

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و شش، شماره یازده، بهمن ماه ۱۴۰۳ (۳۴-۱۷)

بررسی میزان و نوع میکروپلاستیک‌ها در برخی از ماهیان تجاری نوار شمالی دریای عمان، ایران

مهسا مبشری^۱

لعبت تقوی^{۲*}

L.taghavi@srbiau.ac.ir

تورج ولی نسب^۳

حسن نصرالله زاده ساروی^۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۸/۴

چکیده

زمینه و هدف: امروزه میکروپلاستیک‌ها (MPs) بعنوان آلودگی نوظهور جهانی توجه تحقیقاتی ویژه‌ای را به خود جلب کرده است. لذا پژوهش حاضر فراوانی، غلظت و ماهیت شیمیایی میکروپلاستیک‌های موجود در برخی از ماهیان تجاری دریای عمان، ایران را بررسی می‌کند.

روش بررسی: دو گونه (n=۱۰) از ماهیان تجاری پرمصرف نوار شمالی دریای عمان شامل کفشک تیزدندان (*Psettodes erumei*) و ماهی شینگ (*Ephippus orbis*) در شهریور ۱۴۰۱ خریداری شدند. مجموعاً دستگاه گوارش ۲۰ نمونه ماهی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. ذرات میکروپلاستیک از نظر تعداد، شکل، اندازه و رنگ با استفاده از استریومیکروسکوپ شناسایی و مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین برای تعیین و شناسایی ترکیب پلیمری MPs از دستگاه طیف سنج رامان استفاده شد.

یافته‌ها: طبق نتایج میکروپلاستیک‌ها در تمام نمونه‌های ماهی به تعداد ۱۲۵ (ذره/گرم) یافت شدند. شکل غالب میکروپلاستیک‌ها در هر دو ماهی فیبر (۹۵٪) و رنگ آبی رنگ غالب شناسایی شده می‌باشد. اندازه غالب MPs نیز بین ۲۰۰-۵۰۰ میکرومتر بودند. همچنین پلی اتیلن ترفتالات (PET) و پلی‌وینیل کلراید (PVC) پلیمرهای پلاستیکی غالب در دستگاه گوارش ماهی‌ها بودند.

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم محیط زیست و جنگل، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران/ایران.

۲- دانشیار گروه علوم محیط زیست و جنگل، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران* (مسئول مکاتبات)

۳- استاد تمام پژوهشکده علوم شیلاتی ایران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، تهران، ایران.

۴- دانشیار پژوهشکده علوم شیلاتی ایران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، مرکز تحقیقات اکولوژی دریای خزر (CSERC) ساری، ایران.

بحث و نتیجه گیری: یافته‌های تحقیق حاضر ضمن این که ماهیت فراگیر آلودگی میکروپلاستیک‌ها را در محیط‌های دریایی نمایان می‌کند، می‌تواند داده‌های پایه مهمی در مورد آلودگی میکروپلاستیکی در دریای عمان ارائه دهد. علاوه بر این منجر به شناخت کلی از اثرات زیست محیطی زباله‌های پلاستیکی بر اکوسیستم‌های دریایی و شبکه‌های غذایی خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: میکروپلاستیک، اکوسیستم‌های دریایی، ماهیان تجاری، دریای عمان، دستگاه گوارش.

Investigation of Microplastics ingestion in some commercial fish species from the Northern Oman Sea, Iran

Mahsa Mobasheri¹

Lobat Taghavi² *

ltaghavi@srbiau.ac.ir

Tooraj Valinassab³

Hassan Nasrollahzadeh Saravi⁴

Admission Date: December 23, 2024

Date Received: October 25, 2024

Abstract

Background and Objective: Microplastics (MPs) have recently gained significant research attention as an emerging global pollutant. This study analyzes frequency, concentration, and chemical nature of MPs found in some commercially important fish species from the Oman Sea, Iran.

Material and Methodology: Two highly consumed fish species (n=10) of commercial fishes from the northern Oman Sea including *Psettodes erumei* and *Ephippus orbis* were collected in September 2022. A total of 20 fish specimens were analyzed, focusing on their gastrointestinal tracts (GIT). Microplastic particles were identified and analyzed using a stereomicroscope based on number, shape, size and color. To determine the polymer composition of MPs, Raman spectroscopy was employed.

Findings: The results showed that microplastics were found in all fish samples, with a concentration of 125 (item/gr). The predominant shape in all two species was fiber (95%), blue is the dominant color identified and most particles measured between 200-500 μm . Polyethylene Terephthalate (PET), Polyvinyl Chloride (PVC) were identified as the dominant plastic polymers.

Discussion and Conclusion: These findings highlight the pervasive nature of microplastic pollution in marine environments and provide important baseline data on microplastic contamination in the Oman Sea. Furthermore, they contribute to our understanding of the environmental impacts of plastic waste on marine ecosystems and food webs.

Keywords: Microplastics, Marine ecosystems, Commercial fish, Oman Sea, Gastrointestinal tract.

1- PhD Candidate, Department of Environmental Science and Forest Science and Research Branch, Islamic Azad University Tehran, Iran

2- Associated Professor, Department of Environmental Science and Forest, Science and Research Branch, Islamic Azad University Tehran, Iran. *(Correspondence Author)

3- Professor, Iranian Fisheries Science Research Institute (IFSRI), Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

4-Associated Professor, Caspian Sea Ecology Research Center, Iranian Fisheries Science Research Institute (IFSRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Sari, Iran

مقدمه

باشد (۱۲). همچنین MPs به دلیل ماهیت کوچک خود به راحتی قابل دسترس هستند. از آنجا که توسط موجودات دریایی بلع می‌شوند متعاقباً توسط بسیاری از گونه‌های اکوسیستم دریایی از طریق شبکه غذایی به انسان منتقل می‌شوند که به‌عنوان یک ناقل با انتقال این مواد سمی به بدن انسان ممکن است موجب بروز تهدید بالقوه برای سلامتی شود (۱۳). از این رو مصرف ماهی تازه آلوده به میکروپلاستیک، ماهی کامل، ماهی کنسرو شده یا ماهی خشک شده خطرناکی را برای انسان به همراه دارد زیرا ممکن است مسیر انتقال میکروپلاستیک به انسان باشد (۱۴). مطالعات بسیاری این آلودگی را در اکوسیستم‌های آبی مختلف گزارش کرده‌اند (۱۷، ۱۶، ۱۵، ۱۱). از آنجا که اطلاعات محدودی در مورد بروز MPs در ماهیان تجاری دریای عمان وجود دارد، این مطالعه داده‌های پایه مهمی را در مورد وضعیت جذب میکروپلاستیک‌ها توسط ماهیان تجاری در فصل مانسون برای اولین بار ارائه می‌دهد. علاوه بر این درک ما را از مکانیسم‌های کمک‌کننده به آلودگی را با توجه به نوع زیستگاه ماهیان و عوامل کنترل‌کننده توزیع MPs در گونه‌های مورد نظر افزایش می‌دهد. این مطالعه با هدف بررسی و ارائه گزارش جامعی از میزان بلع و فراوانی میکروپلاستیک‌ها در دستگاه گوارش دو گونه مطالعاتی کفشک تیزدندان (*Psettodes erumei*) و ماهی شینگ (*Ephippus orbis*) که نقش بسزایی در زنجیره غذایی و سلامت انسان دارد پرداخته است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارائه دید کلی، فرآیند اجرایی پژوهش از ابتدا تا انتها طبق استانداردهای لازم و اقدامات عملی در شکل ۱ به صورت گام‌به‌گام نشان داده شده است.

