس‌ها، رسوبات اعماق دریا، سواحل، دریاچه‌ها و رودخانه‌های آب شیرین را به خود اختصاص می‌دهد (Mason et al., 2016). به دلیل استفاده‌ی گسترده و مدیریت نامناسب پلاستیک‌ها، آلودگی ناشی از آن‌ها به عنوان یک مسأله‌ی زیست‌محیطی در حال ظهور شناخته شده‌است (Andrady, 2017; Van Sebill et al., 2015).

در سال‌های اخیر، تأثیرات جدی و گسترده‌ی اکولوژیکی بقایای میکروسکوپی پلاستیک‌ها، که اصطلاحاً میکروپلاستیک نامیده می‌شوند، به یک نگرانی عمده تبدیل شده‌است. اصطلاح میکروپلاستیک که در سال ۲۰۰۴ توسط Thompson و همکاران ابداع شد، به صورت ذرات کوچک پلاستیکی تعریف شده‌است. با این حال، اخیراً تعریف جامعی ارائه شده است: "میکروپلاستیک‌ها، هر ذره‌ی جامد مصنوعی یا ماتریس پلیمری، با شکل منظم یا نامنظم و ابعادی بین ۱ میکرومتر و ۵ میلی‌متر، با منشأ تولید اولیه یا ثانویه و نامحلول در آب می‌باشند"

تحقیقات میکروپلاستیک، مربوط به سیستم‌های آب شیرین می‌باشد (Wagner & Lambert, 2018). در مقایسه با سایر نقاط جهان، اطلاعات چاپ شده بسیار محدودی در مورد آلودگی میکروپلاستیک در سیستم‌های آب شیرین ایران از جمله رودخانه‌ی زاینده‌رود وجود دارد. رودخانه‌ی زاینده‌رود مهم‌ترین رودخانه‌ی فلات مرکزی ایران، نقش بسیار مهمی در توسعه‌ی کشاورزی، تأمین آب بخش صنعت و کلیه‌ی فعالیت‌های اقتصادی منطقه را دارا می‌باشد و لذا حفظ کیفیت آب آن از نظر مصارف شرب، کشاورزی، صنعت و حفظ محیط‌زیست آرزوی بسیار حائز اهمیت است. این رودخانه از محدوده‌ی کوه‌رنگ در استان چهارمحال و بختیاری شروع شده و به تالاب بین المللی گاوخونی ختم می‌شود. از علل آلودگی این رودخانه می‌توان فاضلاب صنایع، تصفیه‌خانه‌ها و رواناب‌های شهری و کشاورزی اشاره کرد. در این زمینه آلاینده‌های مختلفی، مانند انواع آلوده‌کننده‌های معدنی و آلی قابل بررسی هستند اما آلاینده‌های نوظهوری مانند میکروپلاستیک‌ها به دلیل اهمیت سم‌شناسی که دارند اهمیت دوچندانی دارند. با توجه به روند سریع رشد جمعیت و به تبع آن توسعه مراکز شهری و صنعتی در اطراف زاینده‌رود، بررسی وضعیت آلودگی این رودخانه به خصوص به آلاینده‌های نوظهوری مانند میکروپلاستیک‌ها بسیار مهم و ضروری می‌باشد. از این رو مطالعه‌ی حاضر به عنوان اولین مطالعه جامع از حضور و پراکنش میکروپلاستیک در رسوبات رودخانه زاینده رود می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را برای مطالعات بعدی فراهم کند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز گاوخونی در مرکز ایران دارای مساحت زهکشی تقریباً ۴۱۳۴۷ کیلومتر مربع است (Ahmadi et al., 2015). از غرب با رشته کوه زاگرس و از شرق با کویر مرکزی ایران (دشت کویر) همسایه است. این منطقه به عنوان سومین حوضه پرجمعیت ایران با میزبانی نزدیک به ۴ میلیون نفر، که ۵ درصد از جمعیت کشور را تشکیل می‌دهد، طبقه‌بندی می‌شود (Sharifinejad et al., 2020). رودخانه زاینده‌رود (به طول نزدیک به ۴۵۰ کیلومتر) به عنوان مهم‌ترین جاذبه بوم‌گردی حوضه، از ارتفاعات غربی سرچشمه گرفته و از بخش میانی منطقه از جمله جنوب

مطالعات سم‌شناسی نشان می‌دهد که مواجهه با میکروپلاستیک‌ها می‌تواند باعث اثرات رفتاری، ریخت‌شناسی و تولیدمثلی بر روی موجودات آبی شود (Lambert & Wagner, 2016). بررسی‌های میدانی و آزمایشگاهی در هر دو سیستم دریایی و آب‌شیرین نشان می‌دهد که جانوران آبی می‌توانند میکروپلاستیک‌ها را بخورند زیرا آن‌ها را به جای طعمه‌ی خود اشتباه می‌گیرند (Connor et al., 2020). در نتیجه، حیوان بعد از مصرف میکروپلاستیک، می‌تواند احساس سیری کند و باعث کاهش جذب مواد غذایی و کاهش مصرف انرژی شود که به نوبه خود ممکن است بر رشد، بقا، باروری و میزان تولید مثل تأثیر بگذارد (Bellasi et al., 2020). این ذرات پس از بلعیدن می‌توانند به سطوح بالاتر تغذیه‌ای منتقل شوند و در نهایت از طریق زنجیره‌ی غذایی به انسان برسند (De Sa et al., 2015). در مقایسه با آلاینده‌های معمولی آبی، تهدید میکروپلاستیک‌ها پیچیده‌تر است. به جز تأثیر خود میکروپلاستیک‌ها، میکروپلاستیک به عنوان ناقل مهم سایر آلاینده‌ها مانند بسیاری از آلاینده‌های آلی و فلزات سنگین عمل می‌کنند (Munier & Bendell, 2018).

برخلاف مطالعات گسترده‌ی علمی در توصیف آلودگی محیط دریایی به میکروپلاستیک‌ها (Klein et al., 2018; Wagner & Lambert, 2018) حضور میکروپلاستیک‌ها در آب‌های شیرین در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. ورود و رسوب میکروپلاستیک‌ها در رودخانه‌ها می‌تواند به عواملی از جمله کاربری اراضی بالادستی (Mani et al., 2015)، رواناب شهری (Nizzetto et al., 2016)، حجم نسبی تخلیه پساب (Moore et al., 2011)، هیدرولوژی و مورفولوژی رودخانه (Besseling et al., 2017) و تراکم جمعیت و میزان شهرنشینی و صنعتی شدن اطراف رودخانه (Yonkos et al., 2014) نسبت داده شود. علاوه بر این، موانعی مانند سدها نیز بر غلظت، ترکیب و انتقال میکرو پلاستیک‌ها در اکوسیستم‌های آب شیرین تأثیر می‌گذارند (Zhang et al., 2015).

با وجود این واقعیت که آب شیرین منبع آب آشامیدنی است، دانش در مورد اثرات آلودگی میکروپلاستیک در محیط‌های آب شیرین در مقایسه با محیط‌های دریایی هنوز در مراحل ابتدایی خود است. تنها حدود ۴ درصد از

نمونه‌ها به شیشه‌های برچسب‌دار منتقل شده و تا زمان تجزیه و تحلیل، در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. نمونه‌ها در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت در آون خشک شدند. سپس هر نمونه در هاون چینی همگن شده (Lahijanzadeh *et al.*, 2020) و برای آنالیز میکروپلاستیک‌ها از الک ۴/۷۵ میلی‌متر عبور داده شد.

