Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics

Print ISSN: 2345-427X
Online ISSN: 2345-4288

Investigation of Microplastic Pollution in Sediments of the Sefidrud River, Gilan Province

Reza Kazemi Darsanaki[1], Sakineh Alijanpour[*2], Akram Sadat Naeemi[3], Seyedeh Ainaz Shirangi[4], Safoura Abarghouei[5]

1. M.Sc. Student in Marine Biology, Dept. of Biology, Faculty of Basic Science and Engineering, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran. E-mail: darsanaki@hotmail.com
2. Corresponding Author, Dept. of Biology, Faculty of Basic Science and Engineering, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran. E-mail: salijanpour@gmail.com
3. Dept. of Biology, Faculty of Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran. E-mail: akramnaeemi@yahoo.com
4. Dept. of Biology, Faculty of Basic Science and Engineering, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran. E-mail: a.shirangi@gonbad.ac.ir
5. Dept. of Fisheries and Aquatic Sciences, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: sabarghoei67@gmail.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 08.04.2023
Revised: 09.23.2023
Accepted: 01.27.2024

Keywords:
Microplastic,
Sediment,
Sefidrud Revier

ABSTRACT

This study aimed to investigate the microplastic pollution in the sediments of the Sefidrud River. To achieve this goal, sediment samples were collected from five locations, including the river mouth, residential area, agricultural area, tourist area, and the wastewater inlet into the river. Three surface sediment samples and three deep sediment samples were collected from each station. The sediment samples were then analyzed to identify microplastics after separation using the Sediment-Microplastic Isolation (SMI) method and passed through a sieve. Stereomicroscopy was used to count microplastics' number, color, and size, while Raman spectroscopy and FESEM-EDS analysis were employed for polymer identification and elemental composition analysis. Among the 30 surface and deep sediment samples examined, 86 microplastic particles per 100 grams of dry sediment were identified. The wastewater station (27.90%) and the tourist area (24.41%) exhibited the highest microplastic pollution. Black color (37.20%), fiber shape (63.95%), and a size range of 0.5-1 millimeter (46.51%) were the most prevalent characteristics. Raman spectroscopy analysis of three random samples revealed that the polymer types were nylon, polyethylene, and polystyrene, while FESEM-EDS analysis showed that the microplastic particles had rough surfaces and contained elements such as iron, aluminum, and titanium in addition to the main plastic components like carbon and oxygen. These additional elements pose a significant threat to marine ecosystems. Given the concerning levels of pollution observed in the Sefidrud River, periodic monitoring of microplastics in water, sediments, and river organisms is essential. Furthermore, effective waste and wastewater management strategies are crucial, especially near river inlets. Above all, public awareness and education regarding microplastic pollution can play a significant role in its control.

Cite this article: Kazemi Darsanaki, Reza, Alijanpour, Sakineh, Naeemi, Akram Sadat, Shirangi, Seyedeh Ainaz, Abarghouei, Safoura. 2024. Investigation of Microplastic Pollution in Sediments of the Sefidrud River, Gilan Province. *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*, 13 (3), 197-209.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/japu.2024.21767.1818
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان

شاپا چاپی: ۲۳۴۵-۴۲۷X
شاپا آنلاین: ۲۳۴۵-۴۲۸۸

بررسی آلودگی میکروپلاستیکی در رسوبات رودخانه سفیدرود استان گیلان

رضا کاظمی درسنکی[۱]، سکینه علی‌جان‌پور*[۲]، اکرم سادات نعیمی[۳]، سیده آیناز شیرنگی[۴]، صفورا ابرقوئی[۵]

۱. دانشجوی کارشناسی‌ارشد زیست دریا، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه و فنی‌مهندسی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبد کاووس، ایران. رایانامه: darsanaki@hotmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه و فنی‌مهندسی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبد کاووس، ایران. رایانامه: salijanpour@gmail.com

۳. گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه گیلان، رشت، ایران. رایانامه: akramnaeemi@yahoo.com

۴. گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه و فنی‌مهندسی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبد کاووس، ایران. رایانامه: a.shirangi@gonbad.ac.ir

۵. گروه شیلات و تولید و بهره‌برداری آبزیان، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: sabarghoei67@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۱۳
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۷

واژه‌های کلیدی:
رسوب،
رودخانه سفیدرود،
میکروپلاستیک

چکیده

هدف مطالعه حاضر بررسی آلودگی میکروپلاستیکی رسوبات رودخانه سفیدرود استان گیلان است. بدین‌منظور از پنج ایستگاه (مصب، مسکونی، کشاورزی، گردشگری و دهانه فاضلاب ورودی به رودخانه)، هر ایستگاه سه نمونه رسوب سطح و سه نمونه رسوب عمق جمع‌آوری شد. نمونه‌های رسوب، پس از آبگیری با روش جداسازی براساس اختلاف چگالی (SMI) و عبور ازکاغذ صافی جهت شناسایی میکروپلاستیک‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. جهت شمارش تعداد، رنگ و اندازه میکروپلاستیک‌ها از استریومیکروسکوب دوربین‌دار و برای شناسایی جنس و عناصر سازنده آن‌ها از طیف‌سنجی رامان و آنالیز FESEM-EDS استفاده شد. از ۳۰ نمونه رسوب سطحی و عمقی مورد بررسی؛ ۸۶ ذره میکروپلاستیک در ۱۰۰ گرم رسوب خشک شناسایی شد. ایستگاه فاضلاب (۲۷/۹۰ درصد) و ایستگاه گردشگری (۲۴/۴۱ درصد) بیش‌ترین آلودگی میکروپلاستیکی را داشتند. رنگ مشکی (۳۷/۲۰ درصد)، شکل فیبر (۶۳/۹۵ درصد) و محدوده اندازه ۰/۵-۱ میلی‌متر (۴۶/۵۱ درصد) دارای بیش‌ترین فراوانی بودند. آنالیز ۳ نمونه تصادفی با طیف‌سنجی رامان نشان داد، که جنس پلیمرها از نوع نایلون، پلی‌اتیلن، پلی‌استایرن بودند و طبق آنالیز FESEM-EDS نمونه‌های میکروپلاستیکی دارای سطح صافی نبودند و علاوه‌بر عناصر اصلی پلاستیک مانند کربن و اکسیژن، حامل عناصر دیگری مانند آهن، آلومینیوم و تیتانیوم بودند. با توجه به آلودگی‌های مشاهده شده در رودخانه سفیدرود؛ پایش دوره‌ای میکروپلاستیک‌ها در آب، رسوبات و آبزیان رودخانه که مهم‌ترین

رودخانه بزرگ متصل به دریای خزر در کشور است و مدیریت پسماندها و فاضلاب‌های ورودی به رودخانه و مهم‌تر از همه فرهنگ‌سازی و آگاه‌سازی مردم درخصوص آلودگی میکروپلاستیکی می‌تواند کمک شایانی برای کنترل آلودگی باشد.

