



Distribution and accumulation of microplastic particles in the sediments of mangrove forests from Musa estuary, north-western Persian Gulf

Mohammad Ali Salari Aliabadi^{1✉} | Sadegh Peery² | Negin Salamat³

1. Corresponding Author, Department of Marine Biology, Faculty of Marine Science, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran. E-mail: salari@kmsu.ac.ir

2. Department of Marine Biology, Faculty of Marine Science, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran. E-mail: sadeghpeery61@gmail.com

3. Department of Marine Biology, Faculty of Marine Science, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran. E-mail: salamatnegin@gmail.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 19 October 2024

Received in revised form 27 November 2024

Accepted 31 January 2025

Published online 01 July 2025

Keywords:

**Marine pollution,
Bioaccumulation,
Microplastics,
Sediments,
Musa estuary.**

ABSTRACT

Microplastics are small pieces of plastic waste that result from the direct release of plastic particles as well as from the fragmentation of larger plastic items. They are emerging and stable pollutants that are scattered in different coastal and marine areas and they can be considered as a threat to the environment and aquatic life. To investigate the status of this pollutant, 20 samples were taken from the sediments of mangrove forests located in Musa estuary. The samples were transported to the laboratory in thick plastic bags to extract and count microplastic particles. Separation of microplastic particles from sediment particles was done by condensation separation method, identification and counting of particles using binocular optical microscope. The average concentration of microplastic particles in the studied area was 15 per kilogram of sediment, and the maximum and minimum concentrations were 32 and 2, respectively. In this research, 35% of the found microplastics were fibers, about 32% were filaments, and 28% were pieces of the predominant form of microplastic particles. The predominant color of these particles was black/gray and white/transparent with 40 and 31% of all microplastics, respectively, and 14, 12 and 3% of microplastics were red/pink, yellow/orange and blue/green respectively. The results of this research showed that all kinds of microplastic particles in different shapes and colors are present in the sediments of mangrove forests from Musa estuary that the fishing and fishing industry, industrial and domestic waste, tourists and vehicle traffic are the most important sources of producing microplastic particles in Musa estuary sediments.

Cite this article: Salari Aliabadi, M.A., Peery, S., & Salamat, N. (2025). Distribution and accumulation of microplastic particles in the sediments of mangrove forests from Musa estuary, north-western Persian Gulf. *Journal of Natural Environment*, 78 (Monitoring and Management of Natural Environmental Pollutants), 217-228. DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2025.381542.2706>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2025.381542.2706>

تجمع، پراکنش و نوع ذرات میکروپلاستیک‌ها در رسوبات سطحی جنگل‌های مانگرو خوریات موسی

محمد علی سالاری علی‌آبادی^۱ | صادق پیری^۲ | نگین سلامات^۳

۱. نویسنده مسئول، گروه زیست‌شناسی دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوس‌شناسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران. رایانامه: salari@kmsu.ac.ir
۲. گروه زیست‌شناسی دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوس‌شناسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران. رایانامه: sadeghpeery61@gmail.com
۳. گروه زیست‌شناسی دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوس‌شناسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران. رایانامه: salamatnegin@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	میکروپلاستیک‌ها قطعات کوچکی از زباله‌های پلاستیکی هستند که از انتشار مستقیم ذرات پلاستیکی و همچنین تکه‌تکه شدن اقلام پلاستیکی بزرگتر ایجاد می‌شوند. آنها آلاینده‌های نوظهور و پایداری هستند که در بخش‌های مختلف ساحلی و دریایی پراکنده هستند و می‌توانند به‌عنوان تهدیدی برای محیط‌زیست و آبزیان محسوب شوند. برای بررسی وضعیت این آلاینده، ۲۰ نمونه از رسوبات جنگل‌های مانگرو واقع در خور موسی برداشت شد. نمونه‌ها در کپسول‌های پلاستیکی ضخیم برای استخراج و شمارش ذرات میکروپلاستیک به آزمایشگاه منتقل شدند. جداسازی ذرات میکروپلاستیک از ذرات رسوب با توجه به چگالی، شناسایی و شمارش ذرات با استفاده از میکروسکوپ نوری دو چشمی انجام شد. میانگین غلظت ذرات میکروپلاستیک در منطقه مورد مطالعه ۱۵ عدد در یک کیلوگرم رسوب و همچنین بیشینه و کمینه غلظت آن به ترتیب ۳۲ و ۲ عدد بود. در این پژوهش ۳۵ درصد از میکروپلاستیک‌های یافت شده فیبر، حدود ۳۲ درصد رشته‌ای و ۲۸ درصد قطعه‌ای شکل غالب ذرات میکروپلاستیک را تشکیل دادند. رنگ غالب این ذرات سیاه/خاکستری و سفید/شفاف به ترتیب با ۴۰ و ۳۱ درصد از کل میکروپلاستیک‌ها و همچنین ۱۴، ۱۲ و ۳ درصد از میکروپلاستیک‌ها به ترتیب قرمز/صورتی، زرد/نارنجی و آبی/سبز بودند. نتایج این پژوهش نشان داد که انواع ذرات میکروپلاستیک به شکل و رنگ مختلف در رسوبات جنگل‌های خور موسی حضور دارند که صنعت ماهیگیری و صیادی، پساب صنایع و خانگی، گردشگران و تردد وسایل نقلیه مهمترین منابع تولیدکننده ذرات میکروپلاستیک در رسوبات خور موسی هستند.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۸	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۰۷	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۲	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۱/۱۰	
کلیدواژه‌ها: آلودگی دریا، تجمع زیستی، خور موسی، رسوبات، میکروپلاستیک.	

استناد: سالاری علی‌آبادی، محمد؛ پیری، صادق؛ و سلامات، نگین (۱۴۰۴). تجمع، پراکنش و نوع ذرات میکروپلاستیک‌ها در رسوبات سطحی جنگل‌های مانگرو خوریات موسی. *محیط‌زیست طبیعی*، ۷۸ (ویژه‌نامه پایش و مدیریت آلاینده‌های محیط‌زیست طبیعی)، ۲۲۸-۲۱۷.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2025.381542.2706>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

میکروپلاستیکها، آلایندههای نوظهور و پایداری هستند که در همه بخشهای محیطزیست پراکنده هستند و می توانند به عنوان تهدیدی برای محیطزیست محسوب شوند (Naji et al., 2019). میکروپلاستیکها، شامل ذراتی با اشکال منظم یا نامنظم از الیاف کاملاً کروی تا دراز در طیف رنگی متفاوت و ابعادی کمتر از ۵ میلی متر، با منشأ تولید اولیه یا ثانویه و نامحلول در آب می باشند (Alimba and Faggio, 2019; Rezaei et al., 2023). اصطلاح میکروپلاستیک از سال ۱۳۳۷ توسط تامپسون و همکاران در رابطه با زباله های انسانی برای نشان دادن و توصیف تجمع قطعات پلاستیکی واقعاً میکروسکوپی در رسوبات دریایی و در ستون آب در آبهای اروپا استفاده گردید (Velaiatzadeh, 2022). از آن زمان، آلودگی میکروپلاستیکها در مقیاس جهانی از قطبها تا استوا گزارش شده است که آنها آبهای اقیانوسهای آزاد، مصب رودخانهها، دریاچهها، محیطهای دریایی، از رسوبات جزر و مدی تا اعماق دریا و سواحل آب شیرین را آلوده می کنند (Nabizadeh et al., 2019; Akhbari Zadeh et al., 2022). میکروپلاستیکها، در شکل های مختلف و در دو گروه اولیه و ثانویه تولید می شوند به طوری که میکروپلاستیکهای اولیه، پلاستیکهایی هستند که در اندازه میکرومتر تولید شده و در نهایت به محیط زیست راه می یابند و در صنایع هوا فضا، پزشکی، لوازم آرایشی و بهداشتی و پاک کننده ها استفاده می شوند. درحالی که میکروپلاستیکهای ثانویه از خرد و ریز شدن پلاستیکهای بزرگ به قطعات کوچکتر حاصل می شوند (Alimba and Faggio, 2019; Abbasi et al., 2019).

