Journal of Research in Environmental Health

Volume 7, Issue 4, Winter 2022

Investigation of the Method of Detection and Separation of Microplastics in Wastewater Treatment Plants Based on Creating a Density Difference and Determining the Share of the Treatment Process in Particle Removal

ABSTRACT

Background and Aim: Nowadays, the plastics and their derivatives have a special place among various issues which are considered the sources of pollution. Most of these plastics are in the dimensions of Micro and Nano. One of the most important sources of Microplastics transfer is wastewater treatment plants, where a large amount of these particles, which are not removed in the treatment process, enter the receiving environment. This study aims to first determine the optimal method of identifying and extracting particles from the wastewater for counting, and then investigate the amount of removal in the treatment process and determine the amount of particles leaving the treatment plant.

Materials and methods: A sampling of the inlet and outlet of wastewater treatment plant located in Mazandaran province was seasonally done in three seasons of spring, summer, and autumn to determine in which the season of year, the amount of microplastics in the wastewater increases or decreases. Moreover, the extraction and identification method is based on acid washing operation and creating a density difference which has resulted in a favorable result with optimization and innovation.

Results: Using this method, the amount of microparticles and microfibers, along with the size and shape of particle, was determined, and it was identified to what extent the normal treatment process can separate microplastics from wastewater. The treatment plant can remove an average of 95% of particles which means that the remaining 5% of particles are removed with the effluent and enter the aqueous environment.

Conclusion: Finally, according to the research, it was found that the determined laboratory method can identify and extract microplastics in very small sizes to very desirable extent. Furthermore, determining the appropriate parameters of liquid volume, salt consumption, and using dual capacity iron increased the efficiency compared to other methods and led to the identification of smaller particles than previous research.

Keywords: Density difference, Wastewater treatment plant, separation, Microplastic, Particle detection.

▶ **Citation:** Darvishi Gh, Ehteshami M, Mehrdadi N, Abedini R. Investigation of the Method of Detection and Separation of Microplastics in Wastewater Treatment Plants Based on Creating a Density Difference and Determining the Share of the Treatment Process in Particle Removal. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Winter 2022; 7(4): 332-342.

Gholamreza Darvishi
* PhD Candidate in Civil and Environmental Engineering, Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran. (Corresponding author):
Email: Gholamreza_darvishi1275@yahoo.com

Majid Ehteshami
Associate Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.

Naser Mehrdadi
Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran.

Reza Abedini
Associate Professor, Department of Process design, Faculty of chemical Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran.

Received: 2021/10/17
Accepted: 2021/11/09

Document Type: Research article

بررسی روش تشخیص و جداسازی میکروپلاستیک‌های موجود در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب بر پایه ایجاد اختلاف چگالی و تعیین سهم فرآیند تصفیه در حذف ذرات

غلامرضا درویشی
* دانشجوی دکتری مهندسی عمران - محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.
(نویسنده مسئول):
پست الکترونیک:
Gholamreza_darvishi1275@yahoo.com

مجید احتشامی
دانشیار، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.

ناصر مهردادی
استاد، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

رضا عابدینی
دانشیار، گروه طراحی فرایند، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۱۸
نوع مقاله: مقاله پژوهشی

چکیده

زمینه و هدف: امروزه، در بین مسائل مختلفی که به‌عنوان منابع آلوده‌کننده به‌شمار می‌روند، پلاستیک‌ها و مشتقات آن در جایگاه خاصی قرار دارد. بخش اعظمی از این پلاستیک‌ها در ابعاد میکرو و نانو می‌باشند. یکی از مهم‌ترین منابع انتقال میکروپلاستیک‌ها، تصفیه‌خانه‌های فاضلاب هستند که مقدار زیادی از این ذرات که در فرآیند تصفیه حذف نشده‌اند، وارد محیط‌های پذیرنده می‌شوند. مطالعه حاضر با هدف اولیه تعیین روش بهینه شناسایی و استخراج ذرات از فاضلاب جهت شمارش و سپس بررسی میزان حذف در فرآیند تصفیه و همچنین مشخص کردن میزان ذرات خروجی از تصفیه‌خانه انجام شد.
مواد و روش‌ها: نمونه‌گیری از ورودی و خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب که در استان مازندران قرار دارد، به‌طور فصلی و در سه فصل بهار، تابستان و پاییز انجام گرفت تا مشخص گردد در چه فصلی از سال، میزان میکروپلاستیک‌های موجود در فاضلاب افزایش و یا کاهش می‌یابد. همچنین روش استخراج و شناسایی بر اساس عملیات اسیدشویی و بر پایه ایجاد اختلاف چگالی بوده که با بهینه‌سازی و نوآوری، نتیجه مطلوبی را به همراه داشته است.
یافته‌ها: با استفاده از این روش، مقدار میکروذرات و میکروفیبرها به همراه اندازه و شکل ذره مشخص گردید و تعیین شد که فرآیند معمول تصفیه‌خانه تا چه حد قادر به جداسازی میکروپلاستیک‌ها از فاضلاب می‌باشد. فرآیند تصفیه‌خانه به‌طور میانگین می‌تواند ۹۵٪ از ذرات را جدا کند و این به این معناست که ۵٪ ذرات باقی‌مانده به همراه پساب خارج شده و وارد محیط‌های آبی می‌شود.
نتیجه‌گیری: در نهایت با توجه به تحقیق، مشخص گردید روش آزمایشگاهی تعیین شده، می‌تواند تا حد بسیار مطلوبی اقدام به شناسایی و استخراج میکروپلاستیک‌ها در اندازه‌های بسیار ریز نماید. همچنین تعیین پارامترهای مناسب حجم مایع، نمک مصرفی و استفاده از آهن دوظرفیتی، افزایش راندمان را نسبت به روش‌های دیگر به همراه داشت و باعث شناسایی ذرات کوچک‌تری نسبت به تحقیقات گذشته گردید.

کلید واژه‌ها: اختلاف چگالی، تصفیه‌خانه فاضلاب، جداسازی، میکروپلاستیک، شناسایی ذرات

◄ **استناد:** درویشی غ، احتشامی م، مهردادی ن، عابدینی ر. بررسی روش تشخیص و جداسازی میکروپلاستیک‌های موجود در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب بر پایه ایجاد اختلاف چگالی و تعیین سهم فرآیند تصفیه در حذف ذرات. *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. زمستان ۱۴۰۰؛۷(۴): ۳۳۲-۳۴۲.