استناد: کاظمی درسنکی، رضا، علی‌جان‌پور، سکینه، نعیمی، اکرم سادات، شیرنگی، سیده آیناز، ابرقوئی، صفورا (۱۴۰۳). بررسی آلودگی میکروپلاستیکی در رسوبات رودخانه سفیدرود استان گیلان. *نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان*، ۱۳ (۳)، ۲۰۹-۱۹۷.
DOI: 10.22069/japu.2024.21767.1818

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

ویژگی‌های منحصر به فرد محصولات پلاستیکی مانند وزن و هزینه کم ساخت، خصوصیات شیمیایی پایدار، مقاومت در برابر سایش، خوردگی و ضدزنگ بودن موجب شده است که تقاضا و استفاده از آن‌ها در جهان رو به افزایش باشد. این افزایش به‌عنوان هشداری جدی برای محیط‌زیست و سلامت جانداران به حساب می‌آید (۱، ۲). پلاستیک‌های وارد شده به اکوسیستم‌های آبی طی عوامل مختلف تخریب شده و به تکه‌های کوچک‌تر تبدیل می‌شوند. به این قطعات پلاستیکی کوچک در شکل، رنگ، اندازه‌های متنوع و قطر کمتر از ۵ میلی‌متر میکروپلاستیک گفته می‌شود (۳). این ذرات در محیط‌های آبی از سطح تا بستر وجود دارند و در سواحل و رسوبات نیز ته‌نشین می‌شوند (۴). مطالعات اخیر انجام شده بیش‌تر متمرکز برمحیط‌های دریایی بوده است، در حالی‌که آلودگی منابع آب‌های شیرین کم‌تر مورد توجه قرار گرفته‌اند. رودخانه‌ها؛ میکروپلاستیک‌ها را به سمت دریاها منتقل می‌کنند و تخمین زده شده است که ۸۰ درصد از پسماندهای پلاستیکی دریایی از منابع داخلی نشأت می‌گیرند. منابع میکروپلاستیک‌ها متعدد هستند و مسیرهای آن‌ها به سمت رودخانه‌ها نیز متنوع است. در واقعیت، میکروپلاستیک‌ها می‌توانند توسط آب‌های سطحی از مناطق کشاورزی، انتشار هوایی از صنایع یا به‌وسیله فاضلاب حمل شوند (۵). سرنوشت میکروپلاستیک‌ها در محیط‌های آبی به دانسیته و مواد تشکیل‌دهنده پلیمر بستگی دارد. این ویژگی بر شناوری و موقعیت آن‌ها در ستون آب تأثیرگذار است. پلاستیک‌هایی که دانسیته بالاتری از آب دارند، در آب غرق می‌شوند، در حالی‌که آن‌هایی که سبک‌تر (دانسیته پایین‌تر) هستند روی سطح آب می‌مانند (۶).

نتایج برخی مطالعات نشان داده است که ورود میکروپلاستیک‌ها به اکوسیستم دریایی و آلودگی‌های ناشی از وجود آن موجب تخریب زیستگاه‌ها، مهاجرت بعضی گونه‌ها به زیستگاه‌های جدید، از بین رفتن برخی گونه‌های مختلف جانوران دریایی، مشکلات در حمل و نقل دریایی، کاهش جذابیت و زیبایی مناطق ساحلی، صدمه بر صنعت گردشگری، صنعت ماهی‌گیری و صنایع‌غذایی دریایی می‌شود. به سبب وجود میکروپلاستیک‌ها، ممکن است آلاینده‌های آلی مثل آلاینده‌های نفتی، فلزات سنگین در آب تجمع پیدا کنند و آلاینده‌های آلی پایدار[1] به‌وسیله میکروپلاستیک‌ها حمل می‌شوند (۷). هم‌چنین میکروپلاستیک‌ها می‌توانند با ورود به زنجیره غذایی، از طریق تجمع زیستی در بافت‌های بدن موجودات سبب از بین رفتن بسیاری از جانوران و گونه‌های دریایی شوند (۸).

