Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics
Print ISSN: 2345-427X
Online ISSN: 2345-4288

انجمن علمی ماهیان زینتی ایران
Iranian Ornamental Fish Society (IOFS)

(OPEN ACCESS)

Assessment of microplastic contamination in sediments of Gomishan Wetland, Southeast Caspian Sea

Atefeh Iri[1], Seyyed Aliakbar Hedayati[*2], Alireza Khiabani[3], Hadiseh Kashiri[4], Roghieh Safari[5], Mohammad Gholizadeh[6]

1. Ph.D. Graduate of Aquatics Production and Exploitation, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: iri1375@yahoo.com
2. Corresponding Author, Professor, Dept. of Aquatics Production and Exploitation, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: hedayati@gau.ac.ir
3. Dept. of Agriculture and Natural Resources, University of Applied Science and Technology, Tehran, Iran. E-mail: khiabani@gmail.com
4. Associate Prof., Dept. of Aquatics Production and Exploitation, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: hadiskashiri@gmail.com
5. Associate Prof., Dept. of Aquaculture, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: fisheriessafari@yahoo.com
6. Associate Prof., Dept. of Fisheries, Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran. E-mail: gholizade_mohammad@yahoo.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 02.19.2026
Revised: 04.14.2026
Accepted: 06.18.2026

Keywords:
Caspian Sea,
Gomishan Wetland,
Microplastics,
Sediment

ABSTRACT

Background and Objectives: Gomishan Wetland, located in the southeastern Caspian Sea, is one of the sensitive and international ecosystems of Iran, it is affected by river inputs, human activities (fishing, agriculture, and tourism), and marine currents, and may be a reservoir for microplastics. The aim of this study was to investigate the presence, abundance, size, shape, color, and polymer composition of microplastics in the sediments of the Gomishan Wetland.

Materials and Methods: Sampling was carried out from 8 stations in the winter of 2024. Microplastics were identified using stereomicroscope, scanning electron microscope-energy dispersive X-ray (SEM-EDX), and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR).

Results: Microplastics were present in all samples. The particle size was mainly medium; 41.18% in the range of 1000–2000 µm and more than 76% smaller than 2000 µm. The predominant shape was fibers (70.59%), followed by fragments (18.82%) and films (10.59%). Black was the most dominant color observed at 62.35%, followed by white (22.35%), gray (8.24%), red (4.71%) and green (2.35%). The polymer composition included polyethylene (PE, 43.33%), polypropylene (PP, 30.00%), polystyrene (PS, 16.67%) and polyethylene terephthalate (PET, 10.00%).

Conclusion: Distribution of these features in the samples was heterogeneous, indicating the effect of local parameters such as hydrodynamics and pollution input sources. These findings indicate significant and widespread microplastic contamination in the sediments of

the Gomishan Wetland, which is accompanied by the predominance of black fibers and polyethylene and polypropylene polymers, indicating the role of sediments as the main reservoir of these emerging pollutants in the sensitive wetland ecosystem. The results of this study emphasize the need for continuous monitoring, reduction of plastic input sources, and implementation of effective management policies to protect the Gomishan Wetland.

Cite this article: Iri, Atefeh, Hedayati, Seyyed Aliakbar, Khiabani, Alireza, Kashiri, Hadiseh, Safari, Roghieh, Gholizadeh, Mohammad. 2026. Assessment of microplastic contamination in sediments of Gomishan Wetland, Southeast Caspian Sea. *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*, 15 (2), 213-228.

© The Author(s).
Doi: 10.22069/japu.2026.24573.2013
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان
شاپا چاپی: ۲۳۴۵-۴۲۷X
شاپا آنلاین: ۲۳۴۵-۴۲۸۸

ارزیابی آلودگی میکروپلاستیک در رسوبات تالاب گمیشان، جنوب شرقی دریای خزر

عاطفه ایری[۱]، سید علی‌اکبر هدایتی*[۲]، علیرضا خیابانی[۳]، حدیثه کشیری[۴]، رقیه صفری[۵]، محمد قلی‌زاده[۶]

۱. دانش‌آموخته دکتری تولید و بهره‌برداری آبزیان، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: iri1375@yahoo.com

۲. نویسنده مسئول، استاد گروه تولید و بهره‌برداری آبزیان، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: hedayati@gau.ac.ir

۳. گروه کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه جامع علمی کاربردی، تهران، ایران. رایانامه: khiabani@gmail.com

۴. دانشیار گروه تولید و بهره‌برداری آبزیان، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: hadiskashiri@gmail.com

۵. دانشیار گروه تکثیر و پرورش آبزیان، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: fisheriessafari@yahoo.com

۶.دانشیار گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران. رایانامه: gholizade_mohammad@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۳۰
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۵/۰۱/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۲۸

واژه‌های کلیدی:
تالاب گمیشان،
دریای خزر،
رسوب،
میکروپلاستیک

چکیده

سابقه و هدف: تالاب گمیشان، واقع در جنوب شرقی دریای خزر، به‌عنوان یکی از اکوسیستم‌های حساس و بین‌المللی ایران، تحت‌تأثیر ورودی‌های رودخانه‌ای، فعالیت‌های انسانی (ماهیگیری، کشاورزی و گردشگری) و جریان‌های دریایی قرار دارد و ممکن است مخزنی برای میکروپلاستیک‌ها باشد. هدف این پژوهش، بررسی حضور، فراوانی، اندازه، شکل، رنگ و ترکیب پلیمری میکروپلاستیک‌ها در رسوبات تالاب گمیشان بود.

مواد و روش‌ها: برای این منظور، نمونه برداری در زمستان سال ۱۴۰۳ از ۸ ایستگاه نمونه‌برداری شد. میکروپلاستیک‌ها با استفاده از استریومیکروسکوپ، میکروسکوپ الکترونی روبشی-پراش انرژی اشعه ایکس (SEM-EDX) و طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR) شناسایی شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که میکروپلاستیک‌ها در تمام نمونه‌ها حضور داشتند. اندازه ذرات عمدتاً متوسط بود؛ ۴۱/۱۸ درصد در محدوده ۱۰۰۰–۲۰۰۰ میکرومتر و بیش از ۷۶ درصد کوچک‌تر از ۲۰۰۰ میکرومتر. شکل غالب فیبرها (۷۰/۵۹ درصد) بود، پس از آن قطعات

(۱۸/۸۲ درصد) و فیلم‌ها (۱۰/۵۹ درصد). رنگ سیاه با ۶۲/۳۵ درصد غالب‌ترین رنگ مشاهده‌شده بود، و پس از آن سفید (۲۲/۳۵ درصد)، خاکستری (۸/۲۴ درصد)، قرمز (۴/۷۱ درصد) و سبز (۲/۳۵ درصد). ترکیب پلیمری شامل پلی‌اتیلن (PE، ۴۳/۳۳ درصد)، پلی‌پروپیلن (PP، ۳۰/۰۰ درصد)، پلی‌استایرن (PS، ۱۶/۶۷ درصد) و پلی‌اتیلن ترفتالات (PET، ۱۰/۰۰ درصد) بود.

