Vol. 15, No. 3, Autumn 2026, p. 223-253 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/GEOEH.2026.97629.1645 OPEN ACCESS

An Analysis of the Environmental Risks of Microplastic Pollutants and Their Role in Human Health

Hossein Mohammadzadeh [1,2]*, **Atefeh Razi** [2]

[1] Groundwater and Geothermal Research Center (GRC), Water and Environment Research Institute, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

[2] Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 31 January 2026

Revised: 20 July 2026

Accepted: 22 July 2026

Available Online:

22 July 2026

Keywords:

Microplastics

Emerging Pollutants

Human Health

Environmental Risks

Environmental Monitoring

ABSTRACT

Microplastics, as one of the emerging environmental pollutants, have raised increasing concerns about the health of ecosystems and humans. This study aimed to investigate the sources, distribution, characteristics, and environmental and health risks of microplastics with an emphasis on Iran. The present study was conducted as a systematic review based on the PRISMA 2020 guidelines. A search for articles was conducted in PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, and Google Scholar databases for the period 2015 to 2026. After applying the inclusion and exclusion criteria for articles, eligible studies were included in the final analysis. Data (including: study characteristics, environments studied, concentrations and characteristics of microplastics, sampling methods) were extracted and analyzed. The results show that microplastics are widely present in all aquatic, terrestrial, aerial and biological environments of Iran, and the dominant polymers are PE, PP, PS and PET, and are often in the form of fibers and pieces. The main sources of microplastics include urban and industrial wastewater, fishing, road traffic and poor waste management. The concentration of microplastics in the sediments of the Persian Gulf (up to 1346 particles.kg-1) and in the air of Tehran (up to 876 ng.m-^{3}) is among the highest in the world. Microplastics can affect the health of living organisms by causing oxidative stress, inflammation and biological disorders, and pose serious risks to human health. Given the significant research gaps regarding the chronic effects of microplastics and the standardization of measurement methods - factors that have contributed to the ever-increasing spread of this emerging pollutant throughout the life cycle - it is crucial to formulate strategies for integrated monitoring, waste management, and the reduction of microplastic pollution in the country.

* Corresponding author: Hossein Mohammadzadeh E-mail address: mohammadzadeh@um.ac.ir

How to cite this article: Mohammadzadeh, H., & Razi, A. (2026). An Analysis of the Environmental Risks of Microplastic Pollutants and Their Role in Human Health. *Journal of Geography and Environmental Hazards, 15*(3), 223-253. https://doi.org/10.22067/geoeh.2026.97629.1645

©2026 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Extended Abstract

Introduction

Plastics have become an integral part of modern life due to their light weight, high durability, low cost, and malleability. Global plastic production has increased from 2 million tons in 1950 to 400 million tons in 2022 and is projected to exceed 33 billion tons by 2050. These characteristics have made plastics an environmental problem. Plastic particles are degraded by physical, chemical, and biological factors into smaller pieces less than 5 mm in size, which are called microplastics. Iran is one of the countries with poor waste management in the world, with an annual production of 4 million tons of plastic waste and a recycling rate of only 10–12%. According to the Plastic Overshoot Day (2024) report, the rate of plastic release into nature in Iran is about 78.4%, which is much higher than the global average (43%). This rate is more than 80% in the Persian Gulf and neighboring countries. Iran's geographical location with access to the Persian Gulf, the Sea of Oman, and the Caspian Sea has exposed the country to widespread microplastic pollution.

Material and Methods

The present study was conducted as a systematic review based on the PRISMA 2020 guidelines. Articles were searched in PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, and Google Scholar databases for the period 2015 to 2026. The inclusion criteria included original studies, English and Persian articles, studies investigating the concentration and characteristics of microplastics in different environments in Iran, and studies related to human health. Unrelated articles, non-systematic reviews, and studies lacking quantitative data were excluded from the analysis. After initial screening and removal of duplicate and irrelevant articles, eligible studies were included in the final analysis. Data including study characteristics, study settings, microplastic concentrations and properties (polymer type, shape, size, and color), sampling methods, and main results were extracted and analyzed.

Results and Discussion

Microplastics are divided into two groups: primary (produced at microscale, such as industrial granules and cosmetic microbeads) and secondary (derived from the degradation of larger plastics). Polyethylene with 36% and polypropylene with 21% have the largest share of plastic demand. Common shapes of microplastics include fibers, fragments, spheres, and polygons.

According to data from scientific databases, microplastic research has started in the world since 2007 and in Iran since 2017. The number of Iranian articles increased from 100% in 2017–2020 to 250% in 2023–2024 and then continued with greater diversity. Studies conducted in Iran indicate the widespread presence of microplastics in all environmental matrices. For example, the concentration of microplastics in Tehran air (876 $ng.m^{-3}$) is the highest reported globally, mainly due to heavy traffic and vehicle tire wear. This finding is consistent with other studies in large cities such as London, Paris, and Shanghai (with concentrations of 0.3 to 1.5 particles) and demonstrates the important role of urban transportation in the emission of atmospheric microplastics. In sediments of the Persian Gulf and Anzali Wetland, the microplastics' concentrations are in the upper range of global reports (0–18,000 ppm), indicating significant input from untreated urban and industrial wastewater, fishing and tourism activities, and poor management of plastic waste. Despite 80% of the country's dependence on groundwater, limited studies have been conducted on microplastic pollution in Iran aquifers. The concentrations of 0.1–1.3 ppm and 9–54 ppm have been reported for Shiraz and Kerman aquifers, respectively. In agricultural soils of Shiraz, concentrations of 0–93 particles/kg and in compost of Isfahan, very high concentrations of 34,267–44,267 particles/kg have been recorded, indicating the role of organic fertilizers and sewage sludge in the entry of microplastics into the soil and agricultural cycle. Numerous studies have confirmed the presence of microplastics in fish from the Persian Gulf, the Caspian Sea, rivers and wetlands. For example, 49.6% of fibers with the dominant polymer PE were observed in commercial species from the Persian Gulf. Hyrcanian forest amphibians showed 72% contamination, with fibers less than 0.5 mm in size and polyurethane and polystyrene polymers being the most abundant. Studies show that amphibians absorb

about 9% more microplastics than fish, indicating a greater vulnerability of this group due to their permeable skin and dual life cycle.

Microplastics enter the body through ingestion, inhalation, and skin contact. In Iran, the presence of microplastics has been confirmed in human hair, skin, saliva, lung lavage fluid, sputum, pleural fluid, and placenta. Microplastics have also been found in food products such as salt (up to 5470 particles.kg^{-1}), sugar, mineral water, carbonated drinks, sausages, spices, hookah tobacco, and infant formula. Microplastics pose serious risks to human health by causing oxidative stress, inflammation, reduced intestinal mucosa, liver metabolic disorders, and changes in absorption and excretion.

Conclusion

Microplastics, as pervasive and emerging pollutants, have affected all aquatic, terrestrial, air, and biological environments. The concentrations reported in many regions of Iran, especially in the Persian Gulf, Anzali Wetland, and Tehran air, are at or above the global average. The entry of microplastics into the food chain and human body through food, drinking water, and breathing air has raised serious concerns for public health. Given the poor management of plastic waste in Iran (release rate of 78.4%), it is necessary to develop integrated monitoring strategies, waste management based on a circular economy, reduce the consumption of single-use plastics, efficiently treat municipal and industrial wastewaters, and conduct further research on the identified gaps (especially on groundwater nanoplastics, and chronic effects on human health). Also, developing national standards for sampling, identification, and measurement methods for microplastics in Iran will be a crucial step for comparability of results and making effective management decisions.

جلد ۱۵، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۵، ص ۲۵۳-۲۲۳ ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

مقاله پژوهشی DOI: 10.22067/GEOEH.2026.97629.1645 دسترسی آزاد

تحلیلی بر مخاطرات زیست‌محیطی آلاینده میکروپلاستیک و نقش آن بر سلامت انسان

حسین محمدزاده[۱،۲*]، عاطفه رضی [۲]

[۱] گروه پژوهشی تحقیقات آب‌های زیرزمینی و ژئوترمال (متاب)، پژوهشکدهٔ آب و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

[۲] گروه زمین‌شناسی، دانشکدهٔ علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچهٔ مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۱۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۴/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۳۱

کلمات کلیدی:

میکروپلاستیک

آلاینده‌های نو ظهور

سلامت انسان

مخاطرات محیط‌زیستی

پایش زیست‌محیطی

چکیده

میکروپلاستیک‌ها، به عنوان یکی از آلاینده‌های نوظهور، نگرانی‌های فزاینده‌ای را در زمینه سلامت اکوسیستم‌ها و انسان ایجاد کرده‌اند. این مطالعه با هدف بررسی منابع، پراکندگی، ویژگی‌ها و مخاطرات زیست‌محیطی و بهداشتی میکروپلاستیک‌ها با تأکید بر ایران انجام شده است. پژوهش حاضر به صورت مرور نظام‌مند و بر اساس دستورالعمل PRISMA ۲۰۲۰ انجام گرفته است. جستجوی مقالات در پایگاه‌های PubMed، Scopus، Web of Science، ScienceDirect و Google Scholar برای بازهٔ زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۶ انجام گردید. پس از اعمال معیارهای ورود و خروج مقالات، مطالعات واجد شرایط وارد تحلیل نهایی شدند. داده‌ها (شامل: ویژگی‌های مطالعات، محیط‌های مورد بررسی، غلظت و ویژگی‌های میکروپلاستیک‌ها، روش‌های نمونه‌برداری) استخراج و مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که میکروپلاستیک‌ها در تمام محیط‌های آبی، خاکی، هوایی و زیستی ایران به طور گسترده و غالبا به صورت الیاف و قطعات حضور دارند. غلظت میکروپلاستیک‌ها در رسوبات خلیج‌فارس (تا ۱۳۴۶ kg/ذره) و در هوای تهران (تا ۸۷۶ ng/m³) از بالاترین مقادیر جهانی است. میکروپلاستیک‌ها می‌توانند از طریق ایجاد تنش اکسیداتیو، التهاب و اختلالات زیستی بر سلامت موجودات زنده و انسان اثر بگذارند. با توجه به وجود شکاف‌های پژوهشی در زمینهٔ اثرات مزمن و استانداردسازی روش‌های اندازه‌گیری میکروپلاستیک‌ها، تدوین راهبردهای پایش یکپارچه، مدیریت پسماند و کاهش آلودگی میکروپلاستیکی در کشور بسیار ضروری می‌باشد.

* نویسندهٔ مسئول: حسین محمدزاده

E-mail: mohammadzadeh@um.ac.ir

مقدمه

پلاستیک‌ها به دلیل ویژگی‌های منحصربه‌فردی مانند وزن کم، دوام بالا، هزینه پایین و قابلیت شکل‌پذیری، به بخش جدایی‌ناپذیر زندگی مدرن تبدیل شده‌اند. تولید جهانی پلاستیک از ۲ میلیون تن در سال ۱۹۵۰ به حدود ۴۰۰ میلیون تن در سال ۲۰۲۲ افزایش یافته است و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ به بیش از ۳۳ میلیارد تن برسد. زباله‌های پلاستیکی تحت تأثیر عوامل فیزیکی (سایش، ضربه، امواج)، شیمیایی (اکسیداسیون، هیدرولیز، تخریب نوری) و زیستی (تخریب توسط میکروارگانیسم‌ها) به ذرات ریزتر، که میکروپلاستیک نامیده می‌شوند، تجزیه می‌شوند و به معضلی زیست‌محیطی تبدیل شده‌اند (Andrady, 2011; Geyer, Jambeck & Law, 2017; Worm, Lotze & Jubinville, 2017; Song, Zhao & Wang, 2026).

مفهوم میکروپلاستیک برای نخستین‌بار در سال ۲۰۰۴ توسط تامپسون و همکارانش مطرح شد؛ آن‌ها این اصطلاح را برای اشاره به ذرات پلاستیکی با قطر کمتر از ۵ میلی‌متر به‌کار بردند (Thompson et al., 2004). با این حال، پیش‌تر در سال ۱۹۹۷، چارلز مور هنگام مشاهده یک منطقه ابری‌شکل در میان اقیانوس آرام که تا اعماق آب گسترش یافته بود و سرشار از خرده‌های پلاستیکی بود، در واقع با همان پدیده‌ای مواجه شد که امروزه تحت عنوان میکروپلاستیک شناخته می‌شود. پژوهش‌های بعدی نشان داده‌اند که حضور این ذرات منحصر به اقیانوس‌ها و دریاها نیست، بلکه ردپای آن‌ها در آب‌های شیرین سطحی و زیرزمینی، خاک و حتی هوای تنفسی نیز به اثبات رسیده است (Lee & Kim, 2022).

ایران با تولید سالانه ۴ میلیون تن پسماند پلاستیکی و نرخ بازیافت تنها ۱۰ تا ۱۲ درصد، یکی از کشورها با مدیریت پسماند ضعیف در جهان محسوب می‌شود. طبق شاخص زباله‌های مدیریت شده (MWI[1])، میزان زباله‌هایی که تحت‌تأثیر سوءمدیریت وارد طبیعت می‌شوند در کره جنوبی با پایین‌ترین نرخ در حدود ۲/۶ درصد و اریتره با ۹۷/۵ درصد بیش‌ترین نرخ رهاسازی پلاستیک، در طبیعت را دارند. این مقدار در ایران ۷۸/۴ درصد و در کشورهای حاشیه خلیج‌فارس و همسایه‌های ایران بالاتر از ۸۰ درصد قرار دارد که بسیار بالاتر از میانگین جهانی (۴۳ درصد) است (Plastic Overshoot Day Report, 2024). موقعیت جغرافیایی ایران با دسترسی به خلیج‌فارس، دریای عمان و دریای خزر، این کشور را در معرض آلودگی میکروپلاستیک فرامنطقه‌ای قرار داده است. به طوری که مطالعهٔ مروری نظام‌مند محمدزاده و رضی (Mohammadzadeh & Razi, 2026) در بررسی مطالعات منطقه نشان داد که آلودگی میکروپلاستیک در کشورهای حوضهٔ خلیج‌فارس یک پدیدهٔ فرامرزی است که از سه مسیر اصلی گردوغبار (با وزش بادهای غالب شمال غربی به جنوب شرقی)، جریان‌های دریایی خلیج‌فارس و آبخوان‌های مشترک (مانند ایران و عراق) انتقال می‌یابد و هیچ یک از کشورهای منطقه به تنهایی قادر به مهار آن نیستند.

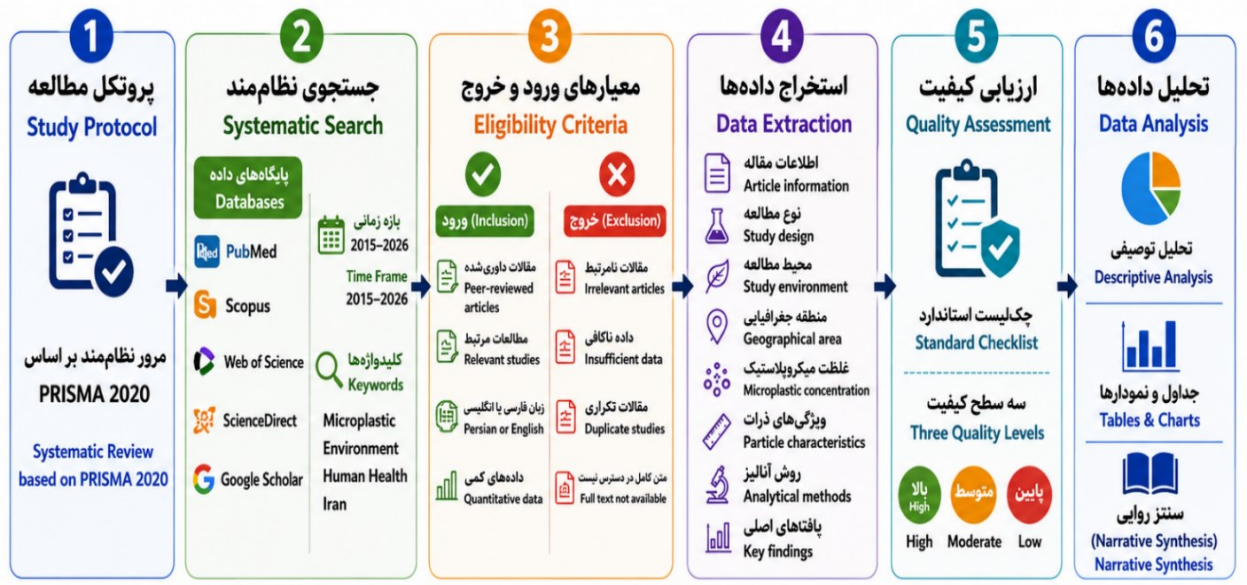
بنابراین با توجه به افزایش روزافزون تولید و مصرف پلاستیک در جهان و ایران، و شواهد فزاینده مخاطرات میکروپلاستیک‌ها بر سلامت انسان و محیط‌زیست، این مطالعه مروری نظام‌مند[2] با اهداف زیر انجام شد: (۱) بررسی جامع منابع و مکانیسم‌های تشکیل میکروپلاستیک‌ها، (۲) تحلیل الگوهای پراکندگی میکروپلاستیک در محیط‌های مختلف (آب سطحی، خاک، هوا و آب‌های زیرزمینی)، (۳) ارزیابی مخاطرات میکروپلاستیک بر سلامت انسان و محیط‌زیست، و (۴) ارائه تحلیل جامع از وضعیت پژوهش‌های میکروپلاستیک در ایران.

