



ارزیابی ریسک اکولوژیک میکروپلاستیک‌ها در تصفیه‌خانه فاضلاب شهری با تأکید بر تغییرات فصلی

محمد مهرعلیان^۱، مریم خشیج^{۲،۳*}

۱- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی نیشابور، نیشابور، ایران

۲- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران

۳- کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۴/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۱۰

*نویسنده مسئول: مریم خشیج،

دانشگاه علوم پزشکی تربت حیدریه

تلفن: ۰۹۹۰۵۹۹۵۸۹۲

پست الکترونیک:

m.khashij@yahoo.com

مقدمه: میکروپلاستیک‌ها به عنوان آلاینده‌های نوظهور، به دلیل پایداری بالا، قابلیت جذب و انتقال آلاینده‌های سمی و پیامدهای زیست‌محیطی، تهدیدی جدی برای اکوسیستم‌های آبی محسوب می‌شوند. تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری از مهم‌ترین مسیرهای ورود این ذرات به محیط‌های پذیرنده هستند. این پژوهش با هدف بررسی فراوانی، ترکیب پلیمری، راندمان حذف و ریسک اکولوژیک میکروپلاستیک‌ها در یک تصفیه‌خانه فاضلاب شهری با تأکید بر تغییرات فصلی انجام شد.

روش‌ها: این مطالعه در تصفیه‌خانه‌ای با ظرفیت ۱۳۰۰۰ مترمکعب در روز در سال ۱۴۰۴-۱۴۰۵ انجام شد. نمونه‌های مرکب ۲۴ ساعته از فاضلاب ورودی و پساب خروجی در زمستان و بهار جمع‌آوری شدند. پس از هضم موادآلی و جداسازی چگالی، میکروپلاستیک‌ها با استفاده از استریومیکروسکوپ، طیف‌سنجی FTIR و میکرورامان شناسایی شدند. همچنین شاخص بار آلودگی (PLI) و شاخص ریسک اکولوژیک بالقوه (H) محاسبه شدند.

یافته‌ها: میانگین غلظت میکروپلاستیک‌ها در فاضلاب ورودی در زمستان و بهار به ترتیب 314 ± 158 و 429 ± 753 ذره بر مترمکعب و در خروجی 162 ± 463 و 245 ± 926 ذره بر مترمکعب بود. راندمان حذف در زمستان و بهار به ترتیب ۸۵/۳ و ۸۷/۷ درصد بود. پلی‌پروپیلن (۴۱/۷۲ درصد) و پلی‌اتیلن (۲۹/۴۳ درصد) فراوان‌ترین پلیمرها بودند. مقدار شاخص H برابر ۱۴۵۵/۷۹ و مقادیر PLI در زمستان و بهار به ترتیب ۶/۸۲ و ۸/۱۳ بود که نشان‌دهنده ریسک اکولوژیک بالا هستند.

نتیجه‌گیری: با وجود راندمان بالای حذف، مقادیر قابل توجه میکروپلاستیک‌ها در پساب خروجی و شاخص‌های بالای ریسک اکولوژیک نشان می‌دهد که پساب تصفیه‌شده همچنان می‌تواند منبع انتشار این آلاینده‌ها به محیط‌های آبی باشد. ارتقای فناوری‌های تصفیه، پایش مستمر و کنترل آلودگی در مبدأ برای کاهش مخاطرات زیست‌محیطی ضروری است.

کلیدواژه‌ها: میکروپلاستیک، تصفیه‌خانه فاضلاب، ریسک اکولوژیک، شاخص بار آلودگی، تغییرات فصلی



مقدمه

جمله رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، آب‌های ساحلی و اقیانوس‌ها حضور دارند (۸).

میکروپلاستیک‌ها به دلیل پایداری بالا و قابلیت انتقال در محیط، می‌توانند در خاک، آب و زنجیره غذایی تجمع یافته و موجب اختلال در اکوسیستم‌ها، تغییر جوامع میکروبی و انتقال آلاینده‌ها شوند. همچنین، ورود این ذرات به بدن انسان از طریق غذا، آب و هوا ممکن است با ایجاد استرس اکسیداتیو، التهاب و اثرات نامطلوب بر سلامت همراه باشد؛ بنابراین، آلودگی میکروپلاستیک‌ها به‌عنوان یک تهدید نوظهور زیست‌محیطی و بهداشتی نیازمند پایش و مدیریت مؤثر است. ورود این ذرات به اکوسیستم‌های آبی می‌تواند منجر به بروز اثرات زیست‌محیطی گسترده‌ای شود. موجودات آبرزی ممکن است میکروپلاستیک‌ها را به‌اشتباه به‌عنوان غذا مصرف کنند که این امر می‌تواند باعث انسداد دستگاه گوارش، کاهش رشد، اختلالات متابولیسمی و انتقال آلاینده‌های سمی به زنجیره غذایی گردد. علاوه بر این، شواهد جدید نشان می‌دهد که میکروپلاستیک‌ها قادرند وارد بدن انسان شوند و اثرات بالقوه‌ای بر سلامت انسان داشته باشند (۹، ۱۰). یکی از مهم‌ترین مسیرهای ورود میکروپلاستیک‌ها به محیط‌های آبی، پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری است. تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به‌عنوان سیستم‌های اصلی مدیریت پساب شهری، حجم زیادی از فاضلاب‌های خانگی و صنعتی را دریافت می‌کنند. این فاضلاب‌ها حاوی انواع

در دهه‌های اخیر، افزایش تولید و مصرف مواد پلاستیکی موجب شده است که آلودگی پلاستیکی به یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی جهان تبدیل شود. پلاستیک‌ها به دلیل وزن کم، قیمت مناسب، مقاومت بالا و کاربرد گسترده در صنایع مختلف، به‌طور فزاینده‌ای در زندگی روزمره مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۱، ۲). با این حال، پایداری زیاد این مواد در محیط زیست و مقاومت آن‌ها در برابر فرآیندهای تجزیه طبیعی سبب تجمع طولانی‌مدت آن‌ها در محیط‌های آبی، خاک و حتی هوا شده است. در این میان، میکروپلاستیک‌ها که ذراتی با اندازه کمتر از ۵ میلی‌متر هستند، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های نوظهور شناخته می‌شوند (۳-۵). میکروپلاستیک‌ها به دو گروه اولیه و ثانویه تقسیم می‌شوند. میکروپلاستیک‌های اولیه به‌صورت مستقیم در اندازه‌های کوچک تولید می‌شوند و در محصولات آرایشی، شوینده‌ها، رنگ‌ها و صنایع مختلف کاربرد دارند. در مقابل، میکروپلاستیک‌های ثانویه حاصل تخریب پلاستیک‌های بزرگ‌تر در اثر تابش فرابنفش، سایش مکانیکی، اکسیداسیون و فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی محیطی هستند (۶، ۷). این ذرات به دلیل اندازه کوچک، سطح ویژه بالا و توانایی جذب آلاینده‌های آلی و فلزات سنگین، می‌توانند به‌عنوان ناقل آلاینده‌ها در محیط زیست عمل کنند. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که میکروپلاستیک‌ها در تمامی محیط‌های آبی از



میکروپلاستیک‌ها ناشی از شست‌وشوی منسوجات مصنوعی، محصولات آرایشی، مواد بسته‌بندی و فعالیت‌های صنعتی هستند (۱۱،۱۲). اگرچه بخش عمده‌ای از این ذرات طی مراحل مختلف تصفیه حذف می‌شوند، اما به دلیل اندازه کوچک و ویژگی‌های فیزیکی خاص، بخشی از آن‌ها در پساب باقی مانده و وارد منابع آب سطحی می‌شوند (۱۳).

