Journal of Natural Environment

Online ISSN: 2423-7817

University of Tehran Press

Homepage: https://jne.ut.ac.ir/

Occurrence and characteristic of microplastic in the surface waters of Zayandeh-Rud River

Mokarrameh Behmanesh[1] | Atefeh Chamani[2]✉ | Elham Chavoshi[3]

1. Department of Environmental science and Engineering, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran. E-mail: mokarrameh.behmanesh@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Environmental Science and Engineering, Waste and Wastewater Research Center, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran. E-mail: a.chamani@khuisf.ac.ir
3. Department of Soil Science, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran. E-mail: e.chavoshi@khuisf.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 11 July 2023

Received in revised form 06 September 2023

Accepted 17 September 2023

Published online 10 March 2024

Keywords:

Isfahan,

Microplastics,

Pollution,

Zayandeh-Rud River.

ABSTRACT

Today, large amounts of water pollutants, including pharmaceutical waste, paints, plastics, pesticides and mineral waste, are discharged by humans into the nature. One of the emerging pollutants that seriously affects water quality is microplastics. The growing global concern about human exposure to microplastics necessitates research on their abundance, fate and effects. This study was conducted with the aim of investigating the spatial distribution of microplastics and determining their possible source from the source to the tributary of the Zayandeh Rood River. For this purpose, water sampling was done from 17 stations and the samples were taken to the laboratory. In order to digest organic matter, the samples were digested for 48 hours using 30% hydrogen peroxide and then passed through 45 micrometer filter paper. The microplastics of each filter paper were separated and counted using an optical microscope, and their type of polymer was identified by Raman. The abundance range of microplastic particles was 2-49 particles per liter and fiber and small particles were reported as the most abundant forms. The size of microplastics was reported between 50-5000 micrometers. Three polymers polypropylene, polyamide and polyethylene were also detected by Raman device. Discharge of industrial wastewater and domestic sewage, garbage disposal by tourists are the most important sources of microplastics in the region. Inventing methods to increase the efficiency of removing microplastics in sewage treatment plants and its complete removal in the final effluent is recommended as an effective solution to reduce this pollutant.

Cite this article: Behmanesh, M., Chamani, A., & Chavoshi, E. (2024). Occurrence and characteristic of microplastic in the surface waters of Zayandeh-Rud River. *Journal of Natural Environment*, 76 (4), 631-643. DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2023.361972.2577

© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2023.361972.2577

محیط زیست طبیعی
شاپای الکترونیکی: ۷۸۱۷-۲۴۲۳
Homepage: https://jne.ut.ac.ir/
انتشارات دانشگاه تهران

بررسی حضور و ویژگی‌های میکروپلاستیک‌ها در آب‌های سطحی رودخانهٔ زاینده‌رود

مکرمه بهمنش[۱] | عاطفه چمنی[۲]✉ | الهام چاوشی[۳]

۱. گروه علوم و مهندسی محیطزیست، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران. رایانامه: mokarrameh.behmanesh@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی محیطزیست، مرکز تحقیقات پسماند و پساب، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران. رایانامه: a.chamani@khuisf.ac.ir

۳. گروه خاکشناسی، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران. رایانامه: e.chavoshi@khuisf.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۲۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۶
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۲۰

کلیدواژه‌ها:
آلودگی،
اصفهان،
رودخانهٔ زاینده‌رود،
میکروپلاستیک.

چکیده

امروزه مقادیر زیادی از انواع آلاینده‌های آب، از جمله زباله‌های دارویی، رنگ‌ها، پلاستیک‌ها، آفت‌کش‌ها و زباله‌های معدنی، به‌وسیلهٔ انسان به طبیعت تخلیه می‌شود. یکی از آلاینده‌های نوظهور که به‌طور جدی بر کیفیت آب تأثیر می‌گذارد، میکروپلاستیک‌ها هستند. نگرانی روزافزون جهانی در مورد قرار گرفتن انسان در معرض میکروپلاستیک‌ها تحقیق در مورد فراوانی، سرنوشت و اثرات آن‌ها را ضروری می‌کند. این مطالعه با هدف بررسی توزیع مکانی میکروپلاستیک‌ها و تعیین منبع احتمالی آن‌ها از سرچشمه تا پایاب رودخانهٔ زاینده رود انجام شد. بدین‌منظور، نمونه‌برداری آب از ۱۷ ایستگاه انجام و نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شدند. به‌منظور هضم مواد آلی، نمونه‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت با استفاده از پراکسید هیدروژن ۳۰ درصد هضم و سپس از کاغذ صافی ۴۵ میکرومتر عبور داده شدند. میکروپلاستیک‌های هر کاغذ صافی با استفاده از میکروسکوپ نوری جداسازی و شمارش گردید و نوع پلیمر آن‌ها توسط دستگاه رامان شناسایی شد. محدودهٔ فراوانی ذرات میکروپلاستیک‌ها، ۴۹-۲ ذره در یک لیتر آب و فیبر و خرده ذره به‌عنوان فراوان‌ترین اشکال گزارش گردید. اندازهٔ میکروپلاستیک‌ها بین ۵۰۰۰-۵۰ میکرومتر گزارش شد. سه پلیمر پلی‌پروپیلن، پلی‌آمید و پلی‌اتیلن نیز توسط دستگاه رامان شناسایی شد. تخلیهٔ پساب صنعتی و فاضلاب خانگی و دفع زباله توسط گردشگران از مهم‌ترین منابع میکروپلاستیک در منطقه هستند. ابداع روش‌هایی جهت افزایش کارایی حذف میکروپلاستیک‌ها در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و حذف کامل آن در پساب نهایی به‌عنوان یک راهکار مؤثر در کاهش این آلاینده توصیه می‌شود.

استناد: بهمنش، مکرمه؛ چمنی، عاطفه؛ و چاوشی، الهام (۱۴۰۲). بررسی حضور و ویژگی‌های میکروپلاستیک‌ها در آب‌های سطحی رودخانهٔ زاینده‌رود. *محیط زیست طبیعی*، ۷۶ (۴)، ۶۴۳-۶۳۱.

DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2023.361972.2577

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

مقدمه

در سال‌های اخیر، تولید پلاستیک به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است. پلاستیک‌ها، که از نظر اندازه از میکرومتر تا متر متفاوت هستند، زمانی که در منابع آبی قرار می‌گیرند می‌توانند برای محیط‌زیست مشکل ایجاد کنند (Karim *et al*., 2020). اکوسیستم‌های آبی مخزن نهایی برای زباله‌های پلاستیکی هستند که مستقیماً از طریق رودخانه‌ها، خطوط ساحلی، تخلیهٔ تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، پساب‌ها و انتقالات جوی وارد منابع آبی می‌شوند (Leslie *et al*., 2017). بسیاری از ضایعات پلاستیکی که زیست‌تخریب‌پذیر نیستند، زمانی که در محیط‌زیست رها می‌شوند می‌توانند صدها یا حتی هزاران سال دست‌نخورده باقی بمانند. در میان این زباله‌ها، ته سیگار تا ۵ سال، کیسه‌های پلاستیکی ۲۰ سال، لیوان‌های پلاستیکی ۵۰ سال و تورهای ماهیگیری ۶۰۰ سال می‌توانند در طبیعت باقی بمانند (Galloway, 2015).