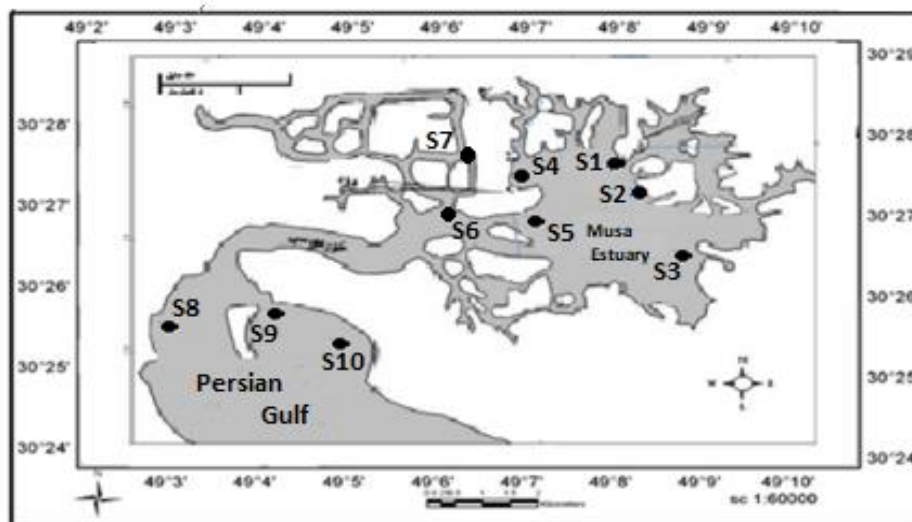
بعد از ورود آلاینده های پلاستیکی به محیطهای دریایی، سرنوشت آنها به وزن مخصوص آن بستگی دارد، بدین ترتیب که پلاستیکهایی با وزن مخصوص بیشتر از آب دریا (۱/۰۲ گرم بر سانتی متر مکعب) در بستر دریا ته نشین شده و بر سطح رسوبات بستر ته نشین می شوند، درحالی که ذرات با وزن مخصوص کمتر از آب دریا در سطح یا لایه های میانی آب شناور می مانند (Nouri and Naji 2017; Maghsudian et al., 2021a, b). میکروپلاستیکها به دلیل تولید بالا و تجزیه پذیری پایین می تواند باعث اثرات رفتاری، ریخت شناسی و تولید مثلی بر روی موجودات آبی شود (Barboza et al., 2020). بررسی های میدانی و آزمایشگاهی در اکوسیستم های دریایی نشان می دهد که جانوران آبی می توانند میکروپلاستیکها را بخورند زیرا آنها را به جای طعمه خود اشتباه می گیرند (Lahijan Zadeh et al., 2000). در نتیجه، حیوان بعد از مصرف میکروپلاستیک، می تواند احساس سیری کند و باعث کاهش جذب مواد غذایی و کاهش مصرف انرژی شود که به نوبه خود ممکن است بر رشد، بقا، باروری و میزان تولید مثل تأثیر بگذارد (Toussaint et al., 2019; Avio et al., 2020). همچنین به دلیل اندازه کوچک میکروپلاستیکها، توسط طیف وسیعی از گونه های زیستی از تک سلولی تا پستاندار دریایی بلعیده می شوند و این ذرات پس از بلعیدن می توانند به سطوح بالاتر تغذیه ای منتقل شوند و در نهایت از طریق زنجیره های غذایی به انسان برسند (Naji et al., 2019). بنابراین میکروپلاستیکها گروهی از آلاینده ها هستند که اثرات نامطلوبی بر روی محیطهای دریایی، زیستمدان و زنجیره غذایی آنها می تواند داشته باشد. مطالعات مختلفی در این زمینه در نقاط مختلف خلیج فارس صورت گرفته است که می توان به مطالعه Lahijan Zadeh و همکاران (۲۰۱۷)، Abbasi و همکاران (۲۰۱۷)، و همکاران (۲۰۱۷، ۲۰۱۸، ۲۰۱۹)، Akhbarizadeh و همکاران (۲۰۱۷)، ۲۰۱۸ و ۲۰۲۲، Esmaeili و همکاران (۲۰۱۷)، Naji و همکاران (۲۰۱۷) و Maghsodian و همکاران (۲۰۲۱) و Hemmatzadeh و همکاران (۲۰۲۴) اشاره کرد.

محیط خور موسی با توجه به ویژگی هایی که دارد بسیار مستعد آلودگی می باشد. از آنجا که بستر خورها در طول شبانه روز مدام تحت تأثیر جذر و مد آب است، ذرات پلاستیک مستعد خرد و ریز شدن هستند (Naji et al., 2017). همچنین، اشعه فرابنفش خورشید باعث اکسید شدن بسپارها (polymers) و در نتیجه شکستگی پیوند شیمیایی آنها می شود (McEachern et al., 2019). از آنجا که خور موسی به شدت تحت تأثیر فعالیت های مرتبط با نفت و پتروشیمی (استخراج، فراوری و انتقال)، تخلیه پساب پاکسازی نشده شهری و صنعتی، شوری بالا (ناشی از دما و تبخیر بالادر منطقه) و جریانات چرخشی محدود قرار دارد، آبریان این اکوسیستم در معرض این آلاینده ها قرار دارند (Hosseini et al., 2015). نتایج برخی از مطالعات مانند مطالعه Abbasi و همکاران (۲۰۱۷، ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹)، Akbarzadeh و همکاران (۲۰۱۷ و ۲۰۱۸) و Lahijan Zadeh و همکاران (2020) که در سواحل خلیج فارس صورت گرفت، نشان داد که فعالیت های ماهیگیری (تور و طناب)، صنعتی، شهری، قایق ها و کشتی ها باعث آزادسازی ذرات میکروپلاستیک به محیط شده به طوری که در لنگرگاه ها و مسیرهای تردد قایق ها غلظت ذرات میکروپلاستیک به

مراتب بیشتر از مناطق دیگر بود. به دلیل استفاده گسترده و مدیریت نامناسب پلاستیک ها، آلودگی ناشی از آنها به عنوان یک مسئله محیط زیستی در حال ظهور شناخته شده است و در سال های اخیر، تأثیرات جدی و گسترده اکولوژیک و محیط زیستی بقایای میکروپلاستیک ها به یک نگرانی عمده تبدیل شده است زیرا میکروپلاستیک علاوه بر تأثیرات مستقیم، به عنوان ناقل مهم سایر آلاینده ها مانند بسیاری از آلاینده های آلی و فلزات سنگین عمل می کنند (Mu et al., 2019; Barboza et al., 2020). ذرات میکروپلاستیک در نهایت به محیط دریا راه یافته و می توانند با توجه به جریان های آبی مسیریابی را طی کرده و در رسوبات ساحلی و بستر دریاها ته نشین شوند. بنابراین، بررسی این ذرات در محیط رسوب، به عنوان بستری مناسب برای تجمع این ذرات، ضروری به نظر می رسد. به همین دلیل در این مطالعه، غلظت ذرات میکروپلاستیک در رسوبات خور موسی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

روش شناسی پژوهش

به طور کلی مساحت بندر ماهشهر ۲۷۱۳ کیلومتر مربع و جمعیت آن ۲۹۲۲۷۱ نفر می باشد. با توجه به وضعیت جغرافیایی طبیعی و به لحاظ قابلیت ها و توانمندی های بالقوه استان خوزستان، بستر مناسبی برای استقرار واحدهای کوچک و بزرگ صنعتی به ویژه صنعت نفت فراهم شده است (Vaezi et al., 2014). وجود صنایع نفت، گاز، پتروشیمی، شیمیایی، فلزی، کانی غیرفلزی، برق سلولزی، غذایی و سایر موارد سبب توسعه سریع صنایع مادر و در کنار آنها، صنایع جانبی گردیده است (Lahijan zadeh et al., 2020). فعالیت اقتصادی شهرستان بندر ماهشهر، بیشتر متکی به قابلیت بندرگاهی و مجاورت با سواحل و همچنین نزدیکی به منابع نفت و گاز جلگه خوزستان و فعالیت های وابسته به آن است. اهمیت اقتصادی این شهرستان از یک سو به سبب دو بندر مهم امام خمینی و ماهشهر است و از سوی دیگر وجود پالایشگاه گاز طبیعی مایع و همچنین منطقه ویژه بندر امام خمینی است (Hosseini et al., 2015).