مقدمه

امروزه تولید و استفاده از پلاستیک‌ها در همه جای دنیا مرسوم شده است و این مخرب‌ترین ماده طبیعت، بدون هیچ‌گونه توجه به آثار زیان‌بار، همچنان مورد استفاده فراوان قرار می‌گیرد و به اشکال و اندازه‌های مختلفی وارد محیط زیست می‌شود. در این میان، میکروپلاستیک‌ها، اشیایی فوق‌العاده ریز بوده که بر اساس تحقیق گورملون و فری و همکاران، هم‌اکنون وجود آنها در دریاها و اقیانوس‌های جهان به اثبات رسیده است (۱، ۲). مواد پلاستیکی از طرفی سبب مخدوش شدن چهرهٔ طبیعت و از طرفی سبب آلودگی‌های بسیاری از جمله آلودگی‌های منابع آبی و خاکی و مسمومیت‌های جانوران و گیاهان می‌شود. بر اساس مطالعات انجام شده توسط گورملون، راچمن و همکاران و لیو و همکاران، این مواد در صورت ورود به محیط زیست دریایی، وارد زنجیره غذایی جانوران دریایی شده و سالانه هزاران گونه از جانوران آبزی از قبیل وال، دلفین، لاک‌پشت و نیز پرندگان دریایی بر اثر خوردن این پلاستیک‌ها و خفگی می‌میرند (۱، ۳، ۴). لازم به ذکر است، ایران از جهت میزان مصرف پلاستیک، در بین ۱۰ کشور اول جهان قرار گرفته و رتبه پنجم را در این زمینه دارد (۵).

با این حال، استهبانی و همکاران و گالووی و همکاران معتقد بودند که کمتر در مورد فراوانی میکروپلاستیک در محیط‌های آبی صحبت شده است (۶، ۷). از آنجایی که این ذرات به‌دلیل کوچک بودن اندازه به چشم دیده نمی‌شود، کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. وجود این ذرات (میکروپلاستیک) در محیط‌های آبی بسته به کشورهای مختلف، از جهت میزان و الگوی مصرف و سبک زندگی متفاوت بوده و قابل بحث نیز می‌باشد. بر همین اساس در کشورهای مختلف، مطالعاتی جهت شناسایی این ذرات انجام شده است. بخش زیادی از این مطالعات که توسط برنک، ویرسک، چائو و تالویت و همکاران انجام شده، در محیط‌های دریایی بوده است که با بررسی‌های صورت گرفته، انباشت میکروپلاستیک‌ها در دریاچه‌ها و رودخانه‌ها نیز گزارش گردید (۸-۱۱).

در مطالعه کورامی و همکاران تحت عنوان تعیین یک روش جدید برای تجزیه و تحلیل و خصوصیات الیاف میکروپلاستیک با استفاده از طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (Micro-FTIR)، کمی‌سازی جدید و شناسایی همزمان پلیمرهای فیبری از طریق Micro-FTIR توسعه داده شد. شبیه‌سازی شستشو با محصولات خانگی موجود در بازار انجام گرفت و پساب‌ها روی فیلترهای GF/F (۰/۷ میکرومتر) یا روی فیلتر (۰/۷ میکرومتر) فیلتر گردید تا کوچک‌ترین فیبرها جمع شوند. علاوه بر این، یک روش جدید تصفیه پساب ساخته شد. پس از آن فیلترها با استفاده از میکروسکوپ الکترونیکی روبشی نیز مورد بررسی قرار گرفتند تا عرض و طول الیاف را تأیید کنند. این روش اجازه می‌دهد بتوان بهتر فیبرهای آزاد شده و شناسایی پلیمرهای فیبر را انجام داد (۱۲). در مطالعه سلیا و همکاران تحت عنوان ارزیابی روش‌های موجود در حذف میکروپلاستیک‌ها، تکنیک‌های موجود با استفاده از پراکسید هیدروژن، پروتئیناز، تریپسین و هیدروکسید پتاسیم مقایسه گردید. همچنین قابلیت پالایش، اثر هضم، قابلیت بازیابی ریزپلاستیک‌ها و شناسایی پلیمر با استفاده از طیف‌سنجی رامان و یک نرم‌افزار تطبیق مورد بررسی قرار گرفت (۱۳). در مطالعه راجو و همکاران تحت عنوان تعیین روش بهبود یافته برای انتشار میکروپلاستیک‌ها در تصفیه ثانویه، روشی بهبود یافته برای تعیین اندازه، شکل، نوع پلیمر و سهم‌بندی ذرات با استفاده از ترکیب اکسیداسیون، رنگ فلورسنت و طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه با انعکاس کامل برای تشخیص ذرات کوچک‌تر از ۲۰ میکرومتر در فاضلاب مشخص شد (۱۴). در مطالعه لیو و همکاران تحت عنوان انتقال و سرنوشت میکروپلاستیک‌ها در طی فرآیند لجن فعال شده معمولی در یک تصفیه‌خانه فاضلاب در کشور چین با هدف بررسی حمل‌ونقل و سرنوشت ذرات میکروپلاستیک در یک تصفیه‌خانه فاضلاب بر اساس فرآیند لجن فعال معمولی انجام شد و مشخص گردید چه میزان در لجن تصفیه‌خانه ذخیره شده و چه مقدار در پساب قرار دارد (۱۵). همچنین در مطالعه مورفی و همکاران تحت عنوان «تصفیه‌خانه فاضلاب به‌عنوان منبع میکروپلاستیک در