میکروپلاستیک‌ها به قطعات کوچکی (کوچکتر از ۵ میلی متر) گفته می‌شود (Thompson *et al*., 2004) که با ویژگی‌های مختلف مانند اندازه، نوع، شکل (الیاف، خرده ذره، خطوط، گلوله‌ها، فیلم‌ها و فوم‌ها)، ساختار شیمیایی (پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن، پلی‌استایرن و غیره) و منبع، در محیط‌های آبی پراکنده می‌شوند (Sighicelli *et al*., 2018). به‌طورکلی، میکروپلاستیک‌ها را با توجه به نحوهٔ تولیدشان به دو نوع میکروپلاستیک‌های اولیه یا میکروپلاستیک‌های ثانویه طبقه‌بندی می‌کنند. میکروپلاستیک‌های اولیه، در اندازه‌های کمتر از پنج میلی‌متر ساخته می‌شوند. به‌عنوان‌مثال می‌توان به لایه‌بردارها در لوازم آرایشی یا مواد اولیهٔ دانه‌ای پلاستیکی، که به‌عنوان مواد خام صنعتی برای ساخت سایر پلاستیک‌ها استفاده می‌شوند، اشاره کرد. میکروپلاستیک‌های خرده ذره، فیبر، فیلم، گلوله، فوم و رشته که از تجزیه یا قطعه‌قطعه شدن محصولات پلاستیکی بزرگ‌تر به‌وجود می‌آیند، میکروپلاستیک‌های ثانویه نامیده می‌شوند (Cole *et al*., 2011).

میکروپلاستیک‌ها به‌دلیل بلعیده شدن توسط موجودات آبزی مانند پلانکتون‌ها، سخت‌پوستان، ماهی‌ها، فوک‌ها، کوسه‌ها، نهنگ‌های باله، پرندگان دریایی و صدف‌ها منابع آب را تهدید می‌کنند (Dosul and Costa, 2014). میکروپلاستیک‌ها می‌توانند آلاینده‌های مضر موجود در آب مانند هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای پایدار، آلاینده‌های آلی و فلزات سنگین را جذب کنند (Gouin *et al*., 2011) و به‌دلیل توانایی که در آزادسازی این آلاینده‌های مضر دارند، ممکن است اثرات نامطلوبی بر سلامت انسان و اکوسیستم داشته باشند (Napper *et al*., 2015). میکروپلاستیک‌ها با ساختار پایدار خود در سراسر زنجیرهٔ غذایی، یک تهدید بالقوه نیز برای سلامت انسان هستند (Brennecke *et al*., 2015).

برخلاف مطالعات گسترده روی آلودگی میکروپلاستیک در محیط‌های دریایی (Wagner and Lambert, 2018)، حضور میکروپلاستیک‌ها در اکوسیستم‌های آب‌های شیرین در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است و با وجود این واقعیت که آب شیرین به‌عنوان منبع آب آشامیدنی استفاده می‌شود، دانش در مورد اثرات آلودگی میکروپلاستیک در سیستم‌های آب شیرین هنوز در مراحل ابتدایی خود است. تنها حدود ۴٪ از مطالعات میکروپلاستیک، مربوط به محیط‌های آب شیرین است (Wagner and Lambert, 2018).

ورود و رسوب میکروپلاستیک در رودخانه‌ها می‌تواند به عوامل مختلفی نسبت داده شود؛ عواملی مانند: کاربری اراضی بالادستی (Mani *et al*., 2015)، رواناب شهری (Nizzetto *et al*., 2016) ، حجم نسبی تخلیهٔ پساب (Moore *et al*., 2011)، هیدرولوژی و مورفولوژی رودخانه (Besseling *et al*., 2017)، تراکم جمعیت، میزان شهرنشینی و صنعتی‌شدن اطراف رودخانه (Yonkos *et al*., 2014). ازاین‌رو می‌توان اذعان نمود که شهرنشینی، محرک اصلی ورود میکروپلاستیک‌ها به سیستم‌های آب شیرین است. شواهد میدانی نشان می‌دهد که ریختن زباله در سواحل، همراه با رهاسازی پساب‌های شهری تصفیه شده و تصفیه نشده به محیط‌های آبی، خطر آلودگی پلاستیکی را افزایش داده است (Hosseinpour *et al*., 2021).

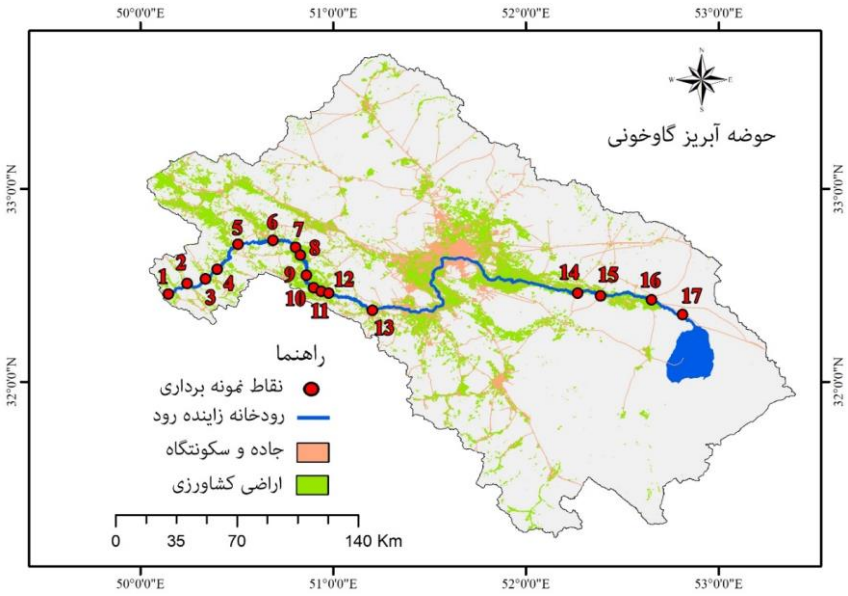
زاینده‌رود تنها رودخانهٔ دائمی فلات مرکزی ایران است که در توسعهٔ کشاورزی، تأمین آب بخش صنعت و کلیهٔ فعالیت‌های اقتصادی منطقه، نقش بسیار مهمی دارد بنابراین حفظ کیفیت آب آن بسیار حائز اهمیت است. فاضلاب صنایع، تصفیه‌خانه‌ها و رواناب‌های شهری و کشاورزی را می‌توان از علل آلودگی این رودخانه به آلاینده‌های مختلف دانست مطالعات مختلفی در زمینه آلودگی رودخانهٔ زاینده‌رود به فلزات‌سنگین و سایر آلاینده‌ها انجام شده‌است (Karimian *et al*., 2020; Chamani, 2020; Dehkordi *et al*., 2022). اما مطالعهٔ آلاینده‌های نوظهوری مانند میکروپلاستیک در این منطقه در مراحل ابتدایی مسیر خود

قرار دارد و تنها دو مطالعه، در این خصوص انجام شده است (Behmanesh *et al*., 2022; Rami *et al*., 2023). در مطالعهٔ فراوانی و پراکنش میکروپلاستیک‌ها در رسوبات رودخانهٔ زاینده‌رود، میانگین فراوانی میکروپلاستیک‌ها ۲۹/۳۹±۷۰/۴۸۱ ذره در ۵۰ گرم رسوب خشک و نقاط داغ آلودگی میکروپلاستیک در ایستگاه‌های پایین‌دست رودخانه گزارش شد که سهم بیشتری از فعالیت‌های انسانی را دارا هستند (Behmanesh *et al*., 2022). در مطالعهٔ فراوانی و پراکنش میکروپلاستیک‌ها در آب رودخانهٔ زاینده‌رود نیز، بیشترین میزان شناسایی شده ۱۶/۵±۵۱ ذره در مترمکعب گزارش شد (Rami *et al*., 2023). هدف از این مطالعه بررسی توزیع مکانی میکروپلاستیک‌ها و تعیین منبع احتمالی آن‌ها از سرچشمه تا پایاب رودخانهٔ زاینده‌رود است.

