

توزیع و فراوانی میکروپلاستیک‌ها در دوکفه‌ای *Pinctada radiata* و رسوبات بندرلنگه در سواحل غربی خلیج فارس

- **مرضیه نوری:** گروه شیلات و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران
- **پریسا امیری:** اداره کل حفاظت محیط زیست استان ایلام، ایلام، ایران
- **ابوالفضل ناجی*:** گروه شیلات و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

تاریخ دریافت: مهر ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش: دی ۱۳۹۷

چکیده

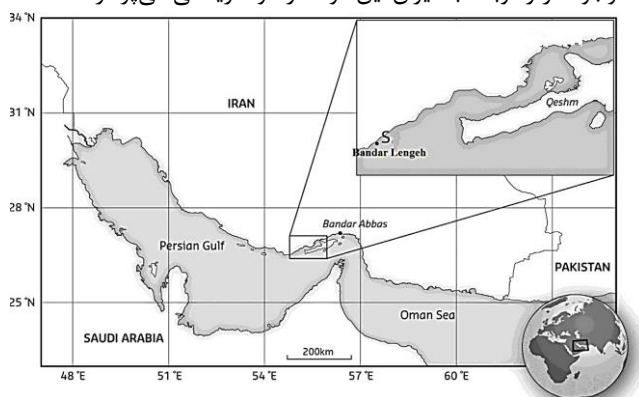
میکروپلاستیک‌ها تکه‌های کوچکی از زباله‌های پلاستیکی (کم‌تر از ۵ میلی‌متر)، هستند که در سواحل، سطح دریا و بستر دریا وجود دارد. مطالعه حاضر فراوانی، توزیع و انواع میکروپلاستیک‌ها را در توده احشایی دوکفه‌ای *Pinctada radiata* و رسوبات نمونه‌برداری شده در سواحل بندرلنگه مورد بررسی قرار داده است. جداسازی میکروپلاستیک‌ها به روش اختلاف چگالی و روش هضم برای دوکفه‌ای انجام گرفت. اسپکتروفتومتری، FT-IR و SEM-ED جهت شناسایی جنس پلیمر به کار گرفته شد. میکروپلاستیک‌های یافت شده دارای رنگ‌های متنوعی از جمله سیاه، سفید، شفاف، قرمز، صورتی و سبز بودند. با استفاده از اطلاعات به دست آمده، در ایستگاه‌های بندرلنگه، میانگین تعداد کل میکروپلاستیک‌های استخراج شده از توده احشایی *P. radiata* برحسب گرم 0.15 ± 0.03 / تعداد/گرم و برحسب فرد $3/94 \pm 1/13$ / تعداد/فرد، تعداد میکروپلاستیک‌ها در رسوبات بندرلنگه $34/5 \pm 0/71$ در کیلوگرم رسوب اندازه‌گیری شد. شایع‌ترین پلیمرهای یافت شده، پلی‌اتیلن (PE)، پلی‌اتیلن ترفتالات (PET) و نایلون بودند. فراوان‌ترین نوع میکروپلاستیک‌های جدا شده از دوکفه‌ای *P. radiata* میکروفیبرها و قطعات بودند. فراوان‌ترین اشکال میکروپلاستیک استخراج شده در رسوبات فیبر و فیلم بودند. مطالعه حاضر می‌تواند اطلاعات مفیدی را برای تحقیقات بیشتر و همچنین پیش‌زمینه‌ای جهت کنترل و پایش این آلاینده در محیط دریایی خلیج فارس فراهم نماید.

کلمات کلیدی: میکروپلاستیک، زباله‌های دریایی، خلیج فارس، بوم سامانه دریایی



مقدمه

مخرب این آلاینده‌ها را بیش‌تر نماید (Cole و همکاران، ۲۰۱۱). این مواد افزودنی و مونومرها، ممکن است بر فرآیندهای زیستی مهم اثر گذاشته و سبب اختلال غدد درون‌ریز گردند که به‌نوبه خود می‌تواند بر تحرک، تولیدمثل و رشد و ایجاد سرطان تأثیرگذار باشد (Lithner و همکاران، ۲۰۱۱). علاوه بر این از آنجایی که میکروپلاستیک‌ها قابلیت تجمع زیستی دارند، خوردن آن‌ها ممکن است آغاز تجمع سموم در زنجیره غذایی پایه باشد (Jones و Mendoza، ۲۰۱۵؛ Chua و Shimeta، ۲۰۱۴؛ Teuten و همکاران، ۲۰۰۹). در این مطالعه، به بررسی آلودگی میکروپلاستیک در دوکفه‌ای‌ها و رسوبات ساحلی بندر لنگه پرداخته شده است. این منطقه به سبب موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های طبیعی، تنوع زیستی و تأثیرپذیری توأم از خشکی و دریا، منطقه‌ای حساس و شکننده محسوب می‌شود (شکل ۱). فعالیت‌های غیراصولی صیادی، گردشگری بدون برنامه‌ریزی، ورود آلودگی‌های نفتی در اثر قاچاق سوخت، تغییر رژیم رسوب‌گذاری، خشک‌سالی، ایجاد مزارع پرورش میگو، نشت فاضلاب‌های خانگی روستایی به آب‌های زیرزمینی، همه این عوامل می‌تواند به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم در آلوده کردن محیط نقش داشته باشند. با وجود خطر طولانی مدت میکروپلاستیک در بوم‌سامان‌های دریایی، به‌دلیل چالش‌های نمونه‌برداری به‌ندرت بر فراوانی آن‌ها نظارت شده است. در این مطالعه به اندازه‌گیری فراوانی میکروپلاستیک‌ها در محیط‌زیست ساحلی بندرلنگه، که در آن پلاستیک باقی‌مانده ناشی از فعالیت‌های ماهیگیری، حمل و نقل دریایی و لنگرگاه‌ها، اسکله‌ها و دیگر منابع زمینی که از طریق رودخانه‌ها و سیستم زهکشی وارد محیط زیست دریایی می‌شود، پرداخته شده است. آلودگی‌های این منطقه موجب صدمه به موجودات زنده دریایی از جمله دوکفه‌ای‌ها می‌شود. هدف از این تحقیق، تعیین فراوانی میکروپلاستیک‌ها در دو کفه‌ای *P. radiata* و رسوبات سواحل بندر لنگه و شناسایی انواع مختلف میکروپلاستیک‌های موجود در آن‌ها می‌باشد و هم‌چنین به بررسی رابطه میان میزان میکروپلاستیک‌های موجود در رسوبات با میزان این مواد در گونه زیستی می‌پردازد.



