



Comparison of abundance, shape, and type of microplastics in sediments surrounding coral reef ecosystems in the northern Persian Gulf Islands (Case study: Qeshm, Kish and Shidvar)

Mehdi Soltani¹ 

Corresponding Author, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Islamic Azad University, Bandar Abbas, Iran. E-mail: hse.irisl@gmail.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 28 March 2025

Received in revised form 19 October 2025

Accepted 29 November 2025

Published online 21 November 2025

Keywords:

**Coral Reefs,
Environmental Pollution,
Microplastics (MPs),
Persian Gulf.**

ABSTRACT

The expansion of pollutant dynamics in the fragile ecosystem of the Persian Gulf has led to widespread coral bleaching and degradation. A paradigm shift in the current management of coral reef conservation, utilizing existing resources and coastal potential, is essential for achieving sustainable development goals. The current study aimed to establish baseline data for assessing microplastic (MP) pollution, which is one of the most important emerging environmental challenge for coral reefs in the northern Persian Gulf islands (Qeshm, Kish and Shidvar) in 2023. Sediment samples (0–5 cm depth) were collected using a Van Veen grab, followed by laboratory analysis to determine MPs abundance, distribution, size, color, and type. Sediment texture analysis showed that the ratio (mean percentage±standard deviation) of sand and silt+clay in marine sediments is equal to 50.72%±4.70 and 49.28%±3.32, respectively. The results of observations of microplastics (separated into fiber, fragment, film, and pellet particles) showed that the total number of these particles in the marine sediments of the studied coral ecosystems was 118, 56, 11, and 3 particles, respectively. Island-specific MP abundance followed Qeshm > Kish > Shidvar. Fibers dominated MP shapes, with polyethylene (PE), polypropylene (PP), polystyrene (PS), and nylon as the most common polymers. Statistical analysis indicated significant differences in fragment and film abundance among sites ($P<0.05$). This study provides foundational data for developing targeted management strategies under Integrated Coastal Zone Management (ICZM) to safeguard coral reefs in this ecologically sensitive region.

Cite this article: Soltani, M. (2025). Comparison of abundance, shape, and type of microplastics in sediments surrounding coral reef ecosystems in the northern Persian Gulf Islands (Case study: Qeshm, Kish and Shidvar). *Journal of Natural Environment*, 78 (3), 357-374. DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2025.392682.2792>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2025.392682.2792>

تحلیل مقایسه فراوانی، شکل و نوع میکروپلاستیک‌ها در رسوبات پیرامون اکوسیستم‌های مرجانی جزایر شمالی خلیج فارس (مطالعه قشم، کیش و شیدور)

مهدی سلطانی ✉

نویسنده مسئول، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران. رایانامه: hse.irisl@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۰۸	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۷/۲۷	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۰۸	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۸/۳۰	
کلیدواژه‌ها: آب‌سنگ‌های مرجانی، آلودگی محیط‌زیست، خلیج فارس، میکروپلاستیک‌ها (MPs).	امروزه گسترش روند تغییرات آلاینده‌ها در محیط‌زیست شکننده خلیج فارس باعث سفیدشدگی و تخریب سطح وسیعی از جوامع مرجانی این آبراهه حساس شده است. تغییر نگرش در نحوه مدیریت فعلی حفاظت از اکوسیستم‌های مرجانی با استفاده از منابع موجود و ظرفیت‌های بالقوه مناطق ساحلی جهت دستیابی به اهداف توسعه پایدار ضروری است. تحقیق حاضر با هدف تکمیل اطلاعات پایه در راستای ارزیابی سطح آلودگی میکروپلاستیک‌ها که یکی از مهم‌ترین چالش‌های محیط‌زیستی نوظهور آب‌سنگ‌های مرجانی جزایر شمالی خلیج فارس (قشم، کیش و شیدور) به‌شمار رفته، در سال ۱۴۰۲ انجام شد. بدین‌منظور طبق آخرین روش علمی بررسی صخره‌های مرجانی نمونه‌های رسوبات از لایه سطحی حدود ۵-۱۰ سانتی‌متری کف دریا به‌وسیله چنگک فولادی ون‌وین جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل و سپس فراوانی، توزیع، اندازه، رنگ و نوع MPها تعیین شد. آنالیز بافت رسوبات نشان داد نسبت (انحراف معیار $\pm$ میانگین درصد) ماسه و سیلت+رس در رسوبات دریایی به‌ترتیب برابر با $۵۰/۷۲ \pm ۴/۷۰$ و $۴۹/۲۸ \pm ۳/۳۲$ است. نتایج حاصل از مشاهدات میکروپلاستیک‌ها (به‌تفکیک ذرات فیبر، قطعه، فیلم و گلوله) در مجموع نشان داد که تعداد این ذرات در رسوبات دریایی به‌ترتیب ۱۱، ۵۶ و ۳ ذره است. به‌ترتیب بیشترین تا کمترین فراوانی ذرات میکروپلاستیک نیز در قشم < کیش < شیدور شمارش شد. شکل غالب میکروپلاستیک‌ها فیبر و شایع‌ترین پلیمرهای یافت شده از جنس پلی‌اتیلن (PE)، پلی‌پروپیلن (PP)، پلی‌استایرن (PS) و نایلون بودند. آنالیزهای آماری نشان داد که بین فراوانی ذرات قطعه و فیلم در رسوبات دریایی اختلاف معنی دار وجود دارد ($P < ۰/۰۵$). نتایج این مطالعه می‌تواند اطلاعات پایه و اساسی در راستای ارائه یک راهنمای مشخص و با رویکرد ارزش‌گذاری واقعی برای حمایت از جوامع مرجانی در طرح‌های مدیریت یکپارچه مناطق ساحلی (ICZM) در کشور به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مناطق حساس دریایی خلیج فارس پیشنهاد کند.

استناد: سلطانی، مهدی (۱۴۰۴). تحلیل مقایسه فراوانی، شکل و نوع میکروپلاستیک‌ها در رسوبات پیرامون اکوسیستم‌های مرجانی جزایر شمالی خلیج فارس (مطالعه

قشم، کیش و شیدور). محیط زیست طبیعی، ۷۸ (۳)، ۳۷۴-۳۵۷.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2025.392682.2792>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

پلاستیک‌ها را می‌توان آلاینده‌های محیط‌زیستی نوظهور دریاها عنوان نمود. با توجه به اینکه تولید جهانی پلاستیک در حال حاضر به ۳۷۰ میلیون تن در سال رسیده است، انتظار می‌رود تا سال ۲۰۵۰ حدود ۱۲۰۰۰ تن پلاستیک در محیط‌زیست تخلیه شود (Wang et al., 2022). در عصر حاضر مزیت‌هایی همچون تنوع، وزن پایین، استحکام و ارزان بودن و همچنین کاربرد وسیع پلاستیک در صنایع دریایی، بسته‌بندی، آرایشی، بهداشتی، دارویی، غذایی و غیره موجب رهاسازی آنها به‌عنوان ماده جامد از طریق فاضلاب‌های شهری و صنعتی (Zhang et al., 2020) به حوزه خلیج فارس شده است. پس از تخریب پلاستیک‌ها به اندازه‌های کوچک‌تر (کمتر از ۵ میلی‌متر)، میکروپلاستیک‌ها به‌وجود می‌آیند (Gigault et al., 2018; Poulain et al., 2019). درست است که منبع اصلی میکروپلاستیک‌ها در منابع آبی ناشی از تجزیه قطعات بزرگ‌تر پلاستیک است، اما میکروپلاستیک‌ها به‌صورت هدفمند جهت کاربردهای مختلف نیز ساخته می‌شوند، در واقع ما هر روز با یک شکل خاص از این میکروپلاستیک‌ها مواجه هستیم. بنابراین به‌منظور تفکیک قائل شدن بین منابع تجزیه‌شونده و منابع صنعتی میکروپلاستیک، آنها را به دو دسته اصلی: میکروپلاستیک‌های اولیه (گلوله، ساینده‌های صنعتی و غیره) و میکروپلاستیک ثانویه (در اثر تجزیه ذرات بزرگ‌تر به کوچک‌تر بر اثر فرسایش، امواج و نور خورشید) تقسیم‌بندی می‌کنند (Lee et al., 2013; Zare Jeddi et al., 2015).

امروزه دیگر میکروپلاستیک‌ها در سرتاسر محیط‌های اقیانوسی جهان یافت می‌شوند (Axelsson and Van Sebille, 2017)، زیرا طی سال‌های اخیر تقاضای سالانه پلاستیک‌ها در جهان به‌طور مداوم رو به افزایش است (Blumenröder et al., 2017). میکروپلاستیک‌ها در محیط‌زیست دریایی به‌دلیل همراه بودن با طعمه از سوی بسیاری از آبزیان مصرف می‌شوند، همچنین از طریق فیلتر کردن آب و فعالیت‌های تغذیه‌ای نیز جذب می‌شوند (de Sá et al., 2015; Naji et al., 2018). از آنجا که بلع میکروپلاستیک‌ها به‌عنوان طعمه از طریق فیلتر کردن آب وارد بدن صافی‌خوارن می‌شود، پژوهش‌های متعددی نشان داده‌اند که مرجان‌ها نیز به‌واسطه فیلتر کردن آب هنگام تغذیه، قادر به جذب میکروپلاستیک‌ها می‌باشند. اولین مطالعات آزمایشگاهی جذب میکروپلاستیک‌ها توسط مرجان‌های سخت در صخره‌های مرجانی سواحل استرالیا نشان داد که تعدادی از این موجودات حداقل یک ذره میکروپلاستیک و برخی نیز ۳ ذره پروپیلن را بلعیده‌اند (Hall et al., 2015). در پژوهشی دیگر که بر روی مرجان‌های *Acropora*، *Pocillopora*، *Porites* و *Heliopora* در محیط آزمایشگاهی صورت گرفت نشان داده شد که این موجودات زمانی که تحت ذرات میکروپلاستیک‌ها در آزمایشگاه قرار گرفته‌اند، اثرات منفی بر رشد و عملکرد فتوسنتزی مرجان‌ها به‌جا گذاشته‌اند (Reichert et al., 2018). مطالعه‌ای دیگر بر روی آبسنگ‌های مرجانی جزایر غیرمسکونی نانسا در چین، حاکی از آلودگی وسیع سطح آب این اکوسیستم‌های حساس به آلاینده‌های میکروپلاستیک بود، به‌طوری‌که این میکروپلاستیک‌ها عمدتاً از جنس پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن بودند (Tan et al., 2020). نتایج مطالعاتی دیگر بر روی تأثیر میکروپلاستیک‌ها بر اکوسیستم‌های مرجانی نشان داد که این آلاینده‌ها باعث اثرات منفی از جمله کاهش میزان رشد، تولید زیاد مخاط، نکروز بافتی، کاهش موفقیت در لقاح، کاهش رشد اسکلتی و سفیدشدن مرجان‌ها می‌شود (Marcelo et al., 2020).

