



Available online: <https://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

بررسی عملکرد تصفیه خانه‌های آب آشامیدنی تهران در حذف نانوپلاستیک‌ها و میکروپلاستیک‌ها

فاطمه طباطبایی^۱، رویا مافی غلامی^{۱*}، حمید مقیمی^۲، ساناز خرمی پور^۱

۱- گروه محیط زیست، دانشکده مهندسی و علوم محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی تهران غرب، تهران، ایران
۲- گروه میکروبیولوژی، دانشکده زیست شناسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله:

زمینه و هدف: میکروپلاستیک‌ها می‌توانند دارای اثرات مضر برای جانداران از جمله انسان‌ها داشته باشند. این ذرات در تمامی منابع آبی، خاکی و غذایی شناسایی شده‌اند. در این میان، منابع آب شیرین دارای اهمیت بسزایی هستند، زیرا از طریق تصفیه خانه‌های آب، به عنوان منبع آبی برای انسان‌ها در نظر گرفته می‌شوند. لذا این مطالعه به بررسی عملکرد تصفیه خانه‌های تهران در حذف این ذرات می‌پردازد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۵
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۰۲/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۲۰
تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۳/۲۱

روش بررسی: در این مطالعه عملکرد ۳ تصفیه خانه آب آشامیدنی شهر تهران، در حذف این ذرات مورد بررسی قرار گرفت. در بیشتر مطالعات صورت گرفته در سطح جهان، ذرات بزرگ‌تر از $1 \mu\text{m}$ بررسی شدند، اما در این مطالعه ذرات نانوپلاستیک با سایز کوچک‌تر از $1 \mu\text{m}$ نیز مورد بررسی قرار گرفته و همچنین تاثیر فصل گرم و سرد سال نیز، در غلظت این ذرات در نظر گرفته شد.

واژگان کلیدی: میکروپلاستیک، نانوپلاستیک، آلودگی آب، تصفیه خانه آب آشامیدنی، میکروسکوپ الکترونی

یافته‌ها: طبق نتایج مطالعه، مقدار ذرات میکرو و نانوپلاستیک در ورودی تصفیه خانه‌ها در فصل گرم سال 2569 ± 309 تا 3918 ± 425 MP/L و در خروجی آنها 1492 ± 32 تا 2279 ± 146 MP/L بود که نشان‌دهنده افزایش این ذرات در فصل گرم است. در نتیجه، تصفیه خانه‌های مورد مطالعه تنها قادر به حذف $32/1$ تا $59/9$ درصد از این ذرات بودند. به علاوه، با استفاده از میکروسکوپ الکترونی، میکروپلاستیک‌ها از لحاظ شکل ظاهری به سه دسته فیبر، فراگمنت و فیلم دسته بندی شدند.

نتیجه‌گیری: براساس نتایج در این مطالعه، تصفیه خانه‌های تهران عملکرد ضعیفی در حذف این ذرات دارند.

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
r.mafigholami@wtiau.ac.ir

Please cite this article as: Tabatabaei F, Mafigholami R, Moghimi H, Khoramipour S. Evaluation of the performance of Tehran drinking water treatment plants in removing nanoplastics and microplastics. Iranian Journal of Health and Environment. 2022;15(1):169-80.

مقدمه

میکروپلاستیک‌ها (Microplastics (MPs)) ذرات جامد غیر قابل حل هستند که اندازه آنها کمتر از ۵ mm است (۱). مرز مشخصی برای مینیمم اندازه میکروپلاستیک وجود ندارد اما ذرات کوچک‌تر از ۱ μm را نانوپلاستیک می‌نامند (۲). این ذرات در همه جا از جمله آب‌های سطحی، آب‌های زیرزمینی و فاضلاب وجود دارند (۳) که این مساله این سوال را بوجود می‌آورد که آیا آب‌های آشامیدنی نیز به این ذرات آلوده هستند؟ تاکنون مطالعات محدودی در رابطه با آلودگی آب شرب شهری و آب‌های معدنی انجام شده است (۴-۶). میکروپلاستیک‌ها به دو دسته میکروپلاستیک‌های اولیه و ثانویه تقسیم می‌شوند. میکروپلاستیک‌های اولیه (Primary microplastics) که جهت تولید محصولات لایه برداری، لوازم آرایشی بهداشتی و غیره استفاده می‌شوند (۷) و میکروپلاستیک‌های ثانویه (Secondary microplastics) که از خرد شدگی پلاستیک‌های بزرگ‌تر به واسطه تجزیه نوری (Photodegradation) و برهم‌کنش فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی بوجود می‌آیند (۸). میکروپلاستیک‌های ثانویه از طریق تورهای ماهیگیری، پلت‌های رزین صنعتی، شستشوی لباس با ماشین لباسشویی و قطعات پلاستیکی خانگی که دور انداخته می‌شوند بوجود می‌آید (۹). همچنین مشاهده شده است که بیشتر ذرات میکروپلاستیک را میکروپلاستیک‌های ثانویه تشکیل می‌دهند (۱۰).

آثار مخرب میکروپلاستیک‌ها و نانوپلاستیک‌ها بر سلامت انسان هنوز در ابهام است، اما طبق مطالعاتی که تاکنون صورت گرفته، مشاهده شده است که این ذرات می‌توانند باعث فشار اکسیداتیو، سمیت سلولی، تغییر متابولیسم، اختلال در سیستم ایمنی، سمیت عصبی و سرطان شود (۱۱). میکروپلاستیک‌ها همچنین می‌توانند آلاینده‌های سمی (مانند فلزات سنگین و پلاستیسایزرها) یا مواد شیمیایی که به سطح خود جذب کرده‌اند را با خود حمل کنند (۱۲). برای مثال، Wright و همکار (۲۰۱۷) مشاهده کردند که برخی از میکروپلاستیک‌ها حاوی مواد افزودنی هستند که سرطان زا، سمی و جهش زا بوده و این مواد شیمیایی می‌توانند از طریق زنجیره غذایی در

بدن تجمع زیستی کنند (۱۳، ۱۴).