روش‌شناسی پژوهش

منطقهٔ مورد مطالعه: زاینده‌رود با طول بیش از ۳۵۰ کیلومتر مهم‌ترین رودخانه در مرکز ایران است که توسط منطقهٔ خشک احاطه شده است (Nabinejad, 2018). از آب رودخانه برای مصارف شرب، صنعتی و کشاورزی استفاده می‌شود. سرچشمهٔ زاینده‌رود در رشته کوه‌های زاگرس مرکزی قرار دارد و در نهایت به تالاب بین‌المللی گاوخونی می‌ریزد (Sanayei *et al*., 2009). این رودخانه در معرض تخلیهٔ گسترده فاضلاب و پساب از چندین منبع آلودگی نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای قرار گرفته است (Karimian et al., 2020). به‌دلیل وقوع خشکسالی در دهه‌های اخیر و خشکی رودخانه در پایین‌دست حوزه، عملاً در این منطقه، آب رودخانه ترکیبی از فاضلاب‌های روستایی، پساب صنعتی و زهاب کشاورزی است و همین آب برای کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

نمونه‌برداری: با توجه به گستردگی و تنوع کاربری‌ها در اطراف رودخانه، ایستگاه‌های مورد مطالعه با توزیع و پراکنش مناسب در سراسر مسیر رودخانه انتخاب شدند. البته به‌علت خشکی رودخانه، امکان نمونه‌برداری از بخش‌های مرکزی (از باغ بهادران تا بعد از زیار)، وجود نداشت. بنابراین، در مجموع ۱۷ ایستگاه نمونه‌برداری در طول کل مسیر رودخانه، ۱۳ ایستگاه در بالادست رودخانه و ۴ ایستگاه در پایین‌دست رودخانه انتخاب شد (شکل ۱). نمونه‌برداری در تابستان ۱۴۰۰ و از لایهٔ سطحی آب انجام شد. از هر ایستگاه، یک نمونه آب ۲۰ لیتری (با سه تکرار) و در مجموع ۵۱ نمونه جمع‌آوری و سپس با استفاده از الک با مش ۴۵ میکرون، مواد جامد باقی‌مانده به داخل ظروف شیشه‌ای شسته شد (Liu *et al*., 2021). 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 نمونه‌برداری، نمونه ها تا زمان تجزیه و تحلیل، در دمای ۴ درجهٔ سانتی‌گراد نگه‌داری شدند.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری

پردازش نمونه‌ها: به‌منظور از بین بردن مواد شناور موجود در هر نمونه، بدون آسیب رساندن به میکروپلاستیک‌ها، هضم مواد آلی ضروری است. نمونه‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت با استفاده از پراکسیدهیدروژن (H_2O_2، ۳۰ درصد) هضم شدند. برای کارایی بیشتر،

دیوارهٔ ظروف نمونه حداقل سه بار با آب مقطر شسته شد و نمونه‌ها از کاغذ صافی واتمن (با اندازهٔ مش ۴۵ میکرومتر) عبور داده شدند. کاغذهای فیلتر شده برای تجزیه و تحلیل بیشتر در پتری‌دیش نگهداری و در دمای اتاق خشک شدند (Sartain *et al.*, 2018; Li *et al.*, 2021).

مشاهده و تأیید میکروپلاستیک‌ها: میکروپلاستیک‌ها با استفاده از میکروسکوپ نوری (Nikon CFI LU Plan Fluor) با بزرگ‌نمایی‌های ۴۰×۱۰۰× و ۴۰۰× شناسایی شدند. به‌منظور تشخیص میکروپلاستیک‌ها، از روش های مختلف مانند آزمون های فشار، کشیدگی، نور اضافی یا سوزن داغ استفاده شد (Peng *et al.*, 2017). پس از شناسایی ذرات میکروپلاستیک، نوع، رنگ و اندازهٔ آن‌ها تعیین شد.

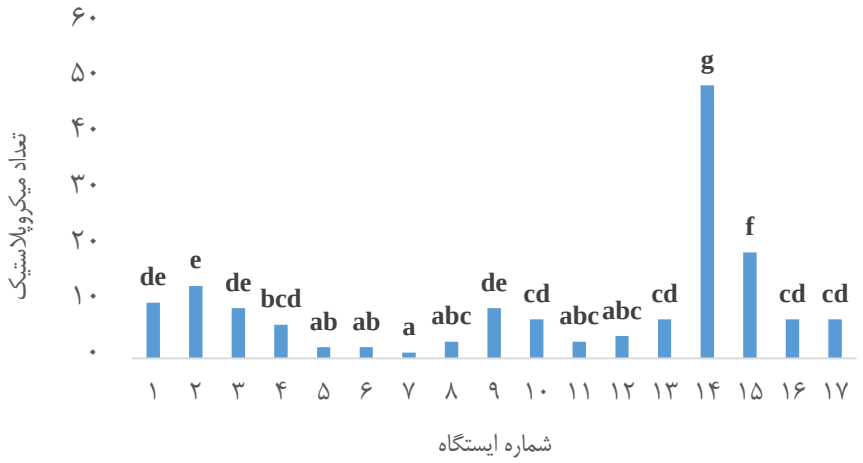
تضمین و کنترل کیفیت: به‌منظور جلوگیری از آلودگی احتمالی نمونه‌های پلاستیکی، کلیهٔ تجهیزات سه بار با آب مقطر شسته و سپس قبل از آزمایش خشک شده و بلافاصله با فویل آلومینیومی پوشانده شدند. در تمام مراحل جمع‌آوری و آنالیز نمونه‌ها از لباس‌های آزمایشگاهی نخی، ظروف شیشه‌ای و دستکش استفاده شد. تمامی سطوح کار به‌طور مداوم با الکل تمیز شد. پنجره‌ها در طول دورهٔ آزمایش برای کاهش جریان هوا، بسته بودند (Prata *et al.*, 2019). همچنین در تمام مراحل پژوهش، نمونه‌های شاهد همراه نمونه‌های اصلی تهیه و مورد بررسی قرار گرفت. هیچ میکروپلاستیکی در نمونه‌های شاهد مشاهده نشد.

شناسایی پلیمر میکروپلاستیک‌ها به‌وسیلهٔ دستگاه طیف‌سنجی رامان: از دستگاه طیف‌سنج رامان مدل هوریبا اکسپلورا، برای تعیین ترکیب پلیمری میکروپلاستیک‌های شناسایی شده استفاده شد. محدودهٔ مورد بررسی $50–3500 cm^{-1}$ بود.

تجزیه و تحلیل اطلاعات: برای پردازش آماری داده‌ها از ویرایش ۱۹ نرم‌افزار SPSS استفاده شد. توزیع نرمال داده‌ها توسط آزمون کولموگروف–اسمیرنوف و همگنی واریانس توسط آزمون لوین بررسی شد. با توجه به نتایج آزمون کولموگروف–اسمیرنف ($P>0/05$)، داده‌ها نرمال هستند. طبق نتایج آزمون لوین، برای همهٔ ایستگاه‌های مورد بررسی $P>0/05$ است و در نتیجه همگنی واریانس داده‌ها نیز مورد تأیید قرار گرفت. بدین‌ترتیب از آزمون تحلیل واریانس بین آزمودنی یک‌طرفه (آزمون تعقیبی دانکن) برای مقایسهٔ میانگین تعداد میکروپلاستیک‌ها بین ایستگاه‌های مورد بررسی استفاده شد.