اکوسیستم‌های مرجانی به‌عنوان یک محیط ساحلی شناخته‌شده و بسیار غنی، یکی از خصوصیات برجسته ساحلی در خلیج فارس به‌شمار می‌روند. اثرات اکولوژیک صخره‌های مرجانی به‌عنوان دومین بیوم غنی جهان بعد از جنگل‌های مناطق حاره از دیرباز شناخته شده است (Jones et al., 2004). بدیهی است که با حذف و یا کاهش تنوع و تراکم جمعیتی آنها، بقاء سایر گونه‌های بهره‌بردار از این اکوسیستم‌ها نیز با تهدید مواجه خواهد شد. این جوامع به‌دلایل مختلفی از جمله الف) حفاظت نوار ساحلی در برابر ضربات مخرب امواج و اثرات منفی طوفان‌های دریایی ب) تولید مواد غذایی و دارویی ج) اهمیت از نظر تنوع زیستی د) سودرسانی اقتصادی به جوامع محلی و ه) ارزش تفریحی و تحقیقاتی، هم برای طبیعت و هم برای جوامع انسانی استان هرمزگان حائز اهمیت می‌باشند. از این‌رو شناسایی دقیق غنای زیستی اکوسیستم‌های مرجانی در کنار سایر ارزش‌های مادی و غیرمادی آنها، به‌ویژه در خلیج فارس، به‌عنوان یکی از ویژگی‌های مهم در طراحی شبکه‌های حفاظتی، هنوز به شایستگی انجام نشده است (Daly et al., 2007). از طرفی، امروزه اکوسیستم‌های مرجانی خلیج فارس به‌دلیل وجود شرایط نامطلوب محیطی از جمله شوری و دمای بالاتر از شوری و دمای بهینه برای زیست مرجان‌ها در سایر نقاط دنیا، همیشه در شرایط سخت و استرس‌زا قرار دارند (Burt et al., 2008). به بیان دیگر، اثر همزمان افزایش دما و شوری و همراه با آن گسترش ورود انواع مختلف

آلاینده‌های محیط‌زیستی نوظهور از جمله میکروپلاستیک‌ها در دهه‌های اخیر تنش بی‌سابقه‌ای را به اکوسیستم‌های مرجانی خلیج فارس وارد کرده است؛ که با توجه به کاهش وسعت و سفیدشدگی آبسنگ‌های مرجانی این آبراهه، تحقیق حاضر برای اولین بار در کشور میزان آلودگی میکروپلاستیک‌ها را در رسوبات سطحی پیرامون جزایر خلیج فارس در محدوده استان هرمزگان به‌منظور صیانت از این اکوسیستم منحصر به فرد که عمده آنها زیستگاه‌های جوامع مرجانی به‌شمار می‌روند، ارزیابی خواهد نمود.

روش‌شناسی پژوهش

محدوده مطالعاتی: بررسی آلاینده‌های پلاستیکی خلیج فارس در پیرامون جزایر که به‌عنوان زیستگاه‌های حساس محیط‌زیستی به‌ویژه برای آبسنگ‌های مرجانی شناخته می‌شوند، از اهمیت خاصی برخوردار است. با توجه به اهمیت و جایگاه اکوسیستم‌های مرجانی ۳ جزیره قشم، کیش و شیدور در استان هرمزگان، این جزایر به‌عنوان ایستگاه‌های اصلی نمونه‌برداری این تحقیق انتخاب شدند (شکل ۱ و جدول ۱).



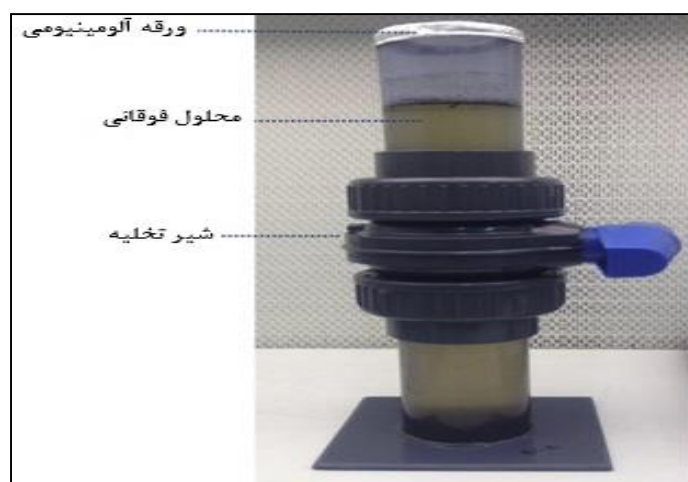
شکل ۱- محدوده تحقیقاتی و مختصات UTM ایستگاه‌های نمونه‌برداری از رسوبات دریایی پیرامون جزایر مرجانی مورد مطالعه

جدول ۱- مختصات UTM ایستگاه‌های نمونه‌برداری از رسوبات دریایی پیرامون جزایر مرجانی مورد مطالعه

جزیره	ایستگاه	X	Y	فعالیت‌های موجود در منطقه
قشم	S1	۳۹۴۲۰۶	۲۹۵۱۹۵۵	صیادی، گردشگری ساحلی و دریایی، غواصی، لنج‌سازی، پتروشیمی،
	S2	۴۰۵۰۱۳	۲۹۵۸۴۹۷	پالایشگاه گاز، فعالیت بندری، معادن و...
	S3	۴۲۷۸۸۳	۲۹۷۹۱۳۴	
کیش	S4	۷۹۰۵۹۱	۲۹۴۲۲۳۴	صیادی، گردشگری ساحلی و دریایی، غواصی، فعالیت بندری و...
	S5	۷۸۹۸۳۹	۲۹۳۷۳۷۴	
	S6	۷۸۸۶۷۹	۲۹۳۹۳۲۵	
شیدور	S7	۷۳۹۶۶۷	۲۹۶۶۱۶۹	صیادی، گردشگری ساحلی و دریایی، غواصی
	S8	۷۴۰۳۲۲	۲۹۶۵۳۶۴	
	S9	۷۳۸۸۴۸	۲۹۶۴۷۳۱	

روش کار: در خردادماه ۱۴۰۲ ابتدا توسط شناور (قایق موتوری) پس از بازدید میدانی و عملیات غواصی از محدوده مطالعاتی، در هر جزیره، ایستگاه‌های نمونه‌برداری با توجه به مهم‌ترین مکان‌های پراکنش اکوسیستم‌های مرجانی انتخاب شدند. سپس مختصات جغرافیایی هر ایستگاه نمونه‌برداری توسط GPS تعیین و ثبت گردید و از الگوی تصادفی سیستماتیک برای نمونه‌برداری از جوامع مرجانی مبتنی بر آخرین روش علمی رایج در مؤسسه بین‌المللی ریف چک استفاده شد (Salmond and Schubert, 2023). در زمان جزر کامل آب نمونه‌برداری در هر ایستگاه از لایه سطحی رسوبات دریایی از حدود ۵-۰ سانتی متری کف دریا به وسیله چنگک فولادی ضدزنگ ون‌وین (Van Veen Grab) با سطح مقطع ۲۵۰ سانتی متر مربع انجام و نمونه‌ها در ظروف آلومینیومی قرار داده شدند ($n=9$). همچنین برخی از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب دریا (شامل دما، شوری، اکسیژن محلول، هدایت الکتریکی و pH) با استفاده از دستگاه مولتی پارامتر دو کاناله پرتابل مدل HQ40D ساخت آمریکا در هر ایستگاه نمونه‌برداری مورد سنجش قرار گرفت. از طرفی با استفاده از یک عمق‌سنج دیجیتال پرتابل، عمق آب نیز اندازه‌گیری شد. سپس کلیه ظروف نمونه‌برداری رسوبات در یخدانی تحت دمای ۴- درجه سانتی‌گراد نگهداری (Tadiso et al., 2011) و به آزمایشگاه دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرعباس منتقل شدند.

در آزمایشگاه برای تعیین حضور و فراوانی میکروپلاستیک‌ها در رسوبات سطحی ابتدا رسوبات جمع‌آوری‌شده به یک سینی استیل ضد زنگ منتقل، با ورقه آلومینیومی روی سینی پوشانده و تعدادی سوراخ ریز روی ورقه ایجاد شد و در دستگاه آون تحت دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفت. در ادامه به میزان ۳۰۰ گرم از رسوبات خشک‌شده به همراه یک آهن‌ربا (Magnet) را به دستگاه جداسازی میکروپلاستیک رسوب انتقال داده، سپس به میزان ۷۰۰ میلی‌لیتر محلول $ZnCl_2$ نیز به آن رسوبات اضافه شد (شکل ۲).



شکل ۲- دستگاه جداسازی میکروپلاستیک رسوب (SMI)

پس از ۲۴ ساعت محلول قسمت فوقانی را خارج و به یک بشر منتقل و روی آن نیز با ورقه آلومینیومی مجدداً پوشانده شد. در این مرحله با استفاده از دستگاه ست فیلتراسیون تحت خلاء ابتدا محلول فوقانی توسط کاغذ صافی (واتمن نمره ۴۲)، فیلتر و کاغذهای فیلتر شده را به ظروف پتری دیش شیشه‌ای انتقال و این ظروف را به مدت ۵ دقیقه در دستگاه آون قرار داده تا کاملاً خشک شود و در مرحله بعد در زیر دستگاه میکروسکوپ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (Coppock et al., 2017).