در سال‌های اخیر، مطالعات متعددی در کشورهای مختلف جهان بر روی حضور، توزیع و کارایی حذف میکروپلاستیک‌ها در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب انجام شده است. نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که راندمان حذف میکروپلاستیک‌ها در تصفیه‌خانه‌های متعارف معمولاً بین ۷۰ تا ۹۵ درصد متغیر است (۲). با این حال، با توجه به حجم بالای پساب تولیدی، حتی مقادیر اندک باقی‌مانده نیز می‌توانند بار آلودگی قابل توجهی را وارد محیط زیست کنند. در مطالعه‌ای که در عمان انجام شد، مشخص گردید که راندمان حذف میکروپلاستیک‌ها در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب بین ۷۷ تا ۸۲ درصد است و پلیمرهای غالب شامل پلی‌پروپیلن، پلی‌اتیلن و پلی‌اتیلن ترفتالات هستند (۱۴). علاوه بر این، اگرچه فرآورده‌های متعارف تصفیه قادر به حذف بخش زیادی از میکروپلاستیک‌ها هستند، اما پساب خروجی همچنان می‌تواند منبعی برای انتشار این آلاینده‌ها باشد. مطالعات انجام‌شده در ایران نیز وجود میکروپلاستیک‌ها در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب را تأیید کرده‌اند (۱۵). با این حال، هنوز اطلاعات جامعی درباره

ویژگی‌های پلیمرها، تغییرات فصلی، راندمان حذف و تحلیل ریسک زیست‌محیطی این آلاینده‌ها در بسیاری از مناطق کشور وجود ندارد. آنالیز ریسک زیست‌محیطی یکی از ابزارهای مهم برای ارزیابی اثرات بالقوه آلاینده‌ها بر اکوسیستم‌های آبی است. در این روش، با استفاده از غلظت آلاینده‌ها و ضرایب سمیت، شاخص خطر محاسبه می‌شود و میزان تهدید زیست‌محیطی تعیین می‌گردد (۱۶).

از سوی دیگر، تغییرات فصلی می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر غلظت و ترکیب میکروپلاستیک‌ها داشته باشد. افزایش مصرف آب، شست‌وشوی بیشتر لباس‌های مصنوعی و تغییرات دمایی در فصول گرم ممکن است منجر به افزایش آزادسازی الیاف پلاستیکی شود. همچنین بارش‌های فصلی و رواناب شهری می‌توانند انتقال میکروپلاستیک‌ها به سیستم فاضلاب را افزایش دهند (۱۷،۱۸). یکی دیگر از جنبه‌های مهم در مطالعات میکروپلاستیک‌ها، شناسایی نوع پلیمر و شکل ظاهری ذرات است. پلیمرهای مختلف رفتار متفاوتی در محیط زیست دارند و سمیت آن‌ها نیز متفاوت است. برای مثال، پلی‌وینیل کلراید (PVC) و پلی‌استایرن (PS) به دلیل وجود افزودنی‌های شیمیایی خطرناک، از سمیت بیشتری نسبت به پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن برخوردار هستند (۱۹). همچنین شکل ظاهری ذرات شامل الیاف، قطعات شکسته و فیلم‌ها می‌تواند اطلاعات مهمی درباره منابع تولید و فرآورده‌های تخریب پلاستیک‌ها ارائه دهد. با توجه به اهمیت



روزافزون آلودگی میکروپلاستیکی و کمبود اطلاعات در زمینه تحلیل ریسک زیست‌محیطی در ایران، پژوهش حاضر با هدف بررسی فراوانی، مشخصات، راندمان حذف و تحلیل ریسک میکروپلاستیک‌ها در یک تصفیه‌خانه فاضلاب شهری انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و نمونه‌برداری

مطالعه حاضر در یک تصفیه‌خانه فاضلاب شهری با ظرفیت ۱۳۰۰۰ مترمکعب در روز و جمعیت تحت پوشش معادل ۸۵۰۰۰ نفر انجام شد. فرآیند تصفیه در این واحد بر پایه سیستم لجن فعال متعارف شامل تصفیه مقدماتی (آشغال‌گیری و دانه‌گیری)، ته‌نشینی اولیه، تصفیه بیولوژیکی در مخازن هوادهی و زلال‌سازی ثانویه استوار است. جهت بررسی تغییرات فصلی، نمونه‌برداری در فصول بهار و زمستان تحت شرایط آب و هوایی خشک صورت گرفت. حجم و تعداد نمونه‌ها بر اساس طراحی نمونه‌برداری و ماهیت مطالعه تعیین شد. به‌منظور افزایش نمایندگی نمونه‌ها از شرایط واقعی فاضلاب و کاهش اثر تغییرات کوتاه‌مدت دبی و غلظت آلاینده‌ها، نمونه‌های مرکب ۲۴ ساعته حاصل از زیرنمونه‌گیری ساعتی از ورودی و خروجی تصفیه‌خانه در سه بازه زمانی مستقل جمع‌آوری شدند. در هر فصل، سه تکرار مستقل از هر نقطه نمونه‌برداری تهیه

شد و در مجموع ۳۰ لیتر فاضلاب در هر نقطه برای هر تکرار جمع‌آوری گردید. نمونه‌ها تا زمان انتقال به آزمایشگاه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

معیارهای ورود و خروج نمونه‌ها

نمونه‌هایی وارد مطالعه شدند که از محل تعیین‌شده و در زمان نمونه‌برداری مشخص جمع‌آوری شده، حجم کافی برای انجام مراحل آماده‌سازی و آنالیز را داشته و شرایط نگهداری مناسب را تا زمان آزمایش حفظ کرده باشند. نمونه‌های فاقد حجم کافی، دارای نقص در شرایط نگهداری یا انتقال، و نمونه‌هایی که احتمال آلودگی خارجی در آن‌ها وجود داشت، از مطالعه خارج شدند.

آماده‌سازی و پیش‌تغلیظ میکروپلاستیک‌ها

به‌منظور جداسازی میکروپلاستیک‌ها از ماتریس فاضلاب، از روش ترکیبی هضم آلی و شناورسازی چگالی استفاده شد. ابتدا نمونه‌ها تا حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد تغلیظ و سپس با استفاده از پراکسید هیدروژن (H_2O_2) ۳۰ درصد در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد، مواد آلی موجود به‌طور کامل اکسید شدند (۲۰). در مرحله بعد، جهت جداسازی فیزیکی میکروپلاستیک‌ها از محلول یدید سدیم (NaI) استفاده گردید. پس از سانتریفیوژ و جداسازی بخش شناور، فیلتراسیون نهایی انجام و باقیمانده



روی فیلتر جهت حذف نمک‌های اضافی با آب مقطر شستشو داده شد.

شناسایی و آنالیز میکروپلاستیک‌ها

تعیین ویژگی‌های ریخت‌شناسی و شیمیایی میکروپلاستیک‌ها با استفاده از استریومیکروسکوپ (بررسی ابعاد و شکل) و طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FT-IR، مدل PerkinElmer Spectrum 100) انجام شد (۲۱). شناسایی نوع پلیمرها از طریق تطبیق طیف‌های به‌دست‌آمده با کتابخانه مرجع پلیمرها صورت گرفت.

ارزیابی ریسک اکولوژیک بالقوه میکروپلاستیک‌ها

به‌منظور تعیین خطر اکولوژیک ناشی از آلودگی میکروپلاستیک‌ها، از مدل شاخص بار آلودگی (PLI) و شاخص ریسک اکولوژیک بالقوه (H) استفاده شد (۲۲).