مواد و روش‌ها

این مطالعه؛ مروری نظام‌مند بر اساس دستورالعمل PRISMA[3] 2020 انجام و پروتکل مطالعه بر اساس چک‌لیست PRISMA انجام گردیده است. به منظور جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز، جستجوی نظام‌مند در پایگاه‌های مختلف داده (PubMed، Scopus،

1- Managed Waste Index
2- Systematic Review
3- Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses

Google Scholar ،ScienceDirect ،Web of Science) انجام شد. بازه زمانی جستجو از اول ژانویه ۲۰۱۵ تا ۳۱ مه ۲۰۲۶ با ترکیب کلیدواژه‌های زیر با عملگرهای بولی (AND/OR) شامل: “microplastic” OR “micro-plastic” OR “nanoplastic” OR “plastic particle” -OR “environment” OR “aquatic” OR “marine” OR “freshwater” OR “soil” OR “terrestrial” OR “atmosphere” OR “airborne” OR “groundwater” “human health” OR “toxicity” OR “oxidative stress” OR “inflammation” OR “endocrine disruption” OR “genotoxicity” -OR “Iran” OR “Persian Gulf” OR “Caspian Sea” OR “Oman Sea” صورت گرفته است. کیفیت مطالعات وارد شده با استفاده از چک‌لیست‌های ارزیابی انتقادی مؤسسه (JBI[1]) برای مطالعات مشاهده‌ای و محیطی ارزیابی شد. مقالات بر اساس معیارهای طراحی مطالعه، روش‌های نمونه‌برداری، کنترل آلودگی، روش‌های آنالیز و شفافیت در ارائه نتایج، در سه سطح کیفیت بالا، متوسط و پایین طبقه‌بندی شدند. مقالات با کیفیت پایین از تحلیل نهایی حذف و داده‌های استخراج شده به صورت توصیفی در جداول خلاصه، نمودارها و تحلیل‌های موضوعی ارائه شد. به دلیل تنوع زیاد در روش‌های اندازه‌گیری و واحدهای گزارش‌شده، یافته‌ها به صورت روایی[2] سنتز شدند. معیارهای ورود و خروج مقالات در فرایند مطالعه، و نحوه استخراج، ارزیابی کیفیت و تحلیل داده‌ها در شکل ۱ لیست شده است.



شکل ۱ – فرایند روش مرور نظامند در مطالعهٔ مستندات مرتبط با نقش آلاینده‌های میکروپلاستیک بر محیط‌زیست و سلامت انسان

Fig. 1. Process of the systematic review method in studying the documents related to the role of microplastic pollutants on the environment and human health

نتایج و بحث

منابع و مکانیسم‌های تشکیل میکروپلاستیک

میکروپلاستیک‌ها گروهی بسیار ناهمگن و متنوع از ذرات هستند که از نظر ترکیب شیمیایی، شکل ظاهری، رنگ، ابعاد و چگالی تفاوت‌های چشمگیری دارند (Andrady et al., 2017). این تنوع ذاتی، نقشی کلیدی در نحوهٔ جابه‌جایی و توزیع آن‌ها در محیط‌های مختلف ایفا می‌کند و از سوی دیگر، فرآیندهای مربوط به سنجش سمیت، ردیابی و شناسایی این آلاینده‌ها را با پیچیدگی‌های فراوانی مواجه می‌سازد (Koelmans et al., 2019).

1- Joanna Briggs Institute Checklist
2- Narrative

ترکیب شیمیایی و چگالی از ویژگی‌های کلیدی میکروپلاستیک‌ها هستند. این ذرات از پلیمرهایی ساخته می‌شوند که حاصل پیوند مونومرها (اجزای سازنده) هستند. در طی تولید، افزودنی‌های متنوعی (مانند رنگ‌ها، تثبیت‌کننده‌ها، پرکننده‌ها و تقویت‌کننده‌ها) به آن‌ها افزوده می‌شود که خواص فیزیکی و شیمیایی آن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Hahladakis, Velis, Weber, Iacovidou & Purnell, 2018). ترکیب نهایی پلیمر، تعیین‌کنندهٔ چگالی پلاستیک است (Driedger, Dürr, Mitchell & Cappellen, 2015). برای نمونه، پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن که چگالی پایینی دارند، بر روی آب شناور می‌شوند، در حالی‌که پلی‌اتیلن‌ترفتالات، پلی‌وینیل‌کلراید، پلی‌آمید و پلی‌استایرن به دلیل چگالی بیشتر (بیش از یک گرم بر سانتی‌متر مکعب)، در آب ته‌نشین می‌شوند (Winterling & Sonntag, 2011; Shah, Hasan & Hameed, 2008). دانسیته‌ی پلاستیک‌های پر مصرف در جدول ۱ ارائه شده است. در حال حاضر، از میان پلاستیک‌ها، بیشترین تقاضا به ترتیب مربوط به پلی‌اتیلن (۳۶درصد)، پلی‌پروپیلن (۲۱درصد)، پلی‌وینیل‌کلراید (۱۲درصد) و سپس برای پلی‌استایرن، پلی‌اتیلن‌ترفتالات، پلی‌اورتان و سایر پلیمرها است (Geyer et al., 2017). نتایج مطالعات نشان‌دهندهٔ آن است که نوع پلیمرهای شناسایی شده در محیط آبی نیز با بیشترین تقاضای این پلاستیک‌ها مطابقت دارد.

جدول ۱ – مقادیر دانسیته پلاستیک‌های مختلف (پلیمرهای پر مصرف) در دمای اتاق

Table 1- Density values of different plastics (Widely used polymers) at room temperature

نوع پلیمر (Type of polymer)	نام لاتین (Latin name)	علامت اختصاری (Acronym)	دانسیته (Density) (g/cm³)
پلی‌پروپیلن	Polypropylene	PP	0.85-0.92
پلی‌اتیلن با دانسیته پایین	low density polyethylene	LDPE	0.89-0.93
پلی‌اتیلن با دانسیته بالا	Hight density polyethylene	HDPE	0.94-0.98
پلی‌استایرن	Poly styrene	PS	1.04-1.06
پلی‌آمید	Poly amid	PA	1.13-1.16
پلی متیل متاکریلیک	Metha crylic polymethyl	PMMA	1.16-1.20
پلی‌اورتان	Poiyurethane	PUR	1.2
پلی ونیل کلراید	Polyvinyl chloride	PVC	1.38-1.41
پلی تترافلوئوراتیلن	Polytrafluoroethylene	PTEE	1.3-2.2

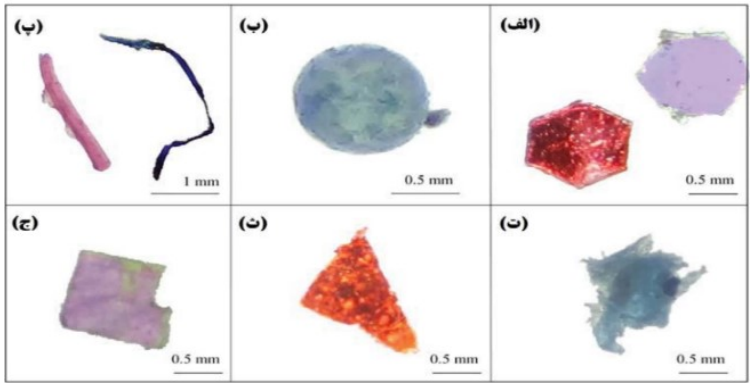
میکروپلاستیک‌ها از نظر منشأ به دو گروه اولیه و ثانویه تقسیم می‌شوند. ذرات اولیه، ذراتی هستند که در محدوده اندازه میکروپلاستیک تولید شده‌اند (جدول۲) (Ma B et al., 2019)، در حالی که ذرات ثانویه ناشی از تکه‌تکه شدن پلاستیک‌های بزرگتر تحت تأثیر عوامل فیزیکی و شیمیایی مانند: زیست‌تخریبی[1]، آب کافت[2]، تخریب اکسایشی[3]، تخریب نوری[4]، تخریب گرمایشی[5] و یا ضربه و ساییدگی به وجود می‌آیند (Eerkes-Medrano, Thompson & Aldridge, 2015). بقایای پلاستیک‌ها در محیط، طیف گسترده‌ای از اشکال را شامل می‌شود. رایج‌ترین اشکال میکروپلاستیک‌ها در محیط فرم میله‌ای، گرانوله و چندضلعی می‌باشد (Andrady, 2011). معمولاً شکل میکروپلاستیک‌ها در محیط تغییر چندانی نمی‌کند و مشابه شکل اولیه خود باقی می‌ماند (Wagner et al., 2014). شکل ۲ اشکال میکروپلاستیک‌ها را در محیط نشان می‌دهد.

1- Biodegradation
2- Hydrolysis
3- Oxidative degradation
4- Photodegradation
5- Thermal degradation

جدول ۲ – منابع اصلی شناسی شده میکروپلاستیک‌های اولیه در مطالعات

Table 2 - Main identified sources of primary microplastics in studies

منبع (Source)	کاربرد (Application)	سهم تقریبی (Approximate share)	مرجع (Reference)
گرانول‌های صنعتی (نردل) Industrial granules (Nardel)	مواد اولیه تولید پلاستیک Raw materials for plastic production	—	Geyer et al., 2017
میکروبیدهای آرایشی Cosmetic microbeads	محصولات مراقبتی (اسکراب، خمیردندان) Care products (scrubs, toothpaste)	—	Ma B et al., 2019
الیاف مصنوعی Synthetic fibers	شست‌شوی لباس‌های پلی‌استری و نایلونی Washing polyester and nylon clothes	35%	Boucher & Friot, 2017
سایش لاستیک Tire wear	حمل‌ونقل جاده‌ای Road transport	28%	Wagner et al., 2018
پوشش‌های لاستیکی جاده Rubber road surfaces	اصطکاک خودرو با جاده Car friction with the road	5- 10%	Kole, Löhr, Van Belleghem & Ragas, 2017



شکل ۲ – اشکال مختلف میکروپلاستیک‌ها در محیط؛ الف) چندضلعی(قطعه‌ای)، ب) کروی، پ) میله‌ای یا فیبری(الیاف)، ت) بی‌نظم، ث) مثلثی، ج) مربعی

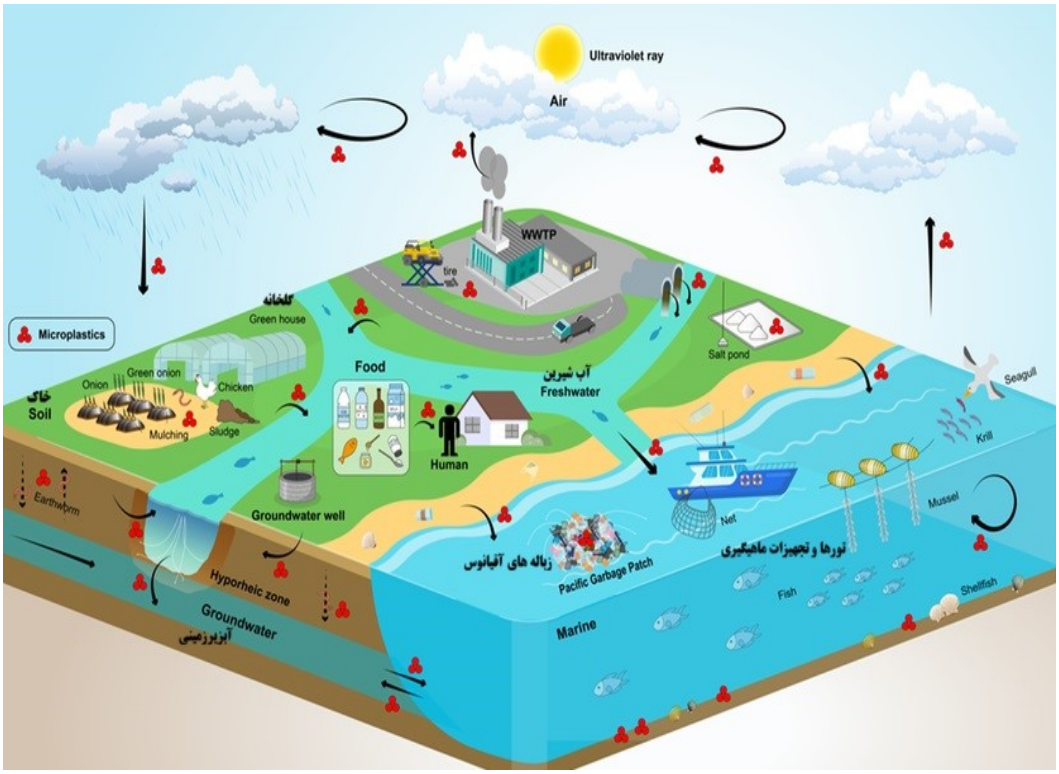
Fig. 2. Different forms of microplastics in environment; a) polygonal (Fragments), b) spherical, c) rod or fiber, d) irregular, e) triangular, f) square (Bradney et al., 2019).

پراکندگی فرامرزی میکروپلاستیک‌ها در محیط‌های مختلف

آلودگی ناشی از میکروپلاستیک‌ها را نمی‌توان یک معضل موضعی و محدود به مبدأ تولید تلقی کرد؛ بلکه پدیده‌ای فرامرزی و چندمحیطی است که از مرزهای جغرافیایی و بوم‌سامانه‌ها[1] عبور می‌کند. شواهد نشان می‌دهد که حدود ۲۸ درصد از میکروپلاستیک‌های موجود در دریاها ناشی از سایش پوشش‌های لاستیکی جاده‌ها و یا ذرات پلاستیکی معلق در هوا هستند. این ذرات به دلیل قابلیت انتقال در فواصل طولانی، حتی به مناطق دوردست و غیرمسکونی نیز راه می‌یابند و دامنه آلودگی را گسترش می‌دهند. ازاین‌رو، مطالعه و مدلسازی این نوع آلودگی با پیچیدگی‌های فراوانی همراه است. پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهند که فرایند تخریب پلاستیک‌ها در طبیعت نه تنها سریع، بلکه از نظر کیفی نیز چشمگیر است؛ به‌گونه‌ای که عواملی نظیر آب‌های شور، تابش فرابنفش و برهم‌کنش با ذرات خاک، می‌توانند پلاستیک‌ها و میکروپلاستیک‌ها را به ترکیباتی خطرآفرین برای سلامت موجودات زنده تبدیل کنند. از زمانی که نخستین بار این ذرات در اقیانوس آرام شناسایی شدند، گستره تحقیقات به‌سرعت از دریا به هوا،

1- Ecosystem

آب‌های سطحی و زیرزمینی، خاک، جانداران و حتی بدن انسان کشیده شده است و همگی بر تعاملات پیچیده و متقابل این محیط‌ها با یکدیگر صحه می‌گذارند (Lee & Kim, 2022). نمای شماتیک این تعاملات در شکل ۳ به تصویر کشیده شده است.



