REVIEW ARTICLE

Investigation of Abundance, Characteristics, and Fate of Microplastics in Water and Sludge of Water Treatment Plants: A Narrative Review

Mohammad Ali Zazouli[1,2,3]
Kosar Kouhi[4]
Akram Abbasi Tajadod[5]
Yalda Hashempour[6]

[1] Professor, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
[2] Health Sciences Research Center, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
[3] The Health of Plant and Livestock Products Research Center, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
[4] Master's Student in Environmental Health Engineering, Student Research Committee, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
[5] Master's Student in Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
[6] Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

(Received January 6, 2023; Accepted May 25, 2024)

Abstract

Microplastics (MPs) as an emerging pollution with a size of less than 5 mm, can act as carriers of chemical and biological pollutants and have destructive effects on the environment and human health. Drinking water is one of the methods of exposure and entry of these particles into the human body. The importance of water treatment plants is to eliminate and reduce the maximum of existing microplastics and prevent them from entering water sources. Optimizing the removal of microplastics in drinking water treatment plants can reduce the risk of human exposure to these substances. This study reviews the frequency and characteristics of microplastics in water and sludge of drinking water treatment plants and the efficiency of different processes in their removal. This study is a narrative review. To identify the studies that investigated microplastics in water and sludge of a water treatment plant, Persian and English studies in the period from 2013 to 2024 with two groups of Persian keywords including microplastics, water, sludge, water treatment plant, and English keywords. Including Drinking water treatment plants, DWTP Sludge and Microplastic. Google Scholar, PubMed, John Wiley, and ScienceDirect sources were searched. A total of 816 articles were obtained. After removing duplicate articles, the number of articles was reduced to 798 articles. Then, by checking the titles and abstracts, the number of articles was limited to 38. By reviewing the articles whose full text was available, 12 articles were finally left, 9 articles were about microplastics in water, 2 articles were about microplastics in water treatment plant sludge, and 1 article was jointly about microplastics in water. Water and sludge from the water treatment plant. The results showed that the number of microplastics in raw water with the origin of surface sources (reservoirs and rivers) varied between 4.23±1.26 to 3918±425 numbers per liter and the size distribution of microplastics in water can be different depending on the source of raw water. Investigations showed that the predominant size of these particles was less than 100 micrometers. In addition, the most abundant types of microplastics include polyethylene, polypropylene, and polyethylene terephthalate with two forms of fragment and fibers. The number of microplastics in sludge is very high and can be as high as 86,000 particles per gram of dry sludge. Also, common water purification processes including coagulation, flocculation, sedimentation, and sand filtration can remove microplastics by 39-70%, but if granular activated carbon is used in the continuation of the conventional purification process, the efficiency will reach 97%. These particles can eventually be swallowed by humans or aquatic organisms as a result of water consumption or left on the ground as a result of the use of sludge in agriculture.

This study showed that microplastics with different characteristics in terms of size, shape, color, and polymer are present in raw water, and most of them accumulate in sludge. Therefore, to prevent the harmful environmental effects of these particles, it is necessary to purify the sludge from the water treatment plant before entering the environment.

Keywords: Sludge, water, microplastics, treatment plant, drinking water

J Mazandaran Univ Med Sci 2024; 34 (234): 200-213 (Persian).

Corresponding Author: Kosar Kouhi, Akram Abbasi Tajadod - Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran. (E-mail: kouhikosar98@gmail.com, a.abbasitajadod@mazums.ac.ir)

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2024-08-19]

مـــروری

مجلـــه دانـشـــگاه عـلـــوم پـزشـــکـــی مـــازنـــدران
دوره سی و چهارم شماره ۲۳۴ تیر سال ۱۴۰۳ (۲۱۳-۲۰۰)

بررسی فراوانی، ویژگی‌ها و سرنوشت میکروپلاستیک‌ها در آب و لجن تصفیه خانه های آب: یک مرور روایتی

محمد علی زززولی [۱و۲و۳]
کوثر کوهی [۴]
اکرم عباسی تجدد [۵]
یلدا هاشم پور [۶]

چکیده

میکروپلاستیک‌ها (MPs) به عنوان یک آلودگی نوظهور با اندازه کم‌تر از ۵ میلی‌متر، می‌توانند به‌عنوان ناقل آلاینده‌های شیمیایی و بیولوژیکی عمل کنند و اثرات مخربی بر روی محیط زیست و سلامت انسان داشته باشند. آب شرب یکی از روش‌های مواجهه و ورود این ذرات به بدن انسان است. اهمیت تصفیه‌خانه‌های آب در حذف و کاهش حداکثری میکروپلاستیک‌های موجود و جلوگیری از وارد شدن آن‌ها به منابع آب است. بهینه‌سازی حذف میکروپلاستیک در تصفیه خانه‌های آب آشامیدنی می‌تواند خطر مواجهه انسان با این مواد را کاهش دهد. این مطالعه به مرور فراوانی و ویژگی‌های میکروپلاستیک‌ها در آب و لجن تصفیه‌خانه‌های آب آشامیدنی و میزان کارایی فرآیندهای مختلف در حذف آن‌ها می‌پردازد. این مطالعه به صورت مروری روایتی می‌باشد. جهت شناسایی مطالعاتی که به بررسی میکروپلاستیک‌ها در آب و لجن تصفیه‌خانه آب پرداختند، مطالعات فارسی و انگلیسی در بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۴ با دو گروه کلید واژه‌های فارسی شامل، میکروپلاستیک، آب، لجن،تصفیه خانه آب و کلید واژه‌های انگلیسی شامل، Drinking water treatment plant، Sludge DWTP و Microplastic پرداخته شد. در منابع اطلاعاتی Google Scholar، PubMed، John Wiley و ScienceDirect جستجو شد. مجموعاً ۸۱۶ مقاله به‌دست آمد. پس از حذف مقالات تکراری، تعداد مقالات به ۷۹۸ مقاله کاهش یافت. سپس با بررسی عناوین و چکیده‌ها، تعداد مقالات به ۳۸ عدد محدود شد. با بررسی مقالاتی که متن کامل آن‌ها در دسترس بود در نهایت ۱۲ مقاله باقی ماند که ۹ مقاله به بررسی میکروپلاستیک‌ها در آب، ۲ مقاله به بررسی میکروپلاستیک‌ها در لجن تصفیه خانه آب و ۱ مقاله به صورت مشترک به بررسی میکروپلاستیک‌ها در آب و لجن تصفیه خانه آب پرداختند. نتایج نشان داد که تعداد میکروپلاستیک در آب خام با منشاء منابع سطحی (مخازن و رودخانه‌ها) بین ۱/۲۶±۴/۲۳ تا ۴۲۵±۳۹۱۸ تعداد در لیتر متغیر بوده است و توزیع اندازه میکروپلاستیک‌ها در آب بسته به منبع آب خام می‌تواند متفاوت باشد. بررسی‌ها نشان داد اندازه غالب این ذرات کم‌تر از ۱۰۰ میکرومتر بوده است. علاوه براین فراوان ترین نوع میکروپلاستیک‌ها شامل پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن تترافتالات با دو شکل قطعه و فیبر بوده است. تعداد میکروپلاستیک‌ها در لجن بسیار بالا بوده و می‌تواند در حد ۸۶۰۰۰ ذره در هر گرم لجن خشک باشد. هم‌چنین فرایندهای متداول تصفیه آب شامل انعقاد، لخته‌سازی، ته‌نشینی و صاف‌سازی ماسه‌ای قادرند میکروپلاستیک‌ها را ۳۹ تا ۷۰ درصد حذف نمایند؛ امّا چنان چه در ادامه فرآیند تصفیه متداول از کربن فعال گرانولی استفاده شود، کارایی به ۹۷ درصد خواهد رسید. این ذرات در نهایت می‌توانند در اثر مصرف آب توسط انسان یا موجودات آبزی بلعیده شوند و یا در اثر استفاده از لجن در کشاورزی در زمین رها شوند.

این مطالعه نشان داد که میکروپلاستیک‌ها با ویژگی‌های متفاوت از نظر اندازه، شکل، رنگ و پلیمر در آب خام وجود دارند که بخش زیادی از آن‌ها در لجن تجمع می‌یابند. بنابراین، برای جلوگیری از اثرات زیست محیطی مخرب این ذرات، لازم است که لجن حاصل از تصفیه خانه آب نیز قبل از ورود به محیط زیست تصفیه شود.

