Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 49, No. 3, Fall 2026, p. 111-125

Research Paper

Journal homepage: https://jise.scu.ac.ir/?lang=en

EXTENDED ABSTRACT

Microplastic Assessment in Drinking Water Distribution Network (Case Study: Khorramabad City)

S. Namdarian[1], B. Kamarehie[2*], M. A. Karami[3], R. Foladifard[4], A. Norouzian Baghani [5] and F. Azimi[6]

1-Student Research Committee, Lorestan University of Medical Sciences, Khorramabad, Iran.
2- Corresponding Author, Department of Environmental Health, Lorestan School of Health and Medical Sciences (b.kamarehie@gmail.com)*
3- Department of Environmental Health, Lorestan School of Health and Medical Sciences.
4- Department of Environmental Health, Qom School of Health and Medical Sciences.
5- Department of Environmental Health, Lorestan School of Health and Medical Sciences.
6- Department of Environmental Health, Lorestan School of Health and Medical Sciences.

ARTICLE INFO

Artlcle history:
Received: 10 September 2025
Revised: 10 February 2026
Accepted: 17 February 2026
Available online: 07 November 2026

Keywords:
Plastic pollution, drinking water, water supply network, western part of the country, Raman spectroscopy spectroscopy.

TO CITE THIS ARTICLE:

Namdaryan, S., Kamarehie, B., Karami, M. A., Foladifard, R., Norouzian Baghani, A., & Azimi, F. (2026). 'Microplastic Assessment in Drinking Water Distribution Network (Case Study: Khorramabad City)', *Irrigation Sciences and Engineering*, 49(3), pp. 111–125. doi: 10.22055/jise.2026.50588.2180.

Abstract

In today's world, microplastics are recognized as emerging pollutants in the atmosphere, terrestrial and aquatic ecosystems, as well as in food and beverages. These particles have the potential to pose serious threats to biodiversity and human health. The aim of this study was to comprehensively assess the concentration, types, and sizes of microplastics in the urban distribution network of Khorramabad. In this research, water samples were collected from 31 points within the city's water distribution network during the months of March, April, july, and August of 1403 (2024). Microplastic extraction methods included chemical digestion and separation based on density differences. Particle identification was performed using a stereo microscope and Raman spectroscopy. Of the total 62 samples collected, 46 contained microplastics. The results also revealed that the average concentration of microplastics in the drinking water of Khorramabad was 1.46 particles per liter, with the dominant type of particles being white fibers (ranging from 150-1500 µm) and polymers such as polyethylene, polypropylene, and polystyrene. No statistically significant difference was observed between the different sampling points (p-value = 0.25). These variations could be attributed to factors such as water storage methods, filter efficiency, human activities, and geographical conditions. The findings highlight the presence of microplastics in the drinking water of Khorramabad and emphasize the need for implementing control measures and continuous monitoring.

Introduction

Microplastics, plastic particles ranging from 1 to 5 millimeters in size, are categorized into two main types: primary (directly manufactured) and secondary (resulting from the degradation of larger plastic items). These particles exhibit diverse morphologies, including fibers, granules, and irregular fragments, and are predominantly composed of polymers such as polyethylene, polypropylene, polyvinyl chloride, and polystyrene. Numerous studies have reported the detrimental effects of microplastics on human health, encompassing immune system disruption,

oxidative stress, cytotoxicity, metabolic disorders, neurotoxicity, mutagenicity, and carcinogenic potential. These particles can penetrate tissues like muscles and the brain, and traverse the intestinal wall to enter the bloodstream and lymphatic system, potentially leading to inflammation and impaired immune function. The precise mechanisms of microplastic biological effects are still under investigation, but are generally categorized into physical (related to size, shape, and concentration) and chemical (stemming from toxic additives). Human exposure to microplastics occurs through the food chain, consumption of contaminated water, and inhalation of airborne particles. Research from 2023 confirmed the presence of microplastics in all human stool samples analyzed across Europe and Asia. Drinking water, due to daily consumption, represents a significant exposure pathway. Although comprehensive research in this area is limited, existing data indicate the presence of microplastics in both bottled and tap water. The first reports of microplastic identification in municipal tap water were provided by (Eerkes-Medrano, Thompson, and Aldridge 2015; Kosuth, Mason, and Wattenberg 2018; Mason, Welch, and Neratko 2018).This study aims to investigate the presence and characterize the quantitative and qualitative aspects of microplastics in the drinking water supply system of Khorramabad city in 2024. Through precise analysis of the concentration, size, shape, and chemical composition of microplastics at various points within the water distribution network (household tap outlets), this research seeks to provide valuable evidence regarding the distribution pattern of these pollutants and to examine potential differences in contamination levels across Khorramabad's urban water supply network.

Material and methods

In this study, drinking water sampling was conducted weekly during the spring and summer of 2024, encompassing both rainy and dry months, with 3 to 4 samples collected per week. These samples were immediately transported to the laboratory of the Khorramabad School of Public Health. The microplastic extraction method involved two main stages: 1) Filtration and organic matter digestion: Water samples were filtered, and their organic matter was digested with hydrogen peroxide. 2) Density-based separation: Microplastics were separated from other particles using a zinc chloride solution and centrifugation. Finally, microplastics were counted and identified using a stereo microscope based on their physical characteristics. Microplastic classification was performed based on shape, size, color, and major axis length. Furthermore, the chemical structure and morphology of 9% of the dominant microplastics were determined using micro-Raman spectroscopy and scanning electron microscopy (SEM). Results were reported as microplastics per liter (Abbasi et al. 2022).

Discussion

This study investigated the abundance, physical characteristics, and chemical composition of microplastics in drinking water in Khorramabad city during wet and dry seasons. The results indicated average microplastic abundances of 5 and 2.1 particles per liter in the wet and dry seasons, respectively, with the predominant particle size ranging from 150 to 1500 micrometers. Fibers were the most dominant microplastic morphology in both seasons, which was associated with urban wastewater discharge and household activities. White was also the most prevalent color of microplastics. Micro-Raman spectroscopic analysis identified polyethylene (50%), polypropylene (30%), and polystyrene (20%) as the most dominant polymers. The high abundance of polyethylene and polypropylene was attributed to global demand, domestic consumption, and extensive use in packaging industries and water distribution networks. The absence of a statistically significant difference in the spatial distribution of microplastics across the city, coupled with the presence of microplastics in treated water, underscores the importance of investigating potential contamination sources throughout the water treatment and distribution processes, even though Khorramabad's primary water source is groundwater (Pivokonsky et al. 2018; Tong et al. 2020).

Conclusion

This study investigated the presence and characteristics of microplastics within the drinking water distribution network of Khorramabad city. The overall mean abundance of microplastics in this network was estimated to be 1.46 particles per liter, with 46 out of 62 samples containing

microplastics. White fibers, ranging in size from 500 to 750 micrometers, constituted the most dominant type of microplastics identified. Spectroscopic analyses confirmed the presence of polyethylene, polypropylene, and polystyrene in the samples. The mean concentration of 1.46 particles per liter is likely associated with the water hardness in Khorramabad and the resulting resistance to abrasion and corrosion in water pipes. Despite observed variations in quantities, statistical analysis revealed no significant difference in microplastic abundance across different urban areas (P=0.25). These minor discrepancies could stem from various factors, including the type and methods of water storage, filtration inefficiencies, inadequate infrastructure maintenance, human activities, and geographical conditions.

Conflict of Interest

The authors declared no potential conflicts of interest concerning the research, authorship, and publication of this article. Confirmation.

Funding

The authors received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

Data Availability Statements

The datasets generated and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, and plagiarism, and any form of misconduct.

Declaration of Generative AI and AI-assisted technologies in the writing process

The authors state that they have not used generative AI or AI-assisted technologies in their manuscript.