شاخص بار آلودگی (PLI):

در این مدل، ضریب فاکتور آلودگی (CF_i) از نسبت فراوانی میکروپلاستیک‌ها در هر نقطه نمونه‌برداری (C_i) به حداقل فراوانی مشاهده‌شده در آن نقطه (G_{oi}) محاسبه می‌شود (معادله ۱):

$$CF_i = \frac{C_i}{G_{oi}} \quad (1)$$

سپس شاخص بار آلودگی برای هر نمونه (PLI_i) و برای کل تصفیه‌خانه (PLI_{zone}) با استفاده از معادلات (۲-۴) به‌دست می‌آید:

$$CF_i = \frac{C_i}{G_{oi}} \quad (2)$$

$$PLI_i = \sqrt[n]{CF_i} \quad (3)$$

$$PLI_{zone} = \sqrt[n]{PLI_1 \times PLI_2 \times \dots \times PLI_n} \quad (4)$$

شاخص ریسک اکولوژیک بالقوه (H):

شاخص ریسک اکولوژیک (H) با استفاده از مجموع حاصل‌ضرب فراوانی نسبی هر نوع پلیمر (P_n) در ضریب سمیت آن (S_n) طبق معادله (۵) محاسبه گردید:

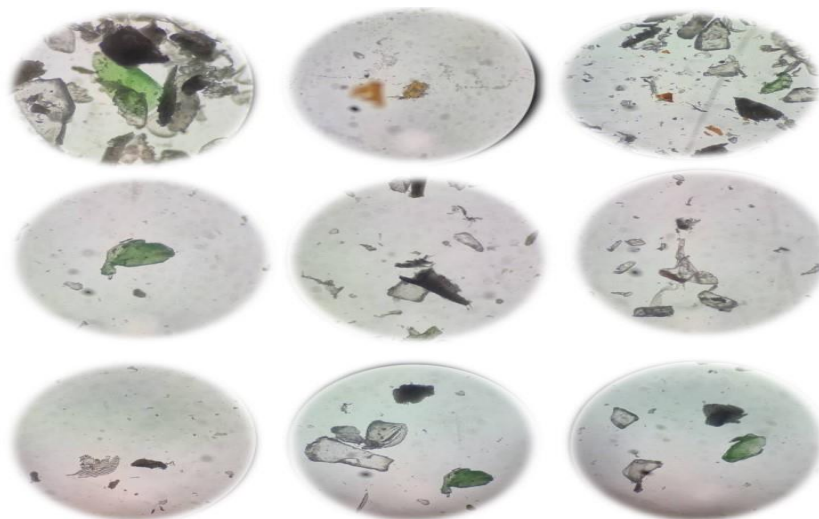
$$H = \sum (P_n \times S_n) \quad (5)$$

در این رابطه، P_n نمایانگر سهم هر نوع پلیمر در نقطه نمونه‌برداری و S_n بیانگر نمره خطر (Hazard score) اختصاص یافته به هر پلیمر است (۲۳).

یافته‌ها

- شناسایی و مشخصه یابی میکروپلاستیک‌ها

در این پژوهش، پس از انجام مراحل جداسازی و خالص‌سازی، ذرات میکروپلاستیک موجود در نمونه‌ها با استفاده از استریومیکروسکوپ مورد بررسی قرار گرفتند. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، طیف متنوعی از میکروپلاستیک‌ها با رنگ‌ها و اشکال مختلف شناسایی شدند.

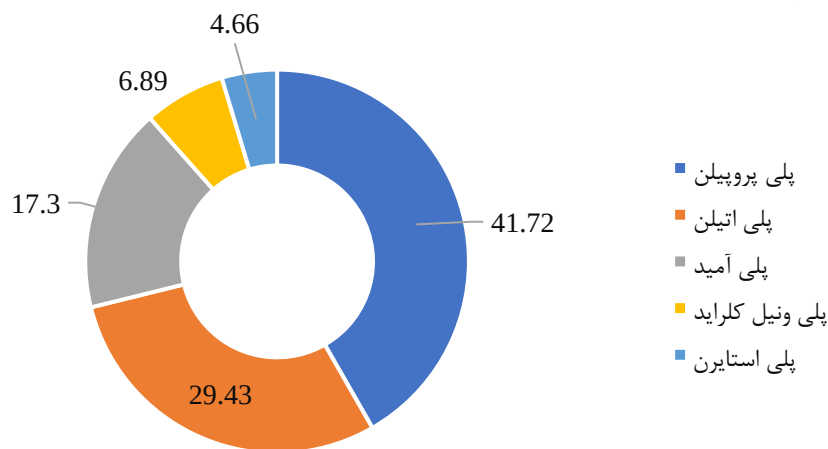


شکل ۱: تصاویر استریومیکروسکوپ از نمونه‌های میکروپلاستیک جداسازی شده

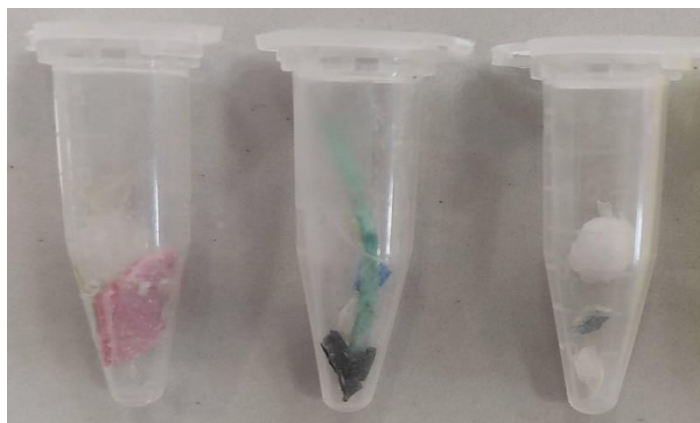
۱، پلی‌پروپیلن و پلی‌استایرن با ۴۱/۷۲٪ و ۴/۶۶٪ به ترتیب بیشترین و کمترین میکروپلاستیک‌های شناسایی شده بودند. درصد سایر پلیمرهای شناسایی شده از جمله پلی‌اتیلن، پلی‌آمید و پلی‌وینیل کلراید به ترتیب ۲۹/۴۳، ۱۷/۳ و ۶/۸۹ اندازه گیری شد.

تحلیل طیف‌های FT-IR نشان داد که ترکیب پلیمری میکروپلاستیک‌های شناسایی شده شامل پنج پلیمر اصلی است: پلی‌پروپیلن (PP)، پلی‌اتیلن (PE)، پلی‌آمید (PA)، پلی‌استایرن (PS) و پلی‌وینیل کلراید (PVC). فراوانی نسبی این پلیمرها در نمودار ۱ نشان داده شده است. براساس نمودار

(الف)

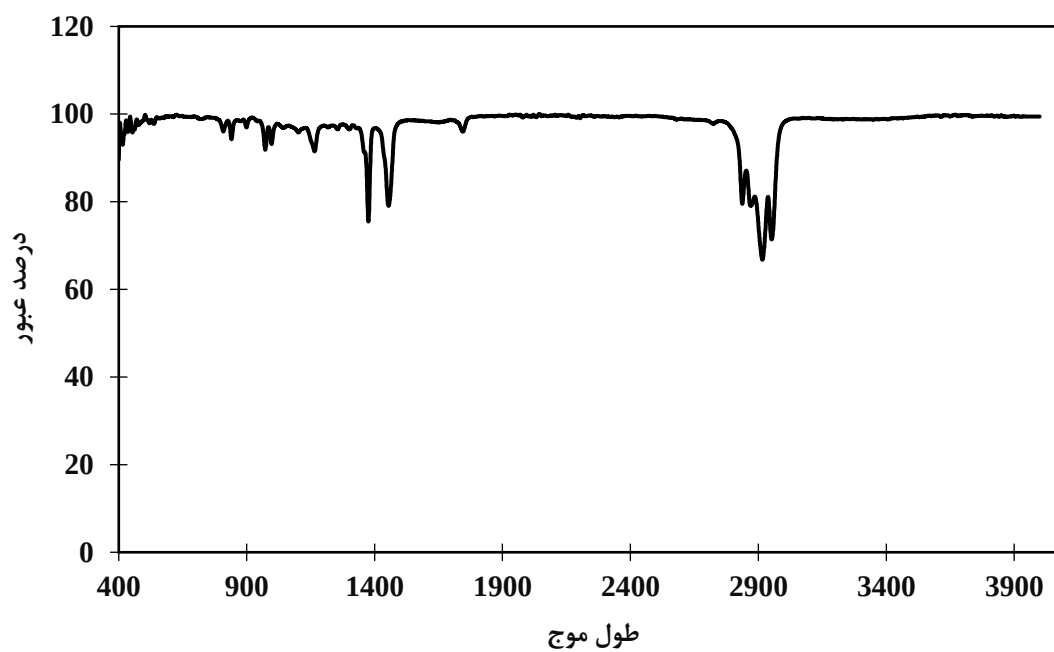


(ب)



