

(OPEN ACCESS)

Investigating microplastics in white fish (*Rutilus frisii kutum*) in the Caspian region (Case study of Mazandaran province)

Kiadokht Rezaei¹, Arash Javanshir Khoei^{*2}

1. Dept. of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: kia.rezaie@ut.ac.ir

2. Corresponding Author, Dept. of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
E-mail: arashjavanshir@ut.ac.ir

Article Info

Article type:

Full Length Research Paper

Article history:

Received: 12.15.2023

Revised: 01.05.2024

Accepted: 01.23.2024

Keywords:

Caspian Sea,
Commercial fish,
Microplastics,
Public health

ABSTRACT

With the increase in plastic production and its use in the world, the number of plastic particles in water environments is also increasing. On the other hand, with the increase in global fish consumption, there is a possibility of increasing public health risks for humans as the final consumer of the food chain. Many studies have investigated the presence of microplastics in important and commercial fish. This research examines the Caspian white fish (*Rutilus frisii kutum*), one of the most important and widely consumed commercial fish in the Caspian Sea, at Khazarabad and Galugah stations. For this purpose, 30 Caspian white fishes were randomly collected from local fishermen in each station. The total length and total weight of each fish were measured and recorded. The fish were transferred to the laboratory under safe conditions. Then they were cut into small pieces and placed in glass bottles under the influence of 10% potassium hydroxide solution at 60 degrees Celsius for 48 hours until their biological materials were completely digested. Then the mixture is stirred in the bottle for 2 hours and then the suspended materials are allowed to settle. In this step, 20 ml of the supernatant solution is filtered by Whatman filter paper. Then the paper filters were placed at 60 °C for 24 hours to dry completely. Finally, the dried paper filters were examined by microscope. The obtained data were evaluated by SPSS22 software. According to the observations, four color groups (white, black, red, blue, and yellow), three shape groups (fiber, fragment, and pellet), and two size groups (larger and smaller than 1000 micrometers) are considered for counting and separation. According to the obtained results, the most frequent percentage of shape, size, and color of microplastics belongs to fiber shape (Khazarabad: 57.33% and Galugah: 71.67%), size smaller than 1000 micrometers (Khazarabad: 74.00% and Galugah: 82.00%), and dark colors such as black, gray, and brown (Khazarabad: 54.00%) and white and transparent (Galugah: 38.34%). Also, the abundance of microplastic in each Caspian white fish was estimated to be 1.77 ± 0.83 particles in Khazarabad station and 1.39 ± 0.37 in Golugah station. Given the commercial importance and widespread consumption of this fish, especially along the Caspian Sea coast, planned monitoring is necessary on the major fishing shores of the Caspian Sea.

Cite this article: Rezaei, Kiadokht, Javanshir Khoei, Arash. 2025. Investigating microplastics in white fish (*Rutilus frisii kutum*) in the Caspian region (Case study of Mazandaran province). *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*, 14 (1), 161-174.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/japu.2024.21997.1838

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

بررسی میکروپلاستیک موجود در ماهی سفید (*Rutilus frisii kutum*) در ناحیه خزری (مطالعه موردی استان مازندران)

کیادخت رضایی^۱، آرش جوانشیر خویی^{۲*}

۱. گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: kia.rezaie@ut.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: arashjavanshir@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی - پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۴ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۳ واژه‌های کلیدی: دریای خزر، سلامت عمومی، ماهیان تجاری، میکروپلاستیک	با افزایش تولید پلاستیک و استفاده آن در جهان، میزان ذرات پلاستیکی موجود در محیط‌های آبی نیز در حال افزایش است. از طرف دیگر با افزایش مصرف جهانی ماهی، احتمال افزایش مخاطرات سلامت عمومی انسان به‌عنوان مصرف‌کننده نهایی زنجیره غذایی، وجود دارد. در مطالعات بسیاری، حضور میکروپلاستیک‌ها در ماهیان مهم و تجاری بررسی شده است. این پژوهش نیز به بررسی ماهی سفید خزری (<i>Rutilus frisii kutum</i>) یکی از مهم‌ترین و پرمصرف‌ترین ماهیان تجاری دریای خزر در دو ایستگاه خزرآباد و گلوگاه، می‌پردازد. بدین‌منظور تعداد ۳۰ عدد ماهی سفید خزری به صورت تصادفی از ماهی‌گیران محلی در هر ایستگاه تحویل گرفته شد. طول کل و وزن کل هر ماهی اندازه‌گیری و ثبت شد. ماهیان تحت شرایط ایمن به آزمایشگاه انتقال یافتند. سپس به قطعات کوچک برش داده شده و به مدت ۴۸ ساعت درون بطری‌های شیشه‌ای تحت تأثیر محلول هیدروکسید پتاسیم ۱۰ درصد در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد، قرار گرفتند تا مواد زیستی آن‌ها کاملاً هضم شوند. سپس به مدت ۲ ساعت مخلوط درون بطری هم زده شده و پس از آن به مواد معلق اجازه ته‌نشینی داده می‌شود. در این مرحله ۲۰ میلی‌لیتر از محلول رویی محلول توسط کاغذ صافی واتمن فیلتر می‌گردد. سپس کاغذ صافی‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد، قرار داده شدند تا کاملاً خشک شوند. در نهایت، کاغذ صافی‌های خشک شده توسط میکروسکوپ مورد بررسی قرار گرفتند. داده‌های به‌دست آمده توسط نرم‌افزار SPSS22 مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به مشاهدات چهار گروه رنگی (سفید، سیاه، قرمز، آبی و زرد)، سه گروه شکلی (رشته، قطعه و ذرات کروی) و دو گروه اندازه‌ای (بزرگ‌تر و کوچک‌تر از ۱۰۰۰ میکرومتر) جهت شمارش و جداسازی در نظر گرفته شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده بیش‌ترین درصد فراوانی شکل، اندازه و رنگ میکروپلاستیک‌ها، متعلق به شکل رشته‌ای (خزرآباد: ۵۷/۳۳ درصد و گلوگاه: ۷۱/۶۷ درصد)، اندازه کوچک‌تر از ۱۰۰۰ میکرومتر (خزرآباد: ۷۴/۰۰ درصد و گلوگاه: ۸۲/۰۰ درصد) و

رنگ‌های تیره مانند سیاه، خاکستری و قهوه‌ای (خزرآباد: ۵۴/۰۰ درصد) و رنگ سفید و شفاف (گلوگاه: ۳۸/۳۴ درصد) بوده است. هم‌چنین فراوانی میکروپلاستیک موجود در هر ماهی سفید خزری در ایستگاه خزرآباد $1/77 \pm 0/83$ ذره و در ایستگاه گلوگاه $1/39 \pm 0/37$ برآورد شد. اما با توجه به اهمیت تجاری و مصرف گسترده این ماهی به‌ویژه در سواحل دریای خزر، پایش برنامه‌ریزی‌شده سواحل مهم صیادی دریای خزر ضروری است.