محیط آبزی»، مشخص گردید که میکروپلاستیک‌ها با پلیمرهای مختلف در فاضلاب و خروجی تصفیه‌خانه وجود دارد که بعد از آن وارد محیط‌های آبی نیز می‌شود. همچنین در مطالعه مذکور تعیین گردید که میکروپلاستیک‌ها در مراحل مختلف تصفیه به چه میزان حذف می‌شوند (۱۶). با توجه به این موضوع که مقصد نهایی بیشتر میکروپلاستیک‌ها، محیط دریایی می‌باشد، بر همین اساس در مطالعه اولادجو تحت عنوان «تجزیه و تحلیل میکروپلاستیک و حذف آنها از آب» نیز پلی‌استایرن به‌عنوان یکی از میکروپلاستیک‌های موجود در آب بررسی گردید و نتایج نشان داد که روش‌های مختلف فیلتراسیون می‌تواند عملکرد خوبی در حذف آن از آب داشته باشد (۱۷). اما موضوع مهم‌تر، منبع و منشأ انتقال ذرات به دریاها می‌باشد که مطالعات فراوانی در این مورد انجام گرفته که می‌توان به تحقیقات انجام شده توسط کاورنتون و همکاران، ماینتن و همکاران و بایو و همکاران اشاره کرد که در نهایت نتیجه گرفتند یکی از منابع مهم پخش ذرات میکروپلاستیک، پساب خروجی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب است (۱۸-۲۰). به‌عنوان مثال، مطالعه تالویت و همکاران در کشور آمریکا نشان داد که پساب فاضلاب باعث افزایش غلظت میکروپلاستیک در رودخانه شیکاگو می‌شود (۱۱). مطالعه مگنوسن و همکاران تحت عنوان «مسیرها و راه‌های ورود میکروپلاستیک به محیط دریایی» که در کشور سوئد صورت گرفت، نشان داد که میکروپلاستیک‌ها از چه راه‌هایی وارد محیط دریایی می‌شوند. یکی از مهم‌ترین راه‌های ورود میکروپلاستیک به محیط، پساب تصفیه‌خانه‌ها میباشد (۲۱). همچنین با بررسی‌های صورت گرفته مشخص شده است که میکروپلاستیک‌ها توسط فرآیندهای موجود در تصفیه اولیه و ثانویه به‌طور کامل قابل حذف نخواهد بود (۲۲، ۲۳)، ولی قبل از حذف میکروپلاستیک از فاضلاب، بحث مهم‌تری وجود دارد که به شناسایی و استخراج ذرات از پساب فاضلاب مربوط می‌شود (۲۴). از آنجایی که در فاضلاب به غیر از میکروپلاستیک‌ها و میکروفیبرها، مواد آلی و معدنی و مواد فراوان دیگری نیز وجود دارد (۲۵، ۲۶)، تفکیک ذرات از اهمیت بالایی برخوردار خواهد بود. وجود ذرات دیگر به غیر از میکروپلاستیک‌ها، مشاهده و تشخیص را دچار مشکل کرده و نمی‌توان با قاطعیت گفت که ذرات دیده شده میکروپلاستیک بوده است یا خیر.

در مطالعه ضیاجهرمی و همکاران تحت عنوان «تصفیه‌خانه فاضلاب به‌عنوان مسیری برای ورود میکروپلاستیک به محیط: ایجاد یک رویکرد جدید برای نمونه‌برداری از میکروپلاستیک‌های نشأت گرفته از فاضلاب» که در استرالیا صورت گرفت، عملیات اسیدشویی بر روی ۱۰۰ میلی‌لیتر حجم مایع فاضلاب صورت گرفت و جهت اختلاف چگالی از نمک یدید سدیم استفاده گردید که نتایج آن با در نظر گرفتن سایز ذرات استخراج شده بررسی گردید. کمترین اندازه ذرات که در نظر گرفته شد، ۲۵ میکرون بود (۲۷). در مواردی که به‌عنوان منابع یاد گردید، اسیدشویی بر روی نمونه خشک شدهٔ فاضلاب و یا آب دریا صورت گرفت و در برخی از تحقیقات، عملیات شیمیایی مربوط به شناسایی و استخراج، بر روی نمونه مایع انجام گرفت (۲۸).

روش ارائه شده در این پژوهش نسبت به دیگر روش‌هایی که در تحقیقات گذشته حاصل شد، دارای چندین تفاوت می‌باشد. در این تحقیق، برای عملیات اسیدشویی از روش متفاوت و بهینه‌ای نیز استفاده گردید که تاکنون بر روی نمونه فاضلاب انجام نگرفته است. جهت ایجاد اختلاف چگالی، نمک مصرفی متفاوتی در نظر گرفته شد. این تفاوت، علاوه بر نوع نمک مصرفی شامل استفاده از مواد جدید، تغییر در روش (خشک و تر بودن نمونه و یا میزان حجم مایع پساب جهت انجام اسیدشویی) و تغییر در پارامترها (شامل دما، زمان اختلاط، میزان مصرف مواد به تفکیک نمونه فاضلاب ورودی و پساب خروجی) نیز بوده است. همچنین روش نمونه‌برداری و تهیه نمونه فاضلاب به‌گونه‌ای انجام گرفت که بتوان تا حد بسیار زیادی به آن استناد کرد تا معیار مطمئنی از نظر جامعه آماری باشد.

روش کار

با توجه به مطالب ذکر شده و بررسی‌هایی که صورت گرفت،

تحقیق مورد نظر بر روی نمونه فاضلاب انجام شد. به‌طور کلی مراحل پژوهش شامل سه بخش نمونه‌برداری، فرآیند اسیدشویی و مشاهدات بود. بر همین اساس، ابتدا نمونه‌ها از تصفیه‌خانه فاضلاب برداشت گردید. سپس با آماده‌سازی و انتقال به آزمایشگاه، عملیات اسیدشویی صورت پذیرفت و در نهایت مرحله مشاهدات و شناسایی ذرات انجام گرفت.

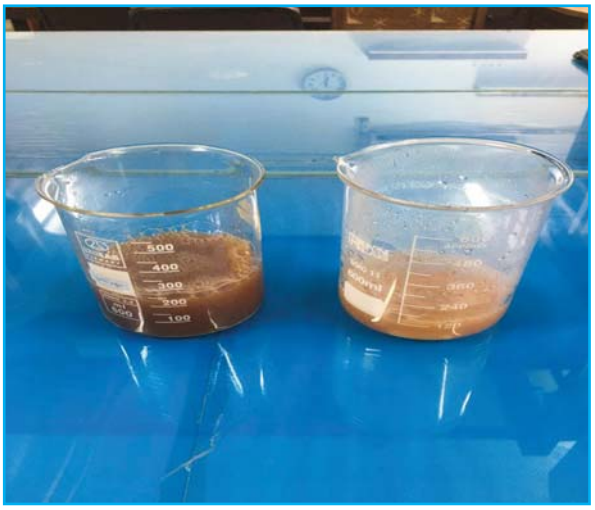
مکان و روش نمونه‌برداری:

در این پژوهش، تصفیه‌خانه فاضلابی واقع در استان مازندران به‌عنوان محل نمونه‌گیری انتخاب شد. نوع فرآیند این تصفیه‌خانه، تصفیه کامل بیولوژیکی به روش لجن فعال می‌باشد. ظرفیت تصفیه‌خانه ۲۰۰۰۰ مترمکعب در روز بوده و جمعیت تحت پوشش آن ۱۲۰۰۰۰ نفر است. نمونه‌برداری از بخش ورودی و خروجی تصفیه‌خانه انجام گردید و این فرآیند در سه فصل بهار، تابستان و پاییز صورت گرفت؛ به‌طوری‌که برای هر فصل ۱۰ روز به‌صورت مداوم و هر روز به میزان ۱۰۰ لیتر نمونه برداشت شد تا مقدار آن به ۱ مترمکعب در هر فصل برسد. نمونه‌برداری در فصول مختلف به این خاطر بود که مشخص شود چه ارتباطی بین فصل‌ها و مقدار ذرات میکروپلاستیک موجود در فاضلاب وجود دارد. همچنین نمونه‌برداری از بخش ورودی تصفیه‌خانه به این دلیل انجام گرفت تا بتوان سهم فرآیند تصفیه‌خانه در حذف و جداسازی این ذرات از فاضلاب را تعیین نمود. در نهایت مطابق تصویر ۱، نمونه‌ها از روی الک‌ها عبور داده شد. در این بخش از ۵ الک با نمره‌های ۶۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۲۷۰ و ۴۰۰ که مش‌بندی آنها به‌ترتیب ۲۵۰، ۱۵۰، ۷۵، ۵۳ و ۳۷ میکرون بود، استفاده شد؛ به‌طوری‌که ذرات موجود در پساب با عبور از الک‌ها بر روی آن مانده و سپس روی الک‌ها با ۴۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر (میزان آب مقطر مصرفی اختیاری می‌باشد) شستشو داده شد و در نهایت به آزمایشگاه منتقل گردید. لازم به ذکر است نمونه‌ها پس از جابجایی، به‌مدت ۲۴ ساعت در آون و در دمای ۹۰ درجه قرار گرفت تا مقدار آن جهت عملیات اسیدشویی به ۵۰ میلی‌لیتر کاهش یابد.

فرآیند شناسایی و استخراج ذرات میکروپلاستیک

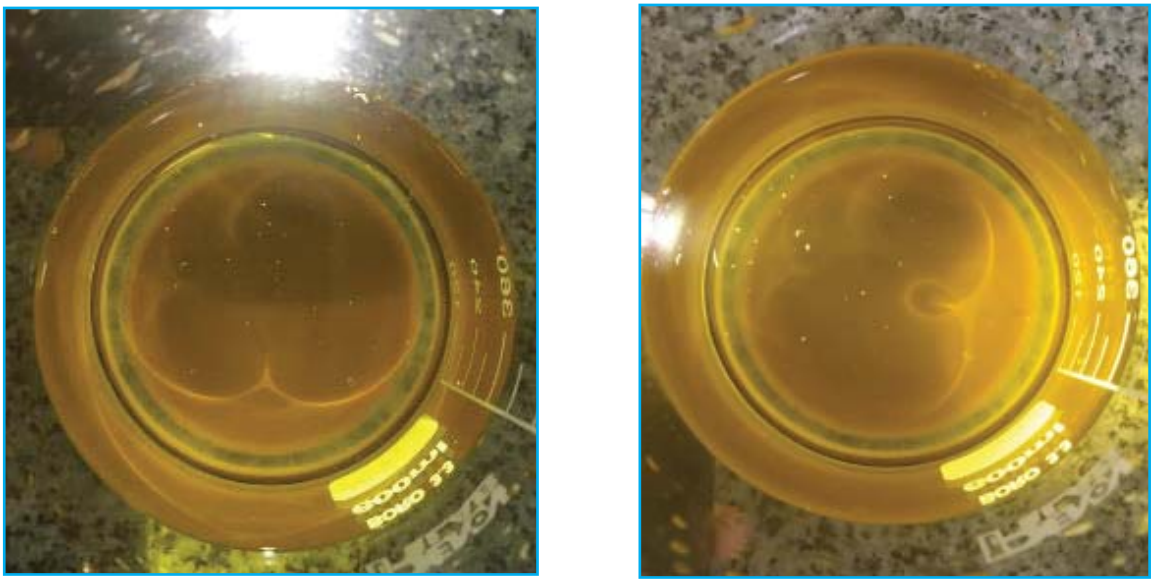
در این بخش ابتدا به میزان ۲۰ میلی‌گرم آهن دوظرفیتی (Fe) ۰/۰۵ مولار در بشر حاوی آب مقطر حاصل از شستشوی فاضلاب ورودی و پساب خروجی ریخته شد. سپس بشرها بر روی استیرر قرار گرفت تا توسط مگنت اختلاط کامل انجام شود. بعد از آن محلول پراکسید هیدروژن ۳۰٪، مطابق تصویر ۲، به میزان ۴۰ میلی‌لیتر برای بشر حاوی فاضلاب ورودی (به‌دلیل زیاد بودن مواد آلی) و ۳۰ میلی‌لیتر برای بشر حاوی پساب خروجی اضافه گردید.

همانطور که در تصویر ۱ مشاهده می‌شود، به‌دلیل واکنش اسیدی، فعل و انفعالاتی ایجاد می‌شود و محلول درون بشر کف کرده که امکان سرریز نیز وجود دارد. در چنین شرایطی می‌توان با آب مقطر آن را کنترل کرد. سپس بعد از آرام شدن محلول درون ظرف، دوباره بر روی استیرر قرار داده می‌شود. استیرر باید در دمای ۷۰ درجه تنظیم شود و به‌مدت ۴۵ دقیقه فرآیند اختلاط انجام گیرد.



تصویر ۱. واکنش ایجاد شده در نمونه‌ها به‌دلیل اضافه کردن پراکسید هیدروژن

تا به اینجا سعی شده است از این طریق بتوان مواد آلی را از بین برد تا به رسوب تبدیل شود. از آنجایی که مکانیزم این جداسازی بر اساس اختلاف چگالی می‌باشد، به ازای هر ۲۵ میلی‌لیتر نمونه، ۷-۸ گرم نمک کلرید سدیم به مایع درون بشر اضافه می‌شود تا افزایش چگالی انجام گیرد. سپس در ادامه همچنان عمل اختلاط



تصویر ۲. ته‌نشین شدن رسوبات و معلق ماندن ذرات میکروپلاستیک و میکروفیبر در سطح

بر روی استیرر در دمای ۷۰ درجه صورت می‌گیرد تا نمک به‌طور کامل حل شود. بعد از حل شدن کامل نمک، بشر را از روی استیرر برداشته و به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط قرار داده تا فرآیند جداسازی ذرات بر اساس ته‌نشینی انجام گیرد. سپس، همانطور که در تصویر ۲ مشاهده می‌کنید رسوبات و ذرات سنگین بعد از ۲۴ ساعت ته‌نشین شده و ذرات میکروپلاستیک و میکروفیبر روی سطح معلق مانده است.

در این مرحله، با استفاده از پیپت، مایع درون ظرف از سطح و عمق میانی گرفته شده و با عبور از الک با آب مقطر شستشو گردید. سپس نمونه حاصله توسط استریو میکروسکوپ، جهت تعیین میزان ذرات میکروپلاستیک، مورد مشاهده قرار گرفت. پس از برداشت و جداسازی، آب مقطر (حاوی ذرات میکروپلاستیک) در دمای محیط تبخیر شده و نمونه خشک شده جهت شمارش ذرات آماده گردید.

