

بررسی آلاینده های میکروپلاستیکی در آب و فاضلاب (مقاله مروری)

حسین محمدزاده^{۱*}، عاطفه رضی^۲

۱. گروه پژوهشی تحقیقات آب های زیرزمینی و ژئوترمال (متاب)، پژوهشکده آب و محیط زیست، دانشگاه

فردوسی مشهد (mohammadzadeh@um.ac.ir)

۲. گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد.

چکیده

این مطالعه مروری با هدف شناخت و آگاهی در مورد آلاینده های میکروپلاستیکی در آب و فاضلاب و تاثیر آن بر سلامت انسان انجام شده است. آلودگی میکروپلاستیکی در آب و فاضلاب به عنوان یک نگرانی جدی مطرح و نیازمند توجه ویژه است. این ذرات می توانند از طریق منابع مختلف وارد فاضلاب شوند. این تحقیق مقالات متعددی از موضوعات مرتبط با میکروپلاستیک ها، از جمله تاریخچه، شناخت و طبقه بندی میکروپلاستیک ها، تولید، استفاده و سرنوشت محیطی آنها مورد بررسی قرار گرفته است. از آنجایی که فاضلاب به عنوان یک حامل میکروپلاستیک برای انتقال به محیط های آبی محسوب می شود، روش شناسایی و کاهش میکروپلاستیک ها در فاضلاب با توجه به تاثیرات مستقیم و غیر مستقیم بر سلامت انسان همواره در سالهای اخیر بسیار مورد توجه بوده، که در این مقاله سعی شده به آن نیز پرداخته شود.

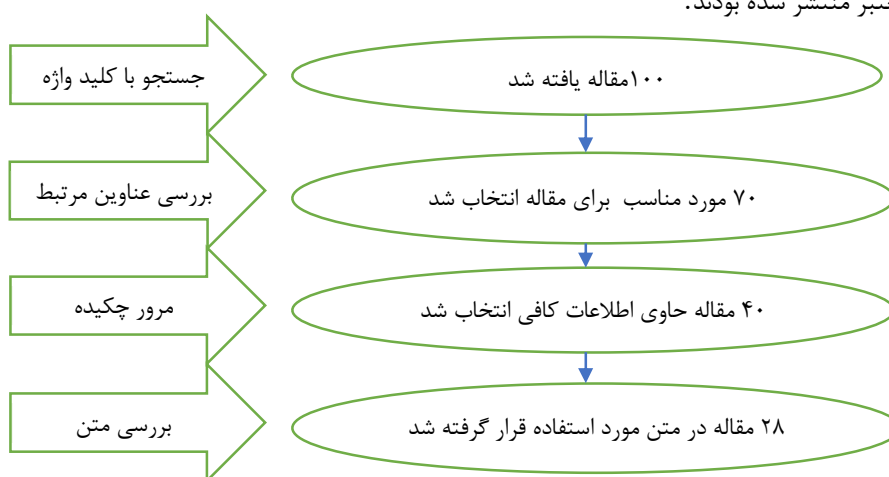
واژه های کلیدی: میکروپلاستیک، آب، فاضلاب، سلامت انسان

۱- مقدمه

در عصر حاضر، آلودگی محیط زیست به وسیله پلاستیک ها و به ویژه میکروپلاستیک ها به یکی از مهم ترین چالش های زیست محیطی تبدیل شده است. میکروپلاستیک ها به ذرات پلاستیکی با اندازه کمتر از ۵ میلی متر گفته می شود که به دلیل کوچک بودن، عدم وجود فناوری کافی در حذف و همچنین پتانسیل ایجاد عوارض جانبی، از اهمیت بیشتری برخوردارند (Gündoğdu et al, 2018). این ذرات می توانند از طریق منابع مختلف وارد محیط های آبی و خاکی شوند و تأثیرات نامطلوبی بر اکوسیستم ها و سلامت انسان داشته باشند (Lee et al, 2022). آلودگی میکروپلاستیکی در آب و فاضلاب به عنوان یک نگرانی جدی مطرح است. این ذرات می توانند از طریق رواناب های سطحی، فاضلاب های شهری و صنعتی (Nizzetto et al, 2016)، فرسایش پلاستیک های بزرگتر (Wagner et al, 2018) و همچنین ذرات اتمسفری (Dris et al, 2016) وارد منابع آبی شوند. حضور میکروپلاستیک ها در آب های سطحی، زیرزمینی و فاضلاب می تواند به عنوان یک منبع آلودگی برای محیط زیست و سلامت انسان مطرح باشد، بنابراین آگاهی از سرنوشت این آلاینده نوظهور یک اولویت است.