با توجه به مطالعات اخیر، تصفیه خانه‌های آب آشامیدنی به عنوان منبع مشکوکی از میکروپلاستیک‌ها برای انسان در نظر گرفته شده‌اند (۱۵، ۱۶). تعداد مطالعاتی که بر روی آلودگی میکروپلاستیک آب‌های آشامیدنی مطالعه کرده‌اند، محدود است و برای اولین بار، میکروپلاستیک‌های موجود در شیر آب شهری توسط Erkes-Medrano در سال ۲۰۱۹ شناسایی شدند (۱۷). از آنجا که تصفیه خانه‌های آب آشامیدنی (Drinking water treatment plants (DWTPs)) منبعی برای تامین آب مطمئن برای مردم در نظر گرفته می‌شود؛ بنابراین، بررسی آنها از لحاظ قابلیت کاهش و یا حذف میکروپلاستیک‌ها امری ضروری است. بطور مثال Pivokonsky و همکاران در سال ۲۰۱۸ مشاهده کردند که ۷۰ تا ۸۰ درصد ذرات میکروپلاستیک در نمونه‌های آب تصفیه شده کاهش پیدا کرده بودند (۱۶). اما بررسی عملکرد تصفیه خانه‌های مختلف که دارای منابع آبی مختلف و مجهز به سیستم‌های مختلفی هستند نیز ضروری است. در بررسی دیگر، Sarkar و همکاران در سال ۲۰۲۱ بر روی یک تصفیه خانه آب آشامیدنی که مجهز به سیستم زلالساز پولساتور (Pulse clarification system) بود مطالعه‌ای انجام دادند. این تصفیه خانه که از رودخانه گنگ در هند تغذیه می‌شود، بطور میانگین ۱۷/۸۸ MP/L در آب خام و ۲/۷۵ MP/L در آب تصفیه شده آلوده به میکروپلاستیک بود؛ که نشان دهنده حذف ۸۵ درصدی ذرات میکروپلاستیک است. هر چند که کوچک‌ترین اندازه ذراتی که در نظر گرفتند، ۲۵ میکرون بود. به علاوه آنها در یافتند که میزان حذف میکروپلاستیک‌ها رابطه مستقیمی با میزان حذف کدورت در آب دارد (۱۸). مطالعات منتشر شده در ارتباط با آلودگی میکروپلاستیک در منابع آب شیرین و آب آشامیدنی نشان داده‌اند که میزان انتشار میکروپلاستیک‌ها با میزان کوچک بودن آنها رابطه مستقیم دارد (۱۶، ۱۹). بنابراین، زمانی که میکروپلاستیک‌ها در تصفیه خانه‌ها مطالعه می‌شوند، باید توجه ویژه‌ای به ذرات ریزتر شود (۱۵). لذا هدف از این مطالعه بررسی تعداد، ابعاد، شکل و نوع میکروپلاستیک و نانوپلاستیک‌های موجود در ۳

نخی نیز استفاده گردید. تمامی ظروف، قبل از استفاده ۳ مرتبه با آب دیونیزه فیلتر شده، شسته شدند. برای جداسازی میکروپلاستیک‌ها از نمونه‌های آب، از روش WPO (Wet Peroxide Oxidation) استفاده شد (۵، ۱۶، ۲۰). بطور خلاصه، ابتدا محلول آهن با غلظت ۰/۰۵ mol با اختلاط ۶ mL سولفوریک اسید و ۱۵ g سولفات آهن و ۱ L آب آماده گردید. به ازای هر لیتر از نمونه‌های آب که در ارلن ریخته شدند، ۸۰ mL از محلول آهن ساخته شده و ۸۰ mL هیدروژن پراکسید اضافه شد. سپس، نمونه‌ها به مدت ۳۰ min در دمای ۶۰ °C و سرعت ۳۰۰ rpm روی همزن مغناطیسی قرار گرفتند. بعد از آن، نمونه‌ها به مدت ۲۴ h در دمای اتاق قرار گرفتند تا عمل فیلتراسیون به خوبی انجام شود. بعد از سپری شدن این زمان، برای انحلال ترسیب آهن و جلوگیری از اختلال در فیلتراسیون، به هر نمونه ۱۰ mL هیدروکلریک اسید اضافه شد (۲۱). سپس نمونه‌ها از فیلتر غشایی عبور داده شدند. به دلیل اینکه سطح فیلتر در هر دو نمونه‌های ورودی و خروجی، همراه با مواد کلویدی و میکرونی دیگر مانند رس است و این ذرات باعث اختلال در فرایند شمارش میکروپلاستیک می‌شود، از روش جداسازی تراکمی جهت جدا کردن میکروپلاستیک‌ها از این ذرات استفاده گردید. در این فرایند، فیلترها در لوله‌های ۲۰ میلی لیتری سانتریفیوژ قرار گرفتند. این لوله‌ها با محلول کلرید روی (۵ M، ۱/۵۵ g/cm³) پر شده (۲۲) و ابتدا در دستگاه اولتراسونیک به مدت ۱۰ min قرار گرفتند؛ تا مواد از روی فیلتر کاملاً جدا شوند. سپس نمونه‌ها بدون خارج کردن فیلتر از لوله‌ها، در سانتریفیوژ با سرعت ۴۰۰ rpm و به مدت ۵ min قرار گرفتند و جداسازی صورت گرفت. پس از ته نشین شدن ذرات رس، ذرات شناور روی محلول کلرید روی، فیلتر شدند (۵). سپس، فیلترها جهت خشک شدن در پتری دیش‌های شیشه‌ای، به مدت ۶۰ min در دمای ۶۰ °C، در آون قرار گرفتند. فیلترها پس از خشک شدن در دسیکاتور نگه داشته شدند تا برای آنالیز کمی و کیفی ارسال شوند.

– آنالیز کمی و کیفی

جهت انجام آنالیز کمی، زمانی که فیلترها خشک شدند، آنها از

تصفیه خانه موجود در شهر تهران و عملکرد آنها در کاهش این ذرات در دو فصل گرم و سرد سال است. این مطالعه یکی از ابتدایی‌ترین مطالعات انجام شده در این زمینه است و برای اولین بار در این منطقه، نانوپلاستیک‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها

– نمونه برداری

نمونه برداری از سه تصفیه خانه آب شرب شهر تهران انجام شد. به جهت عدم ذکر نام این تصفیه خانه‌ها، آنها به ترتیب به نام تصفیه خانه‌های شماره ۱، ۲ و ۳ نامگذاری گردیدند این تصفیه خانه‌ها از آب رودخانه تغذیه می‌شوند. ظرفیت ورودی این تصفیه خانه‌ها به ترتیب ۴، ۷/۲ و ۵/۷ m³/s بوده؛ که تمامی این تصفیه خانه‌ها در مرحله انعقاد و لخته سازی از کلروفوریک و در مرحله ضدعفونی از گاز کلر استفاده می‌کنند. نمونه برداری در ۲ نوبت فصل سرد و گرم و در هر نوبت ۳ مرتبه در روزهای مختلف به صورت نمونه‌های ۱ لیتری از ورودی و خروجی (پس از کلرزنی) ۳ تصفیه خانه انجام شد و سپس نمونه‌ها در دمای ۴ °C در تاریکی نگه داشته شدند (در مجموع ۳۶ نمونه یک لیتری). ظروف نمونه برداری شیشه‌ای با رنگ کدر بوده و در ظروف با فویل آلومینیومی پوشانده شدند.