نتیجه‌گیری: توزیع این ویژگی‌ها در نمونه‌ها ناهمگن بود و نشان‌دهنده تأثیر عوامل محلی مانند هیدرودینامیک و منابع ورودی آلودگی است. این یافته‌ها حاکی از آلودگی قابل توجه و گسترده میکروپلاستیک در رسوبات تالاب گمیشان است که با غلبه فیبرهای سیاه‌رنگ و پلیمرهای پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن همراه بوده و نشان‌دهنده نقش رسوبات به‌عنوان مخزن اصلی این آلاینده‌های نوظهور در اکوسیستم حساس تالاب می‌باشد. نتایج این مطالعه بر ضرورت پایش مداوم، کاهش منابع ورودی پلاستیک و اجرای سیاست‌های مدیریتی مؤثر برای حفاظت از تالاب گمیشان تأکید دارد.

استناد: ایری، عاطفه، هدایتی، سید علی‌اکبر، خیابانی، علیرضا، کشیری، حدیثه، صفری، رقیه، قلی‌زاده، محمد (۱۴۰۵). ارزیابی آلودگی میکروپلاستیک در رسوبات تالاب گمیشان، جنوب شرقی دریای خزر. *نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان*، ۱۵ (۲)، ۲۲۸-۲۱۳.
Doi: 10.22069/japu.2026.24573.2013

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

روند رو به رشد جمعیت جهان، توسعه صنعتی و گسترش فعالیت‌های انسانی در دهه‌های اخیر منجر به افزایش چشمگیر تولید و مصرف پلاستیک‌ها شده است. پلاستیک‌ها به دلیل ویژگی‌هایی همچون قیمت پایین، دوام بالا، انعطاف‌پذیری و شکل‌پذیری آسان، به سرعت جایگزین مواد سنتی در صنایع مختلف (بسته‌بندی، کشاورزی، منسوجات، لوازم خانگی، پزشکی و ساختمانی) گردیده‌اند (۱، ۲). با این حال، مدیریت ناکارآمد پسماند پلاستیکی و مقاومت بالای این مواد در برابر تجزیه زیستی، منجر به انباشت گسترده آن‌ها در محیط‌های آبی، خاکی و اتمسفری شده است (۳). پلاستیک‌ها امروزه بیش از ۸۰ درصد زباله‌های دریایی را تشکیل می‌دهند و به عنوان یکی از پایدارترین تهدیدهای زیست‌محیطی شناخته می‌شوند (۴، ۵). میکروپلاستیک‌ها (ذرات پلاستیکی کوچکتر از ۵ میلی‌متر) که از تجزیه ماکروپلاستیک‌ها یا مستقیماً از منابع اولیه (مانند ذرات میکروبیدهای آرایشی، الیاف مصنوعی لباس‌ها و گرانول‌های صنعتی) منشأ می‌گیرند، به عنوان آلاینده‌های نوظهور مطرح هستند (۶، ۷). این ذرات به‌دلیل اندازه کوچک، ماندگاری طولانی، قابلیت جذب آلاینده‌های شیمیایی (مانند فلزات سنگین و ترکیبات آلی پایدار) و پتانسیل ورود به زنجیره غذایی، تهدیدی جدی برای اکوسیستم‌های آبی و سلامت انسان ایجاد می‌کنند (۸، ۹، ۱۰). سازمان جهانی بهداشت (WHO) نیز بر خطرات بیولوژیکی و اکوتوکسیکولوژیکی این ذرات تأکید کرده و آن‌ها را به عنوان عامل اختلال غدد درون‌ریز و سرطان‌زا معرفی نموده است (۱۰).

در محیط‌های دریایی و ساحلی، میکروپلاستیک‌ها در تمام ستون آب (از سطح تا بستر) حضور دارند و در رسوبات به عنوان مخزن اصلی تجمع می‌یابند (۱۱، ۱۲). مطالعات اخیر نشان‌دهنده در رسوبات ساحلی میکروپلاستیک‌ها رو به افزایش هستند؛ برای مثال، در Narragansett Bay (Rhode Island، USA)، تجمع پلاستیک در رسوبات کف دریا از ۱۹۴۵ تا ۲۰۰۹ با زمان دو برابر شدن ۱۵ ساله افزایش یافته و با تولید جهانی پلاستیک و رشد جمعیت ساحلی همبستگی دارد (۱۳). لانکر و همکاران (۲۰۲۳) مطالعه‌ای روی دریاچه‌های بزرگ آمریکای شمالی به بررسی وضعیت میکروپلاستیک‌ها پرداختند. نتایجشان مشخص کرد که میکروپلاستیک‌های با اندازه کوچک (۶۰ درصد زیر ۱۰۰۰ میکرومتر)غالب بودند و جریان‌های قوی آب و اختلاط زیاد در این دریاچه‌ها نقش مهمی در توزیع و تجمع این ذرات دارند (۱۴). در مطالعه دیگر در دریاچه بالتیک توسط عباسی و همکاران (۲۰۲۵) نشان دادند که غالب میروپلاستیک‌های مشاهده شده با اندازه متوسط بودند و مشخص کردند که شرایط آرام‌تر و جریان محدود بالتیک منجر به تجمع بیش‌تر میکروپلاستیک‌ها در رسوبات بالتیک شده است (۱۵). در Sundarbans بزرگ‌ترین اکوسیستم مانگرو جهان، هند/بنگلادش)، فراوانی میکروپلاستیک‌ها در رسوبات ۱۷ تا ۱۷۷ ذره/کیلوگرم گزارش شده، با فیبرها و قطعات غالب، رنگ‌های متنوع و پلیمرهای PP/PE (۱۶). در مناطق نیمه‌بسته مانند دریای خزر، آلودگی میکروپلاستیک‌ها در رسوبات ساحلی جنوبی (ایران) قابل‌توجه است. مطالعات جدید نشان می‌دهند که رودخانه‌های ورودی به خلیج گرگان (شامل حوزه تالاب گمیشان) میانگین ۳۳۳ ± ۲۶۸ ذره/کیلوگرم میکروپلاستیک در رسوبات دارند؛ بیش‌ترین مقدار در دهانه قره‌سو (۱۰۸۰ ± ۳۸۰ ذره/کیلوگرم) بود که میتوان علت آن را به فعالیت‌های ماهیگیری، گردشگری و قایقرانی دانست. فیبرها (۶۸ درصد) غالب، رنگ‌های سیاه و خاکستری (۷۵/۳۹ درصد)، اندازه زیر ۱۰۰۰ میکرومتر (۵۳ درصد) و پلیمرهای پلی‌اتیلن (۳۷ درصد) و PP (۲۷ درصد)

شایع‌ترین ویژگی‌ها هستند (۱۷). در سواحل جنوبی خزر (تالاب انزلی)، فراوانی متوسط ۱۸۳ ± ۱۵۴ ذره/کیلوگرم با فیبرها و قطعات غالب و پلیمرهای PET/PE گزارش شده (۱۸).