منطقه مورد مطالعه

دریای عمان با اقلیم دریایی حاره ای در دسته‌بندی اقلیمی کوپن- گایگر^۱ در طبقه‌بندی BWh (اقلیم بیابانی گرم) می‌باشد (۱۸) و در شمال غرب اقیانوس هند قرار دارد. از یک

تولید سالانه پلاستیک از دهه ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ به طور تصاعدی در حال افزایش بوده است و در حال حاضر از ۳۵۰ میلیون تن در سال فراتر رفته است (۱). زباله‌های پلاستیکی معمولاً بر اساس اندازه، به ذرات ماکرو (< ۲۵ میلی متر)، مزو (۲۵-۵ میلی متر)، میکرو (> ۵ میلی متر) و نانو (> ۱۰۰۰ نانومتر) طبقه بندی می‌شوند (۲). تعداد میکروپلاستیک‌ها (MPs) از اوایل دهه ۱۹۷۰ در سراسر جهان افزایش یافته است (۳). آلودگی MPs به دلیل تداوم آن‌ها در محیط طبیعی و اثرات نامطلوب بالقوه بر موجودات زنده، در سال‌های اخیر توجه تحقیقاتی بیشتری را به خود جلب کرده است (۴) و به‌عنوان یک مسأله اصلی برای سلامت اکوسیستم‌ها شناسایی شده است.

میکروپلاستیک‌ها به طور گسترده در اکوسیستم‌های آبی وجود دارند (۵) که ناشی از فعالیت‌های انسانی/صنعتی می‌باشد و به عنوان تهدید جدی برای موجودات آبی محسوب می‌شوند (۶). بلع آن‌ها توسط ارگانیسم‌های دریایی مختلف (زئوپلانکتون، دوکفه‌ای‌ها، ماهی، سخت پوستان و غیره) (۷) با تجمع در بافت‌های مختلف (آبشش، دستگاه گوارش، عضله، سیستم گردش خون و غیره) تأیید می‌شود (۸). علاوه بر این حمل و نقل از طریق زنجیره‌ی غذایی به عنوان مثال، انتقال در شبکه غذایی پلانکتون، از طریق زئوپلانکتون به ماهی، از صدف به خرچنگ، و غیره صورت می‌گیرد که وارد زنجیره غذایی/ شبکه غذایی انسان شده از این رو منجر به تهدید و پیامدهای سلامتی انسان می‌شود (۶). از این رو این مسأله منجر به نگرانی و تهدید فراگیر جهانی در مورد آلودگی MPs در اکوسیستم‌های دریایی شده است (۹).

آلاینده‌های آلی پایدار و فلزات سنگین اغلب همراه با MPs یافت می‌شوند (۱۰) که به دلیل سطح جذب بزرگ آنها مربوط می‌شود. این نشان می‌دهد میکروپلاستیک‌هایی که جذب می‌شوند می‌توانند به‌عنوان ناقل مواد شیمیایی سمی به بدن موجودات زنده وارد شوند و اثرات نامطلوب جبران ناپذیری ایجاد کنند (۱۱). بنابراین خطر عمده MPs در محیط‌های دریایی، به دلیل خاصیت تجمع‌زیستی در بدن موجودات می-

گردشگری می‌باشد که جزء مناطق فعال ساحلی با احتمال بالای آلودگی سواحل می‌باشد. در نقشه ۱ محدوده مورد مطالعه نشان داده شده است.

روش شناسی و مراحل اجرایی پژوهش

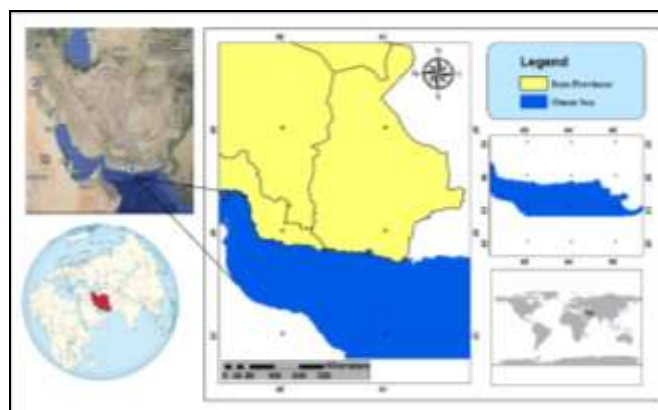
این پژوهش یک مطالعه تجربی است. به طوری که حضور و بلغ میکروپلاستیک‌ها را در دستگاه گوارش ماهی‌های منتخب مورد آنالیز و ارزیابی قرار داده است. بنابراین باتوجه به رعایت استانداردها و معیارهای لازم، مراحل اجرایی آنالیز میکروپلاستیک‌ها بطور شماتیک در شکل گرافیکی ۲ نشان داده شده است.

طرف به خشکی و از طرف دیگر به آب‌های بین‌المللی متصل است و از شمال با ایران و پاکستان و از جنوب با عمان و بخش محدودی از امارات متحده عربی هم‌مرز است. حداکثر طول و عرض آن به ترتیب حدود ۹۵۰ و ۳۴۰ کیلومتر است. این دریا از غرب توسط تنگه هرمز به خلیج فارس متصل شده و از شرق نیز به دریای عرب و اقیانوس هند متصل است (۶) و تحت تأثیر اقلیم اقیانوس هند قرار دارد. پژوهش حاضر در نوار شمالی دریای عمان (استان سیستان و بلوچستان)، واقع در خلیج چابهار در محدوده شهرستان چابهار تا شهرستان کنارک انجام گرفته است. این محدوده شامل چندین منطقه صنعتی و



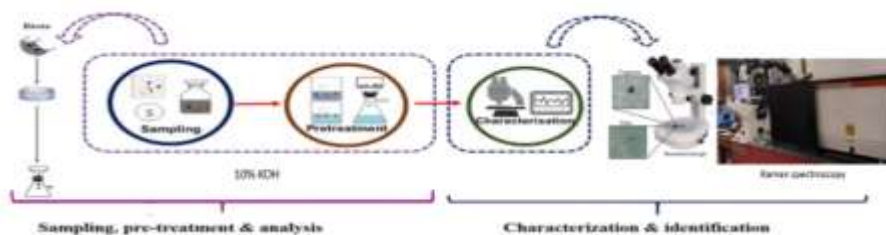
شکل ۱- فرآیند اجرایی پژوهش

Figure 1. The research execution process



نقشه ۱- محدوده مطالعاتی

Map 1. Study area



شکل ۲- مراحل اجرایی استخراج و آنالیز میکروپلاستیک‌ها

Figure 2. Procedural Steps of Microplastics Extraction and Analysis.

نمونه برداری و آماده سازی نمونه های ماهی

نمونه برداری مستقیماً بصورت خرید از صیادان محلی و ماهی فروشان محدوده خلیج چابهار از دو گونه غالب ماهیان تجاری پرمصرف بر اساس سطح زیستگاهی در دو سطح شامل گونه کفزی (کفشک تیزدندان) و نیمه سطح زی (ماهی شینگ) به تعداد ده عدد از هرگونه، مجموعاً به تعداد ۲۰ عدد در شهریور ۱۴۰۱ انجام گرفت. همه ماهی‌های جمع آوری شده داخل فویل‌های آلومینیومی به تفکیک بسته بندی شدند تا از آلودگی قبل از تشریح جلوگیری شود (۱۹). سپس ماهی‌ها بلافاصله تا انتقال به تهران در فریزر در دمای ۲۱- درجه سانتی گراد نگهداری شدند. در نهایت نمونه‌ها با استفاده از یخچال مسافرتی جهت آنالیزهای آزمایشگاهی به آزمایشگاه شیلات دانشگاه تهران منتقل گشتند.

