

Investigation on Microplastics occurrence in sediments of coastal areas of the Caspian Sea, Mazandaran province (study areas: Babolsar and Sari Coastline)

Mohammad Gholizadeh^{*1}, Tahereh Bagheri², Mohammad Harsij³,
Durali Danabas⁴, Mohammad Zakeri⁵

1. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Fisheries, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran. E-mail: gholizade_mohammad@yahoo.com
2. Offshore Water Research Center, Iranian Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Chabahar, Iran. E-mail: bagheri1360@gmail.com
3. Associate Prof., Dept. of Fisheries, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran. E-mail: m_harsij80@yahoo.com
4. Dept. of Aquaculture, Faculty of Fisheries, Munzur University, TR62000, Tunceli, Turkey. E-mail: dalid07@gmail.com
5. Dept. of Fisheries, Faculty of Marine Science and Technology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran. E-mail: mohammad.zakeri@hotmail.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 07.25.2023
Revised: 08.01.2023
Accepted: 08.07.2023

Keywords:
ATR-FTIR,
Caspian Sea,
Microplastic pollution,
Sediment

ABSTRACT

This study examines the characteristic of microplastics (MPs) in sediments collected was conducted to examine from the coastal areas of the southern Caspian Sea, Mazandaran province (Babolsar and Sari cities). Twelve sites for sediment sampling selected during 2022. MPs identification detected primarily under stereomicroscope and then ascertains and discovers their polymer composition by ATR-FTIR. The results showed that Babolsar areas, with 5 meters far from the shoreline, had the most abundance (660 ± 165.15 items/Kg). On the other hand, Sari station with 500 meters far from the shoreline contained the least MPs (220 ± 81.33). Average number of detected MPs in all samples was 406.66 ± 161.33 . Fibers (80.33%) were the most abundant MPs, whereas films (3.28%) detected the least. In the case of size, the range of 1000-3000 μm showed the most abundant MPs (39.34%) and MPs less than 2 μm the least ones (4.10%). Gray and black (50.82%) was the dominant color and yellow (3.28%) was rarely detected color (3.28%). Polymer constituent of examined MPs includes: (PET: 30%); (PS: 20%); (PA: 20%); and (PP: 15%). The findings of this study revealed that MPs occurrence in coastal sediments derived from several sources; including tourism as well as wastewaters and packaging. These activities cause entering plastic litters along the coastal areas and their degradation accelerated t MPs distribution.

Cite this article: Gholizadeh, Mohammad, Bagheri, Tahereh, Harsij, Mohammad, Danabas, Durali, Zakeri, Mohammad. 2024. Investigation on Microplastics occurrence in sediments of coastal areas of the Caspian Sea, Mazandaran province (study areas: Babolsar and Sari Coastline). *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*, 13 (2), 143-156.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/japu.2023.21602.1804

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

بررسی آلودگی میکروپلاستیک در رسوبات سواحل دریای خزر (منطقه مورد مطالعه، سواحل استان مازندران: ساری و بابلسر)

محمد قلی‌زاده^{۱*}، طاهره باقری^۲، محمد هرسیج^۳، دورعلی داناباس^۴، محمد ذاکری^۵

۱. نویسنده مسئول، دانشیار گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران. رایانامه: gholizade_mohammad@yahoo.com
۲. مرکز تحقیقات آب‌های دریایی، پژوهشکده علوم شیلاتی ایران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، چابهار، ایران. رایانامه: bagheri1360@gmail.com
۳. دانشیار گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران. رایانامه: m_harsij80@yahoo.com
۴. گروه آبی‌پروری، دانشکده شیلات، دانشگاه Munzur، TR62000، Tunceli، ترکیه. رایانامه: dalid07@gmail.com
۵. گروه شیلات، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران. رایانامه: mohammad.zakeri@hotmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	این مطالعه به بررسی اندازه، نوع و منابع میکروپلاستیک (MPs) در رسوبات سطحی ساحلی و دریا جمع‌آوری شده از منطقه ساحلی جنوب دریای خزر، استان مازندران شهرهای ساری و بابلسر می‌پردازد. در مجموع ۱۲ نمونه رسوب در سال ۱۴۰۱ برای شناسایی MP با استفاده از استریومیکروسکوپ مورد مطالعه قرار گرفت. ترکیبات پلیمری آن‌ها با استفاده از طیف‌سنج مادون‌قرمز تبدیل فوریه بازتاب کل ضعیف (ATR-FTIR) مشخص شد. نتایج نشان داد که بابلسر، فاصله ۵ متر از ساحل با $165/15 \pm 660$ قطعه در یک کیلوگرم از رسوبات خشک بیش‌ترین فراوانی میکروپلاستیک و ایستگاه ساری، فاصله ۵۰۰ متر با $81/33 \pm 220$ قطعه در کیلوگرم کم‌ترین فراوانی را داشت. میانگین میکروپلاستیک‌های مشاهده شده در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه $161/33 \pm 406/66$ بود. بیش‌ترین فراوانی را میکروپلاستیک‌های رشته‌ای (۸۰/۳۳ درصد) و کم‌ترین فراوانی را فیلم‌ها (۳/۲۸ درصد) داشتند. نتایج نشان داد که گروه ۱۰۰۰-۳۰۰۰ میکرومتر با $39/34$ درصد بیش‌ترین فراوانی را داشتند، در حالی که گروه <200 با $4/10$ درصد کم‌ترین فراوانی را داشتند. رنگ‌های سیاه- طوسی با $50/82$ درصد بیش‌ترین و رنگ زرد با $3/28$ درصد کم‌ترین فراوانی را داشتند. ترکیب پلیمری میکروپلاستیک‌ها عمدتاً پلی‌اتیلن ترفتالات (PET، ۳۰ درصد)، پلی‌استایرن (PS، ۲۰ درصد)، پلی‌آمید (PA، ۲۰ درصد) و پلی‌پروپیلن (PP، ۱۵ درصد)
واژه‌های کلیدی: آلودگی میکروپلاستیک، دریای خزر، رسوب، ATR-FTIR	

است. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که میکروپلاستیک در رسوبات ساحلی منبع پیچیده‌ای دارد که بیش‌تر از توریسم، فاضلاب و بسته‌بندی مشتق شده است.