۲- مواد و روش

برای انجام این مطالعه مروری، جستجوهای گسترده‌ای در پایگاه‌های اطلاعاتی معتبر مانند Google Scholar، SID و Science Direct با استفاده از کلیدواژه‌هایی همچون "آلودگی میکروپلاستیک"، "میکروپلاستیک در آب و فاضلاب"، "روش‌های تجزیه و تحلیل میکروپلاستیک" و "تأثیرات میکروپلاستیک بر محیط زیست و سلامت" انجام شد. مقالات طیف گسترده‌ای از موضوعات مرتبط با میکروپلاستیک‌ها، از جمله تولید، استفاده و سرنوشت محیطی آنها و دسته بندی و چگونگی مطالعه‌ی آنها را پوشش می‌دهد. در مجموع، تعداد زیادی مقاله مرتبط با موضوع شناسایی شد که پس از بررسی عنوان و چکیده، ۲۸ مقاله برای مطالعه متن کامل انتخاب گردید. این مقالات در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۴ در مجلات معتبر منتشر شده بودند.



شکل ۱- فرآیند انتخاب مقالات مورد استفاده

۳- نتایج و یافته

پلاستیک از کلمه یونانی "plastikos" گرفته شده است که به معنای قابلیت شکل پذیری است (Rajmohan et al, 2019). پلاستیک در واقع پلیمری است که از واکنش اجزای کوچکتر به نام مونومرها ایجاد می شود. اولین نشانه های ساخت پلاستیک به کشف آن در سال ۱۸۳۹ و سپس آغاز عصر پلاستیک بادوام در سال ۱۹۴۰ باز می گردد (Chia et al, 2021). امروزه پلاستیک ها به طور گسترده در صنایع مختلف از جمله بسته بندی، ساخت و ساز، خودروسازی و پزشکی مورد استفاده قرار می گیرند. زباله های پلاستیکی بر اساس اندازه به دو گروه ماکروپلاستیک و میکروپلاستیک تقسیم می شوند. میکروپلاستیک ها به ذرات پلاستیکی با اندازه کمتر از ۵ میلی متر گفته می شوند که به دلیل کوچک بودن و عدم وجود فناوری کافی در حذف، از اهمیت بیشتری برخوردارند (Gündoğdu et al, 2018). این ذرات می توانند از طریق فرسایش پلاستیک های بزرگتر، فعالیت های انسانی و صنعتی وارد محیط های آبی و خاکی شوند (Lee et al, 2022).

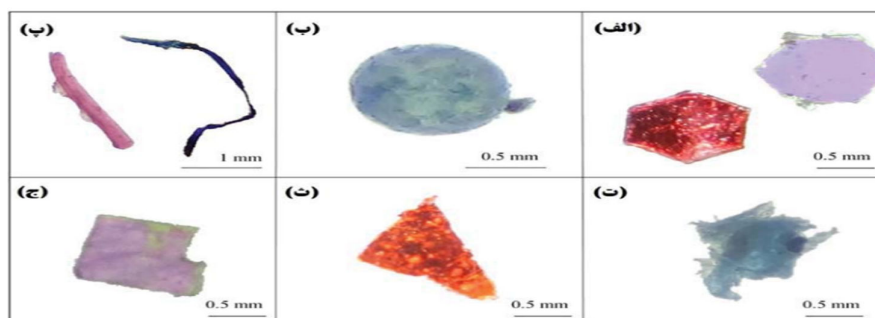
۳-۱- طبقه بندی و ویژگی های میکروپلاستیک ها

میکروپلاستیک ها طیف گسترده ای از مواد با ترکیب شیمیایی، اشکال، رنگ ها، اندازه و تراکم های متفاوت را در بر می گیرند. این ویژگی ها از مهم ترین عوامل جابجایی و توزیع میکروپلاستیک ها در محیط است و ممکن است سمیت، ردیابی و شناسایی این آلاینده ها را پیچیده تر کند (Koelmans et al, 2019). از نظر ترکیب شیمیایی، پلاستیک ها در واقع پلیمرهایی هستند که با مواد افزودنی مانند رنگ ها، تثبیت کننده ها و تقویت کننده ها ترکیب می شوند. این مواد افزودنی روی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی پلاستیک تأثیر می گذارند (Hahladakis et al, 2018). همچنین پلاستیک ها بر اساس دانسیته به دو گروه پلاستیک های با دانسیته کم (مانند پلی پروپیلن و پلی اتیلن) و پلاستیک های با دانسیته بالا (مانند پلی اتیلن ترفتالات، پلی وینیل کلرید و پلی استایرن) تقسیم می شوند (Winterling & Sonntag, 2011). جدول (۱) به دانسیته ی پلیمر های پر مصرف اشاره دارد.

