

ارزیابی کمی و کیفی آلودگی به ریزپلاستیک‌ها در ماهی کوتر دم سیاه (*Sphyraena genie*) دریای عمان

شهین کردی ترشابی^۱، پروین صادقی^{۱*} و زهرا تقی‌زاده رحمت‌آبادی^۲

^۱ گروه زیست‌شناسی دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار، چابهار، ایران

^۲ گروه زیست‌شناسی دریا، دانشکده علوم و فناوری‌های زیستی، دانشگاه شهیدبهبشتی، تهران، ایران

سابقه و هدف: فراوانی و ماندگاری زباله‌های پلاستیکی در محیط‌زیست، به‌ویژه در محیط‌های دریایی، تهدیدات زیست‌محیطی گسترده‌ای برای اقیانوس و تنوع زیستی آن به همراه دارد. ریزپلاستیک‌ها (۱ میکرومتر تا ۵ میلی‌متر) جزء مهمی از آلودگی پلاستیک دریایی می‌باشند. نگرانی در مورد اثرات منفی ریزپلاستیک‌ها بر سلامت انسان، توجه به حضور و خواص فیزیکوشیمیایی ریزپلاستیک‌های موجود در محیط‌های آبی و درون بدن آبزیان خوراکی را افزایش داده است. بنابراین، هدف اصلی این پژوهش بررسی کمی (وجود، فراوانی و اندازه) و کیفیت (شکل و رنگ) ریزپلاستیک‌ها در لوله گوارش ماهی کوتر دم سیاه (*Sphyraena genie*) دریای عمان است.

مواد و روش‌ها: برای این مطالعه، ۲۷ قطعه ماهی کوتر دم سیاه (میانگین طول کل $5/36 \pm 42/5$ سانتی‌متر و وزن کل $2/5 \pm$ گرم) از سواحل شمالی دریای عمان در زمستان سال ۱۳۹۹ به‌وسیله تور گوشگیر جمع‌آوری شد. ماهیها در آزمایشگاه زیست‌سنجی و سپس تشریح شدند. برای استخراج ریزپلاستیک‌ها هر لوله گوارش با محلول KOH ده درصد هضم و سپس فیلتراسیون خلاء انجام شد. شناسایی، شمارش و تعیین ویژگی‌های ریزپلاستیک‌ها (شکل، اندازه و رنگ) به‌وسیله استرئومیکروسکوپ صورت گرفت. ابعاد ذرات (μm) با استفاده از نرم‌افزار ImageJ اندازه‌گیری شد.

نتایج و بحث: همه ماهیان مورد بررسی دارای ریزپلاستیک در دستگاه گوارش بودند (۱۰۰ درصد). ۲۸۵ ذره ریزپلاستیک در ماهی کوتر دم سیاه دریای عمان یافت شد. میانگین فراوانی ریزپلاستیک‌ها $5/19 \pm 10/5$ ذره به ازای هر ماهی و $0/8 \pm 0/2$ ذره به ازای هر گرم وزن تر ماهی بود. ریزپلاستیک‌های شناسایی شده به شکل رشته (فراوانی: ۷۳٪)، قطعات نامنظم (۲۶٪) و صفحات فیلم

* Corresponding Author: Email Address. Parvin.sadeghi@gmail.com

(۱٪) بودند. رنگ ریزپلاستیک‌ها از طیف رنگی روشن تا تیره متغیر بود. ترکیب رنگ بر حسب فراوانی عبارت بود از سیاه < خاکستری < شفاف < کرم < قرمز < آبی و قرمز تیره < سبز و قهوه‌ای < صورتی و سفید < آبی تیره و هلوپی. حدود نیمی از ریزپلاستیک‌ها طولی کوتاهتر از ۳۰۰ میکرومتر داشتند در حالی که تنها حدود ۹٪ ذرات ریزپلاستیک بلندتر از ۱ میلی‌متر بودند. از نظر اندازه، ریزپلاستیک‌ها در هشت گروه دسته‌بندی شدند: دسته یک (اندازه: ۱۰۰-۱ میکرومتر؛ تعداد ۶۴ ریزپلاستیک)، دسته دو (۳۰۰-۱۰۰ میکرومتر؛ تعداد ۸۵ ریزپلاستیک)، دسته سه (۵۰۰-۳۰۰ میکرومتر؛ تعداد ۴۵ ریزپلاستیک)، دسته چهار (۵۰۰-۱ میکرومتر؛ ۱ میلی‌متر؛ ۶۶ ریزپلاستیک) دسته پنج (۲-۱ میلی‌متر؛ ۱۹ ذره ریزپلاستیک)، دسته شش (۳-۲ میلی‌متر؛ ۵ ذره ریزپلاستیک)، دسته هفت (۴-۳ میلی‌متر؛ ۱ ذره ریزپلاستیک) و دسته هشت (۵-۴ میلی‌متر؛ بدون ریزپلاستیک). ریزپلاستیک‌های قطعه نامنظم نسبت به رشته کوچک‌تر و عمدتاً کمتر از ۱۰۰ میکرومتر بودند. با توجه به شکل و اندازه کوچک اغلب ذرات ریزپلاستیک، وجود بقایای ماهیان کوچک (جمجمه، فلس و رشته‌های آبششی) و خرده صدف در لوله گوارش ماهی و همچنین رژیم گوشت‌خواری ماهی کوتر دم سیاه، می‌توان احتمال داد که ذرات ریزپلاستیک ثانویه تخریب شده ممکن است از طریق زنجیره غذایی منتقل شده باشند.

نتیجه‌گیری: در لوله گوارش همه نمونه‌های مورد بررسی ماهی کوتر دم سیاه ذرات ریزپلاستیک مشاهده شد. ریزپلاستیک‌های جداسازی شده به شکل‌های رشته، قطعات نامنظم و فیلم بودند. رنگ‌های سیاه، خاکستری و شفاف به عنوان رنگ‌های غالب مشهود بودند که رشته به عنوان شکل غالب در ریزپلاستیک‌ها بود. ریزپلاستیک‌های ۱ میلی‌متر و کمتر، فراوان‌ترین (۹۲٪) ذرات بودند. وجود ریزپلاستیک در ماهی مطالعه شده نگرانی‌های اکولوژیک و بهداشتی را به‌دنبال دارد. از این رو افزایش آگاهی عمومی و مدیریت ورود آلاینده‌های پلاستیکی به محیط‌زیست دریا ضروری است.

واژه‌های کلیدی: آلودگی پلاستیک، باراکودا، ریزپلاستیک، لوله گوارش.

مقدمه

پلاستیک و مشتقات متنوع آن در تمامی جنبه‌های زندگی بشر به یکی از پرکاربردترین مواد تبدیل شده و استفاده از آن در فعالیت‌های روزمره غیرقابل اجتناب است (Li et al., 2019, Zhang et al., 2020a). تولید جهانی پلاستیک در سال ۲۰۲۰ حدود ۳۶۷ میلیون تن بوده است که بخش عمده آن پس از گذشت زمانی کوتاه به زباله تبدیل می‌شود (Gola et al., 2021). در سال‌های اخیر، مقادیر بسیار زیادی زباله‌های پلاستیکی، به‌ویژه زباله‌های پزشکی و پلاستیک‌های یکبار

مصرف، در طول همه‌گیری جهانی COVID-19 تولید شده (Prata *et al.*, 2020) که باعث افزایش ۱۹ تا ۲۳ میلیون تنی آلودگی پلاستیکی در سطح جهان شده است (Borrelle *et al.*, 2020). شتاب مصرف و سوءمدیریت در فرآیندهای دفع پلاستیک تا حد زیادی سبب تجمع مواد پلاستیکی در بدنه‌های آبی مانند دریا، جایی که در نهایت به ریزپلاستیک تجزیه می‌شوند، شده است (Onyena *et al.*, 2022). ریزپلاستیک‌ها ذراتی با اندازه کمتر از ۵ میلی‌متر هستند که یا از انتشار مستقیم در محیط (ریزپلاستیک اولیه) و یا در اثر تخریب مکانیکی و فتوشیمیایی قطعات پلاستیکی بزرگ‌تر در طول زمان (ریزپلاستیک ثانویه) به وجود می‌آیند و از راه‌های مختلفی از جمله ریختن مستقیم زباله در مناطق ساحلی یا دریا، ورود روان‌آب‌های سطحی و فاضلاب به دریا و ادوات رها شده یا مستعمل صیادی و آبی‌پروری به محیط دریا وارد می‌شوند (Habib and Thiemann, 2022). وجود ریزپلاستیک‌ها در سراسر جهان در محیط‌های آبی مختلف مانند رسوب، آب و بدن موجودات زنده ثبت شده است (Mvovo, 2021; Ugwu *et al.*, 2021). ریزپلاستیک‌ها در بدن طیف گسترده‌ای از موجودات دریایی مهم تجاری از جمله ماهی، سخت‌پوستان و نرم‌تنان شناسایی شده‌اند (Barboza *et al.*, 2020; Yin *et al.*, 2022a; Liu *et al.*, 2021). موجودات آبی، ریزپلاستیک‌ها را سهواً همراه با غذا یا در فرایند تنفس، از محیط و یا سطوح تغذیه‌ای پایین‌تر دریافت می‌کنند. بلعیدن و ورود ریزپلاستیک به آبزیان سبب شکل‌گیری چرخه سوخت و ساز ناقص، مسدود شدن دستگاه گوارش و به‌دنبال آن، مختل شدن تغذیه و بروز بیماری‌های مزمن در آنها وجود دارد (Wang *et al.*, 2021). از سوی دیگر، ریزپلاستیک‌ها می‌توانند در محیط طبیعی به‌عنوان ناقل سموم برای موجودات دریایی عمل کنند (Mei *et al.*, 2020, Naqash *et al.*, 2020) زیرا قادرند برخی از ترکیبات خطرناک مانند آلاینده‌های آلی پایدار و فلزات سنگین را به دلیل نسبت سطح به حجم زیاد و خاصیت آبریزی جذب کنند (Rodrigues *et al.*, 2019). اگرچه برای هر ذره ریزپلاستیک مقادیر این سموم می‌تواند ناچیز باشد اما به دلیل جریان دائمی و تعداد قابل توجه ریزپلاستیک بلعیده شده، مقادیر تجمعی این سموم می‌تواند قابل توجه باشد. در مجموع، با توجه به بلع ریزپلاستیک‌ها توسط موجودات دریایی، ترکیبات افزوده شده در فرایند تولید پلاستیک و یا آلاینده‌های شیمیایی جذب شده بر آن، می‌توانند در بافت‌های زیستی انباشته شده و اثراتی سمی برای موجودات آبی سطوح مختلف تغذیه‌ای ایجاد کنند (Bai *et al.*, 2021). بنابراین وجود ریزپلاستیک‌ها در زنجیره غذایی و گزارش‌های متعدد از شناسایی و جداسازی ریزپلاستیک‌ها از غذا و نوشیدنی‌های متداول برای سلامت انسان نگران‌کننده است و کسب دانش کافی از میزان آلودگی ریزپلاستیک‌ها در غذاهای دریایی