استناد: قلی‌زاده، محمد، باقری، طاهره، هرسیچ، محمد، داناباس، دورعلی، ذاکری، محمد (۱۴۰۳). بررسی آلودگی میکروپلاستیک در رسوبات سواحل دریای خزر (منطقه مورد مطالعه، سواحل استان مازندران: ساری و بابلسر). نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان، ۱۳ (۲)، ۱۵۶-۱۴۳.

DOI: 10.22069/japu.2023.21602.1804



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

پلاستیک‌ها مواد مصنوعی هستند که تولید آن‌ها در قرن گذشته به دلیل تطبیق‌پذیری بالا برای مصارف خانگی و صنعتی افزایش چشم‌گیری داشته است (۱). در واقع، محصولات پلاستیکی دارای چندین ویژگی مثبت هستند، مانند دوام بسیار زیاد و تغییر شکل در اثر گرما، علاوه بر این، افزودنی‌ها در پلاستیک‌ها می‌توانند خواص آن‌ها را برای استفاده‌های اختصاصی تغییر دهند. با این حال، افزایش تولید پلاستیک نیز منجر به پراکندگی فزاینده زباله‌های پلاستیکی مدیریت نشده در محیط شده است (۲). پلاستیک‌ها به آرامی تجزیه شده؛ در محیط انباشته می‌شوند و اکوسیستم‌های زمینی و آبی را آلوده می‌کنند (۳). از دهه ۷۰، زمانی که گزارش‌های مربوط به آلودگی پلاستیکی دریاها و اقیانوس‌ها آغاز شد، مورد توجه جامعه علمی قرار گرفت و از آن زمان پژوهش‌ها در این زمینه افزایش یافته است (۴). پلاستیک‌ها در محیط دریایی به دلیل تأثیرات منفی متعدد بر عملکرد، اکوسیستم، جامعه و اقتصاد تأثیر می‌گذارند (۵). هزینه تخمین یک تن پلاستیک آلوده‌کننده اکوسیستم‌های دریایی ۳۳۰۰-۳۳۰۰۰ دلار در سال است (۶). با در نظر گرفتن این‌که ورودی پلاستیک از خشکی به اقیانوس‌های جهان بین ۴/۸ تا ۱۲/۷ میلیون تن است؛ پیش‌بینی می‌شود در سال‌های آینده تحت یک سناریوی معمولی افزایش یابد (۷)، کلیت اقتصادی تأثیر آلودگی پلاستیک به سطوح قابل توجهی خواهد رسید.

هنگامی که پلاستیک‌ها در محیط پراکنده می‌شوند، در معرض فعالیت موجودات زیستی و عوامل برون‌زا مانند تابش خورشیدی، باد و امواج قرار می‌گیرند؛ تخریب را از طریق محرک‌های حرارتی، فتو اکسیداتیو و مکانیکی تسریع می‌کنند (۸). تجزیه اقلام پلاستیکی باعث تولید میکروپلاستیک‌ها (پلاستیک‌های کم‌تر از

۵ میلی‌متر) می‌شود که در خاک، آب‌وهوا گسترده هستند (۹). میکروپلاستیک‌ها اثرات منفی فیزیکی و سم‌شناسی زیستی بر موجودات، ناشی از خود آن‌ها یا مواد شیمیایی منتقل شده توسط آن‌ها ایجاد می‌شود. مورد دوم هم شامل افزودنی‌های معرفی شده در طول تولید پلاستیک و هم فلزات سنگین و آلاینده‌هایی است که متعاقباً توسط میکروپلاستیک‌ها پراکنده در محیط جذب می‌شوند (۱۰). در میان اثرات منفی میکروپلاستیک‌ها بر موجودات، اثرات فرعی القاء شده در سطوح مولکولی، سلولی و سیستماتیک مشاهده شده است که تغییرات فرآیندهای فیزیولوژیکی را نشان می‌دهد (۱۱).

پلاستیک‌ها می‌توانند میکرو آلاینده‌های آلی پایدار را جذب کنند (۱۲). این نشان می‌دهد که ذرات میکروپلاستیک خورده شده توسط جانوران می‌توانند به‌عنوان منبع غذایی کاذب و یک حامل برای آلاینده‌ها به موجود عمل کنند. با این حال، آلاینده‌های جذب شده به ذرات میکروپلاستیک می‌توانند کم‌تر از آلاینده‌های محلول در دسترس زیستی باشند (۱۳). آلاینده‌های پایدار در نهایت در رسوبات دریایی ذخیره می‌شوند (۱۴) و به همین دلیل، از رسوبات برای ارزیابی وضعیت محیط استفاده می‌گردد (۱۵). توزیع مکانی آلاینده‌ها در رسوبات برای ارزیابی منابع سموم و مسیرهای پراکندگی آن‌ها استفاده می‌شود (۱۶).

پژوهش‌های قبلی ذرات میکروپلاستیک را در رسوبات ساحلی و یا آب‌های دریای خزر شناسایی کرده‌اند (۱۷، ۱۸، ۱۹) اما در مورد انتقال، توزیع و سرنوشت آن‌ها در آب‌های خط ساحلی و رسوبات سطح دریا اطلاعات کافی وجود ندارد. رودخانه‌های اصلی و لوله‌های تخلیه متعدد از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به دریای خزر به‌عنوان منبع اصلی ذرات میکروپلاستیک به محیط دریا فرض می‌شوند. علاوه بر این، طیف گسترده‌ای از فعالیت‌های تورسیم

منابع مختلف آلاینده از جمله توریسم، قایق‌های تفریحی و منطقه مسکونی) به نحوی انتخاب شد که بخش‌های ساحلی، ۵۰ متر و ۵۰۰ متر فاصله از ساحل را پوشش دهند. منطقه اول فرح‌آباد، ساری؛ با توجه به ورود فاضلاب صنعتی، و مواد زائد و پسماندهای جامد شهری و روستایی (زباله‌ها) به رودخانه تجن و نقش سیلاب‌ها به‌عنوان آلاینده طبیعی انتخاب شد. منطقه دوم در بابل‌سر بخش پارکینگ‌ها که متأثر از فعالیت توریسم و قایق‌های تفریحی و زباله‌های ساحلی بود، انتخاب گردید. مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده در شکل ۱ نشان داده شده است.