با وجود این پیشرفت‌ها، اطلاعات در مورد توزیع و ویژگی‌های میکروپلاستیک‌ها در رسوبات تالاب گمیشان (به عنوان بخشی حساس از اکوسیستم خلیج گرگان و دریای خزر) محدود است. این تالاب به‌دلیل تنوع زیستی بالا، نقش در زنجیره غذایی و تأثیر فعالیت‌های انسانی (ماهیگیری، کشاورزی، گردشگری)، نیازمند بررسی دقیق‌تر است. بنابراین، هدف این پژوهش ارزیابی حضور، فراوانی، اندازه، شکل، رنگ و ترکیب پلیمری میکروپلاستیک‌ها در رسوبات تالاب گمیشان است تا خلأ دانش موجود را پر کرده و پایه‌ای برای سیاست‌گذاری‌های حفاظتی و مدیریتی فراهم آورد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه: تالاب گمیشان یکی از مهم‌ترین تالاب‌های ساحلی شمال ایران است که در جنوب شرقی دریای خزر و شمال استان گلستان واقع شده است. این تالاب با مختصات جغرافیایی تقریبی ۱۱°۳۷' تا ۲۱°۳۷' عرض شمالی و ۵۲°۵۳' تا ۰۱°۵۴' طول شرقی، به صورت نواری نسبتاً باریک در امتداد سواحل جنوب شرقی دریای خزر قرار دارد. تالاب از غرب با آبراهه گرگانرود، از شرق با دریای خزر و از شمال با مرزهای ترکمنستان همجوار است و در شمال شهرستان گمیشان و غرب بندرترکمن واقع شده است. اقلیم منطقه نیمه‌خشک معتدل با تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد است؛ میانگین بارندگی سالانه ۲۵۰–۳۰۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۶–۱۸ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است (۱۹، ۲۰). تالاب گمیشان دارای تنوع زیستی بالایی است و حداقل ۲۰ گونه ماهی در آن تغذیه، تخم‌ریزی و زمستان‌گذرانی می‌کنند. پوشش گیاهی هالوفیت و شور (مانند Halostachys salicornica و Halocnemum strobilaceum) چرخه غذایی طبیعی متنوعی را فراهم می‌کند و نقش مهمی در اکوسیستم دریای خزر ایفا می‌نماید (۲۱).

نمونه‌برداری: برای تعیین زمان مناسب نمونه‌برداری، چند ماه پیش از عملیات اصلی (تابستان تا پاییز ۱۴۰۳)، بررسی‌های میدانی گسترده و تحقیقات لازم انجام شد تا دوره آبگیری تالاب گمیشان و وضعیت هیدرولوژیکی آن (سطح آب، جریان ورودی/خروجی و شرایط رسوب‌گذاری) به‌طور دقیق مشخص گردد. این مرحله ضروری بود زیرا تالاب گمیشان به دلیل وابستگی به ورودی‌های رودخانه‌ای (گرگانرود) و جزر و مد دریای خزر، نوسانات فصلی قابل‌توجهی در سطح آب دارد و نمونه‌برداری در دوره آبگیری کامل، نمایندگی بهتری از رسوبات واقعی و تجمع میکروپلاستیک‌ها فراهم می‌کند. بر اساس نتایج این بررسی‌ها، نمونه‌برداری نهایی در زمستان ۱۴۰۳ (بهمن‌ماه ۱۴۰۳) – یعنی در زمان آبگیری مناسب تالاب – انجام گرفت. با توجه به شکل کشیده و طولی تالاب گمیشان (جهت شمال – جنوب)، ایستگاه‌های نمونه‌برداری به گونه‌ای انتخاب شدند که کل طول تالاب را پوشش دهند. هشت ایستگاه به‌صورت سیستماتیک تعیین گردید: ایستگاه‌های اولیه: نزدیک به ورودی غربی تالاب (آبراهه گرگانرود)، ایستگاه‌های انتهایی: نزدیک به مرز شمالی تالاب با ترکمنستان (بخش شرقی نزدیک به دریای خزر)، و ایستگاه‌های میانی: بخش مرکزی تالاب و به‌طور خاص ورودی و خروجی مزرعه پرورش میگو (به‌دلیل اهمیت فعالیت‌های آبزی‌پروری و پتانسیل ورودی آلاینده‌های مرتبط با خوراک، کود و پساب)(جدول ۱). از هر ایستگاه، سه تکرار نمونه

رسوب سطحی (عمق ۰–۵ سانتی‌متر) با استفاده از گرب نمونه‌بردار (rsample Grab Veen Van یا معادل) برداشت شد. زمان انجام آزمایش همه تکرارهای هر ۸ ایستگاه به صورت جداگانه آنالیز شده‌اند. نمونه‌ها بلافاصله پس از جمع‌آوری در ظروف شیشه‌ای قرار گرفتند و برای جلوگیری از آلودگی خارجی، تمام تجهیزات با آب مقطر شسته و با فویل آلومینیومی پوشانده شدند (شکل ۱).

جدول ۱- مختصات دقیق جغرافیایی هر ایستگاه (با استفاده از GPS).

Table 1. Precise geographical coordinates of each station (using GPS).

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
ایستگاه ۱	53.59'51	37.08'56
ایستگاه ۲	53.59'58	37.08'57
ایستگاه۳	54.00'14	37.09'04
ایستگاه ۳	53.59'33	37.10'44
ایستگاه ۴	53.59'17	37.13'04
ایستگاه ۵	53.59'29	37.13'07
ایستگاه ۶	53.57'54	37.16'54
ایستگاه ۷	53.57'58	37.16'37



شکل ۱- نقشه ایستگاه‌های مورد بررسی در تالاب گمیشان که با حروف s1-8 مشخص شد.

Figure 1. Map of the stations studied in the Gomishan Wetland, marked with the letters s1-8.

استخراج میکروپلاستیک‌ها از رسوب: استخراج با روش جداسازی چگالی بر اساس پروتکل Sediment Microplastic-Isolation (SMI) انجام شد (۲۲). برای هر نمونه، ۵۰ گرم رسوب خشک‌شده (در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد تا وزن ثابت) با ۷۰۰ میلی‌لیتر محلول کلرید روی ($ZnCl_2$) با چگالی ۱/۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب مخلوط گردید. مخلوط به‌مدت ۵ دقیقه با همزن مغناطیسی همزده شد و سپس به مدت ۵ دقیقه در حالت سکون قرار گرفت تا ذرات سنگین ته‌نشین شوند. برای جلوگیری از تشکیل حباب و اختلال در جداسازی، مخلوط سه بار به آرامی تکان داده شد. ذرات شناور (میکروپلاستیک‌ها) از طریق سیستم سرریز یا شیر جمع‌آوری و از فیلتر ۳۰ میکرومتری (نایلونی یا شیشه‌ای) عبور داده شدند. فیلترها به پتری‌دیش شیشه‌ای تمیز منتقل گردیدند و دستگاه با آب مقطر فیلتر شده شسته شد. محلول $ZnCl_2$ پس از هر سه استفاده برای کنترل آلودگی آزمایش شد (۲۲).