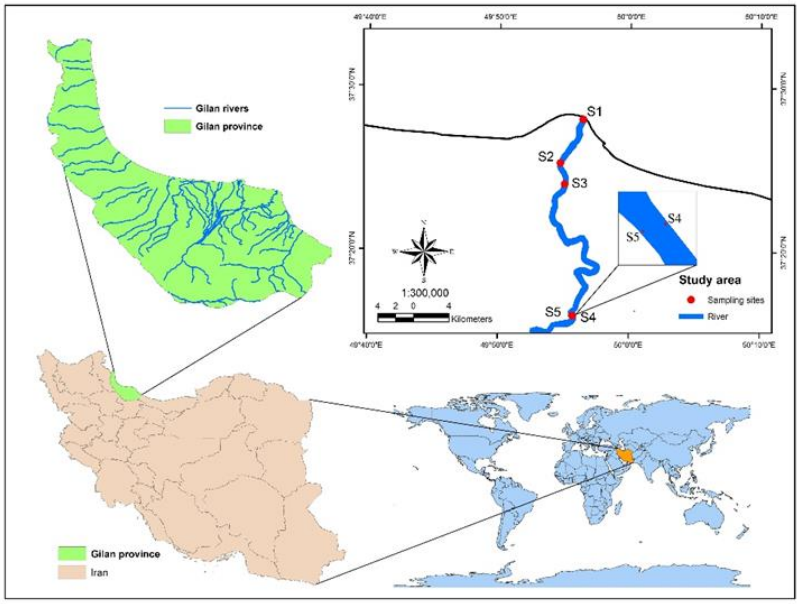
استان گیلان به‌دلیل موقعیت اقلیمی مناسب و نزدیکی به دریای خزر، دارای حوضه‌های مختلف آبریز و رودخانه‌های متنوعی است که اغلب به‌دلیل دبی بالا و شرایط فیزیکو شیمیایی مناسب، مستعد آبزی‌پروری هستند. از آن‌جایی‌که میکروپلاستیک در رسوبات و شبکه غذایی دریایی، می‌توانند تهدیدی جدی برای سلامت انسان‌ها و اکوسیستم‌های دریایی باشند، بررسی آن‌ها یک اولویت پژوهشی و گام اساسی به‌منظور ارزیابی خطرات زیست‌محیطی است. با توجه به آن‌که رودخانه سفیدرود از رودخانه‌های مهم و پر آب استان گیلان محسوب می‌شود هدف از مطالعه حاضر، بررسی مقادیر مختلف میکروپلاستیک‌ها در رسوبات رودخانه سفیدرورد استان گیلان بود.

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعه محیطی: حوضه آبخیز سفیدرود با وسعتی حدود ۵۹۴۰۰ کیلومترمربع بین ۳۰ دقیقه ۴۹ درجه تا ۱۵ دقیقه ۵۱ درجه طول شرقی و ۴۵

1- Persistent organic pollutants (POPs)

دقیقه ۳۴ درجه تا ۵۷ دقیقه ۳۷ درجه عرض شمالی قرار دارد. رودخانه سفیدرود از استان زنجان می‌گذرد و در استان گیلان در بندر کیاشهر به دریای خزر می‌ریزد (۹). این رودخانه زیستگاه مناسبی برای ماهیان محسوب می‌شود که شامل سه دسته ماهیان رودخانه‌ای، مهاجر و مصبی است. بر اساس مرور منابع و گشت‌های میدانی ایستگاه‌های تحقیق، مطابق شکل ۱ مشخص و نمونه‌برداری انجام شد.



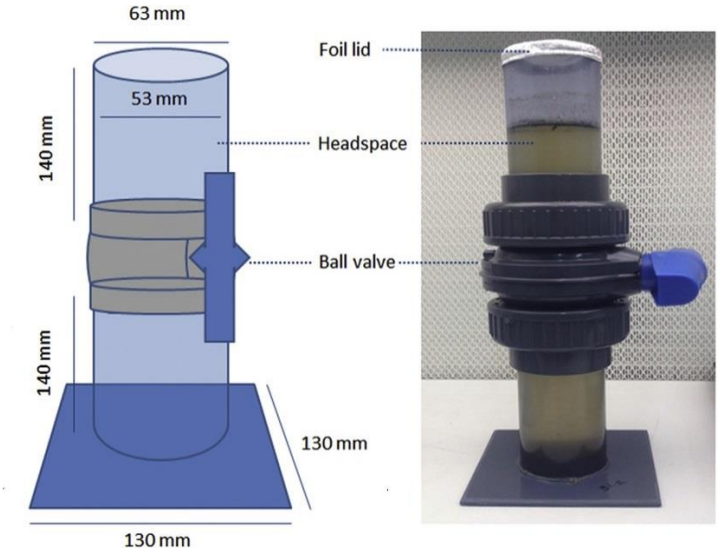
شکل ۱- موقعیت ۵ ایستگاه نمونه‌برداری در رودخانه سفیدرود حدفاصل شهر آستانه اشرفیه تا بندر کیاشهر استان گیلان: (۱- مصب (ورودی رودخانه به دریا)، ۲- مسکونی، ۳- کشاورزی و ۴- توریستی ۵- آلودگی فاضلابی) (۱۴۰۱).

نمونه‌برداری از رسوبات مناطق مختلف ساحلی تا عمیق رودخانه انجام شد. محدوده مورد مطالعه شامل پنج ایستگاه بود. در مجموع از هر ایستگاه سه نمونه رسوب سطح، سه نمونه رسوب عمق جمع‌آوری شد.

جمع‌آوری نمونه‌های رسوب: حدود ۱ کیلوگرم رسوب از هر ایستگاه برداشت شد. برای برداشت رسوبات کناری رودخانه (۵-۰ سانتی‌متر) از یک بیلچه فلزی و برای رسوبات عمقی (از ۵۰ سانتی‌متر به بالا)، از گرب استفاده شد. رسوبات در بطری‌های شیشه‌ای و فلزی تمیز قرار گرفتند و سپس به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌های رسوب مرطوب هر ایستگاه با فویل آلومینیومی پوشانده شد و در آون ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا رسوبات به‌طور کامل خشک شوند (۱۰).

در این پژوهش از دستگاه جداسازی میکروپلاستیک (SMI[1]) که کوپاک و همکاران در سال ۲۰۱۷ برای جدا کردن همه نمونه‌های رسوب با کارایی بالا (حدود ۹۵/۸ درصد) طراحی نمودند؛ استفاده شد. (شکل ۲). از نمک‌های مختلفی برای شناورسازی میکروپلاستیک‌ها استفاده می‌شود (۱۲) که در مطالعه حاضر جداسازی بر اساس اختلاف چگالی، با استفاده از سدیم کلراید g/cm^3 ۱/۲ (شرکت مرک، آلمان) انجام شد. چگالی ذکر شده موجب ته‌نشینی ذرات رسوب و شناور شدن ذرات پلاستیکی می‌شود. از مزایای این روش می‌توان به راحتی جداسازی، قابلیت حمل آسان در آزمایشگاه و محیط نمونه‌برداری و نیز شناسایی میکروپلاستیک‌ها طی یک مرحله اشاره نمود (۱۰، ۱۱).

1- Sediment Microplastic Isolation



شکل ۲- دستگاه SMI جهت جداسازی نمونه‌های رسوب با کارایی بالا (۱۱).