و قایق‌های ماهیگیری در این منطقه وجود دارند که می‌تواند منابع پراکنده قابل‌توجهی از ذرات میکروپلاستیک به دریای خزر را شامل شود. شوری آب دریا و چگالی مواد پلاستیکی بر شناوری آن اثر دارد. از این رو، پژوهش حاضر به دنبال ارائه بینشی در مورد نوع، توزیع و سرنوشت ذرات میکروپلاستیک و همچنین ارزیابی منابع آن‌ها در این محیط ساحلی است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و موقعیت نقاط نمونه‌برداری: نمونه‌برداری از رسوبات دریای خزر، ساحل شهرهای ساری و بابل‌سر، به‌منظور مطالعه حضور آلودگی میکروپلاستیک انجام پذیرفت. ایستگاه‌ها (با توجه به



شکل ۱- مشخصات ایستگاه‌های نمونه‌برداری در دریای خزر.

به‌مدت ۴۸ ساعت در آون ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا کاملاً خشک شوند (۲۰). برای جداسازی راحت‌تر ذرات، نمونه‌ها پس از خشک شدن با استفاده از الک با چشمه بزرگ‌تر از ۵ میلی‌متر غربال شدند. در مطالعه حاضر برای جداسازی میکروپلاستیک‌ها، از محلول کلرید سدیم

نمونه‌برداری از رسوبات بستر دریا در آبان ماه ۱۴۰۱ با استفاده از نمونه‌بردار گرب ون وین به کمک قایق موتوری از عمق ۱ تا ۵ متر انجام شد. حدود ۱۰۰۰ گرم از نمونه‌های رسوب در هر ایستگاه از نقاط مختلف جمع‌آوری شده و در یک ظرف غیرپلاستیکی، نگهداری و به آزمایشگاه منتقل شدند. رسوبات

پلیمر براساس فرکانس جذب برای انواع پیوند شیمیایی خاص موجود در نمونه‌های پلیمری مشخص می‌شود. برای شناسایی پلیمرها، میکروپلاستیک‌های با ریخت‌شناسی یکسان از ایستگاه ساری (به دلیل فراوانی بالاتر) بررسی شدند. نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نرمال بودن داده‌ها ($P=0/1$) را نشان داد که برای مقایسه فراوانی میکروپلاستیک ایستگاه‌ها از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه استفاده شد. برای ترسیم نمودارها از نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۹ استفاده شد.

نتایج و بحث

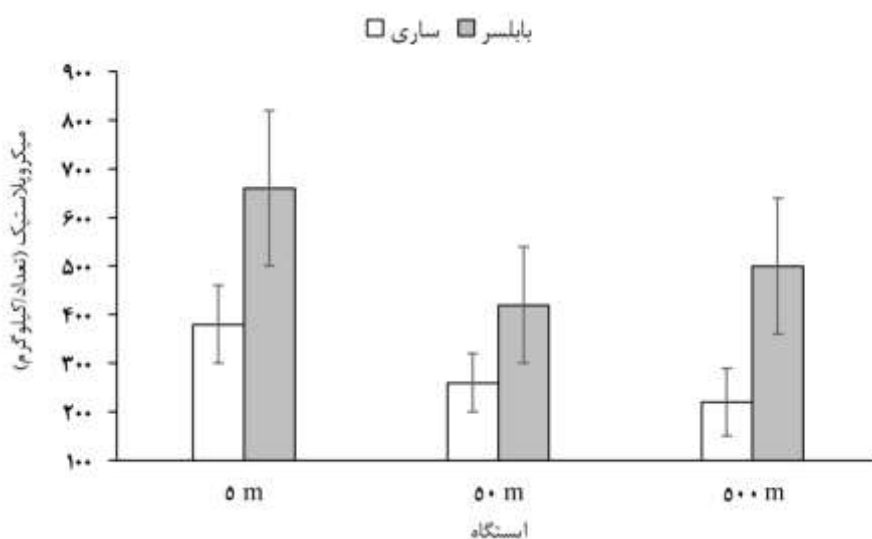
در مطالعه رسوبات سطحی در تمامی ایستگاه‌ها مورد مطالعه برای تعیین میزان آلودگی میکروپلاستیک، این آلاینده در تمام ایستگاه‌ها یافت شد. نتیجه آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه نشان داد بین ایستگاه‌های مورد مطالعه اختلاف معنی‌دار وجود دارد ($P \text{ value}=0/002$). نتایج نشان داد که بابلسر، فاصله ۵ متر از ساحل با $165/15 \pm 660$ قطعه در یک کیلوگرم از رسوبات خشک بیش‌ترین فراوانی میکروپلاستیک و ایستگاه ساری، فاصله ۵۰۰ متر با $81/33 \pm 220$ قطعه در کیلوگرم کم‌ترین فراوانی را داشت. میانگین میکروپلاستیک‌های مشاهده‌شده در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه $161/33 \pm 406/66$ بود. نتایج آزمون توکی نشان داد که بین میانگین فراوانی میکروپلاستیک‌ها در ایستگاه بابلسر با فاصله ۵ متر با تمامی ایستگاه‌های ساری اختلاف معنی‌دار وجود دارد ($P<0/05$). فراوانی میکروپلاستیک‌ها در ایستگاه‌های مورد نمونه‌برداری در شکل ۲ نشان داده‌شده است. اطلاعات اندکی در خصوص آلودگی میکروپلاستیک در دریای خزر وجود دارد. در مطالعات مشابه توسط متاجی و همکاران (۱۸) در

$g.cm^{-3}$ ۱/۲ استفاده شد (۲۱). ۱۰۰ گرم از رسوبات هر ایستگاه با استفاده از یک قاشق استیل ضدزنگ توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۱ گرم، وزن و داخل بشر یک لیتری ریخته شد؛ سپس ۸۰۰ میلی‌لیتر محلول اشباع‌شده کلرید سدیم افزوده و جهت شناورسازی میکروپلاستیک‌ها به مدت ۱۵-۱۰ دقیقه با استفاده از قاشق استیل کاملاً هم زده شد. پس از گذشت ۳۰ دقیقه که رسوبات، ته‌نشین شدند و شناورسازی انجام شد، مایع رویی آن با استفاده از قیف شیشه‌ای روی کاغذ صافی نیترو سلولزی ۵ میکرومتری فیلتر شدند (۲۲). مراحل فوق برای هر نمونه ۳ بار تکرار شد تا همه ذرات از رسوبات جدا شوند. برای هر ایستگاه سه نمونه ۱۰۰ گرمی مطابق با این روش شناورسازی و جداسازی شدند. در مرحله بعد کاغذ صافی در آن ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا نمونه‌ها کاملاً خشک شوند. در نهایت همه ذرات با استفاده از یک دستگاه استریومیکروسکوپ با بزرگنمایی ۴۰ بررسی و ذرات میکروپلاستیک با استفاده از یک پنس ریز از دیگر اجزا جدا و با استفاده از دوربین دیجیتال عکس‌برداری شدند. تعیین شکل و رنگ به کمک استریومیکروسکوپ Olympus و تعیین اندازه با استفاده از عکس‌های تهیه‌شده از نمونه‌ها با نرم‌افزار ImageJ (Java 8) انجام شد.