بررسی اولیه بصری به صورت چشمی و زیر میکروسکوپ جهت جداسازی میکروپلاستیک‌ها انجام شد و پس از آن، تجزیه و تحلیل نوری پلاستیک بر روی فیلترها جهت تعیین شکل و رنگ با استفاده از دستگاه استریومیکروسکوپ (NOVEL NSZ-810, Ningbo Yongxin Optics Co, Ltd, Zhejiang, China) واقع در دانشگاه هرمزگان با بزرگ‌نمایی ۱ تا ۸ برابر بیشتر صورت گرفت. در مرحله بعد به منظور تشخیص ذرات مشکوک به پلاستیک از یک دوربین دیجیتال که برای مستندسازی اولیه به میکروسکوپ وصل شده بود، استفاده شد. تعیین اندازه میکروپلاستیک‌ها با استفاده از نرم‌افزار پردازشگر تصویر (Image J ver 1.52) اندازه‌گیری شد. سپس میکروپلاستیک‌ها براساس شکل، رنگ و اندازه تقسیم‌بندی شدند. در مواردی که شناسایی ذرات بزرگ‌تر میکروپلاستیک‌ها امکان‌پذیر بود، با استفاده از یک سوزن داغ این عمل صورت گرفت. زیرا سوزن داغ روی پلاستیک، موجب خم‌شدن و فروخوردگی شده و پلاستیک تغییر شکل داده و حالت چسبندگی به خود می‌گیرد (Devriese et al., 2015; Alomar et al., 2016). در ادامه بررسی‌ها نمونه‌هایی از ذراتی که به‌عنوان پلاستیک بالقوه شناسایی شده بودند با استفاده از دستگاه FT-IR مدل Thermo Nicolet IR100, USA در محل آزمایشگاه شرکت پویا شیمی بندرعباس (آزمایشگاه معتمد سازمان حفاظت محیط‌زیست و اداره استاندارد) در محدوده مادون قرمز 600 cm^{-1} تا 4000 cm^{-1} مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و در نهایت نوع هر پلیمر براساس فرکانس جذب برای انواع پیوند شیمیایی خاص موجود از بانک اطلاعاتی نمونه‌های پلیمری دستگاه شناسایی شدند.

دانه‌بندی بافت رسوبات دریایی: قسمتی از نمونه‌های رسوبات دریایی جمع‌آوری شده نیز به آزمایشگاه اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان هرمزگان منتقل شدند، که در آن آزمایشگاه به‌منظور تعیین دانه‌بندی رسوبات از سری الک‌های با چشمه ۱۰، ۱۴، ۱۸، ۲۵، ۳۵، ۴۵، ۶۰، ۸۰، ۱۲۰، ۱۷۰ و ۲۳۰ استفاده شد. در ابتدا درون یک ظرف شیشه‌ای، ۵۰۰ سی‌سی مقداری از رسوب جمع‌آوری شده را ریخته و به آن اندکی آب اکسیژنه جهت از بین رفتن ماده آلی آن افزوده شد. در مرحله بعد ظرف استوانه‌ای شیشه‌ای را به آون با دمای ۷۰ درجه سانتیگراد برای ۴۸ ساعت منتقل نموده تا کاملاً خشک شود. سپس رسوب حاصل را توزین نموده و در داخل الک‌ها که بر روی هم از بالا به پایین روی دستگاه لرزاننده قرار گرفته بودند ریخته‌شده و به مدت ۱۵ دقیقه لرزاننده روشن‌شده تا جداسازی و عمل دانه‌بندی انجام شود. سپس الک‌های حاوی رسوبات را از روی لرزاننده الک جدا کرده و مقدار رسوبات باقیمانده داخل هر الک را توزین نموده و در نهایت درصد انواع رسوبات مشخص شد. کلیه آنالیزهای ذکر شده در بالا برای هر نمونه به صورت سه بار تکرار صورت گرفت (MOOPAM, 2010).

تضمین کیفیت (Quality Assurance) و کنترل کیفیت (Quality Control): از آنجا که سیر مراحل آماده‌سازی نمونه‌ها در آزمایشگاه طی چند روز صورت گرفت، بنابراین صیانت از نمونه‌ها در برابر آلودگی‌های معلق در هوا امری ضروری بود. از این رو به‌منظور تحقق اهداف تضمین کیفیت (QA) تمام فرآیندهای آزمایش با ابزار و مواد غیرپلاستیکی انجام گرفت تا میزان خطا به پایین‌ترین حد امکان رسانده شود. در این راستا قبل از شروع آزمایشات، تمامی سطوح کار با الک اتانول تمیز و دست‌ها و ساعد نیز برای جلوگیری از آلودگی پوست، مو و ذرات خاک، تمیز و ضدعفونی و نیز از آب مقطر دوبار تقطیرشده (با فیلتر ۰/۴۵ میکرومتر نیتروسلولز) برای تمیز کردن تجهیزات استفاده شد. از طرفی تمامی نمونه‌ها در ظروف پتری دیش شیشه‌ای با استفاده از ورقه‌های آلومینیومی پوشیده و سایر مراحل آماده‌سازی و تجزیه و تحلیل‌ها نیز در زیر هود صورت گرفت. از روپوش آزمایشگاهی نخی در همه زمان‌ها و نیز در طول تجزیه و تحلیل‌ها برای کاهش آلودگی استفاده شد. به‌منظور بررسی کنترل کیفیت (QC) طی بازه‌های زمانی مختلف (یک‌روزه و چندروزه) تعدادی پتری دیش شیشه‌ای حاوی آبدیونیزه (شاهد) به صورت سرباز در زیر هود و محیط کار آزمایشگاه قرار داده شد و در پایان بازه‌های مدنظر، آبدیونیزه صاف شد و میزان آلودگی محیط (در صورت وجود

داشتن) نیز مورد سنجش قرار گرفت (Yang et al., 2009; Baldwin et al., 2016; K  ppler et al., 2016; (Akhbarizadeh et al., 2017; Abbasi et al., 2018; Kor and Mehdinia, 2020).

تجزیه و تحلیل داده‌ها: تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شد. ابتدا از صحت نرمال بودن داده‌ها آگاهی و سپس داده‌های توصیفی بر مبنای انحراف معیار $\pm$ میانگین (Mean $\pm$ SD) ارائه شدند. وجود اختلاف میانگین‌ها با استفاده از ANOVA انجام شد. ضرایب همبستگی نیز با استفاده از روش پیرسون انجام شد. برای ترسیم نمودارها از نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۲۳ استفاده گردید.

یافته‌های پژوهش

بررسی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب جزایر: براساس اطلاعات به‌دست آمده انحراف معیار $\pm$ میانگین بیشترین عمق آب پراکنش اکوسیستم‌های مرجانی محدوده مطالعاتی در جزیره شیدور ($2/7 \pm 1/6$ متر) و کمترین عمق آب در جزیره کیش ($2/0 \pm 0/4$ متر)، بیشترین دما $25/2 \pm 0/4$ درجه سانتی‌گراد (جزیره قشم) و کمترین دما $24/4 \pm 0/4$ درجه سانتی‌گراد (جزیره کیش)، حداکثر شوری در جزیره شیدور ($40/2 \pm 0/1$ درصد) و حداقل شوری در جزیره قشم ($39/0 \pm 0/1$ درصد)، محدوده میانگین هدایت الکتریکی از $58/7 \pm 0/3$ $\mu\text{S/cm}$ (جزیره قشم) تا $60/0 \pm 0/3$ $\mu\text{S/cm}$ (جزیره شیدور)، بیشترین میزان اکسیژن محلول $8/1 \pm 0/1$ mg/L (جزیره قشم) و کمترین میزان اکسیژن محلول $7/3 \pm 0/3$ mg/L (جزیره کیش) و میانگین pH تمامی جزایر $8/3$ اندازه‌گیری شد. آنالیز و واریانس (ANOVA) پارامترهای آب پیرامون جزایر مورد مطالعه نیز نشان داد که اختلاف معنی‌دار در بین پارامترهای عمق، دما و pH بین جزایر مورد مطالعه وجود ندارد ($P > 0/05$)، در بقیه پارامترهای آب دریا شامل شوری، هدایت الکتریکی و اکسیژن محلول اختلاف معنی‌دار وجود دارد ($P < 0/05$).

بررسی دانه‌بندی و بافت رسوبات دریایی: نتایج دانه‌بندی و بافت رسوبات که در هر ایستگاه با ۳ تکرار انجام شد. نتایج نشان داد، به‌ترتیب انحراف معیار $\pm$ میانگین درصد ماسه و سیلت+رس برابر با $50/72 \pm 4/70$ و $49/28 \pm 3/32$ است. حداقل و حداکثر درصد ماسه و سیلت+رس در ایستگاه‌های رسوبات دریایی نیز به‌ترتیب ($46/82$ و $54/11$) و ($45/89$ و $53/18$) به‌دست آمد (جدول ۲).

جدول ۲- نوع بافت و مقادیر درصد دانه‌بندی رسوبات دریایی پیرامونی جزایر مرجانی مورد مطالعه

جزیره	ایستگاه	رسوبات دریایی	
		ماسه (%)	سیلت+رس (%)
قشم	S1	53/17	46/83
	S2	54/11	45/89
	S3	53/26	46/74
	میانگین	53/51	46/49
کیش	S4	46/82	53/18
	S5	48/83	51/17
	S6	53/47	46/53
	میانگین	49/71	50/29
شیدور	S7	52/07	47/93
	S8	52/02	47/98
	S9	51/57	48/43
	میانگین	51/89	48/11
میانگین کل		50/72	49/28

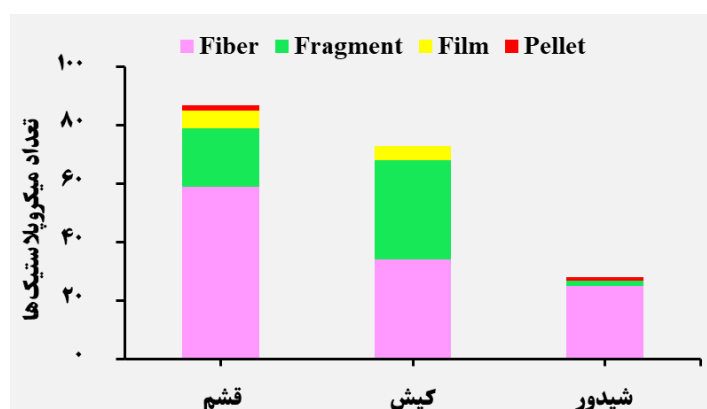
نتایج حاصل از آنالیز و واریانس (ANOVA) نوع دانه‌بندی رسوبات دریایی در بین جزایر مرجانی مورد مطالعه اختلاف معنی‌دار نشان نداد ($P > 0/05$).