واژه های کلیدی: لجن، آب، میکروپلاستیک، تصفیه خانه آب، آب آشامیدنی

مولف مسئول: کوثر کوهی– ساری: کیلومتر۱۷ جاده فرح‌آباد، مجتمع دانشگاهی پیامبر اعظم، دانشکده بهداشت E-mail: kouhikosar98@gmail.com
و اکرم عباسی تجدد– ساری: کیلومتر۱۷ جاده فرح‌آباد، مجتمع دانشگاهی پیامبر اعظم، دانشکده بهداشت E-mail: a.abbasitajadod@mazums.ac.ir

۱. استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۲. مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۳. مرکز تحقیقات سلامت فراورده های گیاهی و دامی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۴. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۵. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری ایران
۶. استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

تاریخ دریافت : ۱۴۰۲/۱۰/۱۶ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات : ۱۴۰۲/۱۲/۱۶ تاریخ تصویب : ۱۴۰۳/۳/۵

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2024-08-19]

مقدمه

پلاستیک زمانی به‌عنوان اختراع بزرگ قرن بیستم مورد توجه قرار گرفت و از دهه ۱۹۵۰ به‌طور گسترده در سراسر جهان استفاده شد؛ اما امروزه آسیب ناشی از مدیریت نادرست محصولات پلاستیکی به‌طور فزاینده‌ای شناخته شده است. پیش‌بینی می‌شود که در مجموع ۲۵۰ میلیون تن پلاستیک تا سال ۲۰۲۵ در محیط‌های آبی تخلیه شود. پلاستیک‌ها در محیط زیست به تدریج تحت شرایط مختلف به میکروپلاستیک‌ها تجزیه می‌شوند(۲،۱). میکروپلاستیک‌ها آلاینده‌هایی نوپدید هستند که به عنوان ذرات پلاستیکی مصنوعی با قطر کم‌تر از ۵ میلی‌متر و بزرگ‌تر از ۱ میکرومتر تعریف می‌شوند.

ویژگی‌های فیزیکی میکروپلاستیک‌ها مانند اندازه و شکل، نقش مهمی در حذف آن‌ها درطول تصفیه دارد. این ویژگی‌ها همچنین بر چسبندگی سایر آلاینده‌ها، نرم‌کننده‌ها و میکروارگانیسم‌ها بر روی میکروپلاستیک‌ها تأثیر می‌گذارد(۳). رنگ میکروپلاستیک‌ها عامل مهمی است که بر عملکرد شکاری، بلع و انتقال تغذیه‌ای آن‌ها توسط ارگانیسم‌ها تأثیر می‌گذارد و می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را برای ردیابی منشأ آن‌ها و شناسایی مواد افزودنی شیمیایی و هم‌چنین خطرات بالقوه زیست محیطی ارائه دهد(۴). بنابراین، دسته‌بندی آن‌ها براساس اندازه، مورفولوژی و رنگ بسیار مهم است. قطعات آبی رنگ اغلب از درب بطری‌های آب به‌دست می‌آیند، در حالی‌که میکروپلاستیک‌های سیاه رنگ معمولا از لاستیک خودرو و منابع صنعتی منشاء می‌گیرند(۵). ذرات میکروپلاستیک سفید رنگ یا شفاف معمولاً از بسته‌بندی، ظروف غذا، کیسه‌ها و موارد مشابه به‌دست می‌آیند. رنگ‌های روشن مانند قرمز یا سبز اغلب با مواد مصنوعی شسته شده در ماشین لباسشویی همراه است(۶). آن‌ها به‌طور کلی از انواع مختلف پلیمرها از جمله پلی‌اتیلن (PE)، پلی‌پروپیلن (PP)، پلی‌استایرن (PS)، پلی‌وینیل الکل (PVA) و پلی‌آمید (PA) تشکیل شده‌اند(۷). از نظر منشأ تولید به دو دسته اولیه و ثانویه تقسیم می‌شوند؛ میکروپلاستیک‌های اولیه به طور عمده در اندازه‌های کوچک مانند ریزدانه‌های موجود در محصولات مراقبت شخصی و لوازم آرایشی و بهداشتی، تمیزکننده‌ها و الیاف لباس وجود دارند، میکروپلاستیک‌های ثانویه به‌طور ناخواسته در نتیجه تخریب قطعات پلاستیکی بزرگ‌تر تولید می‌شوند(۹،۸). این ذرات می‌توانند آلاینده‌های آلی و فلزات سنگین را نیز جذب کنند و در نتیجه، به‌عنوان ناقل آلاینده‌های مختلف، خطری برای سلامت عمومی و محیط‌زیست ایجاد کنند(۱۰). براساس مطالعات انجام شده تاکنون، مشاهده شده است که میکروپلاستیک‌ها می‌توانند به عواملی مانند استرس اکسیداتیو، سمیت سلولی، تغییرات در متابولیسم، اختلالات در سیستم ایمنی، سمیت عصبی و احتمالاً سرطان منجر شوند. برخی آلاینده‌های مقاوم، زیست انباشت شونده و سمی، مانند هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای، بی‌فنیل‌های چند کلری و اترهای دی‌فنیل‌چندبرمی، می‌توانند از طریق میکروپلاستیک‌ها وارد زنجیره غذایی شوند(۱۲،۱۱). مصرف آب و غذا به عنوان مسیری برای مواجهه انسان با میکروپلاستیک‌ها شناسایی شده است(۱۴،۱۳). رواناب‌های سطحی، فاضلاب‌های شهری و صنعتی، مدیریت نامناسب پسماندهای پلاستیکی، ذرات موجود در مواد آرایشی و بهداشتی، رها شدن پلاستیک‌ها در لندفیل‌ها به‌دلیل پوشش‌گذاری نامطلوب روزانه، ذرات اتمسفری، فیبرهای جدا شده از منسوجات در طی شستشو و سایش پلاستیک‌های وسایل نقلیه از عمده‌ترین منابع ورود میکروپلاستیک‌ها به محیط هستند(۸). مطالعات اخیر نشان می‌دهند که میکروپلاستیک‌ها به‌عنوان یک آلاینده نوظهور در آب‌های لوله‌کشی، آب‌های بطری شده و آب‌های تصفیه شده حضور دارند(۱۵). اگر متوسط مصرف آب شرب توصیه شده برای مردان و زنان به ترتیب برابر ۳/۷ و ۲/۷ لیتر در روز باشد، می‌تواند مواجهه روزانه با میکروپلاستیک‌ها در محدوده ۰/۱-۰/۲ ذره در کیلوگرم وزن بدن را به همراه داشته باشد. هم‌چنین درصورت

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2024-08-19]