آماده سازی و بیومتری نمونه‌های ماهی

نمونه‌های ماهی ضمن یخ زدایی در دمای اتاق، بلافاصله جهت ارزیابی سلامت کلی گونه‌های ماهی روی یک تخته شیشه ای بیومتری شدند. بطوریکه طول کل (TL)، طول استاندارد (SL) و وزن (W) نمونه‌های ماهی به ترتیب با خط کش بیومتری و ترازوی دیجیتال اندازه گیری، یادداشت و مورد بررسی قرار گرفتند. سپس هرکدام از ماهی‌ها از ناحیه شکم مورد کالبدشکافی قرار گرفته و محتویات دستگاه گوارش هرکدام از نمونه‌ها به تفکیک وزن شده و بصورت مجزا و برچسب زده شده درون بشرهای شیشه ای ۱۰۰ میلی متری،

ضمن پوشاندن دهانه آنها با فویل آلومینیومی در داخل یخچال در دمای ۲۰- درجه سانتی گراد تا زمان اجرای مرحله بعدی نگهداری شدند (۱۱،۲۰).

استخراج میکروپلاستیک‌ها از نمونه‌های ماهی

این مرحله از پژوهش به روش هضم نمودن بافت‌ها و شناورسازی MPs در آزمایشگاه شیلات دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران انجام گردید. بدین صورت که بافت‌های مذکور جدا شده بر اساس وزن امعاء و احشای نمونه به ازای هر گرم ۱۰ میلی لیتر محلول پتاسیم هیدروکسید ۱۰ درصد (KOH) شرکت سیگما آلدریچ آمریکا افزوده شد تا مواد آلی بافت نرم (درون بشرهای شیشه ای ۱۰۰ میلی متری) هضم گردد. از فویل آلومینیومی جهت جلوگیری از ورود آلودگی احتمالی و بخار شدن محلول، به عنوان سرپوش استفاده شد. سپس نمونه‌ها در آون در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد به مدت ۷۲ ساعت تا هضم کامل قرار داده شدند (۲۱). مابع حاصل توسط فیلتر کاغذ صافی واتمن S&S با اندازه منافذ ۲ میکرومتر باند آبی، درجه ۵۸۹/۳ از طریق یک پمپ خلا فیلتر گردید. سپس فیلترها در داخل پتری دیش‌ها درون کابینت های در دار از قبل تمیز شده و استریل شده تا زمان خشک شدن قرار داده شدند. در پایان فیلترهای خشک شده با استفاده از پتری دیش‌های شیشه‌ای استریل تمیز درپوش دار ضمن یادداشت نام/شماره گونه به تفکیک جهت آنالیزهای بعدی و شناسایی فیزیکوشیمیایی میکروپلاستیک‌ها نگهداری شدند (۲۲).

- 1- Psettodes erumei
- 2- Ehippus orbis
- 3- Total length
- 4- Standard length
- 5- Weight

جداسازی میکروپلاستیک‌ها

در این مرحله از پژوهش محلول ۱۵ گرم بر میلی لیتر سدیم یدید (NaI) شرکت سیگما آلدریج آمریکا برای جداسازی MPs از فیلترهای حاوی مواد باقیمانده از هضم بافت ماهی‌ها، از طریق شناورسازی مورد استفاده قرار گرفت. بدین صورت که ۱۵ میلی متر از محلول سدیم یدید فیلتر شده به هر بطری اضافه شده و ضمن قرار دادن فیلتر حاصل درون محلول شستشو داده شد. سپس محلول به همراه فیلتر به مدت ۵ دقیقه داخل دستگاه فراصوت آشفته قرار گرفت. بعد از اینکه محلول بطور کامل ته نشین شد، محلول رویی داخل یک بطری جمع آوری شده و محلول باقیمانده حاوی ذرات میکروپلاستیک مجدداً توسط فیلتر کاغذ صافی واتمن S&S با اندازه منافذ ۲ میکرومتر باند آبی، درجه ۵۸۹/۳ صاف گردید. در نهایت فیلترها به تفکیک نوع گونه و شماره نمونه مجدداً درون پتری دیش-های شیشه ای درپوش دار برچسب زده شده برای تجزیه و تحلیل‌های بعدی قرار داده شدند (۲۲،۲۳).

شناسایی ذرات میکروپلاستیک

شناسایی فیزیکی میکروپلاستیک‌ها

پس از مرحله هضم شیمیایی، تمامی نمونه‌های فیلتر شده بوسیله استریومیکروسکوپ^۱ (Motic, SMZ-171) مجهز به دوربین وصل شده به کامپیوتر (نیکون، شرکت توکیو ژاپن)، در دانشکده شیمی و فناوری شیمیایی دانشگاه لیوبلیانا کشور اسلونی^۲ مورد بررسی و شمارش قرار گرفتند. به طوری که ذرات میکروپلاستیک شناسایی شده، به صورت جداگانه شمارش و به لحاظ ویژگی‌های فیزیکی از جمله رنگ و شکل با حداکثر بزرگنمایی ۵۰ (50x) تعیین و تصویربرداری شدند. همچنین اندازه گیری حداکثر طول ذرات (میکرومتر) توسط نرم افزار^۳ "Nikon NIS Elements" انجام شد. به طوری که طبقه بندی اندازه ذرات به ترتیب ۵۰-۲۰۰ μm، ۵۰-۵۰۰ μm، ۵۰۰-۱۰۰۰ μm و ۱۰۰۰-۵۰۰۰ μm.

صورت پذیرفت. ذرات بر اساس رنگ نیز، به تفکیک به چهار گروه (آبی، قرمز، سیاه و قهوه ای) طبقه بندی شدند. همچنین اقلام میکروپلاستیک به لحاظ شکل به فئیر، قطعه و فیلم تقسیم بندی شدند. در پایان فیلترهای بررسی شده برای تجزیه و تحلیل‌های بعدی به تفکیک مجدداً درون پتری دیش‌های در دار نگهداری شدند.

شناسایی شیمیایی میکروپلاستیک‌ها

در این مرحله از پژوهش ذرات شناسایی شده از مرحله فیزیکی جهت آماده سازی برای مرحله شناسایی شیمیایی ذرات، به صورت تصادفی از تمامی دو گونه ماهی مورد نظر به تفکیک رنگ، شکل و اندازه بوسیله استریومیکروسکوپ (Leica, version Mar 2019, MH) واقع در مرکز میکروسکوپی پیشرفته لوونهوک، دانشکده علوم دانشگاه آمستردام هلند^۵ تا بزرگنمایی ۱۰۰× بطور مجزا انتخاب گشتند. بدین صورت که ذرات بر روی نوار چسب دوطرفه مسی صاف با ضخامت ۰/۰۸۱ میلی متر به تفکیک چسبانده شدند. جهت اعتبارسنجی و شناسایی ویژگی‌های شیمیایی ذرات میکروپلاستیک (نوع پلیمرها)، دستگاه طیف سنج رامان بنام رنیشاو^۶ مجهز به لیزر دیود قرمز با طول موج ۷۸۵ نانومتر و آشکارسازی در محدوده ۴۰۰ تا ۱۸۰۰^{-۱} (سانتی‌متر) واقع در آزمایشگاه لیزر آمستردام، دپارتمان فیزیک و نجوم، دانشگاه Vrij، هلند^۷ استفاده شد. طیف‌ها در محدوده ۸۰۰ تا ۱۸۰۰^{-۱} (سانتی‌متر) با استفاده از یک عدسی با بزرگنمایی ۵۰ و توان لیزر ۱۰، ۲۰ و ۵۰ درصد ذخیره شدند. این سیستم با نرم‌افزار Renishaw WIRETM کار می‌کند و دارای یک مرحله خودکار است که تحلیل طیف‌های خام بدست آمده را ممکن می‌سازد.

4- Fiber, Fragment and Film

5- Leeuwenhoek Centre for Advanced Microscopy, Faculty of Science, The University of Amsterdam, Netherlands.

6-Renishaw, New Mills Wotton-under-Edge, Gloucestershire, UK

7- Laser LaB Amsterdam, Department of Physics and Astronomy, Vrije Universiteit Amsterdam, The Netherlands.

1- Stereo microscope

2- Faculty of Chemistry and Chemical Technology, University of Ljubljana (UL FKKT), Slovenia.