شکل ۱- موقعیت ایستگاه های مورد مطالعه در خلیج فارس

نمونه برداری از رسوبات جنگل های مانگرو خور موسی در ایستگاه های مختلف در خردادماه سال ۱۴۰۲ انجام شد. نقاط در ابتدا با توجه به محل قرارگیری اسکله ها، مسیرهای پرتراфик دریایی، خروجی های پساب های صنعتی به عنوان نقاط با بیشینه پتانسیل آلودگی، و در ادامه جهت بررسی دامنه انتقال آلودگی و تأثیر فاصله گرفتن از صنایع، در طول کانال خور موسی انتخاب شدند (شکل ۱). در مجموع تعداد ۱۰ ایستگاه برای رسوب انتخاب و جمع آوری شد. نمونه برداری از رسوبات با استفاده از بیلچه فلزی و چنگک فولادی ضد زنگ ونوین (Van Veen Grab) انجام و به ظروف شیشه ای منتقل شدند (Maghsodian et al., 2021b). نمونه های برداشت شده جهت بررسی میکروپلاستیک به آزمایشگاه بیولوژی دریا دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر منتقل شد. نمونه ها پس از خشک شدن با استفاده از الک با چشمه بزرگتر از ۵ میلی متر غربال شدند.

برای جداسازی میکروپلاستیکها از نمونههای جمعآوری شده از روش شناورسازی استفاده شد. محلولهای NaCl ، CaCl_2 ، KHCO_3 و NaI برای این کار استفاده می شوند (Naji et al., 2019). محلول اشباع کلرید سدیم (NaCl) به دلیل اقتصادی بودن و نداشتن اثرات سمی ارجح از سایر ترکیبات می باشد. در مطالعه حاضر، برای جداسازی میکروپلاستیکها، از محلول کلرید سدیم $1/2 \text{ g/cm}^3$ استفاده شد. رسوبات جمعآوری شده از هر ایستگاه با استفاده از یک قاشق استیل ضد زنگ با ترازوی دیجیتالی با دقت 0.1 گرم، توزین و داخل بشر یک لیتری ریخته شد. سپس 800 میلی لیتر محلول اشباع شده NaCl افزوده شده و جهت شناورسازی میکروپلاستیکها به مدت $15-10$ دقیقه با استفاده از قاشق استیل کاملاً هم زده شد (Hemmatzadeh et al., 2024). پس از گذشت 30 دقیقه رسوبات ته نشین شده و شناورسازی انجام شد. مایع رویی یا فاز فوقانی آن (سوپرناتانت) با استفاده از قیف شیشه‌ای روی کاغذ صافی نیتروسولوزی 5 میکرومتری فیلتر شدند (Nouri and Amiri, 2020). مراحل مذکور برای هر نمونه 3 بار تکرار شد تا همه ذرات از رسوبات جدا شوند. در مرحله بعد کاغذ صافی در آون 60 درجه سانتی گراد قرار داده شد تا نمونه‌ها کاملاً خشک شوند. پس از خشک شدن نمونه‌ها، ذرات با استفاده از یک دستگاه استریومیکروسکوپ با بزرگنمایی $40\times$ بررسی و ذرات میکروپلاستیک با استفاده از یک پنس ریز از دیگر اجزا جدا شدند (Hemmatzadeh et al., 2024).

جدول ۱- مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری از رسوبات در خور موسی

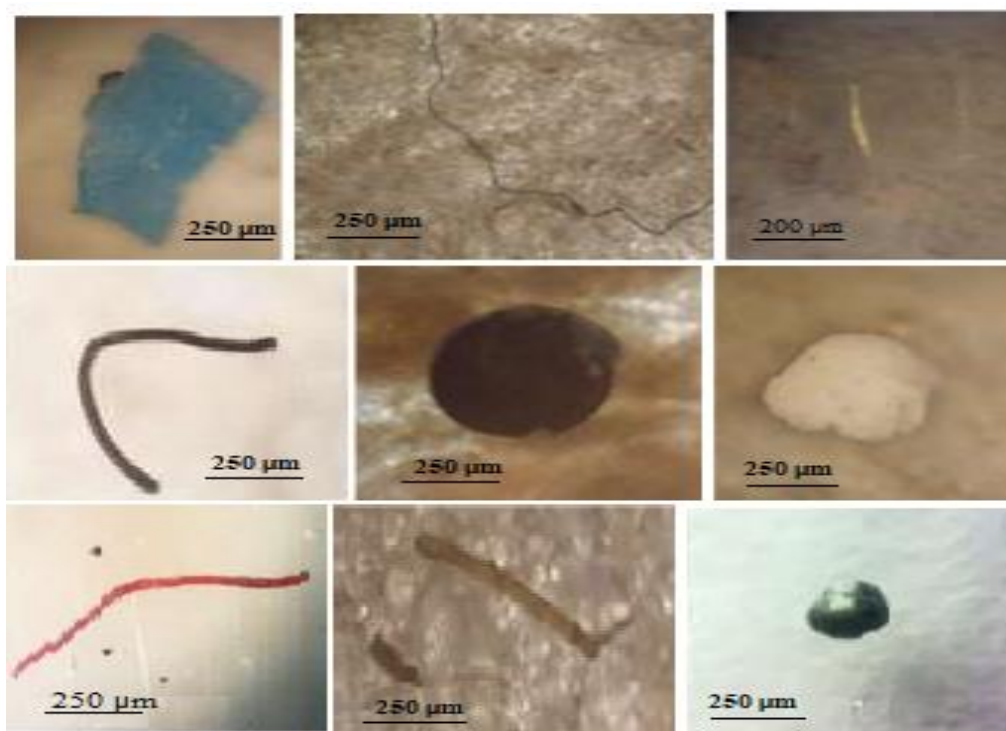
ایستگاه	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
S1	بندر صادراتی ماهشهر	$49^{\circ}10'48'' \text{ E}$	$30^{\circ}27'57'' \text{ N}$
S2	پارک مجیدیه	$49^{\circ}19'61'' \text{ E}$	$30^{\circ}48'39'' \text{ N}$
S3	پتروشیمی شیمی بافت	$49^{\circ}06'04'' \text{ E}$	$30^{\circ}28'02'' \text{ N}$
S4	پتروشیمی مارون	$49^{\circ}06'08'' \text{ E}$	$30^{\circ}29'00'' \text{ N}$
S5	پتروشیمی رازی	$49^{\circ}09'55'' \text{ E}$	$30^{\circ}43'40'' \text{ N}$
S6	پالایشگاه نفت بندر امام	$49^{\circ}03'46'' \text{ E}$	$30^{\circ}25'34'' \text{ N}$
S7	خور زنگی	$49^{\circ}03'20'' \text{ E}$	$30^{\circ}25'53'' \text{ N}$
S8	پارک ساحلی بندر امام	$49^{\circ}04'46'' \text{ E}$	$30^{\circ}29'31'' \text{ N}$
S9	پتروشیمی بندر امام	$49^{\circ}06'48'' \text{ E}$	$30^{\circ}25'47'' \text{ N}$
S10	اسکله بارگیری مواد معدنی بندر امام	$49^{\circ}02'02'' \text{ E}$	$30^{\circ}27'06'' \text{ N}$