مصـرف بـیش از حـد آب، میـزان مواجهـه روزانـه بـا میکروپلاسـتیک‌ها بـین ۱/۷ تـا ۱/۹ ذره در کیلـوگرم وزن بدن براساس میزان مصرف توصیه شده برای آب در هوای گرم توسط WHO افزایش می‌یابد(۱۶). تصفیه خانـه‌های آب (WTPs) به‌عنوان مـوانعی بـرای جلـوگیری از ورود میکروپلاستیک‌ها بـه سیسـتم تـامین آب آشـامیدنی عمـل می‌کنند(۱۷). فناوری تصفیه و کارایی WTPs مستقیماً بـر غلظت و ویژگی‌های میکروپلاسـتیک‌ها در آب آشـامیدنی تـــأثیر دارد. بنـــابراین، درک و بهینه‌ســـازی حـــذف میکروپلاستیک‌ها در WTPs می‌تواند خطر مواجهـه انسـان با میکروپلاستیک را کاهش دهد(۱۸). تصفیه‌خانـه‌هـا آب را از منابع مختلفی برای تصفیه می‌گیرند کـه اغلـب ایـن منـابع در معـرض آلـودگی میکروپلاسـتیک‌ها هسـتند. همچنین فعالیت‌های انسانی در محیط‌های شـهری، ورود میکروپلاستیک‌های بیش‌تری را به داخل اکوسیستم‌های آب شیرین تسهیل می‌کند. علاوه بر ایـن پلاسـتیک‌های باقیمانده در لجن فاضلاب ممکن است به علـت اسـتفاده از آن‌ها در کشاورزی و جنگـل داری، بـه محیط‌زیسـت انتقال یابند. تصفیه آب نیز باعـث تولیـد ضـایعاتی ماننـد لجن می‌شود. طی هر دو فرایند تصفیه انعقاد/لخته‌سازی و فیلتراسیون، به طور مداوم میکروپلاستیک‌ها حـذف و بـه لجـن افـزوده می‌شـوند (تـا ۹۹ درصـد) (۱۹،۲۰). در بسـیاری از کشـورها، لجـن بـرای دفـن زبالـه بازیافـت می‌شود یا برای تولید انرژی سوزانده می‌شود، هـم‌چنـین برای کشاورزی نیز مورد استفاده قرار می‌گیـرد بنـابراین لازم است تصفیه شود تا برای کـاربرد در زمـین مناسـب باشد(۲۱). با این حال، استفاده مجدد از لجـن، ممکـن اسـت منجر به حضور مجدد میکروپلاستیک‌ها در محیط زیست شود که یک تهدید بالقوه زیست محیطی را بـه‌دنبـال دارد. ایـن میکروپلاسـتیک‌ها می‌تواننـد توسـط موجـودات زنـده زمینی از خاک بلعیـده شـوند، وارد زنجیـره غـذایی شـده و سلامت انسان را به خطر بیندازنـد، بـه همـین دلیـل، اسـتفاده بعدی از لجن در زمین‌های کشـاورزی، ممکـن اسـت یـک مسیر اضافی برای ورود میکروپلاستیک‌ها به محیط زیسـت را فراهم کند(۲۳،۲۲). بنـابراین هـدف ایـن مطالعـه، ارزیـابی میـــزان حضـــور، ویژگـــی و پتانســـیل تأثیرپـــذیری میکروپلاستیک‌ها وهم‌چنین سرنوشت آن‌ها در فرآیندهای تصفیه آب و لجن تصفیه‌خانه آب می‌باشد.

بحث

ایـن مطالعـه بـه صـورت مـروری روایتـی می‌باشـد و فراوانی، ویژگی‌ها و سرنوشت میکروپلاسـتیک‌ها در آب و لجـن تصـفیه‌خانـه‌هـای آب بررسـی مـی‌کنـد. جهـت شناسایی مطالعاتی که به بررسـی میکروپلاسـتیک‌ها در آب و لجن تصفیه‌خانه آب پرداختنـد، بـه جسـتجو مطالعـات فارسی و انگلیسی در بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۴ در منـابع اطلاعـاتی Google Scholar، PubMed، John Wiley و ScienceDirect با دو گروه کلید واژه‌های فارسی شـامل، میکروپلاستیک، آب، لجن، تصفیه‌خانه آب وکلید واژه‌هـای انگلیسـی شـامل، Drinking water treatment plant، Sludge DWTP و Microplastic، پرداختـه شـد. پـس از حذف مقالات تکراری، با مطالعه عناوین، چکیـده و مـتن کامل آن‌هـا، مقـالاتی را کـه بـه زبـان فارسـی و انگلیسـی نوشته شده بودند و دسترسی بـه مـتن کامـل آن‌هـا وجـود داشت، مـورد بررسـی قـرار داده شـد. مقـالات بـه شـرح، فراوانـــی میکروپلاســـتیک‌ها در آب تصـــفیه‌خانـــه آب آشامیدنی، فراوانی میکروپلاستیک‌ها در لجن تصفیه‌خانـه آب آشـامیدنی، ویژگـی میکروپلاسـتیک‌ها، کـارایی و مکانیزم حذف میکروپلاستیک‌ها در تصفیه‌خانه‌هـای آب آشامیدنی، سرنوشت میکروپلاسـتیک‌ها و مـدیریت ورود میکروپلاستیک‌ها به آب، تقسیم شدند.

پس از جستجو با کلید واژه‌هـای مـذکور، مجموعـاً ۸۱۶ مقـالـه (۷۸۵ مقالـه از Google Scholar، ۲۰ مقالـه از John Wiley، ۵ مقـالـــه از PubMed و ۶ مقـالـــه از ScienceDirect) به‌دست آمـد. پـس از حـذف مقـالات تکراری، تعداد مقالات به ۷۹۸ مقاله کاهش یافت. سپس با بررسی عناوین و چکیده‌ها، تعداد مقالات بـه ۳۸ عـدد محدود شد. با بررسی مقالاتی کـه مـتن کامـل آن‌هـا در

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2024-08-19]

دسترس بود در نهایت ۱۲ مقاله باقی ماند که ۹ مقاله به بررسی میکروپلاستیک‌ها در آب، ۲ مقاله به بررسی میکروپلاستیک‌ها در لجن تصفیه‌خانه آب و ۱ مقاله به صورت مشترک به بررسی میکروپلاستیک‌ها در آب و لجن تصفیه‌خانه آب پرداختند. جدول شماره ۱، فراوانی و ویژگی‌های میکروپلاستیک‌های شناسایی شده در آب، جدول شماره ۲، فراوانی و ویژگی‌های میکروپلاستیک‌ها در لجن و جدول شماره ۳، کارایی فرایندهای مختلف تصفیه‌خانه آب را در حذف میکروپلاستیک‌ها نشان می‌دهند.

با توجه به جدول شماره ۱، تعداد میکروپلاستیک در آب خام از ۱/۲۶±۴/۲۳ ذره تا ۴۲۵±۳۹۱۸ ذره در هر لیتر بوده است و بیش‌ترین نوع میکروپلاستیک‌ها شامل پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن ترافتالات با دو شکل قطعه و فیبر بوده است. بررسی میکروپلاستیک‌ها در لجن تصفیه‌خانه‌های آب نشان می‌دهد تعداد ذرات در مقایسه با آب بسیار بالا بوده و می‌تواند در حد ۸۶۰۰۰ ذره در هر گرم باشد و همانند نمونه‌های آب میکروپلاستیک‌ها از نوع پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن بیش‌ترین فراوانی را به خود اختصاص می‌دهند.

هم‌چنین جدول شماره ۳ نیز نشان می‌دهد تصفیه‌خانه‌ها می‌توانند از ۳۹/۱۳ تا ۹۸/۳ درصد کارایی در حذف میکروپلاستیک‌ها داشته باشند، هم‌چنین فرایندهای متداول تصفیه آب شامل انعقاد، لخته سازی، ته‌نشینی و صاف‌سازی ماسه‌ای قادرند میکروپلاستیک‌ها را ۳۹ تا ۷۰ درصد حذف نمایند امّا چنان‌چه در ادامه فرآیند تصفیه متداول از کربن فعال گرانولی استفاده شود، کارایی به ۹۷ درصد خواهد رسید که در جدول شماره ۳ به آن اشاره شده است ومیزان‌کارایی حذف میکروپلاستیک در هر بخش تصفیه‌خانه با هم مقایسه گردیده است.

جدول شماره ۱: فراوانی میکروپلاستیک‌های شناسایی شده در آب تصفیه خانه های آب آشامیدنی