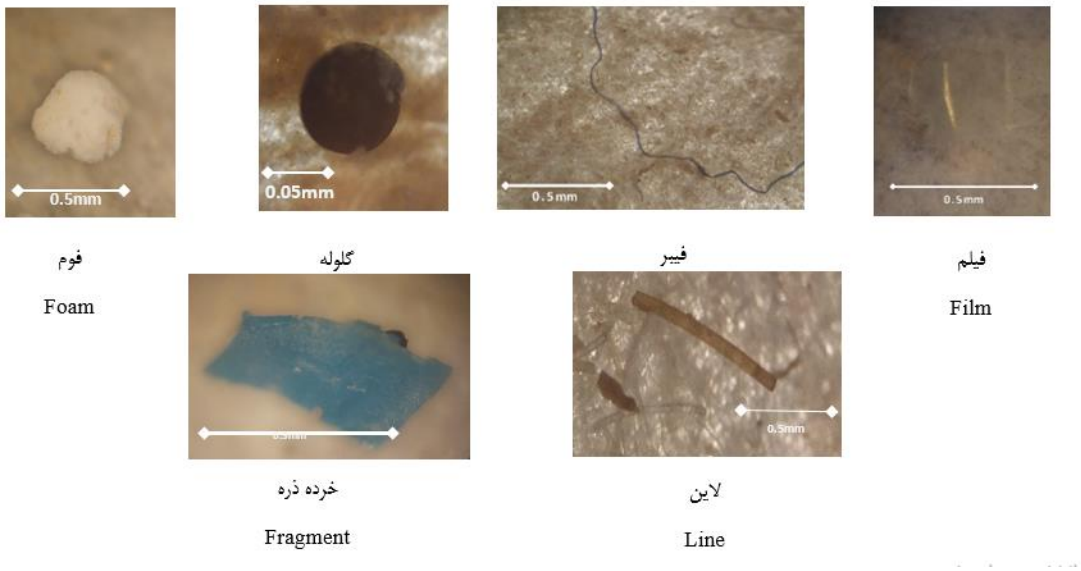
یافته‌های پژوهش

فراوانی میکروپلاستیک‌ها: ذرات پلاستیکی با اندازهٔ کمتر از ۵ میلی‌متر، در تمام نمونه‌های آب سطحی یافت شدند. فراوانی میکروپلاستیک‌ها بین ۴۹–۲ ذره در ۱ لیتر آب گزارش شد. براساس آزمون مقایسهٔ میانگین، ایستگاه ۱۴ با فراوانی ۴۹ ذره و ایستگاه ۷ با فراوانی۲ ذره در ۱ لیتر آب به‌ترتیب بیشترین و کمترین تعداد میکروپلاستیک را به‌خود اختصاص دادند (شکل ۲). شکل ۳ نمونه‌ای از تصویر میکروپلاستیک‌های شناسایی شده را نشان می‌دهد.

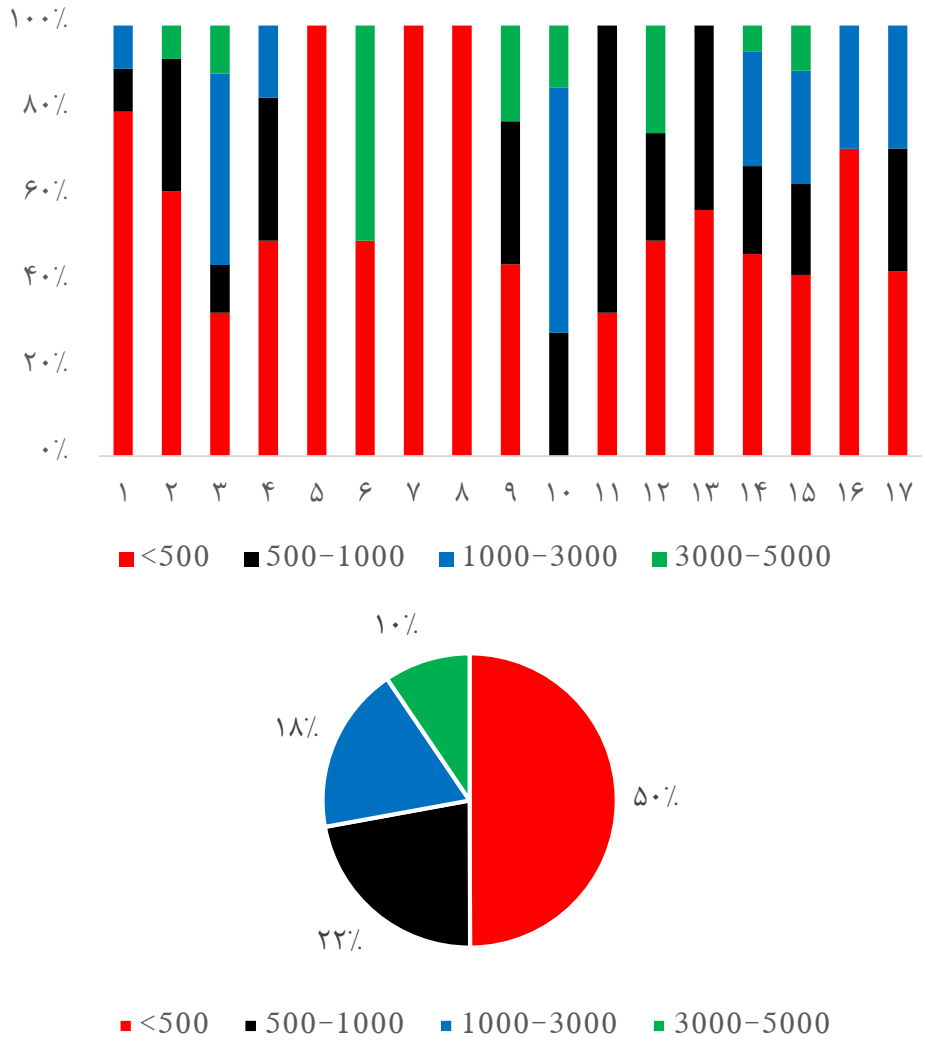


شکل ۲- مقایسهٔ میانگین تعداد میکروپلاستیک‌های شناسایی شده در ایستگاه‌های مختلف

رنگ، شکل و اندازهٔ میکروپلاستیک‌ها: میکروپلاستیک‌ها از لحاظ اندازه به چهار گروه (کمتر از ۵۰۰ میکرومتر، ۱۰۰۰–۵۰۰ میکرومتر، ۳۰۰۰–۱۰۰۰ میکرومتر، ۵۰۰۰–۳۰۰۰ میکرومتر) تقسیم شدند که به‌ترتیب با درصد فراوانی ۵۰٪، ۲۲/۲٪، ۱۸/۴٪ و ۹/۵٪ در رتبه‌های اول تا چهارم قرار گرفتند (شکل ۴).



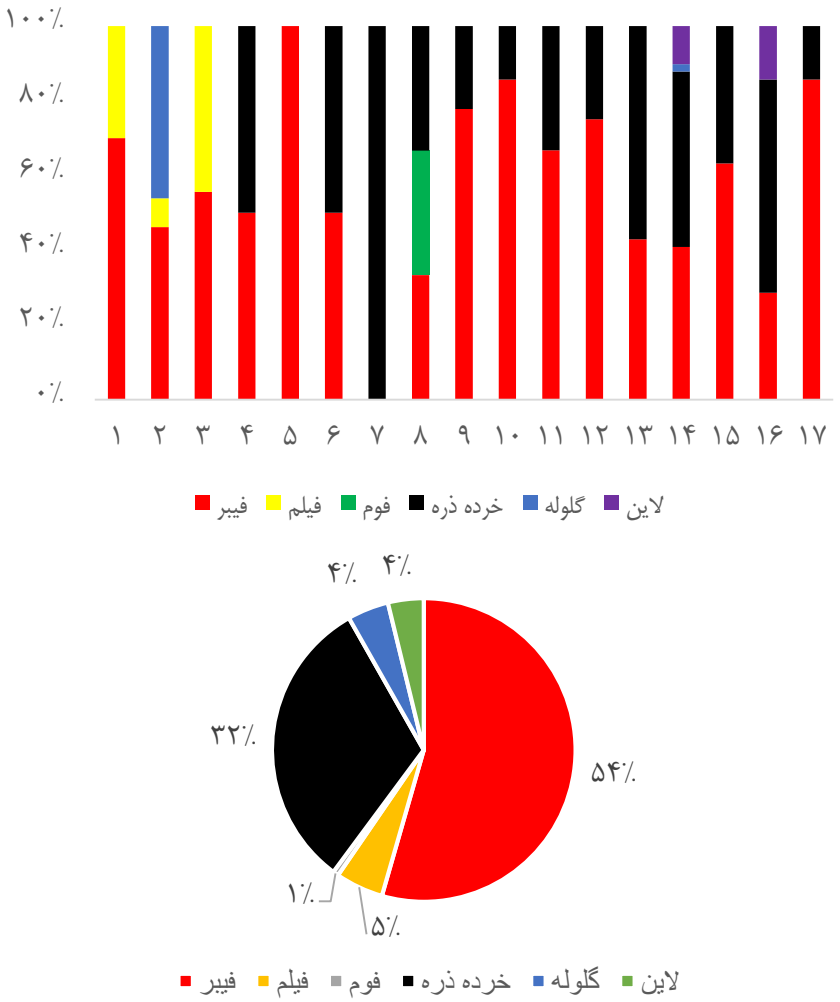
شکل ۳- ذرات میکروپلاستیک شناسایی شده در رودخانهٔ زاینده‌رود