کنترل کیفیت در مدت زمان آزمایش: در کلیه مراحل آزمایشگاهی از دستکش‌های لاتکس و روپوش نخی استفاده شد و در طول کار از استفاده از مواد ساخته شده از پلاستیک تا حد امکان ممانعت می‌شود. تمام ظروف شیشه‌ای با استفاده از آب مقطر شستشو می‌شوند و در صورت عدم استفاده آن‌ها را با فویل آلومینیومی می‌پوشانیم. نمونه های محلول نظیر کلرید روی و پراکسید هیدروژن به منظور حذف ناخالصی‌های احتمالی، پیش از استفاده توسط فیلتر ۲۵ میکرومتری فیلتر شدند و در بطری‌های شیشه‌ای تمیز به صورت در بسته نگهداری شدند. جلوگیری از آلودگی‌های ناخواسته، تمام تجهیزات آزمایشگاهی و ظروف شیشه‌ای دو بار با آب مقطر و استون شسته شدند و به‌مدت یک ساعت در دمای ۴۰ درجه خشک شده و در هود لامینار قرار گرفتند و بلافاصله پس از خشک شدن با فویل آلومینیومی پوشانده شدند (۲۳، ۲۴). قبل از تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی، سطوح کار، دست‌ها و ساعد برای جلوگیری از آلودگی از پوست، مو و ذرات خاکی با الکل تمیز شد (۲۵).

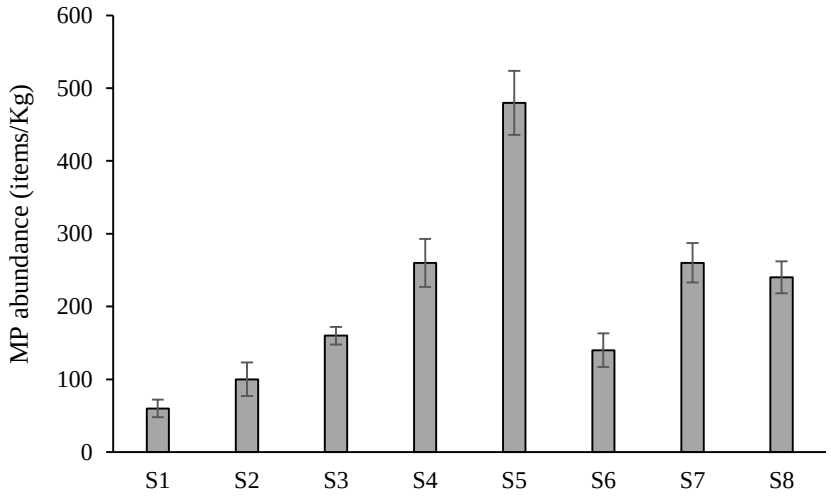
شناسایی و طبقه‌بندی میکروپلاستیک‌ها: بررسی اولیه بصری زیر نور سفید انجام شد تا ذرات مشکوک جدا شوند. سپس، ذرات با استریومیکروسکوپ (NOVEL NSZ-810, Ningbo Yongxin Opitics Co., Ltd., Zhejiang, China) با بزرگنمایی ۱۰–۴۰ برابر و دوربین HD ۸۰IC بررسی گردیدند. شکل (film, fragment, fiber)، رنگ و اندازه (با نرم‌افزار LAS) ثبت شد. ترکیب پلیمری با طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR) تحلیل گردید؛ نمونه‌های ضخیم‌تر برای تهیه فیلم نازک (کم‌تر از ۵۵ میکرومتر) حرارت داده و پرس شدند (۲۶). طیف‌ها با بانک داده استاندارد مقایسه شدند. برای تأیید مورفولوژی و ترکیب سطحی، میکروسکوپ الکترونی روبشی-پراش انرژی اشعه ایکس (SEM-EDX) روی نمونه‌های منتخب استفاده شد.

تحلیل آماری: داده‌ها با نرم‌افزار R تحلیل شدند. نرمال بودن توزیع از آزمون Kolmogorov-smirnov بررسی گردید. مقایسه فراوانی بین ایستگاه‌ها با آزمون (One Way Anova) (داده‌های نرمال) انجام شد. گراف‌ها و اشکال در سیستم Excel 2016 تحت ویندوز صورت گرفت و سطح معنی‌داری ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

میکروپلاستیک‌ها در تمام ۸ ایستگاه نمونه‌برداری شده در رسوبات تالاب گمیشان شناسایی گردیدند.

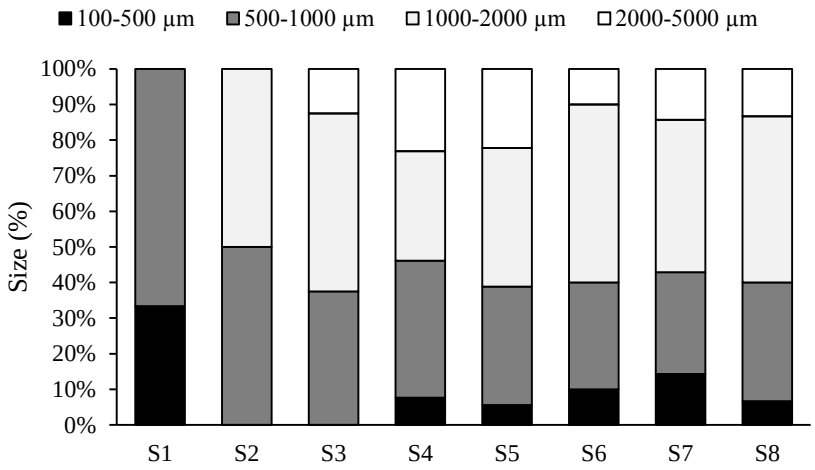
توزیع فراوانی: میکروپلاستیک‌ها در تمام هشت ایستگاه رسوب تالاب گمیشان شناسایی شدند. میانگین فراوانی میکروپلاستیک‌ها در رسوبات تالاب ۲۴۸ ± ۱۳۲ ذره در کیلوگرم وزن خشک بود. توزیع فراوانی بین ایستگاه‌ها به شدت ناهمگن بود. بیشترین فراوانی در ایستگاه S۵ (۴۸۲ ± ۴۲ ذره در کیلوگرم) و کم‌ترین فراوانی در ایستگاه S۱ (۶۸ ± ۱۲ ذره در کیلوگرم) مشاهده شد. ایستگاه‌های S۴ (۲۶۰ ± ۳۵ ذره در کیلوگرم)، S۷ (۲۶۵ ± ۲۸ ذره در کیلوگرم) و S۸ (۲۴۵ ± ۳۰ ذره در کیلوگرم) نیز فراوانی نسبتاً بالایی داشتند، در حالی که ایستگاه‌های S۲، S۳ و S۶ مقادیر متوسطی را نشان دادند. بیش‌ترین انحراف معیار مربوط به ایستگاه S۵ بود که نشان‌دهنده پراکندگی بالای ذرات در این ایستگاه است (شکل ۲).



شکل ۲- درصد فراوانی میکروپلاستیک‌ها در ایستگاه‌های تالاب گمیشان.

Figure 2. Percentage of microplastic abundance at Gomishan Wetland stations.