کشور	نویسندگان/سال/رفرنس	منشا آب خام	فراوانی میکروپلاستیک (تعداد در لیتر)		اندازه میکروپلاستیک (میکرو متر)		شکل غالب	نوع پلیمر
			آب ورودی	آب تصفیه شده	ورودی	خروجی		
چک	Pivokonsky و همکاران/ ۲۰۱۸/ (۲۴)	مخزن	۱۴۷۳±۳۴	۴۴۳±۱۰	۱۰<	۱۰<	قطعه، کروی و فیبر	PET, PP, PE
		مخزن	۱۸۱۲±۳۵	۳۳۸±۷۶	۱۰<	۱۰<	قطعه، کروی و فیبر	PET, PP, PE
		رودخانه	۳۶۰۵±۴۹۷	۶۲۸±۲۸	۱۰<	۱۰<	قطعه، کروی و فیبر	PET, PP, PE
آلمان	Mintenig و همکاران/ ۲۰۱۹/ (۲۵)	آب زیرزمینی	۷۰۰ در متر مکعب	۰/۷ در متر مکعب	۱-۲۰	۵۰-۱۵۰	قطعه	PE, PA, PES, PVC, epoxy resin
چک	Pivokonsky و همکاران/ ۲۰۲۰/ (۲۶)	رودخانه	۲۳±۲	۱۴±۱	۱۰<	۱۰۰<	فیبر، قطعه و کروی	CA, PET, PP, PE
		رودخانه	۱۲۹۶±۳۵	۱۵۱±۴	۱۰<	۱۰۰<	فیلم، قطعه و کروی	CA, PET, PE, PP, EVA, PBA, PTT
آمریکا	Zhang و همکاران/ ۲۰۲۰/ (۲۷)	دریاچه و رودخانه	-	-	۱-۱۲۵	-	قطعه	PE, PS
چین	Wang و همکاران/ ۲۰۲۰/ (۲۸)	رودخانه	۶۶۱۴±۱۱۳۲	۹۳۰±۷۲	۱۰۰<	۱-۵	فیبر، قطعه و کروی	PET, PE, PP, PAM, PS, PVC
هند	Sarkar و همکاران/ ۲۰۲۱/ (۲۹)	رودخانه	۱۷/۸۶±۲/۶۶	۲/۷۵±۰/۹۲	۱۰۰-۵۰	۲۵<	فیبر و قطعه	PE, PP, PET, PS
ایران	Tabatabaei و همکاران/ ۲۰۲۲/ (۱۲)	رودخانه	۲۵۶۹±۳۰۹	۱۴۹۲±۳۲	۱۰۰<	۵۰<	فیلم و قطعه	PE, PP, PS, PET, PVC, PU
		رودخانه	۳۹۱۸±۴۲۵	۲۲۷۹±۱۴۶	۱۰۰<	۵۰<	قطعه و فیلم	PE, PP, PS, PET, PVC, PC, PU
		رودخانه	۳۰۶۷±۳۷۳	۱۶۶۳±۲۹۴	۱۰۰<	۵۰<	قطعه و فیلم	PE, PP, PS, PET, PVC, PC, PU
اسپانیا	Dronjak و همکاران/ ۲۰۲۲/ (۱۳)	رودخانه	۴/۲۳ ± ۱/۲۶	۰/۰۷۵ ± ۰/۰۱۹	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۵۰-۲۰	فیلم، فیبر و قطعه	PVC, PET
سویس	Velasco و همکاران/ ۲۰۲۳/ (۳۰)	رودخانه	۵۵/۶ – ۲۵/۷ در متر مکعب	۴۰ در متر مکعب	۶۳-۱۲۵	-	قطعه، صفحه و فیبر	PE, PET, PMMA, PP, PS, PVA, PVC,EVA
چین	Han و همکاران/ ۲۰۲۴/ (۳۱)	مخزن	-	۴۵۹۹-۵۱۳۴ذره در لیتر	-	۲-۵	-	PET, PE, PP, PS, PA, PVC

PET= پلی‌اتیلن ترا فتالات، PP= پلی‌پروپیلن، PE= پلی‌اتیلن، PA= پلی‌آمید، PES= پلی استر، PVC= پلی‌وینیل کلراید، epoxy resin= رزین اپوکسی، CA= سلولز استات، EVA= اتیلن وینیل استات پلیمر، PBA= پلی‌بوتیل آکریلات، PTT= پلی‌تری متیلن ترافتالات، PS= پلی‌استایرن، PAM= پلی‌آکریل آمید، PU= پلی‌اورتان، PC= پلی‌کربنات، PMMA= پلی‌متیل متاآکریلات، PVA= پلی‌وینیل الکل

جدول شماره ۲: فراوانی میکروپلاستیک‌های شناسایی شده در لجن تصفیه خانه آب آشامیدنی

کشور	نویسندگان/سال/رفرنس	منشا آب خام	فراوانی میکروپلاستیک (به ازای وزن خشک)	نوع پلیمر	شکل غالب
آلمان	Siegel و همکاران/ ۲۰۲۱/ (۱۹)	رودخانه	۱۹۶±۴۲ ذره در هر مترمکعب	PE, PP, PS	قطعه
انگلستان و ولز	Johnson و همکاران/ ۲۰۲۰/ (۳۲)	رودخانه، آب زیرزمینی و مخزن	۸۶۰۰۰ ذره در هر گرم	PET, PP, PE	_
اسپانیا	Dronjak و همکاران/ ۲۰۲۲/(۱۳)	رودخانه	۳۵۶۸۰ ذره در هر کیلوگرم	PE, PA	فیبر

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2024-08-19]

جدول شماره ۳: بررسی کارایی تصفیه خانه های آب آشامیدنی در حذف میکروپلاستیک‌ها در آب

کشور	سال	منشا آب خام	نوع سیستم تصفیه آب	واحد تصفیه	راندمان حذف هر واحد (درصد)	راندمان حذف کلی (درصد)	مرجع
چک	۲۰۱۸	مخزن	انعقاد/لخته سازی و صاف سازی ماسه‌ای	-	-	۷۰	(۲۴)
		مخزن	انعقاد/لخته سازی، ته‌نشینی،صاف‌سازی ماسه‌ای و کربن فعال گرانولی			۸۱	
		رودخانه	انعقاد/لخته سازی، شناور سازی، فیلتراسیون شنی و کربن فعال گرانولی			۸۳	
آلمان	۲۰۱۹	آب زیرزمینی	هوادهی و صاف‌سازی	-	-	_	(۲۵)
چک	۲۰۲۰	رودخانه	انعقاد، لخته سازی، فیلتراسیون شنی، تصفیه با آهک و CO_2	-	-	۳۹/۱۳	(۲۶)
			انعقاد، لخته سازی، ته‌نشینی، اکسیداسیون با پرمنگنات پتاسیم، فیلتر شنی، ازن زنی، صافسازی با کربن فعال گرانولی، گندزدایی با UV، تصفیه با آهک و کلر و دی اکسید کربن			۸۸/۳۴	
چین	۲۰۲۰	رودخانه	انعقاد/لخته سازی، ته‌نشینی، فیلتراسیون شنی، ازن زنی همراه با صافسازی با کربن فعال گرانولی	-	-	۸۲/۱ – ۸۸/۶	(۲۸)
هند	۲۰۲۱	رودخانه	کلرزنی، انعقاد، زالاسازی با پولساتور و فیلتراسیون شنی	انعقاد/لخته سازی و ته‌نشینی پالسی	۶۰/۹	۸۵/۳۹	(۲۹)
				فیلترشنی	۲۳/۷۲		
ایران	۲۰۲۲	رودخانه	انعقاد و لخته سازی با کلروفریک و گندزدایی با گاز کلر	-	-	۳۲/۱ - ۵۹/۹	(۱۲)
اسپانیا	۲۰۲۲	رودخانه	انعقاد/لخته سازی، ته‌نشینی از نوع پولساتور، اکسداسیون، صافسازی ماسه‌ای و کربن فعال گرانولی	ته‌نشینی اولیه ۱و۲	۶۷/۲ -۶۲/۷	۹۸/۳	(۱۳)
				فیلتر شنی	۹۹/۱		
				فیلتر کربنی	۹۹/۲		
سویس	۲۰۲۳	رودخانه	پیش تصفیه آب خام، انعقاد، فیلتر شنی، ازن زنی، فیلتر کربن فعال گرانولی، تنظیم pH و گندزدایی	انعقاد -فیلتر شنی	۷۰	۹۸	(۳۰)
				کربن فعال گرانولی	۲۸		
چین	۲۰۲۴	مخزن	ازن زنی، کربن فعال دانه‌ای و فیلتراسیون شنی	ازن زنی و کربن فعال دانه‌ای	۵۲/۷	۷۲/۷-۸۳	(۳۱)
				فیلتراسیون شنی	۴۷/۵		

فراوانی میکروپلاستیک‌ها درآب تصفیه‌خانه آب آشامیدنی

میکروپلاستیک‌ها در آب‌های سطحی مختلف شناسایی شده‌اند. میانگین فراوانی میکروپلاستیک‌ها در محیط آب شیرین از چند عدد تا چند میلیون می‌باشد(۲). در تصفیه‌خانه‌های آب، فرایند تصفیه از طریق لوله ورودی به تصفیه خانه شروع و با عبور از واحدها و فرایندهایی نظیر آشغال‌گیر، هوادهی، میکرواسترینر، اختلاط سریع، لخته‌سازی، ته‌نشینی، صاف‌سازی و در نهایت مخزن نگهداری وارد جریان آب شهری می‌گردد. در این بین واحدهایی نظیر تغلیظ‌کننده، تانک بازیافت و آب‌گیری مکانیکی لجن‌آلوده را به دو بخش تقسیم کرده و مواد جامد غیرقابل تجزیه را به خارج از مخزن هدایت می‌نمایند(۳۳).