شکل ٤- توزیع اندازهٔ میکروپلاستیک‌های شناسایی شده در رودخانهٔ زاینده‌رود

میکروپلاستیک‌های شناسایی شده، از لحاظ شکل به شش گروه (فیبر، خرده ذره، فیلم، فوم، گلوله و لاین) تقسیم شدند. فیبر و خرده ذره به‌ترتیب با ۵۴/۴٪ و ۳۱/۶٪ بیشترین میزان فراوانی را دارند (شکل ۵). میکروپلاستیک‌های شناسایی شده در ۸ رنگ مشکی، زرد، سبز، سفید، شفاف، قرمز، قهوه‌ای و مشکی مشاهده شدند. رنگ مشکی با ۳۸/۶٪ دارای بیشترین فراوانی و رنگ آبی با ۲/۵٪ دارای کمترین فراوانی بودند (شکل ۶).

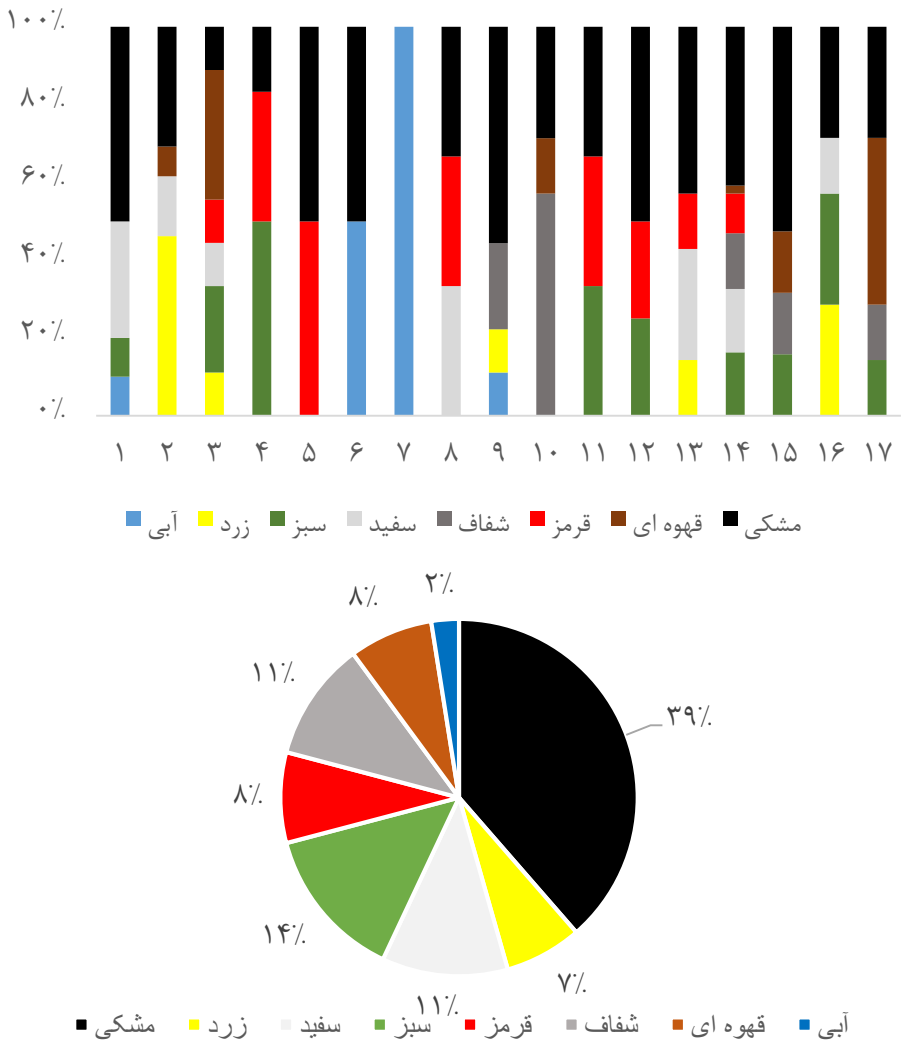
شناسایی انواع پلیمر: نتایج طیف‌سنجی رامان نشان داد که رایج‌ترین ترکیبات شیمیایی شناسایی شده، پلی‌پروپیلن، پلی‌اتیلن و پلی‌آمید هستند (شکل۷).



شکل ۵- توزیع شکل میکروپلاستیک‌های شناسایی شده در رودخانهٔ زاینده‌رود.