استناد: رضایی، کیادخت، جوانشیر خوئی، آرش (۱۴۰۴). بررسی میکروپلاستیک موجود در ماهی سفید (*Rutilus frisii kutum*) در ناحیه خزری (مطالعه موردی استان مازندران). نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان، ۱۴ (۱)، ۱۶۱-۱۷۴.

DOI: 10.22069/japu.2024.21997.1838



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

هم‌زمان با افزایش تولید پلاستیک به میزان ۳۶۹ میلیون تن در جهان، میزان ذرات پلاستیکی موجود در محیط‌های آبی نیز در حال افزایش است (۱). برخی ویژگی‌های پلاستیک مانند مقاومت در برابر خوردگی، هدایت حرارتی و الکتریکی کم، دوام و پایداری زیاد، و مهم‌تر از همه هزینه تولید پایین باعث شده که پلاستیک در بسیاری از زمینه‌های (از استفاده روزمره در زندگی فردی تا استفاده در انواع صنایع) نقش و حضور کلیدی داشته باشند (۲) و دقیقاً ویژگی‌های ذکر شده، حضور این مواد را در محیط زیست مشکل‌ساز نموده‌اند. هم‌چنین ذرات میکروپلاستیک از نسبت سطح به حجم بالایی برخوردارند که این خصوصیت، پتانسیل بالایی برای ترکیب با آلاینده‌های محیطی از جمله هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای (PAHs) (۳) و یا فلزات (۴، ۵) را در آن‌ها ایجاد می‌کند.

میکروپلاستیک‌ها با توجه به منشأ ایجادکننده آن‌ها به دو دسته اولیه و ثانویه تقسیم می‌شوند. میکروپلاستیک‌های اولیه ذرات کوچک پلاستیکی هستند که به‌طور مستقیم و از طریق نشت یا تخلیه فاضلاب‌های خانگی و صنعتی و یا به‌طور غیر مستقیم از طریق رواناب‌ها در محیط طبیعی منتشر می‌شوند و به اشکال مختلفی مانند رشته^۱، قطعه^۲ و قطعات کروی^۳ دیده می‌شوند (۶، ۷، ۸، ۹). میکروپلاستیک‌های ثانویه ذراتی هستند که بر اثر تجزیه یا قطعه قطعه شدن ذرات پلاستیکی بزرگ‌تر مستعمل موجود در محیط بر اثر عوامل فیزیکی مانند سایش امواج، عوامل اکسند مانند اکسیداسیون نوری تحت‌تأثیر تابش اشعه بنفش خورشیدی، و عوامل زیستی مانند اثرگذاری برخی میکروارگانیسم‌ها ایجاد می‌شوند (۱۰، ۱۱، ۱۲).

- 1- Fiber
- 2- Fragment
- 3- Pellet

چگالی و اشکال متفاوت ذرات میکروپلاستیک، باعث شده این ذرات در بخش‌های مختلف محیط‌های آبی مانند سطح آب، ستون آبی و رسوبات بستر پراکنده شده و بر روی موجودات زنده ساکن در سطوح مختلف تروفی و یا زیستگاه‌های متفاوت که در معرض آن‌ها قرار دارند اثراتی را به جا بگذارند (۵، ۱۳). ذرات میکروپلاستیک ممکن است به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم وارد بدن آبزیان شوند (۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷) بلع میکروپلاستیک‌ها توسط ارگانیسم‌های دریایی مختلف (زئوپلانکتون، دوکفه‌ای، ماهی و غیره) (۱۱، ۱۲، ۱۸، ۱۹) و تجمع آن‌ها در بافت اندام‌های مختلف (آبشش، غدد گوارشی، روده، سیستم گردش خون و غیره) (۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳)، هم‌چنین انتقال این ذرات از طریق زنجیره‌های غذایی (به عنوان مثال، انتقال در شبکه غذایی پلانکتون، از طریق زئوپلانکتون به ماهی، از صدف به خرچنگ، و غیره) تأیید شده است (۱۶، ۱۷، ۱۸، ۲۴). از این‌رو، انتظار می‌رود که انباشت و پراکنش میکروپلاستیک‌ها توسط موجودات آبری مهم تجاری، در طول زمان، منجر به افزایش خطر بیش‌تر در معرض قرارگرفتن انسان و افزایش اثرات نامطلوب احتمالی شود.

در مطالعات پیشین اشاره شده است که انباشت و پراکنش میکروپلاستیک‌ها در آبزیان به گونه و اندازه ذرات وابسته است. به طوری که، میکروپلاستیک‌هایی با اندازه ۵ میکرومتر در کبد گورخرماهی مشاهده شده‌اند (۲۴) و میکروپلاستیک‌هایی با اندازه ۸-۱۰ میکرومتر عمدتاً در آبشش و روده خرچنگ حضور داشته‌اند (۲۳) در حالی که میکروپلاستیک‌هایی با اندازه ۱۰ میکرومتر به سیستم گردش خون صدف‌ها منتقل شده‌اند (۱۱). انباشت و پراکنش میکروپلاستیک‌ها در بافت‌های مختلف ماهی (مانند ماهیچه، آبشش و کبد) یکسان نیست. به هر حال جذب از طریق آبشش ماهی کم‌تر محتمل است زیرا اپیتلیوم تنفسی آبشش از

ریه‌های پستانداران تنگ‌تر است (۲۵). با این حال، شواهد جذب میکروپلاستیک‌های کروی ۱ میکرومتری در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) و حضور در سلول‌های سطحی و زیرسطحی اپیدرمی پوست و فاگوسیت‌های زیر سطح آبشش را گزارش کرده‌اند (۲۶). همچنین حضور میکروپلاستیک با اندازه‌های کم‌تر از ۵ میکرومتر در عضله و کبد ماهی گزارش شده است (۷، ۲۷، ۲۸).