شکل ۳ – جابه‌جایی میکروپلاستیک‌ها در محیط

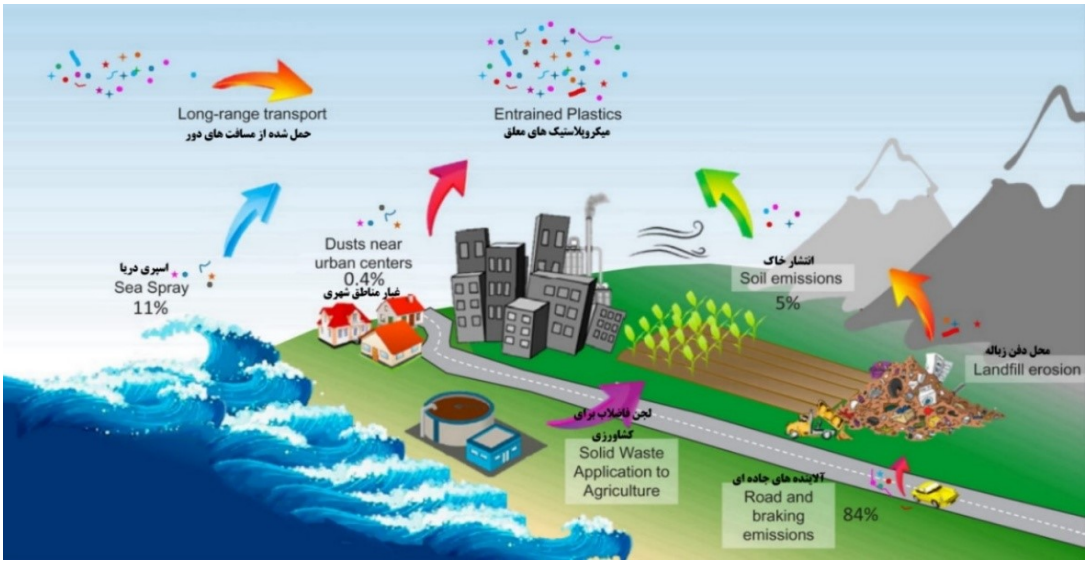
Fig. 3. Transfer of microplastics in the environment (Lee & Kim, 2022)

میکروپلاستیک‌های موجود در هوا

پژوهش در زمینه آلودگی اتمسفری میکروپلاستیک‌ها پس از آنکه نخستین نشانه‌های حضور این ذرات در هوای پاریس در سال ۲۰۱۵ به ثبت رسید، شتابی چشمگیر یافت. شواهد حاصل از بررسی مناطق دوردست و فاقد سکنه، که هیچ گونه فعالیت انسانی در آنها صورت نمی‌گیرد، نشان می‌دهد که انتقال میکروپلاستیک‌ها از طریق جو و تحت تأثیر الگوهای جوی، محتمل‌تر از آن است که پیش‌تر تصور می‌شد (Allen et al., 2021). بنابراین عامل کلیدی در پراکنش اتمسفری میکروپلاستیک‌ها، الگوهای جوی هستند؛ به‌گونه‌ای که غلظت این ذرات در شرایط بارانی و سرمای زمستان اوج می‌گیرد و در بهار و تابستان کاهش می‌یابد (Chu, Li, Li , yan & Shen, 2019). قابلیت شناوری بالای این ذرات در هوا، ناشی از ویسکوزیته پایین آن‌هاست (Cai et al., 2017) و به نظر می‌رسد که این ذرات به‌صورت مداوم میان سطح خاک و لایه‌های هوایی در رفت‌وآمد هستند (Allen et al., 2020). از سوی دیگر، پدیده‌هایی نظیر توفان‌های گردوغبار، تغییرات اقلیمی و تخریب فیزیکی مواد پلاستیکی، سهم عمده‌ای در تولید این آلاینده‌ها دارند (شکل ۴) (Klein & Fischer, 2019). بررسی‌ها نشان می‌دهد که پلیمرهای PP[1]، PS[2] و PET[3] فراوان‌ترین انواع میکروپلاستیک در نمونه‌های هوایی هستند (Munyaneza et al., 2022).

1- Polypropy
2- Polystyren
3- Polyethylene terephthalate

در مطالعاتی که در ایران انجام شده است و خلاصه‌ای از آن در جدول ۳ آورده شده است نشان می‌دهد نزولات جوی و پدیده‌های آب و هوایی عامل اصلی پراکندگی میکروپلاستیک‌ها در ایران نیز هستند به طوری که مطالعات در شیراز نشان داد بارش اولیه به عنوان یک شستشو دهنده کارآمد برای میکروپلاستیک‌های اتمسفری عمل می‌کند و غلظت در بارش ابتدایی تا ۱۳۰ ذره در مترمربع در ساعت افزایش می‌یابد (Abbasi et al., 2024). بررسی برف در شمال ایران نیز نشان داد غلظت میکروپلاستیک بین ۰ تا ۸۶ ذره در لیتر (میانگین ~۲۰) متغیر است و الیاف نایلونی شکل غالب هستند (Abbasi et al., 2022).



شکل ۴ – منبع میکروپلاستیک‌های موجود در هوا

Fig. 4. The source of microplastics in the air (Brahney et al., 2021)

جدول ۳ – غلظت میکروپلاستیک در هوای شهرهای مختلف ایران

Table 3 - Microplastic concentration in the air of different cities in Iran

مرجع (Reference)	منبع اصلی (Original source)	شکل غالب (Dominant form)	غلظت (Concentration)	شهر (City)
Bazzazpour et al., 2026	ترافیک(لاستیک) Traffic (tire)	PA ،PE ،PP	(ng/m³)876± 636	تهران Tehran
Jahedi et al., 2025	صنایع پتروشیمی Petrochemical industries	الیاف مشکی-خاکستری Black-gray fibers	0.16-1.11 (particle/m³)	ماهشهر Mahshahr
Abbasi & Turner, 2021	منابع محلی + دوربرد Local + Long-range Resources	الیاف (>99%) Fibers	0.1-1.3 (particle/m³)	شیراز (تر،خشک) Shiraz (wet, dry)
Abbasi et al., 2023	نساجی و پارچه Textiles and fabrics	الیاف Fibers	(particle/m³)0.017	اهواز Ahvaz
Abbasi et al., 2019	صنعتی-شهری Industrial-urban	الیاف Fibers	(particle/m³)~1	عسلویه Asaluyeh
(Mokammel et al., 2025)	کمپوست و زباله Compost and waste	الیاف (~64%) Fibers	1.7-24.7 (particle/m³)	مجتمع پردازش پسماند تهران Tehran waste processing complex

میکروپلاستیک‌های موجود در محیط‌های آبی

اولین مناطقی که مورد مطالعهٔ میکروپلاستیک‌ها قرار گرفت دریا ها بودند. رایج‌ترین انواع پلاستیک‌ها در محیط دریا عبارتند از PE, PP, PS و PVC[1] (Cressey, 2016). صنعت شیلات و تورهای ماهی‌گیری تقریباً ۶۴۰ هزارتن یعنی در حدود ۱۰ درصد از کل زباله‌های آبی- دریایی را تشکیل می‌دهند (Macfadyen, Huntington & Cappell, 2009). تورها و تجهیزات ماهیگیری به دلیل تخریب‌زیستی، تجزیه‌نوری ویا هیدرولیز به میکروپلاستیک تبدیل می‌شوند (Lee & kim, 2022). در اعماق اقیانوس نرخ تشکیل میکروپلاستیک به دلیل دمای کم آب بسیار کم است در حالی که در ماسه‌های ساحلی دما به ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد نیز می‌رسد که تخریب سریع‌تر میکروپلاستیک‌ها را در پی دارد (Wagner et al., 2018). متاسفانه دامنه‌ی تحقیقات میکروپلاستیک‌ها به میکروارگانیسم‌های اکولوژی دریایی و زنجیره‌های غذایی گسترش یافته است. موجوداتی که در معرض آب‌هایی با غلظت بالای میکروپلاستیک قرارگرفته‌اند ۴۱ درصد لارو کمتری نسبت به سایرین که در آب تمیز بوده‌اند تولید می‌کنند (Cressey, 2016). میکروپلاستیک‌ها با توجه به رنگ و شکل‌های مختلفی که دارند رژیم مورد علاقه برخی از شکارچیان آبی هستند و حتی در زنجیرهٔ غذایی جلبک‌ها نیز جای دارند. بنابراین دانشمندان اخیراً مفهوم نانو پلاستیک ثانویه که از تجزیه زیستی میکروپلاستیک‌های حاصل از هضم و انباشگی در زنجیره‌ی غذایی است را معرفی کرده‌اند (Lindeque et al., 2020). این میکرو یا نانو پلاستیک‌ها می‌توانند جاذب مواد و عناصر سمی باشند. در شکل ۵ چرخهٔ میکروپلاستیک‌ها در محیط دریایی نشان داده شده است. در ایران نیز مطالعات متعددی در رابطه با میکروپلاستیک‌ها در محیط‌های آبی صورت گرفته است که نشان‌دهنده‌ی گستردگی آلودگی میکروپلاستیک است. در جدول ۴ خلاصه ای از مطالعات انجام شده در مناطق دریایی، رودخانه و تالاب‌های ایران آورده شده است.

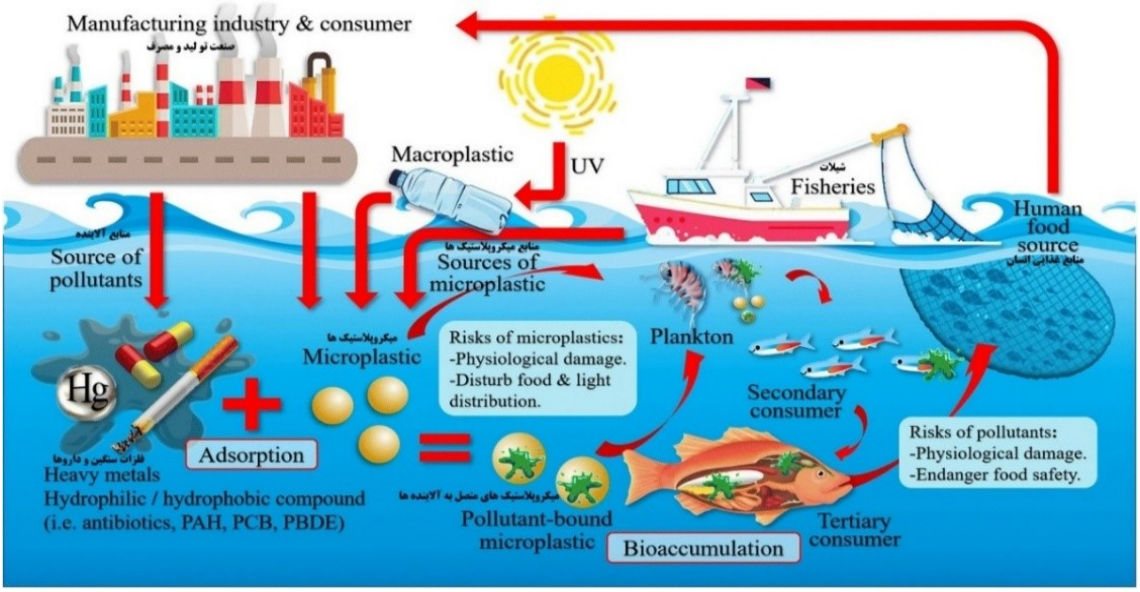
جدول ۴ – غلظت میکروپلاستیک در آب و رسوبات دریایی، رودخانه‌ای و تالاب‌های ایران

Table 4 - Microplastic concentrations in water and sediments of marine, river and wetlands in Iran

مرجع Reference	پلیمر غالب Dominant polymer	شکل غالب Dominant form	غلظت در رسوب Concentration in sediment	غلظت در آب Concentration in water	منطقه Area
Gholizadeh et al., 2024	PE, PP	الیاف Fibers	601 ± 1346 (particles/kg)	10^{4} × 1.67 (particles/km^2)	استان بوشهر Bushehr province
Nabizadeh, Sajadi, Rastkari & Yaghmaeian, 2019	EPS, PET, PP, PE	—	2766±3252 (particle/m^2)	—	بندرعباس Bandar Abbas
Hosseini, Sayadi, Aazami & Savabieasfehani, 2020	PE, PET، نایلون Nylon	قطعات، الیاف Fragments, fibers	468–112 (particles/kg)	86–362 (particles/L)	چابهار (دریای عمان) Chabahar (Sea of Oman)
Akhbarizadeh, Moore, Keshavarzi & Moeinpour, 2017	—	قطعات، الیاف Fragments, fibers	217–59 (particles/200g)	—	جزیره خارک Khark Island
Allami, Afzali & Mirzaei, 2023	—	الیاف fibers	(particles/kg) 588 (surface)	—	سه بندر دیر، کنگان، سیراف Three ports: Dir, Kangan, Siraf
Maghsodian, Sanati, Ramavandi, Ghasemi & Sorial, 2021	PS, PP, PET	الیاف، قطعات Fragments, fibers	118~ (particles/kg)	—	رسوبات مغروق (جنوب) Submerged sediments (south)
Rasta, Sattari, Taleshi & Namin, 2020	PP, PE، PA	الیاف fibers	2820–140 (particles/kg)	4.41–0.19 (particles/m^3)	تالاب انزلی Anzali lagoon
Gholizadeh & Cera, 2022	PP (33%)	الیاف(72%) fibers	640–40 (particles/kg)	—	خور قره‌سو (گرگان) Khor Qarasu (Gorgan)

1- Polyvinyl chloride

Abbasi, 2021	PE, PP, PS	الیاف fibers (>90%)	71 particles (total)	—	تالاب هشیلان Hashilan Wetland
Vayghan, Rasta, Zakeri & Kelly, 2022	PE (36.6%)	الیافFibers (%53.5)	528-32 (particles/kg)	43-1 (particles/m³)	رودخانه ارس Aras River
Naeeji, Rafeei, Azizi, Hashemi & Eslami, 2020	—	الیاف، قطعات Fragments, fibers	—	—	رودخانه هراز Haraz River
Abbasi & Turner, 2022	PET, PE، نایلون Nylon	—	Up to 860 (particles/kg)	0.05-2 (particles/L)	دریاچه مهارلو Maharloo Lake



شکل ۵– سفر میکروپلاستیک‌ها و تأثیر آنها بر محیط دریایی

Fig. 5. The journey of microplastics and their impact on the marine environment (Amelia et al., 2021).

در منابع آب زیرزمینی که ۹۷ درصد آب شیرین قابل دسترس در جهان را تشکیل می‌دهند، بررسی آلودگی میکروپلاستیک‌ها بسیار ضروری است. مطالعات دراین زمینه از سال ۲۰۱۷ آغاز شد (Shi et al., 2022). مطالعات میکروپلاستیک در آبهای زیرزمینی تمرکز بر بررسی غلظت، نوع پلیمر، شکل و رنگ میکروپلاستیک‌ها در محیط آبخوان‌ها و تاثیر میکروپلاستیک‌ها بر روی آبخوان‌ها است. این در حالی است که مطالعات میکروپلاستیک‌ها در آب‌های سطحی یک دهه قبل یعنی در سال ۲۰۰۷ شروع شده است (Viaroli, Lancia & Re, 2022). با این حال در سال‌های اخیر مطالعاتی بر روی آب‌های زیرزمینی در ایران صورت گرفته است که حکایت از پراکندگی این آلاینده در سفرهای آب‌زیرزمینی کشور دارد که در جدول۵ به اختصار آورده شده است. مطالعات نشان می‌دهد که میکروپلاستیک‌ها در آبخوان به دلیل مقاومت ذاتی در برابر تخریب برای مدت طولانی‌تری باقی می‌مانند که در نتیجه به طور بالقوه منجر به آلودگی طولانی مدت و نیز منبعی برای جذب سایر آلودگی‌ها در آب‌های زیرزمینی می‌شوند (Esfandiari et al., 2022). آب‌های زیرزمینی آلوده به میکروپلاستیک‌ها می‌توانند بر اکوسیستم خاک تأثیر منفی بگذارند، چرخهٔ مواد مغذی را مختل و جوامع میکروبی را تغییر دهند و در نهایت بر عملکرد کلی و انعطاف‌پذیری اکوسیستم‌های وابسته به آب‌های زیرزمینی اثر بگذارند (Zhang et al., 2023). علاوه بر این‌ها، میکروپلاستیک‌ها می‌توانند به عنوان انتقال دهنده‌هایی برای مواد شیمیایی مضر و پاتوژن‌ها عمل کنند و پیامدهای بالقوهٔ اکولوژیکی آنها را تشدید کنند (Selvam, Jesuraja, Venkatramanan, Roy & Kumari, 2021).