شکل و فراوانی میکروپلاستیک‌ها: ذرات پلاستیکی موجود در رسوبات دریایی براساس ظاهر به شکل‌های فیبر (ذرات نازک، مستقیم و اغلب استوانه‌ای)، قطعه (قطعات ناهموار و نامنظم)، فیلم (ورق نازک ذرات شکننده) و گلوله (ذرات گرد) مشاهده شدند (شکل ۳).



شکل ۳- نمونه‌هایی از میکروپلاستیک‌های استخراج شده از رسوبات دریایی و مشاهده آن با استفاده از استریومیکروسکوپ (A: فیبر، B: قطعه، C: فیلم و D: گلوله)

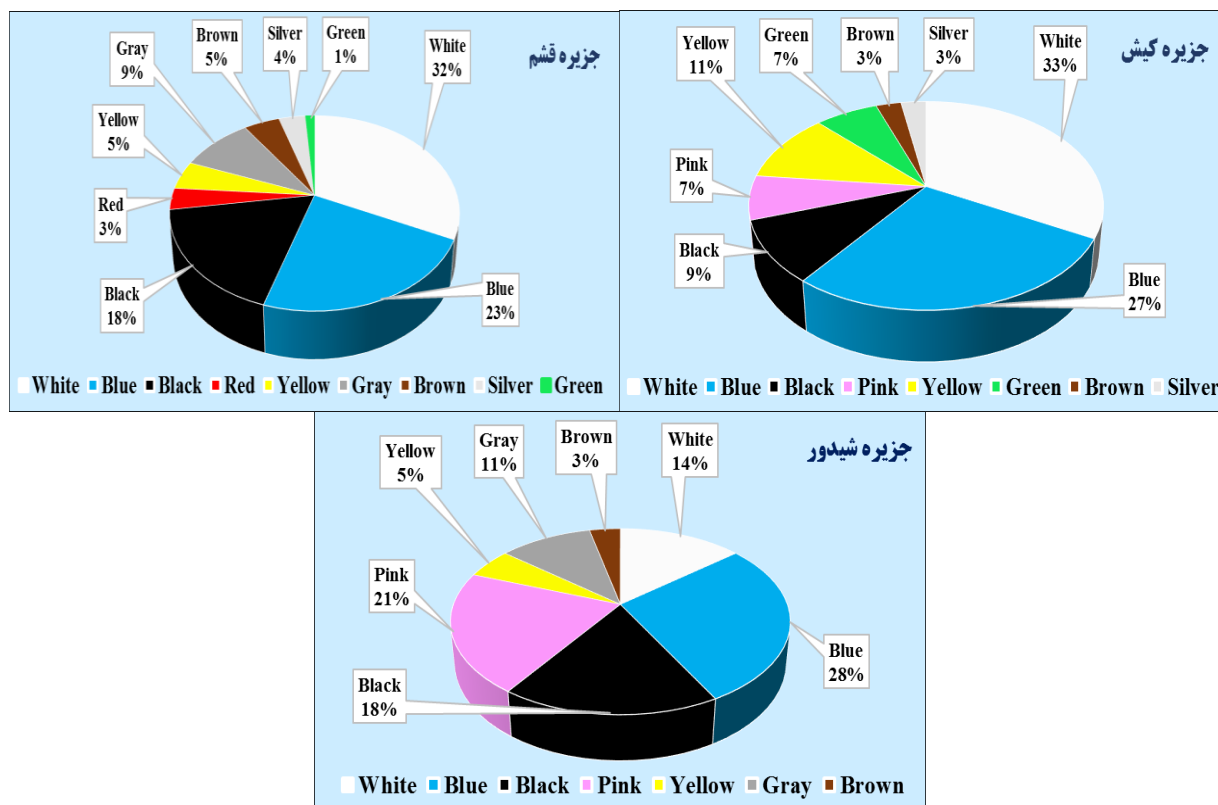
برابر شمارش ذرات ($N=188$) صورت گرفته بیشترین شکل میکروپلاستیک‌های مشاهده شده در رسوبات دریایی از نوع فیبر (118 MP/gr) و کمترین نوع آن گلوله (3 MP/gr) می‌باشد (شکل ۳).



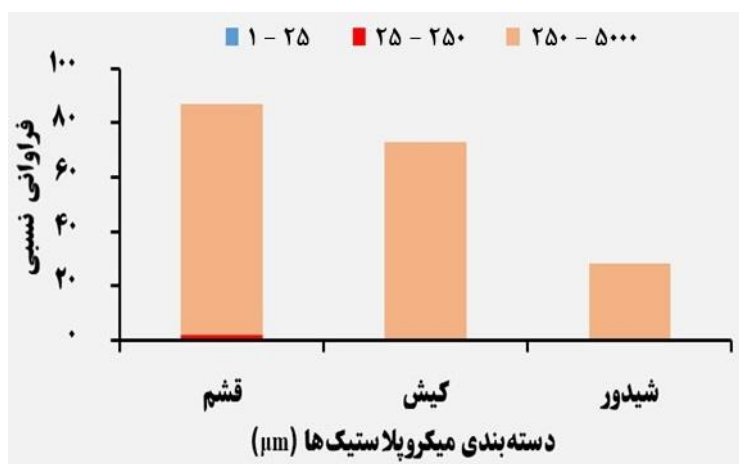
شکل ۳- نمودار فراوانی نسبی اشکال میکروپلاستیک‌های موجود در رسوبات دریایی براساس شکل در جزایر مورد مطالعه

رنگ و اندازه میکروپلاستیک‌ها: براساس نتایج به‌دست آمده از مجموع نمودارهای شکل ۴ میانگین بیشترین درصد رنگ MPهای موجود در رسوبات جزایر را به‌ترتیب سفید (۳۱ درصد)، آبی (۲۵ درصد)، سیاه (۱۴ درصد)، زرد (۷ درصد)، خاکستری (۶ درصد)، صورتی (۶ درصد)، قهوه‌ای (۴ درصد)، سبز (۳ درصد)، نقره‌ای (۳ درصد)، و قرمز (۱ درصد) به‌خود اختصاص دادند. میکروپلاستیک‌ها براساس اندازه در دسته‌های ۱-۲۵، ۲۵-۲۵۰، ۲۵۰-۵۰۰۰ و ۵۰۰۰-۲۵۰ میکرومتری تقسیم‌بندی شدند. که اندازه ۹۸/۹۴ درصد ذرات بین ۲۵۰-۵۰۰۰ میکرومتر و ۱/۰۶ درصد ذرات بین ۲۵-۲۵۰ میکرومتر قرار گرفتند و ذره‌ای در رسوبات دریایی با اندازه بین ۱-۲۵ میکرومتر مشاهده نشد (شکل ۵).

آنالیز واریانس (ANOVA) فراوانی میکروپلاستیک‌ها در رسوبات دریایی در بین جزایر مورد مطالعه نشان داد که اختلاف معنی‌دار بین رسوبات دریایی تنها در بین ذرات قطعه و فیلم وجود دارد ($P < 0.05$). دلیل این امر می‌تواند به تفاوت در منابع مختلف آزادسازی و رهاسازی این ذرات (قطعه و فیلم) نسبت به سایر ذرات مورد مطالعه باشد (جدول ۳).



شکل ۴- نمودار درصد فراوانی میکروپلاستیک‌های موجود در رسوبات دریایی براساس نوع رنگ در جزایر مورد مطالعه.



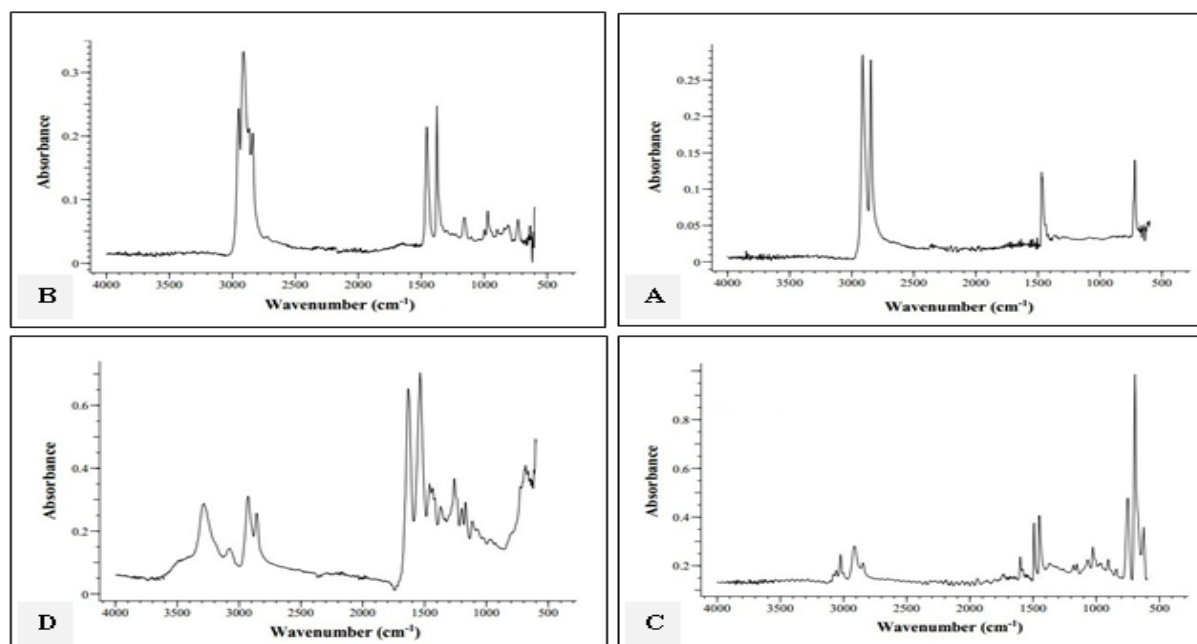
شکل ۵- نمودار توزیع میکروپلاستیک‌های موجود در رسوبات دریایی براساس اندازه (میکرومتر) در جزایر مورد مطالعه

جدول ۳- آنالیز و واریانس (ANOVA) مقایسه میانگین فراوانی میکروپلاستیک‌ها در رسوبات دریایی در بین جزایر مطالعاتی

پارامتر	F _{ANOVA}	Sig.
فیبر	۳/۰۶	۰/۰۶
قطعه	۴/۳۹	۰/۰۳*
فیلم	۳/۹۶	۰/۰۳*
گلوله	۱/۲۲	۰/۳۶

فراوانی میکروپلاستیک‌های شناسایی شده در نمونه‌های شاهد: بررسی‌های کنترل کیفیت نشان داد در نمونه‌های شاهد به‌طور متوسط ۱/۸ میکروپلاستیک وجود دارد که همگی از نوع فیبر می‌باشند. مقایسه فراوانی میکروپلاستیک‌ها در نمونه‌های شاهد و نمونه‌های مختلف میکروپلاستیک‌ها نشان داد که فراوانی میکروپلاستیک‌ها در نمونه‌های رسوبات دریایی دارای تفاوت معنی‌دار با نمونه‌های شاهد نبود ($P > 0.05$). با این حال، جهت حفظ داده‌ها و شفافیت، نتایج میکروپلاستیک‌ها بدون کسر فراوانی میکروپلاستیک‌های نمونه‌های شاهد به‌طور کامل برای تمام نمونه‌های رسوبات دریایی ارائه شد.

