



میکروپلاستیک‌ها در خلیج فارس

رازقه اخباری‌زاده (PhD)^{۱*}، ایرج نبی‌پور (MD)^۲، سینا دوبرادران (PhD)^۳

^۱ مرکز تحقیقات بهداشت محیط سیستمی و انرژی، پژوهشکده علوم زیست پزشکی خلیج فارس، دانشگاه علوم پزشکی بوشهر، بوشهر، ایران

^۲ مرکز تحقیقات زیست فناوری پزشکی خلیج فارس، پژوهشکده علوم زیست پزشکی خلیج فارس، دانشگاه علوم پزشکی بوشهر، بوشهر، ایران

^۳ گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بوشهر، بوشهر، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۱/۲۵ - پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱/۲۸)

چکیده

زمینه: میکروپلاستیک‌ها، آلاینده‌های نوظهور و پایداری هستند که در همه بخش‌های محیط زیست پراکنده هستند و می‌توانند به عنوان تهدیدی برای محیط زیست و انسان محسوب شوند.

مواد و روش‌ها: این مقاله مروری به بررسی مقالات منتشر شده در خصوص فراوانی میکروپلاستیک‌ها در آب، رسوبات و آبزیان خلیج فارس می‌پردازد و همچنین روش‌های نمونه‌برداری، آماده‌سازی نمونه‌ها و تشخیص آن‌ها در مقالات مختلف ارائه و جمع‌بندی شده است.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که کشورهای مختلف، سهم بسیار متفاوتی در آلودگی میکروپلاستیکی خلیج فارس دارند؛ به طوری که نتایج گزارش شده از بخش ایران (به خصوص رسوبات ساحلی) چندین برابر بیشتر از کشورهای عربی می‌باشد. به‌طور کلی فیبرهای آبی و سیاه فراوانترین میکروپلاستیک‌های خلیج فارس هستند. میکروپلاستیک‌های کم چگال بیشتر در آب دریا شناسایی شده و میکروپلاستیک‌های با چگالی بیشتر در رسوبات تشخیص داده شده‌اند. حال آنکه نوع پلاستیک‌های شناسایی شده در بدن آبزیان به محل زندگی آن‌ها وابسته است.

نتیجه‌گیری: آلودگی میکروپلاستیک به شدت محیط زیست خلیج فارس را تهدید می‌کند. با اینحال، نبود دستورالعمل یکسان برای انجام مراحل مختلف و ارائه گزارش، مقایسه نتایج به‌دست آمده از مطالعات متفاوت را پیچیده می‌کند. به‌طور مثال، در چهار مطالعه انجام شده در آب‌های خلیج فارس، تعداد میکروپلاستیک‌ها با سه واحد مختلف گزارش شده است. به‌طور مشابه در مورد رسوبات و آبزیان نیز واحد یکسانی وجود ندارد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که مطالعات بیشتری با استفاده از روش‌های یکسان و بهینه در خلیج فارس انجام شود تا نتایج گزارش شده قابل بحث و مقایسه باشند.

واژگان کلیدی: میکروپلاستیک، خلیج فارس، آب دریا، رسوب، آبزیان

* بوشهر، مرکز تحقیقات زیست فناوری دریایی خلیج فارس، پژوهشکده علوم زیست پزشکی خلیج فارس، دانشگاه علوم پزشکی بوشهر، بوشهر، ایران

E-mail: razegheh.azadeh@gmail.com

* ORCID: 0000-0002-9782-5708

مقدمه

آلاینده‌های پلاستیکی از آلاینده‌های نوظهور هستند که به دلیل تولید بالا و تجزیه‌پذیری پایین، محیط زیست را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهند (۱ و ۲). انواع پلاستیک‌ها که هر کدام به گونه‌ای زندگی بشر را تحت تأثیر قرار داده‌اند به شکل‌های مختلف در مصارف خانگی، تجاری، صنعتی و پزشکی کاربرد دارند (۳). تولید سالانه انواع پلاستیک که در سال ۱۹۵۰ میلادی تنها ۱/۷ میلیون تن بود در سال ۲۰۱۷ میلادی به ۳۵۰ میلیون تن رسید (۴ و ۵). بسیاری از ضایعات پلاستیکی (۴/۸ تا ۱۲/۷ میلیون تن) به شکل و اندازه‌های مختلف، در نهایت به دریا و پیکره‌های آبی جهان می‌رسند (۶ و ۷). این حجم از ضایعات پلاستیکی رها شده در محیط زیست، به‌طور مستقیم به تولید بی‌حد مصنوعات پلاستیکی، فقدان روش‌های صحیح برای جمع‌آوری و بازیافت پلاستیک و همچنین رفتار اجتماعی نادرست در بسیاری از جوامع به خصوص کشورهای در حال توسعه، مربوط می‌باشد (۷).

از زمانی که وجود قطعات پلاستیکی برای نخستین بار در جلبک‌های سطح زی سارگاسوم گزارش شد (۸)، مطالعات مختلفی در خصوص حضور پلاستیک‌ها در بخش‌های مختلف کره زمین از جمله مناطق دوردست مانند جنوبگان، قله کوه‌ها و قعر اقیانوس‌ها انجام شده است (۹). از سال ۲۰۰۹ میلادی حضور میکروپلاستیک‌ها در بخش‌های مختلف محیط زیست مورد توجه بسیاری از پژوهشگران سراسر دنیا قرار گرفته است (۱۰). میکروپلاستیک‌ها، قطعاتی از پلاستیک با اندازه کمتر از ۵ میلی‌متر هستند که به دو گروه اولیه و ثانویه تقسیم می‌شوند (۱۱). میکروپلاستیک‌های اولیه، پلاستیک‌هایی هستند که در اندازه میکرومتر تولید شده و در نهایت به محیط زیست راه می‌یابند (۵).

میکروپلاستیک‌های اولیه در صنایع هوا فضا، پزشکی (به‌عنوان حامل دارو)، در لوازم آرایشی و بهداشتی، و پاک‌کننده‌ها استفاده می‌شوند (۱۲). در حالی که میکروپلاستیک‌های ثانویه از خرد و ریز شدن پلاستیک‌های بزرگ به قطعات کوچک‌تر حاصل می‌شوند (۵). خرد و کوچک شدن ذرات پلاستیک نتیجه عملکرد فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی که منجر به کاهش مقاومت ساختاری قطعات پلاستیک می‌شود، رخ می‌دهد (۱۲). هوازدهی مهم‌ترین فرایند مسئول خرد و ریز شدن پلاستیک‌ها است (۱۰). علاوه بر این، فروکاهی نوری نیز در سواحل رخ می‌دهد. اشعه فرا بنفش خورشید باعث اکسایش و در نتیجه شکستگی پیوند شیمیایی بسپارها می‌شود (۱۳). مطالعات اخیر به خوبی نشان می‌دهد که ذرات میکروپلاستیک در همه محیط‌ها به خصوص محیط‌های آبی و بدن آبزیان حضور دارند (۱۴-۱۶).

سرنوشت پلاستیک در محیط آب به وزن مخصوص آن بستگی دارد. بدین‌ترتیب که پلاستیک‌های با وزن مخصوص بیش از آب دریا (۱/۰۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب) در بستر دریا ته‌نشین شده و بر سطح رسوبات بستر نهشته می‌شوند، در حالی که ذرات با وزن مخصوص کمتر از آب دریا در سطح یا لایه‌های میانی آب شناور می‌مانند (۱۲). به دلیل اندازه کوچک، میکروپلاستیک‌ها توسط طیف وسیعی از گونه‌های زیستی از تک‌سلولی تا پستاندار دریایی بلعیده می‌شوند (۱۷). علاوه بر اندازه، آهنگ بلعیده شدن ذرات پلاستیک به شکل، وزن مخصوص و رنگ آن‌ها نیز بستگی دارد (۱۸). تحقیقات انجام شده درباره اثر بلع میکروپلاستیک‌ها توسط اندامگان‌ها نشان می‌دهد که تجمع ذرات میکروپلاستیک در اندام‌ها (۱۹)، انسداد مجاری (۲۰)، التهاب (۱۹)، کاهش انرژی (۲۱) و نقص

تکاملی (۶) از این گونه عوارض است. خطر مسمومیت ناشی از پلاستیک‌ها در نهایت به انسان (آخرین شکارچی و مصرف کننده در زنجیره غذایی) می‌رسد (۱۷).

