University of Hormozgan

Journal of Aquatic Ecology

ISSN Print: 2322-2751 ISSN Online: 2980-9355

Homepage: https://jae.hormozgan.ac.ir

Investigating Microplastics Pollution in the skin of some commercial freshwater fish

Elham Nesyanpour [1], Mahsa Haghi [1✉], Seyyed Aliakbar Hedayati[2] , Behnam Keshavarzi[3]

1. Department of Fisheries, Faculty of Marine Natural Resources, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran.

2. Department of Aquatic Production and Exploitation, Faculty of Fisheries and Environmental sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

3. Department of Earth Sciences, Faculty of Science, Shiraz University, Shiraz, Iran.

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 07 January 2026
Accepted: 17 February 2026
Published: 12 May 2026

Corresponding Author:
haghi.mahsa@gmail.com

Keywords:
Skin tissue,
Shadegan International Wetland,
Microplastics,
Micro-Raman spectroscopy,
Edible fish.

ABSTRACT

.

The widespread occurrence of microplastics (MPs) in freshwater ecosystems has become a major global environmental concern due to their potential adverse effects on aquatic organisms, ecosystem health, and human well-being. Microplastics, defined as plastic particles smaller than 5 mm, originate primarily from the degradation and fragmentation of larger plastic debris and occur in various forms, including fibers and fragments. The present study investigated the abundance, characteristics, and polymer composition of microplastics in four edible fish species from the Shadegan International Wetland: *Carasobarbus luteus*, *Mesopotamichthys sharpeyi*, *Leuciscus vorax*, and *Oreochromis niloticus*. Fish samples were randomly collected by local fishermen from five sampling stations in November 2023. Following extraction and isolation procedures, the abundance, morphology, size, color, and polymer types of the microplastics were analyzed. The mean abundance of microplastics per 100 g of fish skin tissue was 11.09 ± 19.2 particles in *C. luteus*, 4.20 ± 5.2 particles in *M. sharpeyi*, 6.66 ± 0.75 particles in *L. vorax*, and 4.36 ± 8.3 particles in *O. niloticus*. Microplastics were detected in all examined fish species. Fibers represented the dominant microplastic shape, with black-colored particles being the most prevalent. Micro-Raman spectroscopy identified the primary polymer types as polycarbonate, polyamide, and polyurethane. Most detected particles ranged in size from 100 to ≥500 µm. The identified polymers are commonly used in non-packaging applications such as industrial equipment, automotive components, household appliances, and textile products, suggesting that terrestrial and industrial sources may contribute significantly to microplastic contamination in the Shadegan International Wetland. Overall, the findings confirm the widespread presence of microplastics in the skin tissues of edible fish species inhabiting this internationally important wetland ecosystem.

CC BY NC

Publisher: University of Hormozgan

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-28]

XTENDED ABSTRACT

Introduction

Microplastics (MPs), defined as synthetic or semi-synthetic polymer particles smaller than 5 mm, have emerged as pervasive contaminants in atmospheric, terrestrial, and aquatic ecosystems worldwide. Primary MPs are intentionally manufactured at microscopic sizes, such as microbeads used in personal care products, whereas secondary MPs originate from the fragmentation and degradation of larger plastic debris through physical, chemical, and biological processes. Due to their small size, buoyancy, and persistence, MPs are widely dispersed in aquatic environments, making source identification and management challenging.

Wetlands, as transitional ecosystems between terrestrial and aquatic environments, act as important sinks for MPs, particularly within sediments and biota, yet they remain less studied than marine ecosystems. Microplastics pose ecological and public health concerns because they can adsorb and transport toxic substances such as persistent organic pollutants, heavy metals, and plastic additives including phthalates. In aquatic organisms, MPs may cause physical damage, oxidative stress, inflammation, and facilitate the trophic transfer of contaminants. Although the penetration of MPs through fish skin is considered unlikely because of protective barriers such as scales and mucus layers, studies have demonstrated that MPs can adhere to fish skin surfaces.

The Shadegan International Wetland, one of the largest and most ecologically important wetlands in Iran, is exposed to substantial anthropogenic pollution from urban, agricultural, and industrial activities, including effluents from numerous petrochemical facilities. Despite the ecological and economic importance of this wetland, information regarding MP contamination in its aquatic biota remains limited. Therefore, the present study aimed to investigate the occurrence, characteristics, and polymer composition of MPs in the skin tissues of four native edible fish species inhabiting the Shadegan International Wetland.

Materials and Methods

Sampling was conducted in the northern Shadegan Wetland using five stations selected via a combined purposive-random approach, guided by proximity to MP sources (e.g., wastewater outflows, fishing zones, tourism). A total of 56 fish *Carasobarbus luteus* (n=26), *Mesopotamichthys sharpeyi* (n=14), *Leuciscus vorax* (n=5), and *Oreochromis niloticus* (n=11) were collected with licensed local fishers. Samples were stored in ice-cooled containers using plastic-free protocols to prevent contamination and transported to the laboratory. Fish skin tissues were separated, rinsed with purified water, weighed, wrapped in aluminum foil, and stored at −18°C until analysis. For MP extraction, tissues were digested using 10% potassium hydroxide (KOH) at a ratio of 10 mL per gram of tissue and incubated at 60°C for 24 h. Digested samples were filtered through Whatman Grade 42 filter paper, air-dried, and examined under a stereomicroscope.

Microplastics were quantified and classified according to shape (fiber or fragment), color (black, dark blue, red, green, and turquoise), and size (<100 µm, 100–299 µm, 300–499 µm, and ≥500 µm). Plastic identity was initially verified using the hot-needle test. Polymer composition was further characterized by confocal Raman spectroscopy (LabRAM HR,

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-28]

Horiba) using Bio-Rad spectral reference libraries. Surface morphology and elemental composition were examined using scanning electron microscopy (SEM; TESCAN VEGA3) coupled with energy-dispersive spectroscopy (EDS; SAMx). Statistical analyses included Kolmogorov–Smirnov normality tests, Spearman correlation analysis, and one-way ANOVA at $p < 0.05$.

Results

MPs were detected in the skin of 27 out of 56 fish (48.2%), across all species and stations. Mean MP abundance per 100 g of skin was highest in *C. luteus* (11.09 ± 19.2 MPs), followed by *L. vorax* (6.67 ± 0.75), *O. niloticus* (4.36 ± 8.3), and *M. sharpeyi* (4.3 ± 5.2). Morphologically, fibers dominated (81%), with fragments (19%) found only in *L. vorax*. Size distribution showed ≥500 µm particles as most prevalent overall (45%), particularly in *C. luteus* (49%), whereas *O. niloticus* exhibited a distinct pattern with 68% of MPs in the 100–299 µm range. Black was the most common color (ubiquitous), representing 80% of MPs in *O. niloticus*.

Raman spectroscopy identified three polymers: polycarbonate (PC), polyurethane (PU), and polyamide (PA). PC was dominant in *O. niloticus* (100%), *C. luteus* (55%), and *M. sharpeyi* (52%), but absent in *L. vorax*, which contained only PU and PA. *C. luteus* showed the highest polymer diversity. SEM analysis revealed linear, smooth, and concave fibers as well as irregular porous fragments. EDS analysis showed carbon and oxygen as the predominant elements, accompanied by trace levels of sulfur, aluminum, silicon, calcium, potassium, magnesium, and nickel, suggesting adsorption of environmental contaminants onto MP surfaces. No significant correlations were observed between MP abundance and fish biometric parameters such as body length, body weight, or skin mass.

Conclusion

This study provides the first evidence of microplastic contamination in the edible skin tissues of commercially important fish species from the Shadegan International Wetland, highlighting a potential route of human exposure through fish consumption and indicating environmental degradation within this internationally significant wetland ecosystem. The predominance of high-density polymers such as polycarbonate suggests that industrial and urban runoff are likely the principal sources of contamination. Given the use of fish skin in food, cosmetic, and pharmaceutical industries, the occurrence of MPs raises important concerns regarding food safety and public health. Environmentally, MP accumulation on fish skin reflects the trophic infiltration of plastic pollutants and may serve as a useful bioindicator of declining water quality in wetland fisheries. To reduce MP contamination and associated risks, integrated management strategies are recommended, including: (i) implementation of advanced filtration technologies in urban and industrial wastewater treatment systems to capture synthetic fibers and plastic particles; (ii) construction of sedimentation ponds to reduce runoff-derived MPs, particularly from road and tire wear; (iii) establishment of long-term biomonitoring programs targeting key fish species; and (iv) development of public awareness and community education programs focused on reducing single-use plastics, improving waste management practices, and minimizing the release of plastic fishing gear.

Overall, these findings emphasize the urgent need for stronger environmental regulations and management actions to protect aquatic ecosystems, safeguard food security, and sustain livelihoods dependent on wetland fisheries. Future studies should investigate the transfer of MPs from skin to edible muscle tissues, quantify human dietary exposure, and evaluate the

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-28]

effectiveness of mitigation strategies aimed at reducing MP pollution in vulnerable freshwater ecosystems.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-28]

بوم‌شناسی آبزیان
شاپا چاپی: ۲۷۵۱-۲۳۲۲ شاپا الکترونیکی: ۹۳۵۵-۲۹۸۰
https://jae.hormozgan.ac.ir
دانشگاه هرمزگان

بررسی آلودگی میکروپلاستیکی در پوست برخی از ماهیان تجاری آب شیرین

الهام نسیان پور[۱]، مهسا حقی[۱]✉، سید علی اکبر هدایتی[۲]، بهنام کشاورزی[۳]

۱. گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی دریا ، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران.
۲. گروه تولید و بهره برداری آبزیان، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
۳. گروه علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۲۸
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۲/۰۵

نویسنده مسئول:
haghi.mahsa@gmail.com

کلیدواژه‌ها:
بافت پوست،
تالاب بین المللی شادگان،
طیف سنجی میکروروامان،
ماهیان خوراکی.

چکیده

حضور گسترده میکروپلاستیک‌ها (MP) در تمام اکوسیستم‌های آب شیرین به دلیل تأثیرات نامطلوب آنها بر محیط زیست، حیات وحش و سلامت انسان، در سطح جهانی مورد توجه قرار گرفته است. میکروپلاستیک‌های با اندازه کمتر از ۵ میلی‌متر از طریق تکه‌تکه شدن پلاستیک تشکیل شده و شامل رشته، قطعات و غیره می‌باشند. این مطالعه با هدف بررسی فراوانی، ویژگی‌ها و انواع پلیمرهای میکروپلاستیک‌های موجود در چهار گونه ماهی خوراکی حمری (*Carasobarbus luteus*)، بنی (*Mesopotamichthys sharpeyi*)، شلج (*Leuciscus vorax*) و تیلاپیای نیل (*Oreochromis niloticus*) انجام شد. نمونه‌ها بصورت کاملا تصادفی از ۵ ایستگاه توسط صیادان محلی در تالاب بین المللی شادگان واقع در استان خوزستان، در آبان ماه، ۱۴۰۲ جمع‌آوری شدند. پس از استخراج و جداسازی میکروپلاستیک‌ها، میزان و نوع آنها مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. میانگین فروانی میکروپلاستیک‌ها به ازای هر ۱۰۰ گرم بافت پوست در گونه‌های خوراکی مورد بررسی به ترتیب حمری (*Carasobarbus luteus*) ۱۹/۲±۱۱/۰۹، بنی (*Mesopotamichthys sharpeyi*) ۵/۲±۴/۳، شلج (*Leuciscus vorax*) ۰/۷۵±۶/۶۷ و تیلاپیای نیل (*Oreochromis niloticus*) ۸/۳±۴/۳۶. میکروپلاستیک‌ها در تمام گونه‌های مورد بررسی جداسازی و شناسایی شد. شکل غالب میکروپلاستیک‌ها رشته و اغلب به رنگ سیاه بودند. نوع پلیمر پلاستیکی با استفاده از دستگاه طیف سنج میکروروامان شناسایی شدند که شامل پلی‌کربنات، پلی‌آمید و پلی‌اورتان بودند. میانگین کل اندازه غالب میکروپلاستیک‌ها محدوده ۱۰۰ تا بزرگتر و مساوی با ۵۰۰ میکرومتر بودند. به نظر می‌رسد پلیمرهای شناسایی شده، عمدتاً در صنایع غیربسته‌بندی از جمله تجهیزات صنعتی، قطعات خودرو، لوازم خانگی و حتی منسوجات کاربرد دارند، که می‌تواند نشان‌دهنده منشأ خشکی آلودگی‌های میکروپلاستیکی در تالاب شادگان باشد. نتایج حاصل حاکی از حضور میکروپلاستیک‌ها در بافت پوست گونه‌های خوراکی تالاب بین المللی شادگان بود.