جدول ۱ - مقادیر دانسیته پلاستیک های مختلف در دمای اتاق

نوع پلیمر	نام لاتین	علامت اختصاری	دانسیته (g/cm ³)
پلی پروپیلن	Polypropylene	PP	0.92-0.85
پلی اتیلن با دانسیته پایین	low density polyethylene	LDPE	0.93-0.89
پلی اتیلن با دانسیته بالا	Hight density polyethylene	HDPE	0.98-0.94
پلی استایرن	Poly styrene	PS	1.06-1.04
پلی آمید	Poly amid	PA	1.16-1.13
پلی متیل متاکریلیک	Metha crylic polymethyl	PMMA	1.20-1.16
پلی اورتان	Poiyurethane	PUR	1.2
پلی وینیل کلراید	Polyvinyl chloride	PVC	1.41-1.38
پلی اتیلن ترفتالات	Polyethylene terephthalate	PET	1.41-1.38
پلی تترافلوئوراتیلن	Polytrafluoroethylene	PTEE	2.2-1.3

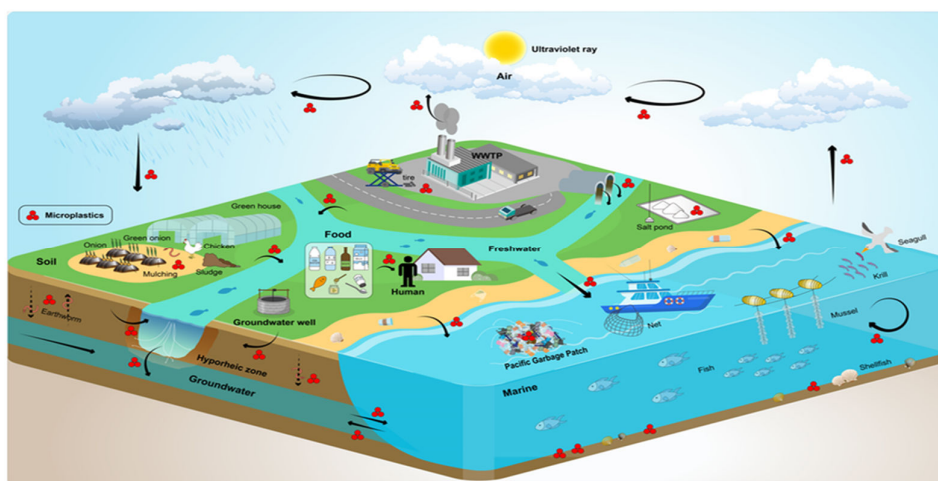
از نظر شکل و ظاهر، میکروپلاستیک ها به دو گروه اولیه و ثانویه تقسیم می شوند. ذرات اولیه به طور مستقیم در اندازه میکروپلاستیک تولید می شوند (Ma B et al, 2019)، در حالی که ذرات ثانویه ناشی از تکه تکه شدن پلاستیک های بزرگتر تحت تأثیر عوامل فیزیکی و شیمیایی هستند (Eerkes-Medrano et al, 2015). رایج ترین اشکال میکروپلاستیک ها در محیط به صورت میله ای، گرانوله و چندضلعی است (شکل ۱) (Andrady, 2011).



شکل ۲ - اشکال مختلف میکروپلاستیک ها در محیط های آبی؛ الف) چندضلعی، ب) کروی، پ) میله ای یا فیبری، ت) بی نظم، ث) مثلثی، ج) مربعی

۳-۲- مسیرهای ورود میکروپلاستیک ها به آب و فاضلاب

میکروپلاستیک ها می توانند از طریق منابع مختلفی وارد محیط های آبی و فاضلاب شوند. رواناب های سطحی، فاضلاب های شهری و صنعتی (Nizzetto et al, 2016)، فرسایش پلاستیک های بزرگتر (Wagner et al, 2018) و همچنین رسوب ذرات اتمسفری (Dris et al, 2016) از جمله مهم ترین مسیرهای ورود میکروپلاستیک ها به این محیط ها هستند. میکروپلاستیک ها از طریق رواناب های شهری و کشاورزی، تخلیه فاضلاب وارد آبهای زیرزمینی نیز می شوند (Sintim & Flury, 2017).