شناسایی پلیمری میکروپلاستیک‌ها به وسیله دستگاه طیف‌سنجی مادون‌قرمز تبدیل فوری (FTIR) مجهز به ATR، مدل نیکولت نکسوز ۴۷۰ ساخت شرکت ترمو نیکولت آمریکا، متصل به نرم‌افزار OMNIC، با سطح آنالیزور کریستال ZnSe انجام شد. طیف جذب FTIR در حدود ۶۴ اسکن و در محدوده مادون‌قرمز 14000 cm^{-1} و وضوح 4 cm^{-1} با استفاده از بروکر ورتکس ۷۰ اسپکترومتر انجام می‌گردد (Bruker, Billirica, MA, USA). نوع

باشد. ایستگاه ساری که در منطقه فرح‌آباد واقع بوده از نظر میکروپلاستیک ایستگاه آلوده بود، بار آلودگی را می‌توان ناشی از ورود آب رودخانه تجن، زباله‌های رهاشده توسط گردشگران در منطقه ساحلی و همچنین فعالیت‌های صید و صیادی دانست. با توجه به وجود مراکز اقامتی و تفریحی سازمان‌های مختلف و دیگر مراکز اقامتی در نزدیکی منطقه مورد اشاره که در طول سال پذیرای جمعیت زیادی از مسافران هستند، می‌توان سهم قابل توجهی از آلودگی مذکور را ناشی از گردشگری دانست. از طرفی میکروپلاستیک‌ها که به صورت مستقیم یا غیرمستقیم از طریق فاضلاب‌ها و رواناب‌ها به دریا وارد می‌شوند؛ در مناطقی با تراکم جمعیت بالا بیش‌تر مورد انتظار هستند (۲۴). فعالیت‌های حاصل از مناطق شهری از جمله فعالیت‌های صنعتی، انسانی، قایقرانی و ماهیگیری در منطقه ساحلی می‌توانند از عوامل عمده فراوانی بیش‌تر ذرات میکروپلاستیک در این ایستگاه باشند.

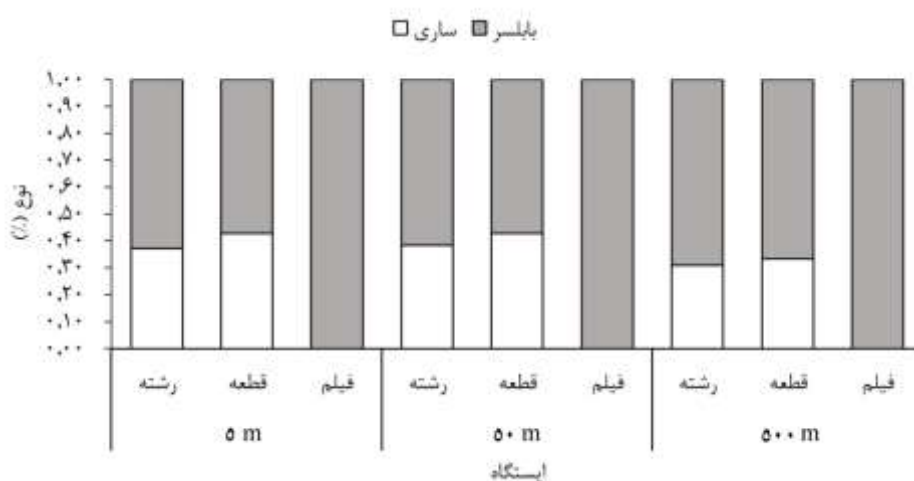
استان مازندران بر روی میکروپلاستیک‌های ساحل انجام شد، بیش‌ترین غلظت میکروپلاستیک‌ها با 116 ± 360 قطعه در کیلوگرم در ایستگاه نور بوده و کم‌ترین غلظت 12 ± 112 قطعه در کیلوگرم در ایستگاه محمودآباد و متوسط فراوانی میکروپلاستیک‌ها در آب‌های سطحی 34490 قطعه در کیلومتر مربع گزارش شده است. نتایج پژوهش‌های انجام شده توسط مهدی‌نیا و همکاران (۱۹) بر روی رسوبات ساحلی دریای خزر در استان مازندران نشان داد که غلظت میکروپلاستیک‌ها بین ۲۵ تا ۳۳۰ قطعه در کیلوگرم متغیر بود که در این بین ایستگاه رامسر بیش‌ترین و عباس‌آباد کم‌ترین فراوانی را داشتند. در مطالعه‌ای که در نوامبر ۲۰۱۵ در نواحی ساحلی هنگ‌کنگ انجام شد، میانگین فراوانی میکروپلاستیک‌ها در رسوبات ۴۹ تا ۲۷۹ قطعه در کیلوگرم و در آب‌های سطحی ۰/۵۱ تا ۲۷۹/۰۹ قطعه در مترمکعب گزارش شده است (۲۳). فعالیت‌های صیادی در مناطق نمونه‌برداری نیز می‌تواند از دلایل بالا بودن تراکم میکروپلاستیک‌ها



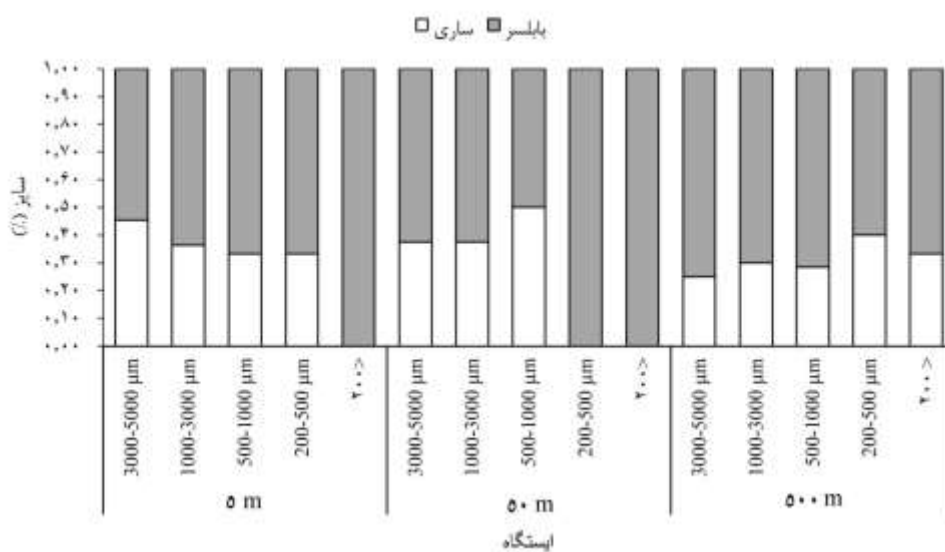
شکل ۲- میانگین فراوانی میکروپلاستیک‌ها در ایستگاه‌های نمونه‌برداری از ساری و بابلسر.