ناشر: دانشگاه هرمزگان

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-28]

مقدمه

آلودگی میکروپلاستیک‌ها به عنوان یک مشکل زیست‌محیطی جهانی نوظهور در نظر گرفته می‌شود (Crawford and Quinn, 2017). میکروپلاستیک‌ها در همه جا در جو، محیط‌های زمینی و آبی یافت می‌شوند (Booth and Sørensen, 2022; Lambert and Wagner, 2018). میکروپلاستیک‌ها به عنوان ذرات کوچک یا ریز (با اندازه کمتر از ۵ میلی‌متر) ساخته شده از پلیمرهای پلاستیکی مصنوعی یا نیمه مصنوعی مشتق شده از نفت تعریف می‌شوند (Cole *et al*., 2011). میکروپلاستیک‌های اولیه ذرات پلاستیکی ریز، نامحلول و با شکل منظم هستند که عمدتاً در صنایع به صورت میکروبیدها یا ریزمهره برای تولید لوازم آرایشی روزانه مانند خمیردندان، صابون، پاک‌کننده یا محصولات زیبایی فرآوری می‌شوند (Kumar *et al*., 2021; Wang *et al*., 2019)؛ در حالی که اقلام پلاستیکی بزرگ‌تر که در محیط رها می‌شوند، در نهایت تحت تأثیر نیروهای مختلف فتوشیمیایی و تجزیه باکتریایی به م میکروپلاستیک‌های ثانویه با شکل نامنظم (الیاف، قطعات یا فیلم) خرد می‌شوند (Zhang *et al*., 2021). به دلیل اندازه کوچکتر، ماهیت سبک و چگالی مخصوص پایین، میکروپلاستیک‌ها می‌توانند مسافت زیادی را قبل از رسیدن به مقصد طی کنند. بنابراین، شناسایی نقطه یا منبع تخلیه واقعی آنها چالش برانگیز بوده است (Browne *et al*., 2011; Singh *et al*., 2025). با این حال، پیش‌بینی شده است که میکروپلاستیک‌های اولیه معمولاً از فاضلاب خانگیِ شهری تخلیه می‌شوند؛ در حالی که ریختن زباله‌های نساجی، زباله‌های صنعتی، کیسه‌های پلاستیکی، بطری‌ها، ظروف، اسباب‌بازی‌ها، طناب‌ها، تورها و سایر مواد خانگی به محیط‌زیست منجر به تخریب بیشتر آنها، افزایش غلظت میکروپلاستیک‌های ثانویه در آب و همچنین رسوب آب‌های داخلی می‌شود (Shen *et al*., 2025; Wu *et al*., 2021). علاوه بر این، میکروپلاستیک‌های جوی ممکن است در سطح آب یا به صورت شناور یا معلق یا در کف تالاب‌ها یافت شوند (Zhang *et al*., 2021).

میکروپلاستیک‌های دارای ویژگی‌های چربی‌دوست (لیپوفیلیک) و سطح ویژه بزرگ‌تر می‌توانند مواد شیمیایی مضری مانند آلاینده‌های آلی پایدار (POPs) هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای (PAHs)، بی‌فنیل‌های پلی‌کلرینه (PCBs) و فلزات سنگین را جذب کنند (Singh *et al*., 2024). علاوه بر این، در طی فرآیند تولید پلاستیک، افزودنی‌های شیمیایی مانند نرم‌کننده‌ها (فتالات‌ها)، رنگ‌ها، مواد ضد شعله، روان‌کننده‌ها و پایدارکننده‌های حرارتی به آن اضافه می‌شوند (Rochman and Hoellein, 2020). در صورتی که ماهی‌ها میکروپلاستیک‌های آلوده به این آلاینده‌ها یا افزودنی‌های شیمیایی را ببلعند، این آلاینده‌ها می‌توانند در بافت خود ماهی تجمع یابند و به‌عنوان ناقلی برای انتقال آن‌ها به انسان از طریق زنجیره غذایی عمل کنند (Ray and Shaju, 2023).

پخش میکروپلاستیک‌های آلوده در محیط‌های آبی می‌تواند سلامت اکولوژیکی طبیعی را از طریق تأثیرگذاری بر عوامل زنده و غیرزنده مختلف آسیب‌زا کند (Lambert and Wagner, 2018; Ma *et al*., 2020). علاوه بر این، ذرات میکروپلاستیکی پس از بلعیده شدن قادرند اثرات فیزیکی و سم‌شناختی مضر متعددی در ماهی‌ها ایجاد کنند که از جمله آن‌ها می‌توان به رفتار شناگری نامنظم، انسداد مجاری گوارشی، اختلال در هضم و جذب مواد مغذی، تغییر شکل روده، التهاب و اختلال عملکردی اندام‌ها اشاره کرد؛ که این اثرات ممکن است در قالب رشد ضعیف، کاهش بهره‌وری از غذا و مرگ‌ومیر بالاتر مشاهده شوند (Emon *et al*., 2024; Osman *et al*., 2023; Pitt *et al*., 2018; Shahriar *et al*., 2024; Wang *et al*., 2020). بلع و تجمع میکروپلاستیک‌ها در ماهی‌ها به‌نظر می‌رسد رابطه مثبتی با غلظت میکروپلاستیک‌های ی موجود در محیط آبی اطراف داشته باشد؛ به‌عبارت دیگر، جذب میکروپلاستیک‌ها توسط ماهی زمانی افزایش می‌یابد که آب و رسوبات به‌شدت آلوده باشند (Cera *et al*., 2022; Fatema *et al*., 2023b). از آنجا که رسوبات بستر منابع آبی به‌عنوان مخزن اصلی میکروپلاستیک‌ها عمل می‌کنند، ماهی‌های کف‌زی یا نزدیک به کف در معرض غلظت بالاتری از میکروپلاستیک‌ها قرار دارند تا ماهی‌های پلانکتونی یا سطحی (Ferdous *et al*., 2023; Nikki *et al*., 2021; Parvin *et al*., 2021). میکروپلاستیک‌ها همچنین می‌توانند از طریق آبشش‌ها و پوست ماهیان جذب شده و منجر به اثرات سمی و سایر پیامدهای سلامتی گردند (Barboza *et al*., 2020). میکروپلاستیک‌ها از منابع متعددی وارد محیط‌های آبی می‌شوند و گونه‌های ماهی آن‌ها را به‌طور مستقیم یا غیرعمدی به‌عنوان طعمه مصرف می‌کنند.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-28]

یکی از دلایل جذب میکروپلاستیک‌ها ، می‌تواند ناشی از اندازه ذرات باشد، زیرا ذرات بزرگ‌تر در رسوبات یا آب ممکن است هضم سخت‌تری داشته باشند. علاوه بر این، شکل ذرات نیز یک پارامتر مهم است، زیرا ذرات با شکل سوزنی‌تر ممکن است راحت‌تر به سطوح داخلی و خارجی بچسبند. ورود میکروپلاستیک‌ها از طریق پوست با توجه به پوست‌های پوشیده شده با فلس و سایر تغییرات مانند تولید مخاط پوست، پوشیده شده با اسکلت خارجی و غیره بعید است، اما بر اساس شواهد موجود میکروپلاستیک‌ها می‌توانند به پوست ماهی متصل شوند (Feng *et al*., 2019). پوست و لایه مخاطی اولین خط دفاعی بدن هستند که از ورود عوامل عفونی و ذرات خارجی ریز جلوگیری می‌کنند (Esteban, 2012). پوست همچنین به‌عنوان سدی در برابر آسیب‌های فیزیکی عمل می‌کند و در حفظ تعادل اسمزی نیز نقش دارد (Salinas *et al*., 2022). پوست همچنین نشان دهنده مسیر اصلی ورود فلزات سنگین، آفت کش‌ها و سایر آلاینده‌های آلی پایدار مانند بی فنیل های پلی‌کلرینه (PAHs)، هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای (PCBs) است (Sthanadar *et al*., 2015). گزارش شده است که حتی تغییرات محیطی کوچک تعادل پوست را بر هم می‌زند و تغییرات مورفولوژیکی و بافتی طولانی و قابل توجهی را القا می‌کند (Ali *et al*., 2024)، و پوست را به ابزاری کامل برای ارزیابی اثرات کلی آن تبدیل می‌کند.

ماهی یک منبع غذایی ضروری با محتوای بالای پروتئین است و بخشی جدایی‌ناپذیر از رژیم غذایی انسان‌ها در سطح جهانی محسوب می‌شود. تا مدت‌ها، قسمت‌های غیرقابل خوردن ماهی مانند دستگاه گوارش (GIT) و آبشش‌ها قبل از مصرف توسط انسان حذف می‌شدند؛ بنابراین، وجود میکروپلاستیک در بدن ماهی تا اخیراً به‌عنوان یک مشکل جدی در نظر گرفته نمی‌شد. با این حال، نگرانی‌های فزاینده‌ای درباره تجمع میکروپلاستیک در بخش‌های خوراکی ماهی شامل گوشت و پوست وجود دارد. مطالعات بسیار محدودی تاکنون به بررسی فراوانی میکروپلاستیک در گوشت و پوست ماهی پرداخته‌اند (Daniel *et al*., 2020; Feng *et al*., 2019). لکن با توجه به پدیده تجمع زیستی (bioaccumulation) و پیامدهای احتمالی بر سلامت زنجیره‌های بالاتر شبکه‌ی غذایی از جمله انسان، نیاز به مطالعات دقیق‌تر و جامع‌تری در این زمینه احساس می‌شود.

تالاب‌ها مناطق کم‌ارتفاعی هستند که رابط بین خشکی و دریا محسوب می‌شوند و از جمله پربارترین اکوسیستم‌های جهان هستند (Schlesinger and Bernhardt, 2020). برخی از خدمات مهمی که تالاب‌ها ارائه می‌دهند شامل آب، تصفیه آب، تأمین غذا، کنترل سیل، کنترل آلودگی و همچنین داشتن ارزش زیبایی‌شناختی و تفریحی است. پوشش گیاهی تالاب‌ها یک محیط نگهدارنده موثر برای میکروپلاستیک‌ها است و این اکوسیستم‌ها ممکن است مخزن مهمی برای ذرات پلاستیکی باشند (Saemi-Komsari *et al*., 2024). رسوبات تالاب‌ها می‌توانند به عنوان یک نقطه کانونی برای آلودگی میکروپلاستیک عمل کنند. تالاب بین‌المللی شادگان یکی از تالاب‌های بزرگ ایران است. این تالاب در جنوب غربی ایران در جنوب شهر شادگان در استان خوزستان واقع شده‌است. تالاب شادگان به سبب گوناگونی و گستردگی زیستگاه‌ها، از تنوع زیستی بسیار غنی برخوردار است و دارای عملکردهای متنوع هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژیکی از جمله کنترل سیلاب، حفاظت سواحل، کاهش رسوب، جذب مواد مغذی و سموم در آب رودخانه و تعدیل آب و هوا می‌باشد. عوامل آلاینده حاصل از پساب‌های شهری، صنعتی، معدنی، کشاورزی و دامداری، سدسازی و رعایت نشدن نیاز آبی تالاب، تخلیه پساب‌های آلوده‌ای چون مزارع نیشکر، پرورش ماهی و فولاد خوزستان، عبور لوله‌های نفتی، فعالیت ۳۰ واحد پتروشیمی و تخلیه زباله‌های شهری، که به تالاب و یا حوضه آبریز تالاب راه می‌یابند، از عوامل مهم تهدید کننده تالاب می‌باشند (Nilsaz *et al*., 2016). با این حال، فراوانی و توزیع میکروپلاستیک‌ها در سیستم‌های تالابی در مقایسه با سایر سیستم‌های آبی کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است (Dalvand and Hamidian, 2023).