Authors' contribution

First Author: Sara Namdarian, Methodology, Writing-original draft, Formal analysis, Visualization.
Second Author: Bahram Kamarehei, Conceptualization, Funding acquisition, Data curation, Investigation, Methodology, Project administration, Resources, Supervision, Validation.
Third Author: Mohammad Amin Karami, Conceptualization, Data curation, Investigation, Methodology, Project administration, Resources, Supervision, Validation.
Fourth Author: Reza Fouladi Fard, Writing-review & editing, Formal analysis, Resources, Conceptualization, Data curation, Investigation, Supervision.
Fifth Author: Abbas Norouzian Baghani**,** Conceptualization, Data curation, Investigation, Supervision.
Sixth Author: Faramarz Azimi, Validation, Formal analysis.

Acknowledgment

The authors gratefully acknowledge all faculty members and colleagues for their sincere scientific and technical support throughout the implementation of this research. Their cooperation played a key role in the progress of the study.This research was supported by the Water and Wastewater Organization and was conducted as part of Project No. 3769, with additional support from Lorestan University of Medical Sciences.

Refrences

1-Abbasi, Sajjad, Mahrooz Rezaei, Farnaz Ahmadi, and Andrew Turner. 2022. 'Atmospheric transport of microplastics during a dust storm', *Chemosphere*, 292: 133456. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133456.

2-Eerkes-Medrano, Dafne, Richard C Thompson, and David C Aldridge. 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.

3-Kosuth, Mary, Sherri A Mason, and Elizabeth V Wattenberg. 2018. 'Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt', *PloS one*, 13: e0194970. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194970.

4-Mason, Sherri A, Victoria G Welch, and Joseph Neratko. 2018. 'Synthetic polymer contamination in bottled water', *Frontiers in chemistry*, 6: 389699. https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00407.

5-Pivokonsky, Martin, Lenka Cermakova, Katerina Novotna, Petra Peer, Tomas Cajthaml, and Vaclav Janda. 2018. 'Occurrence of microplastics in raw and treated drinking water', *Science of the total environment*, 643: 1644–51. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.102/

6-Tong, Huiyan, Qianyi Jiang, Xingshuai Hu, and Xiaocong Zhong. 2020. 'Occurrence and identification of microplastics in tap water from China', *Chemosphere*, 252: 126493. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126493

 © 2026 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

علوم و مهندسی آبیاری جلد ۴۹، شماره‌ی۳، پاییز ۱۴۰۵، مقاله پژوهشی، ص. ۱۲۵-۱۱۱

ارزیابی آلودگی میکروپلاستیکی در شبکه توزیع آب شرب (مطالعه موردی: شهر خرم‌آباد)

سارا نامداریان[۱]، بهرام کمره ئی[۲*]، محمد امین کرمی[۳]، رضا فولادی فرد[۴]، عباس نوروزیان باغانی[۵]و فرامرز عظیمی[۶]

۱ - کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم آباد، ایران.

۲* - نویسنده مسئول، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و علوم پزشکی لرستانb.kamarehie@gmail.com

۳- گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و علوم پزشکی لرستان.

۴- گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و علوم پزشکی قم.

۵- گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و علوم پزشکی لرستان.

۶- گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و علوم پزشکی لرستان.

دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۱۹ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۱/۲۱ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۲۸ انتشار: ۱۴۰۴/۰۸/۱۶

چکیده

در دنیای امروز، میکروپلاستیک‌ها به‌عنوان آلاینده‌های نو ظهور در جوّ، اکوسیستم‌های زمینی و آبی، و همچنین در مواد غذایی و نوشیدنی‌ها شناسایی شده‌اند. این ذرات، پتانسیل ایجاد تهدیدات جدی برای تنوع زیستی و سلامت انسان را دارند. هدف این مطالعه بررسی جامع غلظت، انواع و اندازه‌های میکروپلاستیک‌ها در شبکه توزیع شهری خرم‌آباد بود. در این پژوهش، نمونه‌های آب از ۳۱ نقطه در شبکه آب‌لوله‌کشی و در ماه‌های فروردین، اردیبهشت، مرداد و شهریور ۱۴۰۳ جمع‌آوری شد. روش‌های استخراج میکروپلاستیک‌ها شامل هضم شیمیایی و جداسازی بر اساس اختلاف چگالی بود. شناسایی ذرات، با بهره‌گیری از میکروسکوپ استریو و طیف سنجی رامان انجام شد. از مجموع ٦٢ نمونه جمع‌آوری‌شده، ٤٦ نمونه حاوی میکروپلاستیک بودند. همچنین نتایج نشان داد که میانگین غلظت میکروپلاستیک‌ها در آب شرب شهر خرم‌آباد ۱/٤٦ ذره در لیتر بود، در حالی که نوع غالب این ذرات الیاف سفید (۱۵۰۰-۱۵۰ µm) و پلیمرهای پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن و پلی‌استایرن). تفاوت آماری معناداری بین نقاط مختلف نمونه برداری مشاهده نشد (مقدار p= 0.25). این تغییرات می‌تواند ناشی از عوامل مختلفی مانند روش‌های ذخیره‌سازی آب، کارایی فیلترها، فعالیت‌های انسانی، و شرایط جغرافیایی باشد. یافته‌ها حاکی از حضور میکروپلاستیک‌ها در آب آشامیدنی شهر خرم‌آباد و لزوم اجرای اقدامات کنترلی و پایش مستمر را نشان می‌دهد.

کلیدواژ ه‌ها: آلودگی پلاستیکی، آب آشامیدنی، شبکه آبرسانی، غرب کشور، طیف سنجی رامان.

مقدمه

میکروپلاستیک‌ها به‌عنوان ذرات پلاستیک با ابعاد بزرگتر از یک و کوچکتر از پنج میلی‌متر تعریف می‌شوند. این ذرات از نظر منشأ به دو گروه اولیه و ثانویه تقسیم‌بندی می‌گردند. میکروپلاستیک‌های اولیه به‌طور مستقیم در ابعاد میکروسکوپی تولید شده و در محصولاتی مانند لوازم مراقبت شخصی، گرانول‌های صنعتی و الیاف مصنوعی یافت می‌شوند. در مقابل میکروپلاستیک‌های ثانویه حاصل تخریب تدریجی پلاستیک‌های بزرگتر تحت تأثیر عوامل محیطی مانند تابش اشعه UV، فرایند اکسایش و سایش مکانیکی هستند (Kishipour et al., 2020؛Yu et al., 2022). این ذرات در محیط به اشکال گوناگونی از جمله الیاف، گرانول قطعات نامنظم و فیلم‌ها مشاهده می‌شوند (Andrady, 2011). از نظر ترکیب شیمیایی رایج‌ترین میکروپلاستیک‌ها شامل پلی‌اتیلن (PE)، پلی‌پروپیلن (PP)، پلی‌وینیل کلراید (PVC)، پلی‌اتیلن ترفتالات (PET)، پلی‌فرمالدئید (PEM)، پلی‌استایرن (PS) و پلی‌آمید (PA) می‌باشند. مطالعه‌ها نشان داده‌اند که میکروپلاستیک‌ها می‌توانند اثرات نامطلوبی بر سیستم ایمنی، ایجاد استرس اکسیداتیو، سمیت سلولی، اختلال در متابولیسم، تخریب عملکرد سیستم ایمنی، سمیت عصبی، القای جهش سلولی و سرطان شوند (Hashempour et al., 2023). شواهد علمی نشان می‌دهد که این ذرات قادرند به بخش‌های مختلف بدن از جمله بافت ماهیچه‌ای و مغز نفوذ کنند. همچنین امکان انتقال آن‌ها از طریق دیواره روده به سیستم لنفاوی و جریان خون وجود دارد که می‌تواند باعث ایجاد پاسخ‌های التهابی غیرطبیعی و اختلال در عملکرد سیستم ایمنی گردد (Ghafouri et al., 2023). اگرچه مکانیسم دقیق اثر میکروپلاستیک‌ها بر اندام‌های بدن هنوز به‌طور کامل شناخته نشده است، اما به‌طور کلی اثرات مضر آن‌ها را می‌توان