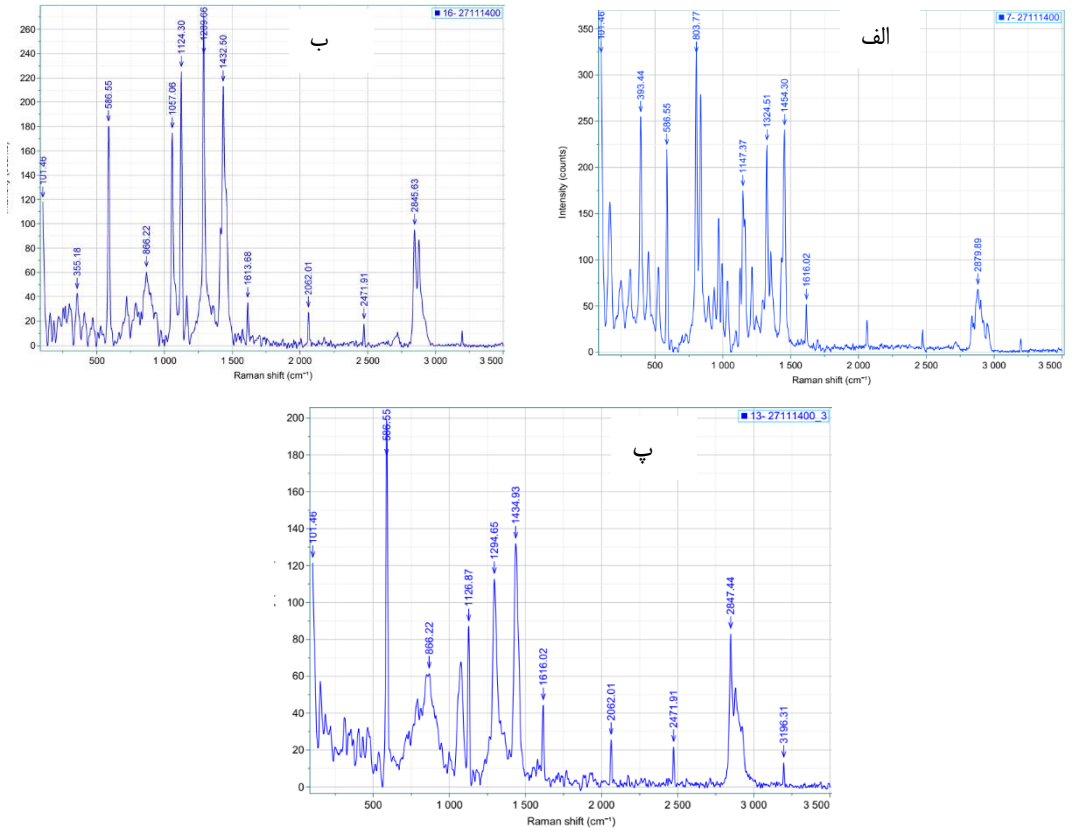
بحث و نتیجه‌گیری

محدودهٔ فراوانی ذرات میکروپلاستیک‌ها در در مطالعهٔ حاضر، ۴۹-۲ ذره در یک لیتر آب است. سایر مطالعات نیز حضور و پراکنش میکروپلاستیک‌ها را در رودخانهٔ زاینده‌رود نشان داده‌اند (جدول ۱). تعداد میکروپلاستیک‌ها در آب‌های سطحی رودخانهٔ West در جنوب چین ۲/۹۹ تا ۹/۸۷ ذره در یک لیتر گزارش شد (Huang *et al.*, 2021) . مقایسهٔ غلظت میکروپلاستیک‌ها با توجه به تفاوت در روش‌های نمونه‌برداری و تحلیلی مورد استفاده در بین مطالعات دشوار است. تفاوت در غلظت کل ممکن است ناشی از تفاوت در اندازهٔ مش‌های مورد استفاده برای نمونه‌برداری باشد. همچنین، غلظت میکروپلاستیک‌ها می‌تواند با توجه به عمق یا محل نمونه‌برداری در سطح مقطع رودخانه متفاوت باشد. که در این صورت مقایسهٔ بین مطالعات را پیچیده‌تر می‌کند (Lenaker *et al.*, 2019). منطقهٔ مورد مطالعه را می‌توان در دو بخش مورد بررسی قرار داد؛ بخش اول به قسمت بالادست رودخانه مربوط می‌شود که قبل از مناطق توسعه‌یافته شهری واقع شده‌اند و منابع تولید میکروپلاستیک کمتری دارند. علاوه بر این، در این محدوده، تقریباً هیچ فعالیت صنعتی پیرامون رودخانه وجود ندارد.



شکل ٦- توزیع رنگ میکروپلاستیک‌های شناسایی شده در رودخانهٔ زاینده‌رود

بنابراین، میکروپلاستیک‌ها به‌طور عمده از فعالیت‌های روزانه ساکنان و گردشگران این ناحیه نشأت گرفته‌اند. شیوهٔ زندگی ساکنان این مناطق، در حال نزدیک شدن به مناطق توسعه‌یافته و افزایش مصرف محصولات پلاستیکی است. پلاستیک در بسته‌بندی موادغذایی، کالاهای خانگی، پوشاک و مبلمان استفاده می‌شود. فعالیت‌های روزانه مانند حمام کردن و بهداشت دهان، همگی منجر به تولید میکروپلاستیک می‌شوند. جداشدن الیاف از لباس‌ها و گلوله‌های پلاستیکی موجود در داروها و محصولات مراقبت شخصی نیز احتمالاً منبع میکروپلاستیک‌های این بخش از رودخانه است (Kalcíkova *et al.*, 2017). علاوه بر این، زباله‌های دور ریخته‌شده توسط ساکنان و گردشگران منبع مهم زباله‌های پلاستیکی است. این زباله‌های پلاستیکی تحت شرایط مختلف می‌توانند به میکروپلاستیک‌های ثانویه تقسیم شوند (Nel *et al.*, 2018). ترکیب پلیمری میکروپلاستیک‌های جمع‌آوری شده در این مطالعه نیز با فرضیه‌های فوق سازگار است. محصولات یکبارمصرف متعددی مانند کارد و چنگال و کیسه‌های یکبارمصرف، از پلی‌اتیلن ارزان و سبک‌وزن ساخته شده‌اند (Zhang *et al.*, 2017). پلی‌اتیلن، یک افزودنی رایج در داروها و محصولات مراقبت شخصی، برای گلوله‌های پلاستیکی نیز استفاده می‌شود (Su *et al.*, 2016). از پلی‌پروپیلن یا پلی‌آمید در ساخت پارچه‌ها و کیسه‌های مختلف استفاده می‌شود (Kapp and Yeatman, 2018). در ایستگاه ۱۴ (اولین ایستگاه مربوط به پایین‌دست رودخانه) در مقایسه با بالادست رودخانه، مقادیر قابل توجهی میکروپلاستیک شناسایی شد. احتمالاً رهاسازی فاضلاب کارگاه‌های کوچک و بزرگ صنعتی و زهاب‌های کشاورزی که قبل از این ایستگاه واقع شده‌اند دلیل فراوانی بالاتر میکروپلاستیک است.



شکل ۷- پلی‌مرهای شناسایی شده در رودخانهٔ زاینده‌رود. الف: پلی‌پروپیلن، ب: پلی‌اتیلن، پ: پلی‌آمید

جدول ۱- مقایسهٔ فراوانی میکروپلاستیک‌ها در آب سایر رودخانه‌های جهان

رودخانه	فراوانی میکروپلاستیک (ذره/لیتر)	منبع
رودخانهٔ ciwalengke، اندونزی	۳/۲۸–۵/۸۵	Alam *et al*. (2019)
رودخانهٔ Nakdong، جنوب کره	۰/۲۹۳–۴/۷۶۰	Eo *et al*. (2019)
رودخانهٔ Wei، شمال غرب چین	۳/۶۷–۱۰/۷	Ding *et al*. (2019)
رودخانهٔ west، چین	۲/۹۹–۹/۸۷	Huang *et al*. (2021)
رودخانهٔ Yangtze، چین	۰/۳–۴	Xu *et al*. (2021)
رودخانهٔ زاینده‌رود، ایران	۰–۰/۰۵۱	Rami *et al*. (2023)
رودخانهٔ زاینده‌رود، ایران	۲–۴۹	مطالعهٔ حاضر

بعد از ایستگاه ۱۴، فراوانی میکروپلاستیک‌ها کاهش چشمگیری پیدا کرد که دلیل آن فاصله گرفتن از نواحی صنعتی و شهری و سد (بند) های خاکی که برای عدم انتقال پساب بین مناطق ایجاد شده‌اند، است. به‌دلیل اینکه از آب این پساب‌ها برای آبیاری زمین‌های کشاورزی پایین‌دست استفاده می‌شود، مطالعات بیشتری برای اثرات میکروپلاستیک‌ها بر محصولات کشاورزی نیاز است. وجود میکروپلاستیک‌ها در خاک نگرانی‌هایی را برای گیاهان و کشاورزی ایجاد می‌کند. میکروپلاستیک‌ها خواص بیوفیزیکی خاک از جمله چگالی ظاهری، ظرفیت نگهداری آب و برهمکنش‌های میکروبی خاک را تغییر می‌دهند. اثرات میکروپلاستیک‌ها بر روی خاک و گیاهان اغلب به نوع و اندازهٔ میکروپلاستیک‌ها بستگی دارد. میکروپلاستیک‌ها ویژگی‌های بیوفیزیکی و شیمیایی خاک را بسته به نوع، غلظت، اندازه و شکل آن‌ها به‌طور مثبت یا منفی تغییر می‌دهند و با تأثیرگذاری بر فعالیت‌های آنزیمی گیاهان می توانند منجر به سمیت ژنی و آسیب اکسیداتیو شود. همچنین میکروپلاستیک‌ها رشد ریشه و جوانه‌زنی بذر را حداقل به‌طور موقت کاهش می‌دهند (Tang, 2020).