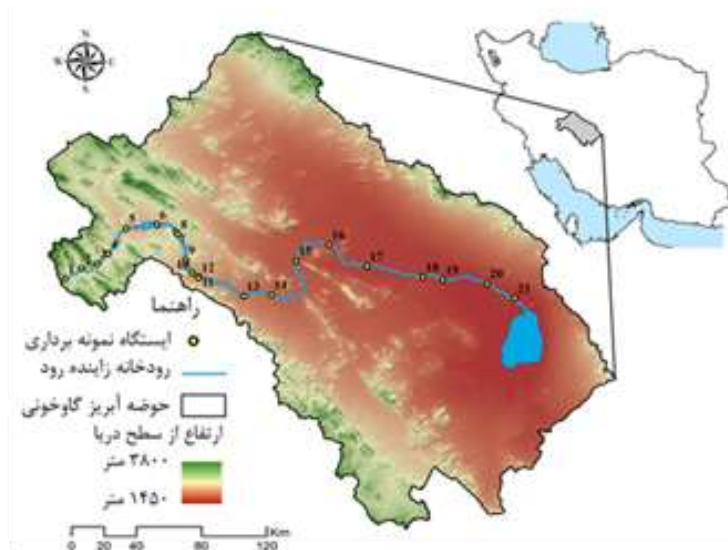
پردازش نمونه‌ها

پردازش نمونه شامل دو مرحله ضروری است: الف) هضم مواد آلی و ب) جداسازی چگالی. هضم مواد آلی برای از بین بردن اغلب مواد شناور از نمونه، بدون آسیب رساندن به میکروپلاستیک‌ها ضروری است. حدود ۵۰ گرم نمونه رسوب، وزن شده و با استفاده از پراکسید هیدروژن (H_2O_2 ، ۳۰ درصد) هضم شدند (مدت زمان هضم بسته به میزان و نوع ماده آلی بین ۱ روز تا ۱۰ روز طول کشید). برای جداسازی چگالی، از محلول اشباع شده سدیم کلرید (NaCl، چگالی: ۲/۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب) با زمان ماند ۲۴ ساعت استفاده شد. پس از ۲۴ ساعت، فاز مایع رویی، برای آزمایشات بعدی برداشته شد و مواد جامد رسوبی باقیمانده، مجدداً با استفاده از محلول اشباع شده NaCl تحت فرایند جداسازی چگالی قرار گرفت. مایع فوقانی حاصل از مرحله دوم فرایند جداسازی چگالی با مایع حاصل از مرحله اول، ترکیب شد. محلول ترکیبی با استفاده از صافی فیلتر شده و سپس فیلترها برای آنالیزهای بعدی در سایه هوا خشک شدند (Erkes- Medrano *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2016).

شهر اصفهان (پرجمعیت‌ترین منطقه شهری حوضه آبریز گاوخونی) می‌گذرد و در شرق به تالاب بین‌المللی گاوخونی (۴۷۶ کیلومتر مربع) می‌ریزد (Karimian *et al.*, 2020). آب آبیاری بیش از ۱۰۳۰۰ کیلومتر مربع از مناطق کشاورزی و هم‌چنین مصارف خانگی و صنعتی را تأمین می‌کند. هم‌چنین حوضه آبریز گاوخونی به شدت توسط فعالیت‌های صنعتی متنوع (نفت و فولاد) در مقیاس بزرگ اشغال شده است که آن را به عنوان یکی از آلوده‌ترین حوضه‌های آبریز ایران معرفی کرده است (Chamani, 2020). این حوضه در منطقه ای خشک و نیمه خشک، نزدیک به کویر مرکزی ایران با بارندگی سالانه کمتر ۱۳۰ میلی‌متر (Tashakor & Chamani, 2021) با میانگین دمای ماهانه ۱۷/۳ مشخص می‌شود. دامنه ارتفاعی منطقه از ۱۴۴۹ متر (در تالاب بین‌المللی گاوخونی) تا ۳۸۱۸ متر از سطح دریا (میانگین ۳۷۳/۱۶ ± ۱۹۴۳) متغیر است (شکل ۱).

نمونه برداری

از بالادست تا پایین‌دست رودخانه زاینده‌رود، ۲۱ ایستگاه نمونه‌برداری، بر اساس کاربری زمین و میزان صنعتی شدن در اطراف رودخانه، انتخاب و در هر ایستگاه، نمونه‌برداری در مساحتی به ابعاد ۳۰×۳۰ سانتی‌متر تا عمق تقریبی ۱۰ سانتی‌متری بالای رسوب در سه تکرار انجام شد. ظروف نمونه‌برداری از قبل با آب مقطر تمیز شده و در فویل‌های آلومینیومی نگهداری شدند تا از آلودگی خارجی جلوگیری شود (Mao *et al.*, 2020). در پایان مرحله نمونه‌برداری،



شکل ۱- ایستگاه‌های نمونه‌برداری در رودخانه زاینده‌رود

مشاهده و تأیید میکروپلاستیک‌ها

در این پژوهش با استفاده از میکروسکوپ نوری (Nikon CFI LU Plan Fluor) استاندارد با بزرگ‌نمایی‌های $\times 40$ ، $\times 100$ و $\times 400$ ، میکروپلاستیک‌ها شناسایی شدند. پروتکل‌های استاندارد مختلف مانند آزمونهای فشار، کشیدگی، نور اضافی یا سوزن داغ برای تشخیص میکروپلاستیک‌ها استفاده شد (Peng et al., 2017). پس از شناسایی ذرات میکروپلاستیک، نوع و شکل آن‌ها، رنگ و اندازه آن‌ها تعیین و یادداشت شد.

تضمین و کنترل کیفیت

برای جلوگیری از آلودگی احتمالی نمونه‌های پلاستیکی، اقدامات سخت‌گیرانه‌ای در طول فرآیند آزمایشگاهی انجام شد. کلیه تجهیزات لازم، سه بار با آب مقطر شسته و سپس قبل از آزمایش خشک شده و بلافاصله با فویل آلومینیومی پوشانده شد. در طول آزمایش از لباس‌های آزمایشگاهی نخی، ظروف شیشه‌ای و دستکش استفاده شد. سطح کار به طور مداوم با الکل تمیز می‌شد و برای کاهش جریان هوا، پنجره‌ها در طول دوره آنالیزها بسته بودند (Prata et al., 2019; Xiong et al., 2019). هم‌چنین در تمام مراحل پژوهش نمونه‌های شاهد تهیه شد که سطوح ناچیزی از آلودگی محیطی را نشان دادند. شناسایی پلیمر میکروپلاستیک‌ها به وسیله دستگاه

طیف‌سنجی رامان

برای تعیین ترکیب پلیمری میکروپلاستیک‌های خارج شده از رسوب از دستگاه طیف سنج رامان مدل هوریا

اکسپلورا استفاده شد. محدوده مورد بررسی 50 cm^{-1} - 3500 بود.

اعتبار سنجی روش سنجش میکروپلاستیک‌ها

به منظور اعتبار بخشیدن به روش استخراج میکروپلاستیک، برآورد نرخ ریکاوری برای کنترل بیشتر انجام شد. در مجموع ۲۰۰ ذره پلاستیکی که شامل PS (پلی‌استایرن)، PA (پلی‌آمید)، PP (پلی‌پروپیلن) و PE (پلی‌اتیلن) بودند به رسوبات تمیز (بدون میکروپلاستیک) اضافه شد (Ghayebzadeh et al., 2021). ذرات در اندازه‌ها و شکل‌های مختلف به وسیله تیغ و قیچی تراشیده و ریز شده و به نمونه‌ها اضافه گردید و مجدداً طبق روش جداسازی میکروپلاستیک از نمونه‌های رسوب استخراج شدند. میزان بازیابی ذرات میکروپلاستیک بین ۹۶ درصد تا ۱۰۰ درصد متغیر بود.