DOI: 10.22055/jise.2026.20588.2180

در دو دسته اصلی طبقه‌بندی نمود: اثرات فیزیکی: که عمدتاً به اندازه ذرات، شکل و غلظت آن‌ها مرتبط است. اثرات شیمیایی: که ناشی از مواد شیمیایی خطرناک همراه با میکروپلاستیک‌ها می‌باشد (Bagheri et al. 2022; Mehrabadi et al. 2019). میکروپلاستیک‌ها امروزه به‌طور گسترده‌ای وارد زنجیره غذایی انسان شده‌اند و مهم‌ترین راه‌های مواجهه با آن‌ها شامل مصرف آب و مواد غذایی آلوده و استنشاق هوای حاوی این ذرات می‌باشد. مطالعه‌های انجام شده در سال ۲۰۲۳ بر روی نمونه‌های مدفوع انسان در کشورهای اروپایی و آسیایی نشان داد که تمامی نمونه‌های بررسی شده حاوی میکروپلاستیک بوده‌اند (Salmasi et al. 2020). در میان منابع مختلف مواجهه، آب آشامیدنی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، چرا که به‌صورت روزانه و مداوم توسط انسان مصرف می‌شود. اگرچه پژوهش‌های جامعی درباره بار میکروپلاستیک در آب آشامیدنی انجام نشده است، اما داده‌های پراکنده موجود حاکی از حضور این ذرات هم در آب بطری و هم در آب لوله‌کشی می‌باشد (Mason et al., 2018; Oßmann, 2021). اولین گزارش‌ها از شناسایی میکروپلاستیک‌ها در آب لوله‌کشی شهری توسط Eerkes-Medrano et al (2015)، Kosuth et al (2018) و Mason et al (2018) ارائه شدند. خرم‌آباد، واقع در منطقه‌ای کوهستانی با اقلیم چهارفصل و منابع آبی غنی، دارای شبکه انتقال آبی است که شامل لوله‌های چدنی، پلی‌اتیلن و فولادی با قدمت متفاوت است. فرسودگی و خوردگی بخش قابل توجهی از این لوله‌های قدیمی، تعویض آن‌ها را ضروری می‌سازد (Hassanvand et al., 2011).

با توجه به تحقیقات محدود در مورد میکروپلاستیک‌ها در ایران، به‌ویژه در مورد آب آشامیدنی، و همچنین با توجه به اینکه تاکنون در زمینه آلودگی پلاستیکی در آب آشامیدنی در لرستان مطالعه‌ای انجام نشده است، هدف اصلی این مطالعه، بررسی حضور میکروپلاستیک‌ها در سیستم تأمین آب آشامیدنی شهر خرم‌آباد و مقایسه کمی و کیفی این آلاینده‌ها در شبکه توزیع آب شهری (خروجی شیرهای خانگی) می‌باشد. این پژوهش با بررسی دقیق و همه‌جانبه پارامترهای گوناگون نظیر غلظت، ابعاد، مورفولوژی و ترکیب شیمیایی میکروپلاستیک‌ها در شبکه توزیع آب، قادر است شواهد ارزشمندی در خصوص الگوی انتشار این آلاینده‌ها در سامانه‌های آب‌رسانی شهری ارائه دهد. افزون بر این، مطالعه حاضر با تحلیل دقیق غلظت، گونه‌ها و اندازه میکروپلاستیک‌ها در نقاط مختلف شبکه توزیع، می‌تواند نشان‌گر تفاوت یا عدم تفاوت سطوح آلودگی میان بخش‌های مختلف شبکه باشد. این امر به نوبه خود، در انتخاب بهینه‌ترین راهبردهای کنترلی و کاهشی ریزپلاستیک‌ها در آب آشامیدنی یاری‌بخش خواهد بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

خرم‌آباد مرکز استان لرستان، در مختصات ″۰۶ ′۲۸ °۳۳ شمالی و ″۲۵ ′۲۰ °۴۸ غربی و در ارتفاع ۱۱۴۷/۸ متری از سطح دریا قرار دارد. این شهر دارای آب و هوایی مدیترانه‌ای معتدل و نیمه مرطوب است، و دارای میزان بارندگی بسیار، خصوصاً در بهار می‌باشد (Hassanvand et al., 2011).

نقاط نمونه‌برداری

در این پژوهش از ۳۱ نقطه نمونه برداری شد. با توجه به اینکه در فصل تر و خشک از هر نقطه به‌صورت جداگانه نمونه برداری شد، در مجموع ۶۲ نمونه از شبکه توزیع آب در سطح شهر خرم‌آباد مورد مطالعه قرار گرفت. برای نمونه‌برداری از لوله کشی آب شرب منازل شهر که از پراکندگی جغرافیایی متناسب و قابلیت دسترسی مناسب برخوردار بودند، استفاده شد. برای نمونه برداری از شبکه توزیع نیز از نرم‌افزار ArcGIS 10.5 با طراحی شبکه نمونه‌برداری با فاصله یک کیلومتر با پوشش تمام مناطق شهری شکل (۱) بهره گرفته شد.

نمونه‌برداری

نمونه‌برداری در ظروف غیرپلاستیکی (شیشه‌ای) یک لیتری، که برچسب مشخصات شامل تاریخ و محل نمونه‌برداری روی آن نصب شده بود، از نقاط مختلف برداشت شد. پس از جمع‌آوری، نمونه‌ها بلافاصله به آزمایشگاه دانشکده بهداشت خرم‌آباد انتقال یافتند. فرآیند نمونه‌برداری در فصل بهار و تابستان سال ۱۴۰۳ انجام شد، به‌طوری که از فصل تر، ماه‌های فروردین و اردیبهشت، و از فصل خشک، ماه‌های مرداد و شهریور، انتخاب گردید. علاوه بر این، نمونه‌ها به‌صورت هفتگی و در هر هفته، میانگین سه تا چهار نمونه برداشت شد. ظروف نمونه‌برداری قبل از هر بار نمونه‌گیری، دو بار با آب همان محل شستشو داده شدند تا عوامل مزاحم رفع گردد (Ferraz et al., 2020; Kosuth et al., 2018).

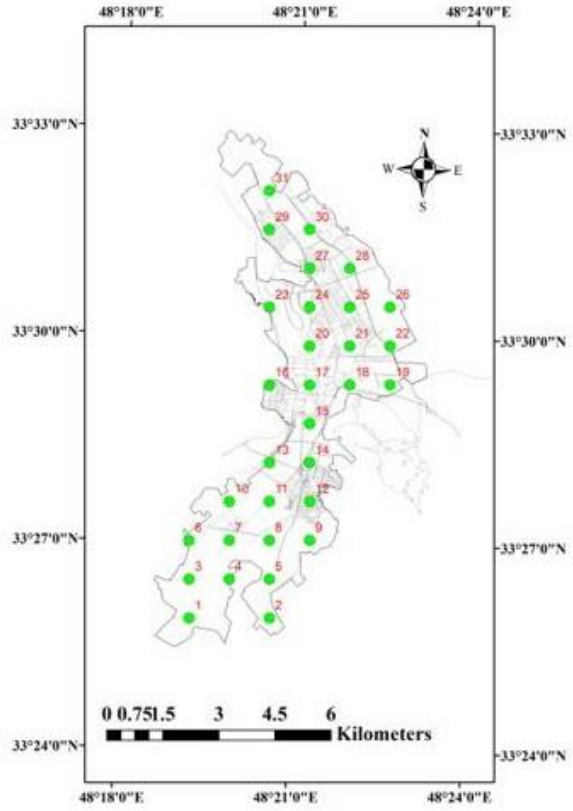

Fig. 1-Sampling points from the distribution network of Khorramabad city using ArcGIS 10.5 software
شکل ۱-نقاط نمونه برداری از شبکه توزیع شهر خرم آباد با استفاده از نرم افزار ArcGIS 10.5