تعدادی از مطالعات اخیراً آلودگی میکروپلاستیکی ماهی‌های تجاری ایران را بررسی کرده‌اند که به اختصار گزارش‌های آن‌ها بیان می‌شود. اخباری‌زاده و همکاران (۲۰۱۸) کمیت میکروپلاستیک را در ماهیچه‌های چهار گونه ماهی تجاری در دو دسته ماهیان کفزی و شناور، در شمال شرقی خلیج فارس بررسی کردند. بالاترین فراوانی میکروپلاستیک در گونه سرتخت دم‌ناری (*Platycephalus indicus*) با میانگین $4/55 \pm 18/50$ میکروپلاستیک در ۱۰ گرم ماهیچه ماهی مشاهده شد (۲۸). عباسی و همکاران (۲۰۱۸) حضور میکروپلاستیک‌ها در ماهیچه ۴ گونه مهم تجاری خلیج فارس را مورد مطالعه قرار دادند و آن‌ها نیز گونه سرتخت دم‌ناری را با بیش‌ترین فراوانی میکروپلاستیک گزارش کردند. همچنین بیان نمودند که غلظت میکروپلاستیک‌ها (تعداد به ازای هر فرد) در گونه‌های ماهی کفزی بیش‌تر است (۲۷). غطاوی و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی آلودگی میکروپلاستیک در دستگاه گوارش انواع ماهی‌های صید شده از دریای عمان، بیان نمودند که تعداد میکروپلاستیک در ماهی به گونه ماهی بستگی دارد. همچنین بر اساس شکل به‌ترتیب بیش‌ترین تعداد متعلق به ریزرشته، قطعه و گلوله بوده است (۲۹). ناجی و کرد (۲۰۱۹) با مطالعه پنج گونه از ماهیان غالب خلیج چابهار دریافتند که بر اساس شکل میکروپلاستیک بیش‌ترین فراوانی به‌ترتیب متعلق به

رشته، قطعه، گلوله و لایه بوده است. همچنین تعداد میکروپلاستیک‌های مشاهده شده بین $2/7 \pm 6/47$ ذره بر گرم و $1/1 \pm 4/14$ ذره بر فرد متغیر بوده است (۳۰). غطاوی و ناجی (۲۰۱۹) میکروپلاستیک‌های موجود در دستگاه گوارش برخی ماهی‌های صید شده در بندرعباس را بررسی نمودند. بر اساس یافته به تأثیر نوع گونه در حضور میکروپلاستیک تأکید نمودند و گزارش کردند که در تمامی ماهیان به‌جز گونه شیرماهی (*Scomberomorus commerson*) میکروپلاستیک مشاهده شده است. همچنین بر اساس شکل میکروپلاستیک‌ها بیش‌ترین تعداد به ترتیب متعلق به ریزرشته، قطعه و لایه بوده است (۳۱). تقی‌زاده رحمت‌آبادی و همکاران (۲۰۲۱) با جمع‌آوری ماهی سفید خزری (*Rutilus frisii kutum*) از بازارهای محلی بندرترکمن به مطالعه محتوای میکروپلاستیک در دستگاه گوارش ماهیان پرداختند. بر اساس یافته‌های آن‌ها نرخ تشخیص فردی ۸۰ درصد بوده و در معده هر ماهی $11/4$ قطعه میکروپلاستیک یافت شد. بیش‌ترین میکروپلاستیک‌های مشاهده شده اندازه کوچک‌تر از ۵۰۰ میکرومتر داشته و غالب‌ترین شکل میکروپلاستیک‌ها، رشته بوده است (۳۲). ذاکری و همکاران (۲۰۲۰) حضور میکروپلاستیک را در دستگاه گوارش دو گونه ماهی تجاری سواحل جنوبی دریای خزر کفال‌طلایی (*Chelon aurata*) و ماهی سفید خزری (*Rutilus frisii kutum*) مطالعه کردند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، میکروپلاستیک در $67/56$ درصد ماهیان با میانگین غلظت $2/29$ قطعه در هر ماهی وجود داشته است. بر اساس شکل میکروپلاستیک به ترتیب بیش‌ترین درصد متعلق به رشته‌ها و قطعات بوده است (۳۳). کرمی و همکاران (۲۰۱۷) وجود میکروپلاستیک‌ها را در گوشت خوراکی (ماهی کامل، به استثنای احشاء و آبشش) و اندام‌های بریده شده (احشا و آبشش) چهار ماهی

معمولی مورد بررسی قرار دادند. بیش‌ترین تعداد میکروپلاستیک‌ها در پوست، آبشش‌ها و ماهیچه‌ها نسبت به کبد و روده بود. اما اندازه‌های بزرگ‌تر میکروپلاستیک به‌طورکلی در دستگاه گوارش و آبشش‌ها دیده شد. در نهایت آن‌ها گزارش دادند که پوست، دستگاه گوارش و آبشش‌ها مسیرهای مستقیمی برای رسیدن میکروپلاستیک‌ها به ماهیچه‌های ماهیان هستند (۳۴).

سواحل دریای خزر دربرگیرنده زیستگاه‌های حیاتی و حساس برای بسیاری از موجودات دریایی از جمله ماهیان است. از طرفی با توجه به جریان‌های آبی موجود در دریای خزر، نسبت به سواحل کشورهای همسایه، بیش‌ترین میزان انواع آلودگی در سواحل جنوبی آن مشاهده می‌گردد. در حالی‌که سواحل جنوب شرقی دریای خزر، از مراکز اصلی ماهیگیری ایران محسوب می‌شود (۳۵). بنابراین در این پژوهش ساحل گلوگاه به عنوان منطقه تجاری-صنعتی و خزرآباد به عنوان منطقه توریستی مورد مطالعه انتخاب شدند. هم‌چنین یکی از مهم‌ترین و پرمصرف‌ترین ماهیان سواحل جنوبی دریای خزر، ماهی سفید خزری است که غالباً توسط ماهیگیران در نزدیکی ساحل و در اعماق ۱۰-۲۵ متر صید می‌گردد (۳۶). در بسیاری از مناطق علاوه بر استفاده از گوشت ماهی سفید خزری، از روده تمیز شده آن نیز به عنوان غذای محلی گران‌قیمت استفاده می‌شود (۳۳). بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی حضور و تعیین خصوصیات فیزیکی (شکل، رنگ و اندازه) میکروپلاستیک‌ها در ماهی سفید خزری صورت گرفت.