شناسایی نوع پلیمر میکروپلاستیک‌ها توسط دستگاه طیف‌سنجی FTIR-ATR: یافته‌های حاصل از طیف‌سنجی میکروپلاستیک‌های استخراج شده از رسوبات دریایی نشان داد که شایع‌ترین پلیمرهای یافت شده پلی‌اتیلن (PE)، پلی‌پروپیلن (PP) و پلی‌استایرن (PS) به‌میزان ۶۳ درصد، پلی‌آمید (نایلون) ۲۱ درصد و دیگر پلیمرها در مجموع با ۱۶ درصد سایر میکروپلاستیک‌های رسوبات دریایی محدوده مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند. با توجه به آنالیز پیک‌های طیف‌سنجی، نوع هر پلیمر براساس فرکانس جذب برای انواع پیوند شیمیایی خاص موجود از بانک اطلاعاتی نمونه‌های پلیمری دستگاه شناسایی شدند (شکل ۶).



شکل ۶- طیف شایع‌ترین پلیمرهای شناسایی شده در رسوبات دریایی (A: پلی‌اتیلن، B: پلی‌پروپیلن، C: پلی‌استایرن و D: پلی‌آمید)

براساس نتایج به‌دست آمده از جدول ۴ بین فراوانی میکروپلاستیک‌های موجود در رسوبات با نوع دانه‌بندی رسوبات دریایی (ماسه و سیلت+رس) همبستگی معنی‌دار وجود دارد ($P < 0.05$). یافته‌های همبستگی داده‌ها حاکی از همبستگی معنی‌دار ($P < 0.05$) بین ذرات دانه درشت ماسه با ذرات دانه‌ریز سیلت+رس رسوبات دریایی بود. ثابت شده است که هرچه اندازه ذرات رسوبی دانه‌ریزتر (سیلت+رس) باشد فراوانی میکروپلاستیک‌ها در آنها بیشتر (همبستگی معنی‌دار مثبت) است و هرچه اندازه ذرات دانه‌درشت‌تر (ماسه) باشد فراوانی میکروپلاستیک‌ها در رسوبات کمتر (همبستگی معنی‌دار منفی) مشاهده می‌شود. همچنین همبستگی معنی‌دار ($P < 0.05$) بین شوری آب دریا با دما و هدایت الکتریکی مشاهده شد. طبق قوانین فیزیکوشیمیایی، هرچه میزان املاحی مانند نمک در آب دریا بالاتر رود ما شاهد افزایش هدایت الکتریکی در آب (همبستگی معنی‌دار مثبت) نیز خواهیم بود.

جدول ۴- همبستگی میانگین MPs در رسوبات دریایی، دانه‌بندی و فاکتورهای فیزیکوشیمیایی آب دریا بین جزایر مورد مطالعه با استفاده از شاخص پیرسون

پارامتر	MPs رسوبات دریایی	عمق	دما	هدایت الکتریکی	شوری	اکسیژن محلول	pH	ماسه رسوبات دریایی	سیلت+رس رسوبات دریایی
MPs رسوبات دریایی	Correlation Coef. Sig. (2-tailed) ۱								
عمق	Correlation Coef. Sig. (2-tailed) -۰/۲۷ ۰/۲۹	۱							
دما	Correlation Coef. Sig. (2-tailed) ۰/۱۸ ۰/۴۹	۰/۲۲ ۰/۴۰	۱						
هدایت الکتریکی	Correlation Coef. Sig. (2-tailed) -۰/۱۶ ۰/۵۴	۰/۳۷ ۰/۱۴	-۰/۰۴ ۰/۸۷	۱					
شوری	Correlation Coef. Sig. (2-tailed) -۰/۲۱ ۰/۴۱	۰/۰۶ ۰/۸۰	-۰/۶۴** ۰/۰۰	۰/۷۶** ۰/۰۰	۱				
اکسیژن محلول	Correlation Coef. Sig. (2-tailed) -۰/۰۹ ۰/۷۲	۰/۰۶ ۰/۸۱	۰/۳۰ ۰/۲۴	-۰/۰۵ ۰/۸۴	-۰/۲۰ ۰/۴۳	۱			
pH	Correlation Coef. Sig. (2-tailed) ۰/۰۳ ۰/۹۰	-۰/۰۳ ۰/۹۲	-۰/۴۶ ۰/۰۶	-۰/۴۷ ۰/۰۵	۰/۰۰ ۱/۰۰	۰/۰۲ ۰/۹۳	۱		
ماسه رسوبات دریایی	Correlation Coef. Sig. (2-tailed) -۰/۴۹* ۰/۰۴	-۰/۰۸ ۰/۷۵	-۰/۱۷ ۰/۵۰	-۰/۱۴ ۰/۵۹	-۰/۰۵ ۰/۸۵	۰/۴۶ ۰/۰۶	۰/۰۵ ۰/۸۵	۱	
سیلت+رس رسوبات دریایی	Correlation Coef. Sig. (2-tailed) ۰/۴۹* ۰/۰۴	۰/۰۸ ۰/۷۵	۰/۱۷ ۰/۵۰	۰/۱۴ ۰/۵۹	۰/۰۵ ۰/۸۵	-۰/۴۶ ۰/۰۶	-۰/۰۵ ۰/۸۵	-۱** ۰/۰۰	۱

در پژوهش‌های مختلف به منظور گزارش تعداد ذرات میکروپلاستیک، از مقادیر متفاوت رسوبات استفاده می‌شود که با توجه به نبودن واحدی استاندارد، مقایسه اندازه‌گیری و فراوانی میکروپلاستیک‌ها نیز دشوار و محدود می‌گردد (Duis and Coors, 2016). مقایسه فراوانی آلاینده‌های میکروپلاستیک در برخی از رسوبات محیط‌های آبی با رسوبات دریایی محدوده مورد مطالعه در جدول ۵ ارائه شده است. بر این اساس، تعداد ذرات میکروپلاستیک‌ها در محدوده پژوهش حاضر از مناطقی نظیر جزایر فریسن، خلیج برست و بخش‌هایی از رسوبات پیرامون اکوسیستم‌های مرجانی جزایر ژیشا، نانشا، ویژو و سانیا در چین بالاتر و در مقایسه با دیگر مناطق ذکرشده در جدول کمتر و یا تقریباً برابر است.

جدول ۵- مقایسه نتایج پژوهش کنونی در رسوبات دریایی جزایر مورد مطالعه با سایر مطالعات

منبع	میانگین فراوانی ذرات (Particle/kg dry weight)	محدوده مطالعاتی
(Liebezeit and Dubaish, 2012)	۰-۰/۲۷	جزایر فریسن (هلند)
(Hidalgo-Ruz and Thiel, 2013)	۱-۸۰۵	جنوب شرقی اقیانوس آرام (شیلی)
(Mathalon and Hill, 2014)	۱۰۵-۸۰۰	بندر هالیفاکس (کانادا)
(Dekiff et al., 2014)	۱-۶۳۵	نوردنی (آلمان)
(Qiu et al., 2015)	۶۹۱۲	خلیج بیبو (چین)
(Yu et al., 2016)	۱۰۳ - ۱۱۸	دریای بوهای (چین)
(Bergmann et al., 2017)	۴۳۵۶	اعماق دریای قطب (قطب شمال)
(Frère et al., 2017)	۰/۹۷	خلیج برست (فرانسه)
(Matsuguma et al., 2017)	۱۸۴۵	خلیج توکیو (ژاپن)
(Naji et al., 2017)	۳۶ - ۱۲۵	خلیج فارس (ایران)
(Nuri and Naji, 2017)	۶/۳۶ و ۲۶/۵	لشتگان و گلکن، خلیج فارس (ایران)
(Akhbarizadeh et al., 2018)	۱۶۵۰	جزیره خارک (ایران)
(Esmaili and Naji, 2018)	۱۴۲۲	خورهای هرمزگان، خلیج فارس (ایران)
(Abbasi et al., 2019)	۲-۱۴۲	خلیج فارس (ایران)
(Zhang et al., 2019)	۶۰-۶۱۰	جزیره ژیشا (چین)
(Zhang et al., 2019)	۴-۱۰۰	جزیره نانشا (چین)
(Zhang et al., 2019)	۶۰-۹۰	جزیره ویزو (چین)
(Zhang et al., 2019)	۵۰-۵۳۰	جزیره سانیا (چین)
(Soltani, 2023)	۸۷ و ۷۳، ۲۸	مطالعه حاضر (جزایر مرجانی شیدور، کیش و قشم)

بحث

امروزه خلیج فارس در معرض تخلیه مستقیم و غیرمستقیم طیف وسیعی از مواد آلاینده رودخانه‌ها، رواناب‌های سطحی و زهاب اراضی دور از ساحل، مواد خروجی صنعتی، خانگی، تأسیسات اکتشاف و پالایش نفت خام و مشتقات آن، حمل‌ونقل دریایی، توسعه شهرنشینی، گردشگری نابخردانه و بسیاری دیگر از آلاینده‌ها به‌ویژه میکروپلاستیک‌ها (MPs) با چالش جدی مواجه شده است. پس از ورود پلاستیک در اندازه‌های مختلف به محیط‌زیست دریایی، در ابتدا تحت تأثیر اشعه ماوراء بنفش و هوازگی به قطعات کوچک‌تر شکسته شده (Wang et al., 2020) و در اندازه میکروپلاستیک آن (بین ۱ تا ۵ میلی‌متر) از قابلیت تجمع در آبزیان صافی‌خوار (فیلترفیدر) اکوسیستم‌های دریایی و زنجیره غذایی انسان برخوردار می‌شوند (Li et al., 2023).