Pivokonsky و همکاران (۲۰۱۸)، نشان دادند که تصفیه‌خانه‌های آب آشامیدنی (DWTPs) می‌توانند به‌طور موثری میکروپلاستیک‌ها را از آب حذف کنند. آن‌ها گزارش کردند که میکروپلاستیک‌ها در تمام نمونه‌های آب یافت شدند و میانگین فراوانی آن‌ها از ۳۴±۱۴۷۳ تا ۴۹۷±۳۶۰۵ ذرات بر لیتر در آب خام و از ۷۶±۳۳۸ تا ۲۸±۶۲۸ ذره بر لیتر در آب تصفیه شده متغیر بود(۲۴).

در مطالعه Dronjak و همکاران (۲۰۲۲)، بیان شد که ذرات میکروپلاستیک‌ها در تمام نمونه‌های واحدهای مختلف DWTPs شناسایی شدند اما فراوانی آن‌ها به‌طور قابل توجهی متفاوت بود. آن‌ها فراوانی میکروپلاستیک‌ها در آب ورودی و خروجی به تصفیه‌خانه را به ترتیب ۴/۲۳ و ۰/۰۷۵ میکروپلاستیک در لیتر گزارش کردند. به طور کلی، عملیات یک‌تصفیه خانه آب آشامیدنی با توجه به کاهش ذرات میکروپلاستیک موثر و با راندمان حذف بالا (۹۸/۳ درصد) می‌باشد(۱۳).

در حالی که Velasco و همکاران (۲۰۲۳)، وجود میکروپلاستیک‌ها و الیاف را در DWTPs متعارف ارزیابی کردند، و میزان میکروپلاستیک در آب ورودی و خروجی تصفیه‌خانه را ۳۸/۲ و ۲ میکروپلاستیک در متر مکعب گزارش کردند(۳۰).

Mintening وهمکاران(۲۰۱۹)، وجود میکروپلاستیک‌ها را در آب آشامیدنی در کل زنجیره تامین آب آشامیدنی بررسی کردند. محتوای میکروپلاستیک تنها ۷-۰ ذره در

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2024-08-19]

مترمکعب یافت شد(۲۵). کارایی حذف میکروپلاستیک در تصفیه پیشرفته آب توسط Wang و همکاران(۲۰۲۰)، بررسی شد و نتایج نشان داد فراوانی میکروپلاستیک‌ها در آب ورودی ۱۱۳۲±۶۶۱۴ ذره در هر لیتر بوده است(۲۸). Bauerlein و همکاران (۲۰۲۲)، غلظت میکروپلاستیک‌ها را در منابع آب آشامیدنی اندازه‌گیری و به بررسی اثربخشی تاسیسات مختلف تصفیه آب آشامیدنی جهت کاهش غلظت میکروپلاستیک‌ها در آب برای به‌دست آوردن بینش در مورد سرنوشت میکروپلاستیک‌ها پرداختند. در مجموع پنج سایت متفاوت با استفاده از چهار نوع مختلف آب ورودی تصفیه نشده برای تولید آب آشامیدنی مورد بررسی قرار گرفت. طبق این مطالعه تصفیه آب آشامیدنی اکثر میکروپلاستیک‌ها را حذف می‌کند و غلظت میکروپلاستیک‌های بزرگ‌تر از ۲۰ میکرومتر در آب لوله‌کشی کم‌تر از ۲ ذره در لیتر است. مشخص شده است که بین منابع مختلف آب خام، آب‌های زیرزمینی تا حد زیادی کم‌ترین غلظت میکروپلاستیک را دارند (کم‌تر از ۱۰۰۰ میکروپلاستیک در متر مکعب) و بیش‌ترین غلظت در آب رودخانه تا ۴۶۰۰۰۰ ذره در هر متر مکعب مشاهده شد(۳۴).

درمطالعه Zhou و همکاران (۲۰۲۱)، عملکرد حذف و مکانیسم میکروپلاستیک‌های PS و PE با استفاده از انعقاد پلی‌آلومینیوم کلراید (PAC) و کلرید فریک ($FeCl_3$) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که PAC در راندمان حذف میکروپلاستیک‌های PE و PS بهتر از کلرید فریک بود. طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز نشان داد پیوندهای جدید در طول تعامل بین میکروپلاستیک‌های PS و منعقدکننده‌ها تشکیل می‌شود و میزان حذف در شرایط قلیایی بیش‌تر از اسیدی بوده است(۳۵). اگرچه تصفیه‌خانه توانایی حذف میکروپلاستیک‌ها را از آب ورودی با رانمان بالا دارد ولی بعضی از بخش‌های تصفیه‌خانه می‌تواند در افزودن میکروپلاستیک به آب هم نقش داشته باشد. تفاوت در نتایج مطالعات لیست شده در جدول شماره ۲ می‌تواند به دلیل روش شناسی متفاوت، عدم استاندارد سازی و محدوده اندازه میکروپلاستیک‌ها مورد بررسی باشد، در نتیجه مقایسه را دشوار می‌کند(۱۳).

نتایج مطالعات نشان داد که تعداد میکروپلاستیک در آب خام با منشاء منابع سطحی (مخازن و رودخانه‌ها) بین ۴/۲۳±۱/۲۶ تا ۴۲۵±۳۹۱۸ تعداد در لیتر می‌باشد (جدول شماره ۱). بررسی‌ها نشان داده است که میکروپلاستیک‌ها به‌طور گسترده در منابع آبی مختلف مانند رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و حتی بعد از تصفیه حضور دارند و این ذرات پلاستیکی به دلیل استفاده گسترده از مواد پلاستیکی و عدم تجزیه طبیعی آن‌ها، به‌طور مداوم به منابع آب وارد می‌شوند. فراوانی میکروپلاستیک‌ها در آب بستگی به منطقه، منبع آب، فعالیت‌های انسانی و سایر عوامل دارد. این واقعیت نشان‌دهنده اهمیت بررسی دقیق‌تر و اقدامات مناسب برای کنترل و کاهش آلودگی میکروپلاستیک‌ها در آب و جلوگیری از ورود آن‌ها به تصفیه‌خانه‌های آب است.

فراوانی میکروپلاستیک‌ها در لجن تصفیه خانه‌های آب آشامیدنی

در طی فرایندها و عملیات تصفیه آب، حجم زیادی لجن تولید می‌شود که محل تجمع میکروپلاستیک‌های حذف شده می‌باشد. میکروپلاستیک‌ها در طی فرایندهای مختلف تصفیه به‌طور مداوم حذف و به لجن اضافه می‌شوند(۱۹).

Johnson و همکاران (۲۰۲۰)، بیان کردند میزان میکروپلاستیک‌های موجود در لجن بسیار متغیر بوده و در محدوده کم‌تر ازحد تشخیص تا ۸۶۰۰۰ میکروپلاستیک در گرم وزن خشک بوده است، در حالی که Siegel و همکاران (۲۰۲۱)، لجن تصفیه‌خانه آب کنار رودخانه وارنو (شمال شرقی آلمان) را برای میکروپلاستیک‌های بیش از ۵۰ میکرومتر، آنالیز کردند و تعداد ذرات میکروپلاستیک به‌دست آمده از لجن تصفیه شده برای رودخانه وارنو ۴۲±۱۹۶ در متر مکعب شناسایی شد که

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2024-08-19]

از نظر آماری نـاچیز بـود و متفـاوت از ۳۶±۲۳۳ در متـر مکعب نمونه آب معمولی مورد بررسی بود(۳۲،۱۹).