به خصوص ماهی‌ها، برای درک وضعیت محیط‌های دریایی و چاره‌جویی در جهت کاهش آسیب‌های وارده به بوم‌سازگان حائز اهمیت است (Habib and Thiemann, 2022).

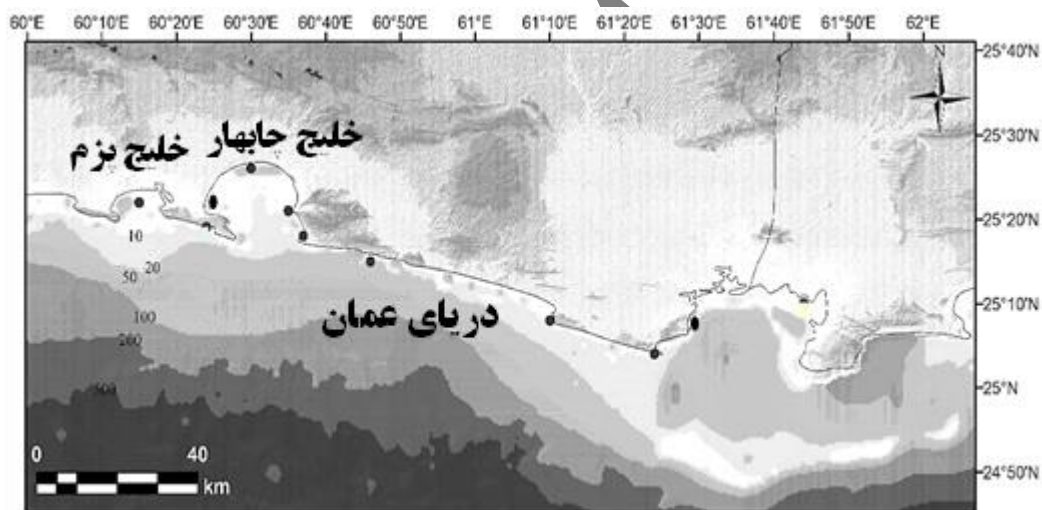
ماهی کوت‌ر دم سیاه با نام علمی *Sphyaena genie* Klunzinger, 1870 و نام انگلیسی Blackfin barracuda، متعلق به خانواده Sphyaenidae (کوترماهیان) و ساکن مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری از دریای سرخ و شرق آفریقا تا هند و اقیانوس آرام غربی تا آب‌های فرانسه می‌باشد. این گونه در خلیج فارس و دریای عمان در مناطق نزدیک به ساحل و هم‌دور از ساحل پراکنش دارد، ولی عمدتاً ساکن آب‌های ساحلی از سطح آب تا عمق ۱۰۰ متری هستند (Senou, 2001). شکارچیان حریص ماهیان دیگر هستند و همچنین از میگوهای درشت و سرپایان نیز تغذیه می‌کنند (Morishita et al., 2020). این گونه از ماهیان با ارزش اقتصادی محسوب شده و در بین ساحل‌نشینان دریای عمان و خلیج فارس محبوبیت قابل توجهی دارد.

تغییرات اجتماعی و اقتصادی در دهه‌های اخیر در ایران منجر به افزایش آلودگی در مناطق مهم ساحلی و دریایی شده است. دریای عمان در جنوب استان سیستان و بلوچستان و جنوب شرقی ایران واقع است. از غرب با تنگه هرمز و خلیج فارس و از شرق به دریای عرب و اقیانوس هند متصل است (Sharifinia et al., 2019; Sadeghi et al., 2021). خلیج چابهار به‌عنوان بزرگترین خلیج دریای عمان، مکان محبوب گردشگری و مجاور منطقه مهم تجاری و صنعتی است که تخلیه فاضلاب از شناورها و ورود پسماندهای شهری آن را در معرض خطر انواع آلودگی از جمله مواد پلاستیکی قرار داده است. با این حال، مطالعات مربوط به ریزپلاستیک در آب‌های ایرانی دریای عمان اندک است (Hosseini et al., 2020). ماهی کوت‌ر دم سیاه (*S. genie*) گوشت‌خوار است و مشاهده ریزپلاستیک در لوله گوارش این گونه می‌تواند نشانگر انتقال ریزپلاستیک از طریق بلع طعمه آلوده باشد. با توجه به موارد عنوان شده، تحقیق حاضر با هدف بررسی وجود یا عدم وجود ریزپلاستیک در لوله گوارش ماهی، تعیین تعداد ریزپلاستیک‌ها بر حسب تعداد در فرد و در گرم وزن بدن ماهی و ارزیابی کمی و کیفی ریزپلاستیک‌ها در لوله گوارش ماهی کوت‌ر دم سیاه دریای عمان انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری ماهی

۲۷ قطعه ماهی کوتر دم سیاه (*S. genie*) توسط صیادان محلی با استفاده از تور گوشگیر از سواحل شمالی دریای عمان (ایستگاه‌های پزم، کنارک، آب شیرین‌کن، تیس، چابهار، رمین، بریس، پسابندر و گواتر = ۳ قطعه ماهی از هر ایستگاه) (شکل ۱) در زمستان ۱۳۹۹ جمع‌آوری شدند. نمونه‌ها درون یخدان‌های حاوی پودر یخ به آزمایشگاه منتقل شدند. جهت زدودن آلودگی سطحی، نمونه‌های ماهی با استفاده از آب مقطر شستشو داده شدند. طول کل ماهیان به وسیله تخته زیست‌سنجی با دقت ۱ میلی‌متر و وزن آن‌ها با ترازوی دیجیتال (AND EK-610 i) با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. جهت تشریح نمونه‌های ماهی، از قسمت شکمی بین قاعده باله و مخرج شکاف ایجاد و محتویات دستگاه گوارش آن‌ها استخراج شد. پس از جداسازی دستگاه گوارش، قسمت‌های زائد آن (چربی‌ها، کبد و طحال) جداسازی شدند. سپس، لوله گوارش تا زمان بررسی بعدی در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد (Taghizade Rahmat et al., 2021).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دریای عمان و محل جمع‌آوری ماهی کوتر دم سیاه
 Fig. 1- Geographical location of the Oman Sea and the collection site of *Sphyraena genie*

جداسازی ریزپلاستیک‌ها از لوله گوارش ماهی

برای هضم نمونه‌های بافت لوله گوارش ماهی‌ها، از محلول KOH ده درصد (نسبت وزنی به حجمی ۱ به ۳) استفاده شد. بشر حاوی بافت و محلول KOH به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس محتویات هر بشر به مدت ۳۰ دقیقه روی همزن مغناطیسی به هم زده شد و به مدت ۲ ساعت در دمای آزمایشگاه برای ته‌نشین شدن مواد ننگه داری شد. سپس کل محتوای محلول با استفاده از فیلترهای ۴۷ میلی‌متری با اندازه منافذ ۰/۱۲ میکرومتر و به کمک دستگاه فیلتراسیون خلاء، فیلتر شد. هر فیلتر درون یک پتری‌دیش ۶ میلی‌متری درب‌دار استریل قرار داده شد (Taghizadeh Rahmat Abadi *et al.*, 2021). سپس هر فیلتر با استفاده از مجموعه دوربین DinoEye (ساخت کشور تایوان) روی یک چشمی استریومیکروسکوپ با بزرگنمایی‌های مختلف (Nikon SMZ1000، مدل C-DS، ساخت کشور ژاپن) و نور سفید اضافه و نرم‌افزار dino capture بررسی و مشخصات ذرات (فراوانی، رنگ و شکل) تصاویر ثبت شدند. ابعاد (μm) ذرات با استفاده از نرم‌افزار ImageJ (<http://imagej.net>) اندازه‌گیری شد (Taghizadeh Rahmat Abadi *et al.*, 2021).