براساس نتایج به‌دست آمده شکل غالب ذرات میکروپلاستیک شناسایی‌شده در رسوبات دریایی جزایر مورد مطالعه به‌ترتیب فراوانی فیبر (۶۲/۷٪)، قطعه (۲۹/۸٪)، فیلم (۵/۹٪) و گلوله (۱/۶٪) ذره در ۳۰۰ گرم رسوب خشک می‌باشد. در پژوهش‌های صورت گرفته توسط Nuri و Naji (۲۰۱۷) بر روی رسوبات غربی استان هرمزگان، Esmaili و Naji (۲۰۱۸) در خورهای خلیج فارس (آذینی، یکشنبه، گورسوزان، سورو و بوستانو) و مطالعات Kor و همکاران (۲۰۲۰) در رسوبات شمال دریای عمان شکل غالب میکروپلاستیک‌ها، فیبر گزارش شده است که تحقیقات آنها با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد. از تعداد ۱۸۸ ذره میکروپلاستیک استخراج‌شده از رسوبات دریایی، بیشترین درصد ذرات مشاهده شده (۴۶/۳٪) و همچنین بیشترین فراوانی الیاف (۵۹ ذره در ۳۰۰ گرم رسوب خشک) در جزیره قشم شمارش شد. قشم به‌عنوان بزرگ‌ترین جزیره خلیج فارس از جاذبه‌های طبیعی، گردشگری و اقتصادی بی‌شماری برخوردار بوده، که این موضوع سالانه باعث ورود تعداد زیادی گردشگر و مسافر به این جزیره شده است. از طرفی وجود فعالیت‌های صیادی (سنتی و صنعتی) و انواع طناب‌ها و تورهای مورد استفاده در ماهی‌گیری نیز از دیگر دلایل حضور و فراوانی بالاتر الیاف (Gallagher et al., 2016; Li et al., 2016; Abootalebi Jahromi et al., 2021) در این جزیره می‌باشد. پس از جزیره قشم بالاترین فراوانی میکروپلاستیک‌های مشاهده شده و بالاترین تعداد فیبر

شمارش شده به جزیره کیش اختصاص دارد، که این جزیره نیز از جمله مقاصد مهم گردشگری بسیاری از مردم کشور می‌باشد. جزیره شیدور که در سال ۱۹۹۹ میلادی به دلیل اهمیت جزایر مرجانی با وسعت ۸۷۰ هکتار به عنوان چهارمین تالاب بین‌المللی استان هرمزگان در کنوانسیون رامسر به ثبت رسیده، به عنوان پناهگاه حیات وحش (پرندگان، لاک‌پشت‌های دریایی، ماهی‌ها و دلفین‌ها) مورد حفاظت قرار دارد. همچنین این جزیره در فهرست مهم‌ترین آبسنگ‌های مرجانی اتحادیه جهانی حفاظت از طبیعت (IUCN) نیز ثبت شده است. در سال‌های اخیر گردشگری نابخردانه و فعالیت‌های تفرجی مدیریت نشده را می‌توان یکی از مهم‌ترین عوامل حضور آلاینده‌های میکروپلاستیک در رسوبات پیرامون جوامع مرجانی این تالاب برشمرد. به‌طور کلی جزیره شیدور پایین‌ترین میزان حضور میکروپلاستیک‌ها را در مقایسه با جزایر قشم و کیش نشان داد که دلیل این مهم یک امر منطقی به نظر می‌رسد زیرا جزیره شیدور به عنوان منطقه حفاظت‌شده آبسنگ‌های مرجانی و تالاب بین‌المللی تعیین شده است. در کل ترتیب بیشترین تا کمترین فراوانی MP‌های مشاهده شده در رسوبات دریایی جوامع مرجانی جزایر مورد مطالعه در قشم < کیش < شیدور مشاهده شد.

در رنگ‌بندی ذرات پلاستیک رنگ سفید با ۳۱٪ غالب‌ترین رنگ و پس از آن رنگ‌های آبی (۲۵٪)، سیاه (۱۴٪) و سایر رنگ‌ها مجموعاً با ۳۰٪ در رده‌های بعدی تنوع رنگ‌های مشاهده شده در رسوبات دریایی محدوده مطالعاتی می‌باشند. در پژوهش‌های صورت گرفته توسط Abbasi و همکاران (۲۰۱۹) بر روی رسوبات خلیج فارس، رنگ سفید به عنوان رنگ غالب ذرات میکروپلاستیک گزارش شده است که با نتایج این تحقیقات نیز همخوانی دارد. از آنجا که عمده پلاستیک‌های تولیدشده توسط بشر عموماً به رنگ سفید و سیاه هستند، مشاهده این نتایج با فراوانی بیشتر آنها در جهان و منطقه مورد مطالعه دور از انتظار نیست. در بررسی‌های Zhang و همکاران (۲۰۱۹) بر روی اکوسیستم‌های مرجانی جزایر ژیشا، نانشا، ویژو و سانیا در چین، رنگ قرمز بالاترین درصد تنوع رنگی میکروپلاستیک‌های آن جزایر را شامل شده بود که با یافته‌های پژوهش حاضر متفاوت است. به‌طور کلی تنوع رنگی میکروپلاستیک‌ها، نشان از منابع مختلف آزادسازی آنها در محیط زیست است (Gallagher *et al.*, 2016). همچنین ثابت شده است که رنگ‌های مختلف میکروپلاستیک‌ها، ریسک بلعیده شدن آنها توسط آبزیان را نیز افزایش می‌دهد (Costa *et al.*, 2010).

اندازه‌های ۱۸۸ ذره میکروپلاستیک جمع‌آوری شده از رسوبات تنها در محدوده‌های ۲۵-۲۵۰ و ۲۵۰-۵۰۰۰ میکرومتر به ترتیب برابر با ۱/۰۶٪ و ۹۸/۹۴٪ مشاهده شد. Akhbarizadeh و همکاران (۲۰۱۸) تعداد ۱۶۵۰ میکروپلاستیک استخراج شده از ۲۰۰ گرم رسوب خشک جزیره خارک در اندازه‌های مختلف از ۱۰۰-۵۰۰۰ میکرومتر مشاهده نمودند که بیشترین تعدادشان در محدوده ۱۰۰ میکرومتر اندازه‌گیری شدند اما در پژوهش حاضر بیشتر میکروپلاستیک‌ها در محدوده ۲۵۰-۵۰۰۰ قرار گرفته‌اند که یکی از دلایل این امر می‌تواند ناشی از تفاوت در فرآیند نمونه‌برداری، مواد و روش کار باشد. Kor و همکارانش (۲۰۲۰) در بررسی‌های ۲۵۶۹ ذره از ۲۵۰ گرم رسوبات خشک‌شده منطقه شمال دریای عمان مشاهده نمودند که اندازه ۶۳/۶٪ ذرات در محدوده‌های ۱۰۰-۵۰۰ و ۵۰۰-۱۰۰۰ و پس از آن اندازه ۲۰/۶٪ و ۱۵/۸٪ ذرات نیز به ترتیب در محدوده‌های ۱۰۰۰-۳۰۰۰ و ۳۰۰۰-۵۰۰۰ میکرومتر قرار گرفته، که با اندازه ذرات مطالعه کنونی نزدیکی دارند. عموماً، پلاستیک‌ها تخلخل یا بار ذاتی قابل توجهی ندارند، اما در اثر سائیدگی یا رسوب مواد آلی یا معدنی با توجه به نسبت سطح بزرگ به حجم‌شان (Ivar do Sul and Holmes *et al.*, 2015; Van Cauwenberghe *et al.*, 2015; Costa, 2014) می‌توانند سطح باردار مناسبی برای سایر یون‌های فلزی (Holmes *et al.*, 2014; *al.*, 2012) و ترکیبات آب‌گریزی مانند هیدروکربن‌های نفتی باشند (Claessens *et al.*, 2011; Ivar do Sul and Costa, 2014).

طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه نشان داد که پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن و پلی‌استایرن مجموعاً با ۶۳٪ شایع‌ترین میکروپلاستیک‌ها و پس از آن پلی‌امید (۲۱٪)، PVC (۱۱٪) و سایر میکروپلاستیک با ۵ درصد (PES < ABS < PC) دیگر پلیمرهای موجود در رسوبات دریایی را شامل می‌شوند. در مطالعات صورت گرفته توسط Zhang و همکاران (۲۰۱۹) بر روی اکوسیستم‌های مرجانی جزایر ژیشا، نانشا، ویژو و سانیا در چین، PP به عنوان پلیمر غالب رسوبات دریایی آن جزایر شناسایی شد. Hosseini و همکاران (۲۰۲۰) پلی‌اتیلن را پلیمر غالب رسوبات خلیج چابهار معرفی کردند. Maghsodian و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی پلی‌استایرن را پلیمر غالب جنگل‌های حرا واقع در خلیج فارس (خلیج و پارک ملی نایبند، جزیره نخیلو و

بردستان) شناسایی کردند. در مطالعه‌ای دیگر Mehdiinia و همکاران (۲۰۲۰) پلی‌اتیلن و پلی‌استایرن را پلیمر غالب رسوبات جنوبی دریای خزر گزارش نمودند. Neelavannan و همکاران (۲۰۲۲) در ارزیابی آلودگی میکروپلاستیک‌ها در رسوبات واقع در شمال غربی هیمالیا (هند)، پلیمرهای PA، PS، PVC و PP را نوع غالب میکروپلاستیک‌های این دریاچه معرفی نمودند که این نتایج پژوهشگران با مطالعات حاضر مطابقت دارد. پلی‌اتیلن به‌عنوان مواد اولیه در کیسه‌های پلاستیکی، فیلم‌های پلاستیکی، بطری‌ها و غیره کاربرد فراوانی دارد. تنها در سال ۲۰۰۹ حدود ۲۶۳ تن ریزدانه پلی‌اتیلن جهت استفاده در محصولات صابون مایع در آمریکا تولید شده است (Gouin et al., 2011). رشته‌های پلی‌آمید (نایلون) در صنعت ماهی‌گیری به‌عنوان نخ قلاب بسیار مصرف می‌شود. پلی‌وینیل کلراید (PVC) به‌طور گسترده در اسباب‌بازی کودکان (Dang et al., 2008) و نیز به‌عنوان عایق کابل، شیلنگ، کفش، ورق، کف‌پوش و زیرانداز کاربرد دارد (Crawford and Quinn, 2016). Huang و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که PVC می‌تواند به‌راحتی توسط مرجان‌ها پس از غرق‌شدن، بلعیده شود. همچنین ثابت شده است که میکروپلاستیک‌ها به مرجان‌هایی که سطح‌شان ناهموارتر است، بیشتر می‌چسبند (Ding et al., 2019).