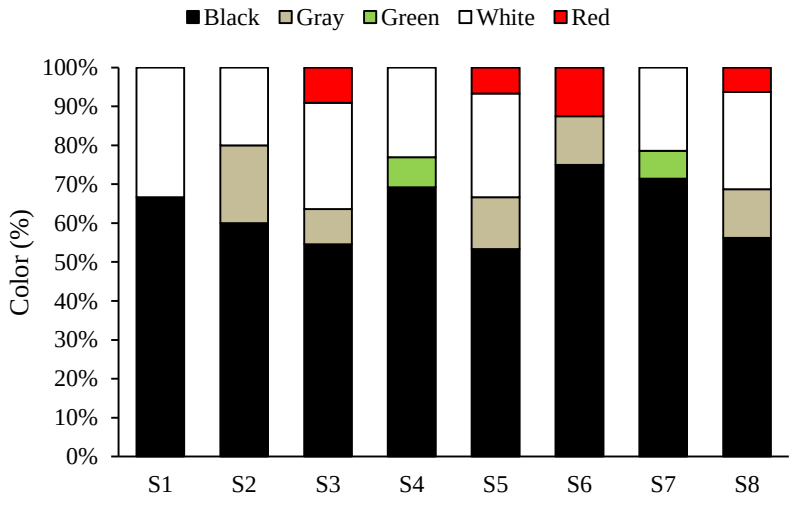
توزیع اندازه: طبقه‌بندی اندازه ذرات به چهار گروه انجام شد: خیلی کوچک (۱۰۰–۵۰۰ میکرومتر)، کوچک (۵۰۰–۱۰۰۰ میکرومتر)، متوسط (۱۰۰۰–۲۰۰۰ میکرومتر) و بزرگ (۲۰۰۰–۵۰۰۰ میکرومتر). اندازه ذرات در ایستگاه‌ها متفاوت بود؛ اندازه متوسط (۱۰۰۰–۲۰۰۰ میکرومتر) با ۴۱/۱۸ درصد غالب‌ترین طبقه بود و بیش از ۷۶ درصد ذرات کوچک‌تر از ۲۰۰۰ میکرومتر بودند. در ایستگاه S۴، ۶۵ درصد از ذرات در طبقه متوسط (۱۰۰۰–۲۰۰۰ میکرومتر) قرار داشتند، در حالی که در ایستگاه S۱، ۷۰ درصد ذرات در طبقات خیلی‌کوچک و کوچک (۱۰۰–۱۰۰۰ میکرومتر) بودند. ایستگاه‌های S۳، S۶ و S۷ نیز ذرات متوسط غالب بودند. ایستگاه S۲ توزیع متعادلی بین اندازه‌ها نشان داد و ایستگاه S۸ ذرات بزرگ‌تر بیش‌تری داشت (شکل ۳).



شکل ۳- درصد فراوانی اندازه‌های مختلف میکروپلاستیک‌ها در ایستگاه‌های تالاب گمیشان.

Figure 3. Percentage of abundance of different sizes of microplastics at Gomishan Wetland stations.

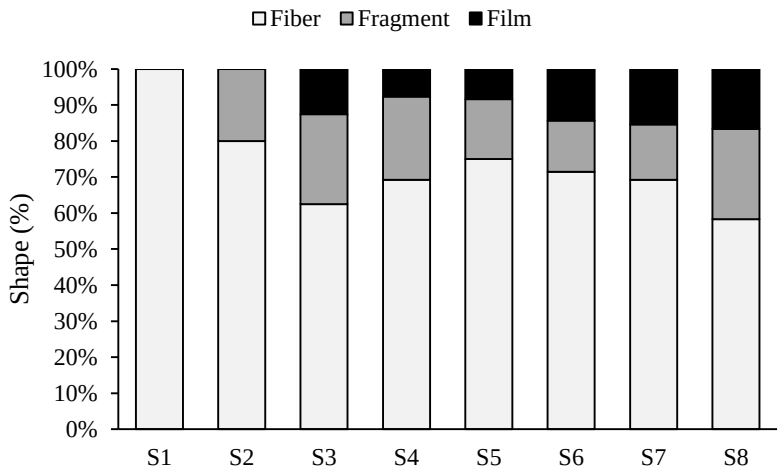
توزیع رنگ: رنگ سیاه غالب‌ترین رنگ در تمام ایستگاه‌های رسوب تالاب گمیشان بود و ۶۲/۳۵ درصد (۵۳ ذره) از کل میکروپلاستیک‌های شناسایی‌شده را تشکیل داد و بیش‌ترین تعداد را در ایستگاه‌های S۷ (۶۰ درصد) و S۶ (۷۳ درصد) نشان داد، رنگ سفید بیش‌ترین حضور را بعد از سیاه داشت (۲۲/۳۵ درصد) و در تمامی ایستگاه‌ها به‌جز ایستگاه ۶s دیده شد. رنگ خاکستری ۸/۲۴ درصد از کل ذرات را شامل می‌شد و عمدتاً در ایستگاه‌های ۶S و ۸S دیده شد. رنگ قرمز با ۴/۷۱ درصد و رنگ سبز با تنها ۲/۳۵ درصد کم‌ترین فراوانی را داشتند. رنگ سبز فقط در ایستگاه‌های ۲S، ۳S، ۵S، ۷S و ۴S مشاهده شد و رنگ قرمز عمدتاً در ایستگاه‌های ۳S و ۶S ظاهر گردید. ایستگاه ۸S بیش‌ترین تنوع رنگی را نشان داد، در حالی‌که ایستگاه ۱S کم‌ترین تنوع را داشت (شکل ۴).



شکل ۴- درصد فراوانی رنگ‌های مختلف میکروپلاستیک‌ها در ایستگاه‌های تالاب گمیشان.

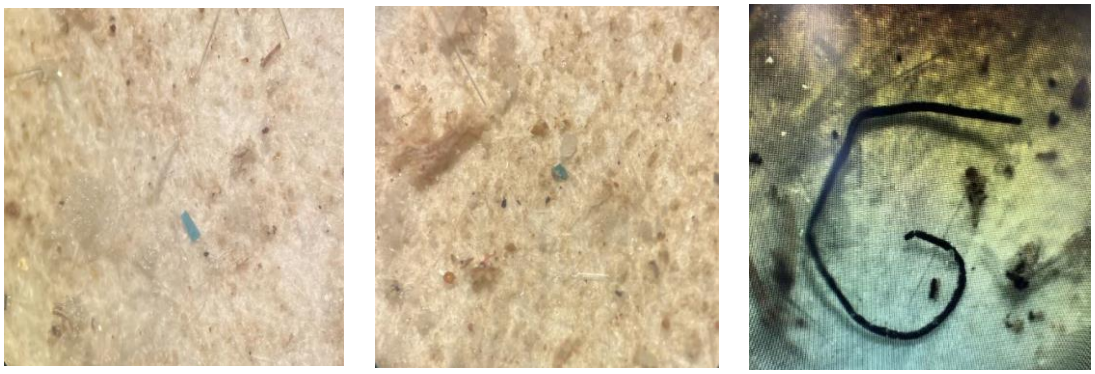
Figure 4. Percentage of abundance of different colors of microplastics at the Gomishan Wetland stations.