خلیج فارس یک حوضه نیمه بسته کم عمق به مساحت ۲۴۰,۰۰۰ کیلومتر مربع و میانگین عمق ۳۵ متر است (۲۲)؛ که از لحاظ جغرافیایی میان جمهوری اسلامی ایران و شبه جزیره عربی (کشورهای بحرین، کویت، عمان، عربستان سعودی، قطر، امارات متحده عربی و یمن) واقع شده است (۲۳). این خلیج یکی از مهم‌ترین صیدگاه‌های ماهی ایران است که گونه‌های بسیار متنوع سطح‌زی و کف‌زی در آن صید و مصرف می‌شوند. گونه‌های کف‌زی در نزدیکی بستر دریا زندگی و تغذیه می‌کنند. در حالی که زیستگاه گونه‌های سطح‌زی لایه‌های مختلف ستون آب است (۲۴). با توجه به اینکه رسوبات می‌توانند به عنوان مخزن آلاینده‌ها عمل کنند، رسوبات بستر و همچنین گونه‌های کف‌زی بیشتر در معرض آلودگی قرار دارند (۲۵). از آنجا که خلیج به شدت تحت تأثیر فعالیت‌های مرتبط با نفت (اکتشاف، استخراج، فراوری و انتقال)، تخلیه پساب پاکسازی نشده شهری و صنعتی، شوری بالا (ناشی از دما و تبخیر بالا در منطقه) و جریانات چرخشی محدود قرار دارد، آبریان خلیج در معرض آلودگی‌های شدید انسان‌زاد قرار دارند (۲۳ و ۲۶). طی سال‌های اخیر، مطالعات مختلفی به بررسی حضور میکروپلاستیک‌ها در محیط‌های مختلف خلیج فارس (آب، رسوب و آبریان) پرداخته‌اند که در ادامه این مطالعه مروری به آن‌ها اشاره خواهد شد. اولین مطالعه میکروپلاستیک در خلیج، در سال ۲۰۱۶ و در آب‌های ساحلی کشور قطر انجام شد (۲۷)؛ پس از آن در سال ۲۰۱۷ در ایران حضور میکروپلاستیک‌ها در رسوبات ساحلی برای نخستین

بار گزارش شده است (۲۸ و ۲۹). در اغلب مطالعاتی که در خلیج فارس انجام شده است نوع میکروپلاستیک‌ها و منبع اصلی آن‌ها به درستی تعیین نشده است؛ با این حال به نظر می‌رسد که اغلب میکروپلاستیک‌های موجود در بخش‌های مختلف خلیج از نوع ثانویه هستند.

در این مطالعه مروری، مطالعات انجام شده در مورد حضور میکروپلاستیک‌ها در محیط‌های مختلف خلیج فارس (آب، رسوب و آبریان) بررسی خواهند شد و در نهایت وضعیت خلیج فارس از لحاظ حضور میکروپلاستیک‌ها جمع‌بندی خواهد شد.

موقعیت جغرافیایی و جمعیت پیرامون خلیج فارس

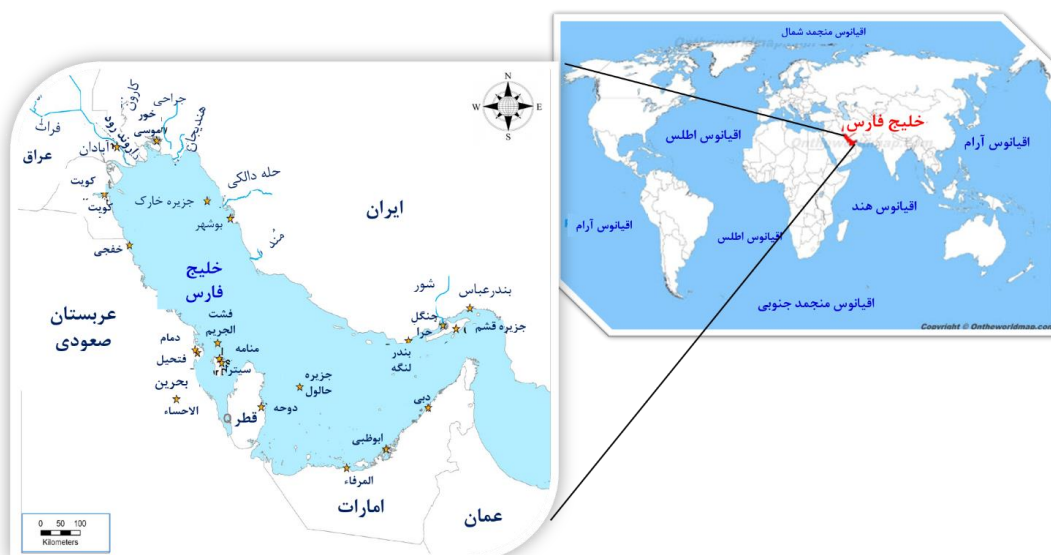
خلیج فارس در خاورمیانه قرار دارد و از طریق تنگه هرمز و دریای عمان به دریای عربی و سپس اقیانوس هند می‌رسد. این خلیج با طول شرقی- غربی ۸۰۵ کیلومتر، پس از خلیج مکزیک و خلیج هادسون، سومین خلیج بزرگ کره زمین است (۲۶) و (۲۹). در این منطقه جزایر مسکونی و غیرمسکونی زیادی وجود دارد. جزایر غیرمسکونی خلیج فارس بیشتر به دلیل حضور مرجان‌ها، علف‌های دریایی، لاک‌پشت‌ها و پرندگان مهاجر حائز اهمیت هستند. طی دهه‌های گذشته، محیط زیست منحصر به فرد خلیج فارس در معرض انواع آلاینده‌های انسانی ناشی از افزایش جمعیت، افزایش فعالیت‌های صنعتی و گسترش صنعت توریسم بوده است (۲۹). جمعیت ساکنان شهرهای پیرامون خلیج فارس طی پنجاه سال اخیر از ۴۶/۵ میلیون نفر به ۱۵۰ میلیون نفر رسیده است و پیش‌بینی می‌شود که این عدد تا سال ۲۰۳۰ به ۲۰۰ میلیون نفر برسد (۳۰). علاوه بر این، این خلیج پتانسیل صید بیش از ۵۵۰ هزار تن آبریان در سال را دارد (۲۶ و ۲۹). بنابراین، علاوه بر فعالیت‌های مرتبط با صنعت نفت در منطقه، تخلیه

انتخاب مقالات و مرور روش‌ها

در این مطالعه مروری مقالاتی که با موضوع حضور میکروپلاستیک‌ها در خلیج فارس تا ماه فوریه سال ۲۰۲۱ به چاپ رسیده‌اند، بررسی شدند. سرچ اولیه در پایگاه‌های بین‌المللی اسکپوس (Scopus)، پاب مد (PubMed)، ساینس دایرکت (ScienceDirect) و پروکوست (ProQuest) و همچنین در پایگاه‌های ملی مرجع دانش (Civilica)، پایگاه مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID) و بانک اطلاعات نشریات کشور (Magiran) با کلمات کلیدی "میکروپلاستیک" و "خلیج فارس"، انجام شد. پس از حذف نتایج تکراری و مقالات مروری، ۲۸ مقاله باقی ماند که در ادامه به بررسی آن‌ها از لحاظ (۱) نوع نمونه، (۲) روش نمونه‌برداری، (۳) آماده‌سازی و تجزیه نمونه‌ها، (۴) تشخیص نمونه‌ها، (۵) فراوانی در محیط، و (۶) نوع میکروپلاستیک‌ها، خواهیم پرداخت.

فاضلاب‌های شهری و صنعتی، فعالیت‌های ماهیگیری نیز می‌تواند آلودگی‌های پلاستیکی در خلیج فارس را گسترش دهد (۲۹).

در شمال و شمال‌غرب خلیج فارس رودخانه‌های زیادی وجود دارند که در نهایت به خلیج فارس می‌ریزند. سیستم رودخانه‌ای اروندرود (شط‌العرب) بزرگ‌ترین ورودی رودخانه‌ای خلیج می‌باشد که رودخانه‌های دجله و فرات عراق و کارون ایران جزیی از این سیستم رودخانه‌ای می‌باشند (شکل ۱). علاوه بر این، رودخانه‌های حله دالکی (بوشهر)، هندیجان (خوزستان)، مَند (بوشهر)، جراحی (خوزستان) و شور (هرمزگان) نیز از سمت ایران به خلیج فارس می‌ریزند (۳۱). از سوی دیگر، هیچ ورودی رودخانه‌ای از سمت جنوب خلیج فارس (کشورهای عربی) به آن نمی‌ریزد و تنها وردی، به‌صورت رواناب‌ها و پساب‌های تولیدی ساکنین این کشورها می‌باشد (شکل ۱). بنابراین، آلاینده‌های پلاستیکی به هر دو صورت مستقیم و غیرمستقیم به خلیج فارس می‌رسند.



شکل ۱) خلیج فارس و ورودی‌های رودخانه‌ای آن (برگرفته از Cunningham et al., ۲۰۱۹ (۳۱) با تغییرات جزئی)

Fig 1) Persian Gulf and the Gulf's riverine inputs (adapted from Cunningham et al., 2019 (31) with minor revision)

روش‌های نمونه‌برداری و تجزیه نمونه‌ها در نمونه‌های مختلف

در بیشتر مطالعات انجام شده، حد بالایی ۵ میلی‌متر، برای قطعه‌های پلاستیکی در همه محیط‌ها در نظر گرفته شده است. این حد اندازه، برای طول میکروپلاستیک‌های فیبری با توجه به سطح مقطع بسیار کوچک آن‌ها در نظر گرفته نمی‌شود و اگر تنها دو بعد آن، در محدوده میکرومتری باشند، میکروفیبر در نظر گرفته می‌شود (۳۲).

- آب دریا

تنها چهار مطالعه به بررسی حضور و فراوانی قطعات میکروپلاستیک در آب‌های خلیج فارس پرداخته‌اند (جدول ۱).