نتایج

فراوانی میکروپلاستیک‌ها

میکروپلاستیک‌های با اندازه کمتر از ۵ میلی‌متر در تمام نمونه‌های رسوب سطحی یافت شدند. میانگین تعداد آن‌ها $587/8 \pm 29/39 \times 10^4/481$ ذره در ۵۰ گرم رسوب خشک (۵۸۷/۸ $\pm 1409/62$ ذره در یک کیلوگرم رسوب خشک) بود. ایستگاه ۱۷ با میانگین تعداد $363/50 \pm 14/849$ ذره و ایستگاه‌های ۱، ۶ و ۷ با میانگین تعداد $1/33 \pm 1/528$ ذره در ۵۰ گرم رسوب خشک به ترتیب بیشترین و کمترین تعداد میکروپلاستیک را به خود اختصاص دادند. در شکل ۲ نمونه‌ای از تصویر میکروپلاستیک آمده است.



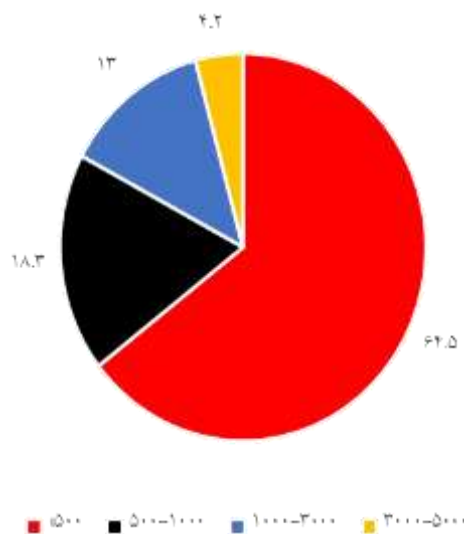
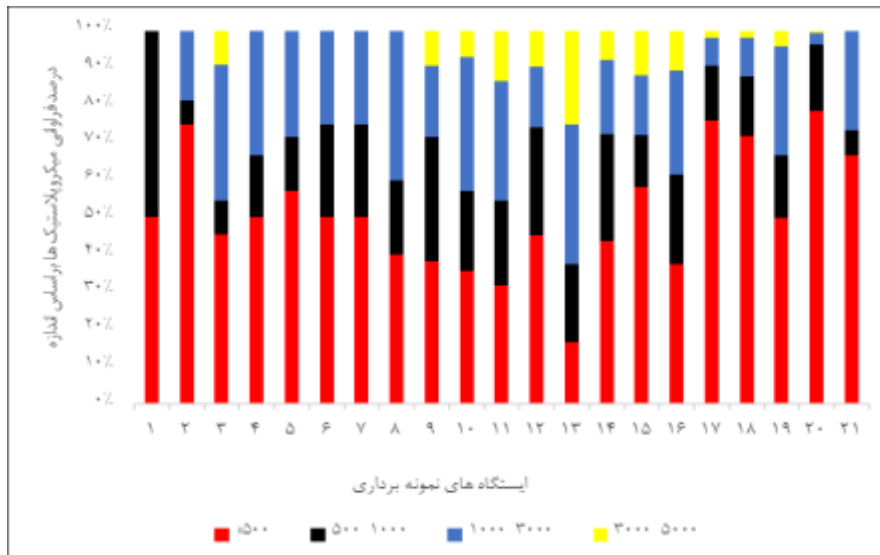
شکل ۲- تصاویر ذرات میکروپلاستیک موجود در رسوبات رودخانه زاینده‌رود با استفاده از میکروسکوپ دوچشمی نوری

(Hosseinpour *et al.*, 2021). نتایج نشان داد که رشته، خرده‌ذره و فیبرها به ترتیب با ۳۴/۹ درصد، ۳۳ درصد و ۲۸/۸ درصد بیشترین میزان فراوانی را در بین شکل‌های ذرات دارند (شکل ۴). در این پژوهش، میکروپلاستیک‌های شناسایی شده در ۸ رنگ مشکی، زرد، سبز، سفید، شفاف، قرمز، قهوه‌ای و مشکی مشاهده شدند. رنگ سبز، مشکی و قهوه‌ای به ترتیب با ۱۹/۶ درصد، ۱۹/۴ درصد و ۱۶/۹ درصد دارای بیشترین فراوانی و رنگ آبی با ۱/۲ درصد دارای کمترین فراوانی بودند (شکل ۵).

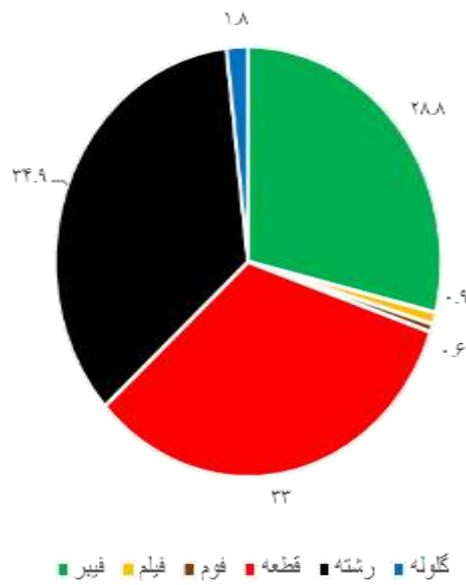
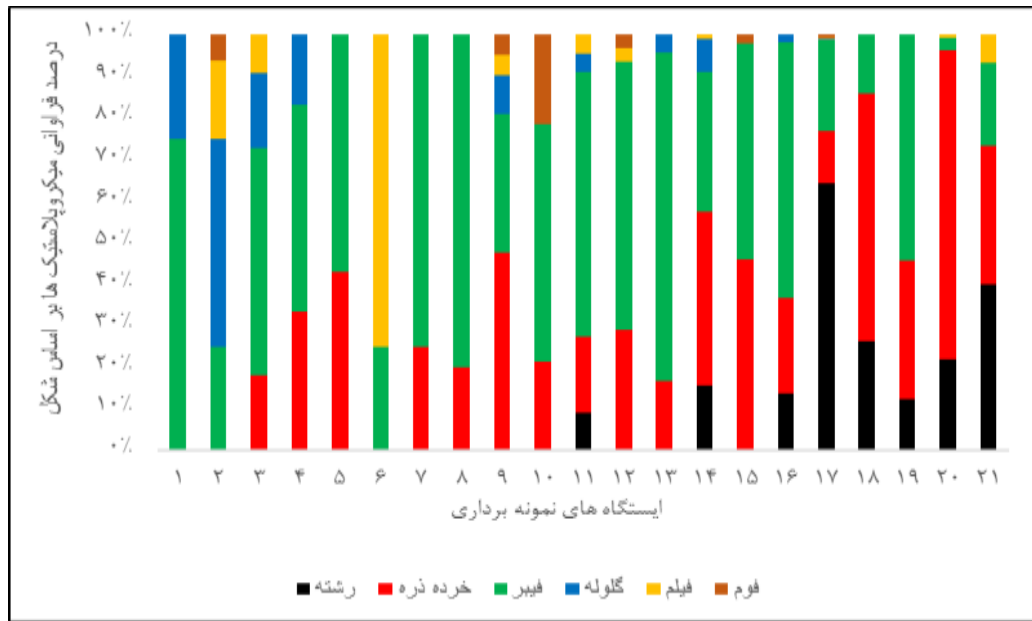
رنگ، شکل و اندازه میکروپلاستیک‌ها

میکروپلاستیک‌ها از لحاظ اندازه به ۴ گروه (کمتر از ۵۰۰ میکرومتر، ۵۰۰-۱۰۰۰ میکرومتر، ۱۰۰۰-۳۰۰۰ میکرومتر، ۳۰۰۰-۵۰۰۰ میکرومتر) تقسیم شدند که به ترتیب با درصد فراوانی ۶۴/۵ درصد، ۱۸/۳ درصد، ۱۳ درصد و ۴/۲ درصد در رتبه‌های اول تا چهارم قرار گرفتند که نشان می‌دهد با افزایش اندازه میکروپلاستیک‌ها، درصد فراوانی آن‌ها کاهش یافته‌است (شکل ۳).