دلیل حضور پلیمرهای PE، PP و PS در رسوبات اکوسیستم‌های مرجانی جزایر مورد مطالعه با توجه به چگالی پایین‌تر در مقایسه با آب دریا، می‌تواند در اثر هوازدهی و یا تجمع مواد رسوبی در میکروپلاستیک‌ها باشد. به‌عنوان مثال ثابت شده است که PE در اثر عوامل محیطی نظیر هوازدهی، چگالی‌اش افزایش می‌یابد و یا تجمع زیست‌توده چگالی این میکروپلاستیک‌ها را بالاتر و منجر به غرق شدن آنها می‌شود (Crawford and Quinn, 2016)، که با این استنباط‌ها حضور برخی پلیمرها نظیر PE، PP و PS با چگالی پایین‌تر از آب در رسوبات دریایی توجیه‌پذیر است. Reichert و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی پاسخ مرجان‌ها پس از قرار گرفتن در معرض میکروپلاستیک‌ها مشاهده نمودند که رسوبات حاوی ذرات میکروپلاستیک چگال‌تر در مقایسه با MPهای دارای چگالی کمتر، اثرات سوء بیشتری روی مرجان‌ها برجای گذاشته‌اند. به‌طور کلی صخره‌های مرجانی کم‌عمق و جزایر مرجانی می‌توانند انرژی امواج را به‌دلیل ساختار سه‌بعدی خود به‌میزان قابل توجهی کاهش دهند (Péquigniet et al., 2011; Hardy and Young, 1996)، که این می‌تواند به رسوب MPs در آب و تجمع آنها در اطراف جزایر مرجانی کمک کند (Tan et al., 2020).

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

رشد فزاینده ناشی از افزایش جمعیت در کشورهای درحال توسعه مناطق گرمسیری و مهاجرت به مناطق ساحلی واجد صخره‌های مرجانی از یک سو و از سویی روند توسعه مدیریت نشده گردشگری آن هم از نوع ناپایدار جزایر در محدوده شمال خلیج فارس، بزرگ‌ترین خطر برای آبسنگ‌های مرجانی آن نواحی محسوب می‌گردد. نظر به اینکه بیشتر عوامل تخریب و کاهش وسعت جوامع مرجانی در منطقه مطالعاتی پژوهش ناشی از فقدان دانش کافی ساحل‌نشینان و بهره‌برداران نوار ساحلی از اهمیت و غنای اکوسیستم‌های مرجانی جزایر شمالی است، از این رو داشتن یک مدیریت فعال منابع مرجانی جهت سهیم کردن جوامع محلی از طریق پاک‌سازی منظم سواحل و آموزش عمومی مردم، استفاده از مأمورین اجرایی کارآمد، پشتیبانی و دخیل شدن سازمان‌های دولتی و غیردولتی به‌منظور حفظ، احیاء و پایداری این منابع حساس اکولوژیک ضمن توجه به طرح مدیریت یکپارچه مناطق ساحلی (ICZM) در کشور و سند مصوب این طرح در استان هرمزگان اساسی‌ترین پیشنهاد است.

References

- Abbasi, S., Keshavarzi, B., Moore, F., Shojaei, N., Sorooshian, A., Soltani, N., Delshab, H., 2019. Geochemistry and environmental effects of potentially toxic elements, polycyclic aromatic hydrocarbons and microplastics in coastal sediments of the Persian Gulf. *Environmental Earth Sciences* 78(15), 1-15.
- Abbasi, S., Soltani, N., Keshavarzi, B., Moore, F., Turner, A., Hassanaghahi, M., 2018. Microplastics in different tissues of fish and prawn from the Musa Estuary, Persian Gulf. *Chemosphere* 205(2018), 80-87.

- Abootalebi Jahromi, F., Keshavarzi, B., Moore, F., Abbasi, S., Busquets, R., Hooda, P.S., Jaafarzadeh, N., 2021. Source and risk assessment of heavy metals and microplastics in bivalves and coastal sediments of the Northern Persian Gulf, Hormogzan Province. *Environmental Research* 196(2021), 110963.
- Akhbarizadeh, R., Moore, F., Keshavarzi, B., 2018. Investigating a probable relationship between MPs and potentially toxic elements in fish muscles from northeast of Persian Gulf. *Environmental Pollution* 232(2018), 154-163.
- 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(2017), 720-731.
- Alomar, C., Estarellas, F., Deudero, S., 2016. Microplastics in the Mediterranean Sea: deposition in coastal shallow sediments, spatial variation and preferential grain size. *Marine Environmental Research* 115(2016), 1-10.
- Axelsson, C., Van Seville, E., 2017. Prevention through policy: Urban macroplastic leakages to the marine environment during extreme rainfall events. *Marine Pollution Bulletin* 124(1), 211-227.
- Baldwin, A.K., Corsi, S.R., Mason, S.H.A., 2016. Plastic Debris in 29 Great Lakes Tributaries: Relations to Watershed Attributes and Hydrology. *Environmental Science & Technology* 50(19), 10377-10385.
- Bergmann, M., Wirzberger, V., Krumpfen, T., Lorenz, C., Primpke, S., Tekman, M.B., Gerdts, G., 2017. High Quantities of Microplastic in Arctic Deep-Sea Sediments from the HAUSGARTEN Observatory. *Environmental Science & Technology* 51(19), 11000-11010.
- Blumenröder, J., Sechet, P., Kakkonen, J., Hartl, M., 2017. Microplastic contamination of intertidal sediments of Scapa Flow, Orkney: a first assessment. *Marine Pollution Bulletin* 124(1), 112-120.
- Burt, J., Bartholomew, A., Usseglio, P., 2008. Recovery of corals a decade after a bleaching event in Dubai, United Arab Emirates. *Marine Biology* 154(1), 27-36.
- 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.
- Coppock, R.L., Cole, M., Lindeque, P.K., Queiro's, A.M., Galloway, T.S., 2017. A small-scale, portable method for extracting microplastics from marine sediments. *Environmental Pollution* 230(2017), 829-837.
- Costa, M.F., Ivar do Sul, J.A., Silva-Cavalcanti, J.S., Araujo, M.C., Spengler, A., Tourinho, P.S., 2010. On the importance of size of plastic fragments and pellets on the strandline: a snapshot of a Brazilian beach. *Environmental monitoring and assessment* 168(1), 299-304.
- Crawford, C.H.B., Quinn, B., 2016. *Microplastic Pollutants*. Elsevier Science, 1st edition, 318 p.
- Daly, M., Brugler, M.P., Cartwright, P., Collins, A.G., Dawson, M.N., Fautin, D.G., France, S.C., McFadden, C.S., Opresko, D.M., Rogriguez, E., Romano, S.L., Stake, J.L., 2007. The phylum Cnidaria: A review of phylogenetic patterns and diversity 300 years after Linnaeus. *Zootaxa* 1668(2007), 127-182.
- Dang, H., Li, T., Chen, M., Huang, G., 2008. Cross-ocean distribution of Rhodobacterales bacteria as primary surface colonizers in temperate coastal marine waters. *Applied and Environmental Microbiology* 74(1), 52-60.
- de Sá, L.C., Luís, L.G., Guilhermino, L., 2015. Effects of microplastics on juveniles of the common goby (*Pomatoschistus microps*): confusion with prey, reduction of the predatory performance and efficiency, and possible influence of developmental conditions. *Environmental Pollution* 196(2015), 359-362.
- Dekiff, J.H., Remy, D., Klasmeier, J., Fries, E., 2014. Occurrence spatial distribution of microplastics in sediments from Norderney. *Environmental Pollution* 186(2014), 248-256.
- Devriese, L.I., van der Meulen, M.D., Maes, T., Bekaert, K., Paul-Pont, I., Frère, L., Robbens, J., Vethaak, A.D., 2015. Microplastic contamination in brown shrimp (*Crangon crangon*, Linnaeus 1758) from coastal waters of the Southern North Sea and Channel area. *Marine Pollution Bulletin* 98(1-2), 179-187.
- Ding, J., Jiang, F., Li, J., Wang, Z., Sun, C., Wang, Z., Fu, L., Ding, N.X., He, C.H., 2019. Microplastics in the coral reef systems from Xisha Islands of South China Sea. *Environmental science and technology* 53(14), 8036-8046.