تمامی ذرات میکروپلاستیک جدا شده با استفاده از دوربین دیجیتالی متصل به استریومیکروسکوپ عکسبرداری شدند و اندازه ذرات از عکس‌های تهیه شده با استفاده از نرم افزار Digimizer انجام شد. شناسایی پلیمری میکروپلاستیکها به وسیله دستگاه طیفسنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR) مجهز به ATR، مدل نیکولت نکسوز ۴۷۰، ساخت شرکت ترمونیکولت آمریکا، متصل به نرم افزار OMNIC، با سطح آنالیزور کریستال ZnSe ، انجام شد. محدوده مورد بررسی $4000-650 \text{ nm}^{-1}$ بود (Maghsodian et al., 2021b). قبل از هر آزمون دستگاه کالیبره شده و سپس طیفها به منظور تفکیک و شناسایی پلیمرهای میکروپلاستیک با توجه به شکل و موقعیت پیکها ارزیابی شدند. برای تجزیه و تحلیل آماری از نرم افزار SPSS نسخه ۲۶ استفاده شد. داده‌ها ابتدا برای اطمینان از نرمال بودن با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شدند. سپس از آزمون تجزیه واریانس یک طرفه (One-way ANOVA) در سطح اطمینان 95% برای مقایسه میانگینها در ایستگاههای مختلف استفاده شد. برای ترسیم نمودارها از نرم افزار Excel نسخه ۲۰۱۹ استفاده شد.

یافته‌های پژوهش و بحث

تصاویر مربوط به میکروپلاستیکهای یافت شده در رسوبات خور موسی در شکل ۲ ارائه شده است. براساس آزمون آماری از نتایج به دست آمده، توزیع داده‌ها نرمال بودند. نتایج نشان می‌دهند که حدود 42% درصد از میکروپلاستیکهای یافت شده رشته‌ای، 35% درصد چند وجهی، 13% درصد کروی و 10% درصد صفحه‌ای هستند. Lahijanazadeh و همکاران (۲۰۲۰) فقط نوع پلاستیکهای موجود در رسوبات اطراف هنديجان مانند خور موسی را بررسی کردند و گزارش دادند که درصد بالایی از میکروپلاستیکهای یافت شده در رسوبات خور موسی از نوع رشته‌ای بوده است و کمترین نوع آنها کروی بوده است. در دیگر مطالعات صورت گرفته در رسوبات سواحل بوشهر و عسلویه نیز میکروپلاستیکهای رشته‌ای درصد بالایی نسبت به دیگر اشکال داشتند (Abbasi et al., 2024).

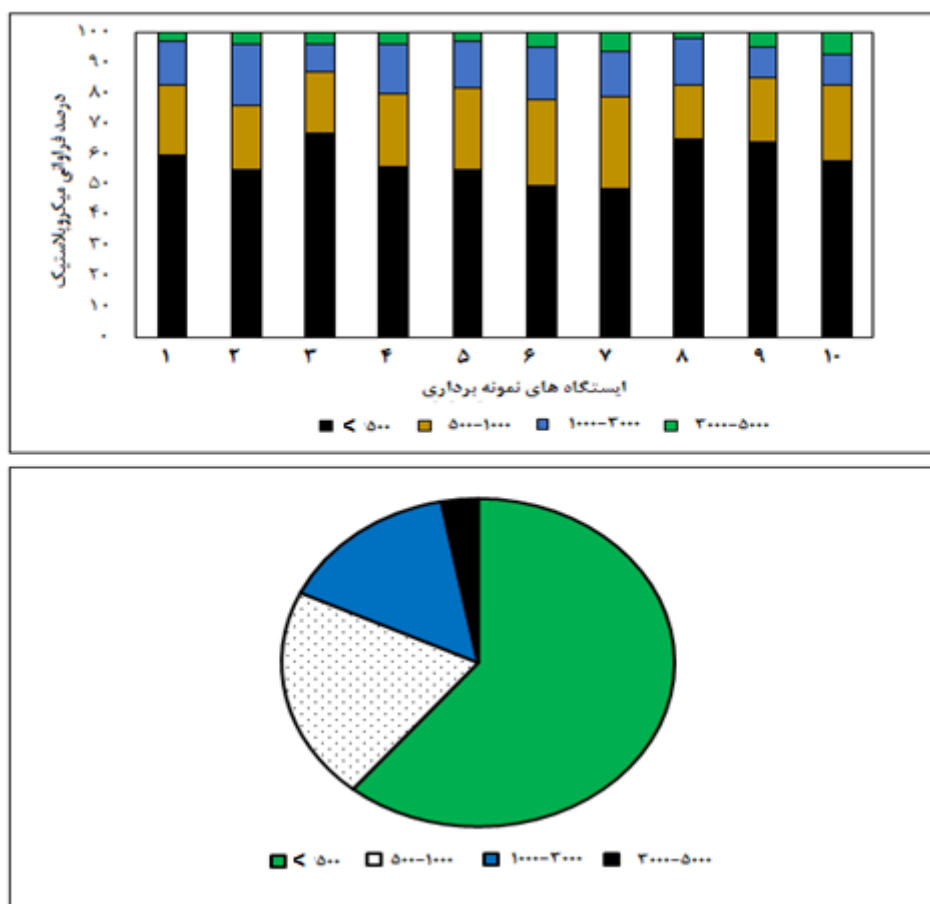
2019, 2017). صنعت ماهیگیری (شامل تورهای ماهیگیری، رشته ها و طناب ها) مهمترین منبع تولید ذرات میکروپلاستیک رشته ای در محیط های دریایی است (Hemmatzadeh et al., 2024). منطقه خور موسی که در شهرهای بندری هندیجان و ماهشهر واقع شده است؛ از قطب های مهم صنایع شیلاتی و صنعت ماهیگیری محسوب می شود، بنابراین در معرض آلودگی ذرات رشته ای پلاستیکی قرار گرفته است. از طرفی، پوشاک هایی که با الیاف پلاستیکی تولید شده اند از دیگر منابع واردکننده ذرات رشته ای میکروپلاستیک ها در محیط های آبی و ساحلی هستند به طوری که مطالعات مختلف نشان داده اند که با هر بار شستشوی پوشاک هایی که با الیاف پلاستیکی تولید شده اند حدود ۲۲۲۲ قطعه میکروپلاستیک رشته ای به محیط آزاد می شود (Schirinzi et al., 2017). براساس نتایج مطالعات صورت گرفته در ارتباط با پراکنش میکروپلاستیک ها در محیط های آبی و ساحلی، مشخص شده است که اغلب ذرات میکروپلاستیک رشته ای در مناطق شهری به محیط آزاد می شوند، در حالی که ذرات کروی و چندوجهی بیشتر در مناطق صنعتی می توانند تولید شوند (Abbasi et al., 2019). با توجه به اینکه در خور موسی چندین واحد صنعتی وجود دارد احتمال آزادسازی این ذرات در این صنایع نیز وجود دارد.