استخراج میکروپلاستیک‌ها

در مرحله اول، فیلترهای کاغذی با قطر ۴۷ میلی‌متر و جنس نیترات سلولز (ساخت واتمن (Watman)، انگلستان) با ضخامت ۰/۴۵ میکرومتر در قیف بوخنر قرار گرفتند، سپس قیف‌ها روی ارلن‌هایی به حجم ۱۰۰۰ میلی‌لیتر قرار داده شدند. نمونه‌های آب گرفته شده به‌طور کامل روی فیلترها تحت خلا، فیلتر شدند. پس از فیلترگذاری، فیلترها درون پلیت‌های شیشه‌ای قرار گرفتند. در مرحله بعد، برای هضم مواد آلی نمونه‌ها، به هر پلیت پنج تا ۱۰ میلی‌لیتر هیدروژن پراکسید ۳۵درصد (H_2O_2) اضافه شد و سپس روی آن‌ها با فویل آلومینیومی پوشانده و در دمای محیط و زیر هود به مدت هفت تا ۱۰ روز نگهداری شدند. برای جداسازی میکروپلاستیک‌ها بر پایه روش استخراج چگالی، فیلترها با اسپاتول فلزی تراشیده و محتویاتشان به یک ارلن ۵۰ میلی‌لیتری منتقل گردید. سپس نه میلی‌لیتر نمک کلرید روی ($ZnCl_2$) با چگالی ۱/۸گرم بر سانتی‌مترمکعب (مرک، آلمان) به هر ارلن افزوده شد. سر ارلن‌ها با فویل آلومینیومی پوشانده شد. پس از آن، محتویات ارلن‌ها به مدت ۱۰ دقیقه، با سرعت ۵۰۰ دور در دقیقه، در دستگاه شیکر تکان داده شد و به مدت یک شب در دمای اتاق نگهداری شدند. پس از گذشت ۲۴ ساعت، محتویات هر ارلن به لوله فالکون منتقل و سپس به مدت ۳ دقیقه با دور ۳۰۰۰ rpm سانتریفیوژ شدند. مایع رویی پس از سانتریفیوژ، با فیلترهای کاغذی ۰/۴۵ میکرومتر از جنس نیترات سلولز (قطر ۴۷ میلی‌متر، واتمن، انگلستان) تحت خلا فیلتر و با ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر شستشو داده شد تا کریستال‌های نمک حذف و روی فیلترها باقی نمانند. در ادامه، فیلترها درون پلیت شیشه‌ای قرار گرفته و به مدت یک ساعت در دمای محیط و در دسیکاتور نگهداری شدند تا خشک شوند (Abbasi et al., 2022; Feizi et al., 2024; Mirbagheri et al., 2023; Ranjdoost et al., 2024; Shirazi et al., 2022).

تشخیص و شناسایی میکروپلاستیک‌ها

تعداد میکروپلاستیک‌ها در هر فیلتر، بر اساس ویژگی‌های فیزیکی نظیر ضخامت، براقی، سختی و واکنش‌پذیری در برابر سوزن داغ (با سوزن استیل ضد زنگ، قطر ۲۵۰ میکرومتر)، با استفاده از میکروسکوپ استریو و با بزرگنمایی ۴۰ برابر، شناسایی و شمارش شدند و نتایج بر حسب واحد میکروپلاستیک در لیتر گزارش گردیدند. به‌طور خاص، میکروپلاستیک‌ها بر پایه شاخص‌های شکل (الیاف، تکه‌ها و فیلم‌ها)، اندازه (با استفاده از پروب فلزی به قطر ۲۳۰ میکرون)، رنگ (سیاه،

DOI: 10.22055/jise.2026.20588.2180

سفید، قرمز، سبز، زرد و آبی) و طول محور بلند (کمتر از ۱۰۰ میکرون، ۱۰۰ تا ۲۵۰ میکرون، ۲۵۰ تا ۵۰۰ میکرون، ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میکرون و ۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ میکرون) دسته‌بندی شدند. ساختار شیمیایی نه درصد از میکروپلاستیک‌های شناسایی‌شده که از نظر شکل، رنگ و اندازه فراوان‌تر بودند، با بهره‌گیری از طیف‌سنجی میکرورامان، تجزیه و تحلیل شد (Ranjdoost et al. 2024; Abbasi et al. 2022).

تضمین کیفیت و کنترل کیفیت

قابلیت اطمینان روش‌های استخراج

برای اطمینان از صحت روش‌های شناسایی و استخراج میکروپلاستیک‌ها، آزمایش‌های بازیابی روی نمونه‌های آب تمیز و پلیمر انجام شد. در این آزمایش، از اشکال نامنظم پلی‌پروپیلن آبی‌رنگ و با اندازه‌های متفاوت شامل ذرات ۶۰۰ مش و ۳۰۰ میکرون به‌عنوان مواد شبیه‌سازی شده برای محتوای میکروپلاستیک نمونه‌ها استفاده گردید. در این فرآیند، ۲۰ ذره میکروپلاستیک، به نسبت برابر، از این اندازه‌ها به دو نمونه آب ۴۰۰ میلی‌لیتری تمیز افزوده شد. پس از مخلوط کردن این نمونه‌ها، تمامی مراحل آزمایش از ابتدا روی آن‌ها اجرا شد و در نهایت، راندمان بازیابی میکروپلاستیک‌های پلی‌پروپیلن آبی‌رنگ، برآورد و محاسبه شد (Abbasi et al., 2022). پس از انجام آزمایش راندمان بازیابی برای ذرات ۳۰۰ و ۶۰۰ میکرون به ترتیب ۹۰درصد و ۸۲ درصد به‌دست آمد که نسبتاً قابل قبول است.

کنترل آلودگی ثانویه

در کلیه مراحل آماده‌سازی نمونه‌ها و انجام آنالیزهای میکروسکوپی، تدابیر زیر به‌منظور جلوگیری از آلودگی ثانویه نمونه‌ها به میکروپلاستیک‌های معلق در هوا در آزمایشگاه اتخاذ شد:

استفاده از روپوش آزمایشگاهی، بستن درب‌ها و پنجره‌ها، خاموش کردن کولر در فصول گرم، انجام کلیه مراحل زیر هود، نظافت سطوح کاری با محلول اتانول ۷۰ درصد، فیلتراسیون محلول‌ها و آب مقطر مصرفی با فیلتر کاغذی سلولزی (قطر ۴۷ میلی‌متر، واتمن، انگلستان)، بهره‌گیری از ابزار و ظروف شیشه‌ای و استیل، شست‌وشوی کامل کلیه ظروف و ابزارها با آب مقطر، بستن درب ظروف و نگهداری آن‌ها در کمد، و همچنین نگهداری ابزارهای کاری در لفاف‌های فویلی آلومینیومی (Behmanesh et al., 2022; Ding et al., 2021).

آنالیز آماری

بعد از جمع‌آوری داده‌ها (مانند تعداد، اندازه و یا نوع میکروپلاستیک‌ها)، ابتدا توصیف آماری داده‌های کمی شامل تعداد ذرات، توزیع اندازه‌ها و تنوع اشکال و رنگ‌ها، از طریق محاسبه شاخص‌های مرکزی و پراکندگی مانند میانگین، انحراف معیار، میانه و محدوده بین چارکی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. قبل از شروع هر آزمون آماری، ابتدا نرمال و همگن بودن داده‌ها بررسی و شرط تساوی واریانس در گروه‌های مختلف از طریق آزمون‌های آماری مناسب (مانند فیلنگر تست) انجام شد. سپس با توجه به نرمال و غیرنرمال بودن داده‌ها و اهداف مطالعه، از آزمون‌های آماری پارامتریک مناسب (مانند آنالیز واریانس برای بررسی تفاوت میکروپلاستیک‌ها از نظرهای مختلف مانند سایز یا تعداد در منابع مختلف آبی مورد مطالعه) یا آزمون‌های ناپارامتریک مناسب (McCrossall به‌منظور بررسی تفاوت میکروپلاستیک‌ها در منابع مختلف آبی و Wilcoxon test) استفاده شد. سپس با توجه به آزمون انتخاب شده از آزمون‌های تکمیلی مربوطه مانند Tukey یا McCrossall استفاده شد. همراه با این آنالیزها نمودارهای باکس پلات برای نشان دادن توزیع داده ها در منابع مختلف آبی استفاده شد. همچنین برای نشان دادن ارتباط میان میکروپلاستیک‌های اندازه‌گیری شده با هر یک از متغیرهای دیگر محیطی و اندازه‌گیری شده مانند فصول، از ضرایب همبستگی Pearson استفاده شد. برای انجام موارد فوق از نرم‌افزارهای مختلف مانند Excel و نرم افزار R نسخه ۴/۶/۰ استفاده شد. جهت پهنه بندی و تهیه نقشه نیز از نرم افزار GIS نسخه ۱۰/۵ استفاده شد.