3-Image-processing software "Nikon NIS Elements"

تعیین و شناسایی انواع پلیمرها

از آنجا که طیف‌های به دست آمده از دستگاه رامان به صورت طیف‌های خام می‌باشد، از نرم افزار برنامه نویسی MATLAB (نسخه: 23.2.0.2365128) R2023b برای تعیین و شناسایی ذرات میکروپلاستیک استفاده گردید. به این ترتیب که طیف‌های خام بوسیله تابع 'backcor' ابتدا تصحیح و تبدیل شدند. سپس طیف‌ها با بازسازی به محدوده ۱۰۰-۰ با استفاده از تابع 'MATLAB' rescale نرمال سازی شدند (۲۴). در نهایت برای شناسایی و تعیین نوع پلیمر ذرات، طیف‌های نرمال شده هر ذره میکروپلاستیک با داده‌های استاندارد مرجع پلیمرهای اصلی مقایسه و مورد بررسی قرار گرفتند.

کنترل کیفیت

برای کنترل کیفیت داده‌ها و اطمینان از دقت نتایج، مجموعه‌ای از اقدامات حفاظتی انجام گرفت. تمامی ورودی‌های هوا بسته شدند و سطوح کار آزمایشگاه با اتانول تمیز گشتند. علاوه بر این از ظروف و لباس‌های پلاستیکی استفاده نگردید و کت نخ‌آزمایشگاهی پوشیده شد. محلول‌ها با آب مقطر پیش‌فیلتر شده تهیه شدند و ظروف شیشه‌ای به مدت حداقل یک روز در اسید نیتریک ۱۰٪ نگهداری و سپس با دقت شسته و استریل گشتند. علاوه بر این، برای جلوگیری از آلودگی میکروپلاستیکی، از یک ظرف کنترل در طول آنالیز استفاده گردید که نتایج نشان داد هیچ آلودگی میکروپلاستیکی در آن‌ها وجود نداشت.

روش‌ها و ابزار تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های حاصل از آنالیزهای آزمایشگاهی با استفاده از نرم افزار آماری GraphPad Prism (نسخه ۱۰،۲،۳) انجام گرفت. در ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Shapiro-Wilk بررسی شدند. از آزمون تی^۱ برای تعیین روابط معنی داری بین فراوانی MPs بین دو گونه ماهی استفاده گردید. همچنین برای شناسایی روابط معنی دار بین فراوانی MPs در دستگاه گوارش ماهی و پارامترهای بیولوژیکی و بیومتری ماهی‌ها شامل اندازه و وزن با میزان میکروپلاستیک-

های جذب شده در آن‌ها از آزمون همبستگی مدل رگرسیون خطی استفاده گردید. برای رسم گراف‌ها از نرم افزار Excel 2019 استفاده گردید. به علاوه برای به دست آوردن نقشه جغرافیایی محدوده مورد مطالعه نرم افزار Arc GIS 10 به کار گرفته شد.

نتایج

نتایج و تحلیل فراوانی ذرات میکروپلاستیک بین گونه-

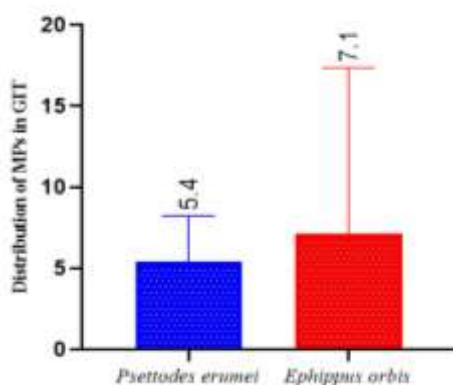
های مطالعاتی در دستگاه گوارش

در مجموع ۱۲۵ ذره MPs (آیتم/گرم) در دستگاه گوارش گونه‌های مطالعاتی یافت شد. نتایج نشان داد فراوانی بلع میکروپلاستیک‌ها در گونه‌های مطالعاتی به ترتیب در کفشک تیزدندان ۵۴ ذره و ماهی شینگ ۷۱ ذره بودند. طبق آزمون Shapiro-Wilk فراوانی MPs در دستگاه گوارش گونه‌های ماهی دارای توزیع نرمال نمی‌باشند ($P \leq 0.05$). بنابراین برای تعیین روابط معنی دار بین فراوانی MPs در گونه‌های مطالعاتی از آنالیز من-ویتنی تست^۲ استفاده گردید. طبق آزمون من-ویتنی تفاوت معناداری بین تعداد میکروپلاستیک‌های موجود در دو گونه‌ی ماهی *Psettodes* *erumei* و *Ephippus orbis* وجود ندارد ($P = 0.5104$). به عبارت دیگر، تفاوت‌های مشاهده شده در فراوانی MPs بین دو گونه آن قدر قابل توجه نیستند که از نظر آماری معنادار تلقی شوند. جدول ۱ نتایج آزمون من-ویتنی و داده‌های خلاصه شده را نمایش می‌دهد. در شکل ۳ نیز مقایسه توزیع فراوانی MPs در دستگاه گوارش بین دو گونه ماهی نشان داده شده است.

جدول ۱- نتایج آزمون من-ویتنی، مقایسه فراوانی MPs در دستگاه گوارش دو گونه مختلف ماهی

Table 1. Result of Mann Whitney test - MPs frequency comparison in the GIT of two different fish species

Table Analyzed	GIT, MPs in 2 species
Column B	<i>Ehippus orbis</i>
vs.	vs.
Column A	<i>Psettodes erumei</i>
Mann Whitney test	
P value	0.5104
Exact or approximate P value?	Exact
P value summary	ns
Significantly different ($P < 0.05$)?	No
One- or two-tailed P value?	Two-tailed
Sum of ranks in column A,B	114 , 96
Mann-Whitney U	41



شکل ۳- مقایسه توزیع و فراوانی میکروپلاستیک‌ها در دستگاه گوارش دو گونه مختلف ماهی با استفاده از نرم افزار گراف

پد پریسم

Figure 3. Comparison of MPs abundance and distribution in the GIT of two different fish species using Graph Pad Prism

نتایج و تحلیل فراوانی ذرات میکروپلاستیک با

پارامترهای بیومتری

نتایج و تحلیل ارتباط فراوانی میکروپلاستیک‌های شناسایی

شده در دستگاه گوارش با پارامترهای بیومتری به تفکیک گونه-

های مطالعاتی در جدول ۲ و به ترتیب زیر ارائه شده است.

جدول ۲- خلاصه آماری از پارامترهای بیومتری و فراوانی میکروپلاستیک‌ها در دستگاه گوارش دو گونه ماهی مطالعاتی

Table 2. Statistical summary of biological parameters and MPs frequency in the GIT of the two investigated fish species

گونه‌های مطالعاتی	داده‌های آماری	وزن ماهی	وزن دستگاه گوارش	طول استاندارد	کلیه	تعداد میکروپلاستیک‌ها
<i>Psettodes erumei</i> (کفشک تیزدندان)	min	۴۱۳	۷/۹	۲۷/۵	۳۱/۵	۲
	max	۵۶۱/۸	۱۶/۱	۳۰/۵	۳۵/۵	۱۰
	mean	۴۸۶/۵	۱۰/۲۵	۲۸/۷۵	۳۳/۴۵	۵/۴
	med	۴۹۰/۷	۱۰/۱۵	۲۸/۷۵	۳۳/۲۵	۶
<i>Ephippus orbis</i> (ماهی شینگ)	min	۲۷۲/۵	۴/۳	۱۹	۲۳	۲
	max	۴۹۷/۲	۹/۲	۲۴	۲۹	۳۶
	mean	۳۴/۸۶	۶/۸۵	۲۰/۵	۲۴/۷	۷/۱
	med	۳۲۱/۲	۸/۹	۲۰/۲۵	۲۳/۷۵	۴

کفشک تیزدندان (*Psettodes erumei*)

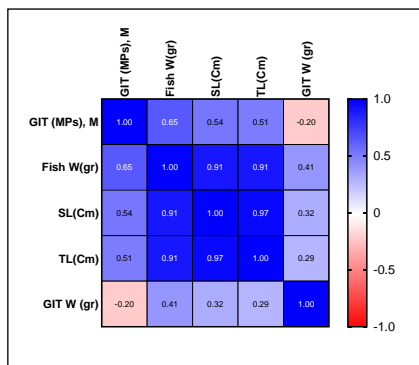
میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. شکل گرافیکی ۵ رابطه‌های همبستگی را به وضوح نشان می‌دهد. با این حال، هیچ تفاوت معنی‌داری میان میزان جذب میکروپلاستیک‌ها و پارامترهای بیومتری مشاهده نشده است ($P \geq 0.05$).