هدف از این مطالعه بررسی فراوانی، ویژگی‌ها و انواع پلیمرهای میکروپلاستیکی موجود در پوست چهار گونه ماهی بومی و خوراکیِ تالاب بین المللی شادگان است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه بخش شمالی تالاب شادگان بود، که ازجمله بزرگترین تالابهای ایران محسوب می‌شود (Bemanikharanagh *et al*., 2017). ایستگاه‌های نمونه‌برداری ماهیان با استفاده از نمونه‌برداری هدفمند بر اساس مسیرها یا منابع احتمالی

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-28]

میکروپلاستیک، از جمله فعالیت‌های انسانی و کاربری اراضی، تخلیه فاضلاب‌های روستایی، گردشگری، صید و ماهیگیری اطراف تالاب و بصورت کاملا تصادفی انتخاب شدند. مختصات جغرافیایی محل‌های نمونه‌برداری ماهی در جدول (۱) نشان داده شده است. نمونه‌برداری از ماهیان هر ایستگاه با همکاری صیادان دارای مجوز صید درتالاب انجام شد.

جدول ۱. مختصات جغرافیایی ایستگاه های نمونه برداری ماهیان، در بخش شمالی تالاب بین المللی شادگان

شماره ایستگاه	طول جغرافیایی (E)	عرض جغرافیایی (N)
۱	۴۸°۳۲'۲۱/۹۹″	۳۰°۴۰'۵۳/۴۸″
۲	۴۸°۳۲'۱۱/۰۲″	۳۰°۴۰'۳۷/۵۹″
۳	۴۸°۳۱'۵۳/۸۰″	۳۰°۳۹'۵۵/۲۴″
۴	۴۸°۳۱'۳۵/۰۶″	۳۰°۳۹'۳۳/۶۲″
۵	۴۸°۳۱'۰۱/۶۲″	۳۰°۳۹'۲۰/۵۸″

در مجموع ۵۶ قطعه ماهی بطور تصادفی از تالاب بین المللی شادگان صید شدند. نمونه‌های جمع‌آوری شده در یونولیت حاوی بسته‌های یخی و در شرایط عاری از هر گونه آلودگی پلاستیکی نگهداری (Patterson *et al*., 2021; Abisha *et al*., 2024) و برای بررسی‌های بعدی به آزمایشگاه منتقل شدند. گونه‌های ماهی جمع‌آوری‌شده شناسایی شدند و طول استاندارد بدن (سانتی‌متر) و وزن (گرم) آنها قبل از تشریح ثبت شد. در آزمایشگاه، هر ماهی با استفاده از آب تصفیه‌شده برای حذف خاک یا سایر ذرات، طبق توصیه (Barboza *et al*., 2020)، شستشو داده شد. از هر ماهی، بافت پوست جدا شده، سپس توزین شده و در فویل‌های آلومینومی پیچیده شدند و برای بررسی‌های بعدی به فریزر منفی ۱۸درجه سانتی‌گراد منتقل شدند (Damaris Benny *et al*., 2020).

جهت جداسازی میکروپلاستیک‌ها از بافت‌های پوست ماهی، به ازای هر گرم بافت نرم ۱۰ میلی‌لیتر هیدروکسید پتاسیم (KOH) ۱۰ درصد اضافه شد و ارلن با فویل آلومینیومی پوشانده شد. نمونه‌های بافت پوست به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد (Dehaut *et al*., 2016) به آون منتقل شدند. نمونه‌های بافت پس از هر ۲۴ ساعت به صورت دستی تکان داده شدند. هر دوی این روش‌ها در مطالعات قبلی برای هضم بافت‌های ماهی بدون آسیب به پلیمر استفاده شده‌اند (Barboza *et al*., 2019). مخلوط هضم‌شده خنک شد و ماده هضم‌شده طی یک فرآیند دو مرحله‌ای توسط کاغذ صافی واتمن با گرید ۴۲ فیلتر شد تا از گرفتگی منافذ کاغذ صافی جلوگیری شود. فیلترهای حاصل در ظروف پتری دیش تمیز، جداگانه با پوشش قرار داده شدند و قبل از تجزیه و تحلیل‌های بیشتر در هوا خشک شدند (Damaris Benny *et al*., 2020).

فیلترهای کاغذی حاوی ذرات میکروپلاستیک با استریومیکروسکوپ مدل SZM ساخت کشور ایتالیا بررسی شدند. میکروپلاستیک با استفاده از نرم‌افزار dino captur 2.0 شمارش، اندازه‌گیری و عکس‌برداری شدند. ذرات بر اساس شکل فیبر (رشته‌ای) و قطعه (تکه پاره) و رنگ (قرمز، آبی فیروزه ای، سیاه، ، سبز، آبی نفتی) شمارش و طبقه بندی شدند. میکروپلاستیک‌ها از لحاظ سایز به چهار گروه مختلف طبقه‌بندی شدند. (۱۰۰> میکرومتر، ۱۰۰–۲۹۹ میکرومتر، ۳۰۰– ۴۹۹ میکرومتر و ۵۰۰≥ میکرومتر). برای اندازه‌گیری میکروپلاستیک‌ها، حداکثر طول ذرات در نظر گرفته شد. به منظور اطمینان بیشتر برای شناسایی میکروپلاستیک‌ها از آزمون سوزن داغ نیز استفاده شد (Beckingham *et al*., 2023).

برای به دست آوردن ترکیبات شیمیایی و خصوصیات ظاهریِ سطح میکروپلاستیک‌ها، اگر چه Hermsen و همکاران (۲۰۱۸) ، پیشنهاد دادند در تحقیقاتی که تعداد ذرات مشکوک به میکروپلاستیک بیشتر از ۱۰۰ ذره باشد بهتر است بیش از ۵۰ درصد آن (با حداقل ۱۰۰ ذره) مورد تجزیه و تحلیل پلیمری قرار بگیرند اما به دلیل محدودیت منابع مالی، سعی شد تا حد امکان بیشترین تعداد ذرات در اشکال، رنگ‌ها و اندازه‌های مختلف آنالیز شوند.برخی از نمونه‌های استخراج شده از بافت پوست ماهیان صید شده (۵۰ ذره) با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل TESCAN-Vega3 و طیف سنج پراش انرژی پرتو ایکس (EDS) مدل SAMx ساخت کشور فرانسه بررسی شدند. علاوه بر این، برای شناسایی نوع پلیمر ذرات میکروپلاستیکی، از دستگاه طیف‌سنجی رامان کانفوکال اسپکترومیکروسکوپی (Confocal Raman Spectroscopy) مدل Lab Ram HR ساخت

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-28]

Horiba-ژاپن استفاده شد. داده‌های به دست آمده با طیف‌های مرجع در یک بانک اطلاعاتی مقایسه شد (پایگاه داده BioRad Laboratories. Inc) (Abisha *et al*., 2024). تمام آنالیزهای SEM/EDS و طیف سنجی رامان در دانشگاه شیراز انجام شدند.

تمامی نمونه‌های ماهی‌های جمع‌آوری‌شده قبل از جداسازی بافت پوست با آب مقطر شسته شدند. برای کاهش احتمال آلودگی، تمامی سطوح کار قبل و بعد از استفاده با الکل ۷۰ درصد شستشو داده شد. برای جلوگیری از هرگونه آلودگی در تمام مراحل آزمایش از روپوش‌های آزمایشگاهی نخی و ظروف شیشه‌ای استفاده شد. تمام ظروف شیشه‌ای قبل از آزمایش، با آب مقطر شستشو داده شد. پس از خشک شدن، بلافاصله برای جلوگیری از آلودگی با میکروپلاستیک‌های موجود در هوا، با فویل آلومینیومی پوشیده شدند. جهت جلوگیری از ایجاد خطا در میزان میکروپلاستیک در تمام مراحل کار از هیچ ابزار پلاستیکی استفاده نگردید (Rasta *et al*., 2022).

پس از جمع‌آوری داده‌های مربوط به میکروپلاستیک‌های موجود در بافت پوست نمونه‌های ماهی مورد بررسی، داده‌ها مورد آنالیز و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. ابتدا نمونه‌ها با استفاده از آزمون Kolmogrov-Smirnov نرمال شده و سپس با استفاده از آزمون‌های همبستگی اسپیرمن و آزمون ANOVA مورد بررسی قرار گرفتند..

نتایج

در این مطالعه، به منظور بررسی فراوانی، ویژگی‌ها و انواع پلیمرهای میکروپلاستیکی موجود در چهار گونه ماهی با تعداد، به ترتیب ۲۶ قطعه (حمری *Carasobarbus luteus*)، ۱۴قطعه (بنی i*Mesopotamichthys sharpey*)، ۵ قطعه (شلج *Leuciscus vorax*) و۱۱قطعه (تیلاپیای نیل *Oreochromis niloticus*)، از ۵ ایستگاه در بخش شمالی تالاب بین المللی شادگان صید شدند. لکن با توجه به اینکه ماهی‌ها در حال جابه‌جایی دائم در محدوده‌ی آبی تالاب می‌باشند و به شکل ثابت در یک نقطه‌ی مشخص حضور ندارند. نمونه‌برداری از ماهیان تالاب به شکل تصادفی و در محدوده‌ی مورد بررسی انجام شد. نتایج تجزیه و تحلیل بافت پوست حاکی از وجود میکروپلاستیک در تمامی نمونه‌ها بود. میانگین مشخصات بیومتریک و زیستی انواع گونه ماهیان در ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. مشخصات بیومتریک و زیستی انواع گونه ماهیان نمونه‌برداری شده از بخش شمالی تالاب بین المللی شادگان

نام رایج گونه	نام علمی	خانواده	تعداد	زیستگاه	استراتژی تغذیه	میانگین طول کل (سانتی متر)	میانگین وزن (گرم)	میانگین وزن بافت پوست (گرم)
حمری	*Carasobarbus luteus*	کپورماهیان	۲۶	بنتوپلاژیک	همه چیزخوار	۱۴/۶±۲/۹	۶۶/۷±۴۴/۲	۸/۰۱±۶/۰۶
شلج	*Leuciscus vorax*	کپورماهیان	۵	بنتوپلاژیک	بیشتر گیاهخوار	۲۴/۰±۰/۵	۱۵۵/۱±۱۲/۷	۱۵/۱۲±۱/۶۴
بنی	*Mesopotamichthys sharpeyi*	کپورماهیان	۱۴	بنتوپلاژیک	گوشتخوار	۱۸/۴±۰/۹	۱۰۳/۷±۱۴/۸	۹/۸۷±۱/۶۶
تیلاپیای نیل	*Oreochromis niloticus*	سیکلیدها	۱۱	بنتوپلاژیک	تغذیه از فیتوپلانکتون یا جلبک های کفزی جوانترها همه چیز خوار می باشند	۱۳/۲±۲/۰۹	۶۰/۱±۲۲/۵	۶/۰۵۴±۲/۰۱

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-28]

بررسی آلودگی میکروپلاستیک‌ها در ماهیان صید شده نشان داد که از ۵۶ قطعه ماهی مورد بررسی، ۲۷ قطعه حاوی میکروپلاستیک در بافت پوست خود بودند. با توجه به جدول ۳، گونه حمری دارای بیشترین فراوانی میکروپلاستیک در بافت پوست بود و گونه‌ی شلج در رتبه ی دوم قرار داشت.