نتایج و بحث

هدف این مطالعه تعیین کمیت و بررسی وجود میکروپلاستیک در آب آشامیدنی و منابع مرتبط با آن‌ها در سراسر منطقه جغرافیایی خرم آباد بود. میکروپلاستیک‌های با اندازه کمتر از پنج میلی‌متر در ۴۸ نمونه از ۶۲ نمونه یافت شدند. در این مطالعه فراوانی میکروپلاستیک‌ها در آب‌های لوله‌کشی شهر خرم‌آباد در فصل تر و خشک به صورت جداگانه اندازه‌گیری شد و به‌طور کلی میانگین فراوانی آن ها ۱/۴۶ ذره در لیتر بدست آمد. در شکل (۲) نمونه‌ای از تصویر میکروپلاستیک‌ها آمده است.

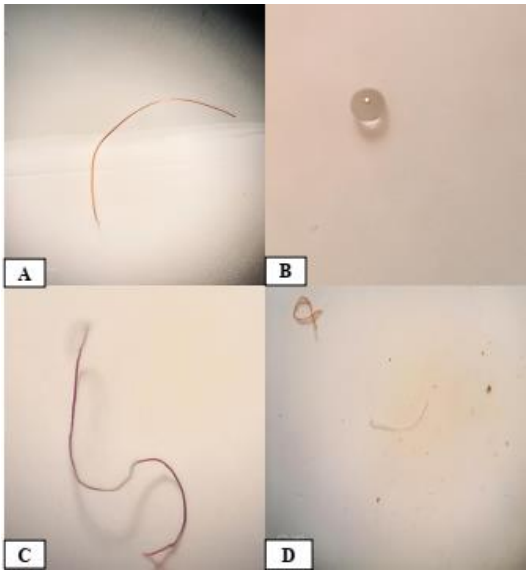

Fig. 2- Images of microplastic particles in Khorramabad drinking water using a light binocular microscope

شکل ۲-تصاویر ذرات میکروپلاستیک موجود در آب آشامیدنی خرم آباد با استفاده از میکروسکوپ دوچشمی نوری

اندازه میکروپلاستیک‌ها

نتایج نشان داد که فراوانی میکروپلاستیک‌ها از نظر اندازه در شبکه توزیع، در فصل تر، پنج ذره در لیتر و در فصل خشک حدود ۱/۲ ذره در لیتر و در بازه‌ای معادل ۱۰۰۰ میکرومتر بود (شکل ۳-a). در این مطالعه، اندازه غالب ذرات میکروپلاستیک بین ۱۵۰ تا ۱۵۰۰ میکرومتر است، که با نتایج مطالعه‌های جهانی هم‌راستا است؛ Ghanbari et al (2022)، گزارش دادند که ۸۷ درصد از میکروپلاستیک‌های رودخانه قره‌سو در محدوده ۱۰۰ تا ۵۰۰۰ میکرومتر قرار دارند، در حالی که Shruti et al (2020) ثبت کردند که ۷۵درصد از ذرات در آب آشامیدنی کمتر از ۱۰۰۰ میکرومتر بوده و ۲۵درصد در محدوده ۵۰۰ میکرومتر قرار دارند. به علاوه، Ranjdoost et al (2024) حدود ۷۱ درصد از میکروپلاستیک‌های موجود در برف را در محدوده ۲۵۰ تا ۵۰۰ میکرومتر شناسایی کردند. در این مطالعه، ذرات کوچکتر از ۲۵۰ میکرومتر یا بزرگتر از ۵۰۰۰ میکرومتر، شناسایی نشده‌اند که این امر را می‌توان به دو عامل نسبت داد: اولاً، فرآیندهای تصفیه شهری به‌طور مؤثر ذرات بزرگتر از پنج میلی‌متر را حذف می‌کنند؛ و ثانیاً، مکانیزم‌های تخریب محیطی مانند تابش اشعه ماوراء بنفش و سایش مکانیکی، پلاستیک‌ها را به ذرات کوچکتر خرد می‌کنند (Zhou et al. 2020; Ziajahromi et al. 2017). محدوده اندازه غالب ذرات در این مطالعه، بین ۲۵۰ تا ۱۵۰۰ میکرومتر قرار گرفت.

شکل میکروپلاستیک‌ها

نتایج نشان داد که میکروپلاستیک‌های شناسایی‌شده در نمونه‌های جمع‌آوری‌شده، شامل اشکال الیاف، قطعه و فیلم بودند. بر اساس این یافته‌ها، بیش‌ترین درصد شکل مشاهده‌شده در شبکه توزیع در فصل تر با میانگین ۳/۷۷ ذره در لیتر و در فصل خشک با میانگین ۱/۸۶ ذره در لیتر، الیاف است. این مطالعه نشان‌دهنده غالب بودن شکل الیاف در آب‌های شهر خرم‌آباد است (شکل ۳-b). در مطالعه Kosuth, (2018)، از ۵۳۹ ذره یافت‌شده، اکثریتی قریب به اتفاق (۹۸/۳درصد) به عنوان الیاف شناسایی شدند. همچنین، در مطالعه Shruti et al (2020) که بر آب‌های آشامیدنی انجام شد، ۶۹ درصد از میکروپلاستیک‌های کشف‌شده، به شکل الیاف بودند. این غلبه فیبرها در آب آشامیدنی خرم‌آباد به شدت مرتبط با تخلیه پساب فاضلاب شهری، رسوب در جو و فعالیت‌های معمول خانگی نظیر لباس‌شویی و قالیشویی است (Kosuth et al., 2018; Shruti et al., 2020).

DOI: 10.22055/jise.2026.20588.2180

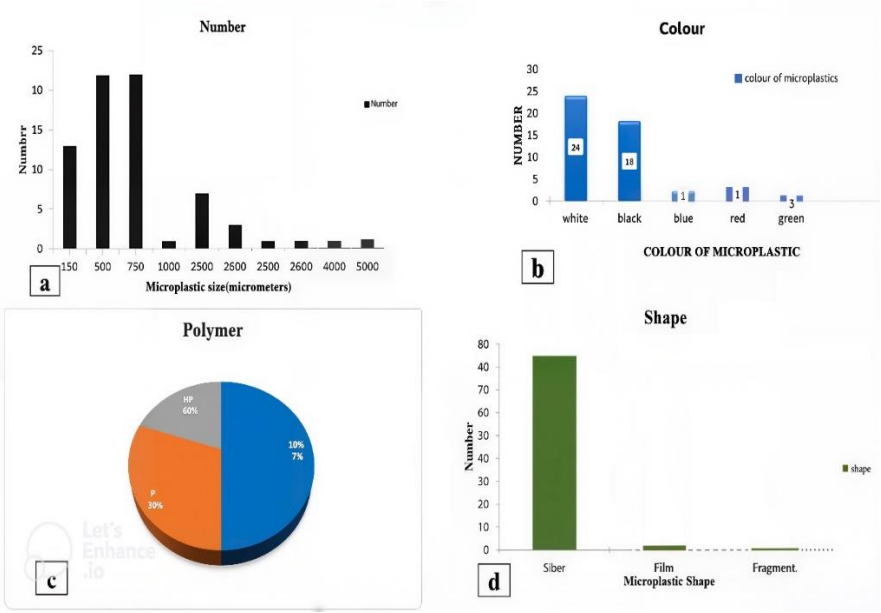

Fig. 3- Frequency of microplastics based on size (a), color (b), shape (c), and polymer (d) in all samples