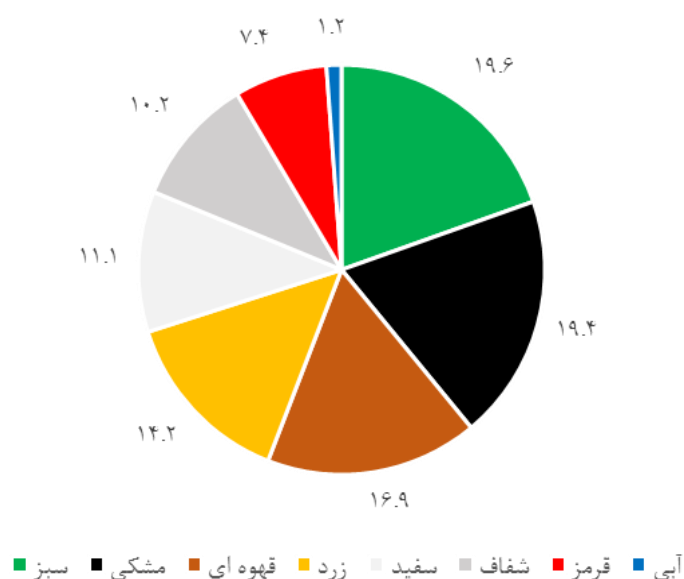
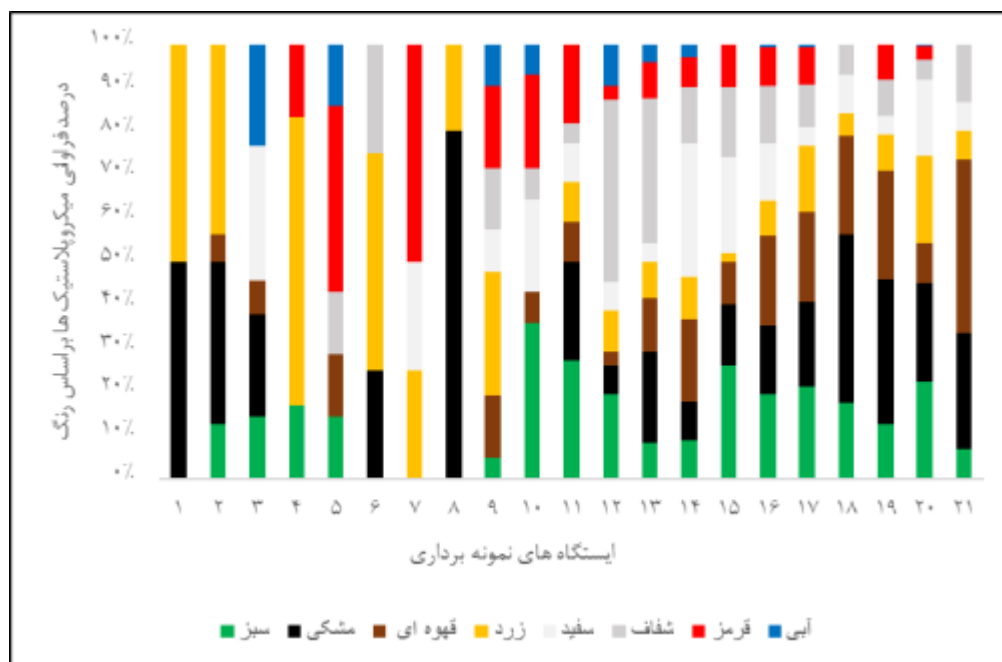
از لحاظ شکل، میکروپلاستیک‌ها به شش گروه (فیبر، خرده‌ذره، فیلم، فوم، گلوله و رشته‌ای) تقسیم شدند



شکل ۳- توزیع میکروپلاستیک‌های شناسایی شده در رسوبات رودخانه زاینده‌رود از لحاظ اندازه



شکل ۴- توزیع میکروپلاستیک‌های شناسایی شده در رسوبات رودخانه زاینده‌رود از لحاظ شکل

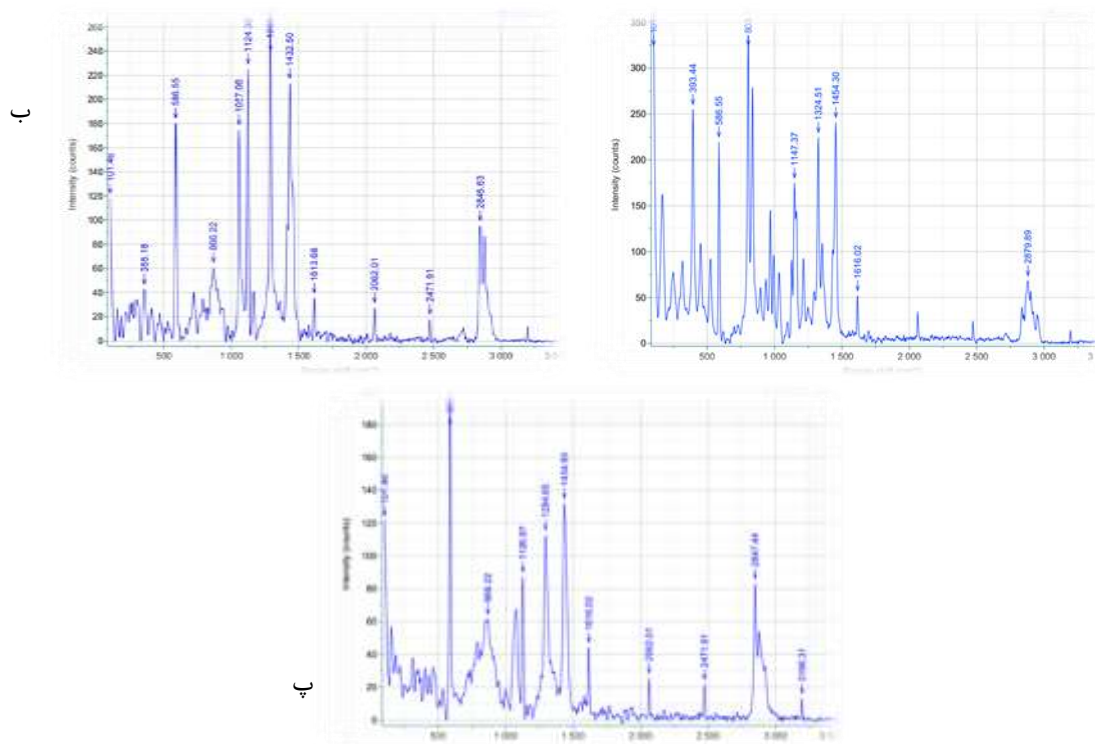


شکل ۵- توزیع میکروپلاستیک‌های شناسایی شده در رسوبات رودخانه زاینده‌رود از لحاظ رنگ

پایگاه داده Openspecy مقایسه شد. در مجموع ۳ پلیمر مختلف شامل پلی‌پروپیلن (PP)، پلی‌اتیلن (PE) و پلی‌آمید (PA) در رسوبات یافت شدند.

شناسایی انواع پلیمر

برای شناسایی پلیمر میکروپلاستیک‌ها از دستگاه رامان استفاده شد. در مجموع ۱۶ ذره میکروپلاستیک به طور تصادفی انتخاب شد. نتایج با طیف مرجع ارائه شده در



شکل ۶- پلیمرهای شناسایی شده در رسوبات رودخانه زاینده رود. الف: پلی پروپیلن، ب: پلی اتیلن، پ: پلی آمید.