جدول ۳. مقایسه فراوانی میکروپلاستیک‌ها در بافت پوست ماهیان صید شده

گونه ماهی	میانگین فراوانی میکروپلاستیک به ازای ۱۰۰ گرم بافت پوست
Carasobarbus luteu	۱۱/۰۹±۱۹/۲
Leuciscus vorax	۶/۶۷±۰/۷۵
Mesopotamichthys sharpeyi	۴/۳±۵/۲
Oreochromis niloticus	۴/۳۶±۸/۳

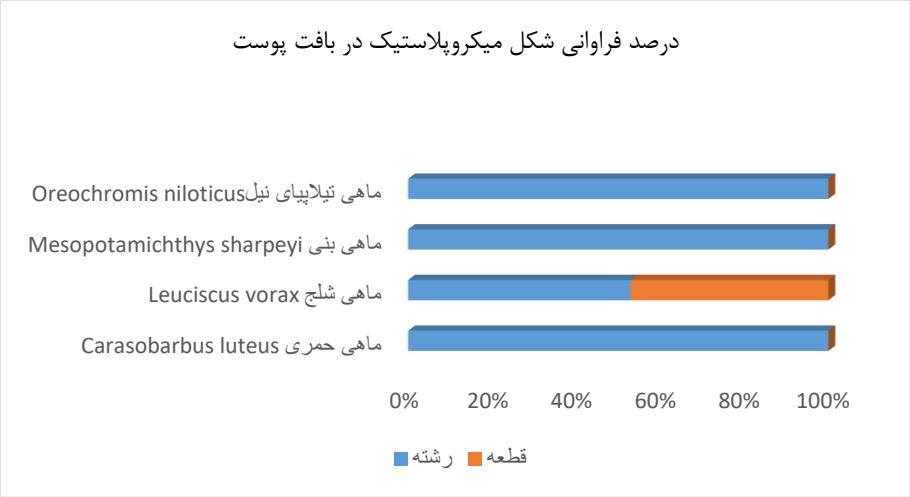
میکروپلاستیک‌های استخراج شده از بافت پوست ماهیان در شکل‌ها، رنگ‌ها و اندازه‌های مختلف یافت شدند (شکل ۱). دو شکل مختلف از میکروپلاستیک‌ها شامل فیبر (رشته‌ای)، قطعه (تکه پاره) در نمونه‌ها شناسایی شد. رایج‌ترین شکل میکروپلاستیک‌ها، رشته (۸۱ درصد) بود و پس از آن قطعه (۱۹درصد) قرار داشتند. همانطور که در (شکل ۲) نشان داده شده است، رشته در نمونه‌های همه ایستگاه‌ها یافت شد ولی قطعه فقط در گونه ماهی شلج (*Leuciscus vorax*) یافت شد. اندازه غالب میکروپلاستیک‌ها در بافت پوست در تمام نمونه‌ها، ۵۰۰≥ میکرون (۴۵ درصد) بود. همانطور که در (شکل ۳) آمده است در گونه حمری (*Carasobarbus luteus*) اندازه غالب میکروپلاستیک‌ها ۵۰۰≥ میکرون (۴۹ درصد) بود و در ماهی تیلاپیای نیل (*Oreochromis niloticus*) اندازه غالب میکروپلاستیک در دامنه‌ی اندازه‌ای ۱۰۰-۲۹۹ میکرون (۶۸ درصد) مشاهده شد.

میکروپلاستیک‌ها دربافت پوست در ۵ رنگ مشاهده گردیدند که، رنگ سیاه در کل نمونه‌ها، مشاهده شد. دیگر رنگ‌ها مانند آبی نفتی، قرمز، سبز، آبی فیروزه‌ای نیز در میکروپلاستیک‌های استخراج شده از بافت پوست گونه‌های مورد بررسی یافت شدند (شکل ۴). رنگ غالب در ماهی تیلاپیای نیل (۸۰ درصد)، مربوط به رنگ سیاه بود.

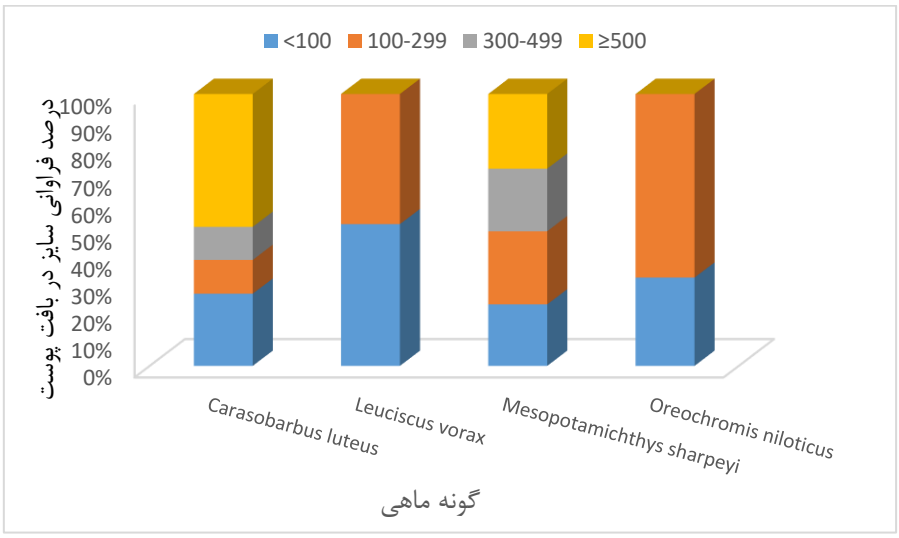


شکل ۱. نمونه‌هایی از میکروپلاستیک‌های استخراج شده از بافت پوست ماهیان صید شده در رنگ‌ها، شکل‌ها و اندازه‌های مختلف. (الف، ب، پ، ج، چ) فیبر، ث (قطعه)

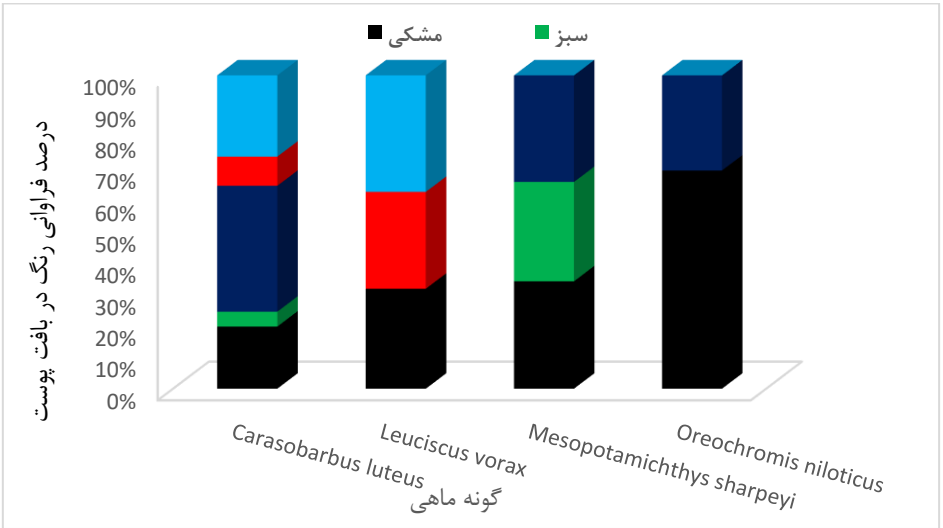
[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-28]



شکل ۲ . درصد فراوانی شکل در بافت پوست گونه‌های صید شده از بخش شمالی تالاب بین المللی شادگان



شکل ۳. درصد فراوانی سایز در بافت پوست گونه‌های صید شده از تالاب بین المللی شادگان

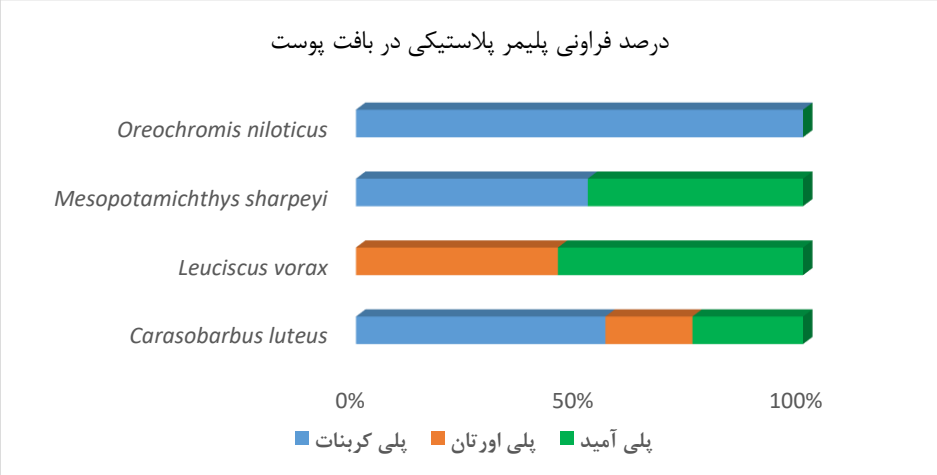


[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-28]

شکل ٤. درصد فراوانی رنگ در بافت پوست گونه‌های صید شده از بخش شمالی تالاب بین المللی شادگان

در این مطالعه، در مجموع ۳ نوع پلیمر پلاستیکی با استفاده از دستگاه طیف‌سنجی رامان کانفوکال اسپکتروومیکروسکوپی (Confocal Raman Spectroscopy) در گونه‌های صید شده از تالاب بین المللی شادگان شامل پلی‌کربنات (PC)، پلی‌اورتان (PU)، پلی‌آمید (PA) بودند، شناسایی شدند.

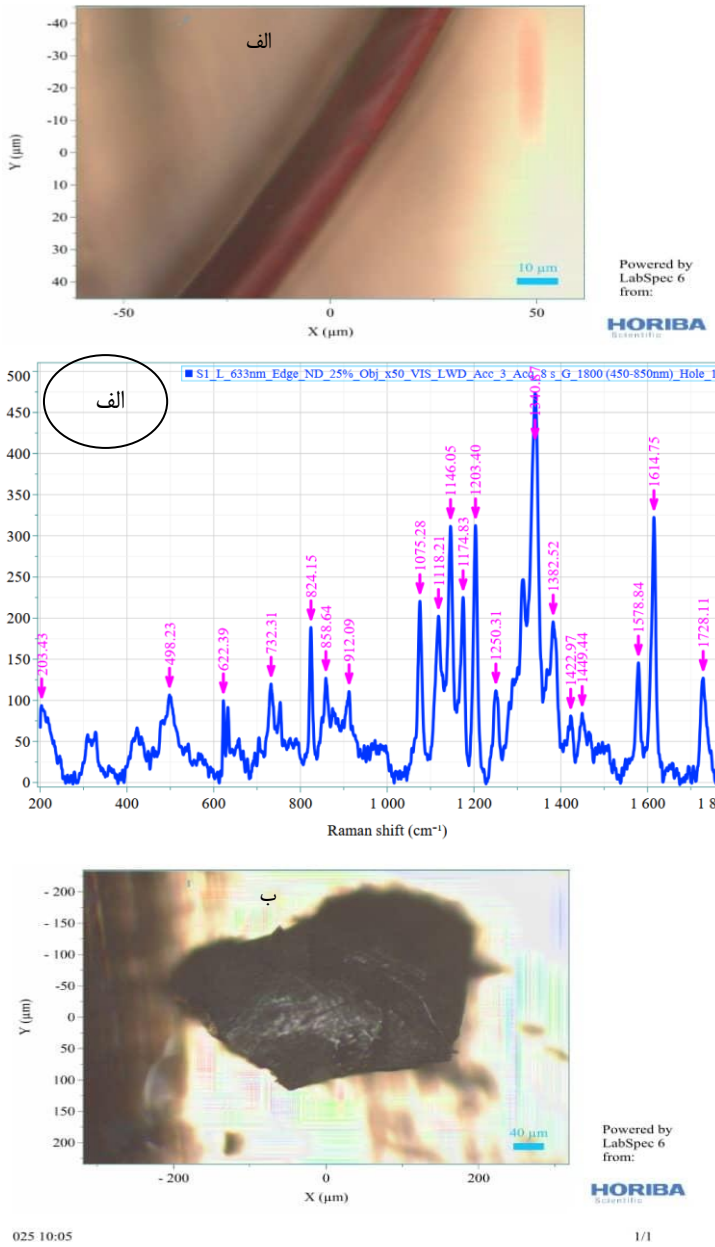
طبق شکل ۵، بیشترین درصد پلیمر پلاستیکی پلی‌کربنات شناسایی شده در بافت پوست گونه‌های صید شده به ترتیب مربوط به ماهی تیلاپیای نیل (۱۰۰درصد)، ماهی حمری (۵۵ درصد)، ماهی بنی (۵۲ درصد) بود، ولی پوست ماهی شلج فاقد پلیمر پلاستیکی پلی‌کربنات بود و تنها دو پلیمر پلی‌آمید و پلی‌اورتان در بافت پوست آن یافت شد. در این میان گونه حمری بیشترین تنوع پلیمری را به خود اختصاص داد.