شکل۳- فراوانی میکروپلاستیک‌ها بر اساس اندازه(a)، رنگ(b)، شکل(c) پلیمر(d) در همه‌ی نمونه ها

رنگ میکروپلاستیک‌ها

نتایج نشان داد که میکروپلاستیک‌های شناسایی‌شده در نمونه‌های جمع‌آوری‌شده، شامل رنگ‌های سفید، سیاه، آبی، قرمز، زرد و سبز بودند. بیش‌ترین درصد رنگ مشاهده‌شده در منابع، در هر دو فصل، مربوط به رنگ سفید بود (شکل ۳-c)؛ به‌طور ویژه، در شبکه توزیع در فصل تر با میانگین ۲/۷۹ ذره در لیتر و در فصل خشک با میانگین ۲/۲۸ذره در لیتر. این نتایج نشان می‌دهد که رنگ سفید، که اغلب میکروپلاستیک‌های تولیدشده توسط انسان نیز رنگ‌های غالب آن هستند Ghanbari et al (2022)، در نمونه‌های مطالعه بیش از سایر رنگ‌ها مشاهده شده است. یافته‌های این مطالعه با مطالعه‌های پیشین، همچون مطالعه Shruti et al (2020)، که ۶۹ درصد از میکروپلاستیک‌ها را سفید گزارش کردند، هم‌راستا است. بسیاری از ذرات رنگی ممکن است در حین یا پس از ورود به محیط‌های آبی، به دلایل فرآیندهایی مانند تخریب یا سفید شدن، تغییر رنگ دهند. این پدیده را می‌توان به واکنش‌های شیمیایی و فیزیکی در محیط آبی نسبت داد که به‌طور قابل توجهی بر کیفیت آب و اکوسیستم‌های آبی تأثیر می‌گذارند. علاوه بر این، اکثر کیسه‌های پلاستیکی مصرفی روزانه سفید هستند و از آنجایی که بیشتر میکروپلاستیک‌های مشاهده‌شده، از الیاف ظریف تشکیل شده‌اند، بیشتر در معرض واکنش‌های شیمیایی قرار دارند که می‌تواند منجر به تغییر رنگ به سفید شود (Nadian Ghomsheh 2022). در نتیجه، رنگ سفید میکروپلاستیک‌ها تحت تأثیر عواملی قرار دارد که عمدتاً مربوط به نوع پلیمر و شرایط محیطی غالب است.

پلیمرهای مشاهده شده

بررسی نوع پلیمرهای آب شرب شهر خرم‌آباد با استفاده از طیف‌سنجی میکرورامان نشان داد که در هر دو فصل تر و خشک پلی‌اتیلن با ۵۰ درصد، غالب‌ترین پلیمر در نمونه‌ها است و پس از آن، پلی‌پروپیلن و پلی‌استایرن به ترتیب با ۳۰درصد و ۲۰درصد قرار گرفتند (شکل۳-d). در مطالعه Tong et al (2020) در چین، و همچنین در تحقیقات Koelmans et al (2019) در هلند، بیش‌ترین میزان پلیمر شناسایی‌شده در آب‌های آشامیدنی مربوط به پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن بود، در حالی که در مطالعه Pivokonsky et al (2018) در پراگ، پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن ترفتالات بیشتر مشاهده شد. افزایش چشم‌گیر تقاضای جهانی برای پلاستیک، منجر به رشد سفارش‌های در بازارهای مختلف شده است؛ و پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن به‌عنوان اصلی‌ترین پلیمرهای مصرفی شناخته می‌شوند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که این دو پلیمر با چگالی پایین‌تر از یک گرم بر سانتی‌مترمکعب، در اکوسیستم‌های آبی در معرض غرق شدن قرار دارند و این ویژگی، احتمال شناور ماندن آن‌ها را افزایش می‌دهد. در مقابل، پلی‌استر با چگالی حدود ۱/۱ گرم بر سانتی‌مترمکعب، چگالی بیشتری نسبت به آب‌های شیرین و دریا دارد. این تفاوت در چگالی، توضیحی بر فراوانی کمتر پلی‌استر در نمونه‌های آب است (Koelmans et al. 2019). پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن در ساخت لوله‌های سیستم توزیع آب آشامیدنی کاربرد دارند و این ممکن است دلیل وجود میکروپلاستیک در آب‌های لوله‌کشی باشد. در سال ۲۰۲۰، پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن به‌ترتیب ۲۹/۸ و ۱۹/۴ درصد از کل پلیمرهای تولیدی در سطح جهان را تشکیل می‌دادند. همچنین، در ایران این دو پلیمر بیشترین سهم را در مصرف

دارند. این آمار به‌وضوح نشان می‌دهد که پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن در میان دیگر پلیمرها، بیشترین کاربرد و مصرف را دارند. علاوه بر این، پلی‌پروپیلن در صنایع مختلف جایگاه ویژه‌ای دارد؛ از جمله کاربرد در بسته‌بندی مواد غذایی، روکش شکلات، تولید درهای پلاستیکی بطری‌ها و ساخت قطعات خودرو. این تنوع در کاربردها، اهمیت این پلیمر را در زندگی روزمره و صنعت تأیید می‌کند. همچنین، بر اساس استعلام از سازمان آب و فاضلاب شهرستان خرم‌آباد، ۳۵ درصد از طول شبکه توزیع آب، از جنس پلی‌اتیلن است. بنابراین، افزایش درصد پلی‌اتیلن در نمونه‌ها ممکن است به‌دلایل مربوط به نوع مواد مورد استفاده در شبکه توزیع باشد.

فراوانی میکروپلاستیک‌ها در شبکه توزیع (آب لوله کشی)

در بررسی میزان میکروپلاستیک در مناطق مختلف شهری، بر اساس آزمون Shapiro Wilk و آزمون McCrossall، مشخص شد که میانگین فراوانی میکروپلاستیک‌ها در نقاط مختلف شهر، از نظر آماری معنادار نبود (P-Value= 0/25)، اما مقادیر متفاوتی را نشان دادند. لازم به ذکر است که مقادیر میکروپلاستیک در نقاط مختلف در بازه‌ای بین یک تا ۳/۱ ذره در لیتر قرار داشتند و نوسانات معناداری در این مقادیر مشاهده نشد. به‌طور خلاصه، تأمین آب آشامیدنی شهر خرم‌آباد عمدتاً از منابع زیرزمینی صورت می‌گیرد. آب خام از طریق فرآیندهایی از قبیل گندزدایی، انعقاد و لخته‌سازی، رسوب‌گذاری گرانشی و فیلترسیون پمپاژ می‌گردد و از مسیرهای چندکیلومتری عبور می‌کند؛ فرآیندهایی که در معرض آلودگی میکروپلاستیک قرار دارند. تفاوت در فراوانی میکروپلاستیک‌ها در نقاط مختلف، ممکن است به‌دلایلی مانند نوع و میزان ذخیره‌سازی آب، کیفیت ناقص فیلترها، نگهداری ضعیف تجهیزات، فعالیت‌های انسانی، نحوه حمل و نقل در مسیرها، نوع لوله‌های آب آشامیدنی، روش‌های ذخیره‌سازی و همچنین شرایط جغرافیایی مرتبط باشد (Shruti, et al., 2020). فراوانی میکروپلاستیک‌ها در نواحی مختلف شهر خرم آباد بر اساس پهنه‌بندی سیستم جغرافیایی در فصول تر و خشک در شکل (۴) نشان داده شده است که در آن نقاط با فراوانی بیش از پنج ذره در لیتر با رنگ قرمز نشان داده شده است. یافته‌های اخیر مبنی بر وجود ذرات میکروپلاستیک در آب آشامیدنی شهر خرم‌آباد، در تمامی مناطق جغرافیایی مورد پایش، بیان‌گر یک چالش زیست‌محیطی و بهداشتی جدی است. این مسئله نه تنها نگرانی‌های فزاینده‌ای را در خصوص سلامت عمومی برمی‌انگیزد، بلکه پیامدهای نامطلوبی برای اکوسیستم‌های آبی و محیط زیست به دنبال دارد. از این رو، اتخاذ راهبردهای جامع و چندوجهی برای مقابله مؤثر با این آلاینده‌ها در خرم‌آباد از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. در این راستا، می‌توان به راهکارهایی نظیر ارتقاء و بهینه‌سازی سامانه‌های تصفیه آب شهری، بازنگری در جنس و استانداردهای زیرساخت‌های انتقال آب از جمله لوله‌کشی‌ها، تدوین و اجرای سیاست‌های نوین پایش و نظارت مستمر بر کیفیت آب، و همچنین اتخاذ اقدامات پیشگیرانه در مبدأ تولید و انتشار میکروپلاستیک‌ها اشاره کرد. اجرای منسجم این تدابیر، گامی اساسی در جهت تضمین آب آشامیدنی سالم و حفظ پایداری زیست‌محیطی در منطقه خرم‌آباد خواهد بود.