توزیع شکل (مورفولوژی): فیبرها غالب‌ترین شکل در تمام ایستگاه‌ها بودند (۷۰/۵۹ درصد) و بیش‌ترین تعداد در ایستگاه ۴S با ۲۸ ذره فیبر در کیلوگرم نشان دادند. قطعات کم‌تر بودند و فقط در ایستگاه S ۱ مشاهده نشد. نسبت فیبر به قطعه در ایستگاه S1 بسیار بالا (تقریباً ۲۰:۱) بود، در حالی که این نسبت در ایستگاه S4 حدود ۲:۱ بود. فیلم‌ها کم‌ترین فراوانی را داشتند (۱۰/۵۹ درصد) و در ایستگاه‌های ۳S، ۵S، ۶S و ۸S نمایان شدند و هم‌چنین در مطالعه انجام شده هیچ ذره‌ای با شکل فوم یا گلوله یافت نشد. ایستگاه ۴S بیش‌ترین تنوع و تعداد شکل را داشت، در حالی که ایستگاه ۱S تقریباً تماماً فیبر بود. به‌طور کلی شکل فیبر غالب‌تر از اشکال قطعات و فیلم بودند (شکل ۵).



شکل ۵- درصد فراوانی شکل‌های مختلف میکروپلاستیک‌ها در ایستگاه‌های تالاب گمیشان.

Figure 5. Percentage of abundance of different forms of microplastics at Gomishan Wetland stations.

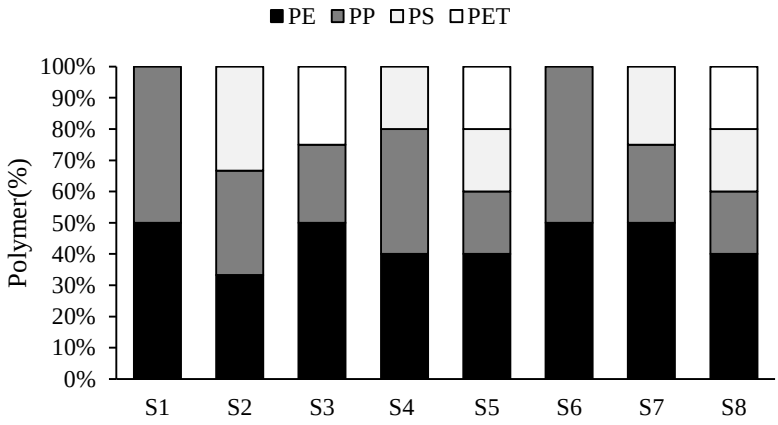


شکل ۶- انواع شکل و رنگ میکروپلاستیک‌های مشاهده شده در ایستگاه‌های مورد بررسی در تالاب گمیشان.

Figure 6. Types of shapes and colors of microplastics observed at the stations studied in the Gomishan Wetland.

ترکیب پلیمری: پلی‌اتیلن (PE) با ۴۳/۳۳ درصد غالب‌ترین پلیمر در بیش‌تر ایستگاه‌ها بود و بیش‌ترین تنوع و حضور هر ۴ نوع پلیمر را در ایستگاه ۸ نشان داد. پس از پلی اتیلن، پلی‌پروپیلن (PP) با ۳۰/۰۰ درصد، پلی‌استایرن (PS) با ۱۶/۶۷ درصد و پلی‌اتیلن ترفتالات (PET) با ۱۰/۰۰ درصد قرار داشتند.

پلی‌پروپیلن (PP) بعد از PE بیش‌ترین بود و در ایستگاه‌های S۱ تا S۲ بیش‌ترین حضور داشت. پلی‌استایرن (PS) کم‌تر بود و فقط در ایستگاه‌های S۳، S۱ و S۶ مشاهده نشد. پلی‌اتیلن ترفتالات (PET) کم‌ترین بود و تنها در ایستگاه‌های S۳، S۵ و S۸ شناسایی گردید. ایستگاه S۸ بیش‌ترین تعداد و تنوع پلیمری را داشت، در حالی که ایستگاه‌های S۱ و S۶ کم‌ترین داشتند. کلیاً PE و PP غالب‌تر از PS و PET بودند (شکل ۷).



شکل ۷- درصد فراوانی انواع پلیمرهای میکروپلاستیک‌ها در ایستگاه‌های تالاب گمیشان.

Figure 7. Percentage of abundance of different types of microplastic polymers at the Gomishan Wetland stations.

میکروپلاستیک‌ها به عنوان آلاینده‌های مقاوم و پنهان، در اکوسیستم‌های ساحلی و نیمه‌بسته مانند دریای خزر، به دلیل محدودیت گردش آب و تجمع در رسوبات، ریسک ماندگاری و انتقال طولانی‌مدت به زنجیره غذایی را افزایش می‌دهند. تالاب‌های ساحلی مانند گمیشان، که نقش فیلتر طبیعی بین خشکی و دریا دارند، می‌توانند ذرات را در رسوبات نگه دارند و از این طریق بر موجودات پایه (زئوبنتوس، پلانکتون) و گونه‌های بالاتر (ماهیان تجاری، پرندگان مهاجر) تأثیر بگذارند. این ویژگی باعث می‌شود تالاب گمیشان نه تنها مخزن آلودگی باشد، بلکه نقطه‌ای حساس برای انتقال میکروپلاستیک به اکوسیستم بزرگ‌تر دریای خزر تبدیل شود. در نتایج مطالعه حاضر میکروپلاستیک‌ها در تمام هشت ایستگاه رسوب تالاب گمیشان شناسایی شدند، که نشان‌دهنده حضور گسترده این آلاینده در سراسر منطقه است.

نتایج این مطالعه نشان‌دهنده آلودگی قابل‌توجه میکروپلاستیک در رسوبات تالاب گمیشان است، با فراوانی میانگین تقریبی ۲۵۰–۳۰۰ ذره در کیلوگرم و حداکثر ۴۸۰ ذره در کیلوگرم در ایستگاه S۵. این مقادیر در رده متوسط تا بالا قرار می‌گیرد و بیانگر نقش رسوبات به‌عنوان مخزن اصلی (sink) میکروپلاستیک در این اکوسیستم نیمه‌بسته است. در مطالعه قلی‌زاده و همکاران (۲۰۲۴) روی رسوبات رودخانه‌های ورودی به خلیج گرگان (منطقه مجاور تالاب گمیشان)، میانگین فراوانی ۳۳۳ ± ۲۶۸ ذره در کیلوگرم گزارش شد که با میانگین کار حاضر همخوانی دارد، اما حداکثر آن‌ها (۱۰۸۰ ذره در کیلوگرم در دهانه قره‌سو) بالاتر بود (۱۷). این تفاوت