تمامی میکروپلاستیک‌های شناسایی شده در محدودهٔ ۵۰۰۰–۵۰ میکرون هستند. با کاهش اندازهٔ میکروپلاستیک‌ها، فراوانی آن‌ها افزایش می‌یابد و بیشترین فراوانی به میکروپلاستیک‌های با اندازهٔ کمتر از ۵۰۰ میکرون، تعلق دارد. این نتایج با نتایج Mehdinia و همکاران (۲۰۲۰) همخوانی دارد. وجود میکروپلاستیک‌های کوچک، احتمال جذب آن‌ها توسط جانداران مانند

زئوپلانکتون‌ها، ماهی‌ها و صدف‌ها را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، از آنجا که ذرات کوچک‌تر نسبت به ذرات بزرگ‌تر، سطح ویژهٔ بیشتر و قدرت جذب زیادتری دارند پتانسیل جذب آلاینده‌ها در آن‌ها بیشتر است. ازاین‌رو ذرات کوچک‌تر، خطر بالقوهٔ بالاتری را برای موجودات آبزی خواهند داشت (Akhbarizadeh *et al*., 2017). میکروپلاستیک‌ها با سطح ویژهٔ بالا و آب‌گریزی قوی، می‌توانند میکروارگانیسم‌های خطرناک مختلف و آلاینده‌های شیمیایی را از محیط جذب کنند و باعث آسیب غیر قابل برگشت به انسان شوند.

نتایج نشان داد که فیبر و خرده ذره به‌ترتیب با ۵۴/۴٪ و ۳۱/۶٪ بیشترین میزان فراوانی را دارند. طبق نتایج به‌دست آمده از پژوهش Jiao و همکاران (۲۰۲۱) در رودخانهٔ Wei در چین، فیبر و خرده ذره به‌ترتیب با ۸۳/۴٪ و ۱۴/۴٪ بیشترین میزان فراوانی شکل ذرات را دارند که نشان می‌دهد فراوانی فیبر و خرده ذره و در نتیجه منشاء آن‌ها تقریباً مشابه رودخانهٔ زاینده‌رود است. پسماندهای جامد و فاضلاب خانگی به‌عنوان منابع تولید خرده ذرات در نظر گرفته می‌شوند، در حالی که فیبرها از پارچه‌ها و محصولات تجزیه شده به‌دست می‌آیند (Hernandez *et al*., 2017). طراحی مجدد فیلترهای ماشین لباسشویی به‌عنوان یک اقدام مؤثر در کاهش ورود میکروپلاستیک‌ها به طبیعت توصیه می‌شود.

در پژوهش حاضر، میکروپلاستیک‌های جداسازی‌شده در رنگ‌های مختلف مشاهده شدند. رنگ مشکی با ۳۸/۶٪ دارای بیشترین فراوانی بود. تنوع رنگ میکروپلاستیک‌های شناسایی شده به‌علت ورود فاضلاب‌های شهری و روستایی است که حاوی میکروپلاستیک‌های حاصل از شست‌وشو و لوازم بهداشتی هستند. نتایج مشابهی توسط Mehdinia و همکاران (۲۰۲۰) و Akhbarizadeh و همکاران (۲۰۱۷) به‌دست آمد که رنگ مشکی و خاکستری را رنگ‌های غالب معرفی کرده‌اند. اگرچه رنگ میکروپلاستیک‌ها ممکن است در محیط از طریق فرآیندهای فرسایش و سفیدشدگی، تخریب یا تغییر یابد (Stolte *et al*., 2015)، تنوع رنگ بالا نشان‌دهندهٔ طیف وسیعی از منابع میکروپلاستیک است (Akhbarizadeh *et al*., 2017). میکروپلاستیک‌های رنگی معمولاً از تخریب و تجزیهٔ محصولات پلاستیکی رنگی به‌دست می‌آیند (Wang *et al*., 2017). شکل ظاهری میکروپلاستیک‌های جمع‌آوری‌شده نشان‌دهندهٔ منشاء آن‌ها است. بیشتر میکروپلاستیک‌های جمع‌آوری شده در این مطالعه رنگی بودند. برخی از محصولات برای استفادهٔ مؤثر باید رنگی شوند، مانند انواع خاصی از ظروف، ماشین‌آلات و تجهیزات. علاوه بر این، از آنجا که مکان‌های نمونه‌برداری همگی در نزدیکی جاده‌ها قرار داشتند، برخی از ذرات سیاه احتمالاً از لاستیک‌های خودرو ناشی شده‌اند، در حالی که ذرات سفید از رنگ جاده‌ها منشاء گرفته‌اند (Turner, 2018).

ایستگاه ۱۴ بیشترین تعداد میکروپلاستیک را به‌خود اختصاص داد و فیبر، رایج‌ترین شکل یافت‌شده در این مطالعه است. اکثر میکروپلاستیک‌ها، ذرات رنگی کوچک در اندازهٔ کمتر از ۵۰۰ میکرون و تهدیدی برای کیفیت آب و ماهیگیری رودخانه هستند. زیرا می‌توانند به‌راحتی وارد زنجیرهٔ غذایی شوند. پلیمرهای اصلی میکروپلاستیک‌های شناسایی شده در این مطالعه، پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن و پلی‌آمید هستند. خطراتی که میکروپلاستیک‌ها برای ماهی‌ها و غذاهای طبیعی آن به‌ویژه بی‌مهرگان ایجاد می‌کنند، مشکلات ناشی از محصولات کشاورزی آبیاری شده با پساب‌های آلوده به میکروپلاستیک و ارتباط احتمالی آن با سلامت انسان باید بررسی شود. راهبردهایی مانند مدیریت صحیح زباله، بازیافت پلاستیک و مجازات تخلیهٔ غیرقانونی فاضلاب و پساب به منابع آبی باید در جوامع ترویج و اجرا شود.

References

Akhbarizadeh, R., Moore, F., Keshavarzi, B., Moeinpour, A., 2017. Microplastics and potentially toxic elements in coastal sediments of Iran's main oil terminal (Khark Island). Environmental Pollution 220(1), 720-731.

Alam, F.C., Sembiring, E., Muntalif, B.S., Suendo, V., 2019. Microplastic distribution in surface water and sediment river around slum and industrial area (case study: Ciwalengke River, Majalaya district, Indonesia). Chemosphere 224(1), 637-645.

Behmanesh, M., Chamani, A., Chavoshi, E., 2022. Occurrence, Abundance and Characteristics of Microplastics in the Sediments of the Zayandeh-Rud River. Environment & transsectoral development 7(76), 65-79.

Besseling, E., Quik, J.T., Sun, M., Koelmans, A.A., 2017. Fate of nano-and microplastic in freshwater