بحث

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که ذرات میکروپلاستیک در تمام ایستگاه‌های مورد بررسی حضور دارند که نشان‌دهنده پراکندگی آن‌ها در رسوبات رودخانه زاینده رود است. محدوده فراوانی میکروپلاستیک‌ها در مطالعه حاضر ۷۴۸۰-۲۰ ذره در ۵۰ گرم رسوب خشک می‌باشد. سایر مطالعات نیز حضور و پراکنش میکروپلاستیک‌ها را در رسوبات رودخانه‌ها نشان داده‌اند. Peng و همکاران (۲۰۱۸) میزان فراوانی میکروپلاستیک‌های رسوبات رودخانه‌های شانگهای چین را ۸۰۲ ذره در هر کیلوگرم وزن خشک اعلام کرده‌اند. He و همکاران (۲۰۲۰) ارتباط بین فراوانی میکروپلاستیک‌ها با سرعت جریان آب را در رودخانه بریزین استرالیا بررسی کردند. نتایج آن‌ها فراوانی میکروپلاستیک‌ها را ۱۰-۵۲۰ ذره در هر کیلوگرم رسوب نشان داد.

در مطالعه حاضر ایستگاه ۱۷ با میانگین $363/5 \pm 14/849$ ذره میکروپلاستیک در ۵۰ گرم رسوب خشک آلوده‌ترین ایستگاه بود. این ایستگاه در پایین دست دهانه زهکشی که دریافت‌کننده رواناب شهری، کشاورزی و صنعتی بود واقع شده است. ایستگاه‌های ۱، ۴، ۶، ۷، ۸ با تعداد کمتر از ۲ ذره میکروپلاستیک در ۵۰ گرم رسوب خشک دارای

کمترین آلودگی در این مطالعه بودند. آلودگی کم این ایستگاه‌ها می‌تواند مربوط به تراکم کم جمعیت و حضور زمین‌های کشاورزی و باغداری اطراف آن‌ها باشد. مطالعات قبلی بر روی رودخانه‌ها و سواحل نشان داده‌اند که مقادیر زیادی از آلودگی میکروپلاستیک در مناطق پرجمعیت یا مناطق با فعالیت‌های شدید انسانی ظاهر می‌شود (Eriksen *et al.*, 2013; Napper *et al.*, 2015; Horton & Dixon, 2018). در این مطالعه، میکروپلاستیک‌ها در ۶ دسته‌ی فیبر، خرده‌ذره، فیلم، فوم، گلوله و رشته تقسیم‌بندی شدند (Li *et al.*, 2020, Hosseinpour *et al.*, 2021). نتایج نشان داد که رشته، خرده‌ذره و فیبر به ترتیب با ۳۴/۳ درصد، ۳۳ درصد و ۲۸/۸ درصد بیشترین میزان فراوانی را در بین شکل‌های ذرات دارند ولی رایج‌ترین اشکال ذرات میکروپلاستیک، فیبر و پس از آن خرده‌ذره می‌باشد. چرا که فیبر و پس از آن خرده‌ذره به ترتیب در تمام ایستگاه‌ها و اغلب ایستگاه‌ها شناسایی شدند درحالی که رشته در تعداد محدودی از ایستگاه‌ها مشاهده شد. احتمال می‌رود که رهاسازی فاضلاب کارگاه‌های قالبی شویی متعددی که قبل از این ایستگاه واقع شده‌اند منجر به فراوانی بالای حضور میکروپلاستیک رشته در این نقطه شده باشد.

نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که فاضلاب ماشین لباس‌شویی حاوی مقدار زیادی میکروپلاستیک فیبرمانند می‌باشد (Hernandez *et al.*, 2017). بنابراین ورود فاضلاب‌های خانگی به درون رودخانه زاینده‌رود می‌تواند از علل فراوانی میکروپلاستیک‌های فیبری در این رودخانه باشد. ریختن زباله‌هایی مانند بطری‌های نوشابه و آب، کیسه‌های پلاستیکی و غیره توسط گردشگران به درون آب و سواحل رودخانه زاینده‌رود می‌تواند منشا میکروپلاستیک‌های ثانویه‌ای مانند خرده‌ذرات باشد. همچنین تردد وسایل نقلیه در جاده‌های نزدیک به رودخانه، احتمال انتقال ذرات لاستیکی کوچک و پلاستیک ناشی از ساییدگی لاستیک خودروها توسط رواناب جاده‌ها به درون رودخانه را ممکن می‌سازد (Yeganeh Far *et al.*, 2020).

در هر مطالعه، با توجه به متغیر کاربری اراضی و عوامل محیطی، مورفولوژی میکروپلاستیک‌ها یعنی شکل، رنگ و اندازه آن‌ها می‌تواند به طور گسترده متفاوت باشد (Eerkes-Medrano *et al.*, 2015, Horton *et al.*, 2017). به عنوان مثال در تمام رسوبات مطالعه حاضر گلوله و فوم یافت نشد درحالی که گلوله و فوم به عنوان میکروپلاستیک‌های غالب در رودخانه وینی‌پگ کانادا (Anderson *et al.*, 2017)، رسوبات رودخانه سنت‌لارس آمریکای شمالی (Castaneda *et al.*, 2014) و رودخانه آنتوا پرتغال (Rodrigues *et al.*, 2018) شناسایی شد. در رسوبات پرل چین (Lin *et al.*, 2018)، دریاچه پویانگ چین (Liu *et al.*, 2019) و رسوبات تالاب ونیز ایتالیا (Vianello *et al.*, 2013) همانند مطالعه انجام شده، فیبر فرم غالب را تشکیل می‌دهد. در رسوبات ساحلی دریاچه آنتاریو (Ballent *et al.*, 2016)، رسوبات رودخانه مانوژو (Wu *et al.*, 2020) و رودخانه دانگ تینگ چین (Jiang *et al.*, 2018) خرده ذرات فرم غالب هستند.

در پژوهش حاضر، میکروپلاستیک‌های جداسازی شده در رنگ‌های مختلف سبز، آبی، قرمز، شفاف، سفید، زرد، مشکی و قهوه‌ای مشاهده شدند. رنگ سبز، مشکی و قهوه‌ای بیشترین فراوانی را به خود اختصاص دادند. از آنجایی که ذرات میکروپلاستیک رنگی می‌توانند به راحتی توسط موجودات آبزی به عنوان غذا اشتباه گرفته شوند (Avio *et al.*, 2015; Cole & Galloway, 2015);

رنگ در محیط‌های آبی نگران‌کننده است. این میکروپلاستیک‌های رنگی در ماهیان، پرندگان و لاک‌پشت‌ها شناسایی شده‌اند (Rasta *et al.*, 2020). علاوه بر این، انتظار می‌رود که رنگ میکروپلاستیک‌ها اطلاعاتی در مورد منابع اصلی آن‌ها ارائه دهد. به عنوان مثال قطعات پلاستیکی رنگ‌شده می‌تواند از مواد بسته‌بندی (Andrady, 2017) و گلوله‌های رنگی از محصولات آرایشی و بهداشتی منشا بگیرند (Fendall & Sewell, 2009).

اندازه تمامی میکروپلاستیک‌ها در تحقیق حاضر در محدوده ۵۰۰-۵۰ میکرون بود. نتایج نشان داد که دسته کمتر از ۵۰۰ میکرون با ۶۴/۵ درصد دارای بیشترین فراوانی است. در حالی که دسته ۵۰۰۰-۳۰۰۰ میکرون با ۴/۲ درصد دارای کمترین فراوانی بود. اندازه کوچک میکروپلاستیک‌ها به دلیل تأثیر بالقوه آن‌ها بر موجودات زنده از اهمیت خاصی برخوردار است (Rasta *et al.*, 2020). چنین میکروپلاستیک‌های کوچکی جدی‌ترین تهدیدات بالقوه را هم برای موجودات آبزی و هم برای اکوسیستم ایجاد می‌کنند (He *et al.*, 2020).