می‌تواند ناشی از جریان قوی‌تر و ورودی مستقیم آلودگی در دهانه رودخانه‌ها باشد، در حالی که تالاب گمیشان با شرایط آرام‌تر و فیلتراسیون طبیعی (پوشش گیاهی و رسوب‌گذاری)، فراوانی کم‌تری در برخی ایستگاه‌ها نشان می‌دهد. در تالاب انزلی (۱۸)، میانگین فراوانی حدود ۵۱/۶۶ ± ۳۲/۲۰ ذره در کیلوگرم بود که به‌طور قابل‌توجهی پایین‌تر از کار ماست؛ این تفاوت احتمالاً به دلیل پوشش گیاهی متراکم‌تر انزلی است که ذرات را بیش‌تر فیلتر و تجزیه می‌کند، در مقابل گمیشان که فعالیت‌های انسانی (ماهیگیری و مزرعه میگو) و ورودی رودخانه‌ای مستقیم‌تر دارد. در تالاب‌های ساحلی Sundarbans (۱۶)، فراوانی میکروپلاستیک در رسوبات ۱۷–۱۷۷ ذره در کیلوگرم گزارش شد که پایین‌تر از کار حاضر است؛ این تفاوت می‌تواند به دلیل اکوسیستم مانگرو متراکم‌تر Sundarans باشد که ذرات را بیش‌تر در ریشه‌ها نگه می‌دارد و کم‌تر در رسوب سطحی تجمع می‌کند(۱۶)، در مقابل گمیشان که رسوبات بازتر و جریان محدودتری دارد. در Great دریاچه فراوانی حدود ۲۰۰–۵۰۰ ذره در کیلوگرم گزارش شد که با کار ما مشابه است (۱۴)؛ اما در آن‌جا ایستگاه‌های نزدیک منابع شهری بالاتر بودند، مشابه ایستگاه 5S در گمیشان که نزدیک مزرعه میگو و ورودی انسانی است. ناهمگنی فراوانی در گمیشان (کم‌ترین در 1S، بیش‌ترین در 5S) احتمالاً ناشی از عوامل محلی است: ایستگاه‌های نزدیک ورودی گرگانرود و مزرعه میگو به دلیل پساب، خوراک پلاستیکی و تورهای ماهیگیری، ذرات بیش‌تری دریافت می‌کنند. ایستگاه‌های انتهایی (نزدیک مرز) ممکن است تحت‌تأثیر جریان‌های دریای خزر باشند که ذرات را کم‌تر نگه می‌دارند. تفاوت با مطالعات دیگر (مثل انزلی یا ساندربانس) نیز به ساختار اکوسیستمی (پوشش گیاهی، جریان آب، نوع فعالیت انسانی) برمی‌گردد که در گمیشان بیش‌تر به سمت ماهیگیری و آبزی‌پروری متمایل است.

در مطالعه حاضر، میکروپلاستیک‌ها در تمام ایستگاه‌های رسوب تالاب گمیشان شناسایی شدند که نشان‌دهنده آلودگی فراگیر و یکنواخت در طول تالاب است. شکل غالب فیبرها، رنگ سیاه غالب، اندازه متوسط تا کوچک و ترکیب پلیمری با برتری PE و PP، ویژگی‌های اصلی نتایج بودند. غلبه فیبرها (۷۰/۵۹ درصد) در کار حاضر با مطالعه قلی‌زاده (۲۰۲۴) روی رسوبات رودخانه‌های ورودی خلیج گرگان کاملاً همخوانی دارد (فیبر ۶۸ درصد) (۱۷). این شباهت می‌تواند ناشی از منابع مشترک مانند تورهای ماهیگیری سنتی و منسوجات محلی باشد که هر دو منطقه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند. در تالاب انزلی نیز فیبرها غالب بودند، اما درصد قطعات کمی بالاتر گزارش شد (۱۸)؛ این تفاوت احتمالاً به دلیل پوشش گیاهی متراکم‌تر انزلی است که ذرات بزرگ‌تر (قطعات) را بیش‌تر در رسوب نگه می‌دارد، در حالی که تالاب گمیشان با جریان‌های بازتر و فعالیت ماهیگیری بیش‌تر، فیبرها را غالب کرده است. از منظر بین‌المللی، مطالعه روی تالاب‌های Sundarbans فیبرها را ۶۵–۷۰ درصد گزارش کرد که بسیار نزدیک به مطلعه حاضر است، اما شکل قطعات در آن‌جا بیش‌تر بودند؛ دلیل آن می‌تواند کشاورزی گسترده‌تر در Sundarbans باشد که کیسه‌ها و فیلم‌های پلاستیکی را وارد می‌کند (۱۶)، در مقابل در تالاب گمیشان که فعالیت ماهیگیری و مزرعه میگو فیبرهای نساجی را بیش‌تر تأمین می‌کند.

رنگ سیاه غالب (۶۲/۳۵ درصد) در مطالعه حاضر با نتایج در خلیج گرگان همخوانی دارد (سیاه و خاکستری ۷۵ درصد) (۱۷)؛ هر دو منطقه تحت‌تأثیر تورهای ماهیگیری سیاه و زباله‌های صنعتی/شهری هستند. در حالی که در تالاب انزلی رنگ‌های شفاف و رنگی بیش‌تر بود (۱۸)؛ این تفاوت احتمالاً به دلیل ورودی‌های کشاورزی متنوع‌تر در انزلی (کیسه‌های

رنگی) است، در حالی‌که گمیشان با فعالیت‌های ماهیگیری و گردشگری، رنگ سیاه (از تور و لاستیک) را غالب کرده است. در مقایسه با خارجی‌ها، rragansettNa خلیج سیاه را ۵۰–۶۰ درصد گزارش کرد که نزدیک به تحقیق فوق می باشد (۱۳)؛ اما در Sundarbans رنگ‌های متنوع‌تر (سفید و سبز بیش‌تر) دیده شد که می‌تواند به‌دلیل کشاورزی گرمسیری و زباله‌های گیاهی باشد (۱۶)، در مقابل گمیشان که منابع صنعتی/ماهیگیری رنگ سیاه را تقویت می‌کند.

غلبه اندازه متوسط (۴۱/۱۸ درصد در ۱۰۰۰–۲۰۰۰ میکرومتر) در کار حاضر با خلیج گرگان تفاوت دارد (زیر ۱۰۰۰ میکرومتر ۵۳ درصد) (۱۷)؛ این تفاوت می‌تواند ناشی از شرایط آرام‌تر رسوب‌گذاری در تالاب گمیشان باشد که ذرات متوسط را نگه می‌دارد، در مقابل جریان‌های سریع‌تر رودخانه‌ها که ذرات کوچک‌تر را بیش‌تر حمل می‌کنند. در انزلی اندازه‌های کوچک‌تر غالب بود؛ احتمالاً پوشش گیاهی انزلی ذرات ریز را بهتر فیلتر می‌کند (۱۸). در مقایسه خارجی، Great دریاچه (۲۰۲۳) اندازه‌های کوچک‌تر را غالب نشان داد (۶۰ درصد زیر ۱۰۰۰ mμ) که به‌دلیل جریان‌های قوی‌تر دریاچه است (۱۴)؛ اما در lagoons Sea Baltic (۲۰۲۴) اندازه متوسط غالب بود که با گمیشان همخوانی دارد و هر دو اکوسیستم نیمه‌بسته با جریان آرام هستند (۱۵).

غلبه PE (۴۳/۳۳ درصد) و PP (۳۰ درصد) در کار حاضر با خلیج گرگان (PE ۳۷ درصد، PP ۲۷ درصد) تقریباً یکسان است (۱۷)؛ هر دو منطقه منابع مشابهی (بسته‌بندی، تور ماهیگیری، کشاورزی) دارند. در انزلی PS و PP غالب بودند؛ این تفاوت می‌تواند به دلیل ورودی‌های صنعتی متفاوت باشد (۱۸). در Sundarbans (۲۰۲۵) PP/PE ۵۰–۶۰ درصد بودند که نزدیک به کار ماست، اما PET کم‌تر دیده شد؛ احتمالاً کشاورزی گسترده‌تر PP/PE Sundarbans را بیش‌تر می‌کند (۱۶). با توجه به غلبه ذرات کوچک و متوسط (بیش از ۷۶ درصد کوچک‌تر از ۲۰۰۰ میکرومتر) و فیبرها، خطر بلع توسط ارگانیسم‌های پایه زنجیره غذایی (مانند کرم‌های رسوبی و زئوبنتوس) و انتقال به سطوح بالاتر (ماهیان و پرندگان) بسیار بالاست. رنگ سیاه غالب نیز به دلیل جذب بالاتر آلاینده‌های آلی و فلزات سنگین، پتانسیل اکوتوکسیکولوژیکی بیش‌تری ایجاد می‌کند. این امر می‌تواند سلامت جمعیت ماهی تالاب (حداقل ۲۰ گونه) و در نهایت امنیت غذایی جوامع محلی را تهدید نماید.