نمونه‌های خشک رسوب (۱۰۰ گرم) به همراه ۷۰۰ میلی‌لیتر سدیم کلراید به دستگاه SMI اضافه و درب آن با فویل پوشانده شد. برای مخلوط کردن رسوب با استفاده از همزن مغناطیسی به‌مدت ۵ دقیقه انجام شد و سپس رسوب چند دقیقه به حال خود رها شد. دستگاه SMI جهت ته‌نشینی و شناور شدن میکروپلاستیک‌ها به‌مدت ۳ ساعت در مکان ثابتی قرار گرفت. سپس شیر دورانی بسته شد و محتویات بالایی دستگاه بر روی کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ توسط پمپ خلا (پمپ وکیوم هامر سری RS) فیلتر شدند. کاغذ صافی به یک پتری‌دیش شیشه‌ای تمیز منتقل شد و زیر استریومیکروسکوپ (Leica Wild M8) مشاهده بصری و ثبت انجام شد.

آنالیز طیف‌سنجی رامان[1] و FESEM–EDS[2]: برای شناسایی مولکول‌ها و ارزیابی هندسی میکروپلاستیک‌ها و تعیین پیوندهای شیمیایی از آنالیز رامان استفاده شد. اساس آنالیز رامان در تاباندن لیزر بر نمونه و بررسی پرتوی‌های تابش شده توسط نمونه است. آنالیز FESEM یک روش میکروسکوپی با قابلیت بزرگ‌نمایی بالا است که می‌توان با استفاده از آن به بررسی مورفولوژی، ترکیب و ساختار سطح در ابعاد نانومتری پرداخت. آنالیز EDS یا EDX نیز طیفی را ارائه می‌دهد که در این طیف پیک‌های ظاهر شده مرتبط با میزان ترکیب عنصری موجود در نمونه مورد بررسی می‌باشد. ۳ نمونه میکروپلاستیک شناسایی‌شده بصری با استریومیکروسکوپ جهت بررسی آنالیز رامان و FESEM-EDS به‌صورت تصادفی انتخاب شدند.

آنالیز آماری: برای آنالیز آماری از نرم‌افزار (SPSS 26) استفاده شد. از آزمون کولموگروف–اسمیرنوف جهت بررسی توزیع نرمال داده‌ها و سپس از آزمون‌های آماری استنباطی برای بررسی روابط بین متغیرهای مورد مطالعه استفاده شد.

کنترل کیفیت طی انجام آزمایش: برای جلوگیری از آلودگی‌های ناخواسته، تمام تجهیزات آزمایشگاهی از نوع ظروف شیشه‌ای با آب مقطر دو بار تقطیر شستشو داده شد. قبل از تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی، سطوح کار، دست‌ها تا ساعد برای جلوگیری از آلودگی

1- Raman spectrometry
2- Field emission scanning electron microscopy-Energy-dispersive X-ray spectroscopy

پوست، مو و ذرات خاکی با الکل تمیز شدند (۱۳). به‌منظور اطمینان بیش‌تر، از آزمون سوزن داغ (برای اطمینان از پلاستیک بودن برخی از ذرات بزرگ‌تر با استفاده از هویه برقی مورد بررسی قرار گرفتند؛ درصورت پلاستیک بودن قطعه موردنظر ذوب و چسبناک می‌شود) برای قطعات بزرگ‌تر میکروپلاستیک استفاده شد (۱۴). هم‌چنین برای نمونه‌هایی که شامل مواد زیستی از جمله باقی‌مانده شاخ و برگ گیاهان بودند، از آب اکسیژنه ۳۰ درصد (هیدروژن پراکسید H_2O_2) به‌مدت ۴۸ ساعت استفاده شد (۱۵).

نتایج

آلودگی میکروپلاستیک در رسوبات: آلودگی میکروپلاستیک در تمام ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده یافت شد. در مجموع ۸۶ ذره در ۱۰۰ گرم رسوب خشک در ۵ ایستگاه شناساسی شد و ایستگاه فاضلاب (۲۷/۹۰ درصد) و ایستگاه گردشگری (۲۴/۴۱ درصد) دارای بیش‌ترین آلودگی میکروپلاستیکی بودند (جدول ۱).

جدول ۱- فراوانی میکروپلاستیک بر حسب ذره در ۱۰۰ گرم رسوب خشک در رسوبات سطحی و عمقی.

نام ایستگاه	تعداد نمونه رسوب سطحی و عمقی	سطحی تعداد میکروپلاستیک	تعداد میکروپلاستیک عمقی
مصب	۶	۵	۴
مسکونی	۶	۸	۸
کشاورزی	۶	۹	۷
توریستی	۶	۱۱	۱۰
آلودگی فاضلابی	۶	۱۲	۱۲
کل	۳۰	۴۵	۴۱

فراوانی میکروپلاستیک‌ها بر اساس اندازه: فراوانی میکروپلاستیک براساس اندازه‌های آن‌ها در ایستگاه‌های مختلف در جدول ۲ نشان داده شده است. محدوده اندازه ۰/۵-۱ میلی متر (۴۶/۵۱ درصد) در رسوبات سطحی و عمقی دارای بیش‌ترین فراوانی بودند (جدول ۲).

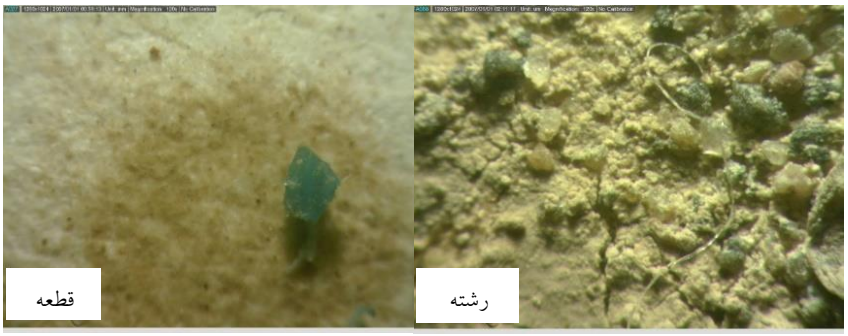
جدول ۲- فراوانی میکروپلاستیک‌ها در رسوبات بر اساس اندازه بر حسب میلی‌متر.