شکل ۲- تصاویر مربوط به ذرات میکروپلاستیک موجود در رسوبات خور موسی با استفاده از دوربین متصل به استریومیکروسکوپ

نتایج مطالعات مختلف نشان داده است که در رسوبات، آب و پساب خور موسی آلاینده هایی از جمله عنصر جیوه با غلظت هایی بسیار زیاد وجود دارد به طوری که حضور طولانی مدت آلاینده های آلی و غیر آلی در این منطقه باعث نفوذ این آلاینده ها در موجودات زنده از جمله گونه های مختلف (کفزی و سطح زی) ماهی ها و دوکفه ای ها شده است (Abassi et al., 2018). براساس مطالعه دیگری در این زمینه نیز غلظت بالای جیوه در آبزیان منطقه ماهشهر وجود دارد (Okati and Esmaili-Sari, 2018). این به خوبی نشان می دهد که آلاینده ها به احتمال زیاد وارد چرخه غذایی انسان های بومی آن منطقه شده است. باید توجه داشت که خاصیت جذب و واجذب ذرات میکروپلاستیک به آلاینده های آلی و غیر آلی می تواند زیست دسترس پذیری آلاینده ها را به موجودات زنده افزایش دهد و حتی این آلاینده ها را تا مسافت هایی طولانی انتقال دهند (Akhbarizadeh et al., 2017). از دیگر منابع تولید کننده ذرات میکروپلاستیک در اطراف خور موسی در منطقه صنعتی بندر امام خمینی و ماهشهر می توان به تردد گردشگران ساحلی و ماهیگیران، لاستیک خودروها و کامیون ها و فرسایش لاستیک آنها، انواع شوینده ها و دیگر محصولات بهداشت فردی و پوشاک اشاره کرد (Esmaeili et al., 2016; Abassi et al., 2018). بنابراین می توان گفت شیلات و ماهیگیری، صنایع نفت و پتروشیمی

و گردشگران مهمترین منبع ورود ذرات پلاستیکی به رسوبات خور موسی هستند. بنابراین حضور ذرات میکروپلاستیک در خور موسی، با توجه به تأثیر آنها در زنجیره غذایی آبزی، اثرات جزر و مد بر حرکت آب دریا و انتقال آلاینده‌ها به دریای آزاد (خلیج فارس)، بسیار حائز اهمیت است.



شکل ۳- میانگین و توزیع ذرات میکروپلاستیک یافت شده در رسوبات خور موسی براساس اندازه در ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری

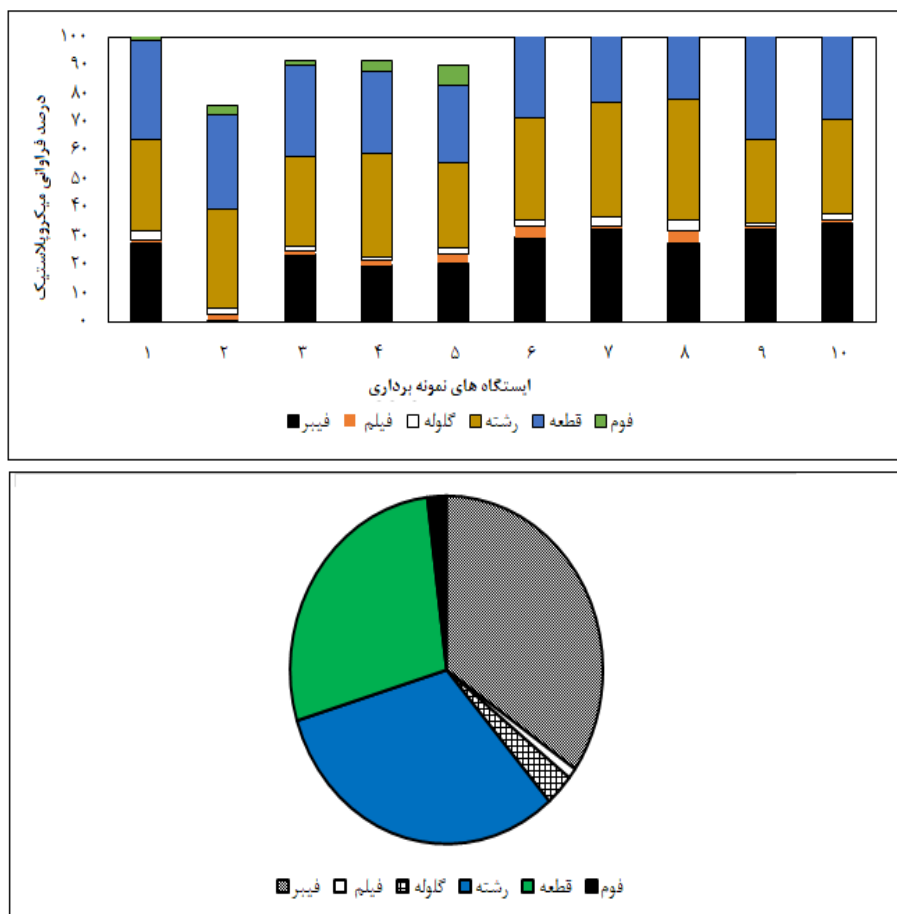
همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است بیشترین درصد میکروپلاستیک‌ها به ذرات میکروپلاستیک‌ها با اندازه کمتر از ۵۰۰ میکرومتر مربوط است. ذرات میکروپلاستیک با اندازه‌های بسیار کوچک را می‌توان بسیار بیشتر از مقدار گزارش شده در نظر گرفت. زیرا تشخیص این ذرات بسیار سخت و گاهی غیرقابل شمارش هستند. به‌طور کلی بیش از ۶۰ درصد از ذرات میکروپلاستیک‌های شناسایی شده مربوط به ذرات با اندازه کمتر از ۵۰۰ میکرومتر هستند. بعد از آن ذرات با اندازه‌های بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میکرومتر دارای درصد فراوانی بالاتری بودند و کمترین درصد مربوط به ذرات بزرگتر از ۳۰۰۰ میکرومتر بودند. در تمام ایستگاه‌های نمونه‌برداری ذرات با اندازه کمتر از ۵۰۰ میکرومتر دارای بیشترین درصد و ذرات بزرگتر از ۳۰۰۰ میکرومتر کمترین درصد را داشتند (شکل ۳). بدیهی است که هر چه اندازه ذرات میکروپلاستیک کوچکتر باشد، سطح ویژه آنها افزایش یافته و قدرت جذب زیاده‌تری خواهد داشت (Mu et al., 2019). اندازه کوچک میکروپلاستیک‌ها به دلیل تأثیر بالقوه آنها بر موجودات زنده از اهمیت خاصی برخوردار است و چنین میکروپلاستیک‌های کوچکی جدی‌ترین تهدیدات بالقوه را هم برای موجودات آبزی و هم برای اکوسیستم ایجاد می‌کنند. بنابراین، با توجه به اینکه در منطقه مورد مطالعه، ذرات میکروپلاستیک کوچکتر از ۵۰۰ میکرومتر غالب هستند، پتانسیل جذب آلاینده‌ها و افزایش زیست‌دسترس‌پذیری وجود دارد. همچنین با توجه به اثر شدید جزر و مد به جریانات آبی خور موسی، انتقال آلاینده‌ها به دریای آزاد بسیار محتمل است (McEachern, et al., 2019). میکروپلاستیک‌های با اندازه کوچک می‌توانند از طرف طیف وسیعی از موجودات تغذیه شوند. قطعات کوچک میکروپلاستیک‌ها می‌توانند پس از مصرف، از طریق مدفوع دفع شوند ولی قطعات بزرگتر ممکن است در دستگاه گوارش باقی بمانند و منجر به بروز حس سیری کاذب شوند (Jabeen et al., 2017). این موضوع در بسیاری از گروه‌های مهره‌داران گزارش شده است. این درحالی است که احتمال دارد ذرات فیبرمانند

درهم پیچ بخورند و متراکم شوند و باعث انسداد اندامها شوند و از این طریق مانع بلع غذا شوند (Ghattavi and Naji, 2019). علاوه براین، به جز تأثیر مستقیم میکروپلاستیک ها، آنها می تواند به عنوان ناقل مهم سایر آلاینده ها مانند بسیاری از آلاینده های آلی و فلزات سنگین عمل کند. از آنجا که در منطقه مورد مطالعه، ذرات میکروپلاستیک کمتر از ۲۰۰ میکرومتر غالب هستند، پتانسیل جذب آلاینده ها و افزایش دسترسی زیستی وجود دارد. در اکثر مطالعاتی که در سواحل مختلف خلیج فارس صورت گرفته است ذرات میکروپلاستیک با اندازه کمتر از ۵۰۰ میکرومتر درصد فراوانی بالاتری نسبت به دیگر ذرات داشتند (Akhbarizadeh et al., 2020; Lahijanazadeh et al., 2019; Abbasi et al., 2018, 2019; et al., 2017).