شکل ۱: نقشه مکان نمونه‌برداری در خلیج فارس

زباله‌های پلاستیکی با منبع خشکی تقریباً ۸۰ درصد از پلاستیک‌های موجود در زباله‌های دریایی را تشکیل می‌دهند (Andrady، ۲۰۱۱). با وجود این‌که حدود نیمی از جمعیت جهان در پنجاه مایلی ساحل سکونت دارند، پلاستیک پتانسیل بالایی جهت ورود به محیط‌زیست دریایی از طریق رودخانه‌ها و سیستم‌های فاضلاب و یا با طوفان‌های دریایی دارد (Moore، ۲۰۰۸). حضور قطعات پلاستیکی کوچک در آب‌های باز اقیانوسی، برای اولین بار در سال ۱۹۷۰ مورد تأکید قرار گرفت (Smith و Carpenter، ۱۹۷۲). این قطعات پلاستیکی کوچک، الیاف و ذرات کروی، میکروپلاستیک نامیده می‌شوند که از آغاز قرن بیستم، به‌عنوان یک آلاینده نوظهور در نظر گرفته شدند (Ryan و همکاران، ۲۰۰۹؛ Thompson و همکاران، ۲۰۰۴). ذرات میکروپلاستیک بزرگ در ابعاد ۵-۱ میلی‌متر و ذرات میکروپلاستیک کوچک محدوده کوچک‌تر از ۱ میلی‌متر در نظر گرفته می‌شوند (Vianello و همکاران، ۲۰۱۳). پلاستیک‌هایی که به‌اندازه میکروسکوپی و با اهداف خاص تولید شده‌اند، به‌عنوان میکروپلاستیک‌های اولیه معروف می‌باشند. این پلاستیک‌ها به‌طور معمول در پاک‌کننده صورت و مواد آرایشی استفاده می‌شوند (Derraik، ۲۰۰۲؛ Gregory، ۱۹۹۶؛ Zitko و Hanlon، ۱۹۹۱). میکروپلاستیک‌های ثانویه قطعات پلاستیکی کوچک به‌دست آمده از تجزیه بقایای پلاستیکی بزرگ‌تر، در دریا و در خشکی هستند (Ryan و همکاران، ۲۰۰۹؛ Thompson و همکاران، ۲۰۰۴). باگذشت زمان فرایندهای فیزیکی (سایش، حرکت امواج و تلاطم) به‌صورت زیستی و شیمیایی، می‌توانند انسجام ساختاری زباله‌های پلاستیکی را کاهش داده و سبب قطعه قطعه شدن آن‌ها گردد (Browne و همکاران، ۲۰۰۷). قرار گرفتن در معرض نور خورشید در دوره‌های طولانی مدت می‌تواند منجر به تجزیه نوری پلاستیک‌ها، اکسیداسیون ماتریکس پلیمر و گسستگی پیوندها گردد. چنین تخریبی ممکن است سبب خروج مواد افزودنی که برای افزایش دوام و مقاومت در برابر خوردگی طراحی شده‌اند، از پلاستیک شود (Andrady، ۲۰۱۱؛ Barnes و همکاران، ۲۰۰۹؛ Browne و همکاران، ۲۰۰۷). گردشگری ساحلی، ماهیگیری تفریحی و تجاری، ناوگان‌های دریایی و صنایع دریایی (به‌عنوان مثال آبی‌پروری، سکوهای نفت) همگی منابعی هستند که می‌توانند پلاستیک را به‌طور مستقیم وارد محیط زیست دریایی نموده و برای گیاهان و جانوران هم به‌صورت میکروپلاستیک اولیه و هم به‌عنوان میکروپلاستیک‌های ثانویه که مدت زمان طولانی لازم است تا تجزیه شوند، ایجاد خطر کنند (Thompson، ۲۰۰۶). علاوه بر عوارض جانبی بالقوه ناشی از خورده شدن میکروپلاستیک‌ها توسط آبزیان، خروج آلاینده‌های موجود در میکروپلاستیک‌ها و آلاینده‌های غیراصولی، سوار بر میکروپلاستیک‌ها مانند وکتور، نیز می‌تواند تأثیرگذاری

مواد و روش‌ها

جداسازی میکروپلاستیک‌ها از دوکفه‌ای *P. radiate* نمونه برداری دوکفه‌ای‌ها در ایستگاه نمونه‌برداری حوضه ساحلی بندرلنگه، در جزر پایین در بهمن ماه ۱۳۹۵ صورت گرفت. تعداد ۳۳ عدد دوکفه‌ای (در هر تکرار ۱۱ عدد) در آبان ماه ۱۳۹۵ از بندرلنگه جمع‌آوری شد. نمونه‌های جمع‌آوری شده با آب مقطر شستشو داده شد و بلافاصله در ظرف‌ها و بشرهایی تمیز قرار گرفت و بسته‌بندی شد. طول پوسته، با استفاده از کولیس اندازه‌گیری شد. سپس وزن کل صدف و وزن بافت نرم آن‌ها با استفاده از ترازو اندازه‌گیری شد (Li و همکاران، ۲۰۱۵) (جدول ۱).