هم‌چنین، متاجی و همکاران (۱۸) بیان داشتند که بیش‌تر میکروپلاستیک‌های یافت‌شده در رسوبات ساحل مازندران در محدوده ۴/۷۵-۱ میلی‌متر قرار داشتند. در مطالعه دیگر برای نمونه‌های جمع‌آوری‌شده در سواحل بلژیک اندازه‌ای بین ۳۸ میکرومتر تا ۱ میلی‌متر گزارش شد (۲۶). سرنوشت و رفتار میکروپلاستیک‌ها به‌اندازه آن‌ها بستگی دارد؛ مثلاً سرعت غرق شدن و حرکت آن‌ها تحت‌تأثیر اندازه است (۲۷). از نظر رنگ، رنگ‌های سیاه-طوسی با ۵۰/۸۲ درصد بیش‌ترین و رنگ زرد با ۳/۲۸ درصد کم‌ترین فراوانی را داشتند. از رنگ میکروپلاستیک‌ها برای شناسایی اولیه ترکیب شیمیایی آن‌ها استفاده می‌شود (۲۸). شکل ۳، درصد اشکال مختلف میکروپلاستیک و شکل ۴ درصد فراوانی اندازه استخراج‌شده از رسوبات را نشان می‌دهد. در شکل ۵ نیز مقایسه میکروپلاستیک‌ها بر اساس رنگ ارائه‌شده است.

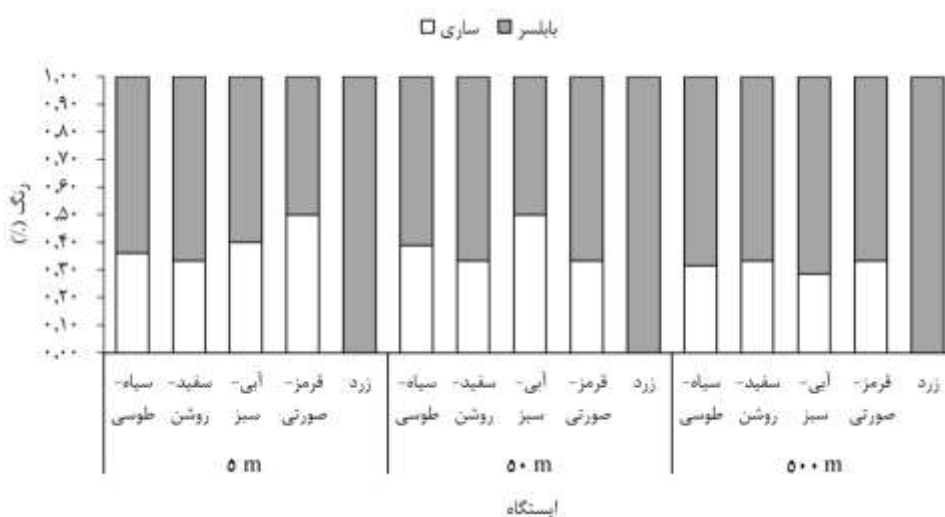
میکروپلاستیک‌های جمع‌آوری‌شده از منطقه ساحلی جنوب دریای خزر از نظر شکل به ۳ گروه، اندازه و رنگ به ۵ گروه طبقه‌بندی شدند. بیش‌ترین فراوانی را میکروپلاستیک‌های رشته‌ای (۸۰/۳۳ درصد) و کم‌ترین فراوانی به فیلم‌ها (۳/۲۸ درصد) تعلق داشتند. مطالعه انجام‌شده بر روی پراکندگی میکروپلاستیک‌ها در بدنه‌های آبی مختلف در چین نشان داد که میکروپلاستیک‌های رشته‌ای با حداکثر فراوانی ۸۸ درصد شکل غالب میکروپلاستیک‌های یافت‌شده را تشکیل داده است (۲۵)، که با مطالعه حاضر همخوانی دارد. هم‌چنین، از نظر اندازه به ۵ گروه <۲۰۰، ۲۰۰-۵۰۰، ۵۰۰-۱۰۰۰، ۱۰۰۰-۳۰۰۰ و ۳۰۰۰-۵۰۰۰ میکرومتر تقسیم شدند. نتایج این پژوهش نشان داد که گروه ۱۰۰۰-۳۰۰۰ میکرومتر با ۳۹/۳۴ درصد بیش‌ترین فراوانی را داشتند، درحالی‌که گروه <۲۰۰ با ۴/۱۰ درصد کم‌ترین فراوانی را داشتند. در بررسی انجام‌شده توسط مهدی‌نیا و همکاران (۱۹) گروه ۲۵۰-۵۰۰ میکرومتری بیش‌ترین فراوانی داشتند.



شکل ۳- درصد اشکال مختلف در میکروپلاستیک‌های مشاهداتی در نمونه‌های رسوبات از منطقه ساری و بابلسر.