کنترل کیفیت آزمایش

در ابتدای کار وسایل تشریح و ابزارهای مورد استفاده جهت حذف آلودگی‌های سطحی با اسید نیتریک ۱۰ درصد ضدعفونی و سپس با آب مقطر شستشو داده و در نهایت در درون دستگاه آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت خشک شدند. در کلیه مراحل تشریح، هضم بافتی و فیلتر، فقط از ابزار شیشه‌ای یا فلزی استفاده شد و تمام سطوح با الکل تمیز شدند تا از سرایت هرگونه آلودگی ثانویه جلوگیری شود. برای کاهش آلودگی ریزپلاستیک‌های هوا، هر زمان که از ظرف نمونه‌ها استفاده نمی‌شد، در آن‌ها با فویل آلومینیومی پوشانده شد. برای تشخیص ریزپلاستیک‌ها از روش سوزن داغ همراه با نور اضافه استفاده شد. در هنگام کار از روپوش آزمایشگاهی صددرصد نخ پنبه استفاده شد. آب مقطر و محلول KOH قبل از استفاده به وسیله کاغذ صافی با چشمه ۰/۴۷ میکرون فیلتر شدند. تمامی مراحل آزمایش در محیط پاک آزمایشگاه انجام شد.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار spss نسخه ۲۲ انجام شد. توزیع نرمال بودن داده‌ها با آزمون شاپیرو-ویلک بررسی شد. با استفاده از آزمون همبستگی پیرسون، ارتباط بین طول کل و فراوانی ریزپلاستیک‌ها و بین وزن کل و

فراوانی ریزپلاستیک‌ها در لوله گوارش ماهی بررسی شد. جهت بررسی ارتباط بین فراوانی ذرات با شکل، اندازه، و رنگ ریزپلاستیک‌ها از آزمون کای دو استفاده شد. نتایج به صورت میانگین \pm انحراف معیار گزارش گردید. نمودارها با کمک Excel نسخه ۲۰۱۶ رسم شدند.

نتایج و بحث

زیست‌سنجی ماهی

نتایج مربوط به زیست‌سنجی طول کل (سانتی‌متر) و وزن کل (گرم) ماهی کوت‌ر دم سیاه در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- میانگین طول و وزن (میانگین \pm انحراف معیار) گونه مطالعه شده

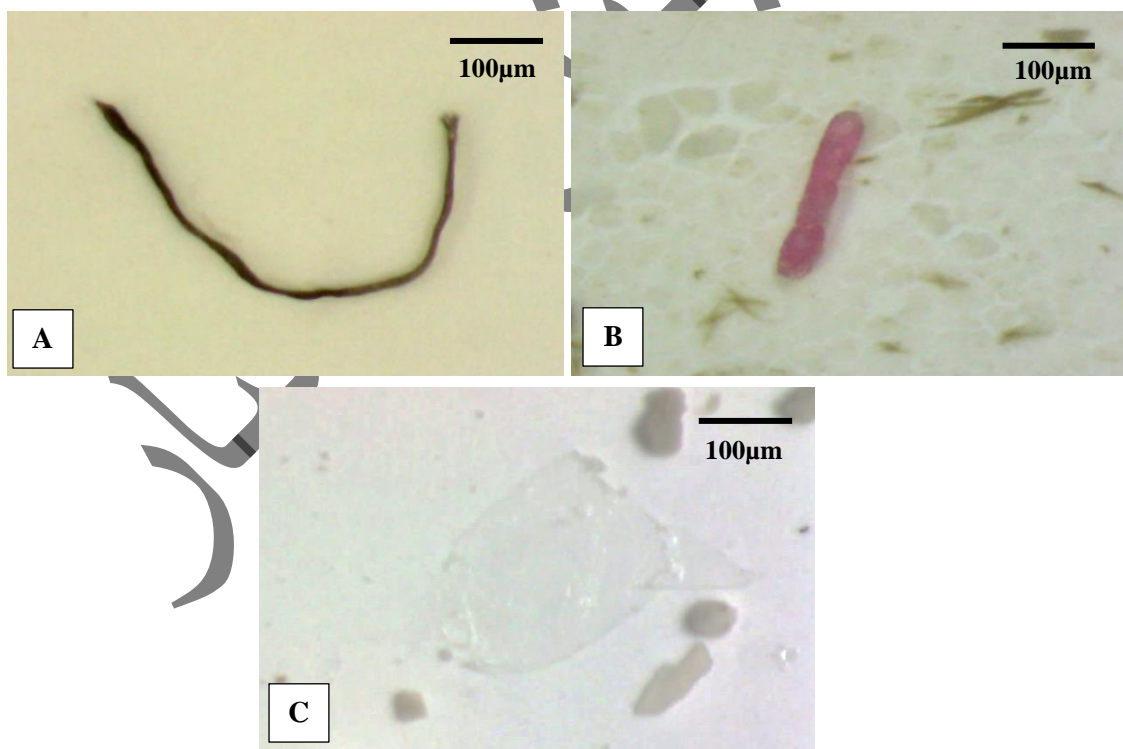
Table 1- Mean total length and total weight (mean \pm standard deviation) of the studied species

| نام گونه | تعداد | طول کل (cm) | وزن کل (gr) | دامنه وزن (gr) | دامنه طول (cm) |
|--|---------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| کوتر دم سیاه (<i>Sphyraena genie</i>) | ۲۷ قطعه | ۴۲/۵ \pm ۵/۳۶ | ۳۵۳/۵ \pm ۲/۵ | ۳۵۶-۳۵۱ | ۳۷/۱۴-۴۷/۸۶ |

اشکال ریزپلاستیک‌های شناسایی شده در لوله گوارش ماهی کوت‌ر دم سیاه

نتایج مؤید وجود ریزپلاستیک در لوله گوارش تمام نمونه‌های مورد بررسی بود (۱۰۰٪). ریزپلاستیک‌های مشاهده شده سه شکل رشته، قطعات نامنظم و فیلم داشتند. اشکال ریزپلاستیک‌های مشاهده شده در لوله گوارش ماهی کوت‌ر دم سیاه در شکل ۲ ارائه شده است. فراوان‌ترین شکل ریزپلاستیک شناسایی شده در کوت‌ر دم سیاه، رشته بود. مطالعات قبلی نیز رشته را به عنوان رایج‌ترین ریزپلاستیک مشاهده شده در گونه‌های مختلف ماهی گزارش کرده‌اند (Heshmati *et al.*, 2021; Hosseinpour *et al.*, 2021; Ghattavi *et al.*, 2019; Barboza *et al.*, 2020; Neves *et al.*, 2015) Bessa *et al.*, 2018; Koongolla *et al.*, 2020; Nematollahi *et al.*, 2021). منشأ ریزپلاستیک‌های رشته‌ای در بوم‌سازگان‌های آبی متفاوت است هر کدام می‌توانند بقایای صنعت ماهیگیری، بطری‌های آب، منسوجات، زباله‌های پزشکی و مواد آرایشی و بهداشتی و ... باشند که از طریق فاضلاب یا به طور مستقیم به دریا رسیده‌اند (Wei *et al.*, 2022). تورها و طناب‌های ماهیگیری ابزار اصلی ماهیگیری هستند و تجزیه آن‌ها می‌تواند باعث ایجاد ریزپلاستیک‌های رشته‌ای شود (Barboza *et al.*, 2020; Welden and Cowie, 2017). علاوه بر آن، استفاده از الیاف مصنوعی در بافت پارچه‌ها بسیار رایج است. منسوجات و شستشوی آن از منابع اصلی شکل‌گیری

ریزپلاستیک‌های رشته‌ای هستند (EEA, 2022) و ریزش رشته‌های جوی تقریباً در همه‌جا مشاهده شده است (Bessa *et al.*, 2018). پساب‌های ماشین‌های لباس‌شویی و فاضلاب‌های خانگی که عمدتاً ذرات پلاستیکی رشته‌ای تولید می‌کنند ممکن است منبع اصلی این ذرات در بوم‌سازگان‌های آبی باشند (Edo *et al.*, 2020; Wei *et al.*, 2022). تخمین زده شده حدود ۶ میلیون رشته ریزپلاستیک از شست‌وشوی پنج کیلوگرم پارچه پلی‌استر (بسته به نوع ماده شوینده مورد استفاده) آزاد می‌شود (De Falco *et al.*, 2018). به طور کلی مقدار بیشتر ریزپلاستیک رشته‌ای مشاهده شده در ماهی ممکن است به عادت غذایی آن‌ها یا به فراوانی قابل توجه ریزرشته‌ها در محیط مرتبط باشد. برخی از محققان مشاهده کردند که ماهیان اعماق دریا نسبت به ماهی‌های پلاژیک ریزپلاستیک رشته‌ای بیشتری در دستگاه گوارش خود دارند که منجر به تجمع و انتقال به سطوح غذایی بالاتر می‌شود (Li *et al.*, 2019). رشته‌های ریزپلاستیک باریک و بلند و شبیه طعمه هستند و می‌توانند به اشتباه توسط موجودات آبی بلعیده شود (Heshmati *et al.*, 2021). وجود اسکله‌های پزم، کنارک، تیس، چابهار، رمین، بریس، پسابندر و گواتر و انجام ماهیگیری تجاری و تفریحی در این مناطق می‌تواند به‌عنوان یکی از دلایل بالابودن میزان ریزپلاستیک رشته‌ای در ماهی کوتر دم سیاه دریای عمان در نظر گرفته شود.



قطعات نامنظم معمولاً از قطعات بزرگ پلاستیک در اثر هوازگی و فرآیند تخریب و فرسایش جدا می‌شوند و سه بُعد طول، عرض و ارتفاعِ قطعه با کمک استرئومیکروسکوپ قابل مشاهده است (Tanaka and Takada, 2016).

ریزپلاستیک‌های فیلم نازکتر و صفحه‌ای شکل‌اند و پهنای کمی دارند. در تماس با پنس نمی‌شکنند و در صورت تماس سوزن داغ به آن می‌چسبند.