– مواد

مواد مورد استفاده در این تحقیق شامل سولفوریک اسید (۹۸ درصد)، سولفات آهن (FeSO₄·7H₂O)، هیدروژن پراکسید (۳۵ درصد)، هیدروکلریک اسید (HCl) و کلرید روی (ZnCl₂) بودند. تمامی مواد مورد مصرف در این پژوهش دارای خلوص آزمایشگاهی بودند. جهت شستشوی ظروف آزمایشگاهی از آب دیونیزه استفاده شد. لازم به ذکر است، مواد آزمایشگاهی از جمله آب دیونیزه، قبل از مصرف با فیلتر غشایی ۰/۴۵ μm از جنس سلولز نیترات استریل توسط ست فیلتراسیون فیلتر شدند.

– روش پژوهش

در تمامی مراحل آزمایش، مطالعات و بررسی‌ها زیر هود انجام شده تا از آلودگی ترسیب میکروپلاستیک از هوا جلوگیری شود. همچنین از دستکش‌های نیتریل و روپوش‌های سفید

دستگاه رامان 785 nm بوده و بازه طیف سنجی برابر با $3500-500 \text{ cm}^{-1}$ تنظیم شد. در آنالیز این تعداد، ۱۲ درصد ذرات مشکوک به میکروپلاستیک به عنوان پلیمر شناسایی نشدند که این میزان از تعداد میکروپلاستیک‌های شمرده شده در آنالیز SEM کاسته شد. در ادامه جهت شناسایی نوع پلیمر، از مرجع طیف های مرجع رامان است، برای تطبیق طیف‌های نمونه‌ها استفاده گردید. در آخر، تمامی آنالیزهای آماری توسط نرم افزار SPSS صورت گرفت. در این نرم افزار، از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov) جهت نرمالیته بودن نتایج استفاده شد.

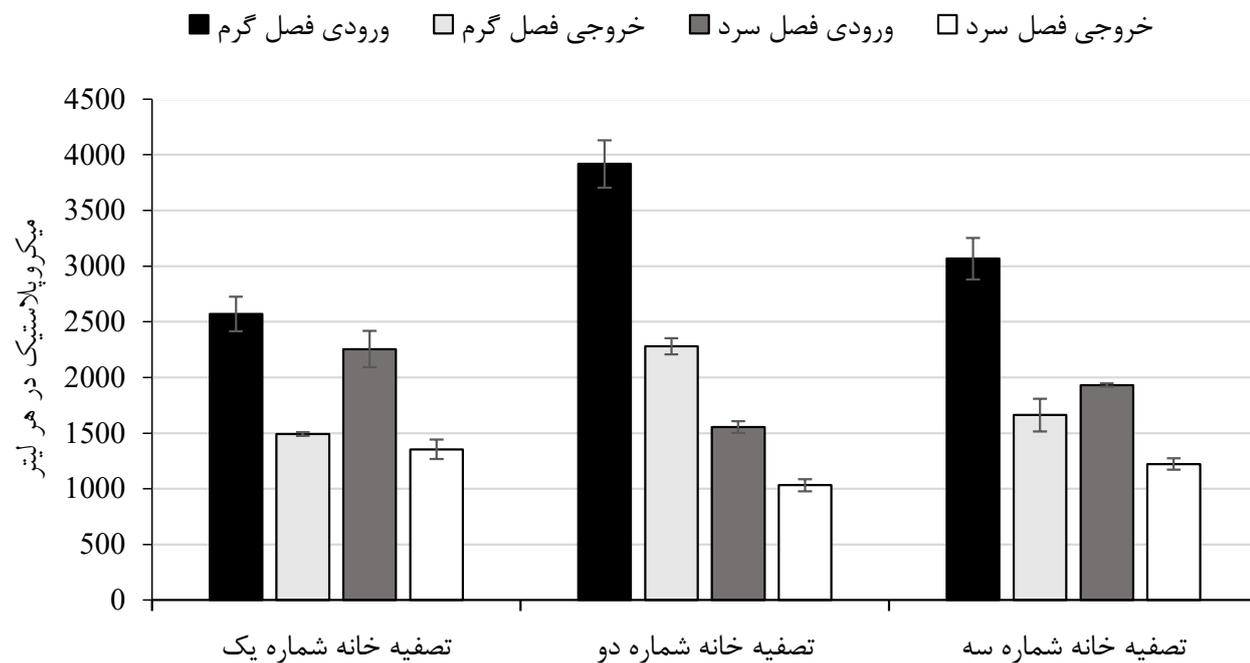
یافته‌ها

با توجه به نتایج SEM، تعداد میکروپلاستیک‌ها در فصل گرم، میانگین میزان ذرات میکروپلاستیک در تصفیه خانه‌های شماره ۱، ۲ و ۳ در ورودی، برابر با 309 ± 2569 ، 425 ± 3918 و 3067 ± 373 است. اما میانگین تعداد این ذرات در فصل سرد در ورودی این تصفیه خانه‌ها به ترتیب برابر با 326 ± 2255 ، 109 ± 1555 و 27 ± 1932 است. در ارتباط با تعداد این ذرات در خروجی تصفیه خانه‌های شماره ۱، ۲ و ۳ در فصل گرم، به ترتیب 32 ± 1492 ، 146 ± 2279 و 1663 ± 294 شناسایی شد. همچنین در فصل سرد نیز تعداد این ذرات به ترتیب برابر با 175 ± 1355 ، 109 ± 1033 و 1223 ± 103 بود؛ که تعداد میکروپلاستیک‌های تصفیه شده در فصل سرد در مقایسه با مقدار میکروپلاستیک در فصل گرم کمتر است. با توجه به اختلاف تعداد این ذرات در ورودی و خروجی می‌توان نتیجه گرفت که توانایی حذف میکروپلاستیک‌ها در تصفیه خانه‌های شماره ۱، ۲ و ۳ در فصل گرم به ترتیب برابر است با $41/93$ ، $41/83$ و $45/77$ درصد و برای فصل سرد به ترتیب برابر است با $39/91$ ، $33/56$ و $36/70$ درصد که نشان دهنده این است که عملکرد تصفیه خانه‌ها تقریباً یکسان است (نمودار ۱). هرچند پرواضح است که توانایی حذف این ذرات در فصل سرد کمی کاهش می‌یابد که لازم است در مطالعات آتی بیشتر بررسی گردد.