مطابق با آنالیز همبستگی پیرسون میان پارامترهای بیولوژیکی شامل وزن ماهی و طول‌های مختلف بدن (TL و SL)^۱ و میزان تراکم میکروپلاستیک‌ها در دستگاه گوارش *Psettodes erumei* همبستگی آماری مثبت و قابل توجهی وجود دارد که در شکل گرافیکی ۴ نیز قابل مشاهده است. با این حال، بین وزن دستگاه گوارش و میکروپلاستیک‌های جذب‌شده همبستگی منفی ضعیفی وجود دارد ($r = -0.20$, $n = 10$) و این همبستگی از نظر آماری معنی‌دار نیست ($P \geq 0.05$).

ماهی شینگ (*Ephippus orbis*)

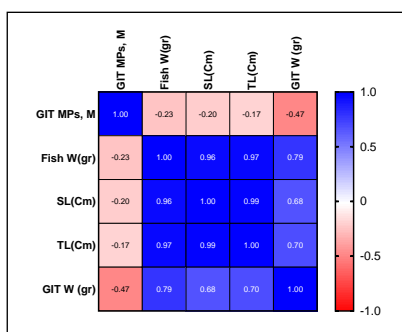
مطابق با آنالیز همبستگی پیرسون میان پارامترهای بیومتری و میزان تراکم MPs در دستگاه گوارش *Ephippus orbis* همبستگی آماری منفی ضعیف تا متوسطی وجود دارد. این نشان می‌دهد که با افزایش پارامترهای بیومتری، تراکم میکروپلاستیک‌ها در دستگاه گوارش کاهش می‌یابد. همچنین همبستگی منفی متوسطی ($r = -0.47$, $n = 10$) بین وزن دستگاه گوارش و تراکم میکروپلاستیک‌ها وجود دارد. به طوری که با افزایش وزن دستگاه گوارش، تراکم میکروپلاستیک‌ها به

1- Total length (TL), Standard Length (SL)



شکل ۴- همبستگی پارامترهای بیومتری و فراوانی میکروپلاستیک‌ها در دستگاه گوارش *Psettodes erumei*

Figure 4. Correlation of biometric parameters and abundance of MPs in the GIT of *Psettodes erumei*



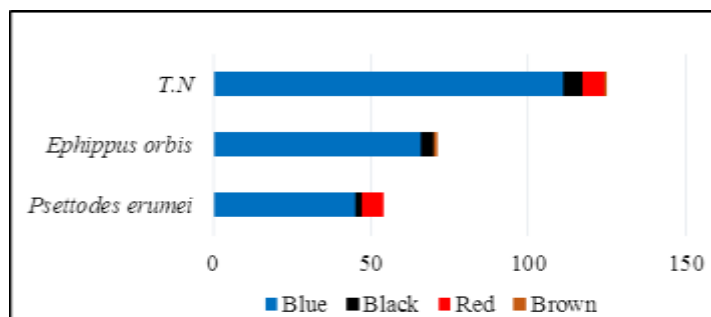
شکل ۵- همبستگی پارامترهای بیومتری و فراوانی میکروپلاستیک‌ها در دستگاه گوارش *Ehippus orbis*

Figure 5. Correlation of biometric parameters and abundance of MPs in the GIT of *Ehippus orbis*

نتایج شناسایی فیزیکی میکروپلاستیک‌ها

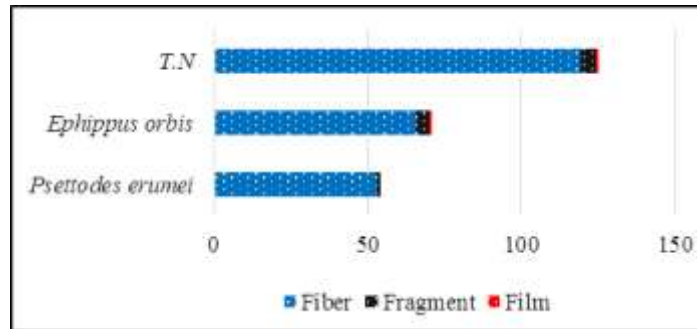
بیشترین $50-200 > 200-500 > 500-1000 > 1000-5000 > 5000-10000 > 10000-50000$ میکرومتر می‌باشند. بدین صورت اندازه غالب MPs به دسته $200-500$ میکرومتر با 34% تعلق دارد. توزیع میکروپلاستیک‌ها بر اساس رنگ، شکل و اندازه در شکل‌های (۶، ۸، ۷) ارائه شده است.

طبق نتایج توزیع و فراوانی میکروپلاستیک‌ها از لحاظ رنگ به ترتیب آبی (۱۱۱)، سیاه (۶)، قرمز (۷) و قهوه‌ای (۱) بودند. بنابراین رنگ آبی به عنوان رنگ غالب شناسایی شده در گونه-های مطالعاتی یافت شد. ذرات میکروپلاستیک شناسایی شده از لحاظ شکل نیز به ترتیب فیبر (۹۵٪)، قطعات (۴٪) و فیلم (۱٪) بودند. بعلاوه نتایج اندازه ذرات به ترتیب از کمترین به



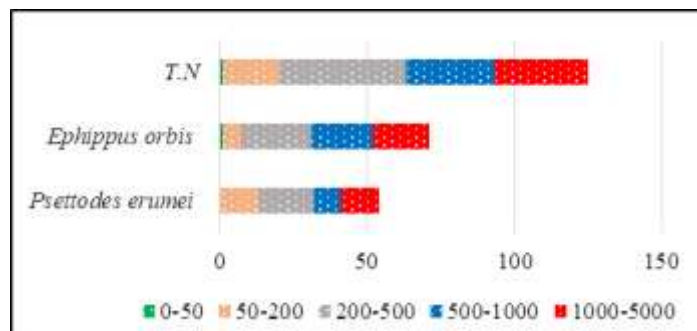
شکل ۶- توزیع میکروپلاستیک‌ها بر اساس رنگ در دستگاه گوارش دو گونه ماهی مطالعاتی

Figure 6. Distribution of MPs based on color in the GIT of the two investigated fish species



شکل ۷- توزیع میکروپلاستیک‌ها بر اساس شکل در دستگاه گوارش دو گونه ماهی مطالعاتی

Figure 7. Distribution of MPs based on shape in the GIT of the two investigated fish species



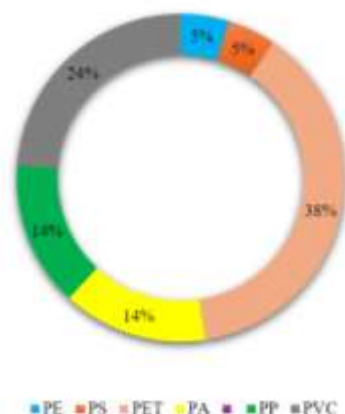
شکل ۸- توزیع میکروپلاستیک‌ها بر اساس اندازه در دستگاه گوارش دو گونه ماهی مطالعاتی

Figure 8. Distribution of MPs based on size in the GIT of the two investigated fish species

نتایج شناسایی شیمیایی میکروپلاستیک‌ها

کلراید (PVC) بودند. بدین صورت PET و PVC پلیمرهای غالب یافت شده در دستگاه گوارش نمونه‌های مطالعاتی می- باشند شکل ۹.