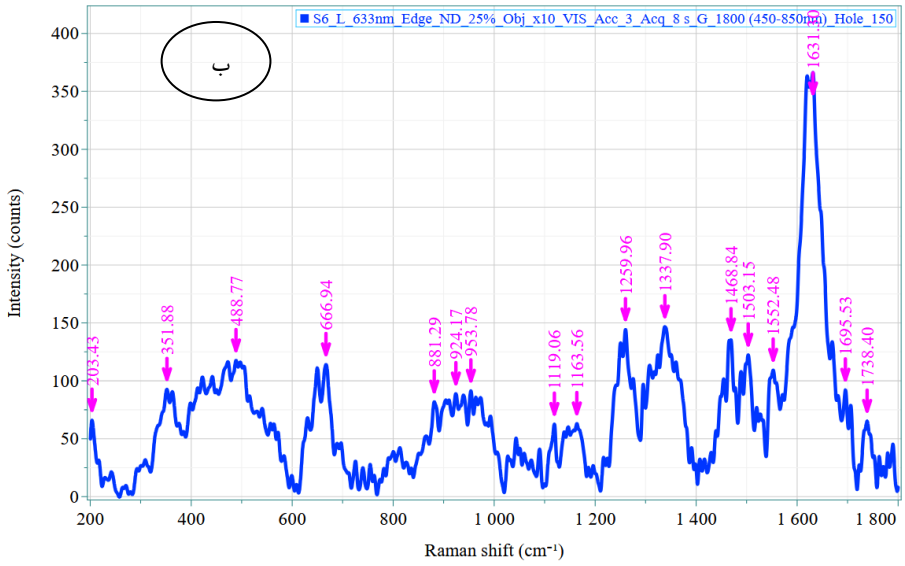
شکل ۵. درصد فراوانی پلیمرهای پلاستیکی در بافت پوست گونه‌های صید شده از بخش شمالی تالاب بین المللی شادگان

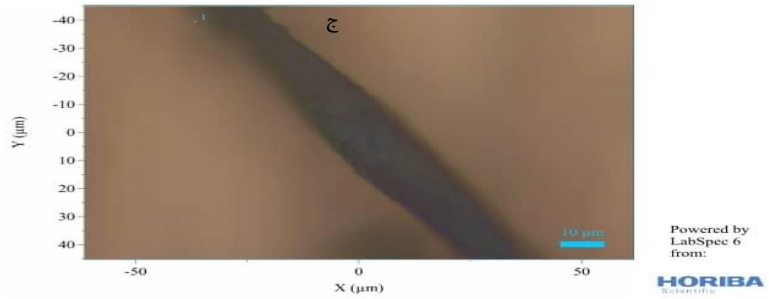
نتایج حاصل از طیف‌سنجی رامان برای بافت پوست گونه‌های ماهی صید شده از تالاب بین المللی شادگان در شکل ۶ نشان داده شده است.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-28]

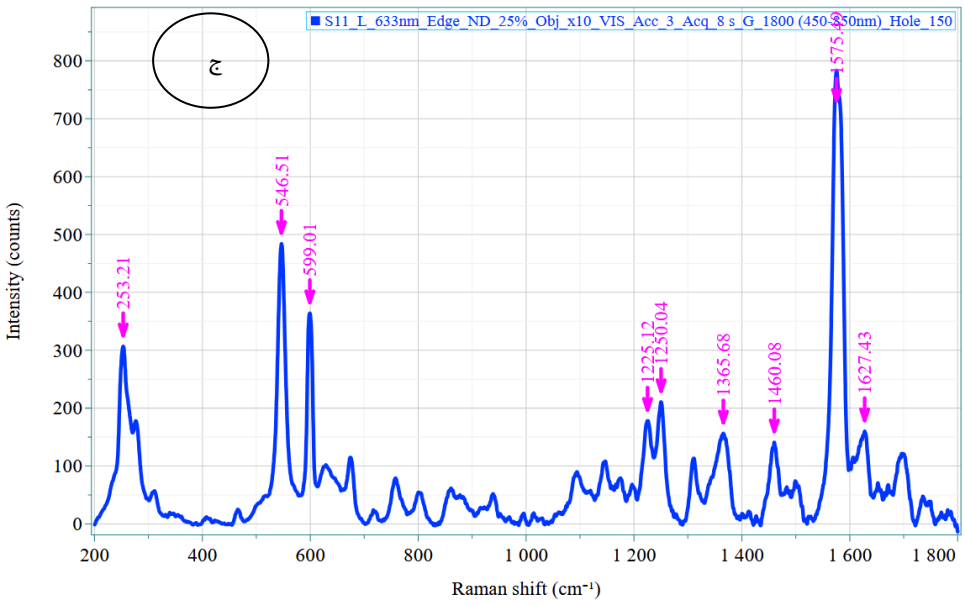


[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-28]

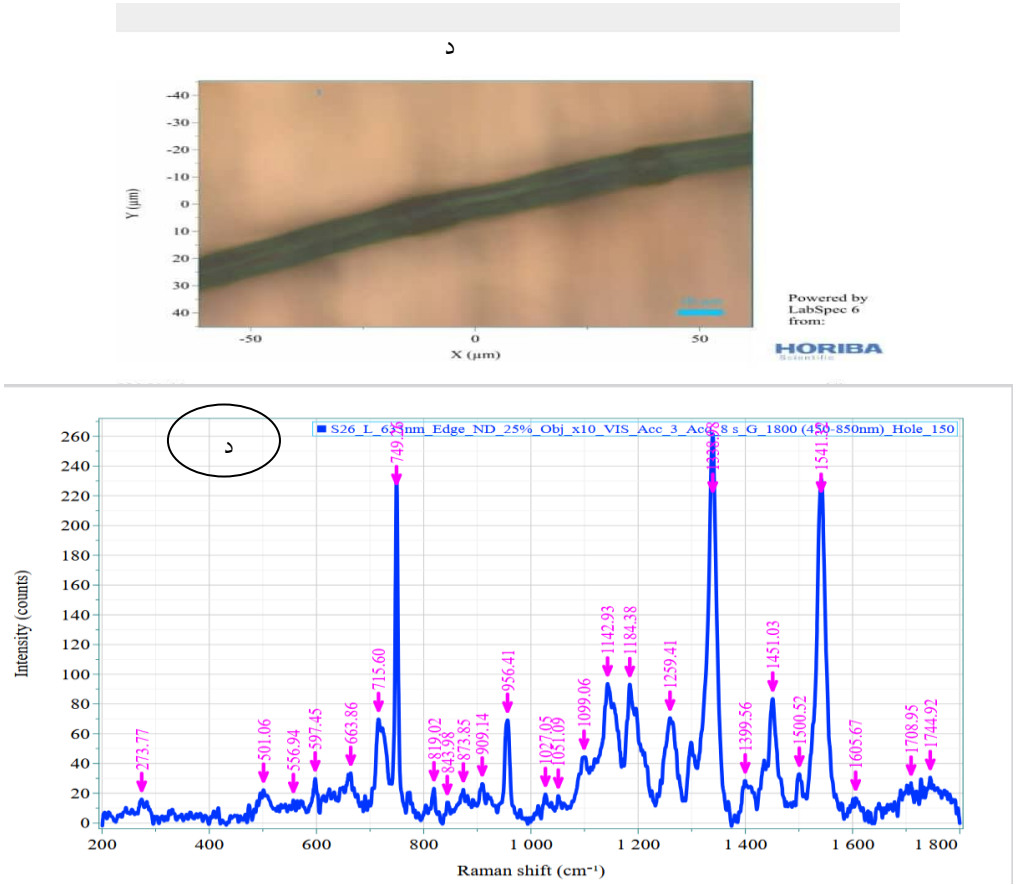




025 11:06 1/1



[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-28]

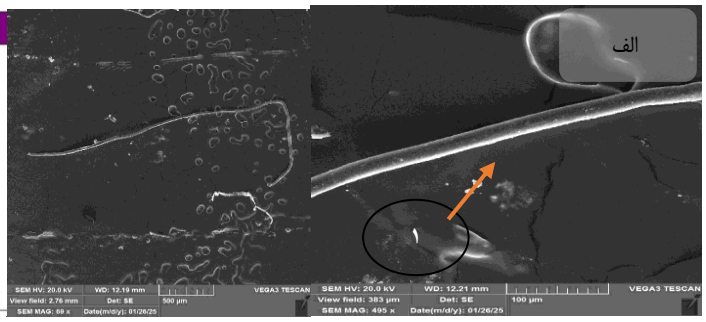


شکل ٦. طیف سنجی رامان از میکروپلاستیک‌های جداسازی شده از بافت پوست ماهیان صید شده از بخش شمالی تالاب بین المللی شادگان (الف): پلی‌اورتان؛ (ب): پلی‌اورتان؛ (ج): پلی کربنات (د): پلی‌آمید