ویژگی میکروپلاستیک‌ها

ویژگی‌های فیزیکی

بـا توجـه بـه جـدول شـماره ۱، توزیـع انـدازه میکروپلاستیک‌ها در آب بسته به منبع آب خام می‌تواند متفاوت باشد و تصفیه‌خانه‌هایی که آب را از رودخانه‌ها و آب‌های زیرزمینی می‌کشند، حـاوی طیـف وسـیعی از میکروپلاستیک‌ها هستند که اندازه آن‌ها در آب ورودی و آب تصفیه شده به ترتیب از ۱ تا ۲۰۰۰ میکرومتـر و ۱ تا ۵۰ میکرومتر متفاوت است. Pivokonsky و همکاران (۲۰۱۸)، میکروپلاســـتیک‌ها در آب شـــیرین و آب آشامیدنی را بر اساس اندازه به پـنج دسـته (۵-۱، ۱۰-۵، ۱۰-۵۰، ۵۰-۱۰۰ و بیش‌تر از ۱۰۰ میکرومتر) و براساس شکل بـه سـه گـروه (الیـاف، کـروی و قطعـات) تقسـیم کردند. آن‌ها گـزارش کردنـد ذرات کوچـک‌تـر از ۱۰ میکرومتر به‌طـور قابـل تـوجهی در هـر دو نمونـه خـام و تصـفیه شـده در تمام‌تصـفیه‌خانـه‌هـا غالـب بـوده اسـت به‌طوری که ۱تا ۵ میکرومتر ۴۰ تا ۶۰ درصد کـل تعـداد میکروپلاســتیک‌ها را تشــکیل دادنــد(۲۴). طباطبــایی و همکاران (۲۰۲۲)، ذرات نانوپلاستیک با سـایز کوچـک تر از ۱ میکرومتر را نیز مورد بررسـی قرار دادنـد. آن‌هـا بیان داشتند که ذرات کـم‌تـر از ۱ میکرومتـر بـیش‌تـرین فراوانی را داشتند(۱۲). هم‌چنین مطالعه‌ای بـر روی لجـن تصفیه‌خانه آب توسط Siegel و همکاران (۲۰۲۱) نشـان داد، انـدازه غالـب ذرات ۱۰۱ تـا ۳۰۰ میکرومتـر بـوده است(۱۹). علاوه بـر ایـن Johnson و همکـاران (۲۰۲۰)، گزارش کردند که با کـاهش انـدازه میکروپلاسـتیک‌ها تعـداد آن‌هـا بـه شـدت افـزایش می‌یابـد(۳۲). انـدازه میکروپلاستیک‌ها به دلیل تأثیر آن بر راندمان برخورد و رفتار ته‌نشینی در طـول انعقـاد بـه‌طـور قابـل تـوجهی بـر حـذف در اثـر انعقـاد تـأثیر می‌گـذارد. عـلاوه بـر ایـن، تفاوت در حذف، انـدازه ذرات میکروپلاسـتیک تحـت تأثیر چگالی و شـکل آن‌هـا نیـز قـرار دارد(۳۶). بنـابراین تغییرات در شرایط می‌تواند منجر به تغییـرات در حـذف شود، که نیاز به تحقیقات بـیش‌تـر بـرای مقایسـه اثـرات اندازه میکروپلاستیک بر حذف تحت متغیرهـای کنتـرل شده‌تری دارد. هم‌چنین ایـن ذرات از نظـر شـکل غالـب به‌صورت فیبری، کروی، قطعه و فیلم در مطالعات دیـده شد. در طـول شسـتن منسـوجات و لبـاس، الیـاف اغلـب ریخته می‌شـوند، در حـالی کـه قطعـات از تجزیـه اقـلام پلاسـتیکی بـزرگ‌تـر ماننـد کیسـه‌ها و بطری‌هـا تولیـد می‌شوند(۳۸،۳۷). انتشار میکروپلاستیک‌ها مستقیماً تحـت تأثیر تکنیک‌هـای شستشـوی مـورد اسـتفاده و همچنـین انواع ماشین‌های لباسشویی و شوینده‌های مـورد اسـتفاده قرار می‌گیرد. از این رو، شناسایی روش شستشوی بهینـه براساس انواع لباس‌های خاص، مدل‌های ماشـین لباسشـویی و انواع مواد شوینده بسیار مهم است(۲).

ویژگی‌های شیمیایی

توصـیف و شناسـایی انـواع پلیمرهـای مختلـف میکروپلاستیک‌های موجود در یـک نمونـه بسـیار مهـم است زیرا هر پلیمر می‌تواند اثرات منحصر بـه فـردی بـر زیست کره داشته باشد.

باتوجه به جدول شماره ۱ و ۲، می‌توان نتیجه گرفـت فـراوان‌تـرین و پرتکرارتـرین نـوع پلیمـر در مطالعـات مربوط به بررسی آب و لجن تصفیه‌خانه‌های آب شـامل PE، PP، PET، PA، PVC، PS می‌باشد. کاربرد عمـده PE در بطری و کیسه‌های پلاستیکی است، در حالی کـه PP ماده پایه برای بسیاری از بسـته‌بندی‌ها، درب بطـری، طناب، تجهیزات آزمایشگاهی و نی نوشـیدنی را فـراهم می‌کند(۳۹).

Pivokonsky و همکـاران (۲۰۱۸)، ۱۲ نـوع پلیمـر مختلف میکروپلاستیک‌ها را گزارش دادند که اکثریـت آن‌ها (۷۰ درصد) PET، PP و PE بودند(۲۴). هـم‌چنـین به‌طـور مشـابه Siegel و همکـاران (۲۰۲۱)، نیـز ۱۲ نـوع پلیمر شناسایی کردند و گزارش دادند PE بـا ۳۷/۸ درصـد،

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2024-08-19]

PP با ۳۱ درصد و PS با ۲۴/۴ درصد فراوان‌ترین نوع را به خود اختصاص دادند(۱۹).

Johnson و همکاران (۲۰۲۰)، بیان کردند مقادیر بالایی برای PE، PET و PP در لجن شناسایی شد(۳۲). در بیش‌تر مطالعات صورت گرفته در سطح جهان، ذرات بزرگ‌تر از ۱ میکرومتر بررسی شدند. فاطمه طباطبایی و همکاران (۲۰۲۲)، بیان کردند در مجموع ۷ نوع پلیمر شناسایی شد که PP بیش‌ترین میزان را به خود اختصاص داد(۱۲).

از کاربردهای PS می‌توان در بسته‌بندی‌ها، فوم، لیوان‌های یک بار مصرف، ظروف غذا و مصالح ساختمانی اشاره کرد. هم‌چنین PA در منسوجات، مسواک و تور ماهیگیری کاربرد دارد. کاربرد PET در ساخت بطری، بسته‌بندی‌ها و عایق حرارتی می‌باشد(۴۰). PVC به دلیل داشتن مونومر سرطان‌زا و افزودنی‌های خطرناک جز خطرناک‌ترین پلاستیک‌ها از نظر سمیت می‌باشد(۴۱). این اطلاعات می‌تواند کمک کند تا منشاء و منابع این آلودگی‌ها را شناسایی کرد و اثرات زیست محیطی و اقتصادی این آلودگی‌ها مورد بررسی قرار گیرد تا راهکارهای مناسب برای مدیریت و کنترل آن‌ها ارائه داده شود.

کارایی و مکانیسم حذف میکروپلاستیک‌ها در تصفیه خانه های آب آشامیدنی

تصفیه آب آشامیدنی متداول عمدتاً شامل انعقاد، ته‌نشینی و صاف‌سازی است(۲۴). تصفیه‌خانه‌های آب آشامیدنی به‌طور کلی جهت بهبود کیفیت آب برای مطابقت با استاندارد مصرف اجتماعی به‌کار گرفته می‌شود. هدف از تصفیه متداول آب آشامیدنی اطمینان از ایمنی آب آشامیدنی برای انسان از طریق حذف آلاینده‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی، مانند ذرات معلق، فلزات سنگین و میکروب‌ها می‌باشد. بنابراین، DWTPs نقش حیاتی در جلوگیری از انتقال میکروپلاستیک‌ها به آب شرب از آب خام را دارند با این‌حال، درحال حاضر، قوانین هیچ حد استاندارد برای حضور میکروپلاستیک در آب آشامیدنی در نظر نگرفته‌اند و به این دلیل است که کشورها و مناطق مختلف استانداردهای مختلفی برای تصفیه آب آشامیدنی دارند. در جدول شماره ۳ کارایی تصفیه‌خانه و واحدهای آن به همراه راندمان حذف میکروپلاستیک طی عبور آب از آن‌ها نشان داده شده است و نشان داده شد، فرایندهای متداول تصفیه آب شامل انعقاد، لخته‌سازی، ته‌نشینی و صاف‌سازی ماسه‌ای قادرند میکروپلاستیک را ۳۹ تا ۷۰ درصد حذف نمایند، اما چنان چه در ادامه فرآیند تصفیه متداول از کربن فعال گرانولی استفاده شود، کارایی به ۹۷ درصد خواهد رسید و بیان می‌کند.