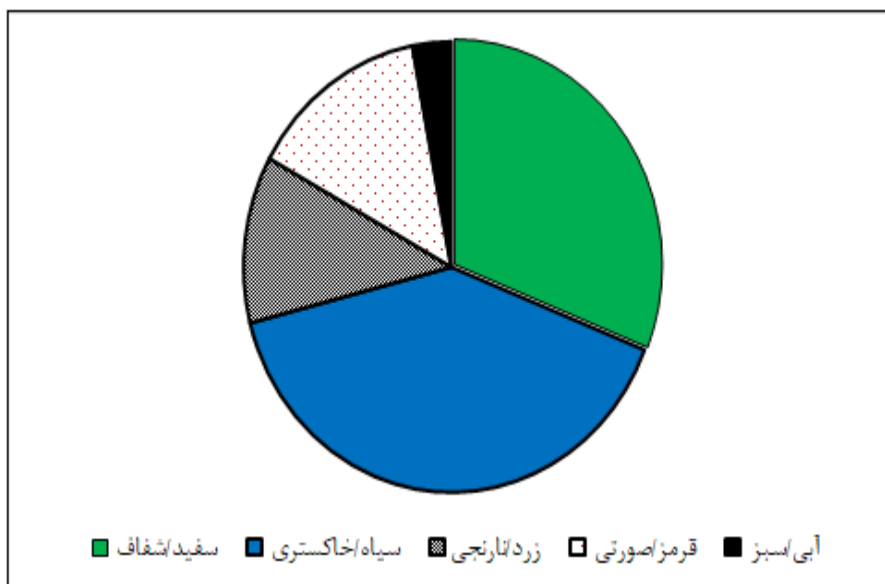
درصد فراوانی اشکال مختلف ذرات میکروپلاستیک یافت شده در رسوبات خور موسی در ایستگاه های مختلف نمونه برداری در شکل ۴ نشان داده شده است. در بین اشکال مختلف میکروپلاستیک شناسایی شده در ایستگاه های مختلف، به ترتیب ذراتی با شکل قطعه، رشته، فیبر، گلوله، فوم و فیلم به ترتیب دارای فراوانی بالاتری بودند. درصد فراوانی ۳ نوع اشکال فیبر، رشته و قطعه در ایستگاه های مختلف و همین طور میانگین آنها نسبت به دیگر اشکال فراوانی بالاتری داشت. در مطالعه مشابه در خور موسی نیز نتایج یکسانی به دست آمد و ذرات با شکل قطعه ای فراوانی بیشتری داشتند (Naji et al., 2019). همچنین دیگر مطالعات مشابه در خلیج فارس دارای نتایج یکسانی بودند و ذرات فیبر و رشته ای فراوانی بالاتری نسبت به دیگر اشکال داشتند (Akhbarizadeh et al., 2017, 2018; Abbasi et al., 2019).

حضور میکروپلاستیک های فیبر و رشته ای در محیط زیست دریایی نشان می دهد که فراوانی میکروپلاستیک ها بیشتر ناشی از میکروپلاستیک های ثانویه است. فاضلاب های شهری و صنعتی که سبب ورود پلاستیک هایی مانند بطری های پلاستیکی به محیط می شوند و استفاده مداوم از تورهای ماهیگیری و طناب های پلاستیک در صنعت صیادی از مهمترین منابع تولید ذرات میکروپلاستیک قطعه ای و رشته ای در رسوبات خور موسی هستند. همچنین فاضلاب ماشین لباسشویی حاوی مقدار زیادی میکروپلاستیک فیبر مانند می باشد (Jabeen et al., 2017; Yu et al., 2016). بنابراین ورود فاضلاب های خانگی به درون خور موسی می تواند از علل فراوانی میکروپلاستیک های فیبری در این منطقه باشد. ریختن زباله هایی مانند بطری های نوشابه و آب، کیسه های پلاستیکی و غیره توسط گردشگران به درون آب و سواحل خور موسی می تواند منشأ میکروپلاستیک های ثانویه مانند خرده ذرات باشد (Abassi et al., 2017; Naji et al., 2019). همچنین تردد وسایل نقلیه در جاده های نزدیک به خور، احتمال انتقال ذرات لاستیکی کوچک و پلاستیک ناشی از ساییدگی لاستیک خودروها توسط رواناب جاده ها به درون خور را ممکن می سازد (Maghsodian et al., 2024). بنابراین می توان نتیجه گرفت فعالیت های انسانی اعم فعالیت های صنعتی و انسانی (به خصوص فعالیت های گسترده قایقرانی و ماهیگیری در منطقه مذکور، می توانند از علل عمده فراوانی بیشتر ذرات میکروپلاستیک باشد.

درصد فراوانی رنگ های مختلف ذرات میکروپلاستیک یافت شده در رسوبات خور موسی در شکل ۵ ارائه شده است. رنگ غالب میکروپلاستیک های یافت شده به ترتیب سیاه/خاکستری (۴۰ درصد)، سفید/شفاف (۳۱ درصد)، قرمز/صورتی (۱۴ درصد)، زرد/نارنجی (۱۲ درصد) و آبی/سبز (۳ درصد) است. با توجه به اینکه اغلب پلاستیک های تولید شده توسط بشر اغلب سفید و سیاه هستند، مشاهده چنین نتایجی مبنی بر غالب بودن این دو رنگ در هر محیطی دور از انتظار نیست. در هر مطالعه، با توجه به متغیر کاربری اراضی و عوامل محیطی، مورفولوژی میکروپلاستیک ها یعنی شکل، رنگ و اندازه آنها می تواند به طور گسترده متفاوت باشد (Avio et al., 2020). به طور کلی تنوع رنگ ها نشان دهنده منابع مختلف آلودسازی میکروپلاستیک ها به محیط زیست است (Barboza et al., 2020). رنگی بودن ذرات میکروپلاستیک خطری بالقوه برای موجودات زنده هستند، چرا که میکروپلاستیک های کوچک و رنگی ممکن است توسط آبزیان و پرندگان به عنوان غذا خورده شود و سلامت آنها را به خطر بیندازد (Al-Salem et al., 2020).