جدول ۱: موقعیت مکانی، زیست‌سنجی (انحراف معیار ± میانگین) گونه‌های جمع‌آوری شده از ایستگاه بندرلنگه

ایستگاه	مختصات جغرافیایی (طول و عرض)	گونه	تعداد	طول پوسته (cm)	وزن پوسته (فرد/گرم)	وزن توده احشایی (فرد/گرم)
بندر لنگه	۲۶°۱۷'۲۲" N ۵۴°۲۶'۵۳" E	<i>Pinctada radiata</i>	۳۳	۰/۶۵±۰/۰۹	۱۵۹۲±۶۵۷	۱۰/۱۵±۲۵۸۱

بعد از این که طول پوسته، وزن هریک از دوکفه‌ها و وزن بافت نرم اندازه‌گیری و ثبت شد. در مرحله بعد پوسته دوکفه‌ای‌ها باز شده و محتویات آن به‌درون بطری شیشه‌ای ریخته شد. همه نمونه‌های مشابه در یک بطری قرار گرفت ۳ تکرار برای این گونه در نظر گرفته شد. به‌منظور هضم ماده آلی حدود ۲۰۰ میلی‌لیتر $30\% \text{H}_2\text{O}_2$ به هر بطری اضافه شد و درون شیکر انکوباتور در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد، ۸۰ دور در دقیقه به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد. سپس در دمای اتاق به مدت ۲۴ تا ۴۸ ساعت بسته به اثر هضم بافت نرم، قرار داده شد. در مرحله بعد با اضافه کردن محلول غلیظ نمک طعام ۲۶٪ (NaCl, grade Darmstadt, Germany) ۹۹/۵٪ با چگالی ۱/۲ گرم بر مترمکعب از طریق شناورسازی برای جدا کردن ذرات میکروپلاستیک از بافت نرم دوکفه‌ای مورد استفاده قرار گرفت. حدود ۸۰۰ میلی‌لیتر NaCl ۲۶٪ به هر بطری اضافه شد و به مدت یک شب در دمای اتاق نگه داشته شد. محلول از الک با مش به قطر ۲۵ میکرومتر (Whatman PLC United Kingdom ۱۲۲) رد شد (Li و همکاران، ۲۰۱۵). سپس با استفاده از یک فیلتر غشایی نیتروسولوز به قطر ۰/۴۵ میکرومتر (Sartorius Stedim Biotech, Göttingen, Germany) صاف شده است (Li و همکاران، ۲۰۱۵). فیلترها در پتری‌دیش در یک محفظه عایق خشک شدند و زیر میکروسکوپ مشاهده شدند. تصاویر با دوربین دیجیتال استریومیکروسکوپ (NOVEL NSZ-810, Ningbo Yongxin Optics Co. Ltd, Zhejiang, China) گرفته شد. ارزیابی چشمی به‌منظور شناسایی ذرات میکروپلاستیک با توجه به ویژگی‌های فیزیکی ذرات انجام گرفت.

تعدادی از ذرات انتخاب شد و توسط دستگاه FT-IR و SEM-EDS مورد بررسی و تایید قرار گرفته است (Li و همکاران، ۲۰۱۶). از میکروسکوپ الکترونی (FESEM) همراه با انتشار انرژی اشعه ایکس دستگاه (EDS)، جهت بررسی مورفولوژی سطح و ترکیب شیمیایی از میکروپلاستیک جمع‌آوری شده استفاده شد.

عملیات میدانی و آزمایشگاهی جهت بررسی رسوبات:

نمونه‌برداری رسوبات به‌صورت کاملاً تصادفی در ایستگاه ساحلی بندر لنگه، در جزر پایین در بهمن ماه ۱۳۹۵ صورت گرفت. نمونه‌ها عمدتاً از رسوبات مرطوب در ناحیه جزر و مدی به‌دست می‌آید (Stolte و همکاران، ۲۰۱۵). دامنه جزر و مد در ناحیه مطالعه از ۲/۷ تا ۳ متر متغیر است. نمونه رسوب نیز دقیقاً از ایستگاه گونه زیستی با طول جغرافیایی "۲۵° ۵۳' ۵۴" شرقی و عرض جغرافیایی "۲۹° ۳۲' ۲۶" شمالی واقع در غرب خلیج فارس برداشته شده است. رسوبات از عمق ۵-۰ سانتی‌متر (Hidalgo-ruz و همکاران، ۲۰۱۳) با استفاده از یک قاشق از جنس استیل ضدزنگ برداشته شده است (Claessens و همکاران، ۲۰۱۳). سپس در بطری‌های شیشه‌ای از پیش تمیز شده قرار داده شد (Nuelle و همکاران، ۲۰۱۴). بطری‌ها بسته‌بندی شده و در دمای اتاق در آزمایشگاه تازمان آنالیز قرار می‌گیرند. در هر قسمت از ایستگاه، سه نمونه جمع‌آوری شد.

جداسازی میکروپلاستیک از رسوب: روشی که در حال حاضر

به‌طور گسترده استفاده می‌شود متکی بر چگالی یک محلول (غلیظ) NaCl ۲۶٪، با چگالی ۱/۲ گرم بر سانتی‌مترمکعب برای جدا کردن ذرات میکروپلاستیک از رسوب است. پس به‌منظور جداسازی میکروپلاستیک‌های با چگالی بالاتر از NaCl، از محلول‌های اشباع با چگالی بالا از قبیل کلرید روی پلی‌تنگستات و یا NaI با چگالی ۱/۸ گرم بر سانتی‌مترمکعب می‌توان استفاده کرد (Imhof و همکاران، ۲۰۱۲). در مطالعه حاضر روش استخراج در مرحله‌ای انتخاب گردیده که مرحله اول شناورسازی با NaCl و مرحله دوم شناورسازی با NaI است. با استفاده از اسپکتروسکوپی مادون قرمز FT-IR و SEM-EDX با مقایسه طیف‌های نمونه با پلیمرهای شناخته‌شده عمل شناسایی انجام پذیرفت (Andrady، ۲۰۱۱).