شکل ۲: نمونه اشکال ریزپلاستیک‌های مشاهده شده در لوله گوارش ماهی کوت‌ر دم سیاه A: رشته (طول: ۵۶۴ و عرض: ۱۲ میکرومتر)، B: قطعه نامنظم (طول ۲۱۱ و عرض: ۲۹ میکرومتر) C: فیلم

Fig. 2- Sample of microplastics observed in the digestive tract of *Sphyaena genie*

A: Fiber (length: 564 and width: 12 μm), B: Irregular fragment (length: 211 and width: 29 μm), C: Film

فراوانی ریزپلاستیک‌های استخراج شده از لوله گوارش ماهی کوت‌ر دم سیاه

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۲، در مجموع ۲۸۵ ذره ریزپلاستیک در لوله گوارش ماهی کوت‌ر دم سیاه شناسایی شد که این مقدار برابر با $10/5 \pm 5/19$ ذره به ازاء هر ماهی و $0/8 \pm 0/2$ ذره به ازای هر گرم تر ماهی بود. بررسی فراوانی اشکال ریزپلاستیک‌ها نشان داد که ریزپلاستیک رشته با ۷۳٪ و پس از آن قطعات نامنظم با ۲۶٪ و فیلم با ۱٪ به ترتیب غالب‌ترین نوع اشکال بودند.

جدول ۲- فراوانی ذرات ریزپلاستیک در لوله گوارش ماهی کوت‌ر دم سیاه دریای عمان

Table 2. Abundance of microplastic particles in the digestive tract of *Sphyaena genie* in the Oman Sea

| گونه | فراوانی کل ریزپلاستیک | میانگین فراوانی ریزپلاستیک (ذره در فرد) | میانگین فراوانی ریزپلاستیک (ذره در هر گرم وزن تر) | رشته (تعداد و درصد) | قطعات نامنظم (تعداد و درصد) | فیلم (تعداد و درصد) |
|---------------|-----------------------|---|---|---------------------|-----------------------------|---------------------|
| کوت‌ر دم سیاه | ۲۸۵ | $10/5 \pm 5/19$ (۴-۲۴) | $0/8 \pm 0/2$ | ۲۰۹ ٪۷۳ | ۷۳ ٪۲۶ | ۳ ٪۱ |

مطالعات نشان داده‌اند که ۴۹٪ از همه ماهی‌هایی که در سطح جهان برای بررسی بلع ریزپلاستیک نمونه‌برداری شده‌اند، دارای پلاستیک بوده‌اند (Wootton *et al.*, 2021). اگرچه مجموعه مقالات رو به رشدی وجود دارد که بلع پلاستیک توسط موجودات آبی تحت شرایط آزمایشگاهی و طبیعی در نواحی مختلف جهان و آب‌های سرزمینی ایران را مستند کرده‌اند اما در دریای عمان مطالعات بسیار کمی در زمینه بررسی ریزپلاستیک در ماهی صورت گرفته است (Ghattavi *et al.*, 2019; Kord and Najji, 2019) و آنچه انجام شده بیشتر بررسی ریزپلاستیک در آب و رسوبات

بوده است (Hosseini et al., 2020; Kor et al., 2020). در مطالعه Ghattavi et al. (2020) که فراوانی ریزپلاستیک را در دستگاه گوارش ماهیان دریای عمان بررسی کردند، بیشترین (۰.۲۹٪) وجود ریزپلاستیک متعلق به گونه‌های ماهی طلال (*Ratreliger kanagurta*) و گوازیم دم ریش (*Nemipterus japonicas*) و کمترین (۰.۱۴٪) متعلق به ماهی حسون معمولی (*Saurida tumbil*)، کوسه ماهی (*Paragaleus randalli*) و یال اسبی سر بزرگ (*Trichiurus lepturus*) بوده است. (Akhbarizadeh et al. (2018) در شمال شرقی خلیج فارس میانگین فراوانی ریزپلاستیک‌ها را در ماهی زمین کن دم نواری (*Platycephalus indicus*)، کوتر ساده (*Sphyraena jello*) و هامور معمولی (*Epinephelus coioides*) به ترتیب ۱/۸۵، ۰/۵۷، ۰/۷۸ ذره بر هر گرم وزن بدن گزارش نموده‌اند که نسبت به تعداد ذرات ریزپلاستیک در ماهی کوتر دم سیاه پژوهش حاضر کمتر بود. مقادیر به دست آمده در تحقیق حاضر بالاتر از مقادیر گزارش شده برای ماهی‌های نواحی ساحلی چین (۷/۲ ذره برای هر فرد) (Jabeen et al., 2017)، ماهیان کفزی آب‌های ساحلی اسپانیا (۱/۶ ذره به ازای هر فرد) (Bellas et al., 2016) و ماهی کفال خاکستری (*Mugil cephalus*) جنوب چین (۵/۲ ذره به ازای هر فرد) (Zhang et al., 2020b) بود. یکی از موارد مهم بیشتر بودن تعداد ذرات ریزپلاستیک در مطالعه حاضر، نخست بررسی تمام مایع هضم شده لوله گوارش بود که در اکثر مطالعات به دلیل سختی انجام آن، صورت نگرفته و فقط بخش بالایی مایع یا سوپرناتانت بررسی شده است و در درجه دوم، پر بودن و وجود بقایای مواد غذایی مانند ماهی کوچک و خرده صدف در معده بعضی از نمونه‌های مورد بررسی بود که خود عاملی برای انتقال ذرات پلاستیک از این مواد غذایی به ماهیان مورد مطالعه است. همچنین فراوانی ریزپلاستیک در نمونه‌هایی که معده پر داشتند بیشتر بود. تحقیق صورت گرفته توسط Yousuf et al. (2022) بر روی ریزپلاستیک‌ها در ۶ گونه ماهی تجاری مختلف در کراچی نشان داد که فراوانی کلی ریزپلاستیک‌های شناسایی شده (ماهی‌های طلال (*R. kanagurta*) (۰/۱۹)، شیر معمولی (*Scomberomorus commerson*) (۰/۷۶)، قباد (*Scomberomorus guttatus*) (۰/۴۱)، زرده (*Euthynnus affinis*) (۰/۸۰)، هوور مسقطی (*Katsuwonus pelamis*) (۰/۹۳) و هوور (*Thunnus tonggol*) (۱/۱۲) ذره در فرد) بسیار پایین‌تر از تحقیق حاضر هستند. De Witte et al. (2022) میانگین تعداد ذرات ریزپلاستیک را برای هر گونه ماهی ۰/۸۱ ذره در فرد شناسایی کردند که بسیار پایین‌تر از تحقیق حاضر بود. رفتار تغذیه‌ای ماهی، حضور در لایه‌های عمقی مختلف در ستون آب و وضعیت محل نمونه‌برداری

می‌تواند دلیل عمده اختلاف در تعداد ریزپلاستیک‌ها در دستگاه گوارش ماهیان باشد (Pazos *et al.*, 2017; Aiguó *et al.*, 2022).

نتایج همبستگی پیرسون نشان داد همبستگی مثبت و معنی‌داری بین وزن کل و طول کل ماهی کوتر دم سیاه وجود دارد ($r=0/88$, $p < 0/01$)؛ اما بین وزن کل و فراوانی ذرات میکروپلاستیک ($r=0/38$, $p > 0/05$) و طول کل و فراوانی ذرات میکروپلاستیک همبستگی معنی‌داری ($r=0/46$, $p > 0/05$) مشاهده نشد اگرچه ارتباط مثبت بود و با افزایش طول به طور ضعیفی بر تعداد زیرپلاستیک درون لوله گوارش افزوده می‌شد. نتایج مشابهی در مورد همبستگی در مطالعات پیشین نیز گزارش شده است (El-Sayed *et al.*, 2022; Yin *et al.*, 2022b; Taghizadeh Rahmat *et al.*, 2021).

رابطه بین فراوانی و شکل ذرات ریزپلاستیک استخراج شده از لوله گوارش ماهی کوتر دم سیاه با استفاده از آزمون کای دو بررسی شد و نتایج نشان داد بین این دو اختلاف آماری معنی‌داری وجود ندارد ($\chi^2=6$, $df=4$, $P>0/05$). ورود ریزپلاستیک به بدن ماهی و سایر موجودات عمدتاً از طریق بلع انجام می‌شود و بنابراین میزان دریافت، تجمع و دفع آن به عواملی مانند رژیم غذایی غالب، راهبرد تغذیه‌ای، ساختار روده و همچنین میزان آلودگی محلی پلاستیک در محل تغذیه و زیست موجود بستگی دارد. بنابراین، ریزپلاستیک ممکن است به‌طور مستقیم و تصادفی یا عمدی در هنگام تغذیه از ستون آب یا غربال کردن رسوبات آلوده یا به‌طور غیرمستقیم از طریق مصرف طعمه آلوده به بدن ماهی وارد شود (Jovanovic, 2017; Zheng *et al.*, 2019). تجمع ریزپلاستیک در گونه‌های مختلف ماهی به بسیاری از عوامل زیستی و محیطی از جمله قرار گرفتن ماهی در معرض منبع آلودگی، وضعیت رشد گونه‌های ماهی، اندازه، سن و وزن گونه، فرآیندهای انتقال و جذب بستگی دارد (Nematollahi *et al.*, 2021). با این حال، به دلیل پیچیدگی محیط آب و محدودیت‌های درک فعلی ما از سرعت ورود و انتشار ریزپلاستیک در ستون و بستر آب، مشخص نیست که کدام شرایط اثر بیشتری بر تفاوت مصرف ریزپلاستیک‌ها در ماهیان گونه‌های مختلف می‌گذارد (Zhang *et al.*, 2020b). مقایسه میزان فراوانی ذرات ریزپلاستیک در ماهیان متعلق به یک جنس (*Sphyraena*) نیز نشان می‌دهد که میزان بلع ذرات ریزپلاستیک در کوتر ماهیان با خصوصیات فیزیولوژیک مشابه نیز متفاوت است (جدول ۳). در مناطق پرجمعیت بیشتر از ظروف پلاستیکی، لوازم آرایشی، پاک‌کننده‌ها و مواد بسته‌بندی استفاده می‌شود. تجزیه آن‌ها در محیط باعث ایجاد آلاینده ریزپلاستیک در منطقه می‌شود. منابع نقطه‌ای ریزپلاستیک، فاضلاب مسکونی،