- نمونه‌برداری از آب دریا

نحوه نمونه‌برداری از نمونه‌های آب خلیج فارس در جدول ۱ ارائه شده است. همانطور که مشخص است، در همه مطالعات از تور پلانکتون‌گیری با اندازه مش‌های متفاوت (بیشتر ۱۲۰ میکرومتر) استفاده شده است. با این حال، نوع قایق، سرعت قایق و فواصل نمونه‌برداری در مطالعات مختلف متفاوت است. مهم‌ترین نکته در خصوص این روش کار، حجم بالای نمونه عبور کرده از تور می‌باشد. بنابراین، نمونه‌های پلاستیک بدست آمده می‌توانند نمونه قابل قبولی برای منطقه مورد مطالعه باشند. از سوی دیگر، اندازه مش تور پلانکتون‌گیری از بسیار از میکروپلاستیک‌های حاضر در آب دریا بزرگ‌تر است، بنابراین با استفاده از این روش نمونه‌برداری تعداد بسیار زیادی از میکروپلاستیک‌های موجود در آب دریا مورد ارزیابی قرار نمی‌گیرند. همان‌طور که پیش از این اشاره شد، نخستین مطالعه مربوط به خلیج فارس در آب‌های قطر انجام شده است که در

آن از یک تور پلانکتون‌گیری ۲ متری با دهانه دایره‌ای شکل (قطر ۰/۵ متر) و ابعاد مش ۱۲۰ میکرومتر استفاده شده است (۲۷). در مطالعه دیگری که در آب‌های کشور قطر انجام شده است، از تور با دهانه مستطیل شکل و اضلاع ۱ و ۰/۵ متری با ابعاد مش ۳۰۰ میکرومتر استفاده شده است (۳۳). به‌طور مشابه، در مطالعه‌ای که در کویت انجام شده است از تور ۱/۸ متری با دهانه مستطیل شکل و اضلاع ۰/۷ و ۰/۴ متری با ابعاد مش ۳۰۰ میکرومتر استفاده شده است (۳۴). در حالی که در تنها مطالعه‌ای که در آب‌های خلیج فارس از سمت ایران انجام شده است، از تور ۲/۵ متری با دهانه مستطیلی و اضلاع ۱/۳ × ۰/۳ متر و اندازه مش ۳۰۰ میکرومتر استفاده شده است (۲۶). با اینکه در همه این مطالعات از روش‌های مشابه نمونه‌برداری استفاده شده است، روش ارائه نتایج آن‌ها متفاوت است. برخی از آن‌ها داده‌ها بر حسب کیلومتر مربع گزارش کرده‌اند در حالی که سایرین داده‌ها را در حجم (متر مکعب) بیان کرده‌اند. موضوعات دیگر قابل بحث در این مطالعات، عمق آب و جهت باد در هنگام نمونه‌برداری است. اگر تور روی سطح آب و در خلاف جهت باد حرکت داده شود تعداد کمتری از میکروپلاستیک‌های معلق در آب را جمع می‌کند.

- آماده‌سازی نمونه‌های آب دریا

روش‌های آماده‌سازی نمونه‌های آب در مطالعات مختلف متفاوت بوده است. در نخستین مطالعه‌ای که در آب‌های قطر انجام شده است (۲۷)، ۰/۱ گرم از نمونه باقیمانده روی تور با استفاده از ۲۰ میلی‌لیتر NaOH، شسته شد تا مواد زیستی آن حل شود؛ در حالی که در مطالعه دوم در آب‌های قطر (۳۳)، از آنزیم پروتئیناز K برای حذف مواد آلی استفاده شده است. در مطالعه انجام شده در آب‌های کویت (۳۴)

از محلول NaCl برای جداسازی قطعات میکروپلاستیک از سایر مواد استفاده شده است. در مطالعه انجام شده توسط محققان ایرانی (۲۶) ابتدا نمونه‌ها از الک ۵ میلی‌متر (حد بالایی میکروپلاستیک) عبور داده شد و سپس با استفاده از محلول $ZnCl_2$ قطعات میکروپلاستیک از نمونه‌ها جدا شدند.

جمع‌بندی

با توجه به اینکه تعداد مطالعات انجام شده در خصوص محتوای میکروپلاستیک آب‌های خلیج فارس بسیار محدود است، نمی‌توان نتیجه‌گیری کلی در خصوص آلودگی منطقه‌ای ارائه کرد؛ با این حال به نظر می‌رسد که آب‌های ایران و کویت از سایر نقاط خلیج فارس آلوده‌تر هستند. بیشینه حضور قطعات میکروپلاستیک در مطالعات انجام شده به‌طور معناداری در نزدیکی خروجی پساب‌های شهری و صنعتی، پساب‌های آب‌شیرین کن و مراکز صنعتی رخ داده است. فیبرهای آبی فراوان‌ترین میکروپلاستیک‌ها در آب‌های خلیج فارس گزارش شده‌اند. چگالی آب دریا در بیشتر نقاط کره زمین بین ۱/۰۲ و ۱/۰۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد؛ در حالی که آب خلیج فارس داری چگالی ۱/۰۲۷ و ۱/۰۳۲

گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد (۳۵). با این حال، این چگالی کمتر از بسیاری از پلاستیک‌ها می‌باشد. بنابراین، بسیاری از میکروپلاستیک‌ها تمایل دارند که بر سطح رسوبات خلیج فارس نهشته شوند. از میان انواع مختلف پلاستیک، میکروپلاستیک‌های ساخته شده از پلی‌اتیلن با چگالی پایین (LPDE)، پلی‌پروپیلن (PP)، پلی‌استر (PS)، پلی‌اتیلن با چگالی بالا (HDPE) و برخی از پلی‌اتیلن ترفالات‌ها (PET) در حالتی که خالص باشند (۵) چگالی کمتر از آب دریا دارند و می‌توانند بر سطح آب معلق بمانند. در حالی که چگالی میکروپلاستیک‌های ساخته شده از پلی‌ونیل کلراید (PVC)، پلی‌کربنات (PC)، پلی‌اورتان (PU)، آلکید، نایلون، پلی‌استایرن (PES) و بسیاری از پلی‌اتیلن ترفالات‌ها (PET) بیش از آب دریاست و بر سطح رسوبات نهشته می‌شوند (۵). همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، همه میکروپلاستیک‌های شناسایی شده در آب دریای خلیج فارس دارای چگالی کمتر از آب دریا هستند. بنابراین، استفاده از محلول اشباع NaCl با چگالی ۱/۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌تواند برای جداسازی قطعات میکروپلاستیک از سایر نمونه‌های معلق در آب کارآمد باشد.

جدول ۱) میکروپلاستیک‌ها در آب‌های خلیج فارس

کشور	نوع نمونه	روش نمونه - برداری	تعداد نمونه	روش‌های تشخیص	تعداد میکروپلاستیک‌ها	فراوان‌ترین شکل/رنگ	نوع میکروپلاستیک غالب	مرجع
قطر	آب زیر لایه سطحی	تور پلانکتون‌گیری با مش ۱۲۰ میکرون	۱۲	میکروسکوپ نوری - FT-IR	۳۰ (میانگین ۰/۷۱ قطعه در متر مکعب)	فیبر / آبی	PE, LDPE, PP, PS	(۲۷)
قطر	آب سطحی	تور پلانکتون‌گیری با مش ۳۰۰ میکرون	۴	FT-IR/ FT-NIR	۱۸ قطعه	فیبر / آبی	LDEP, PS, PP	(۳۳)
ایران (شمال خلیج فارس)	آب سطحی	تور پلانکتون‌گیری با مش ۳۰۰ میکرون	۱۵	میکروسکوپ نوری - FT-IR	۸۹۹ (میانگین ۰/۰۱۸ قطعه در مترمربع)	فیبر / آبی	-	(۲۶)
کویت	آب سطحی	تور پلانکتون‌گیری با مش ۳۰۰ میکرون	۴۰	میکروسکوپ نوری - میکرو رامن	۱۲ قطعه	فیبر / سبز	PP, PE	(۳۴)
۱: پلی پروپیلن (Polypropylene)، ۲: پلی اتیلن با چگالی کم (Low density polyethylene)، ۳: پلی اتیلن (Polyethylene)، ۴: پلی استر (Polyester)								

-رسوب
 از میان مطالعات مربوط به بررسی محتوای میکروپلاستیک در محیط‌های مختلف خلیج فارس، رسوبات بیشترین توجه را به خود جلب کرده‌اند
 به‌طوری که تاکنون، چهارده مقاله به بررسی حضور میکروپلاستیک‌ها در رسوبات خلیج فارس پرداخته‌اند (جدول ۲).