شکل ۴- درصد فراوانی اشکال مختلف ذرات میکروپلاستیک یافت شده در رسوبات خور موسی در ایستگاه‌های مختلف نمونه برداری



شکل ۵- درصد فراوانی رنگ‌های مختلف ذرات میکروپلاستیک یافت شده در رسوبات خور موسی

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که ذرات میکروپلاستیک در تمام ایستگاه‌های مورد بررسی حضور دارند که نشان‌دهنده پراکندگی آنها در رسوبات خور موسی است. محدوده فراوانی میکروپلاستیک‌ها در مطالعه حاضر ۲۸۴۵-۲۹ ذره در ۰/۰۳ گرم رسوب خشک می‌باشد. بیشینه غلظت آن ۲۲ عدد در ایستگاه S7 و کمینه آن ۱ عدد در ایستگاه S1 است. همان‌طور که نتایج نشان داد، به‌طور

کلی این گستره از غلظت ذرات میکروپلاستیک در خور موسی بیشتر از برخی از ایستگاه های رسوب دریای برینگ شمالی و کوچکی در چین (Northern Bering and Chukchi Seas) است (Mu et al., 2019) در صورتی که غلظت ذرات میکروپلاستیک در خور موسی از بسیاری از مناطق کمتر می باشد. براساس مطالعه عباسی و همکاران (۲۰۱۸) غلظت ذرات میکروپلاستیک در خلیج فارس از ۲ تا ۱۴۲ عدد می باشد که نشان دهنده غلظت تقریباً مشابه آن در خور موسی است. همچنین می توان به رسوبات سواحل تامیل نادو (Tamil Nadu) در هند از ۳۳ تا ۴۳۹ عدد، سواحل بندرعباس در ایران ۳۳ تا ۴۳۹ عدد، خلیج تامپا Tampa Bay در فلوریدا (McEachern et al., 2019) ۲۸۲ تا حدود ۲۲۲۲ عدد، ۱۵۴ تا حدود ۳۱۲۶ عدد در Lebanese coast، ۲۲۹ عدد در سواحل لبنان اشاره کرد (Sathish et al., 2019). لاهیجان زاده و همکاران (۲۰۰۰) نشان دادند میانگین غلظت ذرات میکروپلاستیک در رسوبات خور موسی ۱۱/۲۷ عدد در ۲۳۲ گرم رسوب بود و بیشینه و کمینه غلظت آن به ترتیب ۲۲ و ۱ عدد بود. در مطالعه Naji و همکاران (۲۰۱۷) غلظت میکروپلاستیک در رسوبات خلیج فارس از ۳۲ تا ۱۲۳ عدد در یک کیلوگرم رسوب گزارش شده است. کمینه و بیشینه تعداد میکروپلاستیک های گزارش شده در رسوبات دریای Bohai در چین (Yu et al., 2016)، رسوبات سواحل بالتیک (Stolte et al., 2015) به ترتیب شامل ۳۲/۸ تا ۲۱۳/۴ عدد در یک کیلوگرم رسوب و ۱۲۳ تا ۲۱۸ عدد در یک کیلوگرم رسوب است. همان طور که مشاهده می شود غلظت ذرات میکروپلاستیک در خور موسی در برخی از مناطق بیشتر، کمتر و یا تقریباً برابر است. لازم به ذکر است که غلظت میکروپلاستیک ها در ایستگاه های S4، S5، S6 و S7 بیشتر از ایستگاه های دیگر است. در صورتی که ایستگاه های S8، S9 و S10 کمترین غلظت را از میان دیگر ایستگاه ها دارند. با توجه به این نتایج و موقعیت نقاط نمونه برداری در شکل ۱ می توان دریافت که هرچه نقاط نمونه برداری به سواحل و مناطق شهری و صنعتی نزدیکتر می شود، غلظت این آلاینده افزایش می یابد و برعکس، با فاصله گرفتن از این مناطق غلظت ها کاهش می یابد. همان طور که مشاهده می شود ایستگاه های S8، S9 و S10 دورترین نقاط نمونه برداری هستند و در واقع وارد دریای آزاد (خلیج فارس) شده اند و در نتیجه باعث کم شدن غلظت این ذرات می شود. گرچه باید توجه داشت که مسیرهایی که حمل و نقل دریایی توسط قایق ها و کشتی ها صورت می گیرد معمولاً ذرات میکروپلاستیک زیادی دارند که در این پژوهش نیز این نتایج قابل مشاهده است.

نتایج آنالیز نمونه ها نشان داد پلی اتیلن (PE)، پلی اتیلن ترفالات (PEP) و نایلون فراوان ترین انواع پلیمر در رسوبات بودند. بین نمونه های مورد مطالعه، میکروپلاستیک های با ساختار پلی اتیلن بیشترین سهم را در بین گروه های پلی استر، پلی پروپیلن و پلی استایرن داشت که این موضوع گسترش استفاده از کیسه های پلاستیکی و بطری های پلاستیکی را در مناطق توریستی در افزایش این نوع پلیمر را به خوبی نشان می دهد. استفاده مداوم از تورهای ماهیگیری و طناب های پلاستیک در صنعت صیادی از منابع دیگر این نوع از آلودگی در منطقه می باشد. Maghsodian و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که پلی اتیلن، پلی پروپیلن میکروپلاستیک غالب در رسوبات خلیج نابیند در استان بوشهر هستند. Naji و همکاران (۲۰۱۸) گزارش دادند پلی اتیلن، پلی اتیلن ترفالات و نایلون فراوان ترین انواع پلیمر در رسوبات خلیج فارس (بندرعباس) هستند. در دیگر مطالعه ای که در بندر لنگه در استان هرمزگان انجام گرفت نایلون فراوان ترین پلیمر در رسوبات بود (Nouri et al., 2020). بنابراین با توجه به محدودیت ها برای تحقیقات در این زمینه مانند عدم دسترسی به برخی از نقاط ساحلی و دریایی، نبود امکانات لازم و هزینه زیاد برای تهیه امکانات اولیه و همین طور محدود بودن دستگاه های آنالیز ذرات میکروپلاستیک، تحقیق حاضر صورت گرفت. با توجه به اثرات مضر ذرات نانو و میکروپلاستیک در اکوسیستم آبی و ساحلی، و با توجه به اینکه آبریان بخش مهمی از سبد غذایی مردم جنوب کشور را شامل می شود، پیشنهاد می گردد سازمان های ذی ربط مانند سازمان حفاظت محیط زیست، شیلات، سازمان بنادر و کشتیرانی و وزارت بهداشت شرایط و امکانات لازم برای مطالعه و تحقیق در این زمینه جهت کنترل و مدیریت آلاینده های پلاستیکی را فراهم نمایند.

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که ذرات میکروپلاستیک در رسوبات خور موسی حضور دارند و اغلب این ذرات رشته ای و با اندازه هایی کمتر از ۲۰۰ میکرومتر هستند. این به معنای زیاد بودن ظرفیت جذب این ذرات برای آلاینده ها می باشد. از طرفی غلظت ذرات میکروپلاستیک در نزدیکی مناطق شهری و صنعتی و مسیرهای حمل و نقل دریایی زیاد بوده و با نزدیک شدن به دریای آزاد (خلیج فارس) غلظت ها کاهش می یابد. باید توجه داشت که آلاینده ها می توانند توسط این ذرات جذب سطحی شده و به محیط دریا انتقال

پیدا کنند. همچنین رنگ‌های مختلف ذرات میکروپلاستیک باعث می‌شود که توسط آبزیان به اشتباه به عنوان غذا مصرف شوند و علاوه بر خود ذرات میکروپلاستیک، آلاینده‌های بسیاری را نیز وارد بدن جانداران کنند. نتایج آنالیز نمونه‌ها نشان داد پلی‌اتیلن، پلی‌اتیلن ترفالات و نایلون فراوان‌ترین انواع پلیمر در رسوبات بودند. این موضوع گسترش استفاده از کیسه‌های پلاستیکی و بطری‌های پلاستیکی را در مناطق توریستی در افزایش این نوع پلیمر را به خوبی نشان می‌دهد. استفاده مداوم از تورهای ماهیگیری و طناب‌های پلاستیک در صنعت صیادی از منابع دیگر این نوع از آلودگی در منطقه می‌باشند. انواع غالب میکروپلاستیک‌ها در موجودات دریایی مربوط به زیستگاه آنها بود. مطالعه حاضر می‌تواند اطلاعات پس زمینه مفیدی برای تحقیقات بیشتر و سیاست‌های مدیریتی برای درک منابع، حمل و نقل و اثرات بالقوه بر حیات دریایی در خلیج فارس ارائه دهد.