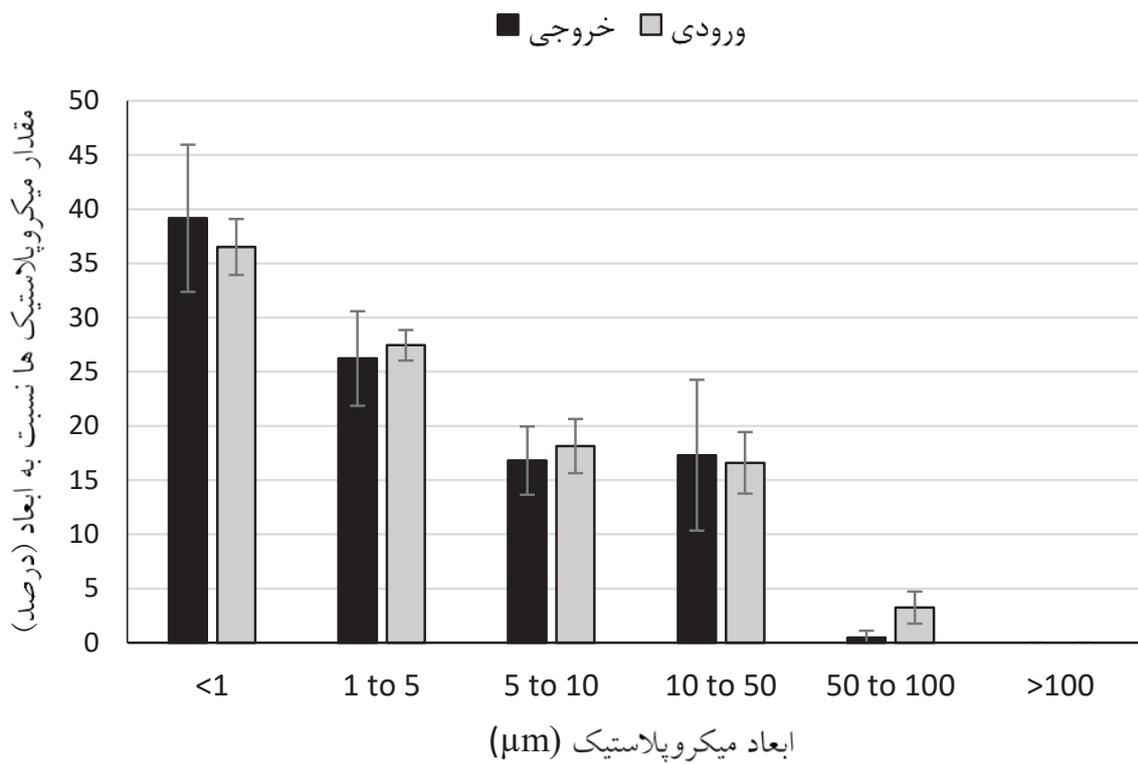
وسط نصف شده و ۳ قسمت مستطیلی شکل به ابعاد 3 mm در 8 mm (یکی در گوشه، یکی در وسط و یکی مابین این دو) با احتیاط از آن بریده شده و برای آنالیز SEM (Scanning Electron Microscope) ارسال شدند (۱۶). ابتدا یک لایه طلا جهت رسانا کردن بر روی نمونه‌ها قرار گرفت. با ولتاژ شتابان (Accelerating Voltage) kW و فاصله 10 mm حسگر از نمونه، 60 تصویر با بزرگنمایی 1000 برابر از هر قسمت مستطیلی شکل گرفته شد و تعداد، شکل و اندازه ذرات مشکوک به میکروپلاستیک توسط نرم افزار ImageJ (نسخه $1/5e$ ، موسسه ملی بهداشت آمریکا) یادداشت شدند. میکروپلاستیک‌ها از لحاظ ظاهری به سه دسته فیبر (شبیبه به مو)، فراگمنت (خرد شده از ذرات بزرگ‌تر و با شکلی بی قاعده) و فیلم (بصورت یک لایه نازک) دسته بندی شدند. از نظر اندازه نیز به ۶ دسته کوچک‌تر از $1 \mu\text{m}$ ، $1 \mu\text{m}$ تا $5 \mu\text{m}$ ، $5 \mu\text{m}$ تا $10 \mu\text{m}$ ، $10 \mu\text{m}$ تا $50 \mu\text{m}$ و $50 \mu\text{m}$ تا $100 \mu\text{m}$ و بزرگ‌تر از $100 \mu\text{m}$ دسته بندی شدند. برداری از تمامی فیلتر بسیار زمان بر و هزینه‌بر است. بنابراین، مساحت عکس برداری شده نسبت به کل فیلتر برون‌یابی شد. برای انجام آنالیز کیفی، نصف دیگر فیلتر جهت جداسازی میکروپلاستیک‌ها تحت میکروسکوپ نوری قرار گرفت و ذرات مشکوک به میکروپلاستیک (بزرگ‌تر از حدود $10 \mu\text{m}$) با استفاده از سوزن سرنگ که از قبل با استون و آب دیونیزه تمیز شده بود، از سطح فیلتر جدا شده و بر روی چسب دوطرف مس قرار گرفت و برای آنالیز طیف سنجی رامان ارسال شدند (۵). قابل ذکر است که به علت محدودیت دستگاهی در شناسایی ذرات میکروپلاستیک که برای این محدودیت برای دستگاه رامان $1 \mu\text{m}$ است (۲۳)، امکان شناسایی کیفی نانوپلاستیک‌ها در این مطالعه وجود نداشت. لذا، ذرات نانوپلاستیک کوچک‌تر از $1 \mu\text{m}$ فقط از لحاظ شناسایی کمی مورد بررسی قرار گرفتند. به علاوه به دلیل استفاده از میکروسکوپ نوری جهت جداسازی میکروپلاستیک‌ها، جداسازی و آنالیز ذرات بین $1 \mu\text{m}$ تا حدود $10 \mu\text{m}$ بسیار دشوار بوده، بنابراین ذرات بزرگ‌تر از $10 \mu\text{m}$ برای آنالیز رامان ارسال شدند. در مجموع ۶۶ ذره در هر سه شکل مختلف برای آنالیز رامان ارسال شد. فرکانس لیزر

از لحاظ شکل ظاهری، میکروپلاستیک‌ها به سه دسته فیبر (Fiber)، فراگمنت (Fragment) و فیلم (Film) دسته بندی شدند. شکل ۱ تصویر میکروسکوپ الکترونی از اشکال مختلف میکروپلاستیک‌ها را نشان می‌دهد. بطور میانگین، در نمونه‌های ورودی نسبت فیبر، فراگمنت و فیلم به ترتیب $52/18 \pm 6/60$ ، $36/72 \pm 6/80$ و $11/96 \pm 3/90$ درصد شناسایی شدند. اما در نمونه‌های خارجی این نسبت به ترتیب برابر با $42/45 \pm 9/02$ ، $43/81 \pm 10/43$ و $10/84 \pm 4/98$ درصد بود. با توجه به نمودار ۳، مشخص است که ذرات میکروپلاستیک با شکل فیبر حدود ۱۰ درصد کاهش پیدا کرده، اما از طرفی میزان میکروپلاستیک‌های با شکل فراگمنت ۱۰ درصد افزایش پیدا کرده است.