میکروپلاستیک‌های با اندازه کوچک می‌توانند از طرف طیف وسیعی از موجودات تغذیه شوند (Moor *et al.*, 2001). قطعات کوچک میکروپلاستیک‌ها می‌توانند پس از مصرف، از طریق مدفوع دفع شوند ولی قطعات بزرگتر ممکن است در دستگاه گوارش باقی بمانند و منجر به بروز حس سیری کاذب شوند. این موضوع در بسیاری از گروه‌های مهره‌داران گزارش شده‌است (Butterworth *et al.*, 2012). این درحالی است که احتمال دارد ذرات فیبرمانند درهم پیچ بخورند و متراکم شوند و باعث انسداد اندام‌ها شوند و از این طریق مانع بلع غذا شوند (Derraik, 2002). علاوه بر این، به جز تأثیر خود میکروپلاستیک‌ها، میکروپلاستیک می‌تواند به عنوان ناقل مهم سایر آلاینده‌ها مانند بسیاری از آلاینده‌های آلی و فلزات سنگین عمل کند (Munier & Bendell, 2018). در واقع هر چه اندازه ذرات میکروپلاستیک کوچکتر باشد، سطح ویژه آن‌ها افزایش یافته و در نتیجه قدرت جذب بیشتری خواهند داشت (Lahijan-zadeh *et al.*, 2020). از آنجا که در منطقه مورد مطالعه، ذرات میکروپلاستیک کمتر از ۵۰۰ میکرومتر غالب هستند، پتانسیل جذب آلاینده‌ها و افزایش دسترسی زیستی وجود دارد. هم‌چنین میکروپلاستیک‌های

آلودگی میکروپلاستیک در منطقه مورد مطالعه داشته باشد. بنابراین تدوین برنامه پیش، برای بررسی دوره‌ای میزان ذرات میکروپلاستیک در آب و رسوب رودخانه زاینده‌رود کمک شایانی در راستای اقدامات مدیریتی برای کنترل وضعیت موجود خواهد نمود.

منابع

1. **Ahmadi, A., Zadehvakili, N., Safavi, H. and Ohab Yazdi, S., 2015.** Development of a dynamic planning model for surface and groundwater allocation, case study: Zayandehroud river basin. *Iran-Water Resources Research*, 11(1), 22-32.
2. **Anderson, P.J., Warrack, S., Langen, V., Challis, J.K., Hanson, M.L. and Rennie, M.D., 2017.** Microplastic contamination in Lake Winnipeg, Canada. *Environmental Pollution*, 225, 223-231.
3. **Andrady, A.L., 2017.** The plastic in microplastics: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 119(1), 12-22.
4. **Arias-Andres, M., Klümper, U., Rojas-Jimenez, K., and Grossart, H.-P. 2018.** Microplastic pollution increases gene exchange in aquatic ecosystems. *Environmental Pollution*, 237, 253-261.
5. **Avio, C.G., Gorbi, S., Milan, M., Benedetti, M., Fattorini, D., d'Errico, G. and Regoli, F. 2015.** Pollutants bioavailability and toxicological risk from microplastics to marine mussels. *Environmental Pollution*, 198, 211-222.
6. **Ballent, A., Corcoran, P.L., Madden, O., Helm, P.A., and Longstaffe, F.J. 2016.** Sources and sinks of microplastics in Canadian Lake Ontario nearshore, tributary and beach sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 110(1), 383-395.
7. **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), 30.
8. **Besseling, E., Quik, J.T., Sun, M., and Koelmans, A.A. 2017.** Fate of nano-and microplastic in freshwater systems: A modeling study. *Environmental Pollution*, 220, 540-548.
9. **Browne, M.A., Crump, P., Niven, S.J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T. and Thompson, R. 2011.** Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environmental Science & Technology*, 45(21), 9175-9179.

با چگالی کمتر و اندازه کوچکتر، پتانسیل بیشتری برای جابه‌جایی توسط باد و آب دارند. در نتیجه میکروپلاستیک‌ها به طور بالقوه می‌توانند با کمک به تهاجم گونه‌های بیگانه به اکوسیستم‌های آبی، به تهاجم زیستی کمک کنند (Zetteler *et al.*, 2013).

در مطالعه حاضر پلیمرهای پلی‌پروپیلن (PP)، پلی‌آمید (PA) و پلی‌اتیلن (PE) در رسوبات یافت شدند. این نوع پلیمرها اغلب در پارچه‌ها استفاده می‌شوند. Brown و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که ترکیب پلیمر در رسوبات به وضوح در مواجهه با فاضلاب‌ها (مانند شستن لباس) نشات می‌گیرد. پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن برای ساخت طناب‌ها و تورهای ماهیگیری استفاده می‌شود (Claessens *et al.*, 2011). علاوه بر این الیاف پلی‌پروپیلن به طور گسترده برای تولید پوشش کفپوش، فرش و قالی و نیز لباس ورزشی استفاده می‌شود. همچنین از پلی‌پروپیلن می‌توان برای ساخت مالچ کشاورزی، تورهای ماهیگیری، کیسه‌های بسته‌بندی و طناب استفاده کرد. پلی‌آمید با توجه به استحکام و سختی بالا برای تولید وسایلی مانند طناب، کمر بند ایمنی، چتر نجات، نخ و تور ماهیگیری، همچنین در تولید الیاف مصنوعی از قبیل انواع البسه و جوراب و الیاف فرش استفاده می‌شوند (Deopura *et al.*, 2008). بنابراین استفاده از تور و طناب ماهیگیری از طرف صیادان، ورود فاضلاب‌های خانگی (شستشوی لباس) و صنعتی می‌تواند از علت‌های حضور این پلیمرها در رودخانه زاینده‌رود باشد.

این مطالعه با هدف بررسی و تأیید الگوهای حضور و توزیع میکروپلاستیک در رسوبات رودخانه زاینده‌رود انجام شد. نتایج این تحقیق حضور ذرات میکروپلاستیک را در رسوبات رودخانه زاینده‌رود نشان داده‌است و این فرضیه را تأیید می‌کند که رسوبات رودخانه به عنوان یک مخزن برای تجمع پلاستیک عمل می‌کند. با این حال، اطلاعات ما در رابطه با ارزیابی خطر اثرات مرتبط با میکروپلاستیک بر کیفیت آب، کیفیت رسوب و موجودات زنده در اکوسیستم‌های آبی هنوز تا حد زیادی ناشناخته مانده است و نیاز به تحقیقات بیشتر دارد. نقاط داغ آلودگی میکروپلاستیک در این مطالعه مربوط به ایستگاه‌های پایین‌دست رودخانه به ویژه ایستگاه ۱۷ که سهم بیشتری از فعالیت‌های انسانی را دارد می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که فعالیت‌های انسانی ممکن است نقش مهمی در