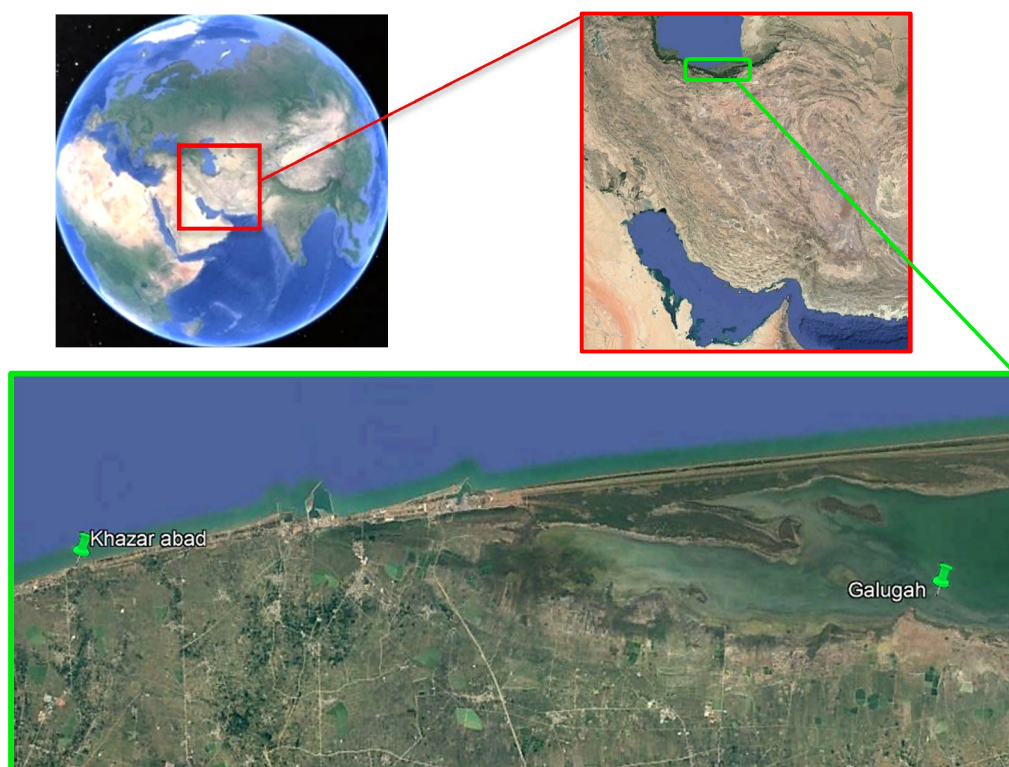
مواد و روش‌ها

جمع‌آوری نمونه ماهی: در سواحل خزرآباد و گلوگاه، تعداد ۳۰ ماهی سفید خزری به‌صورت

تصادفی از ماهیگیران محلی هر منطقه، تحویل گرفته شد. طول کل و وزن کل هر ماهی اندازه‌گیری و ثبت شد. سپس هر ماهی در فویل آلومینیومی پیچیده شده، در یخدان فلزی قرار گرفته (۲۱، ۲۵) و به آزمایشگاه لیمنولوژی دانشگاه تهران انتقال یافتند.

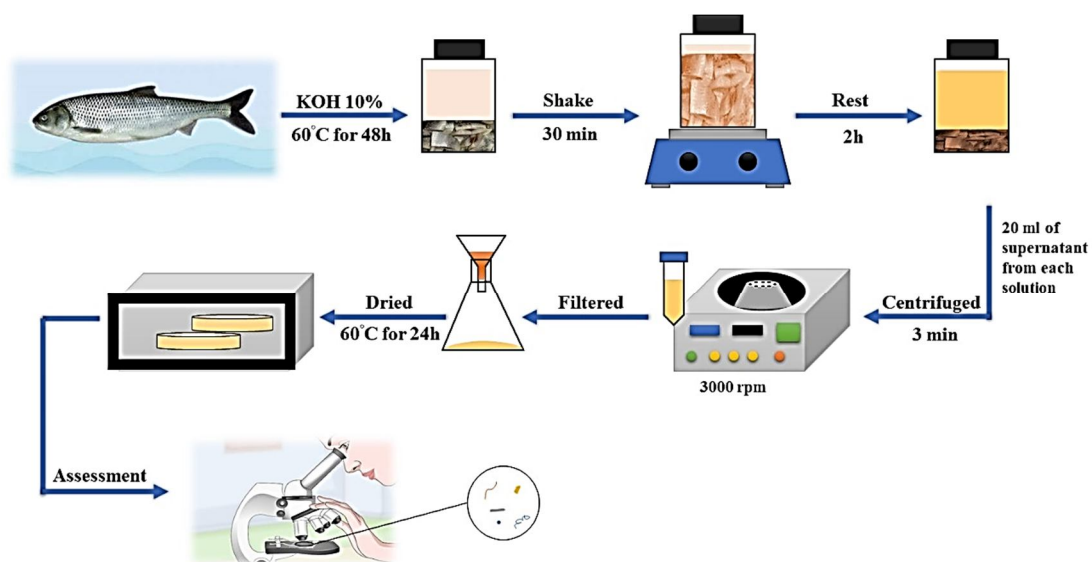
آماده‌سازی نمونه‌ها: ماهیان به قطعات کوچک تبدیل شده و درون بطری‌های شیشه‌ای درب‌دار قرار داده شدند. سپس به میزان ۳ برابر حجم بافت‌ها به بطری‌ها محلول هیدروکسید پتاسیم ۱۰ درصد (KOH) اضافه شد. نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرارداده شدند تا از هضم کامل مواد زیستی اطمینان حاصل شود. سپس بطری‌ها به مدت ۳۰ دقیقه، هم زده شدند و به مدت ۲ ساعت در دمای آزمایشگاه ته‌نشین شدند. ۲۰ میلی‌لیتر مایع رویی از هر محلول (به مدت ۳ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه) با استفاده از لوله‌های شیشه‌ای ساترifiوژ شد و سپس روی کاغذ صافی واتمن (Cat No. 1442) فیلتر شدند. کاغذ صافی‌ها در پتری‌دیش در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند و برای ارزیابی، تحت مطالعه میکروسکوپی قرار گرفتند (۳۲، ۳۷).

بررسی میکرو پلاستیک‌ها: در دسترس‌ترین روش برای جداسازی میکروپلاستیک‌ها، استفاده از استریومیکروسکوپ است (۳۸، ۳۹). بنابراین کاغذ صافی‌ها توسط میکروسکوپ با بزرگنمایی ۴۰ مشاهده شدند و میکروپلاستیک‌ها مورد مطالعه و ارزیابی رنگ، شکل و اندازه قرارگرفتند. با توجه به مشاهدات چهار گروه رنگی (سفید، سیاه، قرمز، آبی، زرد)، سه گروه شکلی (رشته، قطعه و ذرات کروی) و دو گروه اندازه‌ای (بزرگ‌تر و کوچک‌تر از ۱۰۰۰ میکرومتر) جهت شمارش و جداسازی در نظر گرفته شد.