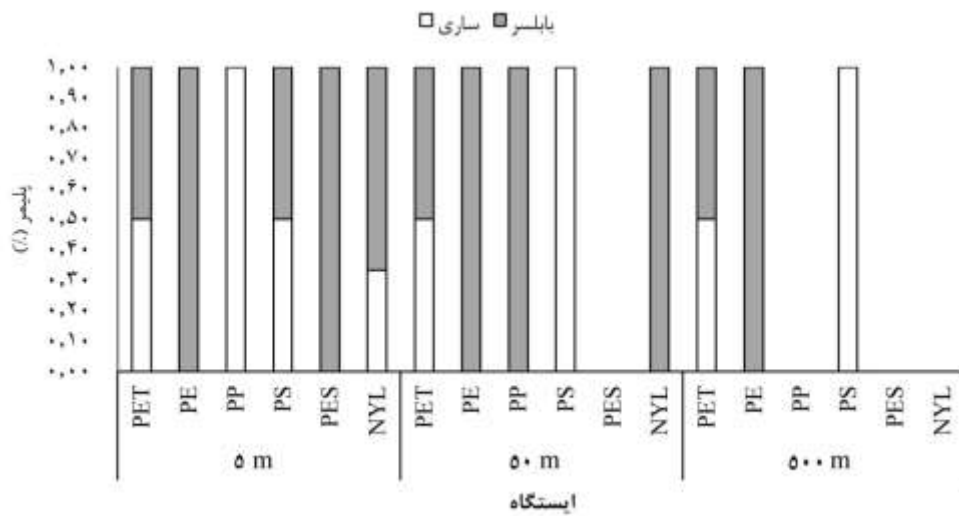
شکل ۴- مقایسه اندازه میکروپلاستیک‌های استخراج‌شده در نمونه‌های رسوب از منطقه ساری و بابلسر.



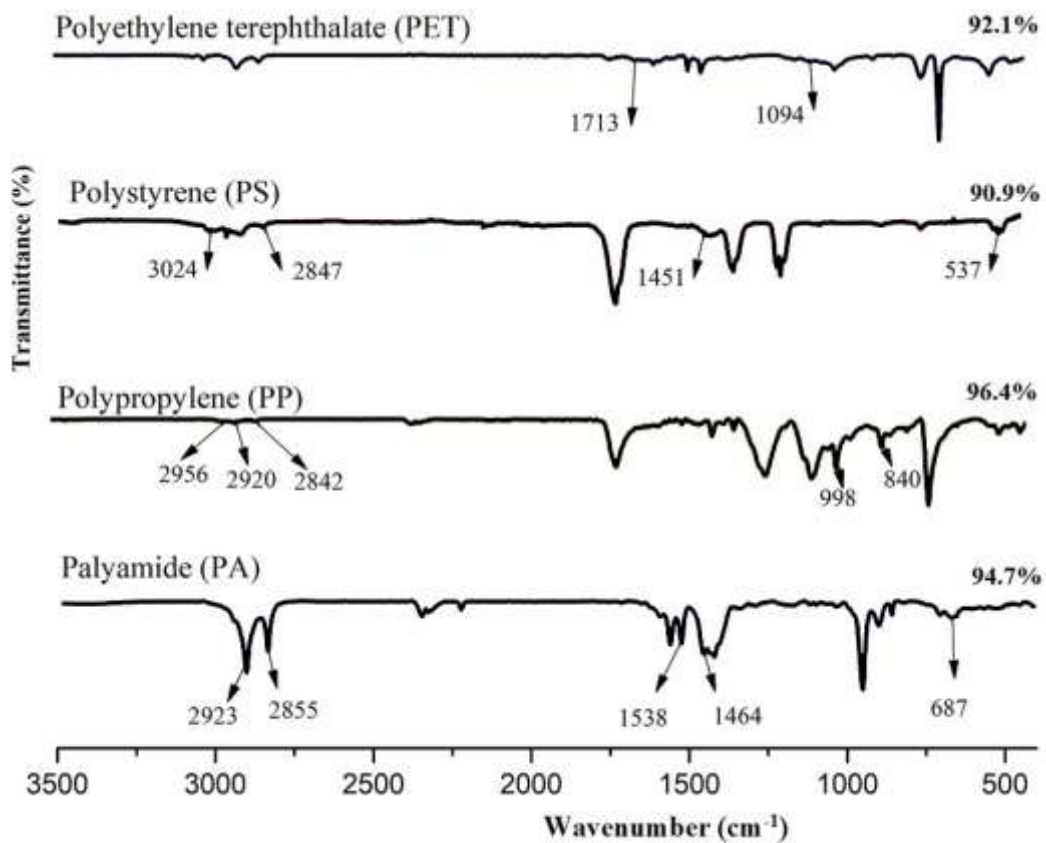
شکل ۵- درصد فراوانی رنگ میکروپلاستیک‌های استخراج‌شده در نمونه‌های رسوب از منطقه ساری و بابلسر.

درصد) است. شکل ۷ طیف‌سنجی ATR-FTIR از میکروپلاستیک‌ها جداسازی شده از رسوبات را نشان داد. برای مثال، در طیف FTIR، پیک پلی‌پروپیلن در پیک‌های $2956-2842 \text{ cm}^{-1}$ ، 998 cm^{-1} و 840 cm^{-1} به دست آمد.

درصد فراوانی پلیمرهای شناسایی شده از نمونه‌های رسوبات در شکل ۶ نشان داده شده است. ترکیب پلیمری میکروپلاستیک‌ها پلی‌اتیلن ترفتالات (PET، ۳۰ درصد)، پلی‌استایرن (PS، ۲۰ درصد)، پلی‌آمید (PA، ۲۰ درصد) و پلی‌پروپیلن (PP، ۱۵



شکل ۶- درصد فراوانی پلیمرهای شناسایی شده از نمونه‌های رسوبات.



شکل ۷- طیف‌سنجی ATR-FTIR از میکروپلاستیک‌های جداسازی شده از رسوبات.

الیاف تولید می‌کند (۴۴)، و ۵ کیلوگرم پارچه پلی‌استر می‌تواند ۶۰۰۰۰۰۰ میکروالیاف را آزاد کند (۴۵). با توجه به شکل، اندازه، رنگ و ترکیب میکروپلاستیک‌ها در ساحل مورد مطالعه از دریای خزر، نتیجه می‌گیریم که آلودگی میکروپلاستیک‌ها در رسوبات نقاط مورد مطالعه منبع پیچیده‌ای دارد که از صنایع، کشاورزی، توریسم و بسته‌بندی مشتق شده و از طریق رودخانه‌ها/ کانال‌های ورودی و باد توزیع می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

در دو ایستگاه مورد مطالعه رسوب بررسی شده، آلودگی میکروپلاستیک مشاهده گردید، که نشان‌دهنده آلودگی بالای میکروپلاستیک‌ها در سواحل دریای خزر است. پژوهش حاضر به‌عنوان بررسی پایه برای درک فراوانی و نوع آلودگی میکروپلاستیک‌های دریای خزر انجام شد. این مناطق به‌عنوان پناه دادن به گیاهان و جانوران ساحلی می‌تواند عمل کند. بنابراین، وقوع و فراوانی میکروپلاستیک‌ها در رسوبات ساحلی یکی از نگرانی‌های اصلی است که باید مورد توجه قرار گیرد. فراوانی قابل توجه میکروپلاستیک‌ها در رسوبات نه تنها بر سلامت جمعیت محلی تأثیر می‌گذارد، بلکه تأثیر فاجعه‌باری بر زندگی آبزیان خواهد داشت.