براساس نتایج تحلیل پلیمری، پلیمرهای شناسایی شده شامل پلی اتیلن (PE)، پلی استایرن (PS)، پلی اتیلن ترفتالات (PET)، پلی آمید (PA)، پلی پروپیلن (PP) و پلی وینیل



شکل ۹- توزیع میکروپلاستیک‌ها بر اساس نوع پلیمر در دستگاه گوارش دو گونه ماهی مطالعاتی

Figure 9. Distribution of MPs based on polymer type in the GIT of the two investigated fish species

بحث

به دلیل نزدیکی به ساحل و مناطقی که تحت تأثیر فعالیت‌های صنعتی، توریستی و صیادی قرار دارند، در معرض آلودگی بیشتری است. مطالعه نعمت‌اللهی و همکاران (۱۱) در دریای خزر نیز این موضوع را تأیید کرده است. این نتایج همچنین با یافته‌های Neves و همکاران (۲۹) و Jabeen و همکاران (۳۰) همخوانی دارد، که نشان دادند گونه‌هایی که از کفزیان تغذیه می‌کنند، در مقایسه با گونه‌های پلاژیک، فراوانی بیشتری از میکروپلاستیک‌ها را در بدن خود دارند. از سوی دیگر، کفشک تیزدندان که در عمق‌های ۱ تا ۱۰۰ متری و بیشتر در بسترهای گلی و ماسه‌ای زندگی می‌کند، ماهیخوار بوده و از ماهیان مرکب، خرچنگ و میگو تغذیه می‌کند (۲۷). با در نظر گرفتن این موضوع که ماهیان گوشتخوار با مصرف طعمه‌های بالقوه آلوده می‌توانند میکروپلاستیک‌ها را مصرف کنند و از طریق شبکه غذایی به سطوح تروفیک بالاتر منتقل نمایند (بزرگنمایی زیستی) (۲۸) که به موجب آن با حرکت در زنجیره غذایی، تراکم میکروپلاستیک‌ها در بدن ماهیان شکارچی افزایش می‌یابد. می‌توان نتیجه گرفت کفشک تیزدندان به دلیل تغذیه از طعمه‌هایی که ممکن است به‌طور مستقیم میکروپلاستیک را از رسوبات کف دریا یا آب‌های آلوده جذب کرده باشند، در معرض خطر بیشتری از بلع این ذرات قرار دارد. بنابراین این گونه‌ها با تجمع میکروپلاستیک‌ها در بدن خود می‌توانند این ذرات را به سطوح بالاتر زنجیره غذایی از جمله انسان منتقل کنند.

از طرفی دیگر اثرات تغییرات اقلیمی موجب افزایش شدت رویدادهای آب و هوایی (۳۱ و ۳۲)، از جمله بروز طوفان‌ها و سیلاب‌ها شده است که می‌تواند زباله‌های مدیریت نشده پلاستیکی را بین محیط‌های زمینی، رودخانه‌ها و در نهایت اکوسیستم‌های دریایی پراکنده کند (۳۳) و (۳۴). این شرایط، احتمال ورود پلاستیک‌ها به محیط‌های آبی را افزایش می‌دهد. همچنین، ممکن است رسوبات ساحلی محبوس‌شده حاوی پلاستیک و میکروپلاستیک تحت تأثیر طوفان‌ها و سیلاب‌ها آزاد شوند و حجم ورودی میکروپلاستیک‌ها به دریا افزایش یابد.

افزایش شهرنشینی و فعالیت‌های انسانی مرتبط با آن‌ها منجر به ورود تعداد فزاینده‌ای از ذرات پلاستیکی به محیط‌های دریایی شده است. به طوری که حدود ۶۰ تا ۸۰ درصد کل زباله‌های دریایی را زباله‌های پلاستیکی تشکیل می‌دهند (۱۱). از طرفی محصولات دریایی منبع اصلی غذا برای انسان‌ها هستند (۲۵)، از این رو آلودگی نوظهور MPs در سال‌های اخیر به عنوان یک چالش مهم و خطر جدی در جهان در حال بررسی است. بنابراین ضمن به خطر افتادن سلامت آبزیان، با ورود ناخواسته این آلاینده‌ها به بدن انسان نیز منجر به تهدید و خطرات جبران ناپذیری می‌شوند. تجمع میکروپلاستیک‌ها در گونه‌های مختلف ماهی به بسیاری از عوامل بیولوژیکی و محیطی از جمله قرار گرفتن ماهی در معرض آلودگی MPs، وضعیت رشد گونه‌های ماهی، مکانیسم‌های انتقال و جذب، عمق آب، نوع زیستگاه و عادت تغذیه‌ای بستگی دارد (۲۶). لذا این پژوهش درک ما را از مکانیسم‌های کمک به آلودگی با مقایسه دو گونه ماهی در زیستگاه‌های مختلف بهبود می‌بخشد. در این راستا این پژوهش پایشی برای تعیین میزان بلع MPs در دستگاه گوارش دو گونه از ماهیان تجاری پر مصرف نوار شمالی دریای عمان در دو سطح و زیستگاه، واقع در منطقه صنعتی گردشگری خلیج چابهار استان سیستان و بلوچستان در فصل مانسون به عمل آمد.

طبق نتایج به دست آمده میکروپلاستیک‌ها در دستگاه گوارش تمام نمونه‌های آنالیز شده ($n=20$) حضور داشتند. به طوری که بیشترین میزان بلع MPs در ماهی شینگ (*Ephippus orbis*) مشاهده گردید که به عنوان یک گونه نیمه‌سطح‌زی در عمق‌های کم (۳۰-۱۰ متری) و نزدیک بستر صخره‌های مرجانی زندگی می‌کند (۲۷)، بیشترین میزان آلودگی به میکروپلاستیک‌ها را نشان می‌دهد. این گونه از بی‌مهرگان و ماهیان کفزی تغذیه می‌کند و به دلیل عادات تغذیه‌ای خود، به طور غیرمستقیم از طریق طعمه‌های آلوده در معرض جذب میکروپلاستیک‌ها قرار دارد، که می‌تواند یک مسیر کلیدی برای انتقال آلاینده‌ها باشد (۲۸). با در نظر گرفتن نوع زیستگاه نیز

طبق یافته‌های این پژوهش، حضور MPs در تمامی نمونه‌های آنالیز شده ممکن است متأثر از این فرایندها نیز باشد، که اهمیت مطالعات بین‌رشته‌ای درباره تغییرات اقلیمی و آلودگی پلاستیکی را نشان می‌دهد.