سپاسگزاری

از همه دوستان و اساتیدی که در مراحل مختلف شامل عملیات میدانی نمونه برداری و جمع‌آوری نمونه‌ها و انتقال آنها به دانشگاه، تجزیه و تحلیل داده‌ها ما را یاری رساندند، نهایت تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

References

- Abbasi, S., Keshavarzi, B., Moore, F., Delshab, H., Soltani, N., Sorooshian, A., 2017. Investigation of microrubbers, microplastics and heavy metals in street dust: a study in Bushehr city, Iran. *Environmental Earth Sciences* 76(23), Article 798.
- Abbasi, S., Keshavarzi, B., Moore, F., Turner, A., Kelly, F.J., Dominguez, A.O., 2019. Distribution and potential health impacts of microplastics and microrubbers in air and street dusts from Asaluyeh County, Iran. *Environmental Pollution* 244(25), 153-164.
- 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(18), 80-87.
- Al-Sal, S.M., Uddin, S., Al -Yamani, F., 2020. An assessment of microplastics threat to the marine environment: A short review in context of the Arabian/Persian Gulf. *Marine Environmental Research* 159(12), 104961.
- Alimba, C.G., Faggio, C., 2019. Microplastics in the marine environment: Current trends in environmental pollution and mechanisms of toxicological profile. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 68(25), 61-74.
- Akhbarizadeh, R., Moore, F., Keshavarzi, B., 2017. Microplastics and potentially toxic elements in coastal sediments of Iran's main oil terminal (Khark Island). *Environmental Pollution* 220, 720-31.
- 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(76), 154-63.
- Akhbari Zadeh, R., Nabipour, E., Dobaradam, S., 2022. Microplastics in the Persian Gulf. *Journal of Southern Medicine* 2(32), 179-197. (In Persian)
- Avio, C.G., Pittura, L., d'Errico, G., Sonia A, Gianmarco M., 2020. Distribution and characterization of microplastic particles and textile microfibers in Adriatic food webs: General insights for biomonitoring strategies. *Environmental Pollution* 258(16), 113766.
- Barboza, L.G.A., Lopes, C., Oliveira, P., 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(87), 134625.
- Esmaili, Z., Naji, A., Farhan, R., 2016. Microplastic pollution in coastal sediments of tidal areas of Hormozgan province. Master thesis, Hormozgan. (In Persian)
- Ghattavi, K., 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.
- Hemmatzadeh, M., Sanati, M.A., Mohammadi Galangash, M., Ramavandi, B., 2024. Abundances and characteristics of microplastics in core sediments of the Persian Gulf coast, Iran. *Environmental Advances* 16(11), 100549.

- Hosseini, M., Nabavi, S.M., Nabavi, S.N., Adamipour, N.A., 2015. Heavy metals (Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Fe, and Hg) content in four fish commonly consumed in Iran: risk assessment for the consumers. *Environmental Monitoring and Assessment* 187(5), 237.
- Jabeen, K., Su, L., Li J., et al., 2017. Microplastics and mesoplastics in fish from coastal and fresh waters of China. *Environmental Pollution* 221(23), 141-9.
- Lahijan Zadeh, A., Mohamadi, M., Sabzalipour, S., Nabavi, S.M.B., 2000. Investigating the status of microplastic particles in Khor Musi sediments in the Persian Gulf. *Oceanography* 43,17:23.
- Nabizadeh, R., Sajadi, M., Rastkari, N., 2019. Microplastic pollution on the Persian Gulf shoreline: A case study of Bandar Abbas city, Hormozgan Province, Iran. *Marine Pollution Bulletin* 145, 536-46.
- Naji, A., Nuri, M., Amiri, P., Niyogi, S., 2019. Small microplastic particles (S-MPPs) in sediments of mangrove ecosystem on the northern coast of the Persian Gulf. *Marine Pollution Bulletin* 146(6), 305-311.
- Naji, A., Esmaili, Z., Mason, S.A., Vethaak, A.D., 2017. The occurrence of microplastic contamination in littoral sediments of the Persian Gulf, Iran. *Environmental Science and Pollution Research* 24(90), 20459-86402.
- Nouri, M., Amiri, P., Naji, A., 2020. Distribution and frequency of microplastics in Bivalve of *Pinctada radiata* and sediments of Bandar Lengehe. *Journal of Animal Environment* 11(4), 337-44.
- Nouri, M., Naji, A., 2017. Evaluation of microplastic pollution of human origin in the sediments of the western coast of Hormozgan province. The fourth International Conference on Agriculture, Natural Resources and Sustainable Environment. (In Persian)
- Maghsodian, Z., Sanati, A., Ramavandi, B., 2021a. Identification and measurement of microplastics in sediments of mangrove forests of Bushehr province. The 5th International Congress of Agricultural Development, Natural Resources, Environment and Tourism of Iran. (In Persian)
- Maghsodian, Z., Sanati, A.M., Ramavandi, B., 2021b. Microplastics accumulation in sediments and *Periophthalmus waltoni* fish, mangrove forests in southern Iran. *Chemosphere* 264(12), 128543.
- McEachern, K., Alegria, H., Kalagher, A.L., Hansen, C., Morrison, S., Hastings, D., 2019. Microplastics in Tampa Bay, Florida: Abundance and variability in estuarine waters and sediments. *Marine Pollution Bulletin* 148(45), 97-106.
- Mu, J., Qu, L., Jin, F., Zhang, S., Fang, C., Ma, X., Wang, J., 2019. Abundance and distribution of microplastics in the surface sediments from the of the blue mussel *Mytilus edulis* L. after an experimental exposure. *Environmental science & Technology* 46(32), 11327-11335.
- Okati, N., Esmaili-Sari, A., 2018. Hair mercury and risk assessment for consumption of contaminated seafood in residents from the coast of the Persian Gulf, Iran. *Environmental Science and Pollution Research* 25(1), 639-657.
- Rezaei, K., Javashikhoni, A., Bazrafshan, A., 2023. Investigating the presence of microplastics in the water and sediment of Qeshm mangrove ecosystem coast (study of Tabal mangrove forest). *Journal of Natural Environment* 76(16), 57-66. (In Persian)
- Schirinzi, G.F., Perez-Pomeda, I., Sanchís, J., et al., 2017. Cytotoxic effects of commonly used nanomaterials and microplastics on cerebral and epithelial human cells. *Environmental Research* 159(56), 579-87.
- Stolte, A., Forster, S., Gerdt, G., Schubert, H., 2015. Microplastic concentrations in beach sediments along the German Baltic coast. *Marine Pollution Bulletin* 99(25), 216-229.
- Toussaint, B., Raffael, B., Angers -Loustau, A., et al., 2019. Review of micro - and nanoplastic contamination in the food chain. *Food Additives & Contaminants: Part A*. 36(5), 639-73.
- Vaezi, A., Karbasi, A., Fakhraei, M., Samani, A., Heidari, M., 2014. Study on concentration and sources of metals pollution in sediment from Musa estuary, Persian Gulf. *Journal of Environment* 700(34), 76-80
- Velaizadeh, M., 2022. An overview of the sources and origin of microplastics in the marine environment and the effects on aquatic life. *Journal of Southern Medicine* 2(76), 78-87. (In Persian)
- Yu, X., Peng, J., Wang, J., Wang, K., Bao, S., 2016. Occurrence of microplastics in the beach sand of the Chinese inner sea: the Bohai Sea. *Environmental Pollution* 214(22), 722-730.