22. **Free, C.M., Jensen, O.P., Mason, S.A., Eriksen, M., Williamson, N.J. and Boldgiv, B., 2014.** High-levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake. *Marine Pollution Bulletin*, 85(1), 156-163.
23. **Frias, J. and Nash, R., 2019.** Microplastics: finding a consensus on the definition. *Marine Pollution Bulletin*, 138, 145-147.
24. **Ghayebzadeh, M., Taghipour, H. and Aslani, H., 2021.** Abundance and distribution of microplastics in the sediments of the estuary of seventeen rivers: Caspian southern coasts. *Marine Pollution Bulletin*, 164, 112044.
25. **He, B., Goonetilleke, A., Ayoko, G.A. and Rintoul, L., 2020.** Abundance, distribution patterns, and identification of microplastics in Brisbane River sediments, Australia. *Science of the Total Environment*, 700, 134467.
26. **Hernandez, E., Nowack, B. and Mitrano, D.M., 2017.** Polyester textiles as a source of microplastics from households: a mechanistic study to understand microfiber release during washing. *Environmental Science & Technology*, 51(12), 7036-7046.
27. **Horton, A.A. and Dixon, S.J., 2018.** Microplastics: An introduction to environmental transport processes. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 5(2), e1268.
28. **Horton, A.A., Svendsen, C., Williams, R. J., Spurgeon, D.J. and Lahive, E., 2017.** Large microplastic particles in sediments of tributaries of the River Thames, UK—Abundance, sources and methods for effective quantification. *Marine Pollution Bulletin*, 114(1), 218-226.
29. **Hosseinpour, A., Chamani, A., Mirzaei, R. and Mohebbi-Nozar, S.L., 2021.** Occurrence, abundance, and characteristics of microplastics in some commercial fish of northern coasts of the Persian Gulf. *Marine Pollution Bulletin*. 171:112693.
30. **Jiang, C., Yin, L., Li, Z., Wen, X., Luo, X., Hu, S. and Huang, L., 2019.** Microplastic pollution in the rivers of the Tibet Plateau. *Environmental Pollution*, 249, 91-98.
31. **Jiang, C., Yin, L., Wen, X., Du, C., Wu, L., Long, Y. and Zhou, Z., 2018.** Microplastics in sediment and surface water of West Dongting Lake and South Dongting Lake: abundance, source and composition. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(10), 2164.
32. **Karimian, S., Chamani, A. and Shams, M., 2020.** Evaluation of heavy metal
10. **Butterworth, A., Clegg, I. and Bass, C., 2012.** Marine debris: a global picture of the impact on animal welfare and of animal-focused solutions.
11. **Castañeda, R.A., Avlijas, S., Simard, M.A. and Ricciardi, A., 2014.** Microplastic pollution in St. Lawrence River sediments. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 71(12), 1767-1771.
12. **Chamani, A., 2020.** Evaluation of Lead and Cadmium Contamination in the Zayandeh Rud River. In *Standing up to Climate Change* (pp. 225-238): Springer.
13. **Claessens, M., De Meester, S., Van Landuyt, L., De Clerck, K. and Janssen, C.R., 2011.** Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast. *Marine Pollution Bulletin*, 62(10), 2199-2204.
14. **Cole, M., and Galloway, T.S. 2015.** Ingestion of nanoplastics and microplastics by Pacific oyster larvae. *Environmental Science & Technology*, 49(24), 14625-14632.
15. **Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C. and Galloway, T.S., 2011.** Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Marine Pollution Bulletin*, 62(12), 2588-2597.
16. **De Sá, L.C., Luís, L.G. and Guilhermino, L., 2015.** Effects of microplastics on juveniles of the common goby (*Pomatoschistus microps*): confusion with prey, reduction of the predatory performance and efficiency, and possible influence of developmental conditions. *Environmental Pollution*, 196, 359-362.
17. **Deopura, B., Alagirusamy, R., Joshi, M. and Gupta, B., 2008.** Polyesters and polyamides: Elsevier.
18. **Derraik, J.G., 2002.** The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine Pollution Bulletin*, 44(9), 842-852.
19. **Eerkes-Medrano, D., Thompson, R.C. and Aldridge, D.C., 2015.** Microplastics in freshwater systems: a review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *Water research*, 75, 63-82.
20. **Eriksen, M., Mason, S., Wilson, S., Box, C., Zellers, A., Edwards, W. and Amato, S., 2013.** Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. *Marine Pollution Bulletin*, 77(1-2), 177-182.
21. **Fendall, L.S. and Sewell, M.A., 2009.** Contributing to marine pollution by washing your face: microplastics in facial cleansers. *Marine Pollution Bulletin*, 58(8), 1225-1228.

43. **Moore, C.J., Moore, S.L., Leecaster, M.K. and Weisberg, S.B., 2001.** A comparison of plastic and plankton in the North Pacific central gyre. *Marine Pollution Bulletin*, 42(12), 1297-1300.
44. **Munier, B. and Bendell, L., 2018.** Macro and micro plastics sorb and desorb metals and act as a point source of trace metals to coastal ecosystems. *PLOS one*, 13(2), e0191759.
45. **Napper, I.E., Bakir, A., Rowland, S.J. and Thompson, R.C., 2015.** Characterisation, quantity and sorptive properties of microplastics extracted from cosmetics. *Marine Pollution Bulletin*, 99(1-2), 178-185.
46. **Nizzetto, L., Futter, M. and Langaas, S., 2016.** Are agricultural soils dumps for microplastics of urban origin? In: ACS Publications.
47. **Obbard, R.W., 2018.** Microplastics in Polar Regions: the role of long range transport. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 1, 24-29.
48. **O'Connor, J.D., Mahon, A.M., Ramsperger, A.F., Trotter, B., Redondo-Hasselerharm, P.E., Koelmans, A.A. and Murphy, S., 2020.** Microplastics in freshwater biota: a critical review of isolation, characterization, and assessment methods. *Global Challenges*, 4(6), 1800118.
49. **Peng, G., Xu, P., Zhu, B., Bai, M. and Li, D., 2018.** Microplastics in freshwater river sediments in Shanghai, China: a case study of risk assessment in mega-cities. *Environmental Pollution*, 234, 448-456.
50. **Peng, G., Zhu, B., Yang, D., Su, L., Shi, H. and Li, D., 2017.** Microplastics in sediments of the Changjiang Estuary, China. *Environmental Pollution*, 225, 283-290.
51. **Prata, J.C., da Costa, J.P., Duarte, A.C. and Rocha-Santos, T., 2019.** Methods for sampling and detection of microplastics in water and sediment: a critical review. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 110, 150-159.
52. **Rasta, M., Sattari, M., Shokrollahzadeh Talshi, M. and Imanpour Namin, J., 2020.** Microplastic pollutions in the Anzali Wetland sediments, Southwest Caspian Sea (Guilan Province, Iran). *Scientific Journal of Iranian Fisheries*. 29(4), 121-133. (In Persian with English abstract)
53. **Rodrigues, M., Abrantes, N., Gonçalves, F., Nogueira, H., Marques, J. and Gonçalves, A., 2018.** Spatial and temporal distribution of microplastics in water and sediments of a freshwater system (Antuã River, Portugal). *Science of the Total Environment*, 633, 1549-1559.
- pollution in the Zayandeh-Rud River as the only permanent river in the central plateau of Iran. *Environmental monitoring and assessment*, 192(5), 1-13.
33. **Klein, S., Dimzon, I.K., Eubeler, J. and Knepper, T.P., 2018.** Analysis, occurrence, and degradation of microplastics in the aqueous environment. In *Freshwater microplastics* (pp. 51-67): Springer, Cham.
34. **Lahijanzadeh, A., Mohammadi Roozbahani, M., Sabzalipour, S. and Nabavi, M., 2020.** The Investigation of Microplastic Particles in Khor-e-Musa in Persian Gulf Sediments. *Journal of Oceanology*. 11(43), 17-25. (In Persian with English abstract)
35. **Lambert, S. and Wagner, M., 2016.** Exploring the effects of microplastics in freshwater environments. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 12(2), 404-405.
36. **Li, R., Yu, L., Chai, M., Wu, H. and Zhu, X., 2020.** The distribution, characteristics and ecological risks of microplastics in the mangroves of southern China. *Science of the Total Environment*, 708:135025.
37. **Lin, L., Zuo, L.Z., Peng, J.P., Cai, L.Q., Fok, L., Yan, Y. 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.
38. **Liu, S., Jian, M., Zhou, L. and Li, W., 2019.** Distribution and characteristics of microplastics in the sediments of Poyang Lake, China. *Water Science and Technology*, 79(10), 1868-1877.
39. **Mani, T., Hauk, A., Walter, U. and Burkhardt-Holm, P., 2015.** Microplastics profile along the Rhine River. *Scientific reports*, 5(1), 1-7.
40. **Mao, Y., Li, H., Gu, W., Yang, G., Liu, Y. and He, Q., 2020.** Distribution and characteristics of microplastics in the Yulin River, China: Role of environmental and spatial factors. *Environmental Pollution*, 265, 115033.
41. **Mason, S.A., Garneau, D., Sutton, R., Chu, Y., Ehmann, K., Barnes, J. and Rogers, D.L., 2016.** Microplastic pollution is widely detected in US municipal wastewater treatment plant effluent. *Environmental Pollution*, 218, 1045-1054.
42. **Moore, C., Lattin, G. and Zellers, A., 2011.** Quantity and type of plastic debris flowing from two urban rivers to coastal waters and beaches of Southern California. *Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 11(1), 65-73.