شناسایی ذرات مشکوک

با توجه به اینکه امکان وجود هر نوع ذراتی در پساب وجود دارد، شناسایی و تفکیک میکروپلاستیک‌ها و میکروفیبرها از دیگر مواردی که جزء پلاستیک به حساب نمی‌آیند، امری ضروری است تا اشتباهی در تشخیص رخ ندهد. بر همین اساس برای شناسایی میکروپلاستیک‌های مشکوک از روش رنگ‌آمیزی با محلول رز بنگال استفاده گردیده است (۲۷). در این روش ذرات طبیعی مانند الیاف که از نظر ظاهری مشابه الیاف پلاستیکی هستند، رنگ‌آمیزی شده؛ به‌طوری‌که با چشم قابل مشاهده و جداسازی می‌باشد. بدین‌منظور، صافی حاوی میکروپلاستیک‌های مشکوک با ۵ میلی‌لیتر محلول رز بنگال ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر در مدت ۵ دقیقه در دمای محیط رنگ‌آمیزی شد. سس برای از بین بردن رنگ اضافی، شستشوی صافی با استفاده از آب مقطر و با کمک دستگاه خلأ صورت گرفت. پس از آن، صافی به‌مدت ۱۵ دقیقه در آون با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک و برای بررسی توسط استریومیکروسکوپ و طیف‌سنجی آماده گردید.

مراحل مشاهدات و اندازه‌گیری

روش اندازه‌گیری میکروپلاستیک‌ها و تعیین انواع آن شامل دو قسمت می‌باشد. جداسازی میکروپلاستیک‌ها از نمونه ابتدا با شناسایی بصری و با استفاده از استریومیکروسکوپ انجام می‌شود. استریو میکروسکوپ‌ها، یک نوع میکروسکوپ چشمی است که برای مشاهدهٔ نمونه تحت بزرگ‌نمایی، معمولاً با استفاده از نور منعکس شده از منبع یک شی تا انتقال نور از میان آن، استفاده

می‌شود. این دستگاه از دو مسیر چشمی متفاوت با دو عدسی چشمی و شی استفاده می‌کند و جهت بزرگ‌نمایی کم از یک نمونه جامد می‌باشد. این وسیله از دو مسیر جداگانه، نور را بر روی شی تابانده و از طریق لنزهای شی و چشمی تا حدود ۱۶۰ برابر اجسام را بزرگتر می‌کند. همچنین، بعد از آن با استفاده از دستگاه طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز (FTIR) ذرات جدا شده شناسایی گردید تا انواع و طیف‌های میکروپلاستیک‌های موجود در نمونه به‌دست آید.

یافته‌ها

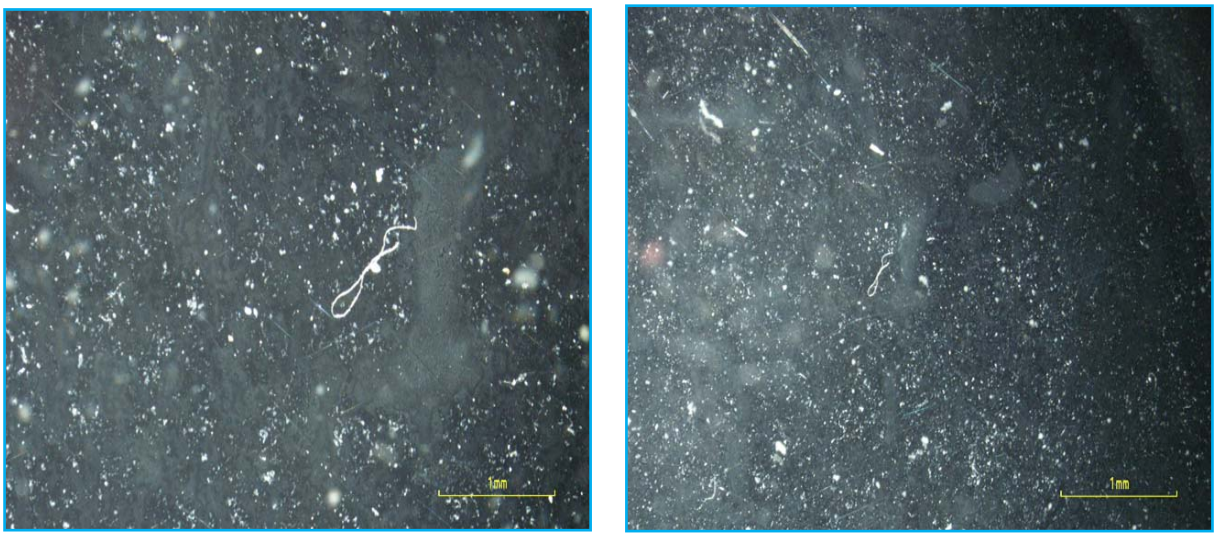
پس از انجام مراحل جداسازی و استخراج ذرات، نمونه‌ها جهت مشاهده و همچنین شمارش آماده گردید. سپس بر اساس طیف‌سنجی که صورت گرفت، ساختار پلیمری ذرات میکروپلاستیک مشخص شد. بر همین اساس در ابتدای تحقیق و قبل از انجام مراحل استخراج، نمونه اصلی فاضلاب با استریومیکروسکوپ مورد مشاهده قرار گرفت تا بتوان از این طریق فرق بین قبل از مراحل جداسازی و بعد از آن را نشان داد. این موضوع به‌خوبی مشخص کرده است که جداسازی و انجام روشی مناسب به‌خوبی می‌تواند درصد خطای شناسایی ذرات را کاهش داده و موادی که امکان دارد به اشتباه میکروپلاستیک تلقی شود را از بین ببرد.

نتایج مشاهده نمونه‌ها و طیف‌سنجی ذرات:

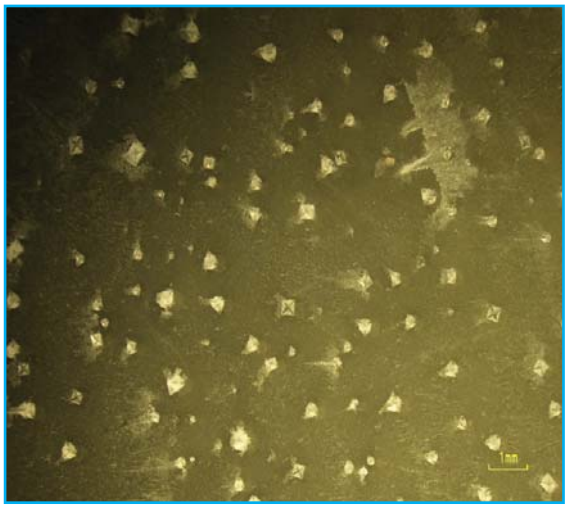
در تصاویر شماره ۳ که مربوط به نمونه اولیه فاضلاب است، کاملاً مشخص است که ذرات و مواد مختلف و زیادی وجود دارد که نمی‌توان به‌راحتی تشخص داد که آیا میکروپلاستیک هستند یا خیر.