کنترل کیفیت در طول تجزیه و تحلیل میکروپلاستیک:

آلودگی با میکروفیبرهای هوا، یک پدیده تکراری در تحقیقات میکروپلاستیک است که در سراسر محیط و آزمایشگاه فراگیر است (Devriese و همکاران، ۲۰۱۵؛ Foekema و همکاران، ۲۰۱۳). برای جلوگیری از آلودگی احتمالی، تمام تجهیزات آزمایشگاهی و مخازن شیشه‌ای با آب دو بار تقطیر شستشو داده شد و در دمای اتاق در یک مخزن بخار خشک قرار گرفت و بلافاصله پس از خشک شدن با فویل آلومینیومی پوشیده شد. تمام مایعات قبل از استفاده، با فیلتر ۰/۴۵

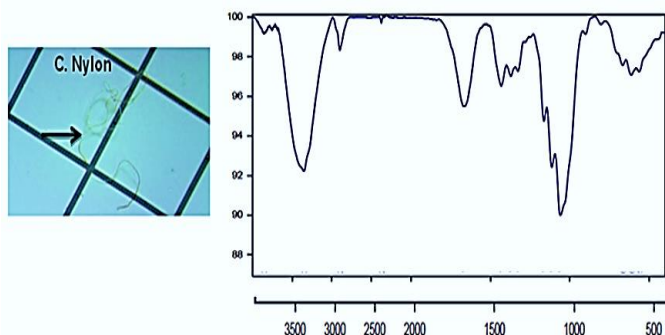


جدول ۳: میانگین تعداد اشکال مختلف میکروپلاستیک‌های یافت شده بر حسب فرد (N/individual)

گونه	تعداد فیبر/فرد	تعداد فیلم/فرد	تعداد قطعه/فرد	تعداد گلوله/فرد
<i>Pinctada radiata</i>	۲/۶۱±۰/۵۸ ^a	۰/۳۳±۰/۱۳ ^a	۰/۸۵±۰/۳۰ ^a	۰/۱۵±۰/۰۱ ^a

موردهایی که با حروف الفبای یکسان نشانه‌گذاری شده‌اند تفاوت معنی‌داری با هم ندارند (P-value ≥ ۰/۰۵).

براساس جدول ۳، بیش‌ترین تعداد میکروپلاستیک/فرد استخراج شده از گونه *Pinctada radiata* مربوط به نوع فیبر و کم‌ترین آن مربوط به نوع گلوله بوده است و به ترتیب کاهشی برای تعداد/فرد این گونه وجود دارد: تعداد گلوله > تعداد فیلم > تعداد قطعه > تعداد فیبر شناسایی میکروپلاستیک‌های موجود در دوکفه‌ای: در این مرحله میکروپلاستیک‌ها توسط استریومیکروسکوپ (NSZ-810; NOVEL) شناسایی شده و به‌عنوان مثال در شکل ۲ یک نمونه از نایلون که توسط FTIR مشخص شده، نشان داده شده است.



شکل ۲: شناسایی میکروپلاستیک جدا شده از دوکفه‌ای با استفاده از طیف‌سنجی FTIR

رنگ‌بندی میکروپلاستیک‌ها در دوکفه‌ای: رنگ‌های متنوعی در الیاف و قطعات زیر استریومیکروسکوپ مشاهده شد که این رنگ‌های یافت شده به ترتیب سیاه، سفید، قرمز، صورتی و سبز بودند رنگ‌های مشاهده شده برحسب درصد به ترتیب کاهشی عبارتند از: سبز > صورتی - قرمز > سفید > سیاه: *Pinctada radiata*

میکروپلاستیک‌ها در رسوبات: اشکال میکروپلاستیک‌های جداسازی شده از رسوبات توسط محلول NaCl در هر ایستگاه در شکل ۳ نشان داده شده است.

سهم نسبی انواع مختلف از میکروپلاستیک‌های موجود در رسوب (جدول ۴)، نشان می‌دهد که، فیبرها فراوان‌ترین شکل آن‌ها (به‌طور متوسط ۶۶/۶۷٪) بوده و پس از آن قطعه‌های پلاستیکی (به‌طور متوسط ۲۴/۶۴٪)، فیلم‌ها (به‌طور متوسط ۵/۷۹٪) و گلوله‌های پلاستیکی (به‌طور متوسط ۲/۹۰٪) هستند.

میکرومتر نیتروسولولز فیلتر شدند (Sartorius Stedim Biotech, Göttingen, Germany). روپوش‌های آزمایشگاهی، لباس‌های نخی و دستکش در همه زمان‌ها در طول تجزیه و تحلیل برای کاهش آلودگی استفاده شد. پس از تصفیه، نمونه‌های جمع‌آوری شده بلافاصله با هم جمع شده و در ظروف شیشه‌ای پتری‌دیش قرار گرفتند. قبل از تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی، سطوح کار با الکل تمیز شد و دست‌ها و ساعد برای جلوگیری از آلودگی از پوست، مو و ذرات خاک، تمیز و ضدعفونی شد. واکنش‌دهنده و فرمول‌های روتین به‌عنوان بخشی از برنامه دقت کیفیت، کنترل شد. فضای کار عاری از هرگونه آلودگی میکروپلاستیک بود. اگر نمونه‌ها در حال استفاده نبودند، بلافاصله درون یک هود قرار می‌گرفتند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها: تمام تحلیل‌های آماری با استفاده از بسته‌های آماری (version 16.0, SPSS Inc) محاسبه شده و شکل‌ها با مایکروسافت اکسل ۲۰۰۷ انجام شده است. قبل از تجزیه و تحلیل آماری، تمام داده‌ها از نظر نرمال بودن و همگن بودن واریانس مورد آزمایش قرار گرفتند. برای تجزیه و تحلیل نرمال توزیع داده‌ها، آزمون Kolmogorov-Smirnov انجام شد. هم‌چنین براساس آزمون Tukey، مقایسه‌های جفتی انجام پذیرفت. تجزیه و تحلیل واریانس یک‌طرفه (ANOVA) برای مقایسه انجام شد. مقدار $p\text{-value} \leq 0/05$ به‌لحاظ آماری معنی‌دار در نظر گرفته شد.