ایستگاه	اندازه میکروپلاستیک										
	سطحی	کم‌تر از ۰/۵	۰/۵-۱	۱-۳	۳-۵	میانگین	عمقی	کم‌تر از ۰/۵	۰/۵-۱	۱-۳	۳-۵	میانگین
مصب	۵	۱	۱	۲	۱	۱/۷	۴	۱	۲	۱	۰	۱/۰۷
مسکونی	۸	۲	۴	۱	۱	۱/۷۵	۸	۱	۴	۲	۱	۱/۶۹
کشاورزی	۹	۲	۳	۲	۲	۲/۰۵	۷	۲	۴	۰	۱	۰/۹۶
توریستی	۱۱	۱	۵	۱	۴	۲/۲۱	۱۰	۳	۵	۲	۰	۰/۸۵
آلودگی فاضلابی	۱۲	۲	۶	۲	۲	۱/۸۳	۱۲	۲	۶	۳	۱	۱/۳۳
کل	۴۵	۸	۱۹	۸	۱۰	۱/۹۴	۴۱	۹	۲۱	۸	۳	۱/۲۰

فراوانی میکروپلاستیک‌ها بر اساس شکل: فراوانی میکروپلاستیک براساس شکل در رسوبات مورد بررسی در جدول ۳ نشان داده شده است. بیش‌ترین فراوانی از نظر شکلی در سوبات سطحی و عمقی متعلق به به فیبرها (۶۳/۹۵ درصد) بود. شکل ۳ شکل میکروپلاستیک‌ها در بستر استریومیکروسکوب نشان می‌دهد.

جدول ۳- فراوانی میکروپلاستیک‌ها در رسوبات بر اساس شکل.

ایستگاه	نوع میکروپلاستیک						
	سطحی	قطعه	فیبر	گلوله	عمقی	قطعه	فیبر	گلوله
مصب	۵	۲	۳	۰	۴	۱	۳	۰
مسکونی	۸	۲	۵	۱	۸	۲	۴	۲
کشاورزی	۹	۱	۶	۲	۷	۱	۶	۰
توریستی	۱۱	۳	۸	۰	۱۰	۴	۶	۰
آلودگی فاضلابی	۱۲	۴	۷	۱	۱۲	۴	۷	۱
کل (درصد)	۴۵	۱۲ (۲۶/۷)	۲۹ (۶۴/۴)	۴ (۸/۹)	۴۱	۱۲ (۲۹/۳)	۲۶ (۶۳/۴)	۳ (۷/۳)



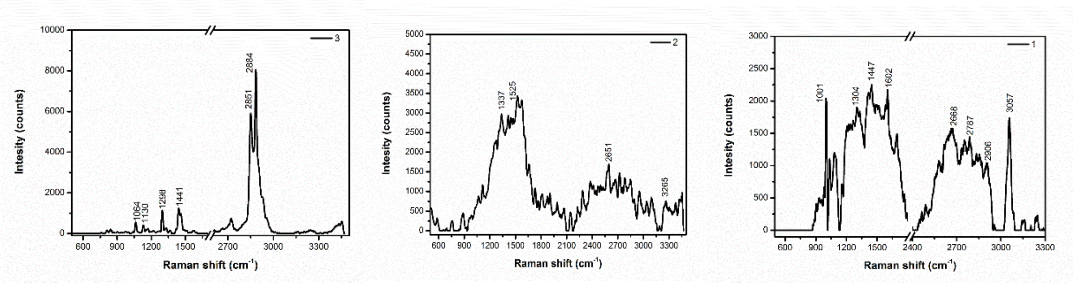
شکل ۳- شکل میکروپلاستیک‌های رسوبات با استریومیکروسکوپ.

فراوانی میکروپلاستیک‌ها بر اساس رنگ: فراوانی میکروپلاستیک براساس رنگ در رسوبات مورد بررسی در جدول ۴ نشان داده شده است. بیش‌ترین فراوانی از نظر نوع رنگ متعلق به رنگ مشکی (۳۷/۲۰ درصد) بود.

جدول ۴- فراوانی میکروپلاستیک‌ها در رسوبات بر اساس رنگ.