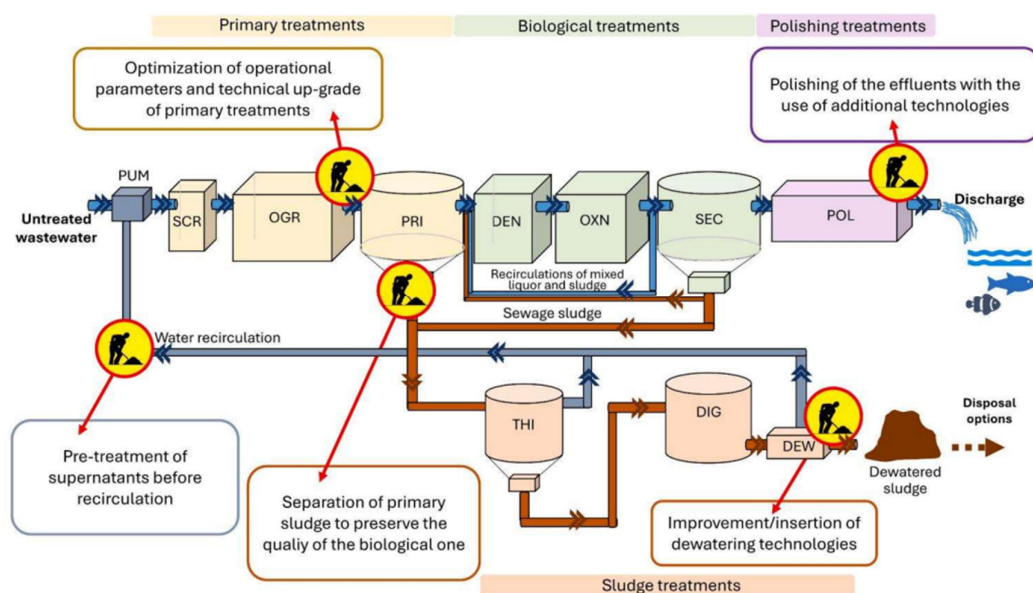
شکل ۳: جابه جایی میکروپلاستیک ها در محیط (Lee et al, 2022)

فعالیت های روزانه ای انسان منابع اولیه میکروپلاستیک های موجود در فاضلاب هستند. برای مثال شستشوی لباس و محصولات مراقبت شخصی مختلف که حاوی اجزای پلی استر و پلی آمید هستند به طور قابل توجهی موجب افزایش میکروپلاستیک های موجود در فاضلاب می شوند (Singla et al, 2020). در فاضلاب های شهری بیش از ۳۰ نوع میکروپلاستیک شناسایی شده اند که پلی استر، پلی اتیلن، پلی اتیلن ترفالات، پلی آمید و پلی پروپیلن بیشترین مقدار را دارند (Liu et al, 2021). این ذرات می توانند در طول فرآیندهای تصفیه فاضلاب نیز وارد محیط شوند. فاضلاب به عنوان یک حامل میکروپلاستیک های اولیه و ثانویه عمل می کنند و پلاستیک ها را از منبع آلودگی به اکوسیستم های آبی و خاکی منتقل می کنند (Osterlund et al, 2023). در تصفیه خانه های فاضلاب حجم زیادی از میکروپلاستیک ها در لجن فاضلاب متمرکز میشود (Hooge et al, 2023). در تمام جهان یکی از گزینه های اصلی دفع لجن فاضلاب استفاده از آن به عنوان کود کشاورزی است (Marchuk et al, 2023). استفاده از لجن فاضلاب به عنوان کود موضوعی نگران کننده است زیرا موجب انتقال آن به آبخوان و محیط های آبی می شود.