شکل ۱- منطقه نمونه برداری ماهی.

Figure 1. Fish sampling area.



شکل ۲- تصویر شماتیک جداسازی میکروپلاستیک‌ها از نمونه‌های بافت.

Figure 2. Schematic illustration of the separation and investigation of microplastics from tissue samples.

لازم به ذکر است در تمامی مراحل برای حفظ کنترل و تضمین کیفیت نمونه‌برداری‌ها و نتایج به‌دست آمده، به اجرای صحیح روش‌های نمونه‌برداری میدانی و انتقال به آزمایشگاه از جمله استفاده از وسایل غیرپلاستیکی (شیشه و فلز) در نمونه‌برداری، حفظ نمونه و انتقال به آزمایشگاه توجه شد. همچنین در آزمایشگاه در محیطی به دور از جریان شدید هوا و تردد افراد مراحل خشک کردن و فیلتراسیون صورت گرفت (۴۰، ۴۱).

آنالیز آماری: آنالیزهای آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS 22 صورت گرفت. نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت و در صورت نیاز ترنسفورم صورت گرفت. جهت تعیین معنی‌دار بودن اختلاف میانگین ویژگی‌های مورد بررسی (در ماهیان شامل طول، وزن و در میکروپلاستیک شامل تعداد، شکل، رنگ و اندازه)، از آزمون آماری One-Way ANOVA استفاده گردید (۴۲). جهت گزارش میانگین‌ها از انحراف معیار استفاده شد. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار EXCEL 2021 ترسیم شدند.

یافته‌ها و بحث

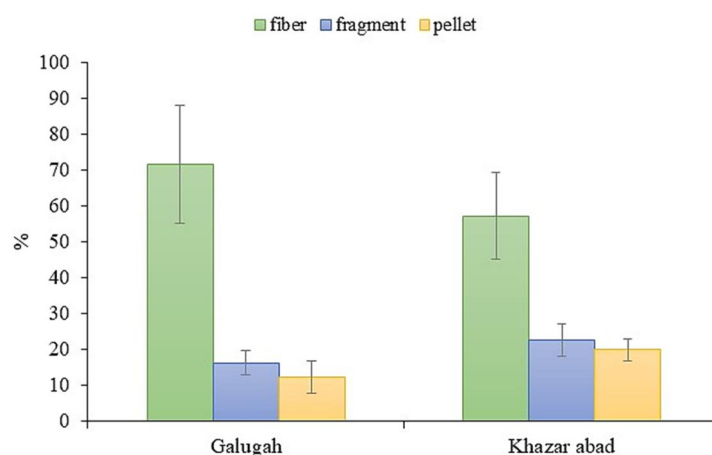
ویژگی‌های ماهی: آن‌چنان که بیان شد، زیستگاه و تغذیه می‌تواند در میزان مواجهه ماهی با میکروپلاستیک اثر داشته باشد (۲۱، ۳۳). در زمستان ماهی سفید خزری عمدتاً در اعماق ۱۵-۵۵ متر زندگی و از موجودات ساکن در رسوبات نرم (مانند *Mytilaster lineatus*, *Cerastoderma lamarchi* و *Balanus sp*) بستر تغذیه می‌کند (۳۶). در این ناحیه ستون آب و بستر کاملاً تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی، فاضلاب‌های ورودی است (۳۳)، بنابراین مواجهه ماهی با میکروپلاستیک افزایش می‌یابد (۳۲).

در نمونه‌برداری انجام شده، میانگین طول کل و وزن کل ماهیان مورد مطالعه در ایستگاه خزرآباد به ترتیب $4/04 \pm 36/37$ سانتی‌متر و $744/35 \pm 6/01$ گرم و در ایستگاه گلوگاه به ترتیب $1/22 \pm 40/51$ سانتی‌متر و $19/69 \pm 771/67$ گرم بود. همه ماهیان ظاهری سالم داشتند و تازه صید شده بودند. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین طول ماهی و وزن ماهی در هر دو ایستگاه خزرآباد ($Pearson Correlation=0/97$)، $P=0/02$ و گلوگاه ($Pearson Correlation=0/93$)، $P=0/04$ مشاهده شد. در بین دو ایستگاه نیز اختلاف معنی‌دار بین طول ($F=2/71$, $P=0/18$) و وزن ماهیان ($F=0/83$, $P=0/41$) وجود ندارد. میانگین فراوانی میکروپلاستیک در ایستگاه خزرآباد $1/77 \pm 0/83$ ذره برای هر فرد بود و جمعاً ۵۳ ذره میکروپلاستیک جمع‌آوری شد. بدین ترتیب می‌توان بیان نمود $0/071 \pm 0/004$ میکروپلاستیک در هر گرم ماهی وجود داشته است. میانگین فراوانی میکروپلاستیک در ایستگاه گلوگاه $1/39 \pm 0/37$ ذره برای هر فرد بود و جمعاً ۴۲ ذره میکروپلاستیک جمع‌آوری شد. بدین ترتیب می‌توان بیان نمود $0/054 \pm 0/002$ میکروپلاستیک در هر گرم ماهی وجود داشته است. نتایج به‌دست آمده در هر دو ایستگاه با محدوده کلی گزارش شده توسط ذاکری و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد.

ویژگی‌های میکروپلاستیک‌ها: افزایش فعالیت‌های انسانی در سواحل دریایی مانند انواع ماهیگیری تجاری، تفریحی (۱۰) و یا فعالیت‌های توریستی (۱۵) باعث حضور هرچه بیش‌تر انواع پلاستیک (انواع بطری و ظرف، انواع تور و نایلون) در این سواحل شده است. بنابراین تنوع در شکل و اندازه میکروپلاستیک‌ها بسیار زیاد است (۳۲) که خود دلیلی بر به اشتباه گرفته شدن با طعمه برای ماهیان است (۱۵، ۱۷). در این پژوهش میکروپلاستیک‌های

داشتند. می‌توان این گونه نتیجه گرفت که بلع اصلی‌ترین راه ورود میکروپلاستیک‌ها به بدن ماهیان است (۱۵، ۱۸، ۲۸). لازم به ذکر است که آن‌چنان که در شکل ۳ مشاهده می‌گردد به‌صورت مجزا، در هر دو ایستگاه خزرآباد ($F=22/22$, $P=0/02$) و گلوگاه ($F=32/45$, $P=0/00$)، درصد تعداد میکروپلاستیک‌های رشته‌ای با اختلاف معنی‌دار از دیگر شکل‌ها مشاهده شده‌اند (شکل ۳). هم‌چنین با در نظر گرفتن مجموع هر دو ایستگاه، اختلاف معنی‌دار بین دو ایستگاه وجود نداشته و غالبیت وجود میکروپلاستیک‌های رشته‌ای نسبت به دو شکل دیگر نیز تأیید می‌گردد ($F=46/26$, $P=0/00$).