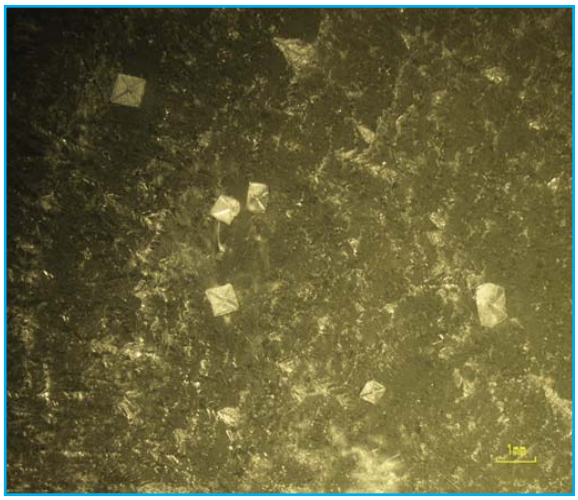
سپس نمونه‌هایی که عملیات اسیدشویی بر روی آن انجام گردید، مطابق با تصاویر شماره ۴ با استفاده از استریومیکروسکوپ مورد مشاهده قرار گرفت. تصاویر مشخص می‌کند که این جداسازی ذرات از لاشه‌های لجن توسط اسیدشویی می‌تواند به‌خوبی میکروپلاستیک‌ها را نمایان کند.

بنابراین با مقایسه تصاویر شماره ۳ و تصاویر شماره ۴ می‌توان دریافت که تعیین روش مناسب جداسازی و استخراج، امکان خطا را در مشاهده و شناسایی ذرات میکروپلاستیک از بین خواهد برد. نکته قابل توجه دیگری که وجود دارد این است که تصفیه اولیه و ثانویه در تصفیه‌خانه فاضلاب نمی‌تواند به‌طور کامل ذرات را از فاضلاب جدا کند. همچنین با طیف‌سنجی ذرات توسط دستگاه FTIR مشخص گردید که ذرات استخراج شده میکروپلاستیک است و بر همین اساس نوع پلیمرهای آن بر اساس جدول ۱ تعیین گردید.



تصویر ۳. تصاویر میکروپلاستیک مربوط به نمونه اولیه فاضلاب





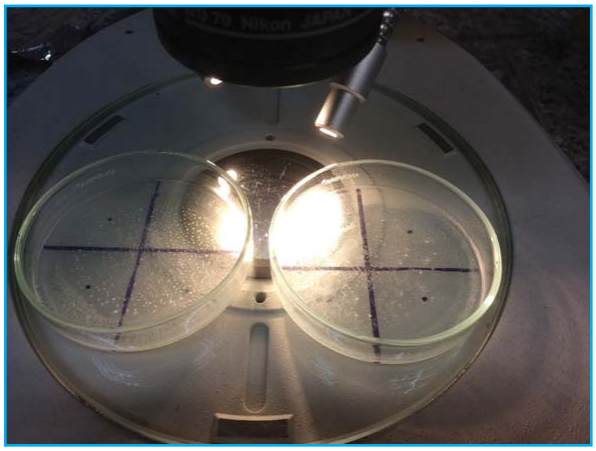
تصویر ۴. تصاویر میکروپلاستیک‌های موجود بعد از انجام اسیدشویی (به‌ترتیب از راست نمونه ورودی و نمونه خروجی تصفیه‌خانه)

جدول ۱. نتایج طیف‌سنجی ذرات میکروپلاستیک موجود در فاضلاب

نوع پلیمر	درصد فراوانی در فاضلاب	کاربرد
پلی‌اتیلن	٪۳۰	کیسه‌های پلاستیکی، تهیه بطری، لوازم پلاستیکی آشپزخانه، لوله‌ها
پلی‌استایرن	٪۲۵	ظروف یکبار مصرف، لوازم الکترونیکی
پلی‌استر	٪۱۵	صنایع پوشاک، برخی لوازم پلاستیکی
پلی‌پروپیلن	٪۱۰	صنایع بسته‌بندی غذایی، تهیه بطری، کاربردهای صنعتی
پلی‌آمید	٪۲۰	در تولید فرش، موکت، لباس‌های ورزشی

شمارش ذرات

سپس مطابق تصویر ۵ و با تقسیم‌بندی سطح پلیت به ۴ قسمت مساوی، ذرات میکروپلاستیک با استفاده از استریومیکروسکوپ بر اساس تعداد ذرات مورد شمارش قرار گرفت.



تصویر ۹. تصویر شمارش ذرات میکروپلاستیک

شمارش ذرات به تفکیک شکل ظاهری آن انجام گردید که نتایج آن برای فاضلاب ورودی تصفیه‌خانه و پساب خروجی تصفیه شده در جداول ۲، ۳ و ۴ آمده است.

جدول ۲. نتایج شمارش ذرات به تفکیک شکل ظاهری و نوع آن در فصل بهار

شکل ذرات	تعداد ذرات در نمونه فاضلاب ورودی (در متر مکعب)	تعداد ذرات در نمونه پساب خروجی (در متر مکعب)
تیز گوشه	۸۳۹۵	۴۶۱
گرد گوشه	۱۴۸۲۰	۴۷۲
میکروفیبر	۳۰۲۴	۱۷۱
مجموع	۲۶۲۳۹	۱۱۰۴

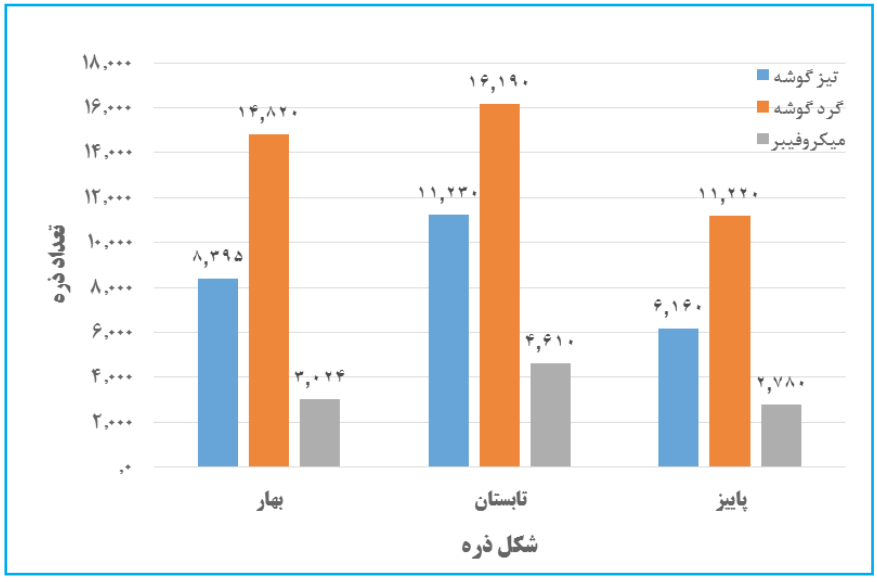
جدول ۳. نتایج شمارش ذرات به تفکیک شکل ظاهری و نوع آن در فصل تابستان