- Duis, K., Coors, A., 2016. Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects. *Environmental Sciences Europe* 28(1), 1-25.
- Esmaili, Z., Naji, A., 2018. Comparison of the frequency, type and shape of microplastics in the low and high tidal of the coastline of Bandar Abbas. *Oceanography* 8(32), 53-61. (In Persian)
- Frère, L., Paul-Pont, I., Rinnert, E., Petton, S., Jaffré, J., Bihannic, I., Soudant, P., Lambert, C., Huvet, A., 2017. Influence of environmental and anthropogenic factors on the composition, concentration and spatial distribution of microplastics: A case study of the Bay of Brest (Brittany, France). *Environmental Pollution* 225(2017), 211-222.
- Gallagher, A., Rees, A., Rowe, R., Stevens, J., Wright, P., 2016. Microplastics in the Solent estuarine complex, UK: an initial assessment. *Marine Pollution Bulletin* 102(2), 243-249.
- Gigault, J., ter Halle, A., Baudrimont, M., Pascal, P.Y., Gauffre, F., Phi, T.L., Hadri, H.E., Grassl, B., Reynaud, S., 2018. Current opinion: what is a nanoplastic? *Environmental Pollution* 235(2018), 1030-1034.
- 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.
- Hall, N.M., Berry, K.L.E., Rintoul, L., Hoogenboom, M.O., 2015. Microplastic ingestion by scleractinian corals. *Marine Biology* 162(3), 725-732.
- Hardy, T.A., Young, I.R., 1996. Field study of wave attenuation on an offshore coral reef. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 101(C6), 14311-14326.
- Hidalgo-Ruz, V., Thiel, M., 2013. Distribution and abundance of small plastic debris on beaches in the SE Pacific (Chile): A study supported by a citizen science project. *Marine Environmental Research* 87(2013), 12-18.
- Holmes, L.A., Turner, A., Thompson, R.C., 2012. Adsorption of trace metals to plastic resin pellets in the marine environment. *Environmental Pollution* 160(2012), 42-48.
- Holmes, L.A., Turner, A., Thompson, R.C., 2014. Interactions between trace metals and plastic production pellets under estuarine conditions. *Marine Chemistry* 167(2014), 25-32.
- Hosseini, R., Sayadi, M.H., Aazami, J., Savabieasfehiani, 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(2020), 111682.
- Huang, Y., Yan, M., Xu, K., Nie, H., Gong, H., Wang, J., 2019. Distribution characteristics of microplastics in Zhubi Reef from South China Sea. *Environmental Pollution* 255(2019), 113133.
- Ivar do Sul, J.A., Costa, M.F., 2014. The present and future of microplastic pollution in the marine environment. *Environmental Pollution* 185(2014), 352-364.
- Jones, G.P., McCormick, M.I., Srinivasan, M., Eagle, J.V., 2004. Coral decline threatens fish biodiversity in marine reserves. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 101(21), 8251-8253.
- Käppler, A., Fischer, D., Oberbeckmann, S., Schernewski, G., Labrenz, M., Eichhorn, K.J., Voit, B., 2016. Analysis of environmental microplastics by vibrational microspectroscopy: FTIR, Raman or both? *Analytical and bioanalytical chemistry* 408(29), 8377-8391.
- Kor, K., Ghazilou, A., Ershadifar, H., 2020. Microplastic pollution in the littoral sediments of the northern part of the Oman Sea. *Marine Pollution Bulletin* 155(2020), 111166.
- Kor, K., Mehdinia, A., 2020. Neustonic microplastic pollution in the Persian Gulf. *Marine Pollution Bulletin* 150(2020), 110665.
- Lee, J., Hong, S., Song, Y.K., Hong, S.H., Jang, Y.C., Jang, M., Heo, N.W., Han, G.M., Lee, M.J., Kang, D., Shim, W.J., 2013. Relationships among the abundances of plastic debris in different size classes on beaches in South Korea. *Marine Pollution Bulletin* 77(1-2), 349-354.
- Li, W., Tse, H., Fok, L., 2016. Plastic waste in the marine environment: a review of sources, occurrence and effects. *Science of Total Environment* 566(2016), 333-349.
- Li, Z., Yang, Y., Chen, X., He, Y., Bolan, N., Rinklebe, J., Lam, S.Sh., Peng, W., Sonne, Ch., 2023. A discussion of microplastics in soil and risks for ecosystems and food chains. *Chemosphere* 313(2023), 137637.

- Liebezeit, G., Dubaish, F., 2012. Microplastics in beaches of the East Frisian islands Spiekeroog and Kachelotplate. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 89(1), 213-217.
- Maghsodian, Z., Sanati, A.M., Ramavandi, B., Ghasemi, A., Sorial, G.A., 2021. Microplastics accumulation in sediments and *Periophthalmus waltoni* fish, mangrove forests in southern Iran. *Chemosphere* 264(2021), 128543.
- Marcelo, de O.S., Matos, E., Lucas, C., Rizzo, L., Allcock, L., Rossi, S., 2020. Microplastics in corals: An emergent threat. *Marine Pollution Bulletin* 161(2020), 111810.
- Mathalon, A., Hill, P., 2014. Microplastic fibers in the intertidal ecosystem surrounding Halifax Harbor, Nova Scotia. *Marine Pollution Bulletin* 81(1), 69-79.
- Matsuguma, Y., Takada, H., Kumata, H., Kanke, H., Sakurai, S., Suzuki, T., Maki, I., Okazaki, Y., Boonyatumanond, R., Zakaria, M.P., Weerts, S., Newman, B., 2017. Microplastics in sediment cores from Asia and Africa as indicators of temporal trends in plastic pollution. *Archives Environmental Contamination and Toxicology* 73(2), 230-239.
- 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. *Environment Pollution* 258(2020), 113738.
- MOOPAM, 2010. *Manual of Oceanographic Observation and Pollutant Analyses Methods*. Regional Organization for the Protection of the Marine Environment, Kuwait (ROPME), 585 p.
- Naji, A., Esmaili, Z., Mason, S.A., Vethaak, A.D., 2017. The occurrence of microplastic contamination in littoral sediments of the Persian Gulf, Iran. *Environmental Science and Pollution Research* 24(25), 20459-20468.
- Naji, A., Nuri, M., Vethaak, A.D., 2018. Microplastics contamination in molluscs from the northern part of the Persian Gulf. *Environmental Pollution* 235(2018), 113-120.
- Neelavannan, K., Sen, I.S., Lone, A.M., Gopinath, K., 2022. Microplastics in the high-altitude Himalayas: assessment of microplastic contamination in freshwater lake sediments, Northwest Himalaya (India). *Chemosphere* 290(2022), 133354.
- Nuri, M., Naji, A., 2017. Evaluation of human origin microplastic contamination in sediments of western coasts of Hormozgan province. In: *Paper Presented at the 4th International Conference on Agriculture, Natural Resources and Sustainable Environment*, Shiraz, Iran. (In Persian)
- Péquignot, A. C., Becker, J., Merrifield, M., Boc, S., 2011. The dissipation of wind wave energy across a fringing reef at Ipan, Guam. *Coral Reefs* 30(Suppl 1), 71-82.
- Poulain, M., Mercier, M.J., Brach, L., Martignac, M., Routaboul, C., Perez, E., Desjean, M.CH., ter Halle, A., 2019. Small microplastics as a main contributor to plastic mass balance in the North Atlantic subtropical gyre. *Environmental Science & Technology* 53(3), 1157-1164.
- Qiu, Q., Peng, J., Yu, X., Chen, F., Wang, J., Dong, F., 2015. Occurrence of microplastics in the coastal marine environment: First observation on sediment of China. *Marine Pollution Bulletin* 98(1-2), 274-280.
- Reichert, J., Schellenberg, J., Schubert, P., Wilke, T., 2018. Responses of reef building corals to microplastic exposure. *Environmental Pollution* 237(2018), 955-960.
- Salmond, J., Schubert, J., 2023. Reef Check Australia South East Queensland Season Summary Report 2021-2022., Reef Check Foundation Ltd., retrieved from https://assets.nationbuilder.com/rca/pages/106/attachments/original/1669792332/SEQ_Report_2021-2022_Final.pdf?1669792332 On the June, 2, 2023.
- Tadiso, T.M., Lie, K.K., Hordvik, I., 2011. Molecular cloning of IgT from Atlantic salmon, and analysis of the relative expression of tau, mu, and delta in different tissues. *Veterinary Immunology and Immunopathology* 139(1), 17-26.
- Tan, F., Yang, H., Xu, X., Fang, Z., Xu, H., Shi, Q., Zhang, X., Wang, G., Lin, L., Zhou, S., Huang, L., Li, H., 2020. Microplastic pollution around remote uninhabited coral reefs of Nansha Islands, South China Sea. *Science of the Total Environment* 725(2020), 138383.
- Van Cauwenberghe, L., Devriese, L., Galgani, F., Robbins, J., Janssen, C.R., 2015. Microplastics in sediments: a review of techniques, occurrence and effects. *Marine Environmental Research* 111(2015), 5-17.
- Wang, W., Ge, J., Yu, X., Li, H., 2020. Environmental fate and impacts of microplastics in soil ecosystems: progress and perspective. *Science of the Total Environment* 708(2020), 134841.

- Wang, X., Li, H., Chen, Y., Meng, X., Dieketseng, M.Y., Wang, X., Yan, S., Wang, B., Zhou, L., Zheng, G., 2022. A neglected risk of nanoplastics as revealed by the promoted transformation of plasmid-borne ampicillin resistance gene by *Escherichia coli*. *Environmental Microbiology* 24(10), 4946-4959.
- Yang, L., Chen, J., Li, H., 2009. Effects of chlorinated polypropylene on the hydrogen-bond and electric property of polypropylene/chlorinated polypropylene/polyaniline composites: FTIR analysis. *Polymer Engineering & Science* 49(3), 462-470.
- Yu, X., Peng, J., Wang, J., Wang, K., Bao, S., 2016. Occurrence of microplastics in the beach sand of the Chinese inner sea: the Bohai Sea. *Environmental Pollution* 214(2016), 722-730.
- Zare Jeddi, M., Rastkari, N., Ahmadkhaniha, R., Alimohammadi, M., Yunesian, M., 2015. Carcinogenic and non-carcinogenic assessment of phthalates exposure through consumption of bottled water during the storage time. *Iranian Journal of Health and Environment* 8(2015), 97-108. (In Persian)
- Zhang, C., Wang, S., Pan, Z., Sun, D., Xie, S., Zhou, A., Wang, J., Zou, J., 2020. Occurrence and distribution of MPs in commercial fishes from estuarine areas of Guangdong, South China. *Chemosphere* 260(2020), 127656.
- Zhang, L., Zhang, SH., Wang, Y., Yu, K., Li, R., 2019. The spatial distribution of microplastic in the sands of a coral reef island in the South China Sea: Comparisons of the fringing reef and atoll. *Science of The Total Environment* 688(2019), 780-786.