۳-۳- روش های تجزیه، تحلیل و کاهش میکروپلاستیک ها

یک ابزار مفید برای تعیین کمیت سطح آلودگی میکروپلاستیک، تجزیه و تحلیل ایزوتوپ های پایدار است (Garcia et al, 2021) که اطلاعاتی درباره ی منشا نمونه ها ارائه می کند و به طور گسترده می تواند در تجزیه تحلیل، تشخیص و نظارت بر کیفیت آب مورد استفاده قرار گیرد (Motta et al, 2021; Ricciardi et al, 2021). نمونه برداری از آب های

سطحی و زیرزمینی معمولاً با استفاده از تور های پلانکتونی یا پمپ های نمونه برداری انجام می شود. در مورد فاضلاب نیز نمونه برداری از ورودی و خروجی تصفیه خانه ها صورت می گیرد. پس از نمونه برداری، مراحل صاف سازی، هضم مواد آلی و جداسازی میکروپلاستیک ها بر اساس اختلاف چگالی انجام می شود. در نهایت، شمارش و شناسایی ساختار شیمیایی میکروپلاستیک ها با استفاده از روش های طیف سنجی مانند رامان^۱ و تبدیل فوری^۲ انجام می گیرد (Garcia et al, 2021). در شکل (۴) مراحل به حداقل رساندن میکروپلاستیک ها در فاضلاب به تصویر کشیده شده است.



شکل ۴- اقدامات پیشنهادی برای کاهش انتشار میکروپلاستیک ها به محیط زیست از فاضلاب (PUM: پمپاژ؛ SCR: غربالگری؛ ORG: حذف مواد آلی و روغن؛ PRI: رسوبدهی اولیه؛ DEN: نیترات زدایی؛ OXN: اکسیداسیون-نتروفيکاسیون؛ SEC: رسوبدهی ثانویه؛ POL: صاف سازی؛ THI: تغلیظ؛ DIG: هضم بی هوازی؛ DEW: آگیری) (Marco et al, 2024).

۳-۴- تأثیرات میکروپلاستیک های آب و فاضلاب بر سلامت انسان و محیط زیست

حضور میکروپلاستیک ها در آب و فاضلاب می تواند تأثیرات نامطلوبی بر محیط زیست و سلامت انسان داشته باشد. این ذرات می توانند به عنوان ناقل برای آلاینده های شیمیایی و پاتوژن ها عمل کنند و باعث انتقال آنها به سایر محیط ها و موجودات زنده شوند (Selvam et al, 2021). همچنین میکروپلاستیک ها می توانند بر فرآیندهای بیولوژیکی در تصفیه خانه های فاضلاب تأثیر گذاشته و کارایی تصفیه را کاهش دهند. دانشمندان اخیراً مفهوم «نانو پلاستیک ثانویه» که از تجزیه زیستی میکروپلاستیک های حاصل از هضم و انباشگی در زنجیره ی غذایی است را معرفی کرده اند (Lindeque et al, 2020). که این میکرو یا نانو پلاستیک ها می توانند جاذب مواد و عناصر سمی باشند. در فاضلاب پلاستیک ها با سطح ویژه ی بالا می توانند آلاینده هایی مانند: هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای^۳، فلزات سنگین دی فنیل اترهای پلی برومینه^۴ (Foshtomi et al, 2019)، داروها و محصولات مراقبت شخصی (Singala et al, 2020) را جذب می کنند.