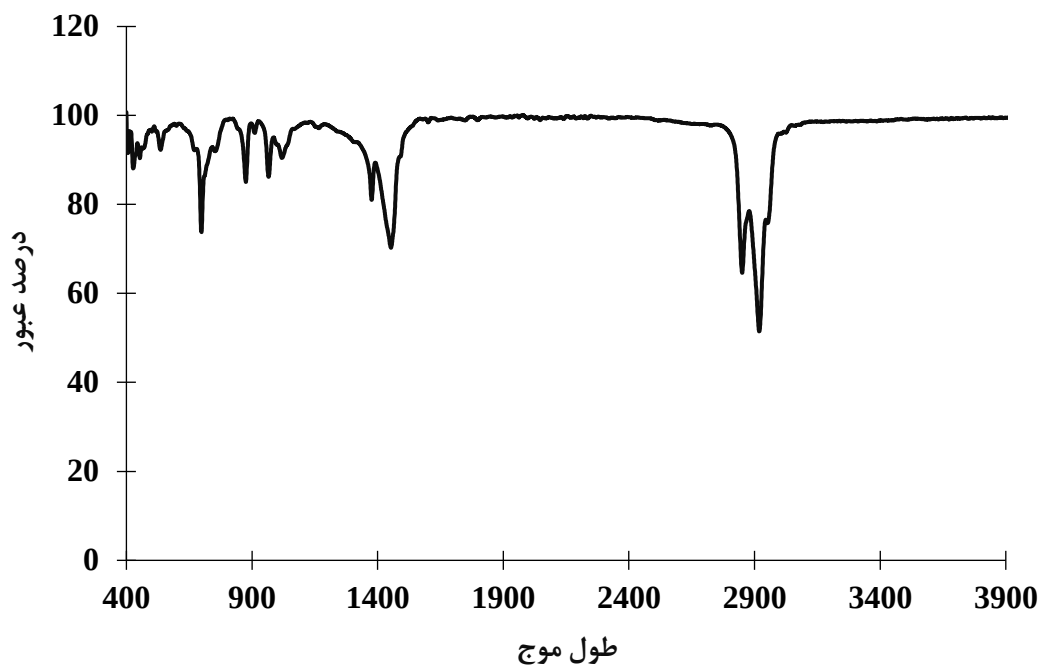
(ج)

پلی اتیلن

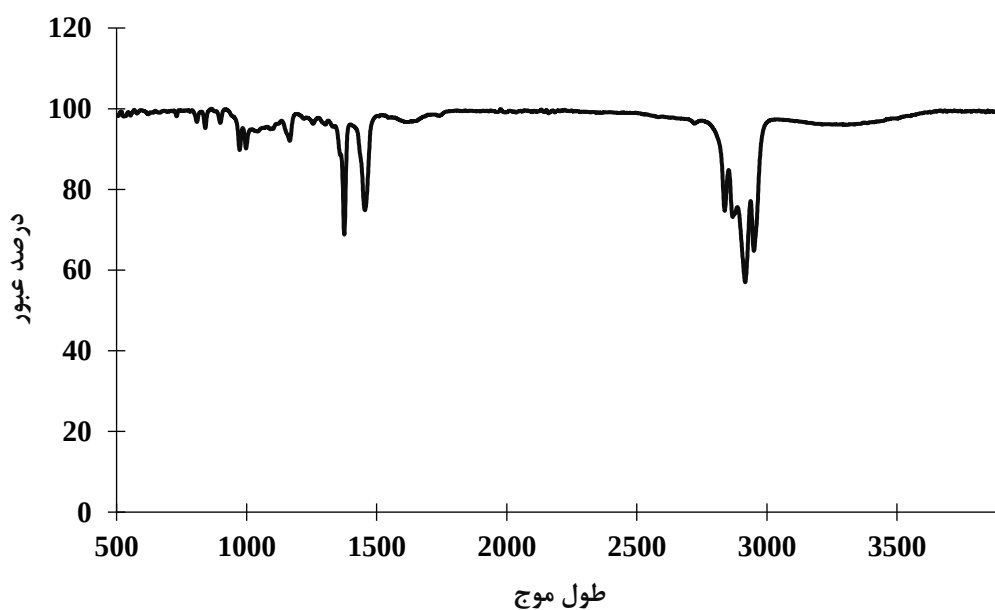




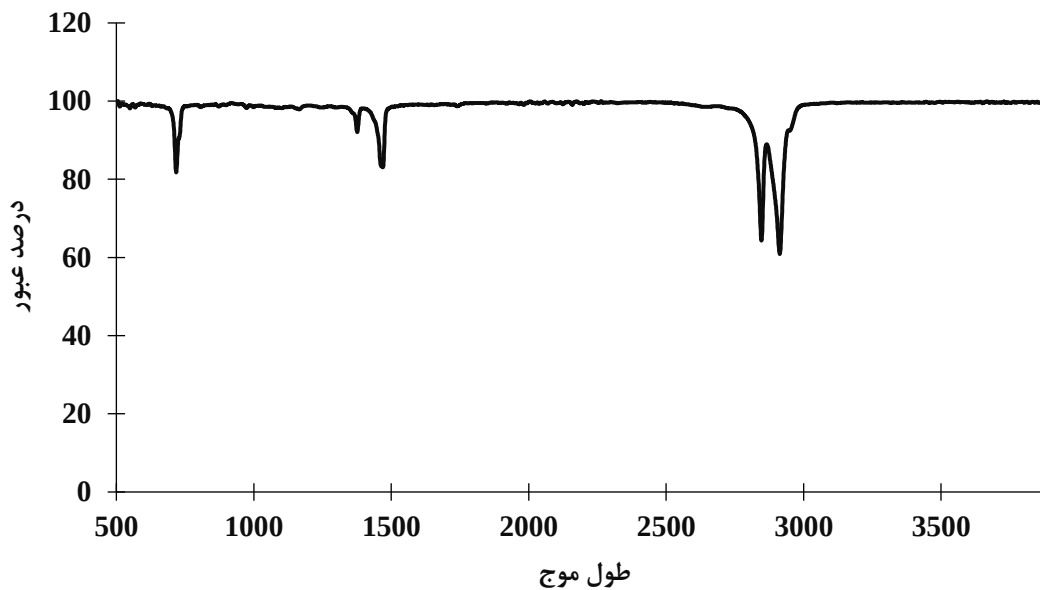
پلی پروپیلن



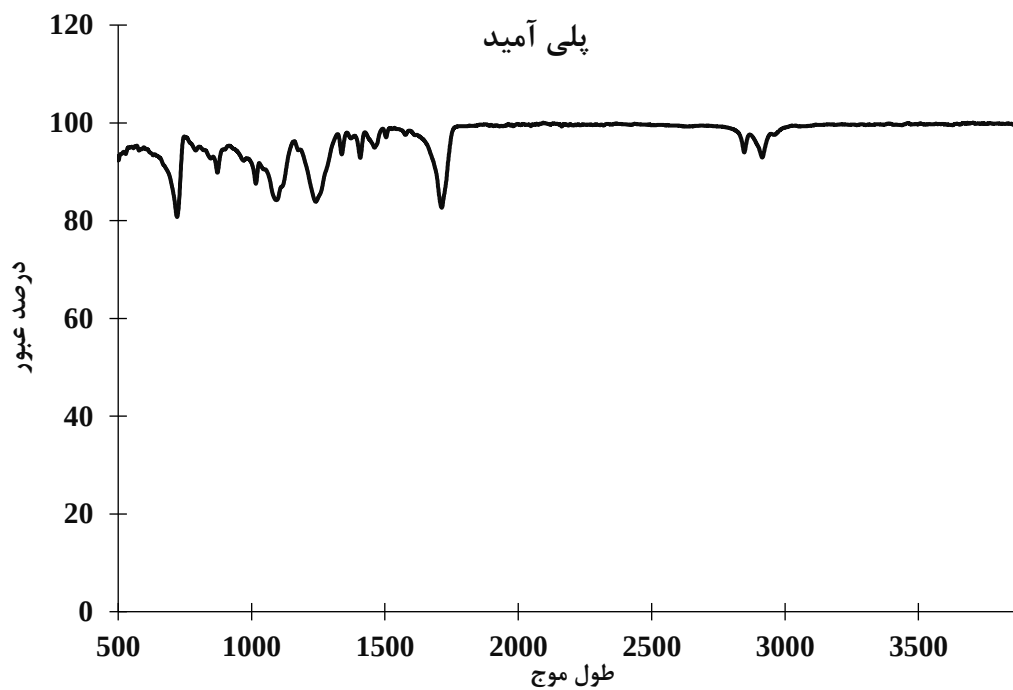
پلی استایرن



پلی ونیل کلراید



پلی آمید



نمودار ۱: الف) فراوانی میکروپلاستیک‌های شناسایی شده، ب) تصاویر میکروپلاستیک‌های شناسایی شده در ورودی به تصفیه‌خانه، ج) آنالیز

FT-IR میکروپلاستیک‌های شناسایی شده



- نتایج شاخص ریسک اکولوژیک

اکولوژیک قابل توجهی ایجاد می‌کنند. شاخص H برابر با ۱۴۵۵/۷۹ محاسبه شد که در جدول ۱ نشان داده شده‌است. دارا بودن بیشترین فراوانی نسبی (۴۱/۷۲٪)، به دلیل ضریب خطر بسیار پایین ($S_n = 1$)، نقش ناچیزی در ریسک اکولوژیک اکوسیستم دریافت‌کننده فاضلاب داشت.