نتایج این پژوهش نشان داد که میکروپلاستیک‌ها در تمام ایستگاه‌ها حضور دارند و با غلبه فیبرهای سیاه‌رنگ، اندازه‌های کوچک تا متوسط و پلیمرهای PE و PP همراه هستند. آلودگی میکروپلاستیک در تالاب گمیشان متوسط تا بالا است و تحت‌تأثیر عوامل محلی (ماهیگیری سنتی، کشاورزی، گردشگری و پساب مزرعه میگو) و ورودی‌های رودخانه‌ای (گرگانرود) قرار دارد. در نتیجه با استفاده از اقدامات مدیریتی از جمله: پایش سالانه میکروپلاستیک، کاهش ورودی پلاستیک از طریق قوانین سخت‌گیرانه، آموزش جامعه محلی و همکاری بین‌المللی با ترکمنستان برای کنترل ورودی‌های فرامرزی نه تنها تالاب گمیشان را حفاظت می‌کند، بلکه به سلامت اکوسیستم دریای خزر کمک می‌رساند.

منابع

1. Andrady, A. L. (2017). The plastic in microplastics: A review. *Marine pollution bulletin*, 119(1), 12-22.
2. Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science advances*, 3(7), e1700782.
3. Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., ... & Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768-771.
4. Derraik, J. G. (2002). The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine pollution bulletin*, 44(9), 842-852.
5. Barnes, D. K., Galgani, F., Thompson, R. C., & Barlaz, M. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. Philosophical transactions of the royal society B: *biological sciences*, 364(1526), 1985.
6. Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Marine pollution bulletin*, 62(12), 2588-2597.
7. Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W., ... & Russell, A. E. (2004). Lost at sea: where is all the plastic?. *Science*, 304(5672), 838-838.
8. Kershaw, P. J. (2015). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment. Gesamp Reports and Studies.
9. Tanaka, K., Takada, H., Yamashita, R., Mizukawa, K., Fukuwaka, M. A., & Watanuki, Y. (2013). Accumulation of plastic-derived chemicals in tissues of seabirds ingesting marine plastics. *Marine pollution bulletin*, 69(1-2), 219-222.
10. Neves, D., Sobral, P., Ferreira, J. L., & Pereira, T. (2015). Ingestion of microplastics by commercial fish off the Portuguese coast. *Marine pollution bulletin*, 101(1), 119-126.
11. Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., & Thompson, R. (2011). Accumulation of microplastic on shorelines woldwide: sources and sinks. *Environmental science & technology*, 45(21), 9175-9179.
12. Woodall, L. C., Sanchez-Vidal, A., Canals, M., Paterson, G. L., Coppock, R., Sleight, V., ... & Thompson, R. C. (2014). The deep sea is a major sink for microplastic debris. *Royal Society open science*, 1(4), 140317.
13. Fulfer, V. M., Walsh, J. P., & Corbett, D. R. (2025). Exponentially increasing microplastic accumulation in an urban estuary: insights from the Narragansett Bay, Rhode Island seafloor. Environmental Science and Pollution Research, 1-22.
14. Lenaker, P. L., Corsi, S. R., & Mason, S. A. (2023). Towards a management strategy for microplastic pollution in the Laurentian Great Lakes—monitoring (part 1). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 80(9), 1485-1502. **https://doi.org/10.1139/cjfas-2023-0022.**
15. Abbasi, S., Hashemi, N., Sabaliauskaitė, V., Evangeliou, N., Dzingelevičius, N., Balčiūnas, A., & Dzingelevičienė, R. (2025). Fluxes, residence times, and the budget of microplastics in the Curonian Lagoon. *Environmental Pollution*, 375, 126289.
16. Ahmed, A. S. S., Billah, M. M., Ali, M. M., Guo, L., Akhtar, S., Bhuiyan, M. K. A., & Islam, M. S. (2025). Microplastic characterization and factors influencing its abundance in coastal wetlands: insights from the world's largest mangrove ecosystem, Sundarbans. *Environmental Science and Pollution Research*, 32(9), 5435-5456.
17. Gholizadeh, M., Hedayati, A., Pouladi, M., & Sundaramanickam, A. (2024). Source of plastic contamination of the rivers ending to the Gorgan Bay, southeast of the Caspian Sea, Iran. *Frontiers in Marine Science*, 11, 1150755. [In Persian]

18. Ahmadvand, S., Mehdinia, A., & Hamzehpour, A. (2024). Distribution, flux, and risk assessment of microplastics at the Anzali Wetland, Iran, and its tributaries. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(42), 54815-54831. **https://doi.org/10.1007/s11356-024-34847-w.** [In Persian]
19. Golestan Regional Water Company (1402). Hydrological and climatic report of the Gorgan Bay watershed and Gomishan wetland. Golestan: Golestan Regional Water Company. [In Persian]
20. Rezaei, A., et al. (1403). Hydroclimatic assessment of the impact of climate change on the upstream watersheds of the Gorgan Bay Wetland. Geographical Research.
21. Hajimoradl, M. (2007). Study of vegetation and biodiversity of Gomishan Wetland. Research report, Environmental Protection Organization of Golestan Province.
22. Coppock, R. L., Cole, M., Lindeque, P. K., Queirós, A. M., & Galloway, T. S. (2017). A small-scale, portable method for extracting microplastics from marine sediments. *Environmental Pollution*, 230, 829-837.
23. Foekema, E. M., De Gruijter, C., Mergia, M. T., van Franeker, J. A., Murk, A. J., & Koelmans, A. A. (2013). Plastic in north sea fish. *Environmental science & technology*, 47(15), 8818-8824.
24. Devriese, L. I., Van der Meulen, M. D., Maes, T., Bekaert, K., Paul-Pont, I., Frère, L., ... & Vethaak, A. D. (2015). Microplastic contamination in brown shrimp (Crangon crangon, Linnaeus 1758) from coastal waters of the Southern North Sea and Channel area. *Marine pollution bulletin*, 98(1-2), 179-187.
25. Naji, A., Esmaili, Z., Mason, S. A., & Dick Vethaak, A. (2017). The occurrence of microplastic contamination in littoral sediments of the Persian Gulf, Iran. *Environmental Science and pollution research*, 24(25), 20459-20468.
26. Gorce, J. P., & Spells, S. J. (2002). Infrared spectroscopy of polyethylene: From difference spectra to simulation. *Macromolecules*, 35(11), 4370-4379. **https://doi.org/10.1021/ma011448k.**