نتایج تحلیل آماری نیز نشان‌دهنده تأثیر مستقیم زیستگاه و عادات تغذیه‌ای بر میزان بلع و فراوانی میکروپلاستیک‌ها دارد ($P \geq 0.05$). هرچه زیستگاه به مناطق آلوده‌تر نزدیک‌تر و منابع غذایی بیشتر در معرض آلودگی باشد، میزان بلع MPs نیز افزایش می‌یابد. به‌ویژه گونه‌های گوشتخوار که در زنجیره غذایی بالاتری قرار دارند، به دلیل مصرف طعمه‌های آلوده به راحتی میکروپلاستیک‌ها را وارد بدن خود می‌کنند. این موضوع با مطالعات Ojeda و همکاران (۳۵) که برای اولین بار حضور و شناسایی میکروپلاستیک‌ها در موجودات مرتبط با شبکه غذایی در جنوب غربی اقیانوس اطلس را گزارش می‌دهد مطابقت دارد. طبق گزارش برنامه محیط زیست سازمان ملل متحد (UNEP) بیش از ۸۰ درصد شکل غالب میکروپلاستیک‌ها در محیط‌های دریایی شامل فیبرها می‌باشد (۳۶). بیشترین اشکال مشاهده شده در این مطالعه نیز فیبرها بودند که با نتایج تحقیق عباسی و همکاران (۱۷) در همین منطقه تطابق دارد. پلیمرهای غالب شناسایی شده در نمونه‌ها پلی‌اتیلن ترفتالات (PET) و پلی‌وینیل کلراید (PVC) بودند. این پلیمرها به دلیل چگالی بیشتر نسبت به آب دریا می‌توانند تحت تأثیر جریان‌های زیرین آب دریا جابجا شوند (۲۵) بنابراین توسط موجوداتی که از بستر دریا یا کفزیان تغذیه می‌کنند بلعیده می‌شوند. با توجه به این که گونه‌های مورد مطالعه در این پژوهش بر اساس نوع زیستگاه و عادات تغذیه‌ای خود در معرض بلع این نوع پلیمرهای میکروپلاستیکی قرار دارند، نتایج به‌وضوح نشان‌دهنده فراوانی بالای بلع این نوع میکروپلاستیک‌ها توسط آن‌ها است.

نتیجه‌گیری

با در نظر گرفتن ساختار و ماهیت شیمیایی میکروپلاستیک‌ها که به عنوان یک حامل و منبع بالقوه آلاینده‌ها عمل می‌کنند، گونه‌های مختلف دریایی به ویژه ماهی‌های مصرفی انسان به طور قابل توجهی نظر محققان را به خود جلب کرده است. در

حالی که مشخص است انتقال تغذیه‌ای میکروپلاستیک‌ها (MPs) در زنجیره غذایی رخ می‌دهد، اما محققان هنوز به طور کامل سرنوشت این ذرات در شبکه‌های غذایی را درک نکرده‌اند (۵). بنابراین، انتظار می‌رود تجمع و توزیع MPs توسط موجودات آبی تجاری منجر به افزایش خطر قرار گرفتن انسان‌ها در معرض این ذرات شده و در طولانی‌مدت اثرات نامطلوب احتمالی داشته باشد (۳۷). از آنجایی که اطلاعات محدودی در مورد آلودگی میکروپلاستیک‌ها در ماهیان تجاری نوار شمالی دریای عمان وجود دارد، مطالعه حاضر داده‌های پایه مهمی در مورد آلودگی میکروپلاستیکی برای تحقیقات آینده در زمینه مکانیسم‌های انتشار این آلاینده‌ها و درک ما از اثرات زیست محیطی زباله‌های پلاستیکی بر اکوسیستم‌های دریایی و شبکه‌های غذایی کمک می‌کند. پیشنهاد می‌شود در آینده تحقیقات بیشتری روی سایر گونه‌های دریایی این محدوده صورت گیرد. علاوه بر این، توسعه و اجرای راهکارهایی برای کاهش آلودگی پلاستیکی در منطقه ضروری به نظر می‌رسد. در همین راستا، سیاست‌گذاری‌های دقیق‌تر برای کاهش ورود زباله‌های پلاستیکی به دریا و بهبود مدیریت پسماندهای صنعتی و شهری و به‌ویژه در اسکله‌ها و لنگرگاه‌های این منطقه که از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند اجرا گردد.

محدودیت‌های پژوهش

- شناسایی ذرات میکروپلاستیک فقط با یک دستگاه (رامان)
- زمان بر بودن پروسه شناسایی ذرات مشکوک به میکروپلاستیک
- عدم امکان انتخاب تمامی ذرات میکروپلاستیک برای شناسایی پلیمری به لحاظ هزینه و زمان بر بودن این فرآیند
- عدم امکان شناسایی ذرات میکروپلاستیک کوچکتر از ۱۰ میکرومتر

تشکر و قدردانی

نویسندگان از راهنمایی‌های ارزشمند جناب آقای دکتر محمدجواد نعمت‌اللهی، آزمایشگاه شیلات دانشگاه تهران،

413. 125405. [Doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125405](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125405)
6. Kaur, K., Reddy, S., Barathe, P., Oak, U., Shriram, V., Kharat, S.S., Govarthanam, M., Kumar, V., 2021. Microplastic-associated pathogens and antimicrobial resistance in environment. *Chemosphere* 0045-6535. Elsevier Ltd. [Doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133005](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133005)
7. Alfonso, M.B., Nakano, H., Jandang, S., Tanaka, M., Viyakarn, V., Chavanich, S., Isobe, A., 2024. Small microplastic ingestion by the calanoid *Centropages furcatus* in the Gulf of Thailand. *Science of the Total Environment* 930. 172837. [Doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172837](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172837)
8. Watts, A.J., Lewis, C., Goodhead, R.M., Beckett, S.J., Moger, J., Tyler, C.R., 2014. Uptake and retention of microplastics by the shore crab *Carcinus maenas*. *Environmental Science and Technology*; 48:8823–30. DOI:[10.1021/es501090e](https://doi.org/10.1021/es501090e)
9. Nejat, N., Sattari, M., Mohsenpour, R., Shi, X., Rasta, M., 2024. Microplastics abundance, distribution and composition in surface waters, sediments and fish species from Amir-Kalayeh Wetland, Northern Iran. *Environmental Science and Pollution Research*. 31:22024–22037 [Doi.org/10.1007/s11356-024-32627-0](https://doi.org/10.1007/s11356-024-32627-0)
10. Rahman, I., Mujahid, A., Palombo, E.A., Müller, M., 2021. A functional gene-array analysis of microbial communities settling on microplastics in a peat-draining environment. *Marine Pollution Bulletin*. 166, 413-424. [Doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.111052](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.111052)
- ایران؛ آزمایشگاه شیمی و فناوری شیمیایی در دانشگاه لیوبلیانا، اسلوانی؛ کمیته تحقیقاتی مؤسسه علوم مولکولی Van 't Hoff دانشگاه آمستردام؛ و آزمایشگاه لیزر دانشگاه Vrije هلند، در تحقق یافتن این پژوهش کمال تشکر و قدردانی را دارند.

References

1. Plastic Europe., 2021. *Plastics – The Facts 2021. An Analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data.* <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2021/>
2. Cozzolino, L., Nicastrò, K.R., Zardi, G.I., Carmen, B., 2020. Species-specific plastic accumulation in the sediment and canopy of coastal vegetated habitats. *Science of The Total Environment*. 138018. [Doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138018](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138018)
3. Al-Salem, S.M., Uddin, S., Lyons, B., 2020. Evidence of microplastics (MP) in gut content of major consumed marine fish species in the State of Kuwait (of the Arabian/Persian Gulf). *Marine Pollution Bulletin*. 154, 111052. [marpolbul.111052. Doi.org/10.1016/j.](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111052)
4. Xiang, sh., Xie, Y., Sun, X., Du, H., Wang, J., 2022. Identification and Quantification of Microplastics in Aquaculture Environment. *Frontiers in Marine Science*. 8:804208. [Doi: 10.3389/fmars.2021.804208](https://doi.org/10.3389/fmars.2021.804208)
5. Covernton, G.A., Davies, H.L., Cox, K.D., El-Sabaawi, R., Juanes, F., Dudas, S.E., Dower, J.F., 2021. A Bayesian analysis of the factors determining microplastics ingestion in fishes. *Journal of Hazardous Materials*