نتایج محاسبات شاخص ریسک اکولوژیک (H) نشان داد که پلیمرهای شناسایی شده در تصفیه‌خانه فاضلاب، ریسک در بررسی تفکیکی، پلیمر پلی آمید (PA) علی‌رغم اینکه تنها ۱۷/۳٪ از کل فراوانی را تشکیل می‌داد، اما به دلیل ضریب خطر بالا ($S_n = 50$)، سهم اصلی (حدود ۶۰٪) را در شاخص ریسک نهایی ایفا کرد. در مقابل، پلیمر پلی پروپیلن با وجود

جدول ۱: فراوانی نسبی انواع پلیمرها (Pn)، شاخص خطر (Sn) و ضریب خطر (Pn×Sn) در نمونه‌های بررسی شده

نوع پلیمر	فراوانی نسبی (%Pn)	ضریب خطر (Sn)	Pn × Sn
PP	۴۱/۷۲	۱	۴۱/۷۲
PE	۲۹/۴۳	۱۱	۳۲۳/۷۳
PA	۱۷/۳۰	۵۰	۸۶۵
PVC	۶/۸۹	۳۰	۲۰۶/۷۰
PS	۴/۶۶	۴	۱۸/۶۴
مجموع			۱۴۵۵/۷۹

کاهش یافت که معادل راندمان حذف ۸۵/۳ درصد بود. در فصل بهار نیز غلظت میکروپلاستیک‌ها از 429 ± 7532 به 245 ± 926 ذره در مترمکعب رسید و راندمان حذف ۸۷/۷ درصد به دست آمد.

نتایج نشان داد که غلظت میکروپلاستیک‌ها در ورودی تصفیه‌خانه در هر دو فصل به مراتب بیشتر از خروجی بوده است و فرآیند تصفیه توانسته بخش قابل توجهی از این ذرات را حذف کند. مطابق جدول ۲، غلظت میکروپلاستیک‌ها در فصل زمستان از 3158 ± 214 به 463 ± 162 ذره در مترمکعب



جدول ۲: مقایسه غلظت میکروپلاستیک‌ها در ورودی و خروجی تصفیه‌خانه و راندمان حذف

فصل	غلظت ورودی (MP/m^3)	غلظت خروجی (MP/m^3)	راندمان (%)
زمستان	3158 ± 214	463 ± 162	۸۵/۳
بهار	7532 ± 429	926 ± 245	۸۷/۷

همچنین بر اساس جدول ۳، مقدار شاخص ریسک اکولوژیک (H) برابر با ۱۴۵۵/۷۹ محاسبه شد. افزون بر این، شاخص آلودگی بار پلاستیک (PLI) در فصل زمستان ۶/۸۲ به دست آمد.

جدول ۳: شاخص‌های ارزیابی آلودگی و ریسک اکولوژیک میکروپلاستیک‌ها

شاخص	مقدار	تفسیر
ریسک اکولوژیک (H)	-	ریسک بالا
PLI	زمستان	۶/۸۲
	بهار	۸/۱۳

بحث

نشان‌دهنده غالب بودن میکروپلاستیک‌های ثانویه در نمونه‌های مورد مطالعه است. براساس مطالعه Andrady و همکاران، میکروپلاستیک‌های ثانویه عمدتاً در اثر تخریب فیزیکی، شیمیایی و نوری پلاستیک‌های بزرگ‌تر در محیط ایجاد می‌شوند و فراوان‌ترین نوع میکروپلاستیک در محیط‌های شهری و آبی محسوب می‌شوند (۲۴). همچنین تنوع رنگی مشاهده‌شده شامل ذرات شفاف، سبز و تیره می‌تواند بیانگر منشأهای مختلف آلودگی نظیر بسته‌بندی‌های پلاستیکی، منسوجات مصنوعی، مواد آرایشی و پسماندهای شهری باشد. Hidalgo-Ruz و همکاران نیز گزارش کردند که رنگ، شکل و اندازه میکروپلاستیک‌ها می‌تواند اطلاعات

- مشخصه یابی میکروپلاستیک‌ها

بررسی تصاویر استریومیکروسکوپ نشان داد که بخش عمده‌ای از ذرات مشاهده‌شده دارای لبه‌های نامنظم، سطوح فرسوده و اشکال خردشده بودند. تحلیل‌های بصری نشان داد که ذرات دارای مورفولوژی‌های متفاوتی از جمله قطعات شکسته شده (Fragments) با لبه‌های نامنظم، ذرات شفاف و همچنین ذرات رنگی (مانند ذرات سبز و تیره) هستند. اندازه ذرات نیز در این بررسی متغیر بوده و توزیع ناهمگونی در ابعاد ذرات مشاهده گردید که نشان‌دهنده ورود منابع مختلف آلودگی پلاستیکی به محیط مورد مطالعه است. این ویژگی‌ها



ارزشمندی درباره منبع تولید و مسیر انتقال این آلاینده‌ها فراهم کند (۲۵).

نتایج آنالیز FTIR نشان داد که پلی‌پروپیلن (PP) و پلی‌اتیلن (PE) به ترتیب با فراوانی ۷۲/۴۱ و ۴۳/۲۹ درصد، بیشترین سهم را در میان پلیمرهای شناسایی شده دارند. این یافته با نتایج مطالعات متعدد در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب جهان مطابقت دارد. Gatidou و همکاران گزارش کردند که پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن معمولاً فراوان‌ترین پلیمرهای موجود در فاضلاب‌های شهری هستند، زیرا به‌طور گسترده در تولید کیسه‌های پلاستیکی، ظروف یکبارمصرف، بسته‌بندی‌ها و منسوجات مصنوعی مورد استفاده قرار می‌گیرند (۲۶). غالب بودن این دو پلیمر در مطالعه حاضر نیز احتمالاً بازتابی از الگوی مصرف عمومی پلاستیک‌ها در منطقه مورد مطالعه است. از سوی دیگر، اگرچه پلی‌آمید (PA)، پلی‌وینیل کلراید (PVC) و پلی‌استایرن (PS) سهم کمتری از کل فراوانی را تشکیل می‌دادند، اما از منظر زیست‌محیطی اهمیت ویژه‌ای دارند. Lithner و همکاران نشان دادند که PS و PVC به دلیل وجود افزودنی‌های شیمیایی و مونومرهای بالقوه سمی، دارای خطرات اکولوژیک بیشتری نسبت به پلی‌الفین‌هایی نظیر پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن هستند (۲۷). همچنین حضور پلی‌آمیدها در فاضلاب شهری عمدتاً ناشی از آزادسازی الیاف نایلونی طی شست‌وشوی منسوجات مصنوعی است و این

ذرات به دلیل ابعاد کوچک و شکل الیافی، به راحتی از برخی واحدهای تصفیه عبور می‌کنند (۲۸).