نتایج

اندازه میکروپلاستیک‌ها در دوکفه‌ای: اندازه میکروپلاستیک‌های شناسایی شده از طیف ۱۰ تا ۲۵، ۲۵ تا ۲۵۰ و ۲۵۰ تا ۵۰۰ میکرومتر، در بافت دوکفه‌ای‌ها مورد بررسی قرار گرفت. میکروپلاستیک‌ها در طبقه کوچک‌ترین اندازه (حدود ۱۰ تا ۲۵ میکرومتر) تشخیص داده شدند. اشکال مختلف میکروپلاستیک‌ها مانند فیبر، فیلم، قطعه و گلوله در بافت دوکفه‌ای‌ها مشاهده شد (جدول ۲ و ۳).

جدول ۴: میانگین تعداد اشکال مختلف میکروپلاستیک‌های یافت شده در دوکفه‌ای بندرلنگه (± انحراف معیار، ۳ تکرار بر حسب وزن (N/g))

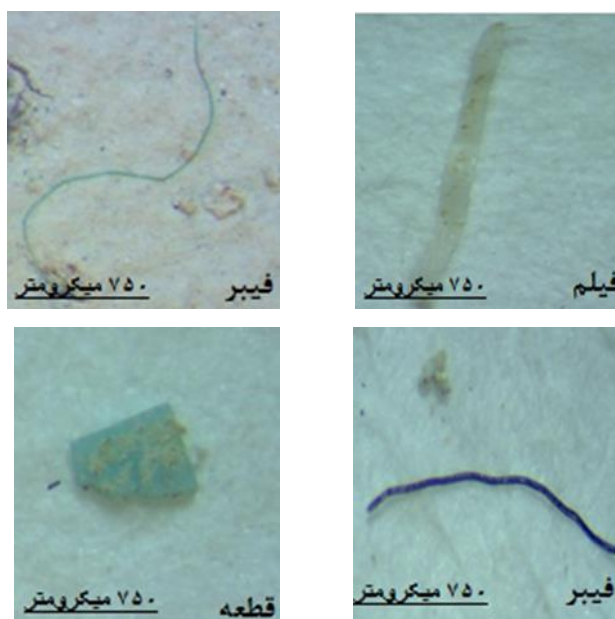
گونه	تعداد فیبر/اگر	تعداد فیلم/اگر	تعداد قطعه/اگر	تعداد گلوله/اگر
<i>Pinctada radiata</i>	۰/۱۰±۰/۰۱ ^a	۰/۰۱±۰/۰۰ ^a	۰/۰۳±۰/۰۱ ^a	۰/۰۱±۰/۰۰ ^a

موردهایی که با حروف الفبای یکسان نشانه‌گذاری شده‌اند تفاوت معنی‌داری با هم ندارند (P-value ≥ ۰/۰۵).

براساس جدول ۴، بیش‌ترین میکروپلاستیک برحسب تعداد/اگر استخراج شده از گونه *P. radiata* مربوط به نوع فیبر و کم‌ترین آن مربوط به انواع گلوله و فیلم بوده است و به ترتیب کاهشی برای تعداد/اگر این گونه وجود دارد: تعداد گلوله = تعداد فیلم > تعداد قطعه > تعداد فیبر

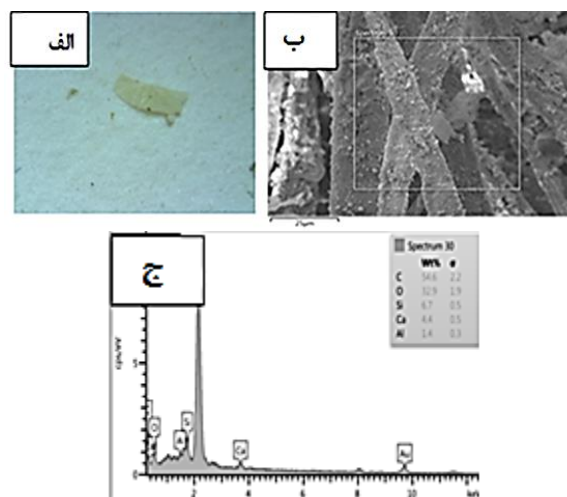
جدول ۴: فراوانی و سهم نسبی انواع مختلف از میکروپلاستیک‌ها در رسوبات بندر لنگه

مکان ایستگاه	فراوانی در ۱ کیلوگرم رسوب	نوع میکروپلاستیک‌ها (%)		
		فیلم	فیبر	قطعه
بندر لنگه	۳۴/۵±۰/۷۱	۵/۷۹	۶۶/۴۷	۲۴/۶۴
				۲/۹۰



شکل ۳: اشکال مختلف میکروپلاستیک‌های کوچک (SMPs) در رسوبات که شامل فیبر، قطعه و فیلم می‌باشد

تصاویر SEM سطح زبری مختلفی را در قطعات و الیاف مختلف نشان داد (شکل ۴).



شکل ۴: شناسایی میکروپلاستیک با FESEM/EDS. عکس (الف) توسط میکروسکوپ و عکس (ب) به وسیله FESEM گرفته شده است. عکس (ج) نشان‌دهنده طیف EDS از ذرات مشاهده شده در عکس (ب) است.

بررسی رابطه میان میزان میکروپلاستیک موجود در دو کفه‌ای و رسوب: با استفاده از اطلاعات به دست آمده، در ایستگاه بندر لنگه، میانگین تعداد کل میکروپلاستیک‌های استخراج شده به ازای هر دو کفه‌ای عبارت است از ۳/۹۳ تعداد میکروپلاستیک/فرد و هم‌چنین میانگین تعداد کل میکروپلاستیک‌های استخراج شده به ازای هر کیلو رسوب ۳۴/۵ تعداد میکروپلاستیک/کیلوگرم رسوب می‌باشد. جدول ۵ آزمون ضریب همبستگی بین تعداد میکروپلاستیک‌های دو کفه‌ای و تعداد میکروپلاستیک‌های رسوب را نشان می‌دهد. میان تعداد میکروپلاستیک‌های رسوبات و تعداد میکروپلاستیک‌های دو کفه‌ای‌ها رابطه مستقیم وجود دارد.