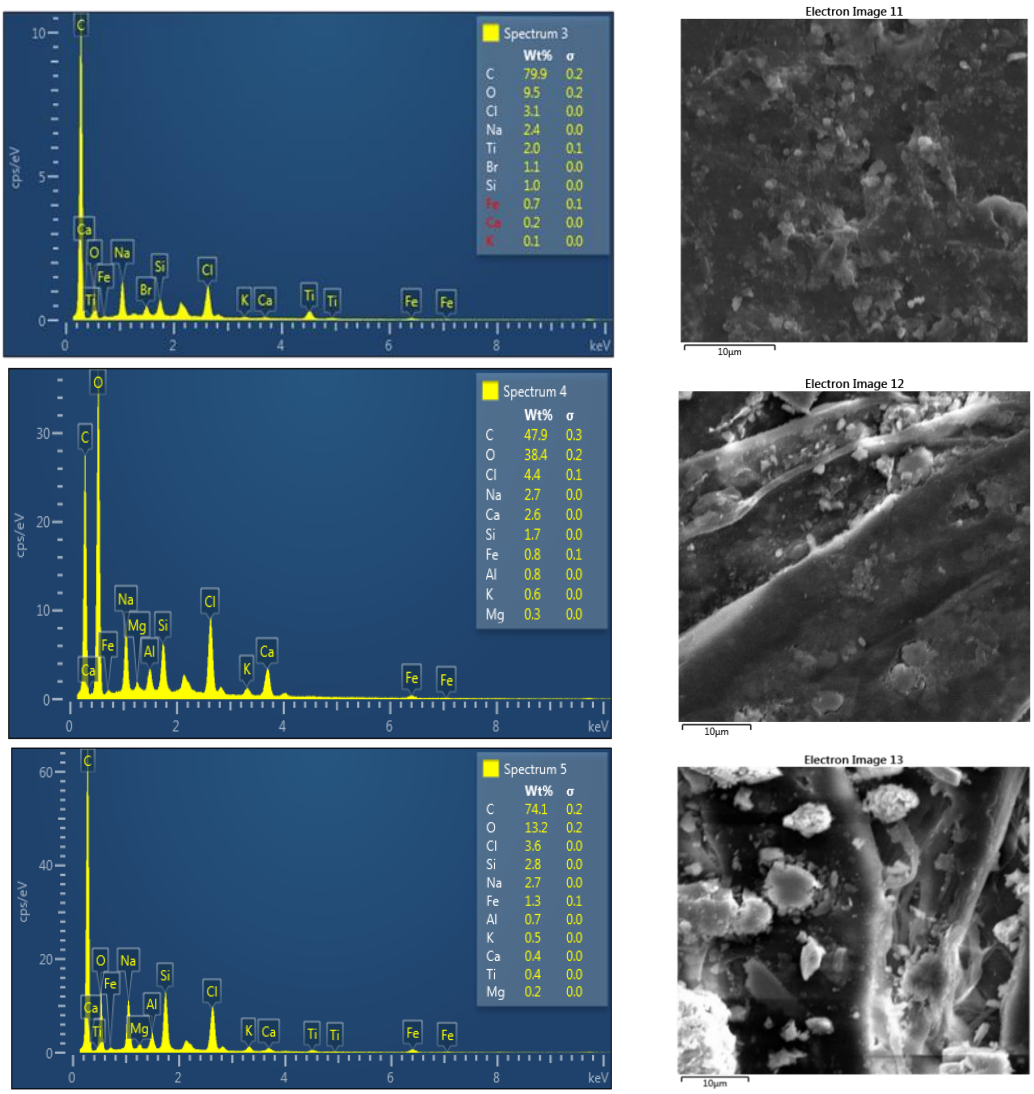
ایستگاه	رنگ میکروپلاستیک										
	سطحی	سبز	قرمز	مشکی	سفید	آبی	عمقی	سبز	قرمز	مشکی	سفید	آبی
مصب	۵	۲	۰	۲	۰	۱	۴	۲	۱	۱	۰	۰
مسکونی	۸	۱	۴	۲	۰	۱	۸	۲	۱	۴	۰	۱
کشاورزی	۹	۰	۲	۱	۳	۳	۷	۲	۱	۳	۱	۰
توریستی	۱۱	۲	۲	۱	۱	۵	۱۰	۲	۱	۵	۱	۱
آلودگی فاضلابی	۱۲	۱	۲	۶	۲	۱	۱۲	۲	۱	۷	۱	۱
کل	۴۵	۶	۱۰	۱۲	۶	۱۱	۴۱	۱۰	۵	۲۰	۳	۳
(درصد)		۱۳/۳	۲۲/۲	۲۶/۷	۱۳/۳	۲۴/۴		۲۴/۴	۱۲/۲	۴۸/۸	۷/۳	**۷/۳**

شناسایی پلیمر: شکل ۴ آنالیز مربوط به طیف‌سنجی رامان را نشان می‌دهد. که طی این آنالیز سه پلیمر پلی‌استایرن، پلی اتیلن و نایلون شناسایی شدند.



شکل ۴- طیف رامان مربوط به سه نمونه میکروپلاستیک (از سمت راست: پلی‌استایرن، پلی‌اتیلن و نایلون).

آنالیز EDS-FESEM: تجزیه و تحلیل EDS نشان داد که بیش‌تر میکروپلاستیک‌ها حاوی عناصر C، O، Si، N، Na، Cl و Ca بودند، که از نمونه‌های پلاستیکی انتظار می‌رود؛ چرا که پلاستیک‌ها از مواد آلی تشکیل شده‌اند و ممکن است این عناصر را در خود داشته باشند. عناصر دیگری که شناسایی شدند، احتمالاً به ذرات پلاستیکی جذب شده بودند. پلاستیک‌های با سطح صاف توان چسبندگی ضعیفی دارند، در حالی‌که تعدادی دیگر با آسیب‌های جدی توان چسبندگی قوی‌تری داشتند (۱۶). تحلیل EDS نشان می‌دهد که برخی از عناصر حمل شده توسط میکروپلاستیک‌ها به‌طور ذاتی مربوط به پلاستیک‌ها نبوده و میکروپلاستیک‌ها به‌علت توانایی جذب عناصر فلزی (نیکل، آهن، کادمیوم، آلومنیوم و تیتانیوم و ...) تهدیدی برای محیط‌های ساحلی ایجاد می‌کنند (شکل ۵).



شکل ۵- آنالیز FESEM-EDS مربوط به سه نمونه میکروپلاستیک.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت رودخانه‌ها، مطالعات اخیر در مورد محیط های دریایی به آب‌های داخلی و رودخانه‌های مهم کشور با کاربری مسکونی، گردشگری و کشاورزی متمرکز شده‌اند (۱۷، ۱۸، ۱۹). در این مطالعه در تمام ایستگاه‌های مورد بررسی ذرات میکروپلاستیک مشاهده شد که نشان دهنده پراکندگی آن‌ها در رسوبات رودخانه سفیدرود است. وجود پلی‌مرهای از جنس پلی‌استایرین، پلی‌اتیلن و نایلون که بیش‌تر در صنایع بسته‌بندی و لوازم آرایشی، پارچه‌ها، طناب‌ها و تورهای ماهی‌گیری استفاده می‌شوند نشان می‌دهد که فعالیت‌های انسانی از جمله رهاسازی فاضلاب‌های شهری، ریختن زباله توسط گردشگران در ساحل رودخانه و استفاده از تور ماهیگیری صیادی، نقش مهمی در آلودگی میکروپلاستیکی این منطقه دارند. به‌طورکلی، حضور و توزیع میکروپلاستیک‌ها در سیستم‌های رودخانه‌ای نسبتاً پیچیده است و به توزیع منابع و آلاینده‌ها و هم‌چنین به دینامیک‌های رودخانه‌ای، مانند فصلی بودن و وقوع سیلاب‌ها بستگی دارد (۵).