جدول ۲) میکروپلاستیک‌ها در رسوبات خلیج فارس								
کشور	نوع نمونه	روش نمونه‌برداری	تعداد نمونه	روش‌های تشخیص	تعداد میکروپلاستیک‌ها	فراوان‌ترین شکل/ رنگ	نوع میکروپلاستیک غالب	مرجع
قطر	ناحیه جزرومدی	قاب فلزی	۸	FT-IR	۱۰۶ (میانگین) ۱۳/۵ قطعه در کیلوگرم	فیبر / آبی	PET, PP, LDPE	(۳۳)
ایران (تنگه هرمز)	ناحیه جزرومدی	قاب فلزی	۵	SEM-FT-IR	۲۰۹ (میانگین) ۱۹/۵ قطعه در کیلوگرم	فیبر / -	-	(۲۹)
	ساحلی	قاشق استیل	۵	میکروسکوپ نوری-FTIR	۳۰۷ (میانگین) ۶۱ قطعه در کیلوگرم	فیبر / -	PET, PE	(۴۱)
ایران (بوشهر)	ساحلی	قاب فلزی	۹	میکروسکوپ فلئورسانس	۸۲۶۱۲ (میانگین) ۹۱۸۰ قطعه در متر مربع	- / سفید	-	(۴۰)
	ساحلی	چنگک استیل	۱۸	میکروسکوپ نوری، SEM-EDX	۵۷۷ (میانگین) ۱۲/۰۲ قطعه در ۲۰۰ گرم	فیبر / سفید	-	(۴۶)
ایران (نابیند)	ناحیه جزرومدی	قاشق استیل	۵	میکروسکوپ نوری-رامان	۲۶۵۷ (میانگین) ۶۶۴ قطعه در کیلوگرم	فیبر / سیاه	PET, PS, PP	(۴۷)
ایران (بندرعباس)	ساحلی	بیلچه	۳۷	میکروسکوپ نوری-FTIR	۱۹۵۱۰۴ (میانگین) ۳۲۵۲ قطعه در متر مربع	فوم / -	PP, PE, PET	(۴۲)
	ناحیه جزرومدی	مغزه (Core)	۳	میکروسکوپ نوری	۵۸۰ (میانگین) ۱۹۳/۳ قطعه در کیلوگرم	فیبر / سفید	-	(۴۳)
ایران (شمال خلیج فارس)	رسوب بستر	بیلچه استیل	۵	میکروسکوپ نوری-FT-IR-SEM-EDX	۲۰۹ (میانگین) ۲۷/۲ قطعه در کیلوگرم	فیبر / سیاه	PE, nylon	(۴۸)
امارات	ساحلی	قاب و بیلچه	۱۶	میکروسکوپ نوری-FT-IR	۳۳۶۶ (میانگین) ۵۹/۷ گرم در کیلوگرم	فیبر / آبی	PE, PP	(۳۹)
کویت	ساحلی	قاب فلزی	۴۴	میکروسکوپ نوری-رامان	۳۷ قطعه در	فیبر / آبی	HDPE, PP, PS	(۳۴)
ایران (جزیره خارک)	ساحلی	بیلچه استیل	۱۱	میکروسکوپ نوری-SEM-EDX	۱۶۵۰ (میانگین) ۱۵۰ قطعه در ۲۰۰ گرم	فیبر / سیاه	-	(۲۸)
ایران (خور موسی)	رسوب بستر	بیلچه و چنگک	۱۵	میکروسکوپ نوری	میانگین ۷۵ قطعه در کیلوگرم	فیبر / سیاه	-	(۳۷)
ایران (بندر لنگه)	ناحیه جزرومدی	قاشق استیل	۳۳	میکروسکوپ نوری-FT-IR-SEM-EDX	۴۶ قطعه در کیلوگرم	فیبر / سیاه	-	(۳۸)

۱: پلی اتیلن با چگالی کم (Low density polyethylene)، ۲: پلی پروپیلن (Polypropylene)، ۳: پلی اتیلن ترفتالات (Polyethylene Terephthalate)،
 ۴: پلی اتیلن (Polyethylene)، ۵: پلی استر (Polyester)، ۶: نایلون، ۷: پلی اتیلن با چگالی بالا (High density polyethylene)

- نمونه برداری از رسوب

همان‌طور که در جدول ۲ مشخص است تعداد نمونه‌های رسوب در مطالعات مختلف متفاوت است. علاوه بر این، برای بررسی تعداد میکروپلاستیک در رسوبات ساحلی خلیج فارس بین ۱ تا ۶ نمونه رسوب در هر ایستگاه برداشته شده است. در برخی مطالعات، نمونه رسوب با استفاده از بیلچه، قاشق استیل و چنگک استیل برداشته شده است. حال آنکه، در برخی از مطالعات از قاب‌های فلزی با اندازه $0/25 \times 0/25$ متر، $0/3 \times 0/3$ متر و 1×1 متر برای نمونه برداری رسوب استفاده شده است. بنابراین، داده‌ها در مقالات مختلف بر اساس تعداد در متر مربع، یا تعداد میکروپلاستیک در کیلوگرم رسوب گزارش شده است. با این حال، در هیچ یک از مطالعات انجام شده چگالی دقیق رسوب و همچنین وزن اولیه نمونه را گزارش نکرده‌اند. به طور کلی، سواحلی که رسوبات گلی دارند، کم انرژی‌تر هستند و محیط‌های مناسب‌تری برای انباشت مواد محسوب می‌شوند (۳۶). بنابراین، چنین محیط‌های از لحاظ پتانسیل حضور میکروپلاستیک‌ها غنی‌تر هستند.

- آماده‌سازی نمونه‌های رسوب

در بسیاری از مطالعات انجام شده، ابتدا رسوب خشک شده (در دمای محیط یا آون با دمای ۶۰ درجه)، از الک‌های با سایزهای مختلف عبور داده شده و پس از حذف مواد آلی، از روش جدایش چگالی با استفاده از محلول‌های با چگالی مختلف برای جداسازی میکروپلاستیک‌ها استفاده شده است. در مطالعات (۲۸، ۳۳ و ۳۷-۳۹). از روش دو مرحله‌ای یا تک مرحله‌ای جدایش ثقلی استفاده شده است. در روش‌های دو مرحله‌ای ابتدا از محلول NaCl با چگالی $1/2$ گرم بر سانتی‌متر مکعب استفاده شده است و سپس محلول NaI یا KI با

چگالی بیش از $1/6$ گرم بر سانتی‌متر مکعب، مورد استفاده قرار گرفته است. در حالی که در روش تک مرحله‌ای تنها از یک محلول استفاده می‌شود. در مطالعه انجام شده توسط دوبرادران و همکاران (۴۰)، ابتدا نمونه‌های رسوب در محلول اشباع NaCl غوطه‌ور شده و سپس از فیلتر $2/5$ میکرومتری برای بازیابی قطعات میکروپلاستیک استفاده شده است. در حالی که در مطالعاتی که توسط ناجی و همکاران انجام شده است (۲۹ و ۴۱)، از روش دو مرحله‌ای محلول اشباع NaCl و جریان هوا برای معلق‌سازی میکروپلاستیک استفاده شده است. نبی‌زاده و همکاران (۴۲) ابتدا رسوبات را از الک با اندازه ۵ و ۱ میلی‌متر عبور دادند و سپس از روش جدایش چگالی (KI) برای هر دو فرکشن استفاده کردند. در مطالعه مربوط به رسوبات زیرسطحی بندرعباس (۱۰) سانتی‌متر (۴۳)، ابتدا از روش تک مرحله‌ای جدایش ثقلی با استفاده از محلول KI با چگالی $1/55$ گرم بر سانتی‌متر مکعب استفاده شد. پس از جداسازی میکروپلاستیک‌ها و مواد معلق با استفاده از فیلتر 38 میکرومتر، نمونه‌ها در $35\% \text{ H}_2\text{O}_2$ غوطه‌ور شدند و در مرحله بعد با $4/5 \text{ HCl}$ درصد شستشو داده شدند و در نهایت از فیلتر عبور داده شدند. با توجه به اینکه هیدروژن پر اکسید 35% درصد می‌تواند بر رنگ میکروپلاستیک‌ها اثر بگذارد (۴۴)، استفاده از آن توصیه نمی‌شود.

جمع‌بندی

با توجه به مطالعاتی که در رسوبات بخش‌های مختلف خلیج فارس انجام شده است، رسوبات ایران بسیار آلوده‌تر از بخش‌های جنوبی خلیج فارس است. یکی از دلایل احتمالی می‌تواند ورود قطعات میکروپلاستیک از بخش‌های ایران مرکزی و شمال عراق با بارش‌های جوی و ورودی‌های رودخانه‌ای (شکل ۱) به خلیج فارس باشد. علاوه بر این، روش

(مانند LDPE, PP و PS) نیز در رسوبات خلیج فارس گزارش شده است.

- آبریان

تاکنون، ده مقاله به بررسی حضور میکروپلاستیک‌ها در آبریان خلیج فارس پرداخته اند (جدول ۳).

نمونه‌برداری از آبریان

از میان آبریان متفاوتی که در خلیج فارس زندگی می‌کنند، بیشترین توجه برای بررسی حضور میکروپلاستیک‌ها به ماهی‌ها معطوف بوده است. نمونه‌های آبریان خوراکی و غیرخوراکی خلیج فارس در مطالعات متفاوت یا به صورت مستقیم صید شده‌اند یا از فروشندگان/ صیادان محلی خریداری شده‌اند. اگر چه روش نمونه‌برداری در محتوای میکروپلاستیک نمونه‌ها تأثیری ندارد، اما محل نمونه‌برداری، محل زندگی آبری (سطح‌زی- کف‌زی) و تغذیه آبری (گوشت‌خوار، گیاه‌خوار، همه چیزخوار) بسیار مهم است. بیشتر مطالعات انجام شده به زیست انباشت (bioaccumulation) میکروپلاستیک در بافت‌های مختلف بدن آبریان پرداخته‌اند و تنها یک مطالعه به بررسی زیست بزرگ‌نمایی (biomagnification) میکروپلاستیک‌ها در آبریان خلیج فارس اشاره کرده است (۴۹). علاوه بر این، تاکنون مطالعه‌ای در خصوص دفع میکروپلاستیک‌ها از بدن آبریان و حضور آن‌ها در مدفوع آبریان خلیج فارس انجام نشده است.