شکل ذرات	تعداد ذرات در نمونه فاضلاب ورودی (در متر مکعب)	تعداد ذرات در نمونه پساب خروجی (در متر مکعب)
تیز گوشه	۱۱۲۳۰	۵۸۳
گرد گوشه	۱۶۱۹۰	۴۱۱
میکروفیبر	۴۶۱۰	۲۴۹
مجموع	۳۲۰۳۰	۱۲۴۳

جدول ۴. نتایج شمارش ذرات به تفکیک شکل ظاهری و نوع آن در فصل پاییز

شکل ذرات	تعداد ذرات در نمونه فاضلاب ورودی (در متر مکعب)	تعداد ذرات در نمونه پساب خروجی (در متر مکعب)
تیز گوشه	۶۱۶۰	۴۲۳
گرد گوشه	۱۱۲۲۰	۳۸۲
میکروفیبر	۲۷۸۰	۲۷۵
مجموع	۲۰۱۶۰	۱۰۸۰

نتایج فاضلاب ورودی و پساب خروجی نشان داد که فرآیند تصفیه تا چه حدی می‌تواند ذرات میکروپلاستیک را از فاضلاب جدا کند. به‌طور میانگین ۹۵٪ از این ذرات در فرآیند تصفیه‌خانه جدا شده و همراه با لجن دفع می‌شود. با توجه به نتایج آورده شده در جداول ۲، ۳ و ۴ و نمودار ۱، مشخص گردید فصل تابستان بیشترین فراوانی تعداد میکروپلاستیک را نسبت به فصل بهار و پاییز دارد. همچنین از لحاظ اشکال، میزان ذرات گرد گوشه نسبت به تیزگوشه و میکروفیبر نیز بیشتر بود.

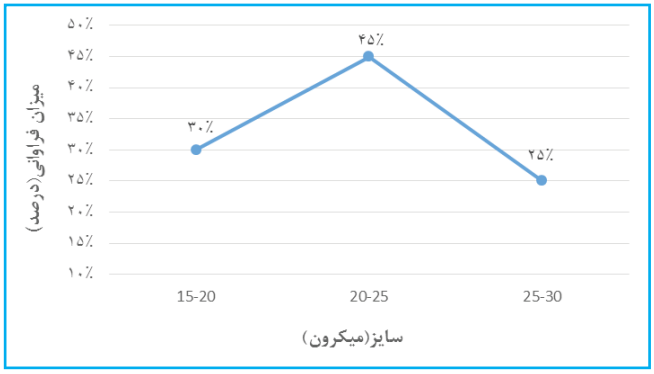


نمودار ۱. مقایسه میزان فراوانی ذرات میکروپلاستیک در فاضلاب ورودی برای فصول مختلف

در نهایت، با انجام مراحل آزمایشگاهی و پژوهشی، تعداد ذرات و ساختار پلیمری آن و همچنین فراوانی فصلی و هندسی میکروپلاستیک‌ها تعیین گردید.

بررسی جداسازی ذرات کوچک‌تر از ۳۷ میکرون با استفاده از روش موجود:

همانطور که در بخش نمونه‌برداری ذکر گردید، بزرگ‌ترین شماره الکی که برای شستشوی فاضلاب جهت تهیه نمونه استفاده شد، الک شماره ۴۰۰ با مش‌بندی ۳۷ میکرون بود. در این مرحله از پژوهش، برای اعتبارسنجی و سنجش راندمان روش پیشنهادی، مقدار پساب عبور کرده از الک شماره ۴۰۰ مورد بررسی و اسیدشویی قرار گرفت تا مشخص شود تا چه سایز از ذرات قابل استخراج است. همانطور که در بخش منابع یاد شد، روش‌های گذشته توانسته است سایزی از ذرات را که کمترین آن در رنج ۳۰ میکرون بوده را استخراج نماید. در روش تعیین شده، با بهینه‌سازی و نوآوری در مواد مصرفی و سعی و خطایی که انجام شد، امکان استخراج ذرات در اندازه‌های کمتر به‌وجود آمد. بر اساس نتیجه‌ای که به‌دست آمد، مشخص شد این روش می‌تواند ذرات در سایزهای کوچک‌تر را شناسایی کرده و راندمان استخراج را افزایش دهد که در نمودار ۲ نشان داده شده است. همچنین تعداد میکروپلاستیک‌های استخراج شده در سایزهای کمتر از ۳۷ میکرون، ۲۸۳ ذره در متر مکعب بوده است که بخش اعظمی از آن را میکروفیبرها تشکیل می‌دهند. به‌طور کلی سایز این ذرات از ۲۷ میکرون تا ۱۹ میکرون بوده است.