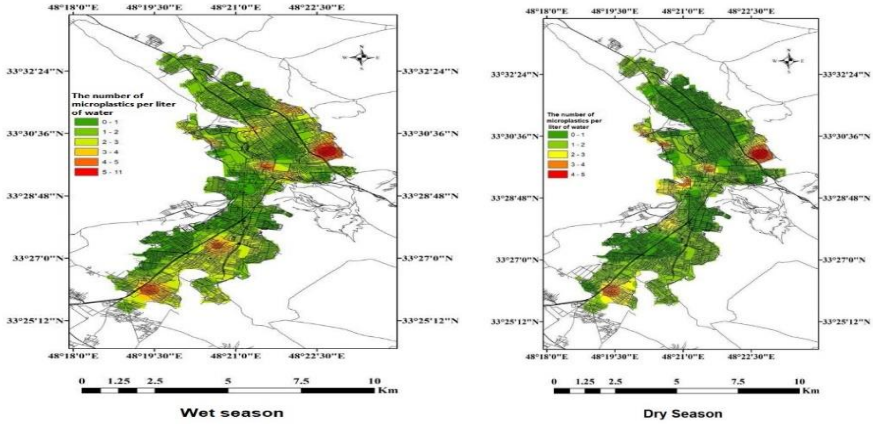

Fig 4- Spatial distribution of microplastics in the city of Khorramabad, using geographic information system zoning, in wet and dry seasons

شکل ٤- پراکنش مکانی میکروپلاستیک‌ها در سطح شهر خرم‌آباد، با استفاده از پهنه‌بندی سامانه اطلاعات جغرافیایی، در فصول مرطوب و خشک

DOI: 10.22055/jise.2026.20588.2180

نتیجه گیری

از مجموع ۶۲ نمونه جمع‌آوری‌شده، ۴۶ نمونه حاوی میکروپلاستیک بودند و نوع غالب این ذرات، الیاف سفید با اندازه‌ای بین ۱۵۰ تا ۱۵۰۰ میکرومتر بود. تحلیل‌های طیف‌سنجی، وجود پلیمرهای پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن و پلی‌استایرن را در نمونه‌ها تأیید کرد. میانگین غلظت میکروپلاستیک‌ها در شبکه توزیع آب، برابر با ۱/۴۶ ذره در لیتر ثبت شد. همچنین، تحلیل اختلاف فراوانی میکروپلاستیک‌ها در مناطق مختلف شهری، از نظر آماری معنی‌دار نبود (P= 0/25) و تفاوت‌های مشاهده‌شده می‌تواند ناشی از عوامل متعددی از قبیل نوع و روش‌های ذخیره‌سازی آب، فیلترنشدن کامل، نگهداری نامناسب، فعالیت‌های انسانی و شرایط جغرافیایی باشد. با توجه به شیوع میکروپلاستیک‌ها در شبکه توزیع آب شرب، بررسی پیامدهای بهداشتی آن‌ها بر جمعیت انسانی، از طریق سنجش غلظت در نمونه‌های بیولوژیکی (مانند خون و ادرار)، ضروری است. همچنین، پتانسیل میکروپلاستیک‌ها در انتقال آلاینده‌های شیمیایی متنوع (شامل رادیونوکلئیدها، هیدروکربن‌های آروماتیک، سموم و فلزات سنگین) لزوم مطالعه‌های همبستگی بین غلظت میکروپلاستیک و سایر آلاینده‌ها را برجسته می‌سازد. در راستای رفع محدودیت‌های مطالعاتی نظیر نمونه‌برداری فصلی، شناسایی شیمیایی و حجم نمونه، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی، پایش بلندمدت و چهار فصلی با به‌کارگیری تکنیک‌های طیف‌سنجی (مانند رامان) و تصویربرداری میکروسکوپی برای پایش دقیق میکروپلاستیک‌ها مدنظر قرار گیرد. بهبود فیلتراسیون با استفاده از غشاهای پیشرفته (نانوفیلتراسیون و اسمز معکوس) و نانوکامپوزیت‌های جاذب، از راهکارهای مؤثر برای حذف این آلاینده‌هاست. در سطح سیاست‌گذاری، تدوین مقررات سختگیرانه برای کاهش انتشار میکروپلاستیک‌ها از منابع صنعتی، ترویج محصولات زیست‌تخریب‌پذیر و ارتقاء آگاهی عمومی در مورد مخاطرات این ذرات، از جمله اقدامات کلیدی محسوب می‌شود.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

منابع مالی

این اثر تحت حمایت سازمان آب و فاضلاب برگرفته شده از طرح شماره ۳۷۶۹ همچنین با حمایت دانشگاه علوم پزشکی خرم آباد انجام شده است.

دسترسی به داده‌ها

مجموعه داده‌های تولید شده و یا تحلیل شده در طول مطالعه حاضر، در صورت درخواست معقول، از نویسنده مسئول در دسترس هستند.

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

اعلامیه هوش مصنوعی مولد و فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در فرایند نگارش

نویسندگان در مقاله خود از هوش مصنوعی مولد و فناوریهای کمکی هوش مصنوعی استفاده نکرده اند.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: سارا نامداریان، روش‌شناسی، نگارش–پیش‌نویس اصلی، تحلیل صوری، مصورسازی

نویسنده دوم: بهرام کمره ای، مفهوم‌سازی، تأمین بودجه، گردآوری داده‌ها، تحقیق، روش‌شناسی، مدیریت پروژه، منابع، نظارت، اعتبارسنجی

نویسنده سوم: محمدامین کرمی، مفهوم‌سازی، گردآوری داده‌ها، تحقیق، روش‌شناسی، مدیریت پروژه، منابع، نظارت، اعتبارسنجی

نویسنده چهارم: رضا فولادی فرد، نگارش–بررسی و ویرایش، تحلیل صوری، منابع، مفهوم‌سازی، گردآوری داده‌ها، تحقیق، نظارت

نویسنده پنجم: عباس نوروزیان باغانی، مفهوم‌سازی، گردآوری داده‌ها، تحقیق، نظارت

نویسنده ششم: فرامرز عظیمی، اعتبارسنجی، تحلیل صوری

تقدیر و تشکر

بدین وسیله از تمامی اساتید و دوستانی که با کمال صداقت و صمیمیت در طول اجرای این تحقیق، محققین را مورد حمایت‌های علمی و فنی خود قرار دادند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد. جلب همکاری‌های ایشان نقش بسزایی در پیشرفت این پژوهش داشته و امید است که این ارتباطات علمی همچنان استمرار یابد.