آماده‌سازی نمونه‌های آبریان

در مطالعات مختلف از روش‌های متفاوتی برای هضم آبریان استفاده شده است (جدول ۳). بر اساس نتایج به دست آمده از مطالعه کرمی و همکاران (۴۴)، روش هضم به شدت بر محتوای پلاستیک آبریان مؤثر است. به طوری که استفاده از H_2O_2 ۳۵ درصد

جدایش میکروپلاستیک از رسوبات نیز می‌تواند تأثیر بسزایی در غلظت میکروپلاستیک‌های گزارش شده داشته باشد. به طور مثال، در برخی مطالعات انجام شده در خلیج از محلول اشباع NaCl برای جدایش ثقیلی قطعات میکروپلاستیک استفاده شده است؛ از آنجا که چگالی محلول NaCl تنها ۱/۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب و پایین‌تر از بسیاری از پلاستیک‌ها می‌باشد، احتمال دارد که قطعات میکروپلاستیک به طور کامل از نمونه‌های رسوب در این مطالعات جدا نشده باشند. در حالی که در مطالعاتی که از محلول با چگالی بیش از ۱/۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب استفاده کرده‌اند، تعداد میکروپلاستیک‌های گزارش شده بیشتر قابل اعتماد است. بر اساس نتایج به دست آمده، بیشینه حضور قطعات میکروپلاستیک در رسوبات خلیج فارس به طور معناداری در نزدیکی خروجی پساب‌های شهری و صنعتی، پساب‌های آب‌شیرین کن و مراکز صنعتی رخ داده است. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، فیبرها فراوان‌ترین شکل میکروپلاستیک‌ها در رسوبات خلیج فارس را تشکیل می‌دهند. از لحاظ رنگ، رنگ‌های آبی، سیاه و سفید فراوان‌ترین رنگ‌های گزارش شده از رسوبات خلیج فارس هستند. مشاهده رنگ‌های متنوع قطعات نشان دهنده منابع متفاوت آلودگی است (۴۵).

همان‌طور که در بخش پیشین (آب دریا) اشاره شد، چگالی قطعات میکروپلاستیک نقش تعیین‌کننده‌ای در توزیع قطعات بین آب و رسوب دارد، زیرا قطعات با چگالی بیش از آب دریا بر بستر دریا نهشته می‌شوند. علاوه بر چگالی اولیه، تأثیرات زیستی ناشی از بلع و دفع قطعات میکروپلاستیک توسط آبریان (biofouling) نیز می‌تواند چگالی قطعات میکروپلاستیک را افزایش دهد (۳۵). به همین دلیل حضور برخی از میکروپلاستیک‌هایی که در حالت خالص چگالی کمتر از آب دریا دارند

و ۵۵-۵۳) و در برخی مطالعات تنها از H_2O_2 ۳۰ درصد (۳۸ و ۵۶) برای هضم بخش‌های مختلف بدن آبزبان استفاده شده است. پس از هضم، نمونه‌ها از فیلتر با اندازه مختلف (از ۰/۲ میکرومتر تا ۲۵ میکرومتر) عبور داده شده تا میکروپلاستیک‌ها روی سطح فیلتر باقی بمانند.

و هضم اسیدی (HCl و HNO_3) می‌تواند باعث آسیب به میکروپلاستیک‌ها شود (۴۴ و ۵۰). با این حال برخی پژوهشگران از ترکیب اسید رقیق شده و هیدروژن پر اکسید (HCl ۶ مولار و ۲۵ میلی‌لیتر H_2O_2) و $NaOH$ ۱۰ مولار برای هضم اندام‌های آبزبان استفاده کرده‌اند (۵۱ و ۵۲). علاوه بر این، در برخی مطالعات از محلول KOH ۱۰ درصد (۴۷، ۴۹

جدول ۳) میکروپلاستیک‌ها در آبزبان خلیج فارس

کشور	نوع نمونه	روش نمونه برداری	تعداد نمونه	روش‌های تشخیص	تعداد میکروپلاستیک‌ها	فراوان‌ترین شکل/رنگ	نوع میکروپلاستیک غالب	مرجع
ایران (خور موسی)	ماهی و میگو	تور	۴۶ ماهی و ۱۲ میگو	میکروسکوپ نوری - SEM-EDX	۰/۳۴ قطعه در هر g ماهی ۱/۵۱ قطعه در هر g میگو	فیبر / سیاه	-	(۵۴)
ایران (بوشهر)	ماهی، خرچنگ، میگو	خرید از فروشندگان محلی	۵ ماهی، ۲۸ خرچنگ و ۳۳ میگو	میکروسکوپ نوری - SEM-EDX	۰/۲۴ قطعه در هر g ماهیچه ۰/۲۶ قطعه در هر g ماهیچه خرچنگ ۰/۳۶ قطعه در هر g ماهیچه میگو	فیبر / سیاه	-	(۴۹)
ایران (جزیره خارک)	ماهی	خرید از صیاد	۷۱	میکروسکوپ نوری - SEM-EDX	۱ قطعه در هر g ماهیچه ماهی	فیبر / سیاه	-	(۵۳)
ایران (بندرعباس)	صدف	صید مستقیم	۱۲۵	میکروسکوپ نوری - FT-IR-SEM-EDX	۷/۳ قطعه در هر g بافت نرم صدف	فیبر / سیاه	PE، PET، nylon	(۵۶)
کویت	ماهی	خرید از مغازه	۲۰	میکروسکوپ نوری - FT-IR	۰/۱۵ قطعه در هر دستگاه گوارش ماهی	قطعه‌ای / زرد	PE	(۵۱)
کویت	ماهی و دوکفه‌ای	خرید از مغازه	۴۸ ماهی و ۳۹ صدف	میکروسکوپ نوری - رامان	۰/۰۶ قطعه در دستگاه گوارش ماهی ۰ در بافت نرم صدف	قطعه‌ای / سفید	PE، PP	(۳۴)
ایران (بندر لنگه)	دوکفه‌ای	صید	۳۳	میکروسکوپ نوری - FT-IR-SEM-EDX	۰/۱۵ قطعه در g بافت نرم دوکفه‌ای	فیبر / سیاه	nylon	(۳۸)
ایران (بندر عباس)	ماهی	خرید از ماهی‌گیر	۳۸	میکروسکوپ نوری	نتایج صرفاً به صورت درصدی ارائه شده است.	فیبر / آبی	-	(۵۵)
ایران (نابیند)	ماهی	تور	۱۵	میکروسکوپ نوری - رامان	۱۵ (میانگین) قطعه در هر دستگاه گوارش ماهی	فیبر / سیاه	PET، PP، PS	(۴۷)
عربستان سعودی	ماهی	تور	۱۴۰	میکروسکوپ نوری - FT-IR	۸ (میانگین ۰/۰۵۷) قطعه در هر ماهی	فیبر / آبی - سیاه	PE، PP، LDPE	(۵۲)

۱: پلی اتیلن (Polyethylene)، ۲: پلی اتیلن ترفتالات (Polyethylene Terephthalate)، ۳: نایلون، ۴: پلی پروپیلن (Polypropylene)، ۵: پلی اتیلن با چگالی کم (Low density polyethylene).

جمع‌بندی

همانند نتایج به دست آمده از بخش‌های آب دریا و رسوبات خلیج فارس، آبریان صید شده در نزدیکی ایران آلوده‌تر از آبریان سایر بخش‌های خلیج فارس از لحاظ حضور قطعات پلاستیک در آن‌ها می‌باشند. علاوه بر این؛ نتایج مطالعات مختلف حاکی از آن است که تجمع قطعات میکروپلاستیک در گونه‌های کفزی کم تحرک مانند صدف، میگو و خرچنگ، بیش از ماهی‌ها است. نتایج مشابهی در پژوهش‌های انجام شده در سایر نقاط جهان گزارش شده است (۵۷-۵۹). چگالی قطعات میکروپلاستیک نقش تعیین کننده‌ای در این رویداد دارد، زیرا قطعات با چگالی بیش از آب دریا بر بستر دریا نهشته می‌شوند. بنابراین، آبریان کفزی و کم تحرک در معرض قطعات میکروپلاستیک تنشین شده قرار می‌گیرند (۱۲ و ۶۰). علاوه بر این، آهنگ بلع ذرات میکروپلاستیک توسط آبریان به اندازه، نوع تغذیه و محل زندگی اندامگان و همچنین اندازه و رنگ قطعات بستگی دارد (۵۸ و ۶۱).

همان‌طور که در جدول ۳ مشخص است، بیشتر میکروپلاستیک‌های شناسایی شده در آبریان خلیج فارس از نوع فیبر هستند. فراوانی بالای میکروپلاستیک‌های رشته‌ای در انواع ماهی‌توسط سایر پژوهشگران در بخش‌های دیگر جهان نیز گزارش شده است (۶۰ و ۶۲). با در نظر گرفتن تورها و نخ‌های پلاستیکی مورد استفاده در ماهیگیری (۱۱ و ۴۵)، میکرورشته‌ها در لباس‌های پلاستیکی (۵) و میکرورشته‌های هوابرد (۶۰)، حضور گسترده میکروپلاستیک‌های رشته‌ای در بدن اندامگان‌های دریایی دور از ذهن نیست. با این حال، برای تعیین منشأ دقیق ذرات میکروپلاستیک به مطالعات بیشتری نیاز است.