- River within Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. *Science of the Total Environment*, 717, 135187.
61. **Xiong, X., Wu, C., Elser, J.J., Mei, Z. and Hao, Y., 2019.** Occurrence and fate of microplastic debris in middle and lower reaches of the Yangtze River—from inland to the sea. *Science of the Total Environment*, 659, 66-73.
 62. **Yeganeh Far, M., Shakeri, A., Rastegari Mehr, M. and Lahijani, O., 2020.** Investigating abundance and characteristics of microplastics as emerging pollutants in sediments of Taleqan dam and upstream river in Alborz province. *Iranian Journal of Health and Environment*. 13 (1), 65-76.(In Persian with English abstract)
 63. **Yonkos, L.T., Friedel, E.A., Perez-Reyes, A.C., Ghosal, S. and Arthur, C.D. 2014.** Microplastics in four estuarine rivers in the Chesapeake Bay, USA. *Environmental Science & Technology*, 48(24), 14195-14202.
 64. **Zhang, K., Gong, W., Lv, J., Xiong, X. and Wu, C., 2015.** Accumulation of floating microplastics behind the Three Gorges Dam. *Environmental Pollution*, 204, 117-123.
 65. **Zhang, K., Su, J., Xiong, X., Wu, X., Wu, C. and Liu, J. 2016.** Microplastic pollution of lakeshore sediments from remote lakes in Tibet plateau, China. *Environmental Pollution*, 219, 450-455.
 54. **Sharifinejad, A., Zahraie, B., Majed, V., Ravar, Z. and Hassani, Y., 2020.** Economic analysis of Water-Food-Energy Nexus in Gavkhuni basin in Iran. *Journal of Hydro-environment Research*, 31, 14-25.
 55. **Tashakor, S. and Chamani, A., 2021.** Temporal variability of noise pollution attenuation by vegetation in urban parks. *Journal of Environmental Science and Pollution Research*, 28, 23143-23151
 56. **Thompson, R.C., Olsen, Y., Mitchell, R.P., Davis, A., Rowland, S.J., John, A.W. and Russell, A.E., 2004.** Lost at sea: where is all the plastic? *Science (Washington)*, 304(5672), 838.
 57. **Van Sebille, E., Wilcox, C., Lebreton, L., Maximenko, N., Hardesty, B.D., Van Franeker, J.A. and Law, K.L., 2015.** A global inventory of small floating plastic debris. *Environmental Research Letters*, 10(12), 124006.
 58. **Vianello, A., Boldrin, A., Guerriero, P., Moschino, V., Rella, R., Sturaro, A. and Da Ros, L., 2013.** Microplastic particles in sediments of Lagoon of Venice, Italy: First observations on occurrence, spatial patterns and identification. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 130, 54-61.
 59. **Wagner, M. and Lambert, S., 2018.** *Freshwater microplastics: emerging environmental contaminants.* Springer Nature.
 60. **Wu, P., Tang, Y., Dang, M., Wang, S., Jin, H., Liu, Y. and Cai, Z., 2020.** Spatial-temporal distribution of microplastics in surface water and sediments of Maozhou

Occurrence, Abundance and Characteristics of Microplastics in the Sediments of the Zayandeh- Rud River

Mokarrameh Behmanesh¹, Atefeh Chamani^{2*}, Elham Chavoshi³

1- Environmental Science Department, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

2*- Environmental Sciences and Engineering Department, Waste and Wastewater Research Center, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

3- Department of Soil Science, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

Abstract

Introduction: One of the most important emerging pollutants in aquatic environments that has recently attracted the attention of global researchers in recent years is plastic waste, especially microplastics. Aquatic fauna can ingest microplastics as they confuse it for their prey. Aquatic organisms can easily ingest microplastics because their size is similar to that of the larvae of several organisms, including plankton. Consequently, the animal may develop a sense of satiety after ingesting microplastics, causing reduced food uptake and decreased energy intake, which in turn may affect growth, survival, fecundity and reproduction rate, impacting general fitness of the organisms. Once ingested, these particles can be transferred to higher trophic levels. Despite the fact that freshwater is the only source of drinking water, knowledge about the effects of microplastic pollution in freshwater environments compared to marine environments is still in its infancy. Therefore, the aim of the present study is to comprehensively investigate the presence and distribution of microplastics in the sediments of Zayandeh-Rud River.

Materials and Methods: From upstream to downstream of Zayandeh-Rud River, 21 sampling stations were selected and in each station, sampling was done in an area of 30 x 30 cm to a depth of approximately 10 cm above the sediment in three repetitions. Sample processing was done during two stages of organic material digestion using hydrogen peroxide and density separation using sodium chloride salt. Microplastics were identified using a standard light microscope with magnifications of 40x, 100x and 400x. Different standard protocols such as pressure, tension, additional light or hot needle tests were used to detect microplastics. After identifying the microplastic particles, their type and shape, color and size were determined and recorded. Raman spectrometer was used to determine the polymer composition of microplastics.

Results: The average abundance of microplastics was 70.481 ± 29.39 particles in 50 gr/dry sediment. Station 17 with an average number of 363.50 ± 14.849 particles and stations 1, 6 and 7 with an average number of 1.33 ± 1.528 particles in 50 gr/dry sediment had the highest and lowest levels of pollution, respectively. The size of all microplastics was in the range of 50-5000 micrometers. Microplastics less than 500 microns were the most abundant with 64.5%. The dominant form of microplastics with the frequency of 34.9%, 33% and 28.8% belonged to line, fragment and fiber, respectively. In total, 4 polymers, polypropylene, polyamide, polyurethane and polyethylene, were identified. The results were compared with the reference spectra provided in the Openspecy database. In total, 3 different polymers including polypropylene (PP), polyethylene (PE) and polyamide (PA) were found in sediments.

Discussion: The result of this research indicates microplastics dispersion in the sediments of Zayandeh-Rud River. Polypropylene (PP), polyamide (PA) and polyethylene (PE) polymers found in Zayandeh-Rud River sediments are often used in textiles. The composition of the polymer in the sediments clearly indicates the discharge of wastewater from the washing of synthetic textile into the river. Polypropylene and polyethylene are used to make ropes and fishing nets. In addition, polypropylene fibers are widely used for the production of floor coverings, carpets and rugs, sports clothes, making agricultural mulch, fishing nets, packaging bags and ropes. Due to its high strength and hardness, polyamide is used to produce items such as ropes, safety belts, parachutes, thread and fishing nets, as well as in the production of synthetic fibers such as clothes, socks and carpet fibers. Therefore, it can be stated that human activities, including the discharge of urban and industrial wastewater, plastic waste by tourists on the river and also the use of fishing nets by fishermen, play an important role in microplastic pollution in this area. Therefore, developing a program to monitoring microplastics in the water and sediment of Zayandeh-Rud River will be of great help for management measures to control this pollution.

Keywords: Pollution, Sediment, Zayandeh- Rud River, Microplastic