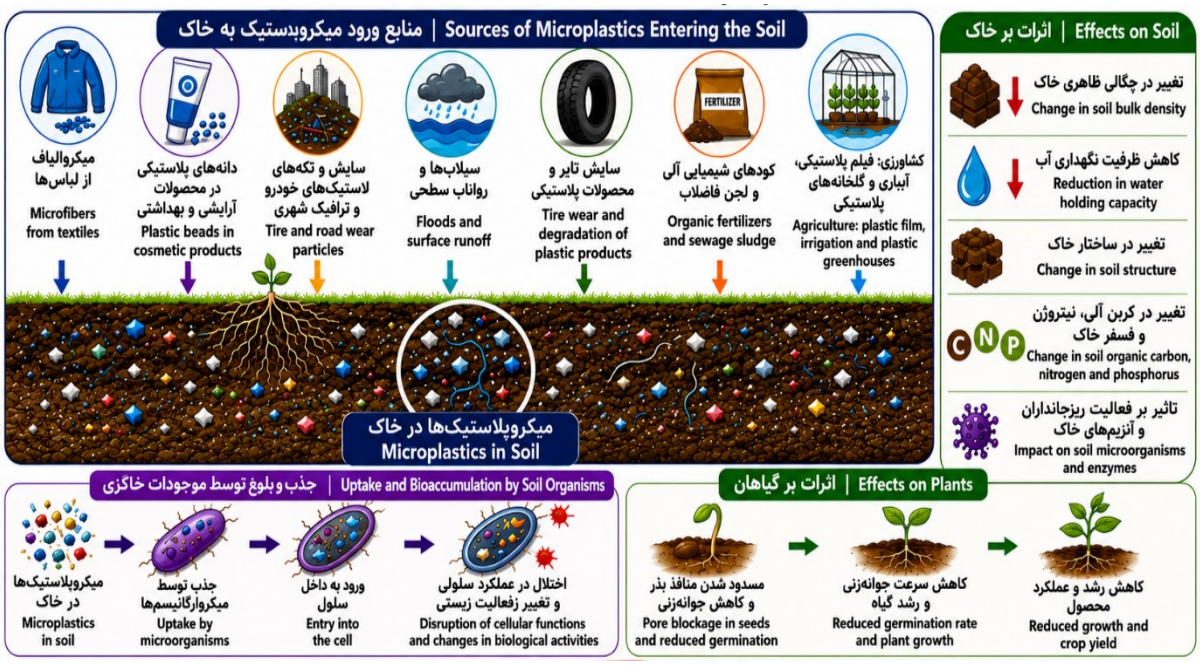
جدول ۵ - غلظت میکروپلاستیک در آب‌های زیرزمینی ایران
Table 5 - Microplastic concentration in Iranian groundwater

مرجع (Reference)	پلیمر غالب (Predominant polymer)	شکل غالب (Dominant form)	غلظت (Concentration)	منطقه (Area)
Esfandiari et al., 2022	PS, PE, PET	Fibers ≤500 µm	1.3–0.1 (particles/L)	شیراز Shiraz
Ghanbari, Mohammadi, Hashemi & Attar, 2026	PP, PE	الیاف Fibers	9-54(با نوسان فصلی with seasonal fluctuations)	کرمان Kerman
Taghipour, Ghayebzadeh, Ganji, Mousavi & Azizi, 2023	PS	—	(particles/m³) 15-52	زاهدان (آب خام) Zahedan (raw water)
Mohammadi, Malakootian, Dobaradaran, Hashemi & Jaafarzadeh, 2022	نایلون Nylon	الیاف Fibers	(particles/L) 79~	بوشهر (شیرابه زباله) Bushehr (waste leachate)
Razi & Mohammadzadeh, 2025	—	قطعه‌ای و فیبری Fragment and fiber	(particles/L) 40~	سبزوار (قنات کیذقان) Sabzevar (Keyzaqan Aqueduct)

میکروپلاستیک در خاک و اکوسیستم‌های خشکی

خاک نیز همانند آب به عنوان مخزن اصلی آلاینده‌ها عمل می‌کند و می‌تواند میکروپلاستیک‌های بیشتری نسبت به اقیانوس‌ها را در خود ذخیره کند به همین دلیل میکروپلاستیک یک تهدید درحال ظهور برای اکوسیستم‌های زمینی در نظر گرفته می‌شود (Hurley & Nizzetto, 2018). مطالعات اخیر به طور نگران کننده‌ای احتمال وجود میکروپلاستیک را ۴ تا ۲۳ برابر بیش‌تر از آن چیزی که تا کنون برآورد می‌شده را نشان می‌دهد. تمرکز بیش‌تر میکروپلاستیک‌ها بر روی زمین نسبت به اقیانوس‌ها، به دلیل فراوانی نقاط ورودی مانند میکروالیاف‌ها از طریق لباس‌ها، دانه‌های پلاستیکی از محصولات مراقبت شخصی، جامدات زیستی (Ziajahromi, Neale, Rintoul & Leusch, 2017) سایت‌های دفن زباله در مراکز شهری و صنعتی (Nizzetto, Bussi, Futter, Butterfield & Whitehead, 2016)، سیلاب‌ها، زباله‌های جاده‌ای، تخلیهٔ غیرقانونی زباله (Blasing & Amelung, 2018)، فرسودگی محصولات لاستیکی (Wagner et al., 2018)، رسوب ذرات اتمسفری (Dris, Gasperi, Saad, Mirande & Tassin, 2016)، کودهای شیمیای و آلی و لجن‌های فاضلاب، مالچ پاشی خاک، آبیاری توسط فاضلاب، تجهیزات مورد استفاده در گلخانه‌ها و لوله های پلی‌اتیلن در کشاورزی می‌باشد (Sintim & Flury, 2017). آلودگی میکروپلاستیکی خاک موجب می‌شود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک تغییر کند به طوری که باعث تغییر چگالی ظاهری، ظرفیت نگهداری آب، ساختار خاک و به طور کلی بر دینامیک خاک اثر می‌گذارد و همین طور موجب تغییر در کربن آلی، فسفر و نیتروژن خاک نیز می‌شود (Lee & Kim., 2022). مطالعات نشان می‌دهد استفاده از کود آلی (لجن فاضلاب) تأثیر منفی بر رشد گندم دارد، به طوری که سرعت جوانه‌زنی در مواجه با میکروپلاستیک‌ها کاهش می‌یابد. در واقع میکروپلاستیک‌ها به طور فیزیکی منافذ بذر را مسدود کرده و در جذب رطوبت اختلال ایجاد می کنند و در نتیجه جوانه‌زنی را به تأخیر می‌اندازند (Foitzik, Unrau, Gauterin, Dörnhöfer & Koch, 2018). جذب سلولی نانوپلاستیک‌ها در کشت سلولی گیاه تنباکو توسط تصاویر فلوروسنت تأیید شده است (Li L, Zhou, Yin & Tu, 2019). از سوی دیگر، نتایج به دست آمده از سایر پژوهش‌ها، اثرگذاری میکروپلاستیک‌ها بر ساختار جوامع زیستی و نیز فعالیت ریزجانداران و آنزیم‌های خاک را تأیید نموده است. کاربرد گسترده کودها در خاک‌های کشاورزی، در کنار توزیع فراگیر ذرات پلاستیکی در مزارع، باعث حضور توأم و همزمان ترکیبات

کودی و میکروپلاستیک‌ها در اراضی کشاورزی شده است (Yi, Zhou, Zhang & Ding, 2021). شکل ۶ اینفوگرافی میکروپلاستیک‌ها در اکوسیستم خاک را نشان می‌دهد. مطالعه غلظت میکروپلاستیک در خاک و کمپوست ایران (جدول ۶)، نشان می‌دهد غلظت میکروپلاستیک در خاک‌های کشاورزی بین ۴۳ تا ۲۴۴۳ ذره بر کیلوگرم و در خاک‌های شهری بین ۴۰ تا ۴۳۰۰۰ ذره بر کیلوگرم گزارش شده است (Rehman et al., 2026).



شکل ۶ – اینفوگرافی میکروپلاستیک‌ها در اکوسیستم خاک

Fig. 6. Infographics Microplastics in the soil ecosystem.

جدول ۶ – غلظت میکروپلاستیک در خاک و کمپوست ایران

Table 6 - Microplastic concentration in Iranian soil and compost

مرجع (Reference)	پلیمر غالب (Dominant polymer)	شکل غالب Dominant) (form	غلظت Concentration (particles/kg)	منطقه (Region)
Hoshyari, Hassanzadeh, Keshavarzi, Jaafarzadeh & Rezaei, 2023	نایلون(29%), PE (29%)	قطعات(43%) Fragments	93~ (شهری) (urban)	خاک شیراز Shiraz soil
Rahmani et al., 2023	LDPE (35%), HDPE (33%)	الیاف(71%) Fibers	16,940 – 76,513	زباله‌گاه همدان Hamedan landfill
Asadi, Ghayebzadeh, Mousavi, Taghipour & Aslani, 2025	—	قطعات، فیلم Fragments, film	470~	زباله‌گاه تبریز Tabriz landfill
Fowzi, Ebrahimpour, Dehnavi, Jamshidi & Andaluri, 2025	PET, PE, پلی‌اولفین polyolefin	قطعات (49–51%) Andaluri	34,267 – 44,267	کمپوست (اصفهان) Compost (Isfahan)

میکروپلاستیک‌های موجود در ماهیان، آبزیان و دوزیستان

مطالعات جهانی نشان می‌دهد که آلودگی میکروپلاستیک در آبزیان به یک نگرانی زیست‌محیطی و بهداشتی در سطح بین‌المللی تبدیل شده است. یک مرور جهانی در سال ۲۰۲۲ وجود میکروپلاستیک را در ۸۸۷ گونه ماهی در هفت قاره گزارش کرد که ۴۵ درصد از ماهی‌ها به طور میانگین۵/۹۳ ذره میکروپلاستیک را بلعیده بودند (Asian Fisheries Society, 2022). مطالعه جامع دیگری در سال ۲۰۲۳ با بررسی ۲۶۰ مطالعه میدانی، حضور این ذرات را در ۸۳۰ گونه ماهی وحشی شامل ۶۰۶ گونه با ارزش تجاری تأیید کرد که از این میان، ۳۴ گونه در زمره گونه‌های در معرض خطر انقراض قرار دارند (Santos, Andrades & Machovsky-Capuska, 2023). یک متاآنالیز[1] جهانی در سال ۲۰۲۲ نشان داد که میزان تجمع میکروپلاستیک در دستگاه گوارش ماهیان به طور میانگین ۲/۷۶ ذره است و این میزان در آب‌های بسته (مانند دریاچه‌ها و تالاب‌ها) به مراتب بیشتر از آب‌های آزاد است. الیاف (۷۰/۶درصد) و قطعات (۱۹/۳درصد) رایج‌ترین اشکال میکروپلاستیک بلعیده شده توسط ماهیان هستند و رنگ‌های آبی (۲۴/۲درصد) و مشکی (۱۸درصد) فراوان‌ترین رنگ‌ها را تشکیل می‌دهند (Zazouli et al., 2022). عوامل جغرافیایی مانند نزدیکی به ساحل و عرض جغرافیایی، نقش مهم‌تری نسبت به عوامل بوم‌شناختی در میزان تجمع میکروپلاستیک در بدن ماهیان ایفا می‌کنند، به طوری که گونه‌های نواحی گرمسیری و نواحی ساحلی آلودگی بیشتری را نشان می‌دهند.

در ایران نیز نتایج مطالعات (جدول ۷)، حضور گسترده میکروپلاستیک‌ها را در گونه‌های مختلف آبزی تأیید می‌کند. الگوی مشترک غالب بودن الیاف و پلی‌اتیلن در تمامی مناطق مورد مطالعه، نشان دهندهٔ منابع یکسان آلودگی (پارچه‌های مصنوعی، تجهیزات ماهیگیری و بسته‌بندی‌های پلاستیکی) در اکوسیستم‌های آبی ایران است. تجمع بیشتر میکروپلاستیک در گونه‌های کف‌زی و همه‌چیزخوار بیانگر نقش زیستگاه و عادات تغذیه‌ای در میزان جذب این ذرات است. حضور میکروپلاستیک در بافت ماهیچه‌ای گونه‌های تجاری و همچنین گونه‌های در معرض خطر انقراض، زنگ خطری جدی برای امنیت غذایی و تنوع زیستی ایران محسوب می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد که دوزیستان به دلیل پوست نفوذپذیر و چرخهٔ زندگی دوگانه (آبی- خشکی)، شاخص‌های زیستی بسیار حساسی برای آلودگی میکروپلاستیک محسوب می‌شوند. در جنگل‌های هیرکانی، قورباغه‌های Pelophylax sp و Bufotes perrini به طور میانگین ۷۲ درصد آلودگی نشان دادند که الیاف با اندازهٔ کمتر از ۰/۵ میلی‌متر و پلیمرهای پلی‌اورتان و پلی‌استایرن بیشترین فراوانی را داشتند. همچنین در رودخانه سیمره، دوزیستان حدود ۹ درصد بیشتر از ماهیان میکروپلاستیک جذب کرده بودند که نشان‌دهندهٔ آسیب‌پذیری بیشتر این گروه در برابر آلاینده‌های نوظهور است. این یافته‌ها بیانگر آن است که پایش جمعیت دوزیستان می‌تواند اطلاعات ارزشمندی برای ارزیابی سلامت اکوسیستم‌های آبی و خشکی در اختیار پژوهشگران قرار دهد. در شکل ۷ اینفوگرافی مطالعات مورد بررسی آورده شده است.

ارزیابی مخاطرات میکروپلاستیک‌ها بر سلامت انسان

میکروپلاستیک‌ها از سه مسیر اصلی بلع، استنشاق و تماس پوستی وارد بدن انسان می‌شوند (Cox et al., 2019; Prata, 2019; Prata, Lopes, Duarte & Rocha-Santos, 2020). این ذرات پس از ورود، پیامدهای نامطلوبی برای سلامت انسان به همراه دارند. برای نمونه، میکروپلاستیک‌های استنشاقی می‌توانند با انتشار در بافت ریه یا از طریق جذب سلولی، به سلول‌های تنفسی نفوذ کنند(Wright, Levermore & Kelly, 2017). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که تجمع این ذرات در کبد، منجر به اختلالات متابولیکی و در روده، سبب کاهش ضخامت مخاط، تغییر در جذب مواد مغذی و اختلال در فرآیند دفع می‌شود (Jin, Lu, Tu, Luo & Fu, 2019). نمونه‌هایی از مطالعات انجام شده در ایران که حضور میکروپلاستیک را در بدن انسان تأیید کرده‌اند، در جدول ۸ خلاصه شده است.