این میکروپلاستیک‌های کوچک و رنگی می‌توانند به اشتباه توسط آبریان خورده شوند. از میان گونه‌های بررسی شده، میگوها و صدف‌ها حاوی کوچک‌ترین میکروپلاستیک‌های شناسایی شده بودند که احتمالاً به دلیل اندازه کوچک این آبریان است. با اینکه حضور ذرات میکروپلاستیک در بخش‌های خوراکی آبریان تأیید شده است، اما سازوکارهای کنترل کننده جابجایی قطعات میکروپلاستیک در بدن آبریان هنوز به طور کامل شناخته نشده است (۶۳). آبریان بزرگ مانند ماهی‌ها، میکروپلاستیک‌های با اندازه‌های مختلف را می‌بلعند، اما به لطف دستگاه گوارش قوی‌تر و سیستم ایمنی فعال‌تر، بسیاری از آن‌ها را دفع می‌کنند و تنها میکروپلاستیک‌ها و نانوپلاستیک‌های بسیار ریز می‌توانند خود را به اندام‌های دیگر از جمله ماهیچه‌ها برسانند (۶۴ و ۶۵). بر اساس نتایج ارائه شده توسط (۶۵)، ورود ذرات میکروپلاستیک از دستگاه گوارش به سیستم لنفاوی و عروقی محتمل‌ترین مسیر انتقال ذرات میکروپلاستیک به سایر اندام‌ها است. با این حال، شکل، اندازه، بار سطحی و ترکیب میکروپلاستیک، آسیب دیدگی اندام‌ها و بیماری آبریان ممکن است انتقال میکروپلاستیک‌ها را تحت تأثیر قرار دهد (۶۸-۶۵). حضور میکروپلاستیک‌ها در بافت‌های خوراکی بدن آبریان، آن‌ها را به طور مستقیم به بدن انسان (آخرین شکارچی) منتقل می‌کند.

در خصوص زیست انباشت و سمیت قطعات میکروپلاستیک در بدن انسان هنوز اطلاعات دقیقی وجود ندارد (۲ و ۶۹). با این حال، شناسایی میکروپلاستیک‌ها در مدفوع انسان (۷۰) نشان داد که انسان می‌تواند بخشی از پلاستیک‌هایی که خورده است را دفع نماید. فرض بر این است که بیش از ۹۰ درصد میکروپلاستیک‌های بلعیده شده توسط انسان از طریق مدفوع دفع می‌شوند (۷۱ و ۷۲). با این حال، جذب

رودوی و انتقال میکروپلاستیک‌های بلعیده شده به سایر اندام‌ها در پستانداران گزارش شده است (۷۳ و ۷۴). بدون شک، اندازه، شکل، بار سطحی، شیمی سطح و نوع پلیمر میکروپلاستیک نقش اساسی در جابجایی و دفع آن ایفا می‌کند (۱ و ۷۵). علاوه بر این، مطالعات اخیر نشان داده است که قطعات پلاستیک در اندازه‌های ۰/۱ تا ۱۰ میکرومتر و نانوپلاستیک‌ها با اندازه ۴۰ تا ۲۵۰ نانومتر، می‌توانند از سدهای مختلف در بدن عبور کرده، به اندام‌های مختلف بدن انسان وارد شده و ضمن انباشت در محل، استرس اکسیداتیو (oxidative stress) ایجاد کنند (۷۶-۷۸). بنابراین، اگرچه استانداردهای ملی و جهانی برای دوز مصرفی میکروپلاستیک‌ها هنوز تعیین نشده است، اما مصرف غذاهای دریایی حاوی میکروپلاستیک ممکن سلامت انسان‌ها را به خطر بیندازد. علاوه بر آسیب‌های فیزیکی که ممکن است ذرات میکروپلاستیک در بافت‌های بدن ایجاد کنند (التهاب، نکروز سلولی و آسیب به بافت)، رها شدن افزودنی‌های شیمیایی (مانند بیسفنول A و فتالات‌ها) و واجذب آلاینده‌های جذب شده به سطح ذرات میکروپلاستیک (مانند فلزات سنگین و آلاینده‌های آلی)، ممکن است منجر به بروز سمناکی به خصوص در گروه‌های آسیب‌پذیر مانند زنان باردار و کودکان شود (۳ و ۶۱). با این حال، به مطالعات بیشتر و دقیق‌تری در این خصوص نیاز است.

شناسایی میکروپلاستیک‌ها

همان‌طور که در جداول ۳-۱ مشخص است از روش‌های متفاوتی (مانند میکروسکوپ نوری، میکروسکوپ فلئورسانس، رامان، طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز (FT-IR)، میکروسکوپ الکترونی روبشی همراه با طیف سنجی پراش اشعه ایکس (SEM-EDX)) برای شناسایی میکروپلاستیک‌ها در محیط‌های مختلف

استفاده شده است. شایان ذکر است که با پیشرفت مطالعات انجام شده، روش‌های تشخیصی نیز پیشرفت چشمگیری داشته‌اند؛ به طوری که طی دو سال اخیر، کمتر مقاله‌ای بدون تعیین نوع پلاستیک در نمونه‌ها، در سطح بین‌المللی چاپ شده است.

بدون شک، اولین و مهم‌ترین مرحله در شناسایی میکروپلاستیک‌ها، جداسازی دقیق قطعات با استفاده از میکروسکوپ نوری است. اگر چه قطعات بزرگ با چشم غیرمسلح نیز قابل شناسایی هستند اما برای دقت بیشتر، بهتر است همیشه از میکروسکوپ استفاده شود. شناسایی میکروپلاستیک‌ها معمولاً با استفاده از پنس، سوزن و خواص فیزیکوشیمیایی آن‌ها انجام می‌شود (۶۱). به طور کلی، میکروپلاستیک‌ها فاقد بافت و ساختار سلولی هستند، فیبرها در تمام طول خود قطر یکسانی دارند، قطعات رنگی دارای رنگ همگن در تمام قطعه هستند، فیبرها حالت پیچ خورده (مانند روبان) ندارند، و قطعات پلاستیک درخشان و براق نیستند (۷۹).

در مرحله بعد، از سایر روش‌های تشخیصی برای تعیین نوع، بررسی ریخت‌شناسی و تعیین ترکیب شیمیایی میکروپلاستیک‌های شناسایی شده استفاده می‌شود. تعیین نوع پلاستیک به‌طور معمول با استفاده از FT-IR و رامان انجام می‌شود. برای تعیین ریخت‌شناسی از میکروسکوپ فلئورسانس و SEM استفاده می‌شود و در نهایت برای تعیین ترکیب شیمیایی قطعات از روش EDX استفاده می‌شود. از آنجا که بسیاری از مواد بجز پلاستیک‌ها می‌توانند بازتابش فلئورسانس ایجاد کنند یا ترکیب شیمیایی غنی از C و O (ترکیب اصلی پلاستیک‌ها) داشته باشند، استفاده از این روش‌ها به تنهایی توصیه نمی‌شود مگر از ماده شیمیایی نیل قرمز (Nile Red) برای بررسی‌های فلئورسانس استفاده شود. بنابراین، برای

شناسایی دقیق میکروپلاستیک‌ها در محیط‌های مختلف باید همزمان از روش‌های مختلفی بهره جست تا نتایج قابل اعتماد و قابل استنادی به دست آید.

نتیجه‌گیری

از سال ۲۰۱۶ تاکنون مطالعات متفاوتی در خصوص حضور میکروپلاستیک‌ها در بخش‌های مختلف خلیج فارس انجام شده است. نحوه نمونه‌برداری، جداسازی و شناسایی قطعات میکروپلاستیک در محیط‌های مختلف بسیار چالش‌برانگیز است و با توجه به اینکه دستورالعمل یکسانی برای انجام تمام مراحل و ارائه گزارش نهایی وجود ندارد، نتایج مطالعات مختلفی که در خلیج فارس انجام شده‌اند، به ندرت قابل مقایسه است. با توجه به اندازه بسیار کوچک قطعات میکروپلاستیک و حضور آن‌ها در همه بخش‌های محیط زیست (آب، هوا و خاک/ رسوب) بی‌دقتی یا استفاده از دستورالعمل ناصحیح برای جداسازی یا شناسایی قطعات میکروپلاستیک ممکن است نتایج را به‌طور کامل تغییر دهد. به‌طور مثال، عدم استفاده از پوششی برای نمونه‌ها در آزمایشگاه و یا استفاده از وسایل پلاستیکی حین کار، ممکن است نمونه را در آزمایشگاه آلوده کند. در مرحله جداسازی، استفاده از

محلول اشباع NaCl به تنهایی، ممکن است به عدم جدایش بسیاری از میکروپلاستیک‌های موجود در نمونه رسوب منجر شود. بنابراین، استفاده از محلول با چگالی بالاتر مانند KI یا NaI که بتواند دامنه چگالی بزرگ‌تری را پوشش دهد، به همه پژوهشگران توصیه می‌شود. علاوه بر این، برای شناسایی دقیق و تعیین نوع میکروپلاستیک‌ها، استفاده از چند روش شناسایی همزمان می‌تواند خطای تشخیص با میکروسکوپ نوری را به شدت کاهش دهد و نتایج را قابل اعتمادتر سازد. پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آینده از دستورالعمل یکسان در همه مطالعات استفاده شود تا نتایج قابل مقایسه و قابل بحث باشند.