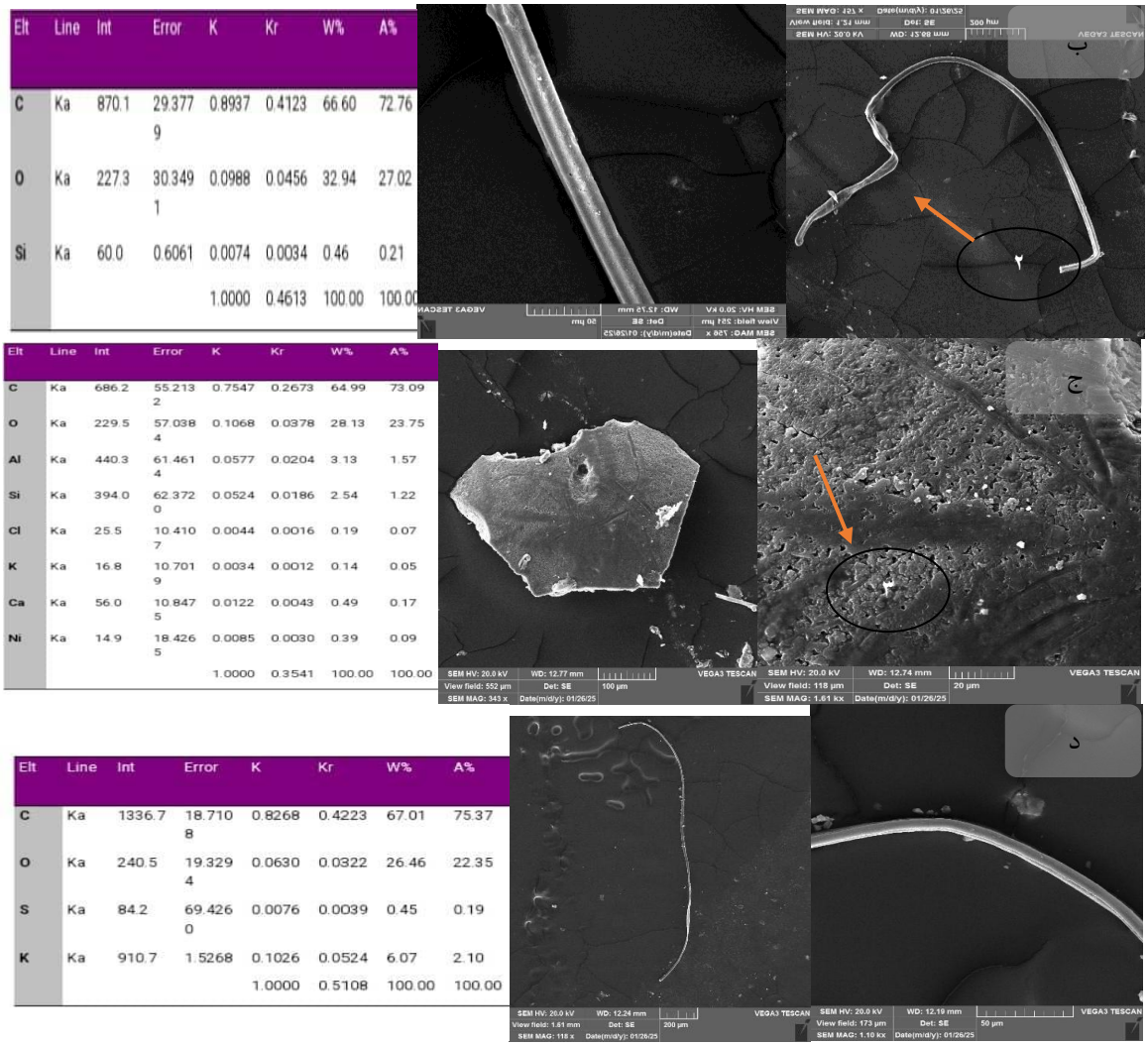
نتایج تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نشان داد که میکروپلاستیک‌های استخراج شده از نمونه‌های بافت پوست گونه‌های مختلف، دارای ویژگی‌های ظاهری مختلفی هستند. در بافت پوست ماهیان، میکروپلاستیک‌های فیبری شکل به صورت خطی یا باریک (شکل ۵ الف) و صاف (شکل ۵ ب) و دارای تورفتگی (شکل ۵ د) مشاهده شدند. میکروپلاستیک‌های قطعه‌ای شکل با ساختار روزنه‌دار و با سطح ناهموار و لبه نامنظم (شکل۵ ج) مشاهده شدند.

نتایج تجزیه و تحلیل آنالیز طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس (EDS) نشان داد که عناصری مانند کربن (C)، اکسیژن (O)، گوگرد (S)، آلومینیوم (Al)، سیلیسیم (Si) ، کلسیم (Ca)، پتاسیم (K)، منیزیم (Mg)، نیکل (Ni) در ساختار میکروپلاستیک‌ها وجود دارند. کربن و اکسیژن عناصر اصلی میکروپلاستیک‌ها در بافت پوست ماهیان می‌باشند (شکل ۷).

Elt	Line	Int	Error	K	Kr	W%	A%
C	Ka	1315.0	73.478 8	0.8447	0.3458	64.97	71.89
O	Ka	405.2	75.907 8	0.1101	0.0451	32.79	27.24
Mg	Ka	22.8	0.8564	0.0018	0.0008	0.14	0.08
Al	Ka	0.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00
Si	Ka	17.9	0.8822	0.0014	0.0006	0.08	0.04
S	Ka	113.0	110.97 39	0.0107	0.0044	0.51	0.21
Cl	Ka	162.5	112.54 80	0.0165	0.0068	0.81	0.30
K	Ka	70.8	115.69 62	0.0083	0.0034	0.40	0.14
Ca	Ka	50.8	117.27 03	0.0064	0.0026	0.30	0.10
				1.0000	0.4094	100.00	100.00



[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-28]



Elt	Line	Int	Error	K	Kr	W%	A%
C	Ka	870.1	29.3779	0.8937	0.4123	66.60	72.76
O	Ka	227.3	30.3491	0.0988	0.0456	32.94	27.02
Si	Ka	60.0	0.6061	0.0074	0.0034	0.46	0.21
				1.0000	0.4613	100.00	100.00

Elt	Line	Int	Error	K	Kr	W%	A%
C	Ka	686.2	55.2132	0.7547	0.2673	64.99	73.09
O	Ka	229.5	57.0384	0.1068	0.0378	28.13	23.75
Al	Ka	440.3	61.4614	0.0577	0.0204	3.13	1.57
Si	Ka	394.0	62.3720	0.0524	0.0186	2.54	1.22
Cl	Ka	25.5	10.4107	0.0044	0.0016	0.19	0.07
K	Ka	16.8	10.7019	0.0034	0.0012	0.14	0.05
Ca	Ka	56.0	10.8475	0.0122	0.0043	0.49	0.17
Ni	Ka	14.9	18.4265	0.0085	0.0030	0.39	0.09
				1.0000	0.3541	100.00	100.00

Elt	Line	Int	Error	K	Kr	W%	A%
C	Ka	1336.7	18.7108	0.8268	0.4223	67.01	75.37
O	Ka	240.5	19.3294	0.0630	0.0322	26.46	22.35
S	Ka	84.2	69.4260	0.0076	0.0039	0.45	0.19
K	Ka	910.7	1.5268	0.1026	0.0524	6.07	2.10
				1.0000	0.5108	100.00	100.00

شکل ۷. آنالیز SEM/EDS میکروپلاستیک‌های استخراج شده از بافت پوست ماهیان صید شده در بخش شمالی تالاب بین المللی شادگان (الف، ب، د): فیبر؛ (ج): قطعه. دایره‌ها و فلش‌های نارنجی رنگ ویژگی‌های سطح را نشان می‌دهند. (۱: صاف؛ ۲: تور رفتگی؛ ۳: روزنه دار)الف، ب، د: فیبر خطی یا باریک؛ ج: قطعه ای با سطح ناهموار و لبه نامنظم.

بحث

در چند دهه‌ی اخیر ماهی بعنوان یکی از مهم‌ترین منابع پروتئین حیوانی و غذای سلامت معرفی شده است. تحقیقات نشان داده است که بخش‌های مختلف ماهی از جمله پوست آن، منبع بسیار خوبی از پروتئین غذایی و یک ماده مغذی ضروری است که به عنوان بلوک‌های سازنده بافت‌هایی مانند عضلات در بدن انسان عمل می‌کند. پروتئین همچنین می‌تواند با کاهش خطر برخی اختلالات مانند رشد ناقص، سطح پایین آهن و تورم در بدن، به سلامت مطلوب کمک کند (Guoyao Wu, 2016). برخی از پروتئین‌ها، مانند هیستون‌ها و ترانسفرین، که در ایمنی نقش دارند در مخاط پوست ماهی وجود دارند (Brinchmann, 2016). پوست ماهی منبع خوبی از کلاژن و ویتامین E است که هر دو به سلامت پوست انسان کمک می‌کنند. از سوی دیگر مطالعات نشان داده‌اند که کلاژن می‌تواند هیدراتاسیون پوست، خاصیت ارتجاعی و سایر علائم پیری مانند چین و چروک را بهبود بخشد (Xia *et al*., 2018). با توجه به استفاده از پوست ماهی در صنایع غذایی، آرایشی و دارویی، وجود میکروپلاستیک در این بافت می‌تواند پیامدهای ایمنی برای مصرف‌کنندگان انسانی داشته باشد. بر اساس جستجوهای انجام شده تاکنون، اکثر مطالعات بر تجمع میکروپلاستیک در دستگاه گوارش ماهیان متمرکز بوده‌اند. با این حال، شواهد اخیر نشان می‌دهد که پوست نیز به‌عنوان یک سطح

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-28]

تماسی گسترده و حساس می‌تواند ذرات میکروپلاستیک را جذب یا به خود بچسباند (Rochman *et al*., 2019; Carbery *et al*., 2021).

پوست ماهی، به‌عنوان بزرگ‌ترین عضو سیستم ایمنی و اولین خط دفاعی در برابر عوامل استرس‌زای محیطی، نقش حیاتی در حفظ سلامت فیزیولوژیکی موجود در برابر آلاینده‌های آبی را ایفا می‌کند. در سال‌های اخیر، شواهد زیادی نشان می‌دهد که میکروپلاستیک‌ها و نانوپلاستیک‌ها به‌ویژه در اکوسیستم‌های تحت فشار آبزی‌پروری می‌توانند از طریق تماس مستقیم، بلعیده شده و یا از طریق آسیب‌های مکانیکی (مانند زخم‌های ناشی از شرایط پرورش یا برخورد با تجهیزات پلاستیکی) وارد بافت پوست ماهی شوند (Abihssira-García *et al*., 2022 ; Walkinshaw *et al*., 2022).

از سوی دیگر سلول‌های کراتوسیت پوستی (SKCs) به‌عنوان سلول‌های کلیدی در بافت پوست ماهی، هم در فرآیندهای ترمیم زخم و هم در پاک‌سازی ذرات خارجی (scavenging) نقش اساسی دارند (Åsbakk, 2001). این سلول‌ها با قابلیت مهاجرت سریع و فعالیت فاگوسیتوزی، قادر به جذب و دفع ذرات ناخواسته از جمله میکروپلاستیک و نانوپلاستیک‌ها هستند (Nishida, 2010). با این حال، ظرفیت این سیستم دفاعی محدود است؛ به‌ویژه زمانی که غلظت ذرات پلاستیکی در محیط از آستانه‌ی تحمل سلولی فراتر رود، ممکن است منجر به استرس اکسیداتیو، التهاب مزمن یا اختلال در ساختار و عملکرد پوست شود (Jabeen *et al*., 2017; Rochman *et al*., 2019). این پدیده نه تنها سلامت ماهی را تهدید می‌کند، بلکه می‌تواند فاکتوری در کاهش کیفیت گوشت و افزایش حساسیت به بیماری‌های عفونی در مزارع پرورشی باشد.