رشته‌ای در ایستگاه خزرآباد با ۵۷/۳۳ درصد و در ایستگاه گلوگاه با ۷۱/۶۷ درصد بیش‌ترین فراوانی را به خود اختصاص دادند که با نتایج گزارش شده در مطالعات پیشین در انواع ماهی (۲۹، ۳۰، ۳۳) تطابق دارد. این مورد از آن لحاظ که در رسوبات ساحلی بیش‌ترین فراوانی شکل متعلق به میکروپلاستیک‌های رشته‌ای است (۴۱)، قابل توجیه است. درحالی‌که، در نمونه‌های آب، فراوانی میکروپلاستیک‌های کروی و قطعه بیش‌تر گزارش شده (۴۱)، در این پژوهش در بافت‌های ماهی میکروپلاستیک‌های قطعه و کروی شکل در ایستگاه خزرآباد به‌ترتیب با ۲۲/۶۷ درصد و ۲۰/۰۰ درصد و در ایستگاه گلوگاه به‌ترتیب با ۱۶/۳۴ درصد و ۱۲/۳۳ درصد در رتبه دوم و سوم قرار



شکل ۳- درصد فراوانی میکروپلاستیک بر اساس شکل ظاهری.

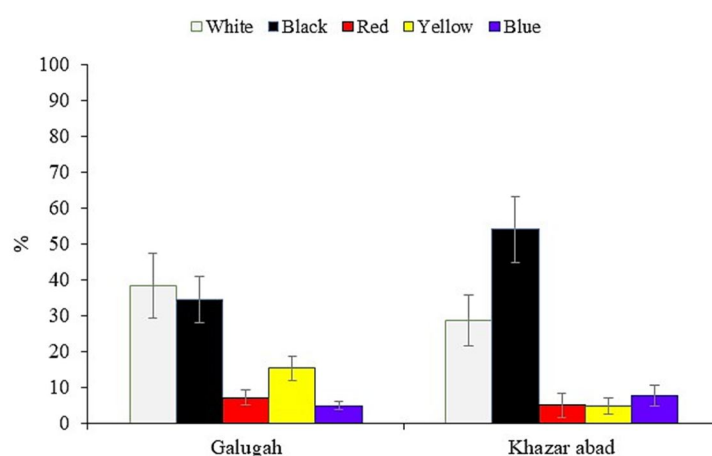
Figure 3. Percentage of microplastic abundance based on appearance.

سیاه (سیاه، خاکستری و قهوه‌ای)، آبی (آبی و سبز)، زرد (زرد و نارنجی) و قرمز (قرمز و صورتی) دسته‌بندی شدند. بر این اساس در ایستگاه خزرآباد بیش‌ترین فراوانی با ۵۴/۰۰ درصد متعلق به رنگ سیاه بوده و رنگ سفید با درصد فراوانی ۲۸/۶۸ درصد در رتبه دوم قرار دارد. در حالی‌که در ایستگاه گلوگاه بیش‌ترین فراوانی با ۳۸/۳۴ درصد متعلق به رنگ

رنگ‌های متنوع میکروپلاستیک‌های جمع‌آوری شده، منعکس‌کننده تنوع منابع آلاینده است (۳۲). هم‌چنین می‌توان این گونه نتیجه گرفت که در بسیاری از موارد بلع و جذب میکروپلاستیک‌ها تصادفی بوده و تحت‌تأثیر فراوانی میکروپلاستیک در محیط است (۳۱). در این پژوهش، میکروپلاستیک‌ها بر اساس رنگ به چهار گروه کلی شامل سفید (سفید و شفاف)،

ایستگاه خزرآباد، رنگ سیاه ($F=19/61$, $P=0/00$) و در ایستگاه گلوگاه، رنگ سفید ($F=29/89$, $P=0/00$) با اختلاف معنی‌دار از دیگر رنگ‌ها مشاهده می‌گردد (شکل ۴). همچنین با در نظر گرفتن مجموع هر دو ایستگاه اختلاف معنی‌دار بین دو ایستگاه وجود نداشته و غالبیت وجود میکروپلاستیک‌های سیاه و سفید نسبت به رنگ‌های دیگر نیز تأیید می‌گردد ($P=0/00$, $F=14/68$).

سفید بوده و رنگ سیاه با درصد فراوانی $34/36$ درصد در رتبه دوم قرار داد. حضور غالب رنگ‌های تیره، سفید و شفاف در مطالعات پیشین (۸، ۲۸) نیز گزارش شده است. باقی رنگ‌ها با اختلاف معنی‌دار کم‌تر از این دو گروه مشاهده شده‌اند. کم‌ترین فراوانی در ایستگاه خزرآباد با $4/00$ درصد متعلق به رنگ زرد و در ایستگاه گلوگاه با $4/91$ درصد متعلق به رنگ آبی بود. آن‌چنان که در شکل ۴ مشاهده می‌گردد در

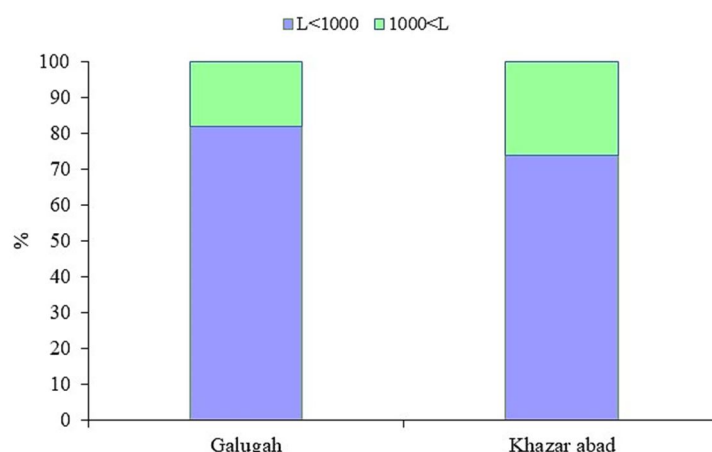


شکل ۴- درصد فراوانی میکروپلاستیک بر اساس رنگ.