- غلظت و کارایی حذف میکروپلاستیک‌ها در

تصفیه‌خانه

نتایج پایش فصول زمستان و بهار نشان داد که تصفیه‌خانه فاضلاب مورد مطالعه از عملکرد بسیار مطلوب و کارایی بالا در حذف میکروپلاستیک‌ها برخوردار است و توانسته بخش عمده‌ای از این آلاینده‌ها را پیش از تخلیه به محیط دریافت‌کننده حذف کند. در فصل زمستان، میانگین غلظت میکروپلاستیک‌ها در فاضلاب ورودی برابر با MP/m^3 3158 ± 214 و در خروجی MP/m^3 463 ± 162 اندازه‌گیری شد. این نتایج نشان‌دهنده کاهش بیش از شش‌برابری غلظت و دستیابی به راندمان حذف ۸۵/۳ درصدی است که بیانگر عملکرد مؤثر واحدهای تصفیه در شرایط عملیاتی زمستان می‌باشد. در فصل بهار، با وجود افزایش چشمگیر بار ورودی و رسیدن غلظت میکروپلاستیک‌ها به MP/m^3 7532 ± 429 ، این موضوع نشان می‌دهد که تصفیه‌خانه حتی در شرایط بار آلودگی بالاتر نیز عملکرد پایدار و کارآمدی داشته و توانسته است راندمان حذف بالایی در حدود ۸۷/۷ درصد را حفظ کند. در مجموع، نتایج این مطالعه بیانگر آن است که سیستم تصفیه مورد بررسی کارایی قابل توجهی در کاهش میکروپلاستیک‌ها داشته و نقش مهمی در کنترل ورود این آلاینده‌ها به محیط‌های پذیرنده ایفا می‌کند.



با این حال، افزایش چشمگیر غلظت ورودی در فصل بهار نسبت به زمستان را می‌توان به عوامل متعدد نسبت داد. از جمله عواملی که در این افزایش تاثیرگذار هستند شامل افزایش مصرف آب و مواد شوینده و پلاستیک‌های یک‌بارمصرف در ماه‌های گرم‌تر، شست‌وشوی سطوح شهری و ورود پساب‌های سطحی غنی از ذرات پلاستیکی، افزایش مصرف پوشاک و منسوجات مصنوعی (حاوی الیاف پلاستیکی) و رهاسازی فیبرها در فرآیند شست‌وشو. این یافته با نتایج Murphy و همکاران و همچنین Sun مطابقت دارد که افزایش مصرف آب، شست‌وشوی منسوجات مصنوعی و انتقال ذرات پلاستیکی از طریق رواناب‌های شهری را از عوامل اصلی افزایش بار میکروپلاستیک‌ها در فصول گرم‌تر معرفی کرده‌اند (۲۹، ۳۰). با این حال، اختلاف نسبتاً محدود غلظت خروجی بین دو فصل نشان می‌دهد که سیستم لجن فعال متعارف، در محدوده‌ای مشخص از بارگذاری، قادر است بخش عمده‌ای از میکروپلاستیک‌ها را از جریان فاضلاب حذف کند؛ اما غلظت باقی‌مانده همچنان از منظر زیست‌محیطی قابل توجه است، زیرا حتی مقادیر کم میکروپلاستیک‌ها در مقیاس بلندمدت می‌توانند در محیط‌های آبی تجمع یافته و اثرات تجمعی بر زیست‌بوم‌ها داشته باشند. مطالعات انجام‌شده توسط Carr و همکاران نشان داده است که حتی در تصفیه‌خانه‌هایی با راندمان حذف بالا، حجم زیاد پساب خروجی می‌تواند منجر به ورود روزانه میلیون‌ها ذره میکروپلاستیک به محیط‌های

آبی شده و موجب تجمع تدریجی آن‌ها در اکوسیستم‌های پذیرنده گردد (۳۱).

- تحلیل ریسک اکولوژیک و شاخص بار آلودگی

میکروپلاستیک‌ها

تحلیل ریسک اکولوژیک نشان داد که شاخص H با لحاظ کردن ضرایب خطر (Sn) برای پلیمرهای مختلف (PP=1, PE=11, PS=4, PA=50, PVC=30) و سهم فراوانی هر یک، برابر با ۱۴۵۵/۷۹ بوده و در محدوده ریسک بالا قرار دارد. نکته قابل توجه این است که پلی‌آمید با وجود فراوانی نسبتاً کمتر، سهم عمده‌ای در شاخص خطر نهایی داشت. این موضوع نشان می‌دهد که در ارزیابی ریسک زیست‌محیطی، نوع پلیمر و ویژگی‌های شیمیایی آن اهمیت بیشتری نسبت به تعداد ذرات دارد. نتایج مشابهی توسط Lithner و همکاران گزارش شده است که نشان دادند پلیمرهای دارای افزودنی‌های شیمیایی و سمیت ذاتی بالا می‌توانند سهم نامتناسبی در خطرات اکولوژیک داشته باشند. بنابراین صرف بررسی فراوانی میکروپلاستیک‌ها برای ارزیابی خطرات زیست‌محیطی کافی نبوده و ترکیب پلیمری نیز باید مورد توجه قرار گیرد (۲۷). علاوه بر شاخص ریسک، شاخص بار آلودگی (PLI) برای ارزیابی عملکرد تصفیه‌خانه در فصول زمستان و بهار محاسبه شد (جدول ۳). مقادیر محاسبه شده برای PLI در زمستان (۶/۸۲) و بهار (۸/۱۳) نشان‌دهنده بار آلودگی قابل توجه در سیستم است. اگرچه تصفیه‌خانه راندمان



حذف بالایی (بیش از ۸۵٪) را نشان داده است، اما مقادیر بالای PLI در خروجی بیانگر تداوم ورود میکروپلاستیک‌ها به محیط‌های آبی پذیرنده است. افزایش شاخص PLI در فصل بهار نسبت به زمستان می‌تواند ناشی از اثرات "شست‌وشو"^۸ ناشی از بارندگی‌ها و افزایش جریان‌های ورودی به شبکه فاضلاب باشد. نتایج حاضر تأکید می‌کند که علی‌رغم عملکرد مطلوب تصفیه‌خانه در کاهش غلظت عددی، تنوع پلیمری و ماهیت خطرناک برخی پلیمرها (مانند PA و PVC) نیازمند توجه ویژه در استراتژی‌های مدیریت و ارتقای تصفیه‌خانه‌ها جهت کاهش مخاطرات اکولوژیک است. مقادیر بالای شاخص PLI در هر دو فصل زمستان و بهار نیز نشان‌دهنده بار آلودگی قابل توجه سیستم است. اگرچه راندمان حذف تصفیه‌خانه بالا بود، اما باقی ماندن بخشی از میکروپلاستیک‌ها در پساب خروجی بیانگر آن است که سیستم‌های متعارف لجن فعال به تنهایی قادر به حذف کامل این آلاینده‌ها نیستند. مطالعات انجام‌شده توسط Lares و همکاران نشان داده است که استفاده از فناوری‌های پیشرفته نظیر بیوراکتورهای غشایی (MBR)، فیلتراسیون غشایی و فرآیندهای تصفیه تکمیلی می‌تواند راندمان حذف میکروپلاستیک‌ها را به بیش از ۹۵ تا ۹۹ درصد افزایش دهد (۲۸). در مجموع، نتایج این پژوهش با روندهای گزارش‌شده در مطالعات جهانی مطابقت داشته و نشان می‌دهد که تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری

علی‌رغم عملکرد مناسب در کاهش غلظت میکروپلاستیک‌ها، همچنان به عنوان یکی از منابع انتشار این آلاینده‌های نوظهور به محیط‌های آبی محسوب می‌شوند. از این رو توسعه فناوری‌های پیشرفته تصفیه، کنترل آلودگی در مبدأ و پایش مستمر میکروپلاستیک‌ها برای کاهش مخاطرات اکولوژیک ضروری به نظر می‌رسد.

- محدودیت‌های مطالعه

این مطالعه با محدودیت‌هایی از جمله تعداد و بازه زمانی محدود نمونه‌برداری و عدم پوشش کامل تغییرات فصلی مواجه بود که می‌تواند تعمیم نتایج را محدود کند. همچنین، شناسایی پلیمرها با FTIR ممکن است در ذرات بسیار کوچک یا فرسوده با محدودیت همراه باشد و عدم استفاده از Raman برای تأیید تمامی ذرات نیز باید مورد توجه قرار گیرد. علاوه بر این، با وجود رعایت اقدامات کنترلی، احتمال آلودگی ثانویه در مراحل نمونه‌برداری و آنالیز آزمایشگاهی به‌طور کامل قابل حذف نیست.