Refrences

1-Abbasi, Sajjad, Mahrooz Rezaei, Farnaz Ahmadi, and Andrew Turner. 2022. 'Atmospheric transport of microplastics during a dust storm', *Chemosphere*, 292: 133456. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133456.

2-Andrady, Anthony L. 2011. 'Microplastics in the marine environment', *Marine Pollution Bulletin*, 62: 1596–605. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030.

3-Bagheri, Tahereh, Nima Pourang, Hassan Nasroullahzade Saravi, Mohammad Ali Afraei Bandpey, Hassan Fazli, Mohammad Gholizadeh, Matin Shakoori, Maryam Rezaei, Shahareh Firoozkandian, and Mahsa Yazarloo. 2022. 'Exploring microplastics contamination within Paracobitis hircanica Mousavi-Sabet, Sayyadzadeh, Esmaeili, Eagderi, Patimar & Freyhof, 2015 fishes caught from different water shedding of Gorganroud River', *Aquaculture Sciences*, 10: 171–79. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23225351.1401.10.19.15.5.

4-Behmanesh, Mokarrameh, Atefeh Chamani, and Elham Chavoshi. 2022. 'Occurrence, abundance and characteristics of microplastics in the sediments of the Zayandeh-Rud river', *Environment and Interdisciplinary Development*, 7: 74–89. https://doi.org/10.22034/envj.2022.159474.

5-Ding, Yongcheng, Xinqing Zou, Chenglong Wang, Ziyue Feng, Ying Wang, Qinya Fan, and Hongyu Chen. 2021. 'The abundance and characteristics of atmospheric microplastic deposition in the northwestern South China Sea in the fall', *Atmospheric Environment*, 253: 118389. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118389.

6-Eerkes-Medrano, Dafne, Richard C Thompson, and David C Aldridge. 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.

7-Feizi, Farzaneh, Razegheh Akhbarizadeh, and Amir Hossein Hamidian. 2024. 'Microplastics in urban water systems, Tehran Metropolitan, Iran', *Environmental Monitoring and Assessment*, 196: 643.

8-Ferraz, Marlon, Amanda Leticia Bauer, Victor Hugo Valiati, and Uwe Horst Schulz. 2020. 'Microplastic concentrations in raw and drinking water in the Sinos River, Southern Brazil', *Water*, 12: 3115. https://doi.org/10.3390/w12113115.

9-Ghafouri, Zaniar, Soheil Eagderi, Hadi Poorbagher, Jamal Rahimi, and Mehrdad Hasani Azhdari. 2023. 'Variation in the habitat Suitability indices of Chondrostoma regium (Leuciscidae) in Zab River during four seasons', *Journal of Ecohydrology*, 10: 203–14. https://doi.org/10.22059/ije.2023.357474.1723.

10-Ghanbari, Tapeh N, E Fataei, A Naji, AA Imani, and F Nasehi. 2022. 'Determination of Frequency, Distribution and Composition of Microplastics in the Waters of Qarasu Ardabil River'.

11-Hashempour, Yalda, Atefeh Jabari, Kosar Kouhi, and Afsaneh Fendereski. 2023. 'Introducing Statistical Methods to Identify the Sources of Microplastics in the Aquatic Environment: An Overview'.

12-Hassanvand, A, M Soleimanitabar, and H Yazdanpanah. 2011. 'Spatial interpretation of climatic comfort of Lorestan province based on TCI index', Spatial Planning, 1: 121–44.

13-Kishipour, Amin, Roqiyeh Mostafaloo, YALDA Arast, and M Asadi Ghalhari. 2020. 'Micro-plastics as a new Challenge in Water Resource Management; Various forms and Removal Methods,(A review study)', *Environmental Health*, 6: 34–44.

14- Koelmans, Albert A, Nur Hazimah Mohamed Nor, Enya Hermsen, Merel Kooi, Svenja M Mintenig, and Jennifer De France. 2019. 'Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality', *Water Research*, 155: 410–22. https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.054.

15-Kosuth, Mary, Sherri A Mason, and Elizabeth V Wattenberg. 2018. 'Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt', *PloS one*, 13: e0194970. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194970.

16-Mason, Sherri A, Victoria G Welch, and Joseph Neratko. 2018. 'Synthetic polymer contamination in bottled water', *Frontiers in Chemistry*, 6: 389699. https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00407.

17-Mehrabadi, Abdollah Rashidi, Mohammad Javad Kazemi, Gholam Ali Haghighat, and Hossein Shakeri. 2019. 'Effects of micro-Plastics in the environment and aqueous', *Journal of Jiroft University of Medical Sciences*, 5: 1–14.

18-Mirbagheri, Vasighe Sadat, Alireza Alishahi, Seyyed Hamidreza Hashemi Petroudi, and Seyyed Mahdi Ojagh. 2023. 'Antibacterial properties of chitosan derivatives against Staphylococcus aureus', *Fisheries Science and Technology*, 12: 153–72.

19- Nadian Ghomsheh, 2022. 'Effects of nan/microplastics as newly known pollutants on the environment and their microbial degradation', *Journal of Sol Biology*, 10: 111–34. (in persain). https://doi.org/10.22092/sbj.2022.359172.241.

20-Oßmann, Barbara E. 2021. 'Microplastics in drinking water? Present state of knowledge and open questions', *Current Opinion in Food Science*, 41: 44–51. https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.02.011.

21-Pivokonsky, Martin, Lenka Cermakova, Katerina Novotna, Petra Peer, Tomas Cajthaml, and Vaclav Janda. 2018. 'Occurrence of microplastics in raw and treated drinking water', *Science of the Total Environment*, 643: 1644–51. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.102.

22-Ranjdoost, Fatemeh, Sajjad Abbasi, Mahdi Asadi-Ghalhari, Abbas Norouzian Baghani, Reza Fouladi-Fard, Armin Sorooshian, and Mohmmad-Ebrahim Ghaffari. 2024. 'On the nature and sources of microplastics (MPs) and microrubbers (MRs) in urban snow', *Journal of Environmental Management*, 370: 122851. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122851.

23-Salmasi, Samane, Rouhollah Sohrabi, Amir Hossaein Rahbar, and Haydar Mohammadi. 2020. 'Feasibility study for source separation and collection of municipal solid waste by using digital technology: case study: Hamedan city', *Urban Economics*, 5: 135–48. https://doi.org/10.22108/ue.2022.132052.1202.

24-Shirazi, Somayeh, Roya Mafigholami, Hamid Moghimi, and Seyed Mehdi Borghaei. 2022. 'Quantitative and qualitative study of micro and nanoplastics in the effluent of the municipal wastewater treatment plant in the south of Tehran', *Journal of Natural Environment*, 74: 708–15. https://doi.org/10.22059/jne.2022.327610.2252.

25-Shruti, VC, Fermín Pérez-Guevara, and Gurusamy Kutralam-Muniasamy. 2020. 'Metro station free drinking water fountain-A potential "microplastics hotspot" for human consumption', *Environmental Pollution*, 261: 114227. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114227.

26-Tong, Huiyan, Qianyi Jiang, Xingshuai Hu, and Xiaocong Zhong. 2020. 'Occurrence and identification of microplastics in tap water from China', *Chemosphere*, 252: 126493. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126493.

27-Yu, Hong, Ying Zhang, Wenbing Tan, and Zheng Zhang. 2022. 'Microplastics as an emerging environmental pollutant in agricultural soils: effects on ecosystems and human health', *Frontiers in Environmental Science*, 10: 855292. https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.855292.

28-Zhou, Qian, Chen Tu, Chuancheng Fu, Yuan Li, Haibo Zhang, Kuanxu Xiong, Xinyue Zhao, Lianzhen Li, Joanna J Waniek, and Yongming Luo. 2020. 'Characteristics and distribution of microplastics in the coastal mangrove sediments of China', *Science of the Total Environment*, 703: 134807. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134807.

29-Ziajahromi, Shima, Peta A Neale, Llew Rintoul, and Frederic DL Leusch. 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.