1 Meta-analysis

جدول۷- فراوانی میکروپلاستیک در موجودات آبزی (ماهیان، آبزیان و دوزیستان) ایران

Table 7- Frequency of microplastics in aquatic organisms (fish, aquatic animals and amphibians) in Iran

مرجع (Reference)	پلیمر غالب Dominant) (polymer	شکل غالب dominant) (form	فراوانی (Abundance)	گونه (Cheek)	منطقه (Region)	گروه (Group)
Gholizadeh et al., 2023	PE (38%), PP(%24)	(٪58) Fiber	2.26 particles/fish	5گونه تجاری commercial varieties	خلیج‌فارس (بوشهر) Persian Gulf (Busheh)	ماهیان و آبزیان Fish and aquatic animals
Esmaeilbeigi, Kazemi, Gholizadeh & Rezaeiyeh, 2023	—	میکروالیاف Microfibers	particles/g 1.5	Atropus atropos	خلیج‌فارس (بوشهر) Persian Gulf (Bushehr)	ماهیان و آبزیان Fish and aquatic animals
Amini-Birami et al., 2023	—	PA fibers	20.8–5.2 particles/sam ple	7گونه آبزی aquatic species	تالاب انزلی Anzali lagoon	ماهیان و آبزیان Fish and aquatic animals
Rasta, Sattari, Taleshi & Namin, 2021	PE	fibers	2.26–1.1 particles/fish	9گونه ماهی types of fish	تالاب انزلی Anzali lagoon	ماهیان و آبزیان Fish and aquatic animals
Maghsodian et al., 2021	(٪26) PS	—	15 particles (total)	Periophthalmus waltoni	جنگل‌های مانگرو (جنوب) Mangrove forests (south)	ماهیان و آبزیان Fish and aquatic animals
Makhdoumi, Hossini, Nazmara, Mansouri & Pirsaheb, 2021	PE, PP, PS, PA	Fibers, parts	8.12 particles/fish (روده) (gut)	ماهیان رودخانه‌ای River fish	رودخانه قره‌سو (کرمانشاه) Qarasu River (Kermanshah)	ماهیان و آبزیان Fish and aquatic animals
Rasta et al., 2020	—	—	1.46 particle (دستگاه گوارش) (digestive system)	۴ گونه (ماهیان استخوانی و تاسماهی) Bone fish and) (bony fish	دریای خزر Caspian Sea	ماهیان و آبزیان Fish and aquatic animals
Najibzadeh, Kazemi, Esmaeilbeigi & Hassan, 2025	(43%) Polyurethane (%27) PS	(٪54) Fibers	72%نمونه‌ها آلوده samples are infected	Pelophylax sp Bufotes perrini	جنگل‌هیرکانی (شمال ایران) Hyrcanian Forest (Northern Iran)	دوزیستان Amphibians
Najibzadeh, Kazemi, Hassan & Esmaeilbeigi, 2024	Polyester (42.5%), (%2.17) PET	Fibers	9.7–37.2 particle/samp) (le	Pelophylax bedriagae	غرب ایران West of Iran	دوزیستان Amphibians
Najibzadeh & Ansari, 2026	PES, PET	(٪68~) Fibers	more ٪9~ than fish	Pelophylax bedriagae Bufotes sitibundus	رودخانه سیمره (غرب ایران) Seymareh River (Western Iran)	دوزیستان Amphibians
Shojaei, Moradi, Sharifi & Yasari, 2026	—	—	5.5–0.5 (particles/L) (آب تالاب) (wetland water)	11گونه دوزیستان بومی Native amphibians	تالاب‌های جنگل هیرکانی Hyrcanian Forest Wetlands	دوزیستان Amphibians



شکل ۷- اینفوگرافی مطالعات میکروپلاستیک در آبزیان.

Fig. 7. Infographic of microplastic studies in aquatic animals.

جدول ۸- مطالعات شناسایی میکروپلاستیک در بدن انسان در ایران

Table 8- Studies on the identification of microplastics in the human body in Iran

مرجع (Reference)	یافته اصلی (The main finding)	شکل غالب (Dominant form)	تعداد ذره Number of) (particles	نمونه (Sample)
Abbasi & Turner, 2021	مو بالاترین، بزاق کمترین Hair is the highest, saliva is the lowest.	Fibers <100µm	<16000 particles	مو، پوست، بزاق (۲۰۰۰ نفر) Hair, skin, saliva (2000 people)
Shahsavaripour, Abbasi, Mirzaee & Amiri, 2023	بالاترین در مو و بزاق Highest in hair and saliva	Fibers ≥1000µm	4802 particles	کارگران کارخانه پلاستیک Plastic factory workers
Safdari et al., 2026	بازیافت > میدانی > اداری Recycling > Field > Office	(%60<) Fibers	افزایش پس از شیفت Post-shift increase	کارگران زباله‌گاه Landfill workers
Jahedi, Turner & Jaafarzadeh Haghighi Fard, 2025	PE, PP, PS	الیاف سفید/شفاف White/transparent fibers	3.2 particles/10mL	مایع شست‌شوی ریه(BALF[1]) Bronchoalveolar lavage fluid (BALF)
Momeni, Taghipour, Ghayebzadeh, Mohammadi & Keikhaee, 2025	(%72–62) Polyester	الیاف (خلط)، قطعات (مایع جنب) Fibers (phlegm), fragments (pleural fluid)	21-468 particles/100mL	خلط، BALF، مایع جنب Sputum, BALF, pleural fluid
Alizadehfard, Chamani, Sobhanardakani & Hamzeh, 2026	همبستگی منفی با قد نوزاد Negative correlation with infant height	Fragments (%80)	Up to 0.103 particles/g	جفت (۲۰ مادر، اصفهان) Pair (20 mothers, Isfahan)

1- Bronchoalveolar Lavage Fluid

وجود میکروپلاستیک‌ها در مواد غذایی بر سلامت انسان بسیار تأثیر گذار است. تحقیقات در این رابطه زمانی آغاز شد که ذرات میکروپلاستیک‌ها در عسل و شکر برای اولین‌بار مشاهده شد و این احتمال را به وجود آورد که میکروپلاستیک‌ها وارد فرآیند تولید غذا نیز شده‌اند (Liebezeit, 2013). پیش از این نیز مطالعاتی بر روی تأثیر میکروپلاستیک‌ها بر روی موجودات دریایی صورت گرفته بود (Setälä, Fleming-Lehtinen & Lehtiniemi, 2014). بر اساس مطالعاتی که انجام گرفته می‌توان گفت که میکروپلاستیک به زندگی روزمره انسان بسیار نزدیک شده است (Van & Janssen, 2014). مواد غذایی که میکروپلاستیک‌ها در آنها مشاهده شده‌اند عبارتند از: انواع ماهی‌ها و صدف‌های دوکفه‌ای (Rochman et al., 2015)، نمک (Yang et al., 2015)، آب لوله‌کشی- آب بسته‌بندی- آبجو و نوشیدنی‌ها (Kosuth, Mason & Wattenberg, 2018)، محصولات کشاورزی (Qi et al., 2018)، شیر (Da Costa Filho, 2021)، و ... همچنین میکروپلاستیک‌ها از ظروف بسته‌بندی، بشقاب، قاشق، چنگال، فنجان و مواد پلاستیکی آزاد می‌شوند و تحت شرایط مختلف انتقال می‌یابند (Hee, Weston & Suratman, 2022) (شکل۸). در ایران نیز مطالعاتی در رابطه با غلظت میکروپلاستیک در مواد غذایی انجام شده که در جدول ۹ به طور خلاصه ارائه شده است.

جدول ۹- غلظت میکروپلاستیک در مواد غذایی ایران

Table 9- Microplastic concentration in Iranian food

ماده غذایی (Food item)	غلظت (Concentration)	شکل غالب (Dominant form)	پلیمر غالب (Dominant polymer)	مرجع (Reference)
نمک Salt	(particles/kg) 5470–700	قطعات Fragments	سلولز استات Cellulose acetate	Taghipour, Ghayebzadeh, Mousavi, Sharifi & Payandeh, 2023
نمک و شکر salt and sugar	(particles/kg) 226–55	(٪96–78) Parts	PE, PP	Makhdoumi Pirsaheb, Amin, Kianpour & Hossini, 2023
آب معدنی mineral water	(particles/L) 10.2 ± 8.5	(٪93) Parts	PET, PS, PP	Makhdoumi et al., 2021
نوشیدنی‌های گازدار Carbonated drinks	(particles/L) 21.9–4.5	(٪71) Parts	PET, PE	Hoseinzadeh et al., 2024
سوسیس Sausage	(particles/kg) 175–10	(٪89–77) Fiber	PE, PS	Pirsaheb et al., 2024
ادویه‌جات Spices	(particles/kg) 1100–500	(٪62) Fiber	PE, PP, PS	Jahedi et al., 2026
تنباکو قلیان Hookah tobacco	(particles/g) 4.6–0.8	الیاف Fibers	—	Soleimani et al., 2025
شیرخشک نوزاد baby formula	(particles/400g) 585	الیافPP PP fibers	BPA[1] بالاتر از حد مجاز BPA above the permissible limit	Ahmadi, Hossini & Pirsaheb, 2025
عرقیات گیاهی Herbal spirits	(particles/L) 9.24 ± 7.32	(٪62) Fiber	PET	Pirsaheb et al., 2025

1- Bisphenol A

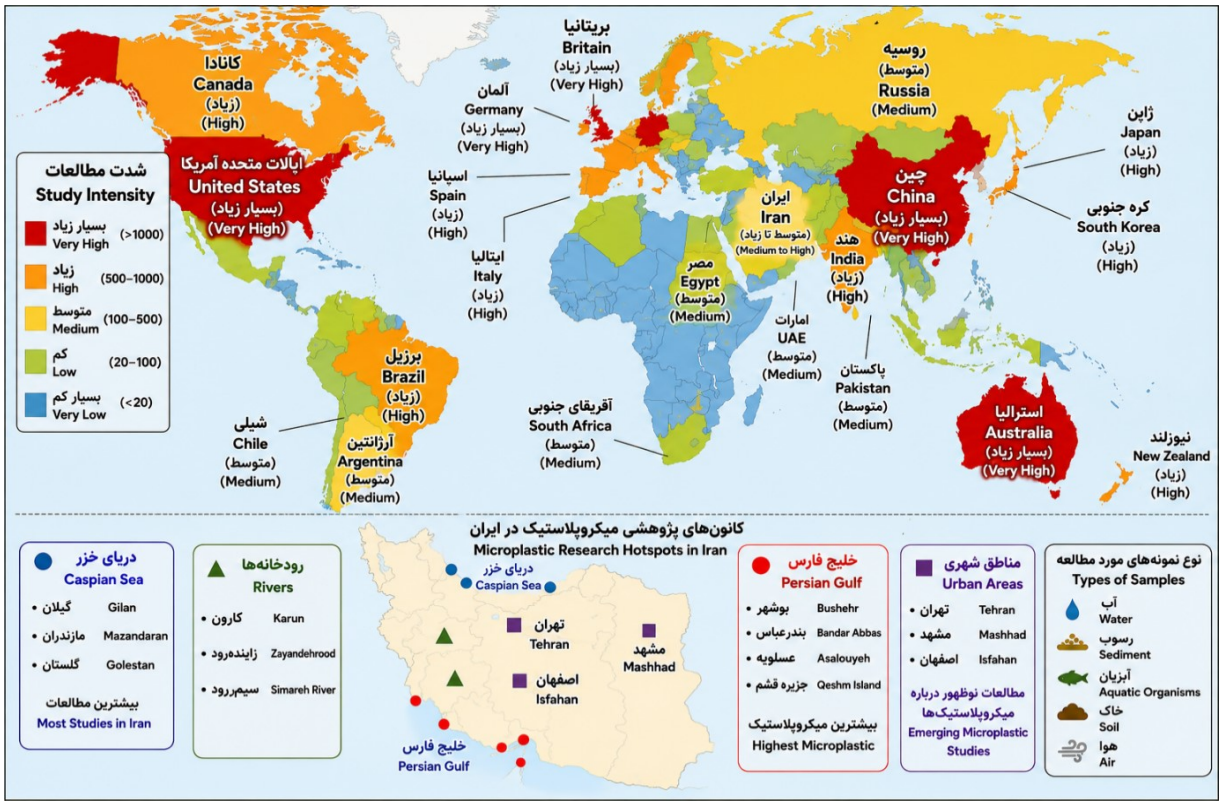


شکل ۸- آلودگی شبکهٔ غذایی با میکروپلاستیک

Fig. 8. Contamination of the food chain with microplastics (Pironti et al., 2021)

روند پژوهش‌های میکروپلاستیک در ایران و جهان

بر اساس داده‌های پایگاه‌های مورد بررسی، پژوهش‌های میکروپلاستیک در جهان از سال ۲۰۰۷ و در ایران از سال ۲۰۱۷ آغاز شده است. در شکل ۹ پراکندگی مطالعات میکروپلاستیک در ایران و جهان، و در شکل ۱۰ نموداری از پراکندگی مطالعات میکروپلاستیک در ایران بر اساس محیط نشان داده شده است. همچنین روند انتشار مقالات در ایران (جدول۱۰) حکایت از روند رو به رشد این مطالعات را دارد. اما، بر اساس تحلیل مقالات مستخرج از پایگاه‌های داده، شکاف‌های پژوهشی میکروپلاستیک در ایران دیده می‌شود که اولویت آنها در جدول ۱۱ آورده شده است.



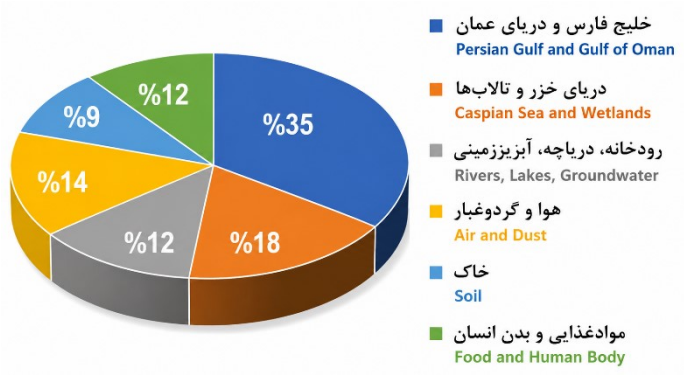
شکل۹ – نقشهٔ پراکندگی مطالعات میکروپلاستیک در جهان و ایران

Fig. 9. Distribution map of microplastic studies in the world and Iran

جدول ۱۰- روند انتشار مقالات میکروپلاستیک در ایران

Table 10- Publication trend of microplastic articles in Iran

مشخصه (Characteristic)	تعداد مقالات (Number of articles)	بازه زمانی (Time frame)
شروع مطالعات Start of studies	10~	2017-2020
رشد سریع Fast growth	20~	2021-2022
اوج انتشار The peak of publication	25~	2023-2024
تداوم با تنوع بیشتر Continuity with more diversity	18~	2025-2026



شکل ۱۰ - پراکندگی مطالعات میکروپلاستیک در ایران براساس محیط مطالعه

Fig. 10. Distribution of microplastic studies in Iran based on the study environment

جدول ۱۱- شکاف‌های پژوهشی میکروپلاستیک در ایران

Table 11- Microplastic research gaps in Iran

شکاف پژوهشی شناسایی شده (Research gap identified)	شواهد (Evidence)	اولویت (Priority)	توضیح (Explanation)
آب‌های زیرزمینی Groundwater	تنها ۳ مطالعه Only 3 studies	بالا high	با توجه به وابستگی ۸۰٪ کشور به آب زیرزمینی Given that 80% of the country depends on groundwater
اکوسیستم‌های خشکی و خاک Terrestrial and soil ecosystems	۱۰> مطالعه ۱۰>studies	بالا high	خاک مخزن اصلی آلاینده‌هاست .Soil is the main reservoir of pollutants
نانوپلاستیک‌ها Nanoplastics	هیچ مطالعه‌ای No study	بسیار بالا very high	عدم توانایی روش‌های فعلی در شناسایی Inability of current methods to identify
مطالعات طولی سلامت انسان Longitudinal studies of human health	تمام مطالعات مقطعی All cross-sectional studies	بسیار بالا very high	نیاز به بررسی اثرات مزمن Need to investigate chronic effects
استانداردسازی روش‌ها Standardization of methods	تنوع زیاد در روش‌ها Great variety in methods	بالا high	عدم قابلیت مقایسه نتایج Inability to compare results
منابع و مسیرهای ورود Sources and entry routes	مطالعات محدود Limited studies	متوسط middle	شناسایی نقاط ورود برای مدیریت Identify entry points for management
اثر ترکیبی با سایر آلاینده‌ها Combined effect with other pollutants	تنها چند مطالعه Just a few studies	متوسط middle	مطالعه همزمان با فلزات سنگین و PAHs[1] Simultaneous study with heavy metals and PAHs