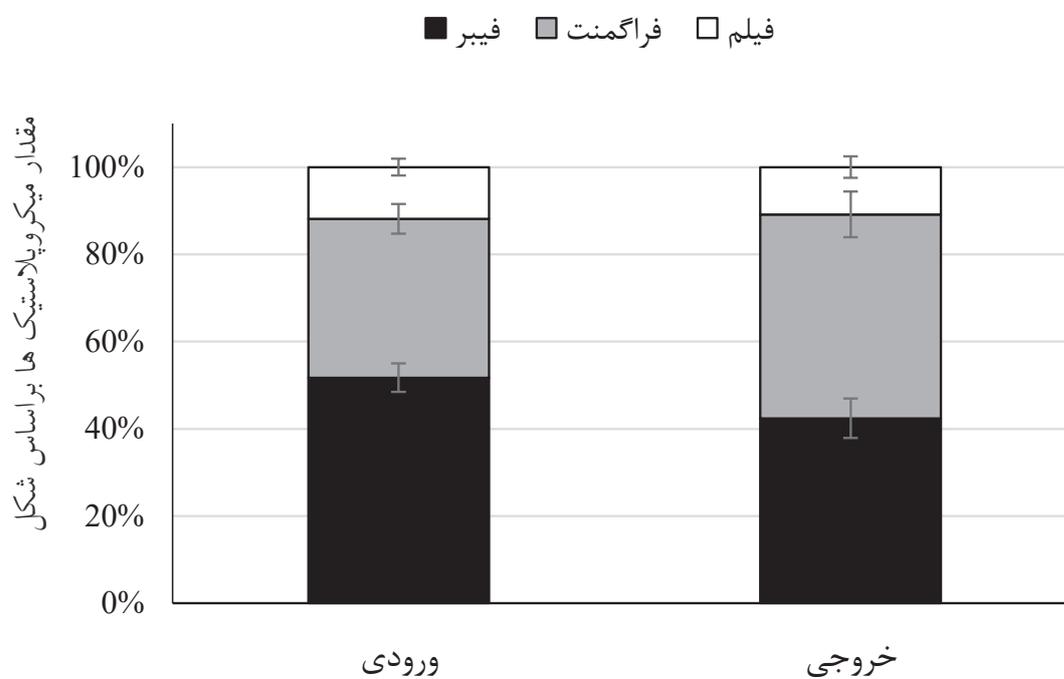
در ارتباط با ابعاد میکروپلاستیک‌ها، در این مطالعه نیز تعداد ذرات کوچک‌تر بسیار بیشتر از ذرات بزرگ‌تر است. با توجه به نمودار ۲، برای میکروپلاستیک‌های با ابعاد کوچک‌تر از $100 \mu m$ ، $1 \mu m$ تا $5 \mu m$ ، $5 \mu m$ تا $10 \mu m$ ، $10 \mu m$ تا $50 \mu m$ ، $50 \mu m$ تا $100 \mu m$ و بزرگ‌تر از $100 \mu m$ در نمونه‌های مربوط به ورودی به ترتیب $36/51 \pm 5/16$ ، $27/44 \pm 2/82$ ، $18/5 \pm 5/00$ ، $16/5 \pm 6/68$ ، $3/2 \pm 24/97$ و $0/1 \pm 46/30$ درصد ذرات را تشکیل دادند و برای نمونه‌های مربوط به خروجی به ترتیب $39/13 \pm 16/58$ ، $26/8 \pm 22/75$ ، $17/13 \pm 30/93$ ، $16/6 \pm 80/31$ و $0/1 \pm 46/30$ درصد ذرات را تشکیل دادند. پرواضح است که در نمونه‌های گرفته شده، میکروپلاستیک با ابعاد بزرگ‌تر از $100 \mu m$ شناسایی نشدند.



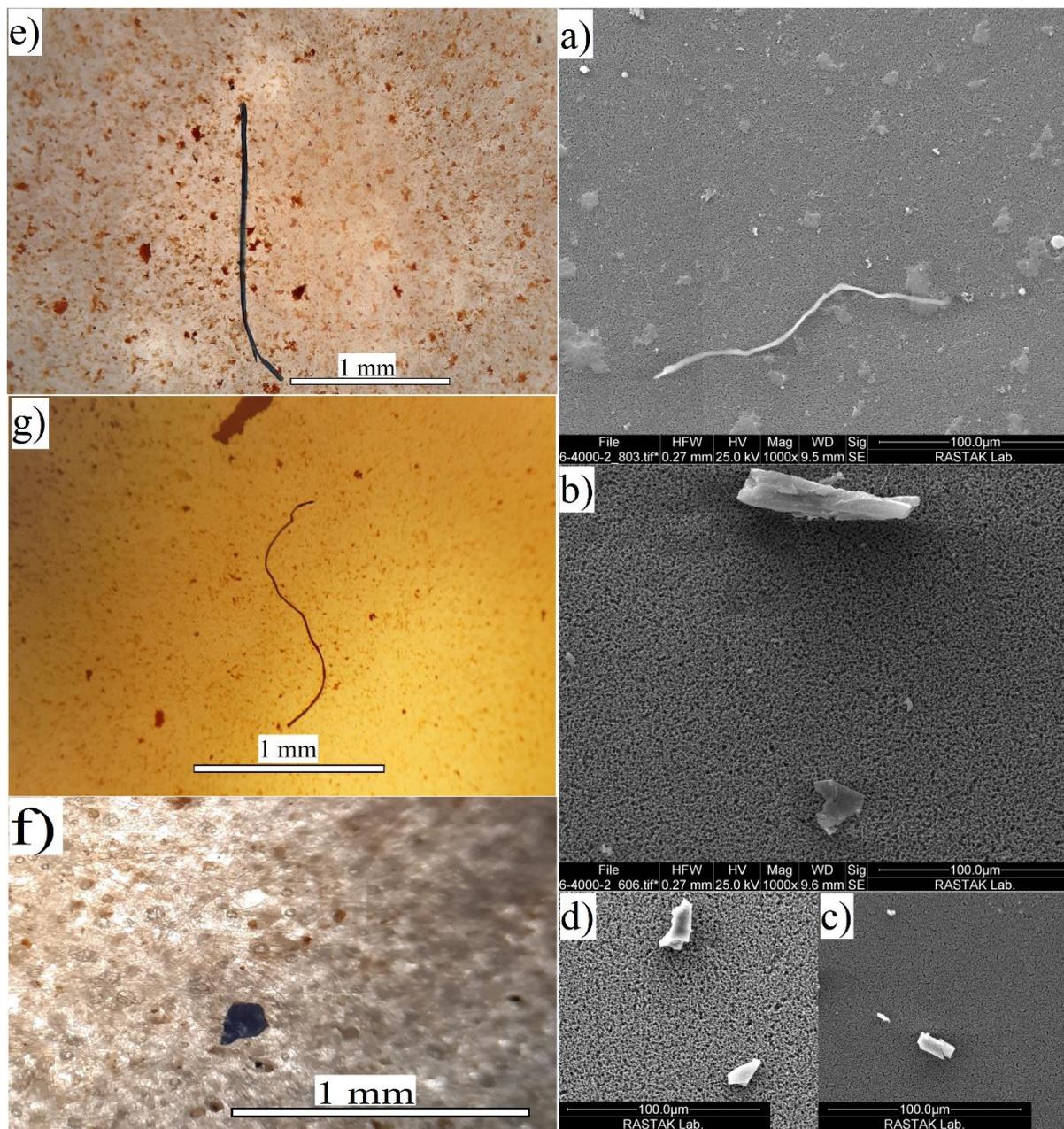
نمودار ۱- مقایسه میزان میکروپلاستیک‌های (Mean±SD) ورودی و خروجی در هر لیتر از نمونه در فصل گرم و سرد