زباله‌های پلاستیکی، زباله‌های تفریحی و زباله‌های اسکله ماهیگیری و تجاری عنوان شده است (Uddin et al., 2020). با توجه به وجود چندین اسکله صیادی فعال در منطقه مورد مطالعه و جمعیت ساکن در نزدیکی سواحل دریای عمان، وجود ذرات پلاستیک در ماهی کوتر دم سیاه قابل توجه می‌باشد. از سوی دیگر وجود بقایای ماهیان کوچک (جمجمه، فلس و رشته‌های آبششی) و خرده صدف در لوله گوارش ماهی و رژیم گوشت‌خواری ماهی کوتر دم سیاه، می‌تواند نشان‌دهنده ورود بخش عمده‌ای از ذرات ریزپلاستیک از راه تغذیه به بدن ماهی باشد که نیازمند مطالعات بیشتری در سطوح تغذیه‌ای می‌باشد.

جدول ۳- مقایسه فراوانی ذرات ریزپلاستیک در لوله گوارش گونه‌های متعلق به جنس *Sphyraena* (خانواده کوتر ماهیان)

Table 3. Comparison of the abundance of microplastic in the digestive tract of species belonging to the *Sphyraena* genus (*Sphyraenidae* family)

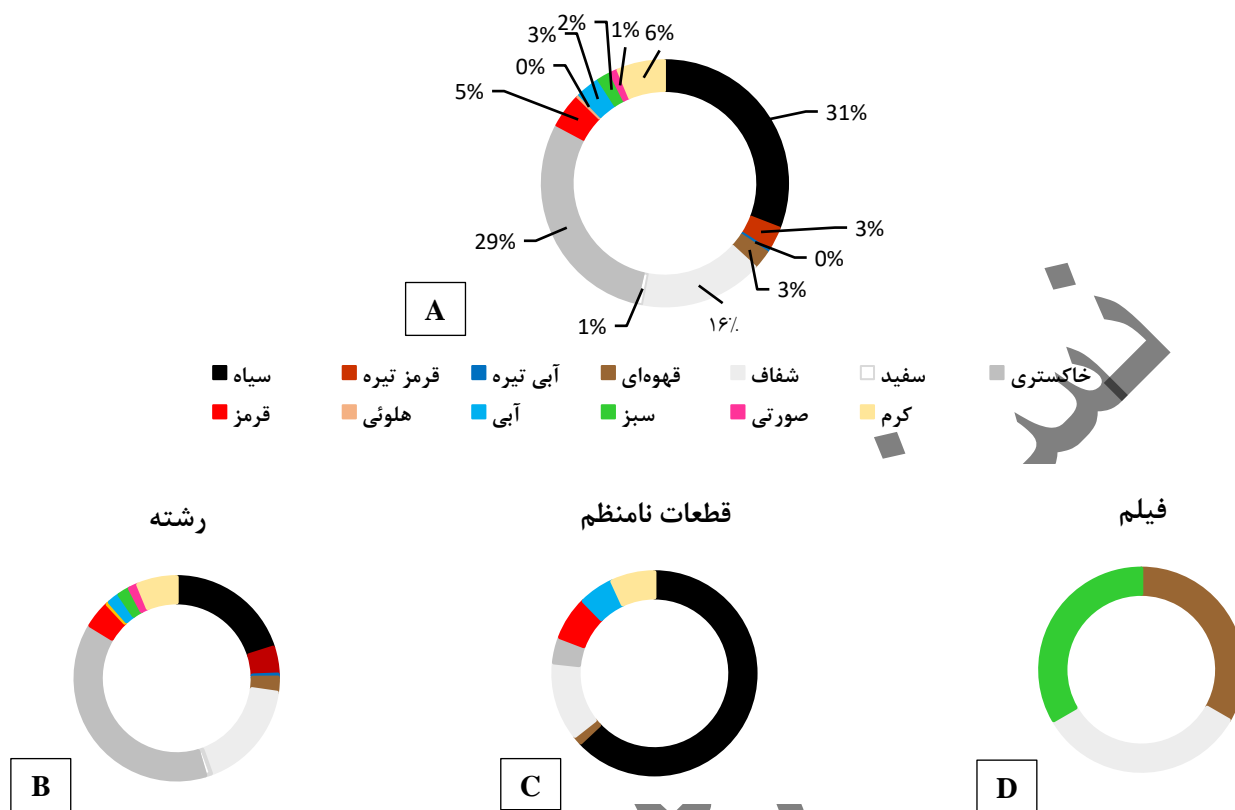
| منبع | فراوانی ریزپلاستیک (ذره در فرد) | منطقه مورد مطالعه | وزن کل ماهی (گرم) | گونه |
|--------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|----------------------|--|
| Gholizadeh et al., 2023 | 0.08 ± 0.02 | خلیج فارس-بوشهر | 832.71 ± 51.9 | کوتر ساده (<i>Sphyraena jello</i>) |
| Hosseinpour et al., 2021 | 5.67 ± 2.08 | خلیج فارس-هرمزگان | - | کوتر موج (<i>Sphyraena putnamiae</i>) |
| Agharokh et al., 2022 | 0.24 ± 0.08 | خلیج فارس-هرمزگان- خوزستان-بوشهر | 589.5 ± 151.7 | کوتر چشم درشت (<i>Sphyraena forsteri</i>) |
| Keerthika et al., 2023 | 0.66 ± 0.22 | سواحل Thoothukudi-هند | 55.28 ± 3.15 | کوتر دهان زرد (<i>Sphyraena obtusata</i>) |
| مطالعه حاضر | 19.5 ± 5.19 | دریای عمان | 353.5 ± 2.5 | کوتر دم سیاه (<i>Sphyraena genie</i>) |

تقسیم‌بندی اشکال ریزپلاستیک‌ها بر اساس رنگ

ریزپلاستیک‌های موجود در لوله گوارش ماهیان مورد بررسی در دو طیف رنگی کلی تیره و روشن دسته‌بندی شدند. رنگ‌های تیره شامل سیاه (۸۸)، قرمز تیره (۹)، آبی تیره (۱) و قهوه‌ای (۷) بودند. رنگ‌های روشن شامل شفاف (۴۶)، سفید (۲)، خاکستری (۸۳)، قرمز (۱۳)، هلویی (۱)، آبی (۹)، سبز (۵)، صورتی (۳)، کرمی (۱۸) بودند (شکل ۳A). طیف رنگی نتایج تحقیق حاضر برای اشکال مختلف ریزپلاستیک‌ها در ادامه شرح داده شده است: ریزپلاستیک‌های رشته‌ای: طیف رنگ‌های تیره شامل سیاه (۴۲)، قرمز تیره (۹)، آبی تیره (۱) و قهوه‌ای (۵) بودند. رنگ‌های روشن

شامل شفاف (۳۶)، سفید (۲)، خاکستری (۸۰)، هلوپی (۱)، قرمز (۹)، آبی (۴)، سبز (۴)، صورتی (۳) و کرمی (۱۳) بودند. (شکل ۳B). ریزپلاستیک‌های قطعات نامنظم: رنگ‌های تیره شامل سیاه (۴۶) و قهوه‌ای (۱) بودند. رنگ‌های روشن شامل شفاف (۹)، خاکستری (۳)، آبی (۴)، قرمز (۵) و کرمی (۵) بودند (شکل ۳C). ریزپلاستیک‌های فیلم: طیف رنگ‌های تیره تنها شامل قهوه‌ای (۱) و طیف رنگ‌های روشن تنها شامل رنگ شفاف (۱) و سبز (۱) بود (شکل ۳D). بنابراین در تحقیق حاضر بیشترین طیف رنگی برای رنگ سیاه (۳۱٪) و بعد از آن رنگ خاکستری (۲۹٪) و شفاف (۱۶٪) بود. رنگ‌های دیگر کمتر از ۱۰٪ را به خود اختصاص داده بودند. براساس نتایج آزمون کای دو متغیر فراوانی و رنگ ذرات ریزپلاستیک، اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد ($\chi^2 = 13$, $df = 120$, $P > 0.05$). این که اکثریت ریزپلاستیک‌های بلعیده شده در موجودات دریایی سیاه هستند قبلاً در تحقیقات زیادی گزارش شده است. غالبیت رنگ ریزپلاستیک‌ها در ماهیان سواحل شرقی تایلند، سیاه بود که در ماهیان پلاژیک ۵۰٪ و در ماهیان کفزی ۶۷٪ گزارش شد (Phaksopa *et al.*, 2021). همچنین رنگ سیاه به‌عنوان رنگ غالب در ریزپلاستیک‌های استخراج شده از ماهیان خلیج فارس گزارش شده است (Hosseinpour *et al.*, 2021; Agharokh *et al.*, 2022) که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی داشت. نتایج بررسی (Ghattavi *et al.*, 2019) بر روی ماهیان دریای عمان از نظر درصد فراوانی رنگ با تحقیق حاضر همخوانی نداشت چرا که ریزپلاستیک‌های رنگ آبی غالب بودند.