1- Polycyclic Aromatic Hydrocarbons

نتایج این مطالعه مروری نظام‌مند نشان می‌دهد که میکروپلاستیک‌ها به عنوان یک آلاینده فراگیر و نوظهور، تمامی محیط‌های کره زمین را تحت تأثیر قرار داده‌اند. تولید روزافزون پلاستیک و مدیریت ضعیف پسماند، به ویژه در کشورهای در حال توسعه مانند ایران، باعث شده است که غلظت میکروپلاستیک در محیط‌های مختلف به طور چشمگیری افزایش یابد. مطالعات جهانی نشان می‌دهد غلظت میکروپلاستیک در آب‌های سطحی بین ۰/۰۰۳ تا ۵۱۹ ذره در لیتر و در رسوبات بین ۰ تا ۱۸۰۰۰ ذره در کیلوگرم متغیر است (Koelmans et al., 2019; Wagner et al., 2014). اما، در ایران، غلظت میکروپلاستیک در رسوبات خلیج‌فارس (تا ۱۳۴۶ ذره/kg) و تالاب انزلی (تا ۲۸۲۰ ذره/kg) در محدوده بالای گزارش‌های جهانی قرار دارد (Gholizadeh et al., 2024; Rasta et al., 2020). این موضوع نشان دهندهٔ آلودگی قابل‌توجه محیط‌های آبی ایران به میکروپلاستیک است که عمدتاً به دلیل ورود فاضلاب‌های تصفیه نشدهٔ شهری و صنعتی، فعالیت‌های ماهیگیری و گردشگری، و مدیریت ضعیف پسماندهای پلاستیکی است (Nabizadeh et al., 2019; Naji et al., 2021). همچنین در زمینهٔ هوای شهری، غلظت میکروپلاستیک در تهران (۸۷۶ ng/m³) بالاترین مقدار گزارش‌شده در سطح جهان است که عمدتاً ناشی از ترافیک سنگین و سایش تایر خودروهاست (Bazzazpour et al., 2026). هرچند که به دلیل تفاوت واحد های اندازه‌گیری، آنالیز دقیق داده‌ها امکان پذیرنیست ولی این یافته با مطالعات دیگر در شهرهای بزرگ مانند لندن، پاریس و شانگ‌های (با غلظت‌های ۰/۳ تا ۱/۵ ذره/m³) همخوانی دارد و نشان‌دهندهٔ نقش مهم حمل‌ونقل شهری در انتشار میکروپلاستیک‌های اتمسفری است (Wright et al., 2019; Dris et al., 2016).

بررسی مکانیسم‌های سمیت و پیامدهای بالینی

شواهد موجود نشان می‌دهد که میکروپلاستیک‌ها از طریق سازوکارهای متعددی می‌توانند بر سلامت انسان تأثیر بگذارند. مرور نظام‌مند رایری و همکاران (Ririe et al., 2025) نشان داد که این ذرات بر نشانگرهای التهابی و اختلالات غدد درون‌ریز تأثیری متوسط، اما بر پیامدهای عصبی- شناختی و بیماری‌های مزمن تأثیری با قطعیت کمتر دارند. به‌عبارتی، اگرچه ارتباطات آماری معناداری میان مواجهه با میکروپلاستیک و تغییرات زیستی مشاهده شده است، اما رابطهٔ علیت با بیماری‌های خاص همچنان به‌اثبات نرسیده است. با این‌حال، شناسایی میکروپلاستیک در بافت‌های حیاتی نظیر جفت، مغز و مغز استخوان، زنگ خطری جدی به‌شمار می‌رود. در ایران، مطالعه‌ی علیزاده‌فرد و همکاران (Alizadehfard, Chamani, Sobhanardakani & Hamzeh., 2026) نشان داد که غلظت میکروپلاستیک در جفت با کاهش قد نوزاد همبستگی منفی معناداری دارد ($r = -0/809$ و $p < 0/001$). این یافته با پژوهش جهانی راگوسا و همکاران (Ragusa et al., 2021) که برای نخستین بار حضور میکروپلاستیک را در جفت انسان تأیید کرد و همچنین مطالعه‌ی لی و همکاران (Li et al., 2026) که وجود این ذرات را در مغز انسان گزارش نمود، هم‌خوانی کامل دارد. فراتر از این، میکروپلاستیک‌ها به‌دلیل سطح ویژهٔ بسیار بالا (تا ۱۰۰ g/m³)، می‌توانند آلاینده‌های شیمیایی و زیستی را جذب کرده و به عنوان بردار[1] انتقال آن‌ها در محیط و زنجیرهٔ غذایی عمل کنند (Akhbarizadeh et al., 2017; Amelia et al., 2021). این ویژگی سبب می‌شود که سمیت این ذرات فراتر از خود پلیمرها باشد، به ویژه که میکروپلاستیک‌های هوازده (پیرشده) به‌دلیل ظرفیت جذب بالاتر، خطر بیشتری ایجاد می‌کنند (Song et al., 2026). در این زمینه، مطالعهٔ مَساحی و همکاران (Massahi et al., 2024) در ایران نشان داد که میکروپلاستیک‌ها می‌توانند در فاضلاب بیمارستانی به عنوان حامل ویروس SARS-CoV-2 عمل کنند.

چالش‌های روش‌شناختی

یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در مطالعات میکروپلاستیک، چالش‌های روش‌شناختی، یعنی عدم استانداردسازی روش‌های نمونه‌برداری و آنالیز است. تنوع در روش‌های هضم (استفاده از H_2O_2 ، KOH، HNO_3، آنزیم‌ها)، جداسازی بر اساس چگالی (استفاده از NaCl ، $ZnCl_2$، NaI با چگالی‌های مختلف)، شناسایی (میکروسکوپ نوری، میکروسکوپ فلورسانس، SEM[2]، طیف‌سنج Raman ، FTIR) و

1- Vector
2- Scanning Electron Microscope

شمارش ذرات، مقایسه نتایج مطالعات مختلف را دشوار می‌سازد (Koelmans et al., 2019; Mariano, Tacconi, Fidaleo, Rossi & Dini, 2021). همچنین، خطر آلودگی نمونه‌ها در حین آزمایش (کنترل آلودگی زمینه) در بسیاری از مطالعات به‌خوبی مدیریت نشده است که می‌تواند منجر به بیش‌برآورد غلظت میکروپلاستیک شود (Razeghi, Hamidian, Wu, Zhang & Yang, 2021). در ایران، مطالعات اخیر از روش‌های پیشرفته‌تری مانند FTIR و Raman برای شناسایی پلیمرها استفاده کرده‌اند، اما همچنان تنوع زیادی در روش‌های نمونه‌برداری وجود دارد. به‌عنوان مثال، برخی مطالعات از تور پلانکتون با اندازه توری ۳۰۰ میکرومتر و برخی از نمونه‌بردارهای حجمی با فیلتر ۵ میکرومتر استفاده کرده‌اند که منجر به نتایج غیرقابل‌مقایسه می‌شود (Rasta et al., 2020; Taghipour et al., 2023). بنابراین این مطالعه با محدودیت‌هایی همراه بود که از جمله آن‌ها می‌توان به تنوع روش‌های نمونه‌برداری و آنالیز در مطالعات وارد شده اشاره کرد که انجام متاآنالیز را ناممکن ساخت. همچنین احتمال سوگیری انتشار (چاپ بیشتر مقالات با نتایج مثبت)، غلبه جغرافیایی مطالعات بر ایران و کشورهای آسیایی (کاهش تعمیم‌پذیری)، محدودیت زبانی (صرفاً مقالات انگلیسی و فارسی) و کیفیت روش‌شناسی نامناسب برخی مقالات، از دیگر محدودیت‌های این پژوهش بود.

پیشنهادات و اولویت‌ها برای پژوهش‌های آیندهٔ میکروپلاستیک

بر اساس یافته‌ها، مهم‌ترین اولویت‌های پژوهشی در سطح جهانی و مخصوصاً ایران عبارتند از: استانداردسازی پروتکل‌های نمونه‌برداری و شناسایی برای امکان مقایسه نتایج، انجام مطالعات طولی کوهورت[1] برای بررسی اثرات مزمن مواجهه با میکروپلاستیک بر سلامت انسان، توسعه روش‌های شناسایی و ارزیابی خطر نانوپلاستیک‌ها، بررسی دقیق‌تر مکانیسم‌های مولکولی سمیت و تدوین مدل‌های ارزیابی ریسک چندعاملی که اثرات هم‌زمان میکروپلاستیک با سایر آلاینده‌ها را در نظر بگیرند. اما در سطح ملی، پژوهش‌های آینده باید بر تکمیل پوشش جغرافیایی با تمرکز بر محیط‌های خشکی، آب‌های زیرزمینی و هوای داخل ساختمان متمرکز شوند. بررسی مخاطرات سلامت عمومی به‌ویژه در گروه‌های آسیب‌پذیر مانند کودکان، زنان باردار و کارگران صنایع از اولویت بالایی برخوردار است. تدوین پروتکل‌های بومی نمونه‌برداری و آنالیز متناسب با شرایط ایران، استفاده از مدل‌های منبع‌یابی مانند PMF[2] برای شناسایی منابع اصلی آلودگی، بررسی نقش توفان‌های گردوغبار در حمل میکروپلاستیک در مناطق خشک، و ارزیابی اثرات بر اکوسیستم‌های حساس نظیر تالاب‌ها، جنگل‌های مانگرو و مناطق حفاظت‌شده از دیگر اولویت‌های کلیدی است.

نتیجه‌گیری

یافته‌های این مرور نظام‌مند نشان می‌دهد که میکروپلاستیک‌ها به عنوان آلاینده‌ای نوظهور و فراگیر، شبکهٔ پیچیده‌ای از محیط‌های آبی، خاکی، هوا و زنجیره‌های غذایی ایران را در نوردیده‌اند. غلظت‌های گزارش‌شده در آب‌های زیرزمینی (تا ۵۴ ذره در لیتر)، خاک‌های کشاورزی (تا ۲۴۴۳ ذره بر کیلوگرم)، هوای شهری (تا ۸۷۶ نانوگرم بر مترمکعب) و بافت‌های انسانی (شامل جفت، مایعات تنفسی و خون) نشان می‌دهد که ایران با یک بحران خاموش و چندبعدی مواجه است که دیگر محدود به محیط‌های دریایی نیست. این آلودگی، با نرخ رهاسازی ۷۸ درصدی پلاستیک در طبیعت (نزدیک به دو برابر میانگین جهانی) و موقعیت استراتژیک ایران در همسایگی خلیج‌فارس، دریای عمان و دریای خزر، ابعادی فرامرزی و ژئوپلیتیکی به خود گرفته است.

تحلیل شکاف‌های پژوهشی میکروپلاستیک‌ها نشان می‌دهد که با وجود رشد چشمگیر مطالعات میکروپلاستیک‌ها در سال‌های اخیر (از سال ۲۰۱۷ به‌بعد)، سه خلأ اساسی همچنان باقی است: (۱) نبود استانداردسازی روش‌های نمونه‌برداری و آنالیز میکروپلاستیک‌ها که مقایسه‌ی نتایج را ناممکن ساخته، (۲) کمبود مطالعات طولی در زمینه‌ی اثرات مزمن میکروپلاستیک‌ها بر سلامت انسان و (۳) غفلت از نانوپلاستیک‌ها و مکانیسم‌های انتقال در آب‌خوان‌های مشترک فرامرزی. این خلأها نه‌تنها پژوهش‌های آینده را با چالش مواجه می‌کنند، بلکه تدوین سیاست‌های مؤثر را نیز با ابهام روبرو می‌سازند.

1- Longitudinal Cohort Study
2- Positive Matrix Factorization

مکانیسم‌های اصلی سمیت میکروپلاستیک (استرس اکسیداتیو، التهاب، اختلال غدد درون‌ریز و آسیبDNA) که در مطالعات انسانی و حیوانی تأیید شده‌اند، همراه با قابلیت این ذرات به‌عنوان بردار آلاینده‌های شیمیایی و زیستی، ضرورت رویکرد پیشگیرانه را دوچندان می‌کند. شناسایی میکروپلاستیک در جفت انسان با همبستگی منفی با رشد نوزاد (Alizadehfard et al., 2026)، در مایعات تنفسی بیماران ریوی (Jahedi et al., 2025) و در مغز انسان (Li et al., 2026) نشان می‌دهد که این آلودگی از مرزهای هشدار محیط‌زیستی عبور کرده و به تهدیدی مستقیم برای سلامت عمومی تبدیل شده است.

در سطح منطقه‌ای، مطالعهٔ محمدزاده و رضی (Mohammadzadeh & Razi, 2026) با تأکید بر سه مسیر انتقال فرامرزی از طریق گردوغبار، جریان‌های دریایی خلیج‌فارس و آبخوان‌های مشترک (ایران و عراق)، نشان می‌دهد که آلودگی میکروپلاستیک در خلیج‌فارس یک بحران جمعی است و هیچ‌یک از کشورهای منطقه به‌تنهایی قادر به مهار آن نیستند. بنابراین، راهبردهای مدیریتی باید از سطح محلی فراتر رفته و به همکاری‌های منطقه‌ای برای پایش یکپارچه، تبادل داده و تدوین استانداردهای مشترک بیانجامد.

بر اساس یافته‌ها، اولویت‌های فوری برای ایران عبارتند از: (۱) توسعه‌ی شبکه‌ی ملی پایش میکروپلاستیک در محیط‌های کلیدی (آب‌های زیرزمینی، هوای شهری و خاک‌های کشاورزی) با پروتکل‌های استاندارد، (۲) سرمایه‌گذاری در فناوری‌های تصفیهٔ پیشرفته برای حذف میکروپلاستیک از فاضلاب‌های شهری و صنعتی، (۳) اجرای سیاست‌های کاهش مصرف پلاستیک‌های یکبارمصرف با هدف کاهش ورود سالانه‌ی پلاستیک به طبیعت، (۴) راه‌اندازی پروژه‌های تحقیقاتی طولی کوهورت برای بررسی اثرات مزمن بر سلامت گروه‌های در معرض خطر (کارگران، ساکنان مناطق صنعتی و کودکان) و (۵) پیگیری تفاهم‌نامه‌های زیست‌محیطی با کشورهای همسایه برای مدیریت یکپارچه‌ی منابع آبی و هوایی مشترک.

در نهایت، این مطالعه نشان می‌دهد که میکروپلاستیک‌ها نه‌تنها یک معضل زیست‌محیطی، بلکه شاخصی از ناپایداری سیستم‌های تولید، مصرف و مدیریت پسماند در جهان و ایران هستند. پاسخ مؤثر به این بحران، نیازمند گذار از رویکرد واکنشی به رویکرد پیشگیرانه و مشارکتی است که در آن، پژوهش‌گران، سیاست‌گذاران، صنعتگران و جامعه‌ی مدنی در یک همکاری چندسطحی برای حفظ سلامت اکوسیستم‌ها و نسل‌های آینده هم‌صدا شوند.