نمودار ۲- ابعاد میکروپلاستیک‌ها (Mean \pm SD) در نمونه‌های ورودی و خروجی



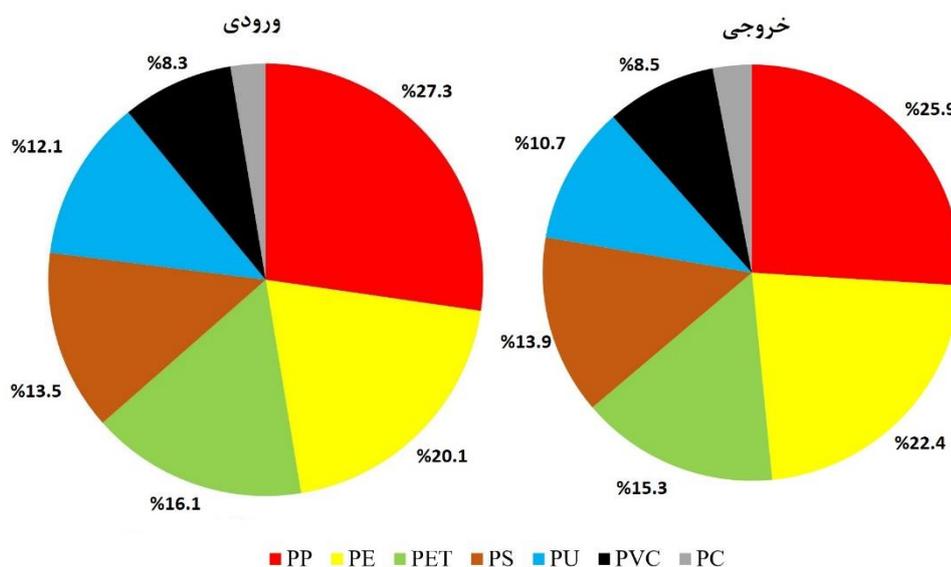
نمودار ۳- نسبت شکل میکروپلاستیک‌ها (Mean \pm SD) در نمونه‌های ورودی و خروجی



شکل ۱- تصاویر میکروسکوپ الکترونی در راست و میکروسکوپ نوری در چپ (قبل از جداسازی تراکمی) از اشکال مختلف میکروپلاستیک‌ها (تصویر ۲ a مربوط به یک فیبر، تصویر ۲ b یک فراگمنت در بالا و یک فیلم در پایین تصویر، تصاویر ۲ c و ۲ d مربوط به ذرات فراگمنت، تصویر ۲ e و ۲ g مربوط به یک فیبر و تصویر ۲ f نیز یک فراگمنت را نشان می‌دهد).

PP، PET، PE، PS، PU، PC و PVC به ترتیب برابر با ۲۷/۳، ۱۶/۱، ۲۰/۱، ۱۳/۵، ۱۲/۱، ۲/۶ و ۸/۳ درصد بود. این مقادیر برای نمونه‌های خروجی برابر با ۲۵/۹، ۱۵/۳، ۲۲/۴، ۱۳/۹، ۱۰/۷، ۳ و ۸/۵ درصد بود. می‌توان مشاهده کرد نسبت نوع این پلیمرها در ورودی و خروجی تفاوت چندانی نداشتند (نمودار ۴).

در آنالیز رامان در مجموع ۷ نوع پلیمر توسط دستگاه میکرورامان شناسایی شد. این پلیمرها شامل پلی اتیلن (PE)، پلی پروپیلن (۲۴)، پلی استایرن (۹)، پلی اتیلن ترفتالات (PET)، پلی ونیل کلراید (PVC)، پلی کربنات (PC) و پلی اورتان (PU) بودند. با توجه به آنالیز رامان، در نمونه‌های ورودی میزان پلیمرهای



نمودار ۴- درصد تشکیل دهنده نوع پلیمرها در نمونه‌های ورودی و خروجی

درصد آلوده‌تر هستند (۲۶). هرچند نتایج آنها با نتایج این مطالعه مغایرت دارد، اما با توجه به کمبود بارش در منطقه مورد مطالعه و افزایش میزان فعالیت انسانی در فصل گرم، نشان می‌دهد که نتایج این مطالعه نیز قابل اعتماد است. در مقایسه با مطالعات دیگر، تصفیه خانه‌های مورد مطالعه در این تحقیق عملکرد ضعیف‌تری داشتند. بطور مثال، Pivokonsky و همکاران در سال ۲۰۱۸ گزارش کردند که ۳ تصفیه خانه آشامیدنی واقع در کشور چک قادر به حذف ۷۰ تا ۸۳ درصد ذرات هستند (۱۶). هرچند این تصفیه خانه‌ها علاوه بر فیلتراسیون شنی، مجهز به سیستم فیلتراسیون کربن فعال هستند. آنها گزارش کردند که تعداد ذرات میکروپلاستیک‌ها در ورودی تصفیه خانه‌ها 34 ± 1473 تا 497 ± 3605 MP/L است که قابل مقایسه با مطالعه حاضر است. همچنین در مطالعه‌ای دیگر، Wang و همکاران در سال ۲۰۱۹ بر روی یک تصفیه

بحث

تعداد میکروپلاستیک‌ها

براساس مطالعه Dehghani و همکاران (۲۰۱۷) وجود میکروپلاستیک‌ها در رودخانه کرج می‌تواند به دلیل فعالیت انسانی در حوزه جاده چالوس و در سد لتیان به دلیل تفرجگاه انسانی در حوزه این دریاچه باشد. فعالیت انسانی در حوزه دریاچه سد لار بسیار محدود بوده اما نشست ذرات میکروپلاستیک از هوا می‌تواند عاملی دیگر برای آلودگی منبع هر سه تصفیه خانه باشد (۲۵). افزایش تعداد میکروپلاستیک‌ها در فصل گرم می‌تواند به دلیل افزایش میزان فعالیت انسانی در این فصل باشد. علاوه بر این، میزان بارش و کدورت می‌تواند در تعداد میکروپلاستیک‌ها نیز تاثیر گذار باشد. بطور مثال، Kankanige و همکار در سال ۲۰۲۰ گزارش کردند که نمونه‌های آب در فصول بارانی نسبت به فصول غیر بارانی ۳۰

ورودی و خروجی تغییری نکردند. بطور مشابه، در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۸ در ترکیه انجام شد، Gündoğdu و همکاران که بر روی دو تصفیه خانه فاضلاب مطالعه کردند، مشاهده کردند که در تصفیه خانه سیحون، میزان ذرات فیبر ۱۰ درصد کاهش پیدا کرده است، اما ذرات فراگمنت بدون تغییر و ذرات فیلم ۱۲ درصد افزایش پیدا کرد. هرچند در تصفیه خانه دیگری که آنها بررسی کردند، مشاهده کردند که تغییر محسوسی در نسبت هر سه شکل وجود نداشت (۲۹).