در مطالعه حاضر از ۳۰ نمونه رسوب سطحی و عمقی مورد بررسی ۸۶ ذره میکروپلاستیک در ۱۰۰ گرم رسوب خشک شناسایی شد که بیانگر آلودگی میکروپلاستیکی رودخانه سفیدرود است. بیش‌ترین آلودگی در ایستگاه ورودی فاضلاب (۲۷/۹۰ درصد) در شهر آستانه اشرفیه ثبت شد که فضای مسکونی و شهری دارد. ایستگاه گردشگری (۲۴/۴۱ درصد) نیز در جایگاه دوم آلودگی قرار داشت. ورود فاضلاب‌های شهری و صنعتی حاوی ترکیبات پلاستیکی، دلیل اصلی آلودگی بیش‌تر ایستگاه فاضلاب نسبت به سایر ایستگاه‌ها می‌تواند باشد و ایستگاه گردشگری که در کنار یک پارک ساحلی انتخاب شده بود نیز به‌دلیل تراکم جمعیت گردشگران و استفاده از کیسه، بطری پلاستیکی و نبود مدیریت درست زباله دارای آلودگی بیش‌تری نسبت به سه ایستگاه دیگر بود. هم‌چنین مصب رودخانه از آلودگی کم‌تری نسبت به دیگر ایستگاه‌ها برخوردار بود. آلودگی کم این ایستگاه را می‌توان مربوط به تراکم کم جمعیت، دسترسی سخت و نداشتن رسوبات گلی دانست. رسوبات گلی، کم‌انرژی‌تر هستند و محیط‌های مناسب‌تری برای انباشت پلاستیک‌ها محسوب می‌شوند (۲۰). در این بررسی مطابق بررسی‌های انجام شده (۱۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳) ذرات به شکل فیبر (۶۳/۹۵ درصد) با رنگ مشکی (۳۷/۲۰ درصد) هم در رسوبات سطحی و هم در رسوبات عمقی دارای بیش‌ترین فراوانی بودند. محدوده ۰/۵-۱ میلی‌متر (۴۶/۵۱ درصد) در رسوبات عمقی و سطحی دارای بیش‌ترین فراوانی بودند. اندازه کوچک میکروپلاستیک‌ها به‌دلیل تأثیر بالقوه آن‌ها بر موجودات زنده از اهمیت خاصی برخوردار است. چنین میکروپلاستیک‌های کوچکی جدی‌ترین تهدیدات بالقوه را هم برای موجودات آبزی و هم برای اکوسیستم ایجاد می‌کنند و توسط طیف وسیعی از گونه‌های زیستی از تک‌سلولی تا پستاندار دریایی بلعیده می‌شوند و خطر مسمومیت ناشی از پلاستیک‌ها در نهایت به انسان می‌رسد (۲۰).

زباله‌های پلاستیکی، به‌ویژه میکروپلاستیک‌ها با سطح نسبتاً وسیع نسبت به حجم، در معرض آلودگی با برخی از آلاینده‌های موجود در آب از جمله فلزات آبی قرار دارند، میکروپلاستیک می‌تواند به‌عنوان ناقل مهم سایر آلاینده‌ها مانند بسیاری از آلاینده‌های آلی و فلزات سنگین عمل کنند. در واقع هرچه اندازه ذرات میکروپلاستیک کوچک‌تر باشد، سطح ویژه آن‌ها افزایش یافته و در نتیجه قدرت جذب بیش‌تری خواهند داشت (۱۸). در مطالعه حاضر و مطالعات مشابه (۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۷) برای جدایش از نمک NaCl (چگالی ۱/۲ گرم بر سانتی‌مترمکعب) که دارای کاربرد ایمن و قیمت پایین است، استفاده شد که نسبت به چگالی برخی میکروپلاستیک‌ها کم‌تر است و احتمال می‌رود که قطعات میکروپلاستیک به‌طور کامل از نمونه‌های رسوب در این مطالعات جدا نشده باشند. در حالی‌که در مطالعاتی که از محلول ۱/۶ گرم بر سانتی‌مترمکعب استفاده کرده‌اند؛ تعداد میکروپلاستیک‌های گزارش شده بیش‌تر قابل اعتماد است. نتایج این پژوهش، حضور ذرات میکروپلاستیک را در رسوبات تأیید نمود. رسوبات رودخانه به‌عنوان یک مخزن برای تجمع پلاستیک عمل می‌کند. هم‌چنین ایستگاه‌هایی که فعالیت انسانی بیش‌تری داشتند؛ آلودگی بیش‌تری نیز داشتند. به‌طورکلی 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 پژوهش‌های بیش‌تر دارد. بیش‌تر میکروپلاستیک‌های اقیانوسی منشاء خشکی دارند. توجه به وجود میکروپلاستیک آب شیرین اهمیت زیادی دارد زیرا اکوسیستم‌های آب شیرین نقش

مهمی در حمل و نقل میکروپلاستیک‌ها به دریا ایفا می‌کنند. بنابراین بررسی مکانی و ویژگی‌های این آلوده‌کننده‌ها در مناطق آب شیرین ضروری است.

در مطالعه حاضر، وجود ذرات میکروپلاستیک در رسوبات رودخانه سفیدرود در تمام ایستگاه‌ها مشاهده شد. بر این اساس پایش دوره‌ای میکروپلاستیک‌ها در آب، رسوبات و آبزیان رودخانه سفیدرود که به‌عنوان مهم‌ترین رودخانه بزرگ متصل به دریای خزر در سواحل ایران و نیز مدیریت پسماندها و فاضلاب‌های ورودی به این رودخانه می‌تواند کمک شایانی در کنترل آلودگی آن داشته باشد.