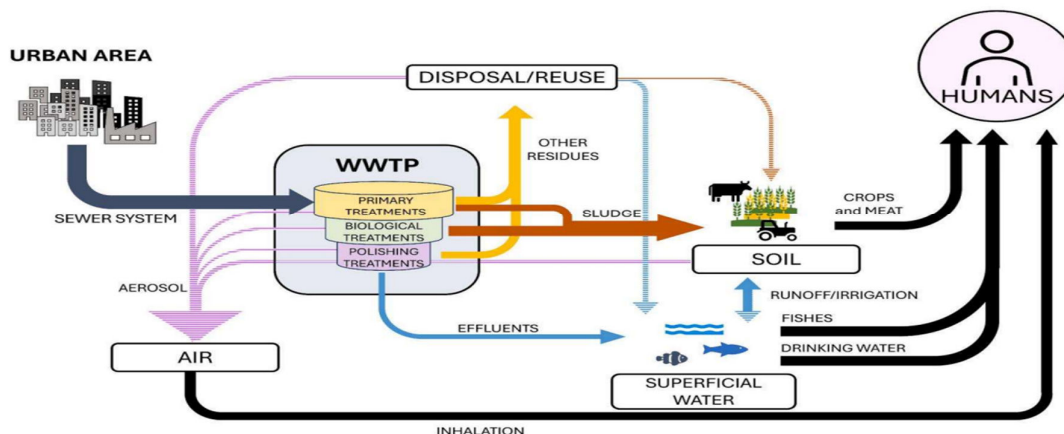
¹ Raman

² FTIR

³ PAH

⁴ PBDEs

از نظر سلامت انسان، میکروپلاستیک ها می توانند از طریق مصرف آب و مواد غذایی آلوده به بدن انسان راه یابند. این ذرات ممکن است باعث ایجاد اختلالات متابولیکی، کاهش مخاط روده و تغییرات در جذب و دفع مواد مغذی شوند (Jin et al, 2018). همچنین استنشاق میکروپلاستیک ها می تواند به سلامت دستگاه تنفسی آسیب برساند (Wright& Kelly, 2017).



شکل ۵- آلودگی مستقیم و غیرمستقیم میکروپلاستیک ها در محیط زیست و نقش کلیدی لجن فاضلاب (Marco et al, 2024)

۴- جمع بندی

آلودگی میکروپلاستیکی در آب و فاضلاب به عنوان یک نگرانی جدی مطرح است که نیازمند توجه ویژه است. این ذرات می توانند از طریق منابع مختلف مانند رواناب های سطحی، فاضلاب های شهری و صنعتی، فرسایش پلاستیک های بزرگتر و همچنین رسوب ذرات اتمسفری وارد محیط های آبی شوند که به طور حتم تاثیر مستقیمی بر سلامت انسان و اکوسیستم خواهند داشت در نتیجه نیاز است مطالعات دقیق محیطی در راستای کاهش یا حذف این آلاینده صورت بگیرد.

۵- مراجع

1. Andrady A. 2011. Microplastics in the marine environment. *Mar Pollut Bull.* 2011;62(8):1596
2. Chia RW, Lee JY, Jang J, et al. 2022. Soil health and microplastics: a review of the impacts of microplastic contamination on soil properties. *J Soils Sedimen.* 2022;22 (10):2690–2705. doi:
3. Dris R, Gasperi J, Saad M, et al. 2016. Synthetic fibers in atmospheric fallout: a source of microplastics in the environment? 2016;
4. Eerkes-Medrano D, Thompson RC, Aldridge DC. 2015. Microplastics in freshwater systems: a review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *Water Res.* 2015;75:63- 82
5. Foshtomi et al, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111747>
6. Garcia, F.; de Carvalho, A.R.; Riem-Galliano, L.; Tudesque, L.; Albignac, M.; ter Halle, A.; Cucherousset, J. 2021. Stable Isotope Insights into Microplastic Contamination within Freshwater Food Webs. *Environ. Sci. Technol.* 2021, 55, 1024–1035