systems: A modeling study. Environmental Pollution 220(1), 540-548.
Brennecke, D., Ferreira, E.C., Costa, T.M., Appel, D., da Gama, B.A., Lenz, M., 2015. Ingested microplastics (> 100 μm) are translocated to organs of the tropical fiddler crab Uca rapax. Marine pollution bulletin 96(1-2), 491-495.
Chamani, A., 2020. Evaluation of Lead and Cadmium Contamination in the Zayandeh Rud River. In Standing up to Climate Change. pp. 225-238.
Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., Galloway, T.S., 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. Marine pollution bulletin 62(12), 2588-2597.
Dehkordi, S. K., Paknejad, H., Blaha, L., Svecova, H., Grabic, R., Simek, Z., Bittner, M., 2022. Instrumental and bioanalytical assessment of pharmaceuticals and hormone-like compounds in a major drinking water source—Wastewater receiving Zayandeh Rood River, Iran. Environmental Science and Pollution Research 29(6), 9023-9037.
Ding, L., fan Mao, R., Guo, X., Yang, X., Zhang, Q., Yang, C., 2019. Microplastics in surface waters and sediments of the Wei River, in the northwest of China. Science of the Total Environment 667, 427-434.
Dosul, J.A.I., Costa, M.F., 2014. The present and future of microplastic pollution in the marine environment. Environmental Pollution 185(1), 352-364.
Eo, S., Hong, S.H., Song, Y.K., Han, G.M., Shim, W.J., 2019. Spatiotemporal distribution and annual load of microplastics in the Nakdong River, South Korea. Water Research 160(1), 228-237.
Galloway, T. S., 2015. Micro-and nano-plastics and human health. In Marine anthropogenic litter. pp. 343-366.
Gouin, T., Roche, N., Lohmann, R., Hodges, G., 2011. A thermodynamic approach for assessing the environmental exposure of chemicals absorbed to microplastic. Environmental Science & Technology 45(4), 1466-1472.
Hernandez, E., Nowack, B., 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.
Hosseinpour, A., Chamani, A., Mirzaei, R., 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(1), 112693.
Huang, D., Li, X., Ouyang, Z., Zhao, X., Wu, R., Zhang, C., 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(1), 143857.
Jiao, J., Hu, H., Chen, G., Yang, Z., 2021. Microplastics in surface waters of the Wei River, China. Paper presented at the E3S Web of Conferences. Available from https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125102090.
Kalčíková, G., Alič, B., Skalar, T., Bundschuh, M., Gotvajn, A.Ž., 2017. Wastewater treatment plant effluents as source of cosmetic polyethylene microbeads to freshwater. Chemosphere 188(1), 25-31.
Kapp, K.J., Yeatman, E., 2018. Microplastic hotspots in the Snake and Lower Columbia rivers: A journey from the Greater Yellowstone Ecosystem to the Pacific Ocean. Environmental Pollution 241(1), 1082-1090.
Karim, M.E., Sanjee, S.A., Mahmud, S., Shaha, M., Moniruzzaman, M., Das, K.C., 2020. Microplastics pollution in Bangladesh: current scenario and future research perspective. Chemistry and Ecology 36(1), 83-99.
Karimian, S., Chamani, A., Shams, M., 2020. Evaluation of heavy metal 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.
Lenaker, P.L., Baldwin, A.K., Corsi, S.R., Mason, S.A., Reneau, P.C., Scott, J. W., 2019. Vertical distribution of microplastics in the water column and surficial sediment from the Milwaukee River Basin to Lake Michigan. Environmental Science & Technology 53(21), 12227-12237.
Leslie, H., Brandsma, S., Van Velzen, M., Vethaak, A., 2017. Microplastics en route: Field measurements in the Dutch river delta and Amsterdam canals, wastewater treatment plants, North Sea sediments and biota. Environment International 101(1), 133-142.
Li, J., Ouyang, Z., Liu, P., Zhao, X., Wu, R., Zhang, C., Guo, X., 2021. Distribution and characteristics of microplastics in the basin of Chishui River in Renhuai, China. Science of the Total Environment

773(1), 145591.
Liu, Y., You, J., Li, Y., Zhang, J., He, Y., Breider, F., Liu, W., 2021. Insights into the horizontal and vertical profiles of microplastics in a river emptying into the sea affected by intensive anthropogenic activities in Northern China. Science of The Total Environment 779(1), 146589.
Mani, T., Hauk, A., Walter, U., Burkhardt-Holm, P., 2015. Microplastics profile along the Rhine River. Scientific Reports 5(1), 1-7.
Mao, Y., Li, H., Gu, W., Yang, G., Liu, Y., He, Q., 2020. Distribution and characteristics of microplastics in the Yulin River, China: Role of environmental and spatial factors. Environmental Pollution 265(1), 115033.
Mehdinia, A., Dehbandi, R., Hamzehpour, A., Rahnama, R., 2020. Identification of microplastics in the sediments of southern coasts of the Caspian Sea, north of Iran. Environmental Pollution 258(1), 113738.
Moore, C. J., Lattin, G., 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.
Nabinejad, A., 2018. Aquatic Birds' Serology in Zayndeh Rood River for NDV and AIV. Iranian Journal of Allergy, Asthma & Immunology 17.
Napper, I.E., Bakir, A., Rowland, S.J., Thompson, R.C., 2015. Characterisation, quantity and sorptive properties of microplastics extracted from cosmetics. Marine Pollution Bulletin 99(1-2), 178-185.
Nel, H.A., Dalu, T., Wasserman, R.J., 2018. Sinks and sources: Assessing microplastic abundance in river sediment and deposit feeders in an Austral temperate urban river system. Science of The Total Environment 612(1), 950-956.
Nizzetto, L., Futter, M., Langaas, S., 2016. Are agricultural soils dumps for microplastics of urban origin? In: ACS Publications.
Peng, G., Zhu, B., Yang, D., Su, L., Shi, H., Li, D., 2017. Microplastics in sediments of the Changjiang Estuary, China. Environmental Pollution 225(1), 283-290.
Prata, J.C., da Costa, J.P., Duarte, A.C., Rocha-Santos, T., 2019. Methods for sampling and detection of microplastics in water and sediment: a critical review. TrAC Trends in Analytical Chemistry 110(1), 150-159.
Rami, Y., Shoshtari-Yeganeh, B., Ebrahimi, A., Ebrahimpour, K., 2023. Occurrence and characteristics of microplastics in surface water and sediment of Zayandeh-rud river, Iran. Environmental Health Engineering and Management Journal.10(2):207-216.
Sanayei, Y., Ismail, N., Talebi, S., 2009. Determination of heavy metals in Zayandeh Rood river, Isfahan-Iran. World Applied Sciences Journal 6(9), 1209-1214.
Sartain, M., Wessel, C., Sparks, E., 2018. Sampling and Processing Guidebook. Mississippi State University.
Sighicelli, M., Pietrelli, L., Lecce, F., Iannilli, V., Falconieri, M., Coscia, L., Zampetti, G., 2018. Microplastic pollution in the surface waters of Italian Subalpine Lakes. Environmental Pollution 236(1), 645-651.
Stolte, A., Forster, S., Gerdts, G., Schubert, H., 2015. Microplastic concentrations in beach sediments along the German Baltic coast. Marine Pollution Bulletin 99(1-2), 216-229.
Su, L., Xue, Y., Li, L., Yang, D., Kolandhasamy, P., Li, D., Shi, H., 2016. Microplastics in taihu lake, China. Environmental Pollution 216(1), 711-719.
Tang, K.H.D., 2020. Effects of microplastics on agriculture: A mini-review. Asian Journal of Environment & Ecology 13(1), 1-9.
Thompson, R.C., Olsen, Y., Mitchell, R.P., Davis, A., Rowland, S.J., John, A.W., Russell, A.E., 2004. Lost at sea: where is all the plastic? Science 304(5672), 838-838.
Turner, A., 2018. Black plastics: Linear and circular economies, hazardous additives and marine pollution. Environment International 117, 308-318.
Xu, Y., Chan, F.K.S., Johnson, M., Stanton, T., He, J., Jia, T., Yu, X., 2021. Microplastic pollution in Chinese urban rivers: The influence of urban factors. Resources, Conservation and Recycling 173(1), 105686.
Wagner, M., Lambert, S., 2018. Freshwater microplastics: emerging environmental contaminants?: Springer Nature.

Wang, J., Peng, J., Tan, Z., Gao, Y., Zhan, Z., Chen, Q., Cai, L., 2017. Microplastics in the surface sediments from the Beijiang River littoral zone: composition, abundance, surface textures and interaction with heavy metals. Chemosphere 171(1), 248-258.

Yonkos, L.T., Friedel, E.A., Perez-Reyes, A.C., Ghosal, S., Arthur, C.D., 2014. Microplastics in four estuarine rivers in the Chesapeake Bay, USA. Environmental Science & Technology 48(24), 14195-14202.

Zhang, K., Xiong, X., Hu, H., Wu, C., Bi, Y., Wu, Y., Liu, J., 2017. Occurrence and characteristics of microplastic pollution in Xiangxi Bay of Three Gorges Reservoir, China. Environmental Science & Technology 51(7), 3794-3801.