نمودار ۲. سایز ذرات کمتر از ۳۷ میکرون و میزان فراوانی آن

بحث

لازم به ذکر است تفاوت در نمک‌ها، تأثیر محسوسی در جداسازی بین ذرات و رسوبات تشکیل شده داشت. با توجه به آزمایشاتی که انجام گرفت، نمک کلرید سدیم در مقایسه با نمک‌های دیگر، نتیجه قابل قبولی را برای ایجاد اختلاف چگالی داشت. به‌همین دلیل نمک مصرفی در این روش، کلرید سدیم انتخاب گردید. تاکنون روش‌های مختلفی جهت استخراج ذرات بر روی آب دریا و همچنین فاضلاب شهری انجام گرفته که هر کدام شامل پارامترها و دستورالعمل‌های متفاوتی بوده است. در مواردی که یاد شده است، اسیدشویی بر روی نمونه خشک شدهٔ فاضلاب یا آب دریا صورت گرفت. بر همین اساس عملیات اسیدشویی در پژوهش مورد نظر، بر روی نمونه مایع با حجم ۵۰ میلی‌لیتر صورت گرفت و با توجه به تصاویر حاصله و راندمان بالای استخراج، مشخص گردید روش بهینه شده می‌تواند نتایج بهتری را به همراه داشته باشد. لازم به ذکر است حجم مورد نظر (۵۰ لیتر) پس از سعی و خطا در احجام مختلف، به‌عنوان مقدار بهینه مشخص گردید، زیرا واکنش‌های شیمیایی در این حجم، عملکرد بهتری را در فرآیند اسیدشویی داشته است.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد اسیدشویی بر روی نمونه خشک در صورتی مناسب می‌باشد که ذرات میکروپلاستیک موجود، در اندازه‌های بزرگ قرار داشته باشد. همچنین مشخص گردید که در نمونه‌های مایع، هر چقدر میزان آن (حجم مایع) کمتر باشد، عملیات اسیدشویی و در نهایت جداسازی (میکروپلاستیک از مواد آلی)، راندمان بهتری خواهد داشت، زیرا رسوبات به‌طور کامل‌تری تشکیل شده و تأثیر وجود نمک جهت ایجاد اختلاف چگالی بیشتر خواهد شد. با تعیین مقدار مصرفی مناسب پراکسید هیدروژن در بخش فاضلاب ورودی که از مواد آلی بسیار زیادی برخوردار است، راندمان رسوب‌گذاری بسیار افزایش یافته و استخراج ذرات تا حد بسیار مطلوبی انجام پذیرفت. همچنین مشخص شد که تفاوت در نمک‌ها، استفاده از آهن دوظرفیتی و تغییر در حجم مایع پساب جهت انجام مراحل اسیدشویی، تأثیر محسوسی در جداسازی بین ذرات و رسوبات تشکیل شده دارد.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان تمام نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از اساتید محترم راهنما و مشاور که ما را در انجام این تحقیق یاری نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

References

1. Gourmelon G. Global plastic production rises, recycling lags. Vital Signs. 2015;22:91-5.
2. Free CM, Jensen OP, Mason SA, Eriksen M, Williamson NJ, Boldgiv B. High-levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake. Marine pollution bulletin. 2014;85(1):156-63.
3. Rochman CM, Kross SM, Armstrong JB, Bogan MT, Darling ES, Green SJ, et al. Scientific evidence supports a ban on microbeads. ACS Publications; 2015.
4. Carr SA, Liu J, Tesoro AG. Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants. Water research. 2016;91:174-82.
5. Darvish G. Ehteshami M. Mehrdadi N. et al. Study and study of environmental effects of microplastic particles and its identification. Third National Conference on Environmental Management and Engineering 1400 (persian)
6. Estahbanati S, Fahrenfeld NL. Influence of wastewater

treatment plant discharges on microplastic concentrations in surface water. Chemosphere. 2016;162:277-84.
7. Galloway TS, Cole M, Lewis C. Interactions of microplastic debris throughout the marine ecosystem. Nature ecology & evolution. 2017;1(5):1-8.
8. Brennecke D, Duarte B, Paiva F, Caçador I, Canning-Clode J. Microplastics as vector for heavy metal contamination from the marine environment. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2016;178:189-95.
9. Viršek MK, Palatinus A, Koren Š, Peterlin M, Horvat P, Kržan A. Protocol for microplastics sampling on the sea surface and sample analysis. JoVE (Journal of Visualized Experiments). 2016(118):e55161.
10. Chae Y, An Y-J. Effects of micro-and nanoplastics on aquatic ecosystems: Current research trends and perspectives. Marine pollution bulletin. 2017;124(2):624-32.
11. Talvitie J, Mikola A, Koistinen A, Setälä O. Solutions to microplastic pollution–Removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies. Water research. 2017;123:401-7.
12. Corami F, Rosso B, Bravo B, Gambaro A, Barbante C. A novel method for purification, quantitative analysis and characterization of microplastic fibers using Micro-FTIR. Chemosphere. 2020;238:124564.
13. Thiele CJ, Hudson MD, Russell AE. Evaluation of existing methods to extract microplastics from bivalve tissue: Adapted KOH digestion protocol improves filtration at single-digit pore size. Marine pollution bulletin. 2019;142:384-93.
14. Raju S, Carbery M, Kuttykattil A, Senthirajah K, Lundmark A, Rogers Z, et al. Improved methodology to determine the fate and transport of microplastics in a secondary wastewater treatment plant. Water research. 2020;173:115549.
15. Liu X, Yuan W, Di M, Li Z, Wang J. Transfer and fate of microplastics during the conventional activated sludge process in one wastewater treatment plant of China. Chemical Engineering Journal. 2019;362:176-82.
16. 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.
17. Oladejo A. Analysis of microplastics and their removal from water. 2017.
18. Covernton GA, Pearce CM, Gurney-Smith HJ, Chastain SG, Ross PS, Dower JF, et al. Size and shape matter: A preliminary analysis of microplastic sampling technique in seawater studies with implications for ecological risk assessment. Science of the Total Environment. 2019;667:124-32.
19. Mintenig S, Int-Veen I, Löder MG, Primpke S, Gerdts G. Identification of microplastic in effluents of waste water treatment plants using focal plane array-based micro-Fourier-transform infrared imaging. Water research. 2017;108:365-72.
20. Bayo J, Olmos S, López-Castellanos J. Microplastics in an urban wastewater treatment plant: The influence of physicochemical parameters and environmental factors. Chemosphere. 2020;238:124593.
21. Magnusson K, Eliaeson K, Fråne A, Haikonen K, Olshammar M, Stadmark J, et al. Swedish sources and pathways for microplastics to the marine environment. IVL Svenska Miljöinstitutet; 2016.
22. Magni S, Binelli A, Pittura L, Avio CG, Della Torre C, Parenti CC, et al. The fate of microplastics in an Italian Wastewater Treatment Plant. Science of the total environment. 2019;652:602-10.
23. Sun J, Dai X, Wang Q, van Loosdrecht MC, Ni B-J. Microplastics in wastewater treatment plants: Detection, occurrence and removal. Water research. 2019;152:21-37.
24. Prata JC. Microplastics in wastewater: State of the knowledge on sources, fate and solutions. Marine pollution bulletin. 2018;129(1):262-5.
25. Gies EA, LeNoble JL, Noël M, Etemadifar A, Bishay F, Hall ER, et al. Retention of microplastics in a major secondary wastewater treatment plant in Vancouver, Canada. Marine pollution bulletin. 2018;133:553-61.
26. Edo C, González-Pleiter M, Leganés F, Fernández-Piñas F, Rosal R. Fate of microplastics in wastewater treatment plants and their environmental dispersion with effluent and sludge. Environmental Pollution. 2020;259:113837.
27. Ziajahromi S, Neale PA, Rintoul L, Leusch FD. Wastewater treatment plants as a pathway for microplastics: development of a new approach to sample wastewater-based microplastics. Water research. 2017;112:93-9.
28. 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. 2015.