References

Abbasi, S. (2021). Prevalence and physicochemical characteristics of microplastics in the sediment and water of Hashilan Wetland, a national heritage in NW Iran. *Environmental Technology & Innovation*, *23*, 101782.https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101782

Abbasi, S., & Turner, A. (2021). Dry and wet deposition of microplastics in a semi-arid region (Shiraz, Iran). *Science of the Total Environment*, *786*, 147358.https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147358

Abbasi, S., & Turner, A. (2021). Human exposure to microplastics: A study in Iran. *Journal of Hazardous Materials*, *403*, 123799. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123799

Abbasi, S., & Turner, A. (2022). Sources, concentrations, distributions, fluxes and fate of microplastics in a hypersaline lake: Maharloo, south-west Iran. *Science of the Total Environment*, *823*, 153721.https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153721

Abbasi, S., Ahmadi, F., Khodabakhshloo, N., Pourmahmood, H., Esfandiari, A., Mokhtarzadeh, Z., … & Turner, A. (2024). Atmospheric deposition of microplastics in Shiraz, Iran. *Atmospheric Pollution Research*, *15*(2), 101977. https://doi.org/10.1016/j.apr.2023.101977

Abbasi, S., Alirezazadeh, M., Razeghi, N., Rezaei, M., Pourmahmood, H., Dehbandi, R., … & Turner, A. (2022). Microplastics captured by snowfall: A study in Northern Iran. *Science of the Total Environment*, *822*, 153451. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153451

Abbasi, S., Jaafarzadeh, N., Zahedi, A., Ravanbakhsh, M., Abbaszadeh, S., & Turner, A. (2023). Microplastics in the atmosphere of Ahvaz City, Iran. *Journal of Environmental Sciences, 126*, 95-102. https://doi.org/10.1016/j.jes.2022.02.044

Abbasi, S., Keshavarzi, B., Moore, F., Turner, A., Kelly, F. J., Dominguez, A. O., & Jaafarzadeh Haghighi Fard, N. (2019). Distribution and potential health impacts of microplastics and microrubbers in air and street dusts from Asaluyeh County, Iran. *Environmental Pollution, 244,* 153-164. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.039

Ahmadi, M., Hossini, H., & Pirsaheb, M. (2025). Microplastics and endocrine-disrupting byproducts (bisphenol A & phthalate esters) in popular infant formula brands in Iran. *Environmental Research, 286,* 122713. https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.122713

Akhbarizadeh, R., Moore, F., Keshavarzi, B., & Moeinpour, A. (2017). Microplastics and potentially toxic elements in coastal sediments of Iran's main oil terminal (Khark Island). *Environmental Pollution, 220,* 720-731. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.10.038

Alizadehfard, F., Chamani, A., Sobhanardakani, S., & Hamzeh, F. (2026). Maternal plastic exposure, placental microplastics, and neonatal anthropometry outcomes: Evidence from a human placenta study. *Environmental Pollution, 399,* 128146. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2026.128146

Allami, H., Afzali, A., & Mirzaei, R. (2023). Identification of microplastics in coastal sediments of three ports of Dayer, Kangan, and Siraf in Bushehr province, Iran. *Regional Studies in Marine Science, 63,* 103007. https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.103007

Allen, S., Allen, D., Moss, K., Roux, G., Phoenix, V. R., & Sonke, J. E. (2020). Examination of the ocean as a source for atmospheric microplastics. *PloS one*, *15*(5), e0232746. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232746

Allen, S., Allen, D., Baladima, F., Phoenix, V., Thomas, J. L., Le Roux, J., & Sonke, J. E. (2021). Evidence of free tropospheric and long-range transport of microplastic at pic du midi observatory. *Nature Communications*, *12*(1), 7242. https://doi.org/10.1038/s41467-021-27454-7

Amelia, T. S. M., Khalik, W. M. A. W. M., Ong, M. C. Shao, Y. T., Pan, H. J., & Bhubalan, K. (2021). Marine microplastics as vectors of major ocean pollutants and its hazards to the marine ecosystem and humans. *Progress in Earth and Planetary Science*, *8*(1), 12. https://doi.org/10.1186/s40645-020-00405-4

Amini-Birami, F., Keshavarzi, B., Esmaeili, H. R., Moore, F., Busquets, R., Saemi-Komsari, M., … & Zarandian, A. (2023). Microplastics in aquatic species of Anzali wetland: An important freshwater biodiversity hotspot in Iran. *Environmental Pollution*, *330*, 121762. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121762

Andrady, A. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, *62*(8), 1596-1605. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030

Andrady, A. (2017). The plastic in microplastics: a review. *Marine Pollution Bulletin*, *119*(1), 12-22. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.082

Asadi, M. J., Ghayebzadeh, M., Mousavi, S. M. S., Taghipour, H., & Aslani, H. (2025). Investigating the amount of macro, meso, and microplastics in the surface soil around the landfill of Tabriz and the effect of the prevailing wind on their distribution. *Heliyon*, *11*(2). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42143

Asian Fisheries Society. (2022). https://www.asianfisheriessociety.org/

Bazzazpour, S., Yousefi, M., Shahsavani, A. Mohseni-Bandpei, A., Hopke, P. K., Kermani, M., & Torabbeigi, M. (2026). Mass quantification and polymer characterization of airborne microplastics and microrubbers in Tehran Metropolis. *Atmospheric Pollution Research, 17*(7), 103039. https://doi.org/10.1016/j.apr.2026.103039

Blasing, M., & Amelung, W. (2018). Plastics in soil: analytical methods and possible sources. *Science of the Total Environment*, *612*, 422-435. https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.01.042

Boucher, J., & Friot D. (2017). Primary Microplastics in the Oceans: A Global Evaluation of Sources. (Vol. 10, pp. 1-43) *Gland, Switzerland: IUCN.* http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.CH.2017.01.en

Bradney, L., Wijesekara, H., Palansooriya, K. N., Obadamudalige, N., Bolan, N. S., Ok, Y. S., ... & Kirkham, M. B. (2019). Particulate plastics as a vector for toxic trace-element uptake by aquatic and terrestrial organisms and human health risk. *Environment International*, *131*, 104937. https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.104937

Brahney, J., Mhowald, N., Prank, M., Cornwell, G., Klimont, Z., Matsui, H., & Prather, K. A. (2021). Constraining the atomospheric limb of the plastic cycle. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *118*(16), e2020719118. https://doi.org/10.1073/pnas.2020719118

Cai, L., Wang, J., Peng, J., Tan, Z., Zhan, Z., Tan, X., & Chen, Q. (2017). Characteristic of microplastics in the atmospheric fallout from Dongguan City, China: preliminary research and first evidence. *Environmental Science and Pollution Research*, *24*(32), 24928-24935. https://doi.org/10.1007/s11356-017-0116-x

Chu, X., Li, T., Li, Z., Yan, A., & Shen, C. (2019). Transport of microplastic particles in saturated porous media. *Water, 11(*12*),* 2474. https://doi.org/10.3390/w11122474

Cox, K. D., Covernton, G. A., Davies, H., Dower, J. F., Juanes, F., & Dudas, S. E. (2019). Human Consumption of Microplastics. *Environmental Science & Technology*, *53*(12), 7068-7074. https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.9b01517

Cressey, D. (2016). The plastic ocean: scientists know that there is a colossal amount of plastic in the oceans. But they don't know where it all is, what it looks like or what damage it does. *Nature*, *536*(7616), 263-265.https://doi.org/10.1038/536263a

Da Costa Filho, P. A., Andrey, D., Eriksen, B., Peixoto, R., Carreres, B., Ambühl, M. … & Zbinden, P. (2021). Detection and characterization of small-sized microplastics (≥5 µm) in milk products. *Scientific Reports*, *11*(1), 24046. https://doi.org/10.1038/s41598-021-03458-7

Driedger, A. G., Dürr, H. H., Mitchell, K., & Cappellen, P. V. (2015*).* Plastic debris in the Laurentian Great Lakes: a review. *Journal of Great Lakes Research*, *41*(1), 9-19. https://doi.org/10.1016/j.jglr.2014.12.020

Dris, R., Gasperi, J., Saad, M., Mirande, C., & Tassin, B. (2016). Synthetic fibers in atmospheric fallout: a source of microplastics in the environment? *Marine Pollution Bulletin*, *104*(1-2), 290-293. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.01.006

Eerkes-Medrano, D., Thompson, R. C., & Aldridge, D. C. (2015). Microplastics in freshwater systems: a review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *Water Research*, *75*, 63-82. https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.02.012

Esfandiari, A., Abbasi, S., Peely, A. B., Mowla, D., Ghanbarian, M. A., Oleszczuk, P., & Turner, A. (2022). Distribution and transport of microplastics in groundwater (Shiraz aquifer, southwest Iran). *Water Research*, *220*, 118622. https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118622

Esmaeilbeigi, M., Kazemi, A., Gholizadeh, M., & Rezaeiyeh, R. D. (2023). Microplastics and heavy metals contamination in Atropus atropos and associated health risk assessment in the northwest of the Persian Gulf, Iran. *Regional Studies in Marine Science*, *57*, 102750. https://doi.org/10.1016/j.rsma.2022.102750

Foitzik, M. J., Unrau, H. J., Gauterin, F., Dörnhöfer, J., & Koch, T. (2018). Investigation of ultrafine particulate matter emission of rubber tires. *Wear*, *394*, 87-95. https://doi.org/10.1016/j.wear.2017.09.023

Fowzi, M. M., Ebrahimpour, K., Dehnavi, A., Jamshidi, S., & Andaluri, G. (2025). Microplastics as emerging contaminants in municipal solid waste compost. *Environmental Research*, *284*, 122248. https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.122248

Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, *3*(7), e1700782. https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.1700782

Ghanbari, S., Mohammadi, F., Hashemi, M., & Attar, H. M. (2026). Seasonal dynamics of microplastic contamination in deep groundwater sources of urban drinking water supply in an arid region. *Bioresource Technology Reports*, 102587. https://doi.org/10.1016/j.biteb.2026.102587

Gholizadeh, M., & Cera, A. (2022). Microplastic contamination in the sediments of Qarasu estuary in Gorgan Bay, south-east of Caspian Sea, Iran. *Science of the Total Environment*, *838*, 155913. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155913

Gholizadeh, M., Shadi, A., Abadi, A., Nemati, M., Senapathi, V., & Karthikeyan, S. (2023). Abundance and characteristics of microplastic in some commercial species from the Persian Gulf, Iran. *Journal of Environmental Management*, *344*, 118386. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118386

Gholizadeh, M., Shadi, A., Abadi, A., Nemati, M., Senapathi, V., Karthikeyan, S., & Kulandaisamy, P. (2024). Exploring the microplastic pollution: Unveiling origins and varieties in coastal sediments and waters of the Bushehr Province, Persian Gulf, Iran. *Marine Pollution Bulletin*, *198*, 115939. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115939

Hahladakis, J. N., Velis, C. A., Weber, R., Iacovidou, E., & Purnell, P. (2018). An overview of chemical additives present in plastics: migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling. *Journal of Hazardous Materials, 344,* 179-199. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.10.014

Hee, Y. Y., Weston, K., & Suratman, S. (2022). The effect of storage conditions and washing on microplastic release from food and drink containers. *Food Packaging and Shelf Life*, *32*, 100826. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100826

Hoseinzadeh, E., Hossini, H., Makhdoumi, P., Taha, P., Parsa, S. & Massahi, T. (2024). Microplastics contamination in popular soft drinks and non-alcoholic beverages marketed in Iran. *Results in Engineering, 24*, 103158. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103158

Hoshyari, E., Hassanzadeh, N., Keshavarzi, B., Jaafarzadeh, N., & Rezaei, M. (2023). Characterization of microplastic, metals associated and ecological risk assessment in the topsoil of Shiraz metropolis, south west of Iran. *Chemosphere, 335,* 139060. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139060

Hosseini, R., Sayadi, M. H., Aazami, J., & Savabieasfehani, M. (2020). Accumulation and distribution of microplastics in the sediment and coastal water samples of Chabahar Bay in the Oman Sea, Iran. *Marine Pollution Bulletin, 160,* 111682. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111682

Hurley, R. R., & Nizzetto, L. (2018). Fate and occurrence of micro(nano)plastics in soils: Knowledge gaps and possible risks. *Current Opinion in Environmental Science & Health, 1,* 6-11. https://doi.org/10.1016/j.coesh.2017.10.006

Jahedi, F., Haghighi Fard, N. J., Ahmadi, M., Takdastan, A., Haddadzadeh Shoushtari, M., Dehbandi, R., & Turner, A. (2025). Microplastics in urine, sputum and lung lavage fluid from patients with respiratory illnesses. *Environmental Research, 274,* 121278. https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.121278

Jahedi, F., Jaafarzadeh Haghighi Fard, N., Khafaie, M.A., Hesam, S., Dehbandi, R., & Kaydi, N. (2025). Characterization of airborne microplastics and exposure assessment in the Mahshahr special economic zone, Northern Persian Gulf. *Atmospheric Pollution Research, 16*(9), 102585. https://doi.org/10.1016/j.apr.2025.102585

Jahedi, F., Turner, A., & Jaafarzadeh Haghighi Fard, N. (2026). Spices under the microscope: First detection and characterization of microplastics in turmeric, black pepper, and chili. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, 13,* 101334. https://doi.org/10.1016/j.cscee.2026.101334

Jin, Y., Lu, L., Tu, W., Luo, T., & Fu, Z. (2019). Impacts of polystyrene microplastic on the gut barrier, microbiota and metabolism of mice. *Science of the Total Environment, 649,* 308-317. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.353

Klein, M., & Fischer, E. K. (2019). Microplastic abundance in atmospheric deposition within the metropolitan area of Hamburg, Germany. *Science of the Total Environment*, *685*, 96-103. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.405

Koelmans, A. A., Nor, N. H. M., Hermsen, E., Kooi, M., Mintenig, A. M. & France, J. D. (2019). Microplastics in freshwaters and drinking water: critical review and assessment of data quality. *Water Research*, *155*, 410-422. https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.054

Kole, P. J., Löhr, A. J., Van Belleghem, F. G. A. J., & Ragas, A. M. J. (2017). Wear and Tear of Tyres: A Stealthy Source of Microplastics in the Environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *14*(10), 1265. https://doi.org/10.3390/ijerph14101265

Kosuth, M., Mason, S. A., & Wattenberg, E. V. (2018). Anthropogenic contamination of tap water, beer, and Sea Salt. *PloS one*, *13*(4), e0194970. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194970

Lee, M., & Kim, H. (2022). COVID-19 pandemic and microplastic pollution. *Nanomaterials*, *12*(5), 851. https://doi.org/10.3390/nano12050851

Li, L., Zhou, Q., Yin, N., & Tu, C. (2019). Uptake and accumulation of microplastics in an edible plant. *Chinese Science Bulletin*, *64*(9), 928-934. https://doi.org/10.1360/N972018-00845

Li, R., Lin,F., Zhao, X., Wang, J., Teng, M., Li, , C., ... & Wang, J. (2026). Microplastics and nanoplastics in brain tumours and the healthy human brain. *Nature Health*, 1-14. https://doi.org/10.1038/s44360-026-00091-4

Liebezeit, G., & Liebezeit, E. (2013). Non-pollen particulates in honey and sugar. *Food Additives & Contaminants: Part A*, *30*(12), 2136-2140. https://doi.org/10.1080/19440049.2013.843025

Lindeque, P. K., Cole, M., Coppock, R. L., Lewis, C. N., Miller, R. Z., Watts, A. J. R., … & Wright, S. L. (2020). Are we underestimating microplastic abundance in the marine environment? A comparison of microplastic capture with nets of different mesh-size. *Environmental Pollution*, *265*, 114721. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114721

Ma, B., Xue, W., Hu, C., Liu, H., Qu, J., & Li, L. (2019). Characteristics of microplastic removal via coagulation and ultrafiltration during drinking water treatment. *Chemical Engineering Journal*, *359*, 159-167. https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.11.155

Macfadyen, G., Huntington, T., & Cappell, R. (2009). *Abandoned, lost or otherwise discarded fishing gear*. Co-publication UNEP Regional Seas Report and Studies/FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper; https://www.researchgate.net/publication/242491383_Abandoned_Lost_or_Otherwise_Discarded_Fishing_Gear