مطالعه Pivokonsky و همکاران (۲۰۱۸)، نشان داد که DWTPs می‌توانند به‌طور موثر میکروپلاستیک‌ها را از آب حذف کنند و مطالعات بعدی نیز گزارش کرده‌اند که فرآیند انعقاد جزء مهمی‌برای حذف میکروپلاستیک‌ها در DWTPs می‌باشد و بیان شده است که با استفاده از انعقاد/ لخته‌سازی ۷۰ تا ۸۰ درصد میکروپلاستیک‌ها را می‌توان حذف کرد(۳۶،۲۴). علاوه بر این به گزارش ارائه شده توسط Dronjak و همکاران (۲۰۲۲)، ته‌نشینی به همراه واحد صافی ماسه‌ای می‌تواند بیش‌ترین تاثیر را تا ۹۹ درصد در کاهش میکروپلاستیک‌ها داشته باشد(۱۳).

Tangو همکاران (۲۰۲۱) نیز بیان کردند کارایی حذف میکروپلاستیک‌ها با انعقاد و ته‌نشینی افزایش می‌یابد و این راندمان حذف با اضافه کردن فیلتراسیون غشایی و انتخاب منعقدکننده مناسب و بهینه‌سازی تصفیه آب افزایش بیش‌تری پیدا می‌کند(۲۱). درحالی‌که Pivokonsky وهمکاران (۲۰۲۰) حذف میکروپلاستیک‌ها را در یک تصفیه‌خانه آب کشور چک بررسی کردند. آن‌ها گزارش کردند که انعقاد و ته‌نشینی تعداد قابل توجهی از میکروپلاستیک‌ها (۶۲ درصد) را حذف کردند در حالی که فیلتراسیون عمیق و فیلتراسیون کربن فعال گرانولی به ترتیب تنها ۲۰ و ۶ درصد میکروپلاستیک‌ها را حذف کردند، که نشان می‌دهد

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2024-08-19]

کـه فرآینـد انعقـاد بـیش‌تـرین کـارایی را بـه حـذف میکروپلاستیک‌ها در تصفیه‌خانه آب داشت(۲۶). پس از آن، در مطالعه Velasco و همکاران (۲۰۲۳)، نشـان داده شد ۷۰ درصد از میکروپلاستیک‌های بـا انـدازه برابـر یـا بیش از ۶۳ میکرومتر پس از فیلتراسیون شنی و ۹۸ درصـد پس از فیلتراسیون کـربن فعـال گرانـولی حـذف شـدند. هم‌چنین بیان کردند که عدم وجود مرحله ته‌نشـینی قبـل از فیلتـر ماسـه‌ای بـر رانـدمان حـذف میکروپلاسـتیک‌ها تأثیر نمی‌گذارد(۳۰).

Mintening و همکاران (۲۰۱۹)، یافتند اگر چـه در بعضی نمونه‌های آب خام میکروپلاستیک وجود نداشته است اما در آب تصفیه شده از شیرخانه‌ها وجود پنج نوع پلیمر میکروپلاستیک در نمونـه‌ها تاییـد شـده اسـت کـه چهـار مـورد از آن‌هـا بـا پلاسـتیک‌های موجـود در تجهیزات تصفیه و انتقال آب یکسان بود بنابراین، نتیجه گرفتند زنجیره تامین آب آشامیدنی نیز ممکن است یـک منبع بالقوه آلودگی میکروپلاسـتیک در آب آشـامیدنی باشد(۲۵). علاوه بر این کارایی حذف میکروپلاسـتیک در تصفیه پیشرفته آب توسـط Wang و همکـاران (۲۰۲۰)، بررسی شـد و مشـخص شـد کـه فرآینـدهای انعقـادی و ته‌نشـینی منجـر بـه کـاهش غلظـت بـا رانـدمان حـذف ۸۸/۶-۸۲/۱ درصد می‌شود. نتایج نشان داد کـه کـارایی حذف ذرات بزرگ‌تر بیش‌تر از ذرات کوچک‌تر بـوده است و فرآیند تصفیه مرسوم (شامل انعقاد/لختـه‌سـازی، ته‌نشـینی و فیلتراسـیون شـنی) دارای رانـدمان حـذف ۷۰/۵-۵۸/۹ درصـد می‌باشـند. انعقاد/ته‌نشـینی تـأثیر بـیش‌تـری بـر حـذف میکروپلاسـتیک‌های الیـافی شـکل داشتند. در آب خروجی واحد ته‌نشینی در مقایسه با آب خام مقدار زیادی پلی‌اکریل‌آمید شناسایی شد که ناشـی از منعقدکننـده حـاوی پلی‌آکریـل آمیـد بـوده اسـت و خروجی واحد ازن‌زنی نیز افزایش میزان میکروپلاستیک را نشان داده است(۲۸). هم‌چنین Han و همکاران (۲۰۲۴)، گزارش کردند غلظـت پلی‌اسـتایرن در تصـفیه‌خانـه آب بعد از کلرزنی به‌میزان ۵۳/۴ -۳۰ درصد افزایش یافـت(۳۱).

بررسـی ایـن مطالعـات نشـان می‌دهنـد کـه انتخـاب و بهینه‌سازی فرآیندهای تصفیه آب و مواد مصرفی در طی تصـفیه آب می‌توانـد تـأثیر زیـادی بـر کـارایی حـذف میکروپلاستیک‌ها داشته باشد؛ بنابراین ضرورت بررسـی و بهبـود فرآینـدهای تصـفیه آب بـرای حـذف مـوثرتر میکروپلاستیک‌ها و حفاظت از منابع آب اساسی است.

سرنوشت میکروپلاستیک‌ها در آب

سرنوشت میکروپلاستیک‌ها در آب و لجن حاصـل از تصـفیه‌خانه‌های آب آشـامیدنی می‌توانـد بـه چنـدین شکل متفاوت باشد. حفظ در محـیط زیسـت: بخشـی از میکروپلاسـتیک‌ها ممکـن اسـت در آب‌هـای محیطـی حفظ شده و به‌عنوان یک منبع آلودگی زیست محیطـی باقی بمانند. این مواد می‌تواننـد بـرای مـدت طـولانی در محـیط زیسـت بـاقی بماننـد و تـأثیرات مخربـی روی اکوسیستم‌های آبی داشته باشند(۴۲). بلعیده شدن توسـط جانداران: برخی از میکروپلاستیک‌ها ممکن است توسـط جانداران آبی مثـل ماهی‌هـا و حیوانـات دریـایی بلعیـده شوند. این امر می‌تواند به تأثیرات منفی بر روی سـلامت این جانداران و در نتیجه بر زنجیره غذایی انسان‌ها منجـر شود(۴۳،۴). تجمع در لجن: میکروپلاستیک‌ها در فرآینـد تصفیه آب به لجن تصفیه خانه آب آشـامیدنی رسـیده و در آن تجمع می‌یابند. اگر لجـن تصـفیه شـده بـه عنـوان کود کشاورزی یا در صنایع دیگر استفاده شـود، ممکـن است میکروپلاستیک‌ها به زمـین وارد شـده و در محـیط خاک تجمع یابند(۲۲،۲۱). رها شدن در زمین: در صـورتی که لجن تصفیه شده به صورت پسماند به زمین برگردانـده شـود، ممکـن اسـت میکروپلاسـتیک‌ها در خـاک تجمـع یابنـد و بـه‌عنـوان یـک آلاینـده در محـیط خـاکی عمـل کننـد(۴۴). تـأثیر بـر سـلامت انسـان: در صـورتی کـه میکروپلاستیک‌ها بـه آب آشـامیدنی وارد شـوند، ممکـن است به عنوان یک منبع آلاینده برای انسان‌ها عمـل کننـد و تأثیرات مخربی بر روی سلامت انسـان‌ها داشـته باشـند، اگرچه تأثیرات دقیق آن‌ها هنوز به‌طور کامل درک نشـده

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2024-08-19]

است(۴۵). با توجه به این موارد، مدیریت صحیح میکروپلاستیک‌ها در فرآیندهای تصفیه‌آب و مدیریت لجن می‌تواند بسیار کمک دهنده باشد.