منابع

1. Ribic, C. A., Sheavly, S. B., Rugg, D. J., & Erdmann, E. S. (2010). Trends and drivers of marine debris on the Atlantic coast of the United States 1997–2007. *Marine pollution bulletin*, 60 (8), 1231-1242.
2. Jiang, Y., Yang, F., Kazmi, S. S. U. H., Zhao, Y., Chen, M., & Wang, J. (2022). A review of microplastic pollution in seawater, sediments and organisms of the Chinese coastal and marginal seas. *Chemosphere*, 286, 131677.
3. Frias, J. P., & Nash, R. (2019). Microplastics: Finding a consensus on the definition. *Marine pollution bulletin*, 138, 145-147.
4. Bahri, A., Ghaemi, H., Abdolahi, A., & Doaie, M. M. (2018). The harmful impacts of microplastics in the marine environment-A review. *Environment and Water Engineering*, 4 (1), 72-83.
5. Laermanns, H., Reifferscheid, G., Kruse, J., Földi, C., Dierkes, G., Schaefer, D., ... & Stock, F. (2021). Microplastic in Water and Sediments at the Confluence of the Elbe and Mulde Rivers in Germany. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 590.
6. Bonyadi, Z., Maghsodian, Z., Zahmatkesh, M., Nasiriara, J., & Ramavandi, B. (2022). Investigation of microplastic pollution in Torghabeh River sediments, northeast of Iran. *Journal of Contaminant Hydrology*, 250, 104064.
7. Teuten, E. L., Saquing, J. M., Knappe, D. R., Barlaz, M. A., Jonsson, S., Björn, A., ... & Takada, H. (2009). Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences*, 364 (1526), 2027-2045.
8. Simon, N., & Schulte, M. L. (2017). *Stopping global plastic pollution: the case for an international convention.* Paper presented at the Stopping global plastic pollution: the case for an international convention: Simon, Nils uSchulte, Maro Luisa.
9. Kiyani, V., & Feghhi, J. (2015). Investigation of cover/land use structure of sefidrod watershed by landscape ecology metrics. *Journal of Environmental Science and Technology*, 17 (2), 131-141.
10. Bagheri, T., Gholizadeh, M., Abarghouei, S., Zakeri, M., Hedayati, A., Rabaniha, M., ... & Hafezieh, M. (2020). Microplastics distribution, abundance and composition in sediment, fishes and benthic organisms of the Gorgan Bay, Caspian sea. *Chemosphere*, 257, 127201.
11. Coppock, R. L., Cole, M., Lindeque, P. K., Queirós, A. M., & Galloway, T. S. (2017). A small-scale, portable method for extracting microplastics from marine sediments. *Environmental Pollution*, 230, 829-837.
12. Sharifi Kiasari, F., Talaeian, M., & Nasrollahzadeh Saravi, H. (2020). Study on The Presence of Microplastics in the Surface Sediments of the Caspian coast (A case study of Farahabad coast in Sari). *Journal of Environmental Science Studies*, 5 (2), 2644-2650.
13. Ghattavi, K., Naji, A., & Kord, S. (2019). Investigation of microplastic contamination in the gastrointestinal tract of some species of caught fish from

Oman sea. *Iranian Journal of Health and Environment*, 12 (1):141-50.
14. De Witte, B., Devriese, L., Bekaert, K., Hoffman, S., Vandermeersch, G., Cooreman, K., & Robbens, J. (2014). Quality assessment of the blue mussel (Mytilus edulis): Comparison between commercial and wild types. *Marine pollution bulletin*, 85 (1), 146-155.
15. Hosseini, R., Sayadi, M. H., Aazami, J., & Savabieasfehani, M. (2020). Accumulation and distribution of microplastics in the sediment and coastal water samples of Chabahar Bay in the Oman Sea, Iran. *Marine pollution bulletin*, 160, 111682.
16. Liu, S., Jian, M., Zhou, L., & Li, W. (2019). Distribution and characteristics of microplastics in the sediments of Poyang Lake, China. *Water Science and Technology*, 79 (10), 1868-1877.
17. Yeganeh Far, M., Shakeri, A., Rastegari Mehr, M., & 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.
18. Behmanesh, M., Chamani, A., & Chavoshi, E. (2022). Occurrence, Abundance and Characteristics of Microplastics in the Sediments of the Zayandeh-Rud River. *Environment and Interdisciplinary Development*, 7 (76), 74-89.
19. Masoudi, E., Hedayati, A., Bagheri, T., Salati, A., Safari, R., Gholizadeh, M., & Zakeri, M. (2022). Microplastic contamination in fishes of Gharasoo River basin, Golestan Province. *Aquaculture Sciences*, 9 (2), 108-115.
20. Akhbarizadeh, R., Nabipour, I., & Dobaradaran, S. (2022). Microplastics in the Persian Gulf. *ISMJ*, 25 (2), 179-197.
21. Nematollahi, M. J., Moore, F., Keshavarzi, B., Vogt, R. D., Saravi, H. N., & Busquets, R. (2020). Microplastic particles in sediments and waters, south of Caspian Sea: frequency, distribution, characteristics, and chemical composition. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 206, 111137.
22. Gholizadeh, M., & Cera, A. (2022). Microplastic contamination in the sediments of Qarasu estuary in Gorgan Bay, south-east of Caspian Sea, Iran. *Science of The Total Environment*, 838, 155913.
23. Ghanbari, N., Fataei, E., Naji, A., Imani, A. A., & Nasehi, F. (2022). Microplastic pollution in sediments in the urban section of the Qara Su River, Iran. *Applied Water Science*, 12 (8), 192.
24. Tsang, Y. Y., Mak, C. W., Liebich, C., Lam, S. W., Sze, E. T., & Chan, K. M. (2017). Microplastic pollution in the marine waters and sediments of Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin*, 115 (1-2), 20-28.
25. Aliabad, M. K., Nassiri, M., & Kor, K. (2019). Microplastics in the surface seawaters of Chabahar Bay, Gulf of Oman (Makran coasts). *Marine pollution bulletin*, 143, 125-133.
26. Edo, C., González-Pleiter, M., Leganés, F., Fernández-Piñas, F., & Rosal, R. (2020). Fate of microplastics in wastewater treatment plants and their environmental dispersion with effluent and sludge. *Environmental Pollution*, 259, 113837.
27. Egessa, R., Nankabirwa, A., Ocaya, H., & Pabire, W. G. (2020). Microplastic pollution in surface water of Lake Victoria. *Science of the Total Environment*, 741, 140201.