Figure 4. Percentage of microplastic abundance based on color.

بزرگ‌تر غالباً در سیستم گوارش و موکوس معدی (۳۳، ۳۴) یافت شده‌اند که تعداد کمی را به خود اختصاص می‌دهند، اما میکروپلاستیک‌های زیر 500 میکرومتر از طریق فاضلاب‌ها وارد دریا شده (۶، ۷، ۸، ۹) و در مواجهه با ماهیان قرار می‌گیرند. همچنین میکروپلاستیک‌های کوچک‌تر از 10 میکرومتر وارد سیستم گردش خون و بافت‌های دیگر ماهی مانند عضله و کبد (20 ، 21 ، 22 ، 23 ، 27 ، 28) می‌شوند. بنابراین در اکثریت بودن میکروپلاستیک با اندازه کوچک‌تر از 1000 میکرومتر در این پژوهش موجه است.

میکروپلاستیک‌ها بر اساس اندازه به دو گروه کلی شامل اندازه‌های بزرگ‌تر و کوچک‌تر از 1000 میکرومتر دسته‌بندی شدند. بر این اساس درصد فراوانی این دو گروه به‌ترتیب در ایستگاه خزرآباد $26/00$ درصد و $74/00$ درصد و در ایستگاه گلوگاه $18/00$ درصد و $82/00$ درصد است (شکل ۵). با در نظر گرفتن مجموع هر دو ایستگاه اختلاف معنی‌دار بین دو ایستگاه وجود نداشته و غالبیت وجود میکروپلاستیک‌های سیاه و سفید نسبت به رنگ‌های دیگر نیز تأیید می‌گردد ($F=361/84$, $P=0/00$). با توجه به مطالعات پیشین میکروپلاستیک‌ها با اندازه



شکل ۵- درصد فراوانی میکروپلاستیک بر اساس اندازه.

Figure 5. Percentage of microplastic abundance based on size.

گرفت. با توجه به نتایج به دست آمده بیشترین فراوانی شکل، اندازه و رنگ میکروپلاستیکها به ترتیب رشته‌ای، کوچکتر از ۱۰۰۰ میکرومتر و رنگهای تیره و سفید بوده است. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان بیان نمود که مواجهه و آلودگی ماهی سفید خزری با میکروپلاستیک به زیستگاه، نوع و میزان تغذیه، شرایط محیطی، میزان حضور میکروپلاستیک در محیط، نوع و دوام میکروپلاستیک وابسته است. به‌طور کلی، تعداد میکروپلاستیک موجود در ماهی سفید خزری، در محدوده معمول قرار دارد. اما با توجه به اهمیت تجاری این ماهی و مصرف فراگیر آن به‌خصوص در سواحل دریای خزر، لازم است خطرپذیری و میزان مجاز مصرف بر اساس سرانه مصرف این ماهی و احتمال مخاطرات سلامتی انسان مورد بررسی قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

جذب آلودگی توسط موجودات آبی و ماهیان مقدمه‌ای برای ورود این مواد به زنجیره غذایی است. انسان نیز از مصرف‌کنندگان نهایی زنجیره غذایی دریایی است. با افزایش حضور میکروپلاستیکها در اکوسیستم‌های دریایی، مواجهه ماهیان نیز افزایش یافته، که منجر به تجمع زیستی و بزرگنمایی زیستی از طریق زنجیره غذایی می‌شود. با افزایش مصرف جهانی ماهی، در بلندمدت سلامت عمومی، در معرض خطر این آلودگی‌ها قرار می‌گیرد. در مطالعات زیادی بررسی حضور میکروپلاستیکها در ماهیان مهم و تجاری صورت گرفته است. در این پژوهش نیز به ماهی سفید خزری به عنوان یکی از مهم‌ترین ماهیان تجاری سواحل جنوبی دریای خزر پرداخته شد و به کمک آنالیزهای میکروسکوپی، میزان حضور میکروپلاستیک در بافت ماهی مورد مطالعه قرار

منابع

1. Plastics Europe. (2017). Plastics - The Facts (2017). *Plastics Europe*, Brussels (44 p).
2. Bockhorn, H., Hornung, A., Hornung, U., & Schawaller, D. (1999). Kinetic study on the thermal degradation of polypropylene and polyethylene. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 48, 93-109.
3. Rios, L. M., Moore, C., & Jones, P. R. (2007). Persistent organic pollutants carried by synthetic polymers in the ocean

- environment. *Marine Pollution Bulletin*. 54 (8), 1230-1237.
4. Ashton, K., Holmes, L., & Turner, A. (2010). Association of metals with plastic production pellets in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*. 60, 2050-2055.
5. Betts, K. (2008). Why small plastic particles may pose a big problem in the oceans. *Environmental Science & Technology*. 42 (24), 8995-8995.
6. Daniel, D. B., Ashraf, P. M., & Thomas, S. N. (2020). Microplastics in the edible and inedible tissues of pelagic fishes sold for human consumption in Kerala, India. *Environmental Pollution*. 266, 115365.
7. Zitouni, N., Bousserhine, N., Belbekhouche, S., Missawi, O., Alphonse, V., & Boughatass, I. (2020). First report on the presence of small microplastics ($\leq 3 \mu\text{m}$) in tissue of the commercial fish *Serranus scriba* (Linnaeus. 1758) from Tunisian coasts and associated cellular alterations. *Environmental Pollution*, 263, 114576.
8. Li, J., Lusher, A. L., Rotchell, J. M., Deudero, S., Turra, A., Bråte, I. L. N., & Shi, H. (2019). Using mussels as a global bioindicator of coastal microplastic pollution. *Environmental Pollution*. 244, 522-533.
9. Nobre, C. R., Santana, M. F. M., Maluf, A., Cortez, F. S., Cesar, A., Pereira, C. D. S., & Turra, A. (2015). Assessment of microplastic toxicity to embryonic development of the sea urchin *Lytechinus variegatus* (Echinodermata: Echinoidea). *Marine Pollution Bulletin*. 92 (1-2), 99-104.
10. Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*. 62, 1596-1605.
11. Browne, M. A., Dissanayake, A., Galloway, T. S., Lowe, D. M., & Thompson, R. C. (2008). Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, *Mytilus edulis* (L.). *Environmental Science & Technology*. 42, 5026-31.
12. Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Goodhead, R., & Moger, J. (2013). Microplastic ingestion by zooplankton. *Environmental Science & Technology*. 47, 6646-55.
13. Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Marine Pollution Bulletin*. 62, 2588-2597.
14. Desforges, J. P. W., Galbraith, M., & Ross, P. S. (2015). Ingestion of microplastics by zooplankton in the Northeast Pacific Ocean. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 69, 320-330.
15. Fossi, M. C., Pedà, C., Compa, M., Tsangaris, C., Alomar, C., & Claro, F. (2018). Bioindicators for monitoring marine litter ingestion and its impacts on Mediterranean biodiversity. *Environmental Pollution*. 237, 1023.
16. Garrido, S., Linares, M., Campillo, J. A., & Albentosa, M. (2019). Effect of microplastics on the toxicity of chlorpyrifos to the microalgae *Isochrysis galbana*, clone t-ISO. *Ecotoxicology and environmental safety*. 173, 103-109.
17. Saeed, T., Al-Jandal, N., Al-Mutairi, A., & Taqi, H. (2020). Microplastics in Kuwait marine environment: results of first survey. *Marine Pollution Bulletin*. 152, 110880.
18. Bagheri, T., Gholizadeh, M., Abarghouei, S., Zakeri, M., Hedayati, A., Rabaniha, M., ... Hafezieh, M. (2020). Microplastics distribution, abundance and composition in sediment, fishes and benthic organisms of the Gorgan Bay, Caspian Sea. *Chemosphere*. 257, 127201.
19. Chua, E. M., Shimeta, J., Nugegoda, D., Morrison, P. D., & Clarke, B. O. (2014). Assimilation of polybrominated diphenyl ethers from microplastics by the marine amphipod, *Allorchestes compressa*. *Environmental Science & Technology*. 48, 8127-34.