تشخیص رنگ‌های مختلف ریزپلاستیک در نمونه‌ها، نشان‌دهنده تنوع منابع تولید ریزپلاستیک است (Li *et al.*, 2019). فراوانی طیف‌های رنگی ریزپلاستیک‌ها در تحقیق حاضر بیشتر از طیف‌های رنگی شناسایی شده در تحقیق Heshmati *et al.* (2021) (سیاه، سفید، آبی، قرمز، سبز و زرد) بود. ریزپلاستیک‌های شناسایی شده در تحقیق Wei *et al.* (2022) بر روی ماهیان خلیج Xiamen برخلاف تحقیق حاضر بیشتر دارای طیف رنگی شفاف (۵۵/۲۲٪) بودند. در تحقیق Rummel *et al.* (2016) که بر روی بررسی ریزپلاستیک‌های ماهیان کفزی و پلاژیک شمال دریای بالتیک بود، برخلاف تحقیق حاضر بیشترین طیف رنگی روشن (شفاف، سفید، آبی) بود. پلاستیک‌های روشن مورد استفاده در تورهای ماهیگیری، بسته‌بندی و لباس ممکن است منجر به افزایش موارد ریزپلاستیک‌های بی‌رنگ شود. شهر بندری چابهار یک کلانشهر تجاری، تفریحی و ماهیگیری است و مصرف پلاستیک در مجموعه‌های صنعتی آن زیاد است (Hosseini *et al.*, 2020). از سوی دیگر جریانات فصلی ناشی از پدیده مانسون در اقیانوس هند می‌تواند



منبعی برای ورود ریزپلاستیک‌ها با طیف رنگی متفاوت از آب‌های سرزمینی سایر کشورهای حوزه اقیانوس هند به دریای عمان باشد. این عوامل می‌توانند از جمله دلایل تنوع زیاد رنگ در ریزپلاستیک‌های پژوهش حاضر باشند.

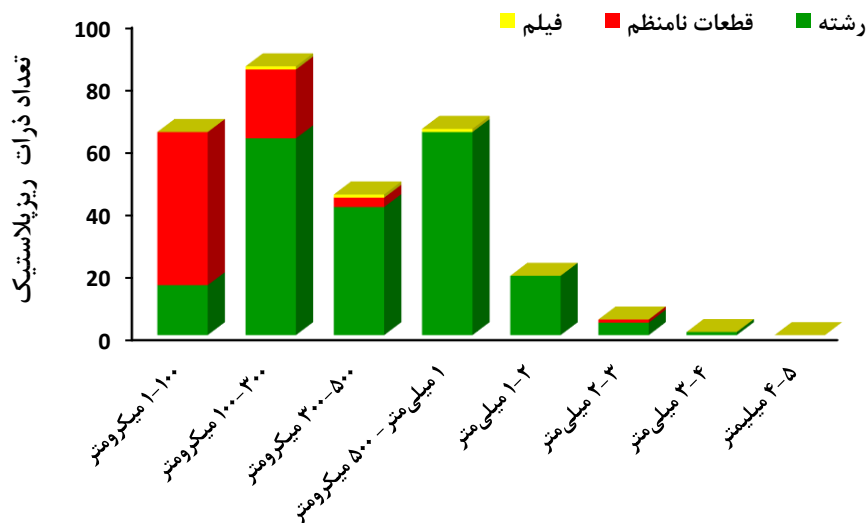
شکل ۳- تنوع رنگ و درصد فراوانی ریزپلاستیک‌های مشاهده شده در لوله گوارش ماهی کوتر دم سیاه (A).

طیف رنگی ریزپلاستیک‌ها در اشکال رشته (B)، قطعات نامنظم (C) و فیلم (D).

Fig. 3- Color variation and frequency percentage of microplastics observed in the digestive tract of *Sphyraena genie* (A), color spectrum of microplastics in Fiber (B), Irregular fragments (C) and film (D).

بررسی ریزپلاستیک‌ها بر اساس اندازه

برای سهولت درک ابعاد ریزپلاستیک‌های مشاهده شده، از نظر اندازه، ریزپلاستیک‌ها در هشت گروه دسته‌بندی شدند: دسته یک (اندازه: ۱۰۰-۱ میکرومتر؛ تعداد ۶۴ ریزپلاستیک)، دسته دو (۳۰۰-۱۰۰ میکرومتر؛ تعداد ۸۵ ریزپلاستیک)، دسته سه (۵۰۰-۳۰۰ میکرومتر؛ تعداد ۴۵ ریزپلاستیک)، دسته چهار (۵۰۰ میکرومتر-۱ میلی‌متر؛ ۶۶ ریزپلاستیک) دسته پنج (۱-۲ میلی‌متر؛ ۱۹ ذره ریزپلاستیک)، دسته شش (۲-۳ میلی‌متر؛ ۵ ذره ریزپلاستیک)، دسته هفت (۳-۴ میلی‌متر؛ ۱ ذره ریزپلاستیک) و دسته هشت (۴-۵ میلی‌متر؛ بدون ریزپلاستیک). دسته دو (۲۹/۸٪) بیشترین و دسته هفت (۰/۳۵٪) کمترین تعداد ذرات ریزپلاستیک را به خود اختصاص دادند (شکل ۴). ریزپلاستیک‌های با اندازه از ۱ میلی‌متر و کمتر، فراوان‌ترین (۹۲٪) ریزپلاستیک‌ها بودند. کوچکترین اندازه در ریزپلاستیک‌های بررسی شده، مربوط به یک قطعه به طول ۱۰ میکرومتر بود. با توجه به آزمون کای دو اختلاف آماری معنی‌داری بین فراوانی ذرات ریزپلاستیک‌ها با اندازه در دسته‌های مورد بررسی وجود نداشت ($p > 0.05$, $\chi^2 = 42df = 0.36$). در مطالعه Heshmati *et al.* (2021) نیز بیشتر ذرات ریزپلاستیک در محدوده اندازه ۱ میلی‌متر و کمتر بودند. اندازه ریزپلاستیک در ماهی‌های سواحل شرقی تایلند از ۵-۰ میلی‌متر متغیر بود (Phaksopa *et al.*, 2021). وجود پلاستیک در لوله گوارش ماهیان بالتیک را بررسی کردند و بیشترین تعداد ذرات پلاستیکی مشاهده شده را در محدوده ۱-۰/۱ میلی‌متر گزارش کردند. در مطالعه حاضر اندازه ریزپلاستیک‌های قطعه نسبت به رشته کوچک‌تر بودند و بیشتر قطعات، اندازه‌ای کمتر از ۱۰۰ میکرومتر داشتند. این مساله می‌تواند نشان‌دهنده این مورد باشد که قطعات تحت تاثیر تخریب فیزیکی و زیستی بیشتری قرار داشته‌اند و یا مدت زمان بیشتری از حضور آنها در محیط گذشته است. چرا که اندازه پلاستیک در طول زمان به دلیل تخریب زیستی و فیزیکی کاهش پیدا می‌کند (Battaglia *et al.*, 2016).



شکل ۴- دسته‌های اندازه و فراوانی ریزپلاستیک‌های لوله گوارش ماهی کوتر دم سیاه

Fig. 4- Size categories and abundance of microplastics in the digestive tract of *Sphyaena genie*

نتیجه‌گیری

در لوله گوارش ماهی کوتر دم سیاه دریای عمان ۲۸۵ ذره ریزپلاستیک ($5/19 \pm 10/5$) ذره به ازاء هر ماهی و $0/2 \pm 0/8$ ذره به ازای هر گرم وزن تر ماهی) مشاهده شد. همه ماهیان مورد بررسی دارای ذرات ریزپلاستیک بودند. ریزپلاستیک‌های جداسازی شده به شکل‌های رشته، قطعات نامنظم و فیلم بودند. رنگ‌های سیاه، خاکستری و شفاف رنگ‌های غالب مشهود بودند و رشته شکل غالب ریزپلاستیک‌ها بود. ۹۲٪ ریزپلاستیک‌ها نیز اندازه‌ای کمتر از ۱ میلی‌متر داشتند. فقدان آگاهی عمومی دربارهٔ میزان و عوارض مصرف بیش از اندازه پلاستیک برای محیط‌زیست و اجرایی نشدن قوانین مدیریت پسماند، سبب تشدید آلودگی بوم‌سامانه‌های آبی شده است. به‌دلیل بالا بودن فراوانی ریزپلاستیک در مطالعات اخیر انجام شده در محدودهٔ آب‌های سرزمینی دریاهای ایران، سازمان‌های زیست‌محیطی باید در پی وضع و اجرای قوانین سخت‌گیرانه برای مهار سوء مدیریت پلاستیک باشند. جدای از چالش‌های شناخته شده که زباله‌های پلاستیکی برای محیط زیست، جوامع ساحلی و صنایع دریایی ایجاد می‌کند، اکنون شواهد محکمی وجود دارد که نشان می‌دهد ریزپلاستیک تهدیدی در مقیاس بزرگ و اساسی برای زندگی گونه‌های دریایی است. خطر تجمع زیستی در گونه‌ها در طولانی مدت و برای انسان که از ماهی به عنوان غذا استفاده می‌کند، قابل توجه

است. از آنجا که سرانه مصرف ماهی به بالای ۳۵ گرم در روز در ایران رسیده است (IFO, 2020)، اهمیت موضوع بررسی میزان ریزپلاستیک‌ها بیشتر می‌شود. بنابراین مطالعات سایر بافت‌های ماهیان از نظر آلودگی به ریزپلاستیک نیز باید در برنامه تحقیقات آینده گنجانده شود.