مطالعه حاضر با هدف ارزیابی آلودگی میکروپلاستیک‌ها در پوست برخی از گونه‌های ماهی مهم تجاری صید شده در بخش شمالی تالاب بین المللی شادگان انجام شده است. داده‌های حاصل از مطالعه حاضر نیز نشان می‌دهد که در تمام گونه‌های مورد بررسی ذرات پلاستیکی با تنوع اندازه‌ای در پوست ماهی‌ها وجود دارند. سایر میکروپلاستیک‌های مشاهده شده در گونه‌های مختلف دارای دامنه‌ی سایزی متفاوتی بود. نتایج نشان داد که، به ویژه در گونه‌هایی مانند حمری (*Carasobarbus luteus*)، ذرات میکروپلاستیکی ۵۰۰≥ میکرون فراوان هستند، در حالی که در تیلاپیای نیل بیشترین سهم را ذرات ۱۰۰ تا ۲۰۰ میکرون دارند. این تفاوت در سایز میکروپلاستیک‌ها در پوست گونه‌های مورد بررسی می‌تواند ناشی از تفاوت در رفتارهای تغذیه‌ای، ساختار فیزیولوژیکی پوست (مانند ضخامت لایه مخاطی و فعالیت کراتوسیت‌ها) و همچنین مسیرهای تماس با میکروپلاستیک‌ها مانند تماس مستقیم با رسوبات در هنگام تغذیه و بلع باشد (Esteban, 2012; Li *et al*., 2020). Stephany Toschkova و همکارانش (۲۰۲۴) نیز حضور میکروپلاستیک‌هایی با اندازه ۲۰تا ۱۰۰ میکرون از آبشش و پوست را در پنج گونه ماهی مهم برای ماهیگیری تجاری از دریای سیاه بلغارستان نشان دادند. میکروپلاستیک‌های جداسازی شده از نمونه‌های ماهی مورد بررسی از نقطه نظر پلیمرها نیز مورد بررسی قرار گرفت. به نظر می‌رسد پلیمرهای شناسایی شده در مطالعه حاضر، عمدتاً در صنایع غیربسته‌بندی از جمله تجهیزات صنعتی، قطعات خودرو، لوازم خانگی و حتی منسوجات کاربرد دارند، که می‌تواند نشان‌دهنده منشأ خشکی آلودگی‌های میکروپلاستیکی در تالاب شادگان باشد. مطالعات زیادی نشان داده‌اند تالاب‌های شهری و کشاورزی‌محور، مانند تالاب بین‌المللی شادگان، عمدتاً تحت تأثیر فاضلاب‌های شهری، رواناب‌های سطحی و پسماندهای جامدی قرار دارند که حاوی ذرات ساییده شده از لوازم مصرفی هستند (Zhang *et al*., 2021). بررسی میکروپلاستیک‌های یافت شده در پوست ماهی‌های مورد بررسی از نقطه نظر پلیمرهای تشکیل دهنده‌ی آنها نشان می‌دهد که پلی‌کربنات‌ها به میزان قابل توجهی در پوست ماهی حمری، تیلاپیای نیل و ماهی بنی حضور دارند. این حضور قابل توجه می‌تواند به دلیل تماس مستقیم این گونه‌ها با رسوبات آلوده یا قطعات پلاستیکی شناور باشد، زیرا بر اساس مطالعات قبلی میکروپلاستیک‌های پلی‌کربناتی به‌دلیل چگالی بالا (≈۱/۲–۱/۲۲ g/cm^3) تمایل زیادی به رسوب در بستر تالاب‌ها دارند (Hermabessiere *et al*., 2017).

میکروپلاستیک‌های شناسایی شده در این مطالعه از دیدگاه رنگ نیز مورد بررسی قرار گرفت، در نمونه‌های استخراج شده از پوست ماهیان مورد بررسی رنگ میکروپلاستیک‌ها در پوست ماهیان تالاب بین‌المللی شادگان، رنگ مشکی تا ۷۰/۶درصد در پوست گونه (*O. niloticus*) مشاهده شد. رنگ مشکی اغلب در ساختار لوله‌ها، کابل‌ها و قطعات صنعتی دیده می‌شود، بنابراین احتمالا میکروپلاستیک‌های مشکی ناشی از حضور فعالیت‌های صنعتی در حوزه آبریز تالاب و تخریب ساختارهای پلاستیکی مرتبط

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-28]

با آن می‌باشد (Abisha *et al*., 2024). همچنین، رنگ آبی نفتی و آبی فیروزه ای در رتبه ی دوم قرار داشت. این الگو ممکن است با رنگ‌های رایج در بسته‌بندی‌های مصرفی، کیسه‌های پلاستیکی و تورهای ماهیگیری در منطقه مطابقت داشته باشد (Abbasi *et al*., 2017; Akhbarizadeh *et al*., 2018).

تجزیه و تحلیل نتایج این مطالعه از دیدگاه اکولوژیکی نشان می‌دهد که حضور میکروپلاستیک‌ها در پوست ماهی‌های مورد بررسی، نشان‌دهنده نفوذ این آلاینده‌ها به سطح دوم زنجیره غذایی و به نحوی اختلال در زنجیره غذایی است (Browne *et al*. 2011). همچنین آلودگی میکروپلاستیکی می‌تواند به عنوان یک شاخص کیفیت پایین در محصولات شیلاتی شناخته شود (Lusher *et al*., 2017).

نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که پوست ماهیان تجاری تالاب بین‌المللی شادگان به‌طور قابل توجهی در معرض آلودگی میکروپلاستیکی قرار دارد و این آلودگی با تنوع در اندازه، ترکیب پلیمری و رنگ ذرات همراه است. این وضعیت نه‌تنها سلامت اکوسیستم آبی را تهدید می‌کند، بلکه به‌دلیل استفاده از پوست ماهی در صنایع غذایی، آرایشی و دارویی، خطرات بالقوه‌ای برای سلامت انسان ایجاد می‌نماید.

لذا در راستای کاهش خطر آلودگیِ میکروپلاستیکیِ ماهی‌های تجاری تالاب بین المللی شادگان و کاهش آسیب‌های احتمالی آن‌ها در بدن مصرف کنندگان مدیریت منابع آلاینده از طریق نصب فیلترهای پیشرفته در سیستم‌های فاضلاب شهری و صنعتی به منظور کاهش ورود رشته مصنوعی به رودخانه‌ها، کنترل رواناب‌های جاده‌ای حاوی میکروپلاستیک‌های حاصل از تخریب و تجزیه‌ی تایر خودروها از طریق ایجاد حوضچه‌های رسوب‌گیر، پایش مستمر اکوسیستم از طریق بررسی دوره‌ای آلودگی میکروپلاستیک‌ها در گونه‌های کلیدی تالاب بین المللی شادگان و منابع تغذیه‌ای آن‌ها و نیز از طریق آگاهی بخشی عمومی همچون آموزش جوامع محلی برای کاهش مصرف پلاستیک‌های یک‌بارمصرف و دفع صحیح زباله‌ها و نیز هشدار به صیادان درباره خطرات رهاسازی تورهای ماهیگیری مستهلک یا غرق شدن سایر ابزارهای صید پلاستیکی در تالاب توصیه می‌گردد. در نهایت، این پژوهش لزوم اتخاذ سیاست‌های یکپارچه‌ی محیطزیستی و تقویت قوانین پایش کیفیت آب را برای حفظ سلامت اکوسیستم‌های آبی و جوامع انسانی پررنگ‌تر می‌کند. از منظر شیلاتی، این آلودگی مستقیماً بر امنیت غذایی، اقتصاد محلی، و پایداری ذخایر ماهیان تأثیر می‌گذارد. بنابراین، برای حفظ تعادل اکولوژیکی و بهره‌برداری پایدار از منابع شیلاتی، اجرای برنامه‌های مدیریتی یکپارچه مانند کاهش تولید پلاستیک، آموزش جوامع محلی، و تقویت قوانین محیطزیستی ضروری است.

حامی مالی

مقاله حاضر با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر انجام شد.

بخشی از حمایت مالی این پژوهش از طرف سازمان امور دانشجویان در قالب فرصت تحقیقاتی دانشجویان غیربورسیه داخل کشور به شماره فرآیند ۰۱۱۰۸۱۶۸۷ انجام شده است.

سپاسگزاری

از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر به خاطر حمایت مالی در اجرای پژوهش حاضر سپاسگزاری می‌شود.

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. *Environ. Earth Sci*. https://doi.org/10.1007/s12665-017-7137-0

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-28]

Abisha, C., Kutty, R., Gurjar, U.R., Jaiswar, A.K., Deshmuke, G., Sasidharan, A. and Xavier, K.M., 2024. Microplastic prevalence, diversity and characteristics in commercially important edible bivalves and gastropods in relation to environmental matrices. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 13, 100392. https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2023.100392

Abihssira-García, I.S., Kögel, T., Gomiero, A., Kristensen, T., Krogstad, M. and Olsvik, P.A., 2022. Distinct polymer-dependent sorption of persistent pollutants associated with Atlantic salmon farming to microplastics. *Marine Pollution Bulletin*, 180, 113794. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113794

Akhbarizadeh, S., Pourghasemi, H., & Mohammadi, R., 2018. Assessment of heavy metals and microplastics in sediment of coastal areas. *Journal of Environmental Management*; 210: 234-245. https://doi: 10.1016/j.jenvman.2018.01.055.

Ali, S.S., Kumar, S., Kumar, V., Dwivedi, S., Soni, N., Yadav, S. and Kim, K.H., 2024. A critical review of microplastics in aquatic ecosystems: Degradation mechanisms and removing strategies. *Environmental Science and Ecotechnology*, 20, 100427. https://doi.org/10.1016/j.ese.2024.100427

Åsbakk, K., 2001. Elimination of foreign material by epidermal malpighian cells during wound healing in fish skin. *Journal of Fish Biology*, 58, pp.953-966. https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2001.tb00547.x

Barboza, L.G.A., van den Berg, J.H.J., Leslie, H.A., de Boer, J. and van den Brink, N.W., 2020. Microplastics in wild fish from North East Atlantic Ocean and its potential for causing neurotoxic effects, lipid oxidative damage, and human health risks. *Science of the Total Environment*, 706, 135622. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135622

Barboza, L.G.A., Vethaak, A.D., Lavorante, B.R.B.O., Lundebye, A.K. and Guilhermino, L., 2019. Marine microplastic debris: An emerging issue for food security, food safety and human health. *Marine Pollution Bulletin*, 133, pp.336-348. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.05.047

Barboza, L.G.A., Vieira, L.R. and Branco, V., 2018. Microplastics cause neurotoxicity, oxidative damage and energy-related changes and interact with the bioaccumulation of mercury in the European seabass, Dicentrarchus labrax (Linnaeus, 1758). *Aquatic Toxicology*, 195, pp.49-58. https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2017.11.017

Beckingham, B. and Ghosh, U., 2023. Hot or not: systematic review and laboratory evaluation of the hot needle test for microplastic identification. *Microplastics and Nanoplastics*, 3, 8. https://doi.org/10.1186/s43591-023-00056-4

Bemanikharanagh, A., Riyahi Bakhtiari, A., Mohammadi, J. and Taghizadeh-Mehrjardi, R., 2017. Characterization and ecological risk of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and n-alkanes in sediments of Shadegan international wetland, the Persian Gulf. *Marine Pollution Bulletin*, 124(1), pp.155-170. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.07.015

Booth, A.L. and Sørensen, K.B., 2022. Microplastics in the marine environment: A review of current knowledge and future directions. *Marine Pollution Bulletin,* 175, 113345. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113345

Brinchmann, M.F., 2016. Immune relevant molecules identified in the skin mucus of fish using -omics technologies. *Molecular BioSystems*, 12(7), pp.2056-2063. https://doi.org/10.1039/C5MB00890E

Browne, M.A., Crump, P., Niven, S.J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T. and Thompson, R., 2011. Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environmental Science & Technology*, 45(21), pp.9175-9179. https://doi.org/10.1021/es2010284

Browne, M.A., Dissanayake, A., Galloway, T.S., Lowe, D.M. and Thompson, R.C., 2008. Ingested microscopic plastic translocate to the circulatory system of the mussel, Mytilus edulis (L.). *Environmental Science & Technology*, 42(13), pp.5026-5031. https://doi.org/10.1021/es800249a

Carbery, M., O'Connor, W. and Flanagan, C., 2021. Microplastics in the food chain: A review of the availability and implications for human health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(2), 1473-1501. https://doi.org/10.1111/crfs.12671

Cera, A., Pierdomenico, M.; Sodo, A. and Scalici, M., 2022. Spatial distribution of microplastics in volcanic lake water and sediments: Relationships with depth and sediment grain size. *Science of the Total Environment*, 829, 154659. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154659

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-28]

Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C. and Galloway, T.S., 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Marine Pollution Bulletin*, 62(12), pp.2588-2597. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025

Crawford, C.B. and Quinn, B., 2017. Plastic Production, Waste and Legislation. In: Microplastic Pollutants. Amsterdam, *Elsevier Science*, pp.39-56. https://doi.org/ 10.1016/B978-0-12-811425-3.00002-8

Damaris Benny, Daniel, Saly N. Thomas, K.T.Thomson. (2020). Assessment of fishing-related plastic debris along the beaches in Kerala Coast, India. *Marine Pollution Bulletin*, Volume 150, January 2020, 110696. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.110696

Dalvand, M. and Hamidian, A.H., 2023. Occurrence and distribution of microplastics in wetlands. *Science of the Total Environment*, 862, 160740. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160740