تشکر و قدردانی

این پروژه (کد طرح: ۹۹۰۱۶۷۳۸) با حمایت مالی مرکز مطالعات و همکاری‌های علمی بین‌المللی وزارت علوم تحقیقات و فناوری انجام شده است.

پلیمرها ۷۴ درصد از تولید پلاستیک جهانی را در سال ۲۰۱۵ به خود اختصاص دادند و عموماً در پلیمرهای چرخه عمر کوتاه استفاده می‌شوند (۲۹). ترتیب پنج پلیمر فراوان ذکر شده را می‌توان تقریباً با دو عامل، تقاضای جهانی پلاستیک و چگالی پلیمر توضیح داد (۳۰). بیش‌ترین تقاضای جهانی پلاستیک به ترتیب PET > PVC > PP > PE می‌باشد (۳۰). پلی‌اتیلن ترفتالات و پلی‌امید غالب‌ترین میکروپلاستیک‌ها یافت شده در رسوبات بود، که با مطالعات دیگران همخوانی دارد (۳۰، ۳۱). منابع احتمالی پلی‌امید می‌تواند منسوجات، ابزار ماهیگیری و خودرو باشد (۳۲). میکروپلاستیک‌ها در سواحل دریا عمدتاً از رواناب جاده‌ها، رویدادهای طوفان و باران، رواناب خاک کشاورزی، سرشاخه‌های رودخانه در بالادست دریاچه (۳۳) و تخلیه فاضلاب (۳۴) به دست می‌آید. پژوهش‌های نشان داده‌اند که فراوانی میکروپلاستیک‌ها پس از وقوع طوفان بیش‌تر است (۳۵، ۳۶، ۳۷). باران و طوفان عامل محرک اصلی برای طیف وسیعی از آلاینده‌های غیر نقطه‌ای مانند رسوبات، مواد مغذی و پاتوژن‌ها هستند. منابع عمدتاً شامل الیاف لباس (۳۸)، طناب (۳۹)، تورها (۴۰)، لوازم ماهیگیری (۴۱)، مواد بسته‌بندی (۳۹) و هم‌چنین، رنگ و لاستیک (۴۲) است.

فاضلاب می‌تواند منبع مهمی از میکروپلاستیک‌ها در محیط ساحل دریای باشد (۳۴). بسیاری از مطالعات تجربی تأیید کرده‌اند که الیاف نساجی اجزای اصلی میکروپلاستیک‌ها در فاضلاب هستند. به‌عنوان مثال، پشم گوسفند ۱،۱۰،۰۰۰ الیاف تولید می‌کند (۴۳). به‌طور مشابه، یک لباس در هر شستشو ۱۹۰۰

منابع

1. Andrady, A. L., & Neal, M. A. (2009). Applications and societal benefits of plastics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364 (1526), 1977-1984.
2. Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science advances*, 3 (7), e1700782.
3. Hedayati, A., Gholizadeh, M., Bagheri, T., Abarghouei, S., & Zamani, W. (2022). Microplastics in marine ecosystems. *Sustainable Aquatic Research*, 1 (2), 63-73.
4. Ryan, P. G. (2015). Does size and buoyancy affect the long-distance transport of floating debris?. *Environmental Research Letters*, 10 (8), 084019.
5. Kumar, R., Sharma, P., Manna, C., & Jain, M. (2021). Abundance, interaction, ingestion, ecological concerns, and mitigation policies of microplastic pollution in riverine ecosystem: A review. *Science of the Total Environment*, 782, 146695.
6. Beaumont, N. J., Aanesen, M., Austen, M. C., Börger, T., Clark, J. R., Cole, M., ... & Wyles, K. J. (2019). Global ecological, social and economic impacts of marine plastic. *Marine pollution bulletin*, 142, 189-195.
7. Borrelle, S. B., Ringma, J., Law, K. L., Monnahan, C. C., Lebreton, L., McGivern, A., ... & Rochman, C. M. (2020). Predicted growth in plastic waste exceeds efforts to mitigate plastic pollution. *Science*, 369 (6510), 1515-1518.
8. Singh, B., & Sharma, N. (2008). Mechanistic implications of plastic degradation. *Polymer degradation and stability*, 93 (3), 561-584.
9. 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.
10. Lee, H., Lee, H. J., & Kwon, J. H. (2019). Estimating microplastic-bound intake of hydrophobic organic chemicals by fish using measured desorption rates to artificial gut fluid. *Science of the Total Environment*, 651, 162-170.
11. Franzellitti, S., Canesi, L., Auguste, M., Wathsala, R. H., & Fabbri, E. (2019). Microplastic exposure and effects in aquatic organisms: a physiological perspective. *Environmental toxicology and pharmacology*, 68, 37-51.
12. Gholizadeh, M., Shadi, A., Abadi, A., Nemati, M., Senapathi, V., & Karthikeyan, S. (2023). Abundance and characteristics of microplastic in some commercial species from the Persian Gulf, Iran. *Journal of Environmental Management*, 344, 118386.
13. Liaghi, A., Shirangi, A., Gholizadeh, M., & Abarghuyi, S. (2023). Dose-and size-dependent effects of polystyrene microplastic on antioxidant and immune genes of gold fish (*Carasius auratus*). *Utilization and Cultivation of Aquatics*, 11 (4), 109-121.
14. Ruiz-Compean, P., Ellis, J., Cúrdia, J., Payumo, R., Langner, U., Jones, B., and Carvalho, S. (2017). Baseline evaluation of sediment contamination in the shallow coastal areas of Saudi Arabian Red Sea. *Marine pollution bulletin*, 123 (1-2), 205-218.
15. Moore, G., Audrey, S., Barker, M., Bond, L., Bonell, C., Hardeman, W., ... & Baird, J. (2014). Process evaluation of complex interventions. *UK medical Research Council (MRC) guidance*, 1-133.
16. Esmailbeigi, M., Kazemi, A., Gholizadeh, M., & Rezaeiyeh, R. D. (2023). Microplastics and heavy metals contamination in *Atropus atropus* and associated health risk assessment in the northwest of the Persian Gulf, Iran. *Regional Studies in Marine Science*, 57, 102750.
17. Masoudnik, M., Riyahi Bakhtiari, A., & Abdollahi, M. (2017). Investigating abundance, distribution and accumulation of plastic resin pellets and fragments in the Caspian Sea: a case study of noor shores. *Journal of Oceanography*, 8 (29), 43-53.
18. Mataji, A., Taleshi, M. S., & Balimoghaddas, E. (2020). Distribution and characterization of microplastics in