سپاس و قدردانی

پشتیبانی مالی و معنوی این پژوهش توسط بنیاد ملی نخبگان انجام شده است که نویسندگان مراتب تشکر و قدردانی خود را از این بابت اظهار می‌دارند.

تضاد منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

References:

1. Rainieri S, Barranco A. Microplastics, a food safety issue? Trends Food Sci Technol 2019; 84: 55-7.
2. Toussaint B, Raffael B, Angers-Loustau A, et al. Review of micro- and nanoplastic contamination in the food chain. Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess 2019; 36(5): 639-73.
3. Wright SL, Thompson RC, Galloway TS. The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. Environ Pollut 2013; 178: 483-92.
4. PlasticEurope. Plastics-the facts: an analysis of European plastics production, demand and waste data. Plastics Europe, Brussels. (Accessed 11, 2019, https://www.plasticseurope.org/download_file/force/2367/181)

5. Duis K, Coors A. Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects. *Environ Sci Eur* 2016; 28(1): 2.
6. Van Cauwenberghe L, Devriese L, Galgani F, et al. Microplastics in sediments: A review of techniques, occurrence and effects. *Mar Environ Res* 2015; 111: 5-17.
7. Al-Salem SM, Uddin S, Al-Yamani F. An assessment of microplastics threat to the marine environment: A short review in context of the Arabian/Persian Gulf. *Mar Environ Res* 2020; 159: 104961.
8. Carpenter K, Krupp F, Jones D, Zajonz UJFsifgffpTlmroK, Eastern Saudi Arabia, Bahrain, Qatar,, Emirates. tUA. FAO species identification field guide for fishery purposes. The living marine resources of Kuwait, Eastern Saudi Arabia, Bahrain, Qatar, and the United Arab Emirates. 1997.
9. Oliveira M, Almeida M, Miguel I. A micro(nano)plastic boomerang tale: A never ending story? *Trends Analyt Chem* 2019; 112: 196-200.
10. Arthur C, Baker J, Bamford H. Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects, and Fate of Microplastic Marine Debris, September 9-11, 2008. 2009.
11. Vendel AL, Bessa F, Alves VE, et al. Widespread microplastic ingestion by fish assemblages in tropical estuaries subjected to anthropogenic pressures. *Mar Pollut Bull* 2017; 117: 448-55.
12. Alomar C, Estarellas F, Deudero S. Microplastics in the Mediterranean Sea: Deposition in coastal shallow sediments, spatial variation and preferential grain size. *Mar Environ Res* 2016; 115: 1-10.
13. Barnes DK, Galgani F, Thompson RC, et al. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 2009; 364(1526): 1985-98.
14. Alimba CG, Faggio C. Microplastics in the marine environment: Current trends in environmental pollution and mechanisms of toxicological profile. *Environ Toxicol Pharmacol* 2019; 68: 61-74.
15. Auta HS, Emenike CU, Fauziah SH. Distribution and importance of microplastics in the marine environment: A review of the sources, fate, effects, and potential solutions. *Environ Int.* 2017; 102: 165-176.
16. Avio CG, Pittura L, d'Errico G, et al. Distribution and characterization of microplastic particles and textile microfibers in Adriatic food webs: General insights for biomonitoring strategies. *Environ Pollut* 2020; 258: 113766.
17. Stolte A, Forster S, Gerds G, et al. Microplastic concentrations in beach sediments along the German Baltic coast. *Mar Pollut Bull* 2015; 99 (1-2): 216-29.
18. de Carvalho DG, Baptista Neto JA. Microplastic pollution of the beaches of Guanabara Bay, Southeast Brazil. *Ocean & Coastal Management* 2016; 128: 10-17.
19. Von Moos N, Burkhardt-Holm P, Köhler A . Uptake and effects of microplastics on cells and tissue of the blue mussel *Mytilus edulis* L. after an experimental exposure. *Environ Sci Technol* 2012; 46(20): 11327-35.
20. Farrell P, Nelson K. Trophic level transfer of microplastic: *Mytilus edulis* (L.) to *Carcinus maenas* (L.). *Environ Pollut* 2013; 177: 1-3.

21. Watts AJ, Urbina MA, Corr S, et al. Ingestion of plastic microfibers by the crab *Carcinus maenas* and its effect on food consumption and energy balance. *Environ Sci Technol* 2015; 49(24): 14597-604.
22. Jaafarzadeh Haghighi Fard N, Ravanbakhsh M, Ramezani Z, Ahmadi M, Angali KA, Javid AZ. Determination of mercury and vanadium concentration in *Johnius belangerii* (C) fish in Musa estuary in Persian Gulf. *Mar Pollut Bull* 2015; 97(1-2): 499-505.
23. Freije AM. Heavy metal, trace element and petroleum hydrocarbon pollution in the Arabian Gulf: Review. *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences* 2015; 17: 90-100.
24. Naccari C, Cicero N, Ferrantelli V, et al. Toxic Metals in Pelagic, Benthic and Demersal Fish Species from Mediterranean FAO Zone 37. *Bull Environ Contam Toxicol* 2015; 95: 567-73.
25. Hosseini M, Nabavi SM, Nabavi SN, Pour NA. Heavy metals (Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Fe, and Hg) content in four fish commonly consumed in Iran: risk assessment for the consumers. *Environ Monit Assess* 2015; 187(5): 237.
26. Kor K, Mehdinia A. Neustonic microplastic pollution in the Persian Gulf. *Mar Pollut Bull* 2020; 150: 110665.
27. Castillo AB, Al-Maslmani I, Obbard JP. Prevalence of microplastics in the marine waters of Qatar. *Mar Pollut Bull* 2016; 111(1-2): 260-7.
28. Akhbarizadeh R, Moore F, Keshavarzi B, et al. Microplastics and potentially toxic elements in coastal sediments of Iran's main oil terminal (Khark Island). *Environ Pollut* 2017; 220: 720-31.
29. Naji A, Esmaili Z, Mason SA, et al. The occurrence of microplastic contamination in littoral sediments of the Persian Gulf, Iran. *Environ Sci Pollut Res* 2017; 24(25): 20459-68.
30. Khatir Z, Leitão A, Lyons BP. The biological effects of chemical contaminants in the Arabian/Persian Gulf: A review. *Regional Studies in Marine Science* 33: 100930; 2020.
31. Cunningham PA, Sullivan EE, Everett KH, et al. Assessment of metal contamination in Arabian/Persian Gulf fish: A review. *Mar Pollut Bull* 2019; 143: 264-83.
32. Hartmann NB, Hüffer T, Thompson RC, et al. Are we speaking the same language? Recommendations for a definition and categorization framework for plastic debris. *Environ Sci Technol* 2019; 53(3): 1039-47.
33. Abayomi OA, Range P, Al-Ghouti MA, et al. Microplastics in coastal environments of the Arabian Gulf. *Mar Pollut Bull* 2017; 124(1): 181-8.
34. Saeed T, Al-Jandal N, Al-Mutairi A, et al. Microplastics in Kuwait marine environment: Results of first survey. *Mar Pollut Bull* 2020; 152: 110880.
35. Uddin S, Fowler SW, Saeed T. Microplastic particles in the Persian/Arabian Gulf – A review on sampling and identification. *Mar Pollut Bull* 2020; 154: 111100.
36. Al-Ghadban A, Al Dousary A, Jacob P, et al. Mineralogy, genesis and sources of surficial sediments in the ROPME Sea area. Tokyo University of Fisheries, Tokyo, Japan. 1998: 65-88.
37. Lahijan zadeh A, Mohammadi roozbahani M, Sabzalipour S, et al. The Investigation of Microplastic Particles in Khor-e-Musa in Persian Gulf Sediments. *J Oceanography* 2020; 43(1): 17-25.
38. Nouri M, Amiri P, Naji A. Distribution and frequency of microplastics in Bivalve of *Pinctada*