- خلأهای دانشی و مسیرهای آینده تحقیقات

میکروپلاستیک

براساس نتایج به‌دست‌آمده، پیشنهاد‌های زیر جهت بهبود مدیریت و کنترل میکروپلاستیک‌ها در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و محیط‌های پذیرنده ارائه می‌شود:

⁸ Wash-off effect



اقدامات می‌توانند به‌طور مؤثر بار آلودگی ورودی به تصفیه‌خانه را کاهش دهند.

- پایش بلندمدت و فصلی

با توجه به مشاهده تغییرات فصلی در غلظت و راندمان حذف، انجام پایش‌های مستمر و دوره‌ای توصیه می‌شود. پایش بلندمدت امکان شناسایی روندهای زمانی، ارزیابی اثربخشی اقدامات اصلاحی و تدوین سیاست‌های کنترلی مبتنی بر شواهد را فراهم می‌کند.

- انجام مطالعات تکمیلی بر محیط پذیرنده

برای ارزیابی جامع ریسک اکولوژیک، مطالعاتی چون اندازه‌گیری غلظت و ترکیب میکروپلاستیک‌ها در آب و رسوبات محیط پذیرنده، بررسی الگوی تجمع زیستی در موجودات شاخص، ارزیابی پیامدهای اکولوژیک در سطوح مختلف زنجیره غذایی پیشنهاد می‌شود. اجرای این پیشنهادها می‌تواند به تکمیل ارزیابی ریسک زیست‌محیطی و ارائه راهکارهای مدیریتی کارآمدتر در زمینه کنترل میکروپلاستیک‌ها منجر شود.

نتیجه‌گیری

این تحقیق نشان داد که تصفیه‌خانه فاضلاب شهری مورد مطالعه، علی‌رغم راندمان حذف قابل توجه میکروپلاستیک‌ها (۸۵٪/۳ در زمستان و ۸۷٪/۷ در بهار)، همچنان به عنوان منبعی برای انتشار این آلاینده‌ها به محیط‌های آبی عمل می‌کند. غلظت‌های بالای میکروپلاستیک‌ها در فاضلاب

- ارتقای فرآیندهای تصفیه موجود

با وجود دستیابی به راندمان حذف بیش از ۸۵ درصد در سیستم لجن فعال متعارف، حضور قابل توجه میکروپلاستیک‌ها در پساب خروجی نشان می‌دهد که این فرآیند به‌تنهایی برای حذف کامل این آلاینده‌ها کافی نیست. بنابراین، ارتقای فرآیندهای موجود و بهینه‌سازی شرایط بهره‌برداری (زمان ماند، بارگذاری هیدرولیکی و لجن، بهبود ته‌نشینی) می‌تواند در کاهش بیشتر غلظت خروجی مؤثر باشد.

- به‌کارگیری واحدهای تکمیلی پیشرفته

استفاده از فناوری‌های تکمیلی در مرحله تصفیه پیشرفته مانند فیلتراسیون ریزدانه، فرآیندهای غشایی، فرآیند انعقاد-لخته‌سازی بهینه‌شده با تمرکز بر حذف ذرات پلاستیکی سبک و الیافی و ... می‌تواند به‌طور چشمگیری غلظت میکروپلاستیک‌های خروجی را کاهش داده و ریسک زیست‌محیطی را محدود کند.

- مدیریت و کنترل در مبدأ تولید

با توجه به سهم قابل توجه منابع خانگی و شهری در ورود میکروپلاستیک‌ها به شبکه فاضلاب، اقدامات مدیریتی در مبدأ از اهمیت بالایی برخوردار است. در این خصوص کاهش مصرف پلاستیک‌های یک‌بار، تقویت سیستم‌های جمع‌آوری و بازیافت، توسعه فناوری‌های نوین مانند فیلترهای جمع‌آوری الیاف در ماشین‌های لباس‌شویی پیشنهاد می‌شود. این



ورودی (به‌ویژه در فصل بهار با میانگین 7532 ± 429 ذره بر متر مکعب) و مقادیر بالای شاخص‌های ریسک اکولوژیک ($PLI = 6/82$ و $H = 1455/79$) در زمستان و ۸/۱۳ در بهار) حاکی از پتانسیل بالای آلودگی زیست‌محیطی است. فراوانی پلیمرهای پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن نیز بر اهمیت مدیریت پلاستیک در مبدأ تأکید دارد. با این حال، موقعیت مکانی تصفیه‌خانه، با فاصله از منابع آب زیرزمینی و مناطق برداشت آشامیدنی، ریسک فوری آلودگی این منابع حیاتی را به حداقل می‌رساند. با وجود این مزیت مکانی، پایش مستمر زیست‌محیطی و ارتقای فناوری‌های تصفیه به عنوان بخشی از یک استراتژی مدیریت پایدار منابع آبی، برای پیشگیری از اثرات تجمعی بلندمدت و حصول اطمینان از انطباق با استانداردهای نوین حفاظت از منابع آب، ضروری است.

تشکر و قدردانی: نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از همکاری صمیمانه مسئولین تصفیه‌خانه فاضلاب، صمیمانه قدردانی نمایند. همچنین از تمامی افرادی که در مراحل

نمونه‌برداری و آنالیز داده‌ها همکاری داشته‌اند، سپاسگزاری می‌گردد.

ملاحظات اخلاقی:

طرح پژوهشی حاضر مورد تأیید کمیته اخلاق در پژوهش قرار گرفته و دارای کد اخلاق به شماره IR.THUMS.REC.1404.011 می‌باشد.

تضاد منافع:

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی (اعم از مالی یا معنوی) در خصوص طراحی، اجرا و انتشار نتایج این مطالعه وجود ندارد.

حمایت مالی:

این مقاله مستخرج از طرح تحقیقاتی مصوب در کمیته تحقیقات دانشجویی دانشگاه علوم پزشکی تربت حیدریه (SRC-04-102 - No. 403000101) می‌باشد. بدین‌وسیله نویسندگان مراتب سپاس خود را از حمایت‌های مالی و معنوی این معاونت جهت اجرای پژوهش اعلام می‌دارند.

References

1. Kamalasekaran K, Sundramoorthy AK. A review on microplastics: sources, environmental fate, degradation pathways, and analytical identification methods. RSC advances. 2026;16(15):13851-74.
2. Tiwari B, Arya RK. Removal of microplastics from wastewater :various methods and functional coating materials. Reviews in Chemical Engineering. 2026; 14(2): 12-24
3. Hossain M, Engelhardt I. Global plastic footprint: unveiling property trends, environmental fate, and emerging threats of microplastic and nanoplastics pollution across ecosystems. Energy, Ecology and Environment. 2025;10(6):637-74.