جدول ۵: میانگین تعداد میکروپلاستیک‌های استخراج شده

نام ایستگاه	بندر لنگه
تعداد میکروپلاستیک/کیلوگرم رسوب	۳۶/۴۰±۴۶/۰
تعداد میکروپلاستیک/فرد	۱/۱۳±۳/۹۴

بحث

مقایسه میکروپلاستیک‌ها در دو کفه‌ای *Pinctada radiata*

با سایر نقاط جهان: این مطالعه اولین ارزیابی آلودگی میکروپلاستیک را در صدف‌های خلیج فارس ارائه می‌دهد. بنابراین عدم وجود اطلاعات در خصوص داده‌های میکروپلاستیک در صدف‌های دیگر مناطق دریایی خلیج فارس و ایران، مانع تجزیه و تحلیل و مقایسه منطقه‌ای می‌شود. در مناطق دیگر غلظت میکروپلاستیک‌ها از روش‌های مختلف نمونه برداری و روش‌های تحلیلی به دست آمده است که مانع مقایسه مفید با بسیاری از مطالعات قبلی می‌شود. برای مثال، در روش استفاده از HNO_3 با غلظت بالا، بر روی وضعیت شیمیایی و فیزیکی پلاستیک در طی فرآیند جداسازی میکروپلاستیک تأثیر می‌گذارد (Li و همکاران، ۲۰۱۶؛ Karami و همکاران، ۲۰۱۵)، که دامنه مقایسه را در همان روش، محدود می‌کند. مقایسه مقادیر این تحقیقات با مطالعاتی است که عمدتاً از روش نمونه‌گیری مشابه استفاده کرده‌اند، و یافته‌های خود را به صورت ذرات/گرم و ذرات/فرد گزارش نموده‌اند، می‌باشد (جدول ۵). در این مطالعه، غلظت میکروپلاستیک در صدف‌ها بر اساس ذرات/گرم حدود ۲ تا ۵ برابر بیشتر از مناطق دیگر است. دلایل احتمالی این تفاوت ممکن است به میزان آلودگی پلاستیک، زیستگاه صدف‌ها و یا فیزیولوژی متفاوت گونه‌های مورد مطالعه در آب‌های ساحلی چین مناطق بزرگ صنعتی و پرجمعیت مانند خط ساحلی چین (Li و همکاران، ۲۰۱۶؛ Li و همکاران، ۲۰۱۵) و خلیج فارس مربوط باشد. براساس مطالعات محققین، گونه‌های مختلف ممکن است مکانیسم مخصوص خود جهت سم‌زدایی داشته باشد و هم‌چنین



به‌استثنای Beutner و همکارانش (۲۰۰۱) که از رسوبات با حجم ۵۰ گرم استفاده نمودند، هنگامی که نمک با چگالی بالاتر و گران قیمت استفاده می‌شود، حجم نمونه با مقادیر کم ۵۰۰ گرم و ۶۸ گرم استفاده می‌گردد (Imhof و همکاران، ۲۰۱۲). دلیل استفاده از چنین حجم کم نمونه می‌تواند کاهش هزینه‌های هضم به‌وسیله کاهش مقدار نمک با چگالی بالا که گران قیمت هستند، باشد. از آن‌جا که توزیع میکروپلاستیک‌ها در رسوبات می‌تواند در برخی مناطق بسیار کم یا ناهمگن باشد، برداشت نمونه با حجم بالا می‌تواند احتمال حضور میکروپلاستیک را افزایش دهد. افزایش حجم نمونه چشم‌انداز تشخیص میکروپلاستیک‌ها را افزایش می‌دهد و هم‌چنین این مورد را که نمونه‌های تصادفی نماینده‌ای از مناطق مورد مطالعه هستند، تضمین می‌کند. به‌همین منظور در این مطالعه جرم هر نمونه حدود ۳ کیلوگرم بوده با ۳ تکرار که به‌طور تصادفی از عمق حدوداً ۵-۰ سانتی‌متر گرفته شده است.

مقایسه میکروپلاستیک‌ها در رسوبات با سایر نقاط جهان:

مطالعاتی که غلظت میکروپلاستیک‌ها به‌صورت کیلوگرم در رسوبات سطح گزارش شده‌اند در جدول ۶ آمده است. در واقع، غلظت میکروپلاستیک‌های مناطق بررسی شده در مطالعه حاضر، در مقایسه با سایر مناطق بزرگ صنعتی و پرجمعیت مانند سواحل جزیره فریزین، خط ساحلی چین، رسوبات تالاب ایتالیا، تنگه هرمز ایران، بندر بلژیک، سواحل اسلونی، خط ساحلی گورسوزان ایران و ساحل سنگاپور کم‌تر بوده و در مقایسه با مناطق کم جمعیت مانند مجمع الجزایر نوروئهو آمریکا، دریای شمالی ایسلند و خور آذینی ایران بیش‌تر بوده است.