سپاسگزاری

از دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار برای فراهم کردن شرایط انجام مطالعه حاضر در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد و همچنین از کارشناسان آزمایشگاه مرکزی دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار قدرانی می‌گردد.

منابع

- Agharokh, A., Taleshi, M., Bibak, M., Rasta, M., Torabi Jafroudi, H. and Rubio Arnesto, B., 2022. Assessing the relationship between the abundance of microplastics in sediments, surface waters, and fish in the Iran southern shores. *Environmental Science and Pollution Research*. 29(13), 18546-18558.
- Aiguo, Z., Di, S., Chong, W., Yuliang, C., Shaolin, X., Peiqin, L., Guohuan, X., Huijuan, T., and Zou, Z., 2022. Characteristics and differences of microplastics ingestion for farmed fish with different water depths, feeding habits and diets. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 10(2), 107189.
- Akhbarizadeh, R., Moore, F. and Keshavarzi, B., 2018. Investigating a probable relationship between microplastics and potentially toxic elements in fish muscles from northeast of Persian Gulf. *Environmental Pollution*. 232, 154-163.
- Bai, Z., Wang, N. and Wang, M., 2021. Effects of microplastics on marine copepods. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 217, 112243.
- Barboza, L.G.A., Lopes, C., Oliveira, P., Bessa, F., Otero, V., Henriques, B. and Guilhermino, L., 2020. 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. *Science of the Total Environment*. 717, 134625.
- Battaglia, P., Pedà, C., Musolino, S., Esposito, V., Andaloro, F. and Romeo, T., 2016. Diet and first documented data on plastic ingestion of *Trachinotus ovatus* L. 1758 (Pisces: Carangidae) from the Strait of Messina (central Mediterranean Sea). *Italian Journal of Zoology*. 83(1), 121-129.
- Bellas, J., Martínez-Armental, J., Martínez-Cámara, A., Besada, V. and Martínez-Gómez, C., 2016. Ingestion of microplastics by demersal fish from the Spanish Atlantic and Mediterranean coasts. *Marine Pollution Bulletin*. 109(1), 55-60.
- Bessa, F., Barría, P., Neto, J.M., Frias, J.P., Otero, V., Sobral, P. and Marques, J.C., 2018. Occurrence of microplastics in commercial fish from a natural estuarine environment. *Marine Pollution Bulletin*. 128, 575-584.

- Borrelle, S.B.J., Ringma, K.L., Law, C.C., Monnahan, L., Lebreton, A., McGivern, E., Murphy, J., Jambeck, G.H., Leonard, M.A., Hilleary, M., Eriksen, H.P., Possingham, H., De Frond, L.R., Gerber, B., Polidoro, A., Tahir, M., Bernard, N., Mallos, M. and Rochman, C.M., 2020. Predicted growth in plastic waste exceeds efforts to mitigate plastic pollution. *Science*. 369(6510), 1515.
- De Falco, F., Gullo, M.P., Gentile, G., Di Pace, E., Cocca, M., Gelabert, L., Brouta-Agnésa, M., Rovira, R., Escudero, R., Villalba, R., Mossotti, R., Montarsolo, A., Gavignano, S., Tonin, C., Avella, M., 2018. Evaluation of microplastic release caused by textile washing processes of synthetic fabrics. *Environmental Pollution*. 236, 916-925.
- De Witte, B., Catarino, A.I., Vandecasteele, L., Dekimpe, M., Meyers, N., Deloof, D., ... and Torreele, E., 2022. Feasibility study on biomonitoring of microplastics in fish gastrointestinal tracts. *Frontiers in Marine Science*. 8, 794636.
- Edo, C., González-Pleiter, M., Leganés, F., Fernández-Piñas, F. and Rosal, R., 2020. Fate of microplastics in wastewater treatment plants and their environmental dispersion with effluent and sludge. *Environmental Pollution*. 259, 113837.
- EEA, 2022. Microplastics from textiles: towards a circular economy for textiles in Europe. European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/publications/microplastics-from-textiles-towards-a>
- El-Sayed, A.A.M., Ibrahim, M.I.A., Shabaka, S., Ghobashy, M.M., Shreadah, M.A. and Abdel Ghani, S.A., 2022. Microplastics contamination in commercial fish from Alexandria City, the Mediterranean Coast of Egypt. *Environmental Pollution*. 313, 120044.
- Ghattavi, K., Naji, A. and Kord, S., 2019. Investigation of microplastic contamination in the gastrointestinal tract of some species of caught fish from Oman Sea. *Iranian Journal of Health and Environment*. 12(1), 141-150. (In Persian with English abstract)
- Gholizadeh, M., Shadi, A., Maryam Abadi, A., Nemati, M., Senapathi, V., Karthikeyan, S., 2023. Abundance and characteristics of microplastic in some commercial species from the Persian Gulf, Iran. *Journal of Environmental Management*. 344, 118386.
- Gola, D., Tyagi, P.K., Arya, A., Chauhan, N., Agarwal, M., Singh, S.K. and Gola, S., 2021. The impact of microplastics on marine environment: A review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*. 16, 100552.
- Habib, R.Z. and Thiemann, T., 2022. Microplastic in the marine environment of the Red Sea—A short review. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*. 44(4), 383-388.
- Heshmati, S., Makhdoumi, P., Pirsaeheb, M., Hossini, H., Ahmadi, S. and Fattahi, H., 2021. Occurrence and characterization of microplastic content in the digestive system of riverine fishes. *Journal of Environmental Management*. 299, 113620.
- Hosseini, R., Sayadi, M.H., Aazami, J. and Savabieasfehiani, M., 2020. Accumulation and distribution of microplastics in the sediment and coastal water samples of Chabahar Bay in the Oman Sea, Iran. *Marine Pollution Bulletin*. 160, 111682.

- Hosseinpour, A., Chamani, A., Mirzaei, R. and Mohebbi-Nozar, S.L., 2021. Occurrence, abundance and characteristics of microplastics in some commercial fish of northern coasts of the Persian Gulf. *Marine Pollution Bulletin*. 171, 112693.
- Iran Fisheries Organization (IFO), 2020. Annual Iranian Fisheries Statistics 2014 and 2018. Fisheries Design and Program Office, Tehran, Iran.
- Jabeen, K., Su, L., Li, J., Yang, D., Tong, C., Mu, J. and Shi, H., 2017. Microplastics and mesoplastics in fish from coastal and fresh waters of China. *Environmental Pollution*. 221, 141-149.
- Jovanovic, B., 2017. Ingestion of microplastics by fish and its potential consequences from a physical perspective. *Integrated Environmental Assessment and Management*. 13(3), 510-515.
- Keerthika, K., Padmavathy, P., Rani, V., Jeyashakila, R., Aanand, S., Kutty, R., Tamilselvan, R., and Subash, P., 2023. Microplastics accumulation in pelagic and benthic species along the Thoothukudi coast, South Tamil Nadu, India, *Marine Pollution Bulletin*. 189, 114735.
- Koongolla, J. B., Lin, L., Pan, Y. F., Yang, C. P., Sun, D. R., Liu, S. ... and Li, H.X., 2020. Occurrence of microplastics in gastrointestinal tracts and gills of fish from Beibu Gulf, South China Sea. *Environmental Pollution*. 258. 113734.
- Kor, K., Ghazilou, A., Ershadifar, H., 2020. Microplastic pollution in the littoral sediments of the northern part of the Oman Sea. *Marine Pollution Bulletin*. 155, 111166.
- Kord, S., and Najji, A., 2019. Study of Micro-plastic contamination in five species of prevailing fishes of Chabahar Bay, (Sistan and Baluchestan Province). *Iranian Scientific Fisheries Journal*. 28(3), 113-123. (In Persian with English abstract)
- Li, J., Lusher, A.L., Rotchell, J.M., Deudero, S., Turra, A., Bråte, I.L.N., ... and Shi, H., 2019. Using mussel as a global bioindicator of coastal microplastic pollution. *Environmental Pollution*. 244, 522-533.
- Liu, J., Zhu, X., Teng, J., Zhao, J., Li, Ch., Shan, E., Zhang, Ch. And Wang, Q., 2021. Pollution Characteristics of Microplastics in Mollusks from the Coastal Area of Yantai, China. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 107, 693–699.
- Mei, W., Chen, G., Bao, J., Song, M., Li, Y. and Luo, C., 2020. Interactions between microplastics and organic compounds in aquatic environments: a mini review. *Science of the Total Environment*. 736, 139472.
- Morishita, S., Miki, R., Wada, H., Itou, M. and Motomura, H., 2020. Morphological comparisons of *Sphyaena genie* with *S. putnamae*, with a revised key to Indo-Pacific species of *Sphyaena* lacking gill rakers (Sphyaenidae). *Ichthyological Research*. 67(3), 456-463.
- Mvovo, I., 2021. A comprehensive review on micro-plastic pollution in African aquatic systems. *Environmental Advances*. 5, 100107.
- Naqash, N., Prakash, S., Kapoor, D. and Singh, R., 2020. Interaction of freshwater microplastics with biota and heavy metals: a review. *Environmental Chemistry Letters*. 18(6), 1813-1824.

Nematollahi, M.J., Keshavarzi, B., Moore, F., Esmaili, H.R., Saravi, H.N. and Sorooshian, A., 2021. Microplastic fibers in the gut of highly consumed fish species from the southern Caspian Sea. *Marine Pollution Bulletin*. 168, 112461.