– نوع پلیمر

در ارتباط با نوع پلیمرها در مطالعات دیگر، پلیمرهای PE و PP بیشترین نسبت را در بین بقیه تشکیل می‌دهند (۱۶، ۲۱، ۳۰). در سال ۲۰۲۰ در سطح جهان، پلی اتیلن ۲۹/۸ و پلی پروپیلن ۱۹/۴ درصد پلیمرهای تولیدی را تشکیل می‌دادند (۳۱). بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که در مطالعات مختلف، از جمله مطالعه حاضر، این دو پلیمر بیشترین سهم را در میان بقیه پلیمرها دارند. از موارد مصرف پلی اتیلن می‌توان به عنوان کیسه‌های یک بار مصرف، ظروف و سینی‌های پلاستیکی، پارچه‌های پلاستیکی کشاورزی، بسته بندی مواد غذایی و غیره استفاده کرد. از موارد مصرف پلی پروپیلن نیز می‌توان به بسته بندی مواد غذایی، روکش شکلات، درهای پلاستیکی بطری‌ها، قطعات خودرو و غیره را اشاره کرد (۳۱). از آنجایی که در حوزه رودخانه کرج و سد لتیان فعالیت انسانی، بخصوص در فصل گرم وجود دارد، مردم با استفاده از موارد ذکر شده و عدم دفع بهداشتی این زباله‌ها، از عوامل مهم آلودگی این منابع آبی بشمار می‌روند.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، میزان آلودگی میکروپلاستیک‌ها در ۳ تصفیه خانه شهر تهران و توانایی حذف آنها مورد بررسی قرار گرفت. تمامی نمونه‌های گرفته شده، آلوده به میکروپلاستیک بودند و مشاهده شد که میزان آلودگی در فصل گرم بیشتر از فصل سرد بود. همچنین مقدار این ذرات در ورودی تصفیه خانه‌ها در فصل گرم 309 ± 2569 MP/L تا 425 ± 3918 MP/L و در خروجی به میزان 32 ± 1492 تا 146 ± 2279 MP/L شناسایی شد.

خانه آشامیدنی پیشرفته واقع در رودخانه یانگتسه در کشور چین مطالعه کردند؛ که آن نیز مجهز به سیستم فیلتراسیون کربن فعال بود. آنها مشاهده کردند که تعداد این ذرات در ورودی برابر با 6614 ± 1132 بود که نشان دهنده آلودگی زیاد این رودخانه است. هرچند این تصفیه خانه توانایی حذف ۸۲/۱ تا ۸۸/۶ درصد ذرات را داشت (۲۷). شایان ذکر است در مطالعه ذکر شده تنها ذرات بزرگ‌تر از $1 \mu\text{m}$ بررسی شدند و همانطور که می‌دانیم تعداد ذرات میکروپلاستیک نسبت به ابعاد آنها رابطه عکس دارند (۶، ۱۶) و آنها در این مطالعه بسیاری از ذرات میکروپلاستیک کوچک‌تر از $1 \mu\text{m}$ را در نظر نگرفتند.

– شکل و ابعاد میکروپلاستیک‌ها

با توجه به اینکه در نمونه‌های ورودی میکروپلاستیک‌های با ابعاد کوچک‌تر نسبت بیشتری را تشکیل می‌دهند، توانایی ضعیف تصفیه خانه در حذف ذرات کوچک‌تر را نشان می‌دهد. این نتیجه با نتایج مطالعات مشابه قابل مقایسه است. بطور مثال Tong و همکاران در سال ۲۰۲۰ با بررسی میکروپلاستیک‌های موجود در نمونه‌های شیر آب مشاهده کردند که میکروپلاستیک‌های کوچک‌تر از $50 \mu\text{m}$ ، $13/25$ تا 100 درصد ذرات در هر نمونه را تشکیل می‌دادند (۲۱). درحالی‌که، میکروپلاستیک‌های با ابعاد $50 \mu\text{m}$ تا $100 \mu\text{m}$ ، $100 \mu\text{m}$ تا $300 \mu\text{m}$ و $300 \mu\text{m}$ تا $500 \mu\text{m}$ به ترتیب تنها $1/47$ تا $31/25$ ، $1/72$ تا $31/25$ و $1/18$ تا $7/69$ درصد ذرات را تشکیل می‌دادند. در مطالعه‌ای دیگر، Pivokonsky و همکاران در سال ۲۰۲۰ که دو تصفیه خانه آشامیدنی در کشور چک را بررسی کردند، مشاهده کردند که به صورت کلی 50 تا 65 درصد ذرات میکروپلاستیک بین $1 \mu\text{m}$ تا $5 \mu\text{m}$ هستند (۲۸). در مجموع، می‌توان نتیجه گرفت که تصفیه خانه‌های رایج مانند مطالعه حاضر و همچنین تصفیه خانه‌های پیشرفته، توانایی ضعیف‌تری در حذف ذرات میکروپلاستیک با ابعاد کوچک‌تر را دارند.

با توجه به نسبت فیبر، فراگمنت و فیلم در ورودی و خروجی، می‌توان به این نتیجه رسید که دلیل کاهش ذرات فیبر در خروجی، گیر کردن آنها در فیلتراسیون شنی به خاطر طول بلند آنها باشد (۵). اما میزان ذرات میکروپلاستیک با شکل فیلم، در

می‌دادند. همچنین میکروپلاستیک‌ها از لحاظ شکل ظاهری به فیبر، فراگمنت و فیلم دسته بندی شدند؛ که در تمامی نمونه‌ها فیبرها بیشترین نسبت را تشکیل می‌دادند.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