میکروپلاستیک، در شکل‌ها و اندازه‌های مختلف در بدن مکانیسم دفعی متفاوتی دارد (Li و همکاران، ۲۰۱۶؛ De Witte و همکاران، ۲۰۱۴؛ Mathalon و Hill، ۲۰۱۴؛ Van Cauwenbergh و Janssen، ۲۰۱۴). با توجه به تعداد ذرات/ فرد، نتایج اخیر بالاتر از موارد گزارش شده در ایستگاه‌های پرورشی صدف در آب ساحلی چین بود (Li و همکاران، ۲۰۱۶). با این حال، نتیجه این مطالعه به‌میزان قابل توجهی (حدود ۳ تا ۲۱ برابر) نسبت به آن‌هایی که در مناطق مختلف صنعتی و مناطق پرجمعیت از جمله مناطق ساحلی چین (Li و همکاران، ۲۰۱۵) و مناطق کم جمعیت از ساحل غربی Newfoundland و لابرادور کانادا (Hill و Mathalon، ۲۰۱۴) کم‌تر بود. حضور میکروپلاستیک در این گونه نشان می‌دهد که یک مسیر مستقیم برای ورود این آلاینده به زنجیره غذایی انسان وجود دارد با این حال مصرف دوکفه‌ای‌ها بین کشورها بسیار متفاوت است (Van Janssen و Cauwenbergh، ۲۰۱۴). پلاستیک در محدوده میکرومتر به‌راحتی مصرف می‌شود در حالی که پلاستیک در اندازه نانومتر از طریق غشای سلولی منتقل می‌شود (Carson و همکاران، ۲۰۱۱). میانگین درصد میکروپلاستیک‌ها در دوکفه‌ای بندرلنگه به‌ترتیب فیبر <قطعه> <فیلم> گلوله بود.

میکروپلاستیک‌ها در رسوب: یکی از مسائل مهم در استخراج

میکروپلاستیک‌ها از رسوبات، جرم نمونه رسوب مورد نظر برای استخراج است. در مطالعات گوناگون هنگامی که نمک NaCl برای جداسازی بر اساس چگالی مورد استفاده قرار گرفته، معمولاً یک کیلوگرم رسوب است (Claessens و همکاران، ۲۰۱۱؛ Thampson و همکاران، ۲۰۰۹).

جدول ۶: غلظت میکروپلاستیک‌های یافت شده در رسوبات و نمونه‌های ساحلی در این مطالعه در مقایسه با سایر نقاط جهان.

قاره	مکان	موقعیت مکانی	غلظت میکروپلاستیک‌ها	منبع
اروپا	آلمان	سواحل جزیره فریزین	۶۲۱۰۰	Dubaish و Liebezeit، ۲۰۱۲
آسیا	چین	خط ساحلی	۸۷۱۴	Qiu و همکاران، ۲۰۱۵
اروپا	ایتالیا	رسوبات تالاب	۲۱۷۵	Vianello و همکاران، ۲۰۱۳
آسیا	ایران	بوستانو، تنگه هرمز	۲۹۱±۱۲۵۸	Naji و همکاران، ۲۰۱۶
اروپا	بلژیک	بندرگاه نیوپورت	۳۹۱	Claessens و همکاران، ۲۰۱۱
اروپا	اسلونی	ساحل	۱۵۶	Laglbauer و همکاران، ۲۰۱۴
آسیا	ایران	خط ساحلی گورسوزان	۲۳±۱۲۲	Naji و همکاران، ۲۰۱۶
آسیا	سنگاپور	ساحل	۳۷	Mohamed Nor و Obbard، ۲۰۱۴
آسیا	ایران	بندر لنگه	۳۴/۵±۰/۷۱	مطالعه حاضر
آمریکا	آمریکا	مجمع الجزایر نوروئهو	۱۵	Ivar Do Sul و همکاران، ۲۰۰۹
اروپا	ایسلند	دریای شمالی	۲	Dekiff و همکاران، ۲۰۱۴
آسیا	ایران	ساحل هرمز، خور آذینی	۱±۲	Naji و همکاران، ۲۰۱۶

غلظت میکروپلاستیک‌ها به‌صورت تعداد میکروپلاستیک در یک کیلوگرم رسوب می‌باشد و به‌صورت نزولی نوشته شده است.



۷. **Christiansen, R.; Lie, Q. and Torrissen, O.J., 1994.** Effect of astaxanthin and vitamin A on growth and survival during first feeding of Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Aquaculture and Fisheries Management*. Vol. 25, pp: 903-914.
۸. **Ellis, A.E., 1990.** Lysozyme Assays: In Stolen JS, Fletcher TC, Anderson DP, Roberson BS, Van Muiswinkel WB, editors. *Techniques in Fish Immunology*. Fair Haven, NJ: SOS Publications. 650 p.
۹. **Faghani, T.; Soltani, M.; Shamsae, M. and Matinfar, A., 2013.** The effect of dietary natural Astaxanthin (*Haematococcus pluvialis*) on the growth parameters, carcasses and liver chemical composition in juvenile beluga (*Huso huso* Linnaeus, 1758). *Journal of Marine Biology, Islamic Azad University, Ahvaz Branch*. Vol. 5, pp: 69-78.
۱۰. **Farhangi, M.; Ahmadi, S.; Rafii, G.R.; ghaednia, B. and Taghavi, R., 2013.** Effect of different levels of dietary astaxanthin on biochemical parameters and non-specific immune in *Litopenaeus vannamei* against low oxygen stress *Journal of Marine Sciences and Technology*. Vol. 2, pp: 103-114.
۱۱. **Guerin, M.; Huntley, M.E. and Olaizola, M., 2003.** Haematococcus astaxanthin: applications for human health and nutrition. *Trends Biotechnology*. Vol. 21, pp: 210-216.
۱۲. **Harikrishnan, R.; Kim, J.; Balasundaram, C. and Heo, M., 2012.** Immunomodulatory effects of chitin and chitosan enriched diets in *Epinephelus bruneus* against *Vibrio alginolyticus* infection. *Aquaculture*. Vol. 326, pp: 46-52.
۱۳. **Hussein, G.; Sankawa, U.; Goto, H.; Matsumoto, K. and Watanabe, H., 2006.** Astaxanthin, a carotenoid with potential in human health and nutrition. *Journal of Natural Products*. Vol. 69, pp: 443-449.
۱۴. **Ilyasov, Y. and Golovin, P., 2003.** The effect of NatuRose® on growth, survival and physiological state of two-year-old marketable sturgeons. On file at Cyanotech Corporation.
۱۵. **Kumar, S.; Sahu, N.P.; Pal, A.K.; Choudhury, D.; Yengkokpam, S. and Mukherjee, S.C., 2005.** Effect of dietary carbohydrate on haematology, respiratory burst activity and histological changes in *Labeo rohita* juveniles. *Fish and Shellfish Immunology*. Vol. 19, pp: 331-344.
۱۶. **Li, M.; Wu, W.; Zhou, P.; Xie, F.; Zhou, Q. and Mai,**