Neves, D., Sobral, P., Ferreira, J.L. and Pereira, T., 2015. Ingestion of microplastics by commercial fish off the Portuguese coast. *Marine Pollution Bulletin*. 101(1), 119-126.

Onyena, A.P., Aniche, D.C., Ogbolu, B.O., Rakib, M., Jahan, R., Uddin, J. and Walker, T.R., 2022. Governance strategies for mitigating microplastic pollution in the marine environment: a review. *Microplastics*. 1(1), 15-46.

Pazos, R.S., Maiztegui, T., Colautti, D.C., Paracampo, A.H. and Gómez, N., 2017. Microplastics in gut contents of coastal freshwater fish from Río de la Plata estuary. *Marine Pollution Bulletin*. 122(1-2), 85-90.

Phaksopa, J., Sukhsangchan, R., Keawsang, R., Tanapivattanakul, K., Thamrongnawasawat, T., Worachananant, S. and Sreesamran, P., 2021. Presence and characterization of microplastics in coastal fish around the eastern coast of Thailand. *Sustainability*. 13(23), 13110.

Prata, J.C., Silva, A.L., Walker, T.R., Duarte, A.C. and Rocha-Santos, T., 2020. COVID-19 pandemic repercussions on the use and management of plastics. *Environmental Science and Technology*. 54(13), 7760-7765.

Rodrigues, S.M., Almeida, C.M.R., Silva, D., Cunha, J., Antunes, C., Freitas, V. and Ramos, S., 2019. Microplastic contamination in an urban estuary: abundance and distribution of microplastics and fish larvae in the Douro estuary. *Science of the Total Environment*. 659, 1071-1081.

Rummel, C.D., Löder, M.G., Fricke, N.F., Lang, T., Griebeler, E.M., Janke, M. and Gerdt, G., 2016. Plastic ingestion by pelagic and demersal fish from the North Sea and Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin*. 102(1), 134-141.

Sharifinia, M., Daliri, M. and Kamrani, E., 2019. Estuaries and coastal zones in the northern Persian gulf (Iran). In *Coasts and estuaries*. 4, 57-68.

Sadeghi, P., Loghmani, M., Yousuf, D.J. and Taghizade Rahmat Abadi, Z., 2021. Ecological and human health risk assessment of trace element pollution in sediments and five important commercial fishes of the Oman Sea. *Marine Pollution Bulletin*. 173, 112962.

Senou, H., 2001. Sphyraenidae. Barracudas. In: Carpenter, K.E. and Niem, V. (Eds.), *FAO species identification guide for fishery purposes. The living marine resources of the Western Central Pacific. Vol. 6. Bony fishes part 4 (Labridae to Latimeriidae), estuarine crocodiles*. FAO, Rome, pp. 3685-3697

Taghizadeh Rahmat Abadi, Z., Abtahi, B., Grossart, H. P. and Khodabandeh, S., 2021. Microplastic content of Kutum fish, *Rutilus frisii kutum* in the southern Caspian Sea. *Science of the Total Environment*. 752, 141542.

Tanaka, K. and Takada, H., 2016. Microplastic fragments and microbeads in digestive tracts of planktivorous fish from urban coastal waters. *Science Reports*. 6, 34351.

- Uddin, S., Fowler, S. W. and Saeed, T., 2020. Microplastic particles in the Persian/Arabian Gulf—a review on sampling and identification. *Marine Pollution Bulletin*. 154, 111100.
- Ugwu, K., Herrera, A. and Gómez, M., 2021. Microplastics in marine biota: A review. *Marine Pollution Bulletin*. 169, 112540.
- Wang, J., Peng, C., Li, H., Zhang, P. and Liu, X., 2021. The impact of microplastic-microbe interactions on animal health and biogeochemical cycles: a mini-review. *Science of The Total Environment*. 773, 145697.
- Wei, L., Wang, D., Aierken, R., Wu, F., Dai, Y., Wang, X., ... and Zhen, Y., 2022. The prevalence and potential implications of microplastic contamination in marine fishes from Xiamen Bay, China. *Marine Pollution Bulletin*. 174, 113306.
- Welden, N.A. and Cowie, P.R., 2017. Degradation of common polymer ropes in a sublittoral marine environment. *Marine Pollution Bulletin*. 118(1-2), 248-253.
- Wootton, N., Reis-Santos, P. and Gillanders, B.M., 2021. Microplastic in fish—A global synthesis. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 31(4), 753-771.
- Yin, J., Li, J.Y., Craig, N.J. and Su, L., 2022a. Microplastic pollution in wild populations of decapod crustaceans: A review, *Chemosphere*, 291(2), 132985.
- Yin, X., Wu, J., Liu, Y., Chen, X., Xie, C., Liang, Y., Li, J. and Jiang, Z., 2022b. Accumulation of microplastics in fish guts and gills from a large natural lake: Selective or non-selective? *Environmental Pollution*. 309, 119785.
- Yousuf, F., Levent, B.A.T., Öztekin, A., Ali, Q.M., Ahmed, Q. and Shaikh, I., 2022. Preliminary observation on microplastic contamination in the Scombridae species from coastal waters of Pakistan. *Marine Science and Technology Bulletin*. 11, 202-211.
- Zhang, D., Liu, X., Huang, W., Li, J., Wang, C., Zhang, D. and Zhang, C., 2020a. Microplastic pollution in deep-sea sediments and organisms of the Western Pacific Ocean. *Environmental Pollution*. 259, 113948.
- Zhang, C., Wang, S., Sun, D., Pan, Z., Zhou, A., Xie, S. and Zou, J., 2020b. Microplastic pollution in surface water from east coastal areas of Guangdong, South China and preliminary study on microplastics biomonitoring using two marine fish. *Chemosphere*. 256, 127202.
- Zheng, Y., Li, J., Cao, W., Liu, X., Jiang, F., Ding, J. .. and Sun, C., 2019. Distribution characteristics of microplastics in the seawater and sediment: a case study in Jiaozhou Bay, China. *Science of the Total Environment*. 674, 27-35.

Original Article

Quantitative and qualitative assessment of microplastics pollution in the Blackfin barracuda (*Sphyraena genie*) in the Oman Sea

Shahin Kordi Torshabi,¹ Parvin Sadeghi^{1†} and Zahra Taghizadeh Rahmat Abadi²

¹Department of Marine Biology, Faculty of Marine Science, Chabahar Maritime University, Chabahar, Iran

²Department of Marine Biology, Faculty of Life Sciences and Biotechnology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Introduction: Due to the abundance and durability of plastic waste in the environment, especially in marine environments, it has created extensive environmental effects and has become one of the most serious threats to oceans and biodiversity. Microplastics (with a size of 1 micrometer to 5 mm) are the most important component of marine pollution. The concern about the negative effects of microplastics on human health has increased attention to the presence of microplastics in aquatic environments and edible aquatic animals. Therefore, the main goal of this research is to investigate the presence and quantitative (abundance and size) and qualitative (shape and color) microplastics in the digestive system of Blackfin barracuda (*Sphyraena genie*) in the Oman Sea.

Material and methods: For this research, 27 pieces of *S. genie* with an average total length of 42.5 ± 5.36 cm and total weight of 353.5 ± 2.5 grams were collected by local fishermen using gill nets from the northern shores of the Oman Sea were collected in the winter of 2020 and bioassayed after being transferred to the laboratory. The extraction of microplastics was done by digesting the digestive system with ten percent KOH and then vacuum filtration. Identification, counting and determining the characteristics of microplastics (shape, size and color) were done by stereomicroscope. Particle dimensions (μm) were measured using ImageJ software.

Results and discussion: According to the obtained results, 285 plastic particles were detected in the *S. genie* of the coast of Oman. All the examined fish had microplastics in their digestive system. The average abundance of 10.5 ± 5.19 particles per individual and 0.8 ± 0.2 particles per gram of wet weight microplastics were observed in the digestive system of fish. The most identified microplastics were in the form of fiber (abundance: 73%), irregular fragments (26%) and film (1%). The identified microplastics were of various dark and light colors. The color combination according to abundance was black > gray > transparent > cream > red > blue and dark red > green and brown > pink and white > dark blue and peach. About half of the microplastics were shorter than 300 μm in length, while only about 9% of the microplastic particles were between 1 and 5 mm in length. In terms of size, microplastics were classified into eight groups: category one (size: 1-100 micrometers; 64 microplastics), category

[†] Corresponding Author: *Email Address*. Parvin.sadeghi@gmail.com

two (100-300 micrometers; 85 microplastics), category three (300-500 micrometers; 45 microplastics), category four (1 mm-500 micrometers; 66 microplastics) category five (1-2 mm; 19 microplastic), category six (2-3 mm; 5 microplastic), category seven (3-4 mm; 1 microplastic) and category eight (4-5 mm; without microplastics). The size of the fragments microplastics was smaller than the fiber, and most of the fragments were less than 100 micrometers in size. Considering the small size of most microplastic particles and the presence of small fish remains (skulls, scales and gill fibers) and shell fragments in the digestive system of fish and the carnivorous diet of the *S. genie*, it can be assumed that the source of the microplastic particles swallowed by these fish, which represent environmental pollution with plastic waste is the secondary microplastics in this area.

Conclusion: Microplastic particles were observed in the digestive tract of all the examined samples of *S. genie*. The isolated microplastics were in the form of fiber, irregular fragments and films. Black, gray, and transparent colors were evident as the dominant colors, and fiber was the dominant shape in microplastics. Microplastics with a size of 1 mm and less were the most abundant (92%) size. The existence of microplastics in the investigated fish leads to ecological and health concerns. Therefore, it is necessary to manage the entry of plastic pollutants into the marine environment.

Keywords: plastic pollution, barracuda, microplastic, digestive system.