111539.
[Doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111539](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111539).
16. Constant, M., Reynaud, M., Weiss, L., Ludwig, W., Kerhervé, P., 2022. Ingested Microplastics in 18 Local Fish Species from the Northwestern Mediterranean Sea. *MDPI, Microplastic1*, 186–197.
[Doi.org/10.3390/microplastics1010012](https://doi.org/10.3390/microplastics1010012)
17. Abbasi, A., Sadeghi, P., Taghizadeh Rahmat Abadi, Z., 2023. Characterization of microplastics in digestive tract of commercial fish species from the Oman Sea. *Marine Pollution Bulletin* 197, 115769.
[Doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115769](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115769)
18. Beck HE., Zimmermann, NE., McVicar, TR., Vergopolan, N., Berg, A., Wood, EF., 2018. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*. 30:5:180214. Doi: 10.1038/sdata.2018.214.
19. Barboza, L.G.A., Lopes, C., Oliveira, P., Bessa, F., Otero, V., Henriques, B., Raimundo, J., Caetano, M., Vale, C., Guilhermino, L., 2020. Microplastics in wild fish from Northeast Atlantic Ocean and its potential for causing neurotoxic effects, lipid oxidative damage, and human health risks associated with ingestion exposure. *Science of the Total Environment*. 717, 134625.
[Doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134625](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134625).
20. Lusher, AL., Mchugh, M., Thompson, RC., 2013. Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. *Marine Pollution* 112226.
[Doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112226](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112226)
11. Nematollahi, M.J., Keshavarzi, B., Moore, F., Esmaeili, H.R., Nasrollahzadeh Saravi, H., Sorooshian, A., 2021. Microplastic fibers in the gut of highly consumed fish species from the southern Caspian Sea. *Marine Pollution Bulletin* 168, 112461.
[Doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112461](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112461)
12. Piyawardhana, N., Weerathunga, V., Chen, H.S., Guo, L., Huang, P.J., Ranatunga, R.R.M.K.P., Hung, CH.CH., 2022. Occurrence of microplastics in commercial marine dried fish in Asian countries. *Journal of Hazardous Materials* 423, 127093.
[Doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127093](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127093)
13. Smith, M., Love, D.C., Rochman, C.M., Neff, R.A., 2018. Microplastics in seafood and the implications for human health. *Current Environmental Health Report*. 5 (3), 375–386.
[Doi.org/10.1007/s40572-018-0206-z](https://doi.org/10.1007/s40572-018-0206-z).
14. Hashmi, M.Z., Strezov, V., 2022. *Microplastic Pollution Environmental Occurrence and Treatment Technologies. Emerging Contaminants and Associated Treatment Technologies*. ISBN 978-3-030-89220-3 (eBook)
[Doi.org/10.1007/978-3-030-89220-3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-89220-3)
15. Parker, B.W., Beckingham, B.A., Ingram, B.C., Ballenger, J.C., Weinstein, J.E. and Sancho, G., 2020. Microplastic, tire wear particle occurrence in fishes from an urban estuary: influence of feeding characteristics on exposure risk. *Marine Pollution Bulletin*. 160,

- I., Uchida, J., Kinoshita, T., Yamawaki, N., Aoshima, T., Morii, Y., Shimizu, K., 2022. Microplastic pollution of commercial fishes from coastal and offshore waters in southwestern Japan. *Marine Pollution Bulletin* 174, 113304. [Doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113304](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113304)
27. Fishes of Persian Gulf & Gulf of Oman., FishBase.ir. https://fishbase.ir/species/persiangulf_gulf_of_oman
28. Egbeocha, Ch., Malek, S., Emenike, Ch., Milow, P., 2018. Feasting on microplastics: Ingestion by and effects on marine organism. *Aquatic Biology* 27: 93–106. DOI:[10.3354/ab00701](https://doi.org/10.3354/ab00701)
29. Neves, D., Sobral, P., Ferreira, J.L., Pereira, T., 2015. Ingestion of microplastics by commercial fish off the Portuguese coast. *Marine Pollution Bulletin*. 101, 119–126. [Doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.11.008](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.11.008)
30. Jabeen, K., Su, L., Li, J., Yang, D., Tong, C., Mu, J., Shi, H.J.E.P., 2017. Microplastics and mesoplastics in fish from coastal and fresh waters of China. 221, 141–149. [Doi.org/10.1016/j.envpol.2016.11.055](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.11.055)
31. IPCC, 2019. In: Pörtner, H.O., Roberts, D.C., Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Tignor, M., Poloczanska, E., Mintenbeck, K., Alegría, A., Nicolai, M., Okem, A., Petzold, J., Rama, B., Weyer, N.M. (Eds.), IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. [Doi.org/10.1017/9781009157964](https://doi.org/10.1017/9781009157964).
32. IPCC, 2021. Summary for policymakers. In: Pörtner, H.-O., Roberts, D.C., Masson-Delmotte, V., *Bulletin* 67(1–2):94–99. [Doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.11.028](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.11.028)
21. Karami, A., Romano, N., Galloway, T., Hamzah, H., 2016. Virgin microplastics cause toxicity and modulate the impacts of phenanthrene on biomarker responses in African catfish (*Clarias gariepinus*). *Environmental Research*. 151, 58–70. [Doi.org/10.1016/j.envres.2016.07.024](https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.07.024)
22. Hermsen, E., Pompe, R., Besseling, E., Koelmans, A.A., 2017. Detection of lonumbers of microplastics in North Sea fish using strict quality assurance criteria. *Marin pollution bulletin*, 122(1-2): pp.253-258. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2017.06.051.
23. Naji, A., Esmaili, Z., Mason, S.A., Vethaak, A.D., 2017b. The occurrence of microplastics contamination in littoral sediments of the Persian Gulf, Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 24: 20459e20468. DOI: 10.1016/j.envpol.2017.12.046.
24. Konings, M.C., Zada, L., Schmidt, R.W., Ariese, F., 2024, Optimization of sample preparation, fluorescence- and Raman techniques for environmental microplastics. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 319, 124537, [Doi.org/10.1016/j.saa.2024.124537](https://doi.org/10.1016/j.saa.2024.124537).
25. Wang, J., Tan, Zh., Peng, J., Qiu, Q., Li, M., 2016. The behaviors of microplastics in the marine environment. *Marine Environmental Research* 113, 7e17. [Doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.10.014](https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.10.014)
26. Yagi, M., Kobayashi, T., Maruyama, Y., Hoshina, S., Masumi, S., Aizawa,

- case study in Sanggou Bay, China. *Science of the Total Environment*. 1–8. [Doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.367](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.367).
35. Ojeda, M., Rimondino, G.N., Fraysse, C.P., Cossi, P.F., Boy, C., P´erez., A.F., 2024. Microplastic ingestion in key fish species of food webs in the Southwest Atlantic (Marine Protected Area Namuncura / Burdwood Bank). *Aquatic Toxicology* 267, 106827. [Doi.org/10.1016/j.aquatox.2023.106827](https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2023.106827)
36. UNEP, 2016. Marine plastic debris and microplastics – Global lessons and research to inspire action and guide policy change. United Nations Environment Program, Nairobi ISBN No: 978-92-807-3580-6
37. Makhdoumi, P., Hossini, H., Pirsahab, M., 2021. A review of microplastic pollution in commercial fish for human consumption. *Reviews on Environmental Health*. [Doi.org/10.1515/reveh-2021-0103](https://doi.org/10.1515/reveh-2021-0103)
- Zhai, P., Tignor, M., Poloczanska, E., Mintenbeck, K., Alegría, A., Nicolai, M., Okem, A., Petzold, J., Rama, B., Weyer, N.M. (Eds.), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 1 to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Doi:10.1017/9781009325844.001](https://doi.org/10.1017/9781009325844.001).
33. Lo, H.S., Lee, Y.K., Po, B.H.K., Wong, L.C., Xu, X., Wong, C.F., Wong, C.Y., Tam, N.F.Y., Cheung, S.G., 2020. Impacts of Typhoon Mangkhut in 2018 on the deposition of marine debris and microplastics on beaches in Hong Kong. *Science of the Total Environment*. 716, 137172. [Doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137172](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137172).
34. Wang, J., Lu, L., Wang, M., Jiang, T., Liu, X., Ru, S., 2019. Typhoons increase the abundance of microplastics in the marine environment and cultured organisms: a