Maghsodian, Z., Sanati, A. M., Ramavandi, B., Ghasemi, A., & Sorial, G. A. (2021). Microplastics accumulation in sediments and Periophthalmus waltoni fish, mangrove forests in southern Iran. *Chemosphere, 264,* 128543. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128543

Makhdoumi, P., Amin, A. A., Karimi, H., Pirsaheb, M., Kim, H., & Hossini, H. (2021). Occurrence of microplastic particles in the most popular Iranian bottled mineral water brands. *Journal of Water Process Engineering, 39,* 101708. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101708

Makhdoumi, P., Hossini, H., Nazmara, Z., Mansouri, K., & Pirsaheb, M. (2021). Occurrence and exposure analysis of microplastic in the gut and muscle tissue of riverine fish in Kermanshah province of Iran. *Marine Pollution Bulletin, 173,* 112915. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112915

Makhdoumi, P., Pirsaheb, M., Amin, A. A., Kianpour, S., & Hossini, H. (2023). Microplastic pollution in table salt and sugar: Occurrence, qualification and quantification and risk assessment. *Journal of Food Composition and Analysis, 119,* 105261. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105261

Mariano, S., Tacconi, S., Fidaleo, M., Rossi, M., & Dini, L. (2021). Micro and Nanoplastics Identification: Classic Methods and Innovative Detection Techniques. *Frontiers in Toxicology, 3,* 636640. https://doi.org/10.3389/ftox.2021.636640

Massahi, T., Amin, A. A., Meshabaz, R. A., Pirsaheb, M., Terry, L., Makhdoumi, P., … & Hossini, H. (2024). Microplastic occurrence and its potential role as a carrier for SARS-CoV-2 in health center wastewater treatment plant and surface water. *Journal of Sea Research, 198,* 102477. https://doi.org/10.1016/j.seares.2024.102477

Mohammadi, A., Malakootian, M., Dobaradaran, S., Hashemi, M., & Jaafarzadeh, N. (2022). Occurrence, seasonal distribution, and ecological risk assessment of microplastics and phthalate esters in leachates of a landfill site located near the marine environment. *Science of The Total Environment, 842,* 156838. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156838

Mohammadzadeh, H., & Razi, A. (2026). Microplastics Pollution in Iran and the Persian Gulf Basin Countries: A Systematic Review of Transboundary Transport Mechanisms. *Manuscript submitted for publication* / *Resist2026 Conference Proceedings*. https://profdoc.um.ac.ir/articles/a/1106006.pdf

Mokammel, A., Naddafi, K., Hassanvand, M. S., Nabizadeh Nodehi, R., Faridi, S., Noruzzade, E., & Yaghmaian, K. (2025). Airborne microplastics pollution in municipal solid waste processing and disposal complex. *Emerging Contaminants, 11*(1), 100459. https://doi.org/10.1016/j.emcon.2024.100459

Momeni, M. K., Taghipour, H., Ghayebzadeh, M., Mohammadi, M., & Keikhaee, R. (2025). Isolation and characterization of microplastics from the human respiratory system. *Environmental Pollution, 365,* 125389. https://ssrn.com/abstract=4959126

Munyaneza, J., Jia, Q., Qaraah, F. A., Hossain, M. F., Wu, C., Zhen, H., & Xiu, G. (2022). A review of atmospheric microplastics pollution: in-depth sighting of sources, analytical methods, physiognomies, transport and risks. *Science of The Total Environment*, *822*, 153339. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153339

Nabizadeh, R., Sajadi, M., Rastkari, N., & Yaghmaeian, K. (2019). Microplastic pollution on the Persian Gulf shoreline: A case study of Bandar Abbas city, Hormozgan Province, Iran. *Marine Pollution Bulletin, 145,* 536-546. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.048

Naeeji, N., Rafeei, M., Azizi, H., Hashemi, M., & Eslami, A. (2020). Data on the microplastics contamination in water and sediments along the Haraz River estuary, Iran. *Data in Brief, 32,* 106155. *https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.106155*

Naji, A., Azadkhah, S., Farahani, H., Uddin, S., & Khan, F. R. (2021). Microplastics in wastewater outlets of Bandar Abbas city (Iran): A potential point source of microplastics into the Persian Gulf. *Chemosphere, 262,* 128039. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128039

Najibzadeh, M., & Ansari, A. (2026). Combined contamination of microplastics and heavy metals in a riverine ecosystem: insights from fish and amphibian species. *Environmental Pollution, 391,* 127639. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2026.127639

Najibzadeh, M., Kazemi, A., Esmaeilbeigi, M., & Hassan, H. U. (2025). Impact of microplastic contamination derived from human activities on anuran species. *Process Safety and Environmental Protection, 197,* 107002. https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119774

Najibzadeh, M., Kazemi, A., Hassan, H. U., & Esmaeilbeigi, M. (2024). Hazard assessment of microplastics and heavy metals contamination in Levant frogs (Pelophylax bedriagae). *Environmental Research, 262,* 119774. https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119774

Nizzetto, L., Bussi, G., Futter, M. N., Butterfield, D., & Whitehead, P. G. (2016). A theoretical assessment of microplastic transport in river catchments and their retention by soils and river sediments. *Environmental Science: Processes & Impacts*, *18*(8), 1050-1059. https://doi.org/10.1039/c6em00206d

Pironti, C., Ricciardi, M., Mtta, O., Miele, Y., Proto, A., & Montano, L. (2021). Microplastics in the Environment: Intake through the Food Web, Human Exposure and Toxicological Effects. *Toxics, 9*(9), 224. https://doi.org/10.3390/toxics9090224

Pirsaheb, M., Makhdoumi, P., Hossini, H., Massahi, T., Parnoon, K., Naseri, S., & Nouri, M. (2025). First evidence of microplastic contamination in bottled herbal distillates. *Journal of Hazardous Materials Advances, 19,* 100852. https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2025.100852

Pirsaheb, M., Nouri, M., Massahi, T., Makhdoumi, T., Azadi Baban, N., & Hossini, H. (2024). Microplastics contamination in the most popular brands of Iranian sausages. *Heliyon, 10*(14), e34363. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34363

Plastic over shoot day. 5 september. (2024). https://www.e-a.earth/plastic-overshoot-day-report-2024/

Prata, J. C. (2018). Airborne Microplastics: Consequences to Human Health? *Environmental Pollution, 234,* 115–126. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.043

Prata, J. C., da Costa, J. P., Lopes, I., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (202۰). Environmental Exposure to Microplastics: An Overview on Possible Human Health Effects. *Science of the Total Environment*, *702*, 134455. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134455

Qi, Y., Yang, X., Pelaez, A. M., Lwanga, E. H., Beriot, N., Gertsen, H., … & Geissen, V. (2018). Macro- and micro-plastics in soil-plant system: effects of plastic mulch film residues on wheat (Triticum aestivum) growth. *Science of the Total Environment*, *645*, 1048-1056. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.229

Ragusa, A., Svelato, A., Santacroce, C., Catalano, P., Notarstefano, V., Carnevali, O., & Giorgini, E. (2021). Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. *Environment International*, *146*, 106274. https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106274

Rahmani, A., Boroojerdi, M., Seid-mohammadi, A., Shabanloo, A., Zabihollahi, S., & Zafari, D. (2023). Abundance and characteristics of microplastics in different zones of waste landfill site: A case study of Hamadan, Iran. *Chemosphere*, *335*, 139060. https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100494

Rasta, M., Sattari, M., Taleshi, M. S., & Namin, J. I. (2020). Identification and distribution of microplastics in the sediments and surface waters of Anzali Wetland in the Southwest Caspian Sea, Northern Iran. *Marine Pollution Bulletin, 160,* 111541. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111541

Rasta, M., Sattari, M., Taleshi, M. S., & Namin, J. I. (2021). Microplastics in different tissues of some commercially important fish species from Anzali Wetland in the Southwest Caspian Sea, Northern Iran. *Marine Pollution Bulletin, 169,* 112479. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112479

Razeghi, N., Hamidian, A. H., Wu, C., Zhang, Y., & Yang, M. (2021). Scientific studies on microplastics pollution in Iran: An in-depth review of the published articles. *Marine Pollution Bulletin, 162,* 111901. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111901

Razi, A., & Mohammadzadeh, H. (2025). Qanat, a cultural, social and water resource management heritage, is exposed to microplastic pollution (Case Study: Qanat of Keyzaqan Village, Sabzevar). *Proceedings of the First National Hydrogeology Conference of Iran*, *Tabriz University, Iran*. [In Persian] http://openaccess.ir/c/HN-hydro1/paper_1510934

Rehman, Z. U., Song, J., Wang, C., Nunes, L. M., Kazmi, S. S. H., Azeem, M., ... & Li, G. (2026). Microplastic distribution and risk assessment in soil environment across Asian regions. *Applied Soil Ecology, 224*, 107161. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2026.107161

Ririe, A. K., Fatema, N., Dina, T. J., Kuchipudi, J., Tamanna, P., Libriansyah, S., … & Kaderi, N. (2025). Impact of Microplastic Exposure on Human Health: A Systematic Review of Mechanisms, Biomarkers, and Clinical Outcomes. *Cureus, 17*(12), e100295. https://doi.org/10.7759/cureus.100295

Rochman, C. M., Tahir, A., Williams, S. L., Baxa, D. V., Lam, R., Miller, J. T., … & Werorilangi, S. G. (2015). Anthropogenic debris in seafood: plastic debris and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption. *Scientific Reports, 5*(1), 14340. https://doi.org/10.1038/srep14340

Safdari, F., Jorfi, S., Haghighi Fard, N. J., Babaei, A. A., Takdastan, A., & Ahmadi, M. (2026). Microplastic inhalation in waste management workers: evidence from nasal lavage and sputum analysis. *Waste Management, 222,* 115646. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2026.115646

Santos, R. G., Andrades, R., & Machovsky-Capuska, G. E. (2021). A global synthesis of microplastic ingestion in fish and its ecological implications. *Science of The Total Environment*, *860*, 160420. https://doi.org/10.1007/s11160-021-09684-6

Selvam, S., Jesuraja, K., Venkatramanan, S., Roy, P. D., & Jeyanthi Kumari, V. (2021). Hazardous microplastic characteristics and its role as a vector of heavy metal in groundwater and surface water of coastal south India. *Journal of Hazardous Materials*, *402*, 123786. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123786

Setälä, O., Fleming-Lehtinen, V., & Lehtiniemi, M. (2014). Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web. *Environ Pollution, 185,* 77–83. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.10.013

Shah, A. A., Hasan, F., & Hameed, A.(2008). Biological degradation of plastics: a comprehensive review. *Biotechnology Advances*, *26*(3), 246-265. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.12.005

Shahsavaripour, M., Abbasi, S., Mirzaee, M., & Amiri, H. (2023). Human occupational exposure to microplastics: A cross-sectional study in a plastic products manufacturing plant. *Science of The Total Environment, 882,* 163576. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163576

Shi, J., Dong, Y., Shi, Y., Yin, T., He, W., An, T., … & Lin, H. (2022*)*. Groundwater antibiotics and microplastics in a drinking-water source area, northern China: occurrence, spatial distribution, risk assessment, and correlation. *Environmental Research, 210,* 112855. https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.112855

Shojaei, N., Moradi, N., Sharifi, A., & Yasari, E. (2026). Heavy metal and microplastic contamination in amphibian breeding marshes deep within the Hyrcanian Forests: A screening-level ecological risk assessment using FMEA framework. *Environmental Development,* 101393. https://doi.org/10.1016/j.envdev.2025.101393

Sintim, H. Y., & Flury, M. (2017). Plastic mulch films in agriculture: Their use, degradation, and impacts on soil. *Journal of Environmental Quality*, *46*(2), 243-252. https://doi.org/10.3390/environments10100179

Soleimani, F., Habibi, R., Arfaeinia, H., Masjedi, M. R., Tahmasbizadeh, M., Dadipoor, S., Ebrahimi kalan, M., & Zahedi, A. (2025). Unseen threats: Microplastic presence in waterpipe tobacco. *Environmental Technology & Innovation, 38,* 104069. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163207

Song, J., Zhao, S., & Wang, C. (2026). Effects of microplastic on soil ecosystems: a perspective from functional genes. *Chemosphere, 376,* 144256. https://doi.org/10.48130/ebp-0026-0003

Taghipour, H., Ghayebzadeh, M., Ganji, F., Mousavi, S., & Azizi, N. (2023). Tracking microplastics contamination in drinking water in Zahedan, Iran: From source to consumption taps. *Science of The Total Environment, 872,* 162121. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162121

Taghipour, H., Ghayebzadeh, M., Mousavi, S. M. S., Sharifi, H. & Payandeh, A. (2023). Incidence and exposure to microplastics in table salt present in the Iran market. *Toxicology Reports, 11,* 129-140. https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2023.07.003

Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W. G., McGonigle, D. & Russell, A. E. (2004). Lost at sea: where is all the plastic? *Science, 304*(5672), 838. https://doi.org/10.1126/science.1094559

Van Cauwenberghe, L., & Janssen, C.R. (2014). Microplastics in bivalves cultured for human con sumption. *Environmental Pollution, 193,* 65-70. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.06.010

Vayghan, A. H., Rasta, M., Zakeri, M., & Kelly, F.J. (2022). Spatial distribution of microplastics pollution in sediments and surface waters of the Aras River and reservoir: An international river in Northwestern Iran. *Science of The Total Environment, 843,* 156894. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156894

Viaroli, S., Lancia, M., & Re, V. (2022). Microplastics contamination of groundwater: current evidence and future perspectives: a review. *The Science of the Total Environment, 824,* 153851 https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153851

Wagner, M., Scherer, C., Alvarez-Muñoz, D., Brennholt, N., Bourrain, X., Buchinger, S., & Reifferscheid, G. (2014). Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know. *Environmental Sciences Europe, 26*(1), 12. https://doi.org/10.1186/s12302-014-0012-7

Wagner, S., Hüffer, T., Klöckner, P., Wehrhahn, M., Hofmann, T., & Reemtsma, T. (2018). Tire wear particles in the aquatic environment – a review on generation, analysis, occurrence, fate and effects. *Water Research,139*, 83–100. https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.03.051

Winterling, H., & Sonntag, N. (2011). Rigid Polystyrene Foam (EPS, XPS). *Kunststoffe International, 101*(10), 18-21. https://www.researchgate.net/publication/279708206_Rigid_polystyrene_foam_EPS_XPS

Worm, B., Lotze, H. K., & Jubinville, I. (2017). Plastic as a persistent marine pollutant. *Annual Review of Environment and Resources,42*,1-*26*. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102016-060700

Wright, S. L., Levermore, K., & Kelly, F. J. (2019). Raman spectral analysis of atmospheric microplastics and implications for human exposure. *Environmental Pollution*, *265*, 114805. https://doi.org/10.1021/acs.est.8b06663

Yang, D., Shi, H., Li, L., Li, J., Jabeen, K., & Kolandhasamy, P. (2015). Microplastic pollution in table salts from China. *Environmental Science & Technology, 49,* 13622–13627. https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.5b03163

Yi, M., Zhou, S., Zhang, L., & Ding, S. (2021). The effects of three different microplastics on enzyme activities and microbial communities in soil. *Water Environment Research, 93*(1), 24-32. https://doi.org/10.1002/wer.1327

Zazouli, M., Nejati, H., Hashempour, Y., Dehbandi, R., Nam, V. T., & Fakhri, Y. (2022). Occurrence of microplastics (MPs) in the gastrointestinal tract of fishes: A global systematic review and meta-analysis and meta-regression. *The Science of the Total Environment*, *815*, 152743. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152743

Zhang, J., Li, Z., Zhou, X., Ding, W., Ding, W., Zhao, M., ... & Chen, Y. (2023*)*. Long-term application of organic compost is the primary contributor to microplastic pollution of soils in a wheat-maize rotation. *Science of the Total Environment*, *866*, 161123. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161123

Ziajahromi, S., Neale, P. A., Rintoul, L., & Leusch, F. D. (2017). Wastewater treatment plants as a pathway for microplastics: development of a new approach to sample wastewater-based microplastics. *Water Research, 112*, 93–99. https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.01.042