20. Cole, M., & Galloway, T. S. (2015). Ingestion of nanoplastics and microplastics by Pacific oyster larvae. *Environmental Science & Technology*. 49 (24), 14625-32.
21. Lusher, A. L., Mchugh, M., & Thompson, R. C. (2013). Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. *Marine Pollution Bulletin*. 67 (1-2), 94-99.
22. Von Moos, N., Burkhardt-Holm, P., & Köhler, A. (2012). Uptake and effects of microplastics on cells and tissue of the blue mussel *Mytilus edulis* L. after an experimental exposure. *Environmental Science & Technology*. 46, 11327-35.
23. 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 & Technology*. 48, 8823-30.
24. Setälä, O., Fleming-Lehtinen, V., & Lehtiniemi, M. (2014). Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web. *Environmental Pollution*. 185, 77-83.
25. Su, L., Deng, H., Li, B., Chen, Q., Pettigrove, V., & Wu, C. (2019). The occurrence of microplastic in specific organs in commercially caught fishes from coast and estuary area of east China. *Journal of Hazardous Materials*. 365, 716-24.
26. Handy, R. D., Henry, T. B., Scown, T. M., Johnston, B. D., & Tyler, C. R. (2008). Manufactured nanoparticles: their uptake and effects on fish-a mechanistic analysis. *Ecotoxicology*. 17, 396-409.
27. Abbasi, S., Soltani, N., Keshavarzi, B., Moore, F., Turner, A., & Hassanaghaei, M. (2018). Microplastics in different tissues of fish and prawn from the Musa Estuary, Persian Gulf. *Chemosphere*; 205, 80-7.
28. Akhbarizadeh, R., Moore, F., & Keshavarzi, B. (2018). Investigating a probable relationship between microplastics and potentially toxic elements in fish muscles from northeast of Persian Gulf. *Environmental Pollution*. 232, 154-63.
29. Ghattavi, Kh., Naji, A., & 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), 141-50. [In Persian]
30. Naji, A., & Kord, S. (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]
31. Ghattavi, Kh., & Naji, A. (2019). Assessment of microplastics in the gastrointestinal tract of some fish caught for human consumption in Bandar Abbas, the Persian Gulf. *Iranian Journal of Health and Environment*. 12 (3), 449-60.
32. Taghizadeh Rahmat Abadi, Z., Abtahi, B., Grossart, H. P., & Khodabandeh, S. (2021). Microplastic content of Kutum fish, *Rutilus frisii kutum* in the southern Caspian Sea. *Science of the Total Environment*, 752.
33. Zakeri, M., Naji, A., Akbarzadeh, A., & Uddin, S. (2020). Microplastic ingestion in important commercial fish in the southern Caspian Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 160, 111598.
34. Karami, A., Golieskardi, A., Ho, Y. B., Larat, V., & Salamatinia, B. (2017). Microplastics in eviscerated flesh and excised organs of dried fish. *Scientific Reports*. 7, 1-9.
35. Karimpour, M., Harlioglu, M. M., Khanipour, A. A., Abdolmalaki, S., & Aksu, Ö. (2013). Present status of fisheries in Iran. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*. 7 (2), 161.
36. Afraei Bandpei, M. (2010). Fishery and Population Dynamics of Caspian Kutum, *Rutilus Frisii Kutum* (Cyprinidae), in the Caspian Sea. Doctoral dissertation. University Saints Malaysia.

37. Ding, J., Li, J., Sun, C., Jiang, F., Ju, P., Qu, L., & He, C. (2019). Detection of microplastics in local marine organisms using a multi-technology system. *Analytical Methods*, 11 (1), 78-87.
38. Nuelle, M. T., Dekiff, J. H., Remy, D., & Fries, E. (2014). A new analytical approach for monitoring microplastics in marine sediments. *Environmental Pollution*, 184, 161-169.
39. Rocha-Santos, T., & Duarte, A. C. (2015). A critical overview of the analytical approaches to the occurrence, the fate, and the behavior of microplastics in the environment. *Trends in Analytical Chemistry*, 65, 47-53.
40. Brander, S. M., Renick, V. C., Foley, M. M., Steele, C., Woo, M., Lusher, A., Carr, S., Helm, P., Box, C., Cherniak, S., Andrews, R. C., & Rochman, C. M. (2020). Sampling and Quality Assurance and Quality Control: A Guide for Scientists Investigating the Occurrence of Microplastics Across Matrices. *Applied Spectroscopy*, 74 (9).
41. Mataji, A., Taleshi, M. S., & Balimoghaddas, E. (2020). Distribution and Characterization of Microplastics in Surface Waters and the Southern Caspian Sea Coasts Sediments. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 78 (1).
42. Zare Chahouki, M. A., & Bihamta, M. R. (2013). "Experimental designs in natural resources." Tehran: University of Tehran Press. [In Persian]