برنامه‌های پاک‌سازی و پایش زیست‌محیطی بایستی در تمام نقاط به‌ویژه در مناطق دریایی خلیج فارس در برابر آلودگی میکروپلاستیک انجام گیرد. مطالعه انواع میکروپلاستیک در ماهی‌ها، پستانداران و خزندگان دریایی و همچنین بررسی اثرات بیولوژیکی مانند (پرنندگان دریایی) و عوامل غیرزنده (اشعه فرابنفش، جریان، فعالیت موج) بر انتقال، تجمع و تجزیه بیش‌تر میکروپلاستیک‌ها، و توصیف اثرات بالقوه این زباله‌ها ضروری می‌باشد. با توجه به این‌که سواحل صخره‌ای محیط مناسبی جهت تبدیل ماکروپلاستیک به میکروپلاستیک هستند که به‌وسیله سنگ‌ها خرد شده و توسط حرکت تخته سنگ‌ها بیش‌تر در زمین فرو می‌روند می‌توان به‌عنوان یک پیشنهاد برای مطالعات آینده در نظر گرفته شوند.

منابع

1. **Aathi, K.; Ramasubramanian, V.; Uthayakumar, V. and Munirasu, S., 2013.** Effect of supplemented diet on survival, growth, hematological, biochemical and immunological responses of Indian major carp *labeo rohita*. *International Research Journal of Pharmacy*. Vol. 4. No. 5, pp: 141-147.
2. **Ahmadi, S.; Farhangi, M.; Rafii, G.R. and Ghaednia, B., 2008.** Effect of different levels of astaxanthin on growth parameters and survival in *Litopenaeus vannamei*. *Journal of Marine Sciences and Technology*. Vol. 1-2, pp: 1-12.
3. **Beutner, S.; Bloedorn, B.; Frixel, S.; Blanco, L.H.; Hoffman, T. and Martin, H., 2001.** Quantitative assessment of antioxidant properties of natural colorants and phytochemicals: carotenoids, flavonoids, phenols and indigoids. The role of β -carotene in antioxidant functions. *Journal of the Science of Food Agriculture*. Vol. 81, pp: 559-568.
4. **Burtis, C.A.; Ashwood, E.R. and Brund, D.E., 1994.** *Tietz Textbook of Clinical Chemistry (5th ed.)*. W.B. Saunders Company. Philadelphia. USA. 560 p.
5. **Chein, Y.H. and Jeng, S.C., 1992.** Pigmentation of kuruma prawn, *Penaeus japonicus* bate, by various pigment sources and levels and feeding regimes. *Aquaculture*. Vol. 102, pp: 333-346.
6. **Chew, B.P.; Wong, M.W.; Park, J.S. and Wong, T.S., 1999.** Dietary β -carotene and astaxanthin but not canthaxanthin stimulate splenocyte function in mice. *Anticancer Research*. Vol. 19, pp: 5223-5227.



- K., 2015.** Comparison effect of dietary astaxanthin and *Haematococcus pluvialis* growth performance, antioxidant status and immune response of large yellow croaker *Pseudosciaena crocea*. Aquaculture. Vol. 434, pp: 227-232.
۱۷. **Liu, F.; Shi, H.; Guo, Q.; Yu, Y.; Wang, A.; Lv, F. and Shen, W., 2016.** Effects of astaxanthin and *emodin* on the growth, stress resistance and disease resistance of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). Fish and Shellfish Immunology. Vol. 51, pp:125-135.
۱۸. **Merchie, G.; Kontara, E.; Lavens, P.; Robles, R.; Kurmaly, K. and Sorgeloos, P., 1998.** Effect of vitamin C and astaxanthin on stress and disease resistance of postlarval tiger shrimp, *Penaeus monodon* (Fabricius). Aquaculture Research. Vol. 29, pp: 579-589.
۱۹. **Nakano, T.; Kanmuri, T.; Sato, M. and Takeuchi, M., 1999.** Effect of astaxanthin rich red yeast (*Phaffia rhodozyma*) on oxidative stress in rainbow trout Biochimica et Biophysica Acta. Vol. 426, pp: 119-125.
۲۰. **Niu, J.; Tian, L.X.; Liu, Y.J.; Yang, H.J.; Ye, C.X.; Gao, W. and Mai, K.S., 2009.** Effect of dietary astaxanthin on growth, survival and stress tolerance of postlarval shrimp, *Litopenaeus vannamei*. Journal of World Aquaculture Society. Vol. 40, pp:795-802.
۲۱. **Ravelo, C.; Magariños, B.; Herrero, M.C.; Costa, L.; Toranzo, A.E. and Romald, J.L., 2006.** Use of adjuvanted vaccines to lengthen the protection against *Lactococcus* in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture. Vol. 251, pp: 153-158.
۲۲. **Rehulka, J., 2000.** Influence of astaxanthin on growth rate, condition, and some blood indices of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* Aquaculture. Vol. 190, pp: 27-47.
۲۳. **Sugita, H.; Okano, R.; Suzuki, Y.; Iwai, D.; Mizukami, M.; Akiyama, N. and Matsuura, S., 2002.** Antibacterial abilities of intestinal bacteria from larvae and juvenile Japanese flounder against fish pathogens. Fisheries Science. Vol. 2. No. 68, pp: 1004-1011.
۲۴. **Wahli, T.; Verlhac, V.; Griling, P.; Gabaudan, J. and Aebischer, C., 2003.** Influence of dietary vitamin C on the wound healing process in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) Aquaculture. Vol. 225, pp: 371-386.