Daniel, D.B., Ashraf, P.M. and Thomas, S.N., 2020. Microplastics in the edible and inedible tissues of pelagic fishes sold for human consumption in Kerala, India. *Environmental Pollution*, 267, 115437. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115437

Dehaut, A., Cassone, A.L. and Frère, L., 2016. Microplastics in seafood: Benchmark protocol for their extraction and characterization. *Environmental Pollution*, 215, pp.223-233. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.05.017

Emon, M.M.H.; Khan, T. and Siam, S.A.J., 2024. Quantifying the influence of supplier relationship management on supply chain performance: Evidence from Bangladeshi manufacturing firms. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, 21(4), e2194. https://doi.org/10.14488/BJOPM.2194.2024

Esteban, M., 2012. An overview of the immunological defenses in fish skin. *ISRN Immunology*, 2012, 129. https://doi.org/10.5402/2012/853470

Fatema, K., Hawa, M.A., Masnoon, S., Alam, M.J., Islam, M.J., Hasan, M.M. and Jolly, Y.N., 2023. Microplastic pollution in surface waters and sediments matrices of the Sundarbans—The largest single block of tidal halophytic mangrove forest in the world. *Marine Pollution Bulletin*, 196, 115657. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115657

Feng, Z., Zhang, T., Li, Y., He, X., Wang, Y., Li, Q. and Wang, J., 2019. The accumulation of microplastics in fish from an important fish farm and mariculture area, Haizhou Bay, China. *Science of the Total Environment*, 696, 133948. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133948

Ferdous, S.R., Amin, A., Hasan, J.; Alam, M.S. and Shahjahan, M., 2023. Prevalence of microplastics in commonly consumed fish species of the river Old Brahmaputra, Bangladesh. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(36), pp.85639-85654. https://doi.org/10.1007/s13762-023-05058-8

Hermabessiere, S., Lott, C., Smedley, A.L., Corcoran, P.W., 2017. Microplastics in the marine environment: A review of their occurrence and effects. *Environmental Pollution*, 226, 336-345. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.03.054

Hermsen, E., Mintenig, S.M., Besseling, E. and Koelmans, A.A., 2018. Quality criteria for the analysis of microplastic in biota samples: a critical review. *Environmental Science & Technology*, 52(18), pp.10230-10240. https://doi.org/10.1021/acs.est.8b01517

Jabeen, K., Su, L., Li, J., Yang, D., Tong, C., Mu, J. and Shi, H., 2017. Microplastics and mesoplastics in fish from coastal and fresh waters of China. *Environmental Pollution*, 221, pp.141-149. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.11.055

Kumar, M., Chen, H., Sarsaiya, S., Qin, S., Liu, H., Awasthi, M.K., Kumar, S., Singh, L., Zhang, Z., Bolan, N.S., Pandey, A., Varjani, S. and Taherzadeh, M.J., 2021. Current research trends on micro- and nano-plastics as an emerging threat to global environment: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 409, 124967. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124967

Lambert, S. and Wagner, M., 2018. Microplastics are contaminants of emerging concern in freshwater environments: an overview. *Cham, Springer International Publishing*, pp.1-23. https://doi.org/10.1007/978-3-319-61615-5_1

Li, Y., Wang, J., Zhang, X., Liu, Y., Chen, H., Li, M., 2020. Microplastics in the aquatic environment: A review of their sources, fate, and effects. Science of The Total Environment, 715, 136914. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136914

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-28]

Lusher, A.L., Andrady, A.L., Kane, I.A., FAO Technical Staff., 2017. Microplastics in fisheries and aquaculture: Status of knowledge on their occurrence and implications for marine organisms and food safety. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*, 615. https://doi.org/10.4049/9789251301492

Ma, H., Pu, S., Liu, S., Bai, Y., Mandal, S. and Xing, B., 2020. Microplastics in aquatic environments: toxicity to trigger ecological consequences. *Environmental Pollution*, 261, 114089. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114089

Nilsaz, Kh.M., Esmaeili, F., Sabz Alizadeh, S.; Eskandari, Gh.R.; Ansari, H. and Alboobid, S., 2016. Ecological monitoring in Shadegan wetland. *Tehran, Iranian Fisheries Science Research Institute*, 116 pp. (in Persian).

Nikki, R., Jaleel, K.U.A., Ragesh, S., Shini, S., Saha, M. and Kumar, P.K.D., 2021. Abundance and characteristics of microplastics in commercially important bottom dwelling finfishes and shellfish of the Vembanad Lake, India. *Marine Pollution Bulletin*, 172, 112803. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112803

Nishida, K., 2010. Microplastic particles in the marine environment: A review of their distribution and impact. *Marine Science and Technology*, 5(2), 45-58. https://doi.org/ 10.11302/jmst.5.45

Osman, A.I., Hosny, M., Eltaweil, A.S., Omar, S.; Elgarahy, A.M.; Farghali, M. and El-Sayed, H.S., 2023. Microplastic sources, formation, toxicity and remediation: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 21, pp.2129-2169. https://doi.org/10.1007/s10311-023-01593-3

Parvin, F., Jannat, S. and Tareq, S.M., 2021. Abundance, characteristics and variation of microplastics in different freshwater fish species from Bangladesh. *Science of the Total Environment*, 789, 147947. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147947

Parsa, M., Paighambari, S.Y., Mobarrezi, A. and Nekuroo, A., 2014. The catch per unit of effort and biomass of Threadfin Bream (Nemipterus japonicus) by swept area method in coastal waters of Bushehr province. *Journal of Aquatic Ecology*, 3(4), pp.21-30. (in Persian)

Patterson, J., Kumar, S., Ravisankar, R. and Godfrey, L., 2021. Microplastic contamination in Indian edible mussels (Perna perna and Perna viridis) and their environs. *Marine Pollution Bulletin*, 171, 112678. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112678

Pitt, J.A., Kozal, J.S., Jayasundara, N., Massarsky, A., Trevisan, R., Geitner, N. and Di Giulio, R.T., 2018. Uptake, tissue distribution, and toxicity of polystyrene nanoparticles in developing zebrafish (Danio rerio). *Aquatic Toxicology*, 194, pp.185-194. https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2017.11.017

Ray, S. and Shaju, S.T., 2023. Bioaccumulation of pesticides in fish resulting toxicities in humans through food chain and forensic aspects. *Environmental Analysis, Health and Toxicology*, 38, e2023017. https://doi.org/10.5620/eaht.2023017

Rasta, M., Rahimibashar, M.R., Torabi Jafroudi, H., Fakheri, S., Tagheipour Kouhbane, S. and Taridashti, F., 2022. Microplastics in sediments of southwest Caspian Sea: characteristics, distribution and seasonal variability. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 31(6), pp.785-799. https://doi.org/10.1080/15320383.2021.1946462

Rochman, C.M. and Hoellein, T., 2020. The global odyssey of plastic pollution. *Science*, 368(6496), pp.1184-1185. https://doi.org/10.1126/science.abc4428

Rochman, C.M., Kurobe, T., Flores, I. and Teh, S.J., 2019. Early warning signs of endocrine disruption in adult fish from the ingestion of polyethylene with and without sorbed chemical pollutants from the marine environment. *Science of the Total Environment*, 493, pp.656-661. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.046

Saemi-Komsari, M., Esmaeili, H.R., Keshavarzi, B., Busquets, R., Abbasi, K., Birami, F.A. and Masoumi, A.H., 2024. Trophic transfer, bioaccumulation and translocation of microplastics in an international listed wetland on the Montreux record. *Environmental Research*, 257, 119172. https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119172

Salinas, I., Ding, Y., Fernández-Montero, Á. and Sunyer, J.O., 2022. Mucosal Immunity in Fish. In: Principles of Fish Immunology: From Cells and Molecules to Host Protection. *Cham, Springer International Publishing*. https://doi.org/ 10.1007/978-3-031-07511-1_12

Schlesinger, W.H. and Bernhardt, E.S., 2020. Biogeochemistry: An Analysis of Global Change. *4th ed. San Diego, Academic Press/Elsevie*r, 749 pp. https://doi.org/ 10.1016/C2017-0-01770-2

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-28]

Shahriar, H., Islam, M.S., Jahin, M.A., Ridoy, I.A., Prottoy, R.R., Abid, A. and Sarker, S.K., 2024. Exploring Internet of Things adoption challenges in manufacturing firms: A Delphi Fuzzy Analytical Hierarchy Process approach. *PLOS ONE*, 19(11), e0311643. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0311643

Shen, N., Wei, Y. and Yu, H., 2025. Microplastics and nanoplastics in ecosystems: mechanisms, microbial disruption, and functional consequences. *Emerging Contaminants and Environmental Health*, 4(4), 19. https://doi.org/10.20517/eceh.2025.01

Singh, S., Alawa, B., Chakma, S., Kalyanasundaram, M. and Diwan, V., 2025. Sewage treatment plants as a potential source of microplastics in the environment – A preliminary study in Central India. *Water Science & Technology*, 91, pp.783-796. https://doi.org/10.2166/wst.2025.041

Singh, S., Chakma, S., Alawa, B., Kalyanasundaram, M. and Diwan, V., 2024. Microplastic pollution in terrestrial environment: Identification, characterization, and risk assessment in Indore, Central India. *Soil Use and Management*, 40, e13053. https://doi.org/10.1111/sum.13053

Sthanadar, I.A., Sthanadar, A.A., Begum, B., Nair, M.J., Ahmad, I., Muhammad, A., Zahid, M. and Ullah, S., 2015. Aquatic pollution assessment using skin tissues of mulley (Wallago attu) from Kalpani River at district Mardan, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 6(2), pp.57-66. https://doi.org/10.15515/jem.2015.06.142

Wagner, M., 2018. Microplastics in the environment: Distribution, occurrence and effects. *Microplastics and Nanoplastics in the Environment*, 1(1), 1-15. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95902-7_1

Wang, C., Pan, R., Wan, X., Tan, Y., Xu, L., McIntyre, R.S., Choo, F.N., Tran, B., Ho, R., Sharma, V.K. and Ho, C., 2020. A longitudinal study on the mental health of general population during the COVID-19 epidemic in China. *Brain, Behavior, and Immunity*, 87, pp.40-48. https://doi.org/10.1016/j.bbi.2020.04.028

Walkinshaw, S., Jones, P., Brown, L., Taylor, M., White, R., 2022. Microplastics in terrestrial environments: A review of their presence and potential risks. *Soil Biology and Biochemistry*, 165, 108523. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108523

Wang, Q., Zhu, X., Hou, C., Wu, Y., Teng, J., Zhang, C., Tan, H., Shan, E., Zhang, W. and Zhao, J., 2021. Microplastic uptake in commercial fishes from the Bohai Sea, China. *Chemosphere,* 263, 127962. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127962

Wang, T.; Li, B. and Zou, X., 2019. Emission of primary microplastics in mainland China: Invisible but not negligible. *Water Research*, 162, pp.214-224. https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.06.049

Wu, G., 2016. Dietary protein intake and human health. *Food & Function*, 7(3), pp.1251-1265. https://doi.org/10.1039/C5FO01530H

Wu, J.; Jiang, Zh., Liu, Y., Zhao, X., Liang, Y., Lu, W. and Song, J., 2021. Microplastic contamination assessment in water and economic fishes in different trophic guilds from an urban water supply reservoir after flooding. *Journal of Environmental Management*, 299, 113667. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113667

Xia, C., Fu, L., Liu, Z., Liu, H., Chen, L. and Liu, Y., 2018. Aquatic toxic analysis by monitoring fish behavior using computer vision: A recent progress. *Journal of Toxicology*, 2018, 2591924. https://doi.org/10.1155/2018/2591924

Zhang, K., Hamidian, A.H., Tubic, A., Zhang, Y., Fang, J.K.H., Wu, C. and Lam, P.K.S., 2021. Understanding plastic degradation and microplastic formation in the environment: A review. *Environmental Pollution*, 274, 116554. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116554

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-28]