4. Luo Q, Tan H, Ye M, Jho EH, Wang P, Iqbal B, et al. Microplastics as an emerging threat to human health: An overview of potential health impacts. *Journal of Environmental Management*. 2025;12(2):1-15.
5. Yue S, Chen S, Zhang Y, Chen B, Xu T. Emerging threat of environmental microplastics: A comprehensive analysis of hepatic metabolic dysregulation and hepatocellular damage. *International Journal of Molecular Medicine*. 2025;56(4):144.
6. Jaikumar IM, Tomson M, Meyyazhagan A, Balamuralikrishnan B, Baskaran R, Pappuswamy M, et al. A comprehensive review of microplastic pollution in freshwater and marine environments. *Green Analytical Chemistry*. 2025;12(2):100202.
7. Mishra SK, Chowdhury SD, Bhunia P, Sarkar A, Surampalli RY, Zhang TC. Degradation of plastics and formation of primary and secondary microplastics. *Microplastics in the Environment: Fate, Impacts, Removal, and Management*. 2025; 6(4):43-68.
8. Al Kharusi I, Dutta S, Dobretsov S. Microplastic contamination in commercially important marine fish from the MENA region: A systematic review of occurrence, trends, and research gaps under uneven and limited evidence. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2026; 10(4):109894.
9. Nouri M, Massahi T, Hossini H. Microplastics in human body: a narrative on routes of exposure to contamination and potential health effects. *Environmental Pollutants and Bioavailability*. 2025;37(1):2538535.
10. Rashid K, Ali S, Chaudhry AH, Sial N, Akram MR, Aslam M. A comprehensive review on microplastics: Their presence in surface and ground water, environmental distribution, and impact on human and aquatic systems. *Science of The Total Environment*. 2026;10(2):181547.
11. Giannattasio A, Corpuz MVA, Oliva G, Iuliano V, Giaquinto D, Grassi A, et al. Control of Low-Density Microplastics in Wastewater Treatment Plants: The Effects of Process Configuration and Polymer Properties on Removal Efficiency. *ACS ES&T Water*. 2026;6(4):2290-300.
12. Prantor RM, Islam MS, Absar MN, Rimi NA, Karim MR, Das H, et al. Assessing microplastic fate through textile wastewater treatment plants: Stage-specific retention and removal performance. *Journal of Environmental Sciences*. 2026;10(4):10-20.
13. Abi Farraj S, Lapointe M, Kurusu RS, Tufenkji N. Microplastics and nanoplastics in water: Improving removal in wastewater treatment plants with alternative coagulants. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*. 2026.
14. Hao J, Chen Y, Fang H, Qiu X. Co-occurrence of microplastics and heavy metals in sediments of the Lanzhou section of the Yellow River: Distribution characterizations and comprehensive ecological risk assessment. *Marine Pollution Bulletin*. 2026;224(1):119151.
15. Massahi T, Kiani A, Pirsahab M, Kianpour S, Hossini H. Comparative assessment of microplastics removal in mechanical versus nature-based urban wastewater treatment systems: a multi-plant study in Kermanshah, Iran. *Results in Engineering*. 2026; 10(3):109931.
16. Fowzi M, Hosseinzadeh A, Andaluri G, Emenike C, Ebrahimpour K. Tackling microplastics and their ecological risks in industrial wastewater: Evaluation of the removal efficiency of continuous-flow activated sludge and sequencing batch reactors. *Journal of Water Process Engineering*. 2026;83(2):109499.



17. Kiattisaksiri P, Eaktasang N, Pasukphun N, Suma Y. Seasonal Variations and Operational Influences on Microplastic Removal in a Municipal Sequencing Batch Reactor Wastewater Treatment System. *Water-Energy Nexus*. 2026;10(4):10-18.
18. Nyaga MP, Zhang W, Osman DM, Shabaka S, Yang Q, Peng S, et al. Seasonal variations of microplastics and plastisphere bacterial communities along Wuhan Reaches of Yangtze River. *River*. 2026;5(1):69-81.
19. Chen C, Li C, Xin Z, Cui C, Xu G. Removal of Microplastics from Wastewater Treatment Plants by Coagulation. *Sustainability*. 2026;18(3):13-18.
20. Li Q, Wu J, Zhao X, Gu X, Ji R. Separation and identification of microplastics from soil and sewage sludge. *Environmental Pollution*. 2019;254(1):113076.
21. Nguyen NB, Kim M-K, Le QT, Ngo DN, Zoh K-D, Joo S-W. Spectroscopic analysis of microplastic contaminants in an urban wastewater treatment plant from Seoul, South Korea. *Chemosphere*. 2021;263(3):127812.
22. Aydin S, Mucevher O, Ulvi A, Beduk F, Aydin ME, Merken O, et al. Effects of long-term wastewater irrigation on microplastics pollution in agricultural soil. *Environmental Science and Pollution Research*. 2025;32(20):12340-59.
23. Meng X, Bao T, Hong L, Wu K. Occurrence Characterization and Contamination Risk Evaluation of Microplastics in Hefei's Urban Wastewater Treatment Plant. *Water*. 2023;15(4):65-79.
24. Andrady AL. Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*. 2011;62(8):1596-605.
25. Hidalgo-Ruz V, Gutow L, Thompson RC, Thiel M. Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification. *Environmental Science & Technology*. 2012;46(6):3060-75.
26. Gatidou G, Arvaniti OS, Stasinakis AS. Review on the occurrence and fate of microplastics in Sewage Treatment Plants. *Journal of Hazardous Materials*. 2019;367(1):504-12.
27. Lithner D, Larsson Å, Dave G. Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition. *Science of The Total Environment*. 2011;409(18):3309-24.
28. Lares M, Ncibi MC, Sillanpää M, Sillanpää M. Occurrence, identification and removal of microplastic particles and fibers in conventional activated sludge process and advanced MBR technology. *Water research*. 2018;133(2):236-46.
29. Murphy F, Ewins C, Carbonnier F, Quinn B. Wastewater Treatment Works (WwTW) as a Source of Microplastics in the Aquatic Environment. *Environmental Science & Technology*. 2016;50(11):5800-8.
30. Sun J, Dai X, Wang Q, van Loosdrecht MCM, Ni B-J. Microplastics in wastewater treatment plants: Detection, occurrence and removal. *Water research*. 2019;10(3):18-27.
31. Carr SA, Liu J, Tesoro AG. Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants. *Water research*. 2016;91(2):174-82.



Ecological Risk Assessment of Microplastics in an Urban Wastewater Treatment Plant with Emphasis on Seasonal Variations

Mohamad Mehralian¹, maryam khashij^{*2,3}

1-Department of Environmental Health Engineering, Neyshabur University of Medical Sciences, Neyshabur, Iran

2-Department of Environmental Health Engineering, Torbat Heydariyeh University of Medical Sciences, Torbat Heydariyeh, Iran

3-Student Research Committee, Torbat Heydariyeh University of Medical Sciences, Torbat Heydariyeh, Iran

Type of Article Original Research

Received: 11/07/2026

Accepted: 01/09/2026

*Corresponding Author:

Maryam Khashij,
Department of
Environmental Health
Engineering, Torbat
Heydariyeh University of
Medical Sciences, Torbat
Heydariyeh, Iran

TEL: 09905995892

Email: m.khashij@yahoo.com

ABSTRACT

Introduction

Microplastics are considered emerging environmental pollutants that pose a serious threat to ecosystems due to their high persistence and ability to transport toxic contaminants. Wastewater treatment plants are among the major pathways through which these particles enter environments. This study aimed to investigate the abundance, polymer composition, removal efficiency, and ecological risk of microplastics in a wastewater treatment plant with emphasis on seasonal variations.

Methods

The study was conducted at a municipal wastewater treatment plant (13,000 m³/day). Twenty-four-hour composite influent and effluent samples were collected during winter and spring. After organic matter digestion and density separation, microplastics were identified by stereomicroscopy, FTIR, and micro-Raman spectroscopy. The Pollution Load Index (PLI) and Potential Ecological Risk Index (H) were also calculated.

Results

The mean concentrations of microplastics in influent wastewater during winter and spring were 3158±214 and 7532±429 particles/m³, respectively, while the corresponding effluent concentrations were 463±162 and 926±245 particles/m³. Removal efficiencies were 85.3% in winter and 87.7% in spring. Polypropylene (41.72%) and polyethylene (29.43%) were the dominant polymers. The ecological risk index was calculated as 1455.79, indicating a high ecological risk. Furthermore, PLI values of 6.82 and 8.13 reflected severe pollution

conditions

Although the wastewater treatment plant demonstrated high efficiency in removing microplastics, the considerable levels of these pollutants in the treated effluent and the elevated ecological risk indicate a continued threat to receiving aquatic environments. The findings highlight the necessity of upgrading treatment technologies, implementing advanced microplastic removal processes, and adopting source-control management strategies to mitigate environmental impacts.

Keywords

Microplastics, Wastewater Treatment Plant, Ecological Risk, Pollution Load Index, Seasonal Variation

► Please cite this article as: Mehralian M, Khashij M, Ecological Risk Assessment of Microplastics in an Urban Wastewater Treatment Plant with Emphasis on Seasonal Variations. *J Neyshabur Univ Med Sci* 2026;13(4)