References

- Bergmann M, Gutow L, Klages M. Marine Anthropogenic Litter. 1st ed. Springer Cham; 2015.
- Koelmans AA. Modeling the Role of Microplastics in Bioaccumulation of Organic Chemicals to Marine Aquatic Organisms. A Critical Review. In: Bergmann M, Gutow L, Klages M, editors. Marine Anthropogenic Litter. Cham: Springer International Publishing; 2015. p. 309-24.
- Ling SD, Sinclair M, Levi CJ, Reeves SE, Edgar GJ. Ubiquity of microplastics in coastal seafloor sediments. *Marine Pollution Bulletin*. 2017;121(1):104-10.
- Kosuth M, Mason SA, Wattenberg EV. Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. *PLoS One*. 2018;13(4):e0194970.
- Adib D, Mafigholami R, Tabeshkia H. Identification of microplastics in conventional drinking water treatment plants in Tehran, Iran. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2021;19(2):1817-26.
- Schymanski D, Goldbeck C, Humpf H-U, Fürst P. Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: Release of plastic particles from different packaging into mineral water. *Water Research*. 2018;129:154-62.
- Cole M, Lindeque P, Halsband C, Galloway TS. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*. 2011;62(12):2588-97.
- Galgani F, Hanke G, Werner S, De Vrees L. Marine litter within the European marine strategy framework directive. *ICES Journal of Marine Science*. 2013;70(6):1055-64.
- Eerkes-Medrano D, Thompson RC, Aldridge DC. Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *Water Research*. 2015;75:63-82.
- Eriksen M, Mason S, Wilson S, Box C, Zellers A, Edwards W, Farley H, Amato S. Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. *Marine Pollution Bulletin*. 2013;77(1-2):177-182.
- Rahman A, Sarkar A, Yadav OP, Achari G, Slobodnik J. Potential human health risks due to environmental exposure to nano- and microplastics and knowledge gaps: A scoping review. *Science of The Total Environment*. 2021;757:143872.
- Gallo F, Fossi C, Weber R, Santillo D, Sousa J, Ingram I, et al. Marine litter plastics and microplastics and their toxic chemicals components: the need for urgent preventive measures. *Environmental Sciences Europe*. 2018;30(1):13.
- Wright SL, Kelly FJ. Plastic and Human Health: A Micro Issue? *Environmental Science & Technology*. 2017;51(12):6634-47.
- Carbery M, O'Connor W, Palanisami T. Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human

- health. *Environment International*. 2018;115:400-09.
15. Novotna K, Cermakova L, Pivokonska L, Cajthaml T, Pivokonsky M. Microplastics in drinking water treatment – Current knowledge and research needs. *Science of The Total Environment*. 2019;667:730-40.
16. Pivokonsky M, Cermakova L, Novotna K, Peer P, Cajthaml T, Janda V. Occurrence of microplastics in raw and treated drinking water. *Science of The Total Environment*. 2018;643:1644-51.
17. Eerkes-Medrano D, Leslie HA, Quinn B. Microplastics in drinking water: A review and assessment. *Current Opinion in Environmental Science & Health*. 2019;7:69-75.
18. Sarkar DJ, Das Sarkar S, Das BK, Praharaj JK, Mahajan DK, Purokait B, et al. Microplastics removal efficiency of drinking water treatment plant with pulse clarifier. *Journal of Hazardous Materials*. 2021;413:125347.
19. Oßmann BE, Sarau G, Holtmannspötter H, Pischetsrieder M, Christiansen SH, Dicke W. Small-sized microplastics and pigmented particles in bottled mineral water. *Water Research*. 2018;141:307-16.
20. Masura J, Baker J, Foster G, Arthur C. Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48, 2015.
21. Tong H, Jiang Q, Hu X, Zhong X. Occurrence and identification of microplastics in tap water from China. *Chemosphere*. 2020;252:126493.
22. Mintenig SM, Löder MGJ, Primpke S, Gerdt G. Low numbers of microplastics detected in drinking water from ground water sources. *Science of The Total Environment*. 2019;648:631-35.
23. Li J, Liu H, Paul Chen J. Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water Research*. 2018;137:362-74.
24. Long M, Moriceau B, Gallinari M, Lambert C, Huvet A, Raffray J, et al. Interactions between microplastics and phytoplankton aggregates: Impact on their respective fates. *Marine Chemistry*. 2015;175:39-46.
25. Dehghani S, Moore F, Akhbarizadeh R. Microplastic pollution in deposited urban dust, Tehran metropolis, Iran. *Environmental Science and Pollution Research*. 2017;24(25):20360-71.
26. Kankanige D, Babel S. Contamination by ≥ 6.5 μm -sized microplastics and their removability in a conventional water treatment plant (WTP) in Thailand. *Journal of Water Process Engineering*. 2021;40:101765.
27. Wang Z, Lin T, Chen W. Occurrence and removal of microplastics in an advanced drinking water treatment plant (ADWTP). *Science of The Total Environment*. 2020;700:134520.
28. Pivokonský M, Pivokonská L, Novotná K, Čermáková L, Klímová M. Occurrence and fate of microplastics at two different drinking water treatment plants within a river catchment. *Science of The Total Environment*. 2020;741:140236.
29. Gündoğdu S, Çevik C, Güzel E, Kilercioğlu S. Microplastics in municipal wastewater treatment plants in Turkey: a comparison of the influent and secondary effluent concentrations. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2018;190(11):626.
30. Bridson JH, Patel M, Lewis A, Gaw S, Parker K. Microplastic contamination in Auckland (New Zealand) beach sediments. *Marine Pollution Bulletin*. 2020;151:110867.
31. *Plastics—the Facts* is an analysis of the data related to the production, demand and waste management of plastic materials. *PlasticsEurope*, 2020. Available from: <https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/12/Plastics-the-Facts-2021-web-final.pdf>



Available online: <https://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



Evaluation of the performance of Tehran drinking water treatment plants in removing nanoplastics and microplastics

Fatemeh Tabatabaei¹, Roya Mafigholami^{1,*}, Hamid Moghimi², Sanaz Khoramipour¹

1- Department Environment, Faculty of Environmental Science and Engineering, Islamic Azad University, West Terhan Branch, Tehran, Iran

2- Department of Microbiology, Faculty of Biology, University of Tehran, Tehran, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 14 February 2022

Revised: 08 May 2022

Accepted: 10 May 2022

Published: 11 June 2022

ABSTRACT

Background and Objective: Microplastics can have harmful effects on living things, including humans. These particles have been identified in all water, soil, and food sources. Among these, freshwater resources are more important, because they are considered a water source for humans through drinking water treatment plants (DWTPs). Therefore, this study investigates the performance of Tehran DWTPs in removing these particles.

Materials and Methods: In this study, the performance of three DWTPs in Tehran in removing these particles was investigated. In most studies worldwide, particles larger than 1 μm were examined, but in this study, nanoplastic particles smaller than 1 μm , as well as the effect of the warm and cold seasons of the year on the concentration of these particles were also examined.

Results: According to the results of the study, the amount of micro and nanoplastic particles at the inlet of treatment plants in the warm season of the year was 2569 ± 309 to 3918 ± 425 MP/L, and the output was 1492 ± 32 to 2279 ± 146 MP/L, which indicates an increase in these particles in the warm season. As a result, the studied treatment plants were only able to remove 32.1 to 59.9% of these particles. In addition, using electron microscopy, MPs were classified into three categories in terms of appearance: fiber, fragment, and film. This study completes the knowledge of MPs in this area.

Conclusion: Based on the results of this study, Tehran DWTPs have poor performance in removing these particles.

Keywords: Microplastic, Nanoplastic, Water pollution, Drinking water treatment plant, Scanning electron microscope

***Corresponding Author:**

r.mafigholami@wtiau.ac.ir

Please cite this article as: Tabatabaei F, Mafigholami R, Moghimi H, Khoramipour S. Evaluation of the performance of Tehran drinking water treatment plants in removing nanoplastics and microplastics. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2022;15(1):169-80.