7. Gündoğdu S, Çevik C, Güzel E.2018. Microplastics in municipal wastewater treatment plants in Turkey: a comparison of the influent and secondary effluent concentrations. *Environ Monit Assess.* 2018;190(11):626
8. Hahladakis JN, Velis CA, Weber R.2018. An overview of chemical additives present in plastics: migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling. *J Hazard Mater.*;344:179-99
9. Hooge, A., Hauggaard-Nielsen, H., Heinze, W.M., Lyngsie, G., Ramos, T.M., Sandgaard, M.H., Vollertsen, J., Syberg, K., 2023. Fate of microplastics in sewage sludge and in agricultural soils. *TrAC Trends Anal. Chem.* 166, 117184 <https://doi.org/10.1016/j.trac.2023.117184>.
10. Jin Y, Lu L, Tu W, Luo T, Fu Z.2019. Impacts of polystyrene microplastic on the gut barrier, microbiota and metabolism of mice. *Sci Total Environ.* 2019;649: 308–17. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.353>
11. Koelmans AA, Nor NHM, Hermesen E.2019. Microplastics in freshwaters and drinking water: critical review and assessment of data quality. *Water Res.*
12. Lee M and Kim H.2022. COVID-19 pandemic and microplastic pollution. *Nanomaterials* 2022;
13. Lindeque PK, Cole M, Coppock RL, et al.2020 Are we underestimating microplastic abundance in the marine environment? A comparison of microplastic capture with nets of different meshsize. *Environ Pollut* 2020; 265: 1
14. Liu, S., Su, C., Lu, Y., Xian, Y., Chen, Z., Wang, Y., Deng, X., Li, X., 2023. Effects of microplastics on the properties of different types of sewage sludge and strategies to overcome
15. Liu, W., Zhang, J., Liu, H., Guo, X., Zhang, X., Yao, X., Cao, Z., Zhang, T., 2021. A review of the removal of microplastics in global wastewater treatment plants: characteristics and mechanisms. *Environ. Int.* 146, 106277 <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106277>.
16. Ma B, Xue W, Hu C.2019. Characteristics of microplastic removal via coagulation and ultrafiltration during drinking water treatment. *Chem Eng J.* 2019;359:159-67
17. Marchuk, S., Tait, S., Sinha, P., Harris, P., Antille, D.L., McCabe, B.K., 2023. Biosolidsderived fertilisers: a review of challenges and opportunities. *Sci. Total Environ.* 875, 162555 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162555>
18. Marco Carnevale Miino a,* , Silvia Galafassi b,c , Rosa Zullo b , Vincenzo Torretta a , Elena Cristina Rada.,2024. Microplastics removal in wastewater treatment plants: A review of the different approaches to limit their release in the environment.2024.172575
19. Motta, O.; Pironti, C.; Ricciardi, M.; Rostagno, C.; Bolzacchini, E.; Ferrero, L.; Cucciniello, R.; Proto, A. 2021.Leonardo Da Vinci's "Last Supper": A Case Study to Evaluate the Influence of Visitors on the Museum Preservation Systems. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2021.
20. Nizzetto L, Bussi G, Futter MN, et al.2016. A theoretical assessment of microplastic transport in river catchments and their retention by soils and river sediments. *Environ Sci Process Impacts* 2016; 18: 1050–1059
21. Osterlund, H., Blecken, G., Lange, K., Marsalek, J., Gopinath, K., Viklander, M., 2023. Microplastics in urban catchments: review of sources, pathways, and entry into stormwater. *Sci. Total Environ.* 858, 159781 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159781>.
22. Rajmohan KV, Ramya C, Viswanathan MR, Varjani S (2019) Plastic pollutants: effective waste management for pollution control and abatement. *Curr Opin Environ Sci Health* 12:72–84. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.08.006>
23. Ricciardi, M.; Pironti, C.; Motta, O.; Fiorillo, R.; Camin, F.; Faggiano, A.; Proto, A.2021. Investigations on Historical Monuments' Deterioration through Chemical and Isotopic Analyses: An Italian Case Study. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2021
24. Selvam S, Jesuraja K, Venkatramanan S, et al.2020. Hazardous microplastics and its role as a vector of heavy metals in groundwater and surface water of coastal south India. *J Hazard Mater.* 2021;402:123786. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.123786
25. Singala S, Lisa K. Iwamoto-Stohl, Meng Zhu, Magdalena Zernicka-Goetz. (2020). Autophagy-mediated apoptosis eliminates aneuploid cells in a mouse model of chromosome mosaicism

26. Sintim HY and Flury M.2017. Is biodegradable plastic mulch the solution to agriculture's plastic problem? Environ Sci Technol 2017; 51: 1068–1069
27. Wagner S, Hüffer T, Klöckner P, et al.2018. Tire wear particles in the aquatic environment – a review on generation, analysis, occurrence, fate and effects. Water Res 2018; 139: 83–100.
28. Winterling H, Sonntag N.2011. Rigid Polystyrene Foam(EPS, XPS). Kunstst Int. 2011;101(10):18-21.

Investigation of microplastics in water and wastewater

Hossein Mohammadzadeh ^{1&2*}, Atefeh Razi[†]

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

[\(mohammadzadeh@um.ac.ir\)](mailto:mohammadzadeh@um.ac.ir)

2.Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

abstract

This review study was done with the purpose of knowledge about the pollution of microplastics in water and wastewater and its impact on human health. Microplastic pollution in water and wastewater is a serious concern and requires special attention. These particles can enter wastewater environments through various sources. In this research, several articles related to microplastics, including the history, recognition and classification of microplastics, their production, use and environmental fate have been examined. Since wastewater is considered as a microplastic carrier for transfer to aquifer environments, the method identification and the reduction of microplastics in wastewater has always been of great interest in recent years due to the direct and indirect effects on human health, which is also tried to be addressed in this article.

Keywords: Microplastic, Water, Wastewater, Human Health