- surface waters and the southern Caspian Sea coasts sediments. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 78, 86-93.
19. 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, 113738.
 20. Vianello, A., Boldrin, A., Guerriero, P., Moschino, V., Rella, R., Sturaro, A., & 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.
 21. Graca, B., Szewc, K., Zakrzewska, D., Dołęga, A., & Szczerbowska-Boruchowska, M. (2017). Sources and fate of microplastics in marine and beach sediments of the Southern Baltic Sea-a preliminary study. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 7650-7661.
 22. Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R. C., & Thiel, M. (2012). Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification. *Environmental science & technology*, 46 (6), 3060-3075.
 23. Tsang, S., Royse, C. F., & Terkawi, A. S. (2017). Guidelines for developing, translating, and validating a questionnaire in perioperative and pain medicine. *Saudi journal of anaesthesia*, 11 (Suppl 1), S80.
 24. Barboza, L. G. A., Cózar, A., Gimenez, B. C., Barros, T. L., Kershaw, P. J., & Guilhermino, L. (2019). Macroplastics pollution in the marine environment. In *World seas: An environmental evaluation* (pp. 305-328). Academic Press.
 25. Luo, W., Su, L., Craig, N. J., Du, F., Wu, C., & Shi, H. (2019). Comparison of microplastic pollution in different water bodies from urban creeks to coastal waters. *Environmental pollution*, 246, 174-182.
 26. Claessens, M., De Meester, S., Van Landuyt, L., De Clerck, K., & Janssen, C. R. (2011). Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast. *Marine pollution bulletin*, 62 (10), 2199-2204.
 27. Kowalski, N., Reichardt, A. M., & Wanek, J. J. (2016). Sinking rates of microplastics and potential implications of their alteration by physical, biological, and chemical factors. *Marine pollution bulletin*, 109 (1), 310-319.
 28. Paço, A., Duarte, K., da Costa, J. P., Santos, P. S., Pereira, R., Pereira, M. E., ... & Rocha-Santos, T. A. (2017). Biodegradation of polyethylene microplastics by the marine fungus *Zalerion maritimum*. *Science of the Total Environment*, 586, 10-15.
 29. Erni-Cassola, G., Zadjelovic, V., Gibson, M. I., & Christie-Oleza, J. A. (2019). Distribution of plastic polymer types in the marine environment; A meta-analysis. *Journal of hazardous materials*, 369, 691-698.
 30. Bond, T., Ferrandiz-Mas, V., Felipe-Sotelo, M., & Van Sebille, E. (2018). The occurrence and degradation of aquatic plastic litter based on polymer physicochemical properties: a review. *Critical reviews in environmental science and technology*, 48(7-9), 685-722.
 31. 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.
 32. 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.
 33. Bagheri, T., Pourang, N., Nasroullahzade Saravi, H., Afraei Bandpey, M. A., Fazli, H., Gholizadeh, M., ... & Yazarloo, M. (2022). Exploring microplastics contamination within *Paracorbis hircanica* Mousavi-Sabet, Sayyadzadeh, Esmaeili, Eagderi, Patimar & Freyhof, 2015 fishes caught from different water shedding of Gorganroud River. *Aquaculture Sciences*, 10 (2), 171-179.

34. Bretas Alvim, C., Bes-Piá, M. A., & Mendoza-Roca, J. A. (2022). Pretreatment Methods for Further Analysis of Microplastics in Wastewater and Sludge Samples. In *Microplastics Pollution in Aquatic Media: Occurrence, Detection, and Removal* (pp. 137-154). Singapore: Springer Singapore.
35. Veerasingam, S., Saha, M., Suneel, V., Vethamony, P., Rodrigues, A. C., Bhattacharyya, S., & Naik, B. G. (2016). Characteristics, seasonal distribution and surface degradation features of microplastic pellets along the Goa coast, India. *Chemosphere*, 159, 496-505.
36. Zhang, H. (2017). Transport of microplastics in coastal seas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 199, 74-86.
37. Hurley, R. R., & Nizzetto, L. (2018). Fate and occurrence of micro (nano) plastics in soils: Knowledge gaps and possible risks. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 1, 6-11.
38. Napper, I. E., & Thompson, R. C. (2016). Release of synthetic microplastic plastic fibres from domestic washing machines: Effects of fabric type and washing conditions. *Marine pollution bulletin*, 112 (1-2), 39-45.
39. Robin, R. S., Karthik, R., Purvaja, R., Ganguly, D., Anandavelu, I., Mugilarasan, M., & Ramesh, R. (2020). Holistic assessment of microplastics in various coastal environmental matrices, southwest coast of India. *Science of the Total Environment*, 703, 134947.
40. Jang, J., Hur, H. G., Sadowsky, M. J., Byappanahalli, M. N., Yan, T., & Ishii, S. (2017). Environmental Escherichia coli: ecology and public health implications-a review. *Journal of applied microbiology*, 123 (3), 570-581.
41. Sruthy, S., & Ramasamy, E. V. (2017). Microplastic pollution in Vembanad Lake, Kerala, India: the first report of microplastics in lake and estuarine sediments in India. *Environmental pollution*, 222, 315-322.
42. Masoudi, E., Hedayati, A., Bagheri, T., Salati, A., Safari, R., Gholizadeh, M., & Zakeri, M. (2022). Different land uses influenced on characteristics and distribution of microplastics in Qarasu Basin Rivers, Gorgan Bay, Caspian Sea. *Environmental Science and Pollution Research*, 29 (42), 64031-64039.
43. Carney Almroth, B. M., Åström, L., Roslund, S., Petersson, H., Johansson, M., & Persson, N. K. (2018). Quantifying shedding of synthetic fibers from textiles; a source of microplastics released into the environment. *Environmental Science and pollution research*, 25, 1191-1199.
44. Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., & Thompson, R. (2011). Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environmental science & technology*, 45 (21), 9175-9179.
45. De Falco, F., Di Pace, E., Cocca, M., & Avella, M. (2019). The contribution of washing processes of synthetic clothes to microplastic pollution. *Scientific reports*, 9 (1), 6633.