- radiata and sediments of Bandar Lengehe. *J Animal Environ* 2020; 11(4): 337-44.
39. Aslam H, Ali T, Mortula MM, et al. Evaluation of microplastics in beach sediments along the coast of Dubai, UAE. *Mar Pollut Bull* 2019; 150: 110739.
40. Dobaradaran S, Schmidt TC, Nabipour I, et al. Characterization of plastic debris and association of metals with microplastics in coastline sediment along the Persian Gulf. *Waste Manag* 2018; 78: 649-58.
41. Naji A, Esmaili Z, Khan FR. Plastic debris and microplastics along the beaches of the Strait of Hormuz, Persian Gulf. *Mar Pollut Bull* 2017; 114(2): 1057-62.
42. Nabizadeh R, Sajadi M, Rastkari N, et al. Microplastic pollution on the Persian Gulf shoreline: A case study of Bandar Abbas city, Hormozgan Province, Iran. *Mar Pollut Bull* 2019; 145: 536-46.
43. Foshtomi MY, Oryan S, Taheri M, et al. Composition and abundance of microplastics in surface sediments and their interaction with sedimentary heavy metals, PAHs and TPH (total petroleum hydrocarbons). *Mar Pollut Bull* 2019; 149: 110655.
44. Karami A, Golieskardi A, Choo CK, et al. A high-performance protocol for extraction of microplastics in fish. *Sci Total Environ* 2017; 578: 485-94.
45. Gallagher A, Rees A, Rowe R, et al. Microplastics in the Solent estuarine complex, UK: An initial assessment. *Mar Pollut Bull* 2016; 102(2): 243-9.
46. Abbasi S, Keshavarzi B, Moore F, et al. Geochemistry and environmental effects of potentially toxic elements, polycyclic aromatic hydrocarbons and microplastics in coastal sediments of the Persian Gulf. *Environ Earth Sci* 2019; 78(15): 492.
47. Maghsodian Z, Sanati AM, Ramavandi B, et al. Microplastics accumulation in sediments and *Periophthalmus waltoni* fish, mangrove forests in southern Iran. *Chemosphere* 2021; 264: 128543.
48. Naji A, Nuri M, Amiri P, et al. Small microplastic particles (S-MPPs) in sediments of mangrove ecosystem on the northern coast of the Persian Gulf. *Mar Pollut Bull* 2019; 146: 305-11.
49. Akhbarizadeh R, Moore F, Keshavarzi B. Investigating microplastics bioaccumulation and biomagnification in seafood from the Persian Gulf: a threat to human health? *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess* 2019; 36(11): 1696-708.
50. Bessa F, Frias J, Kögel T, et al. Harmonized protocol for monitoring microplastics in biota. JPI-Oceans BASEMAN project. 2019.
51. Al-Salem SM, Uddin S, Lyons B. Evidence of microplastics (MP) in gut content of major consumed marine fish species in the State of Kuwait (of the Arabian/Persian Gulf). *Mar Pollut Bull* 2020; 154: 111052.
52. Baalkhuyur FM, Qurban MA, Panickan P, et al. Microplastics in fishes of commercial and ecological importance from the Western Arabian Gulf. *Mar Pollut Bull* 2020; 152: 110920.
53. Akhbarizadeh R, Moore F, Keshavarzi B. Investigating a probable relationship between microplastics and potentially toxic elements in fish muscles from northeast of Persian Gulf. *Environ Pollut* 2018; 232: 154-63.
54. Abbasi S, Soltani N, Keshavarzi B, et al. Microplastics in different tissues of fish and prawn

- from the Musa Estuary, Persian Gulf. Chemosphere. 2018; 205: 80-87.
55. Ghattavi K, Naji A. Assessment of microplastics in the gastrointestinal tract of some fish caught for human consumption in Bandar Abbas, the Persian Gulf. Iranian Journal of Health and Environment. 2019; 12(3): 449-60.
56. Naji A, Nuri M, Vethaak AD. Microplastics contamination in molluscs from the northern part of the Persian Gulf. Environ Pollut 2018; 235: 113-20.
57. Bellas J, Martinez-Armental J, Martinez-Camara A, et al. Ingestion of microplastics by demersal fish from the Spanish Atlantic and Mediterranean coasts. Mar Pollut Bull. 2016; 109(1): 55-60.
58. Jabeen K, Su L, Li J, et al. Microplastics and mesoplastics in fish from coastal and fresh waters of China. Environ Pollut. 2017; 221: 141-9.
59. Neves D, Sobral P, Ferreira JL, et al. Ingestion of microplastics by commercial fish off the Portuguese coast. Mar Pollut Bull 2015; 101(1): 119-26.
60. Bessa F, Barria P, Neto JM, et al. Occurrence of microplastics in commercial fish from a natural estuarine environment. Mar Pollut Bull. 2018; 128: 575-84.
61. Rocha-Santos T, Duarte AC. A critical overview of the analytical approaches to the occurrence, the fate and the behavior of microplastics in the environment. Trends Analyt Chem 2015; 65: 47-53.
62. Nelms SE, Galloway TS, Godley BJ, Jarvis DS, Lindeque PK. Investigating microplastic trophic transfer in marine top predators. Environ Pollut. 2018; 238: 999-1007.
63. Collard F, Gilbert B, Compere P, et al. Microplastics in livers of European anchovies (*Engraulis encrasicolus*, L.). Environ Pollut. 2017; 229: 1000-5.
64. Galloway TS, Cole M, Lewis C. Interactions of microplastic debris throughout the marine ecosystem. Nat Ecol Evol 2017; 1(5): 1-8.
65. Zeytin S, Wagner G, Mackay-Roberts N, et al. Quantifying microplastic translocation from feed to the fillet in European sea bass *Dicentrarchus labrax*. Mar Pollut Bull 2020; 156: 111210.
66. Elizalde-Velázquez A, Carcano AM, Crago J, et al. Translocation, trophic transfer, accumulation and depuration of polystyrene microplastics in *Daphnia magna* and *Pimephales promelas*. Environ Pollut 2020; 259: 113937.
67. Powell JJ, Faria N, Thomas-McKay E, et al. Origin and fate of dietary nanoparticles and microparticles in the gastrointestinal tract. J Autoimmun 2010; 34(3): J226-J33.
68. Triebkorn R, Braunbeck T, Grummt T, et al. Relevance of nano-and microplastics for freshwater ecosystems: a critical review. Trends Analyt Chem 2019; 110: 375-92.
69. Barboza LGA, Dick Vethaak A, Lavorante B, et al. Marine microplastic debris: An emerging issue for food security, food safety and human health. Mar Pollut Bull 2018; 133: 336-48.
70. Schwabl P, Koppel S, Königshofer P, et al. Detection of various microplastics in human stool: A prospective case series. Ann Intern Med 2019; 171(7): 453-7.
71. Smith M, Love DC, Rochman CM, et al. Microplastics in seafood and the implications for human health. Curr Environ Health Rep 2018; 5(3): 375-86.
72. Wright SL, Kelly FJ. Plastic and human health: a micro issue? Environ Sci Technol 2017; 51(12): 6634-47.

73. Ribeiro F, O'Brien JW, Galloway T, et al. Accumulation and fate of nano-and micro-plastics and associated contaminants in organisms. *Trends Analyt Chem* 2019; 111: 139-47.
74. Rubio L, Marcos R, Hernández A. Potential adverse health effects of ingested micro- and nanoplastics on humans. Lessons learned from in vivo and in vitro mammalian models. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev* 2020; 23(2): 51-68.
75. Barboza LGA, Lopes C, Oliveira P, et al. Microplastics in wild fish from North East Atlantic Ocean and its potential for causing neurotoxic effects, lipid oxidative damage, and human health risks associated with ingestion exposure. *Sci Total Environ* 2020; 717: 134625.
76. Barboza LGA, Vieira LR, Branco V, et al. Microplastics cause neurotoxicity, oxidative damage and energy-related changes and interact with the bioaccumulation of mercury in the European seabass, *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758). *Aquat Toxicol* 2018; 195: 49-57.
77. Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood. *Efsa Journal* 2016; (6)14: 16e04501.
78. Schirizzi GF, Pérez-Pomeda I, Sanchís J, et al. Cytotoxic effects of commonly used nanomaterials and microplastics on cerebral and epithelial human cells. *Environ Res* 2017; 159: 579-87.
79. Nor NH, Obbard JP. Microplastics in Singapore's coastal mangrove ecosystems. *Mar Pollut Bull* 2014; 79(1-2): 278-83.

Review Article

Microplastics in the Persian Gulf

R. Akhbarizadeh (PhD)^{1,2}, I. Nabipour (MD)², S. Dobaradaran (PhD)^{1,3}**

¹ Systems Environmental Health and Energy Research Center, The Persian Gulf Biomedical Sciences Research Institute, Bushehr University of Medical Sciences, Bushehr, Iran

² The Persian Gulf Marine Biotechnology Research Center, The Persian Gulf Biomedical Sciences Research Institute, Bushehr University of Medical Sciences, Bushehr, Iran

³ Department of Environmental Health Engineering, School of Health and Nutrition, Bushehr University of Medical Sciences, Bushehr, Iran

(Received 14 Feb, 2022

Accepted 17 Apr, 2022)

Abstract

Background: Microplastics, as emerging and persistent pollutants, are ubiquitous in different environmental compartments and could be considered an ecological threat to wildlife and humans.

Materials and Methods: In the present review article, the existing studies on the presence of microplastics in water, sediments, and aquatic organisms of the Persian Gulf were reviewed with regard to different sampling techniques, samples preparation, and identification methods.

Results: The results indicated that the contributions of various countries to microplastics pollution of the Persian Gulf were different. The findings from the Iranian side of the Persian Gulf (especially for coastal sediments) showed higher pollution than its Arabian side. Blue and black fibers were the most predominant types of microplastics in the Persian Gulf. Based on the results, low density microplastics were more dominant in the water column, while high-density plastics were mostly found in sediments. The predominant types of microplastics in marine organisms were related to their habitats.

Conclusion: Microplastics contamination is a severe threat to the Persian Gulf's environment. However, the lack of harmonized procedure for microplastics sampling, preparation, analysis, and report makes the comparison of different studies challenging. For instance, four studies reported the level of microplastics in seawater of the Persian Gulf with three different units. Hence, we suggest all studies use the same methodologies in the Persian Gulf to increase the comparability of the results.

Keywords: Microplastic, Persian Gulf, Seawater, Sediment, Aquatic organisms

©Iran South Med J. All right reserved

Cite this article as: Akhbarizadeh R, Nabipour I, Dobaradaran S. Microplastics in the Persian Gulf. *Iran South Med J* 2022; 25(2): 179-197

*Address for correspondence: The Persian Gulf Marine Biotechnology Research Center, The Persian Gulf Biomedical Sciences Research Institute, Bushehr University of Medical Sciences, Bushehr, Iran.

E-mail: razegheh.azadeh@gmail.com

*ORCID: 0000-0002-9782-5708