مدیریت ورود میکروپلاستیک‌ها به آب

این روش‌ها می‌توانند در کاهش میزان میکروپلاستیک‌ها در آب مؤثر باشند و به حفظ سلامت محیط‌زیست کمک کنند که می‌توان به، نظارت دقیق بر تخلیه فاضلاب حاوی میکروپلاستیک و بهبود یا توسعه تجهیزات جهت حذف میکروپلاستیک‌ها در آب آشامیدنی مانند فناوری‌های نانو یا حرارتی، تصفیه پیشرفته و فیلتراتسیون مکانیکی، کاهش مصرف پلاستیک و جایگزین‌های غیر پلاستیکی مانند استفاده از مواد قابل تجزیه شدن بیش‌تر مانند نشاسته، سلولز و لیگنین برای تولید پلاستیک و تدوین سیاست و مقررات برای کنترل منابع آلودگی میکروپلاستیک و افزایش فهم عمومی‌در مورد میکروپلاستیک‌ها، اشاره کرد. به‌طور کلی، استراتژی‌های مدیریت میکروپلاستیک در آب سبب بهبود کیفیت زندگی انسان‌ها و حفظ محیط‌زیست می‌گردد.

این مطالعه، مروری بر بررسی میکروپلاستیک‌ها در آب و لجن تصفیه‌خانه‌های آب آشامیدنی می‌باشد و نتایج این مطالعات نشان می‌دهند که میکروپلاستیک‌ها در هر دو منبع آب و لجن تصفیه‌خانه‌های آب حضور دارند و مقدار آن در لجن بیش‌تر است. فراوان‌ترین نوع میکروپلاستیک‌های شناسایی شده نیز پلی‌اتیلن ترافتالات، پلی‌پروپیلن، پلی‌اتیلن، پلی‌وینیل کلراید، پلی‌آمید، پلی‌استر و پلی‌استایرن با دو شکل قطعه و فیبر بوده است. بنابراین، برای جلوگیری از اثرات زیست محیطی مخرب میکروپلاستیک، لازم است که لجن حاصل از تصفیه‌خانه آب قبل از ورود به محیط زیست تصفیه شود و هم‌چنین روش‌های حذف میکروپلاستیک‌ها در تصفیه‌خانه‌های آب نیز مورد بررسی بیش تر قرار گیرد، علاوه براین مشخص شد واحدهای انعقاد و لخته سازی و فیلتراسیون تا ۹۹ درصد کارایی حذف را دارا هستند. این اقدامات می‌تواند به کاهش آلودگی محیط‌زیست و حفظ سلامت انسان‌ها کمک کند. هم‌چنین با توجه به حضور میکروپلاستیک در آب ورودی به تصفیه خانه لازم است محصولات حاصل از تجزیه میکروپلاستیک نظیر نانوپلاستیک‌ها و پلیمرهای مرتبط مورد بررسی قرار گیرند.

سپاسگزاری

بدین وسیله نویسندگان مقاله از معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی مازندران جهت حمایت از این طرح با کد اخلاق IR.MAZUMS.1402.122 تقدیر و تشکر می‌نمایند.

References

1. Cydzik-Kwiatkowska A, Milojevic N, Jachimowicz P. The fate of microplastic in sludge management systems. Science of the Total Environment 2022;848:157466.
2. Shen M, Song B, Zhu Y, Zeng G, Zhang Y, Yang Y, et al. Removal of microplastics via drinking water treatment: current knowledge and future directions. Chemosphere 2020; 251: 126612.
3. Ben-David EA, Habibi M, Haddad E, Hasanin M, Angel DL, Booth AM, Sabbah I. Microplastic distributions in a domestic wastewater treatment plant: Removal efficiency, seasonal variation and influence and microplastics. Iran J Health Environ 2022; 15(1): 169-180.
4. Zazouli M, Nejati H, Hashempour Y, Dehbandi R, Fakhri Y. Occurrence of microplastics (MPs) in the gastrointestinal tract of fishes: A global systematic review and meta-analysis and meta-regression. Sci Total Environ 2022; 815: 152743.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2024-08-19]

5. Uogintė I, Pleskytė S, Pauraitė J, Lujanienė G. Seasonal variation and complex analysis of microplastic distribution in different WWTP treatment stages in Lithuania. Environ Monit Assess 2022; 194(11): 829.
6. Razzak SA, Faruque MO, Alsheikh Z, Alsheikhmohamad L, Alkuroud D, Alfayez A, et al. A comprehensive review on conventional and biological-driven heavy metals removal from industrial wastewater. Environmental Advances 2022; 7: 100168.
7. Hashempour Y, Jabari A, Fendereski A. Introducing Statistical Methods to Identify the Sources of Microplastics in the Aquatic Environment: An Overview. Journal of Health Research in Community. 2024; 9(4): 111-120.
8. Eriksen M, Mason S, Wilson S, Box C, Zellers A, Edwards W, et al. Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. Mar Pollut Bull 2013; 77(1-2): 177-182.
9. Sharifi H, Movahedian Attar H. A review of microplastics measuring methods in water and wastewater bodies. Iranian Journal of Health and Environment 2021; 14(1): 173-190.
10. Hajji S, Ben-Haddad M, Abelouah MR, De-la-Torre GE, Alla AA. Sludge drying and dewatering processes influence the abundance and characteristics of microplastics in wastewater treatment plants. Chemosphere 2023; 339: 139743.
11. 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: 189-195.
12. Tabatabaei F, Mafigholami R, Moghimi H, Khoramipour S. Evaluation of the performance of Tehran drinking water treatment plants in removing nanoplastics and microplastics. Iran J Health Environ 2022; 15(1): 169-180.
13. Dronjak L, Exposito N, Rovira J, Florencio K, Emiliano P, Corzo B, et al. Screening of microplastics in water and sludge lines of a drinking water treatment plant in Catalonia, Spain. Water Research 2022; 225: 119185.
14. Salari M, Khorasani M. Investigation of microplastics as emerging contaminants in sources and health effects on humans, review study. J Environ Res Technol 2022; 7(11): 13-26.
15. Cox KD, Covernton GA, Davies HL, Dower JF, Juanes F, Dudas SE. Human consumption of microplastics. Environ Sci Technol 2019; 53(12): 7068-7074.
16. Almaiman L, Aljomah A, Bineid M, Aljeldah FM, Aldawsari F, Liebmann B, et al. The occurrence and dietary intake related to the presence of microplastics in drinking water in Saudi Arabia. Environ Monit Assess 2021; 193(7): 390.
17. 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.
18. Zhou G, Wu Q, Wei X-F, Chen C, Ma J, Crittenden JC, Liu B. Tracing microplastics in rural drinking water in Chongqing, China: Their presence and pathways from source to tap. J Hazardous Mater 2023; 459: 132206.
19. Siegel H, Fischer F, Lenz R, Fischer D, Jekel M, Labrenz M. Identification and quantification of microplastic particles in drinking water treatment sludge as an integrative approach to determine microplastic abundance in a freshwater river. Environmental Pollution 2021; 286: 117524.
20. Feizi F, Hamidian AH, Akhbarizadeh R, Jonoobi M. Study on presence of microplastic pollution in the wastewater treatment plant of

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2024-08-19]

district 22 of Tehran. Journal of Natural Environment 2022; 75(1): 1-6 (Persian).

21. Tang KHD, Hadibarata T. Microplastics removal through water treatment plants: Its feasibility, efficiency, future prospects and enhancement by proper waste management. Environmental Challenges 2021; 5: 100264.
22. Dronjak L, Exposito N, Sierra J, Schuhmacher M, Florencio K, Corzo B, Rovira J. Tracing the fate of microplastic in wastewater treatment plant: A multi-stage analysis of treatment units and sludge. Environ Pollut 2023; 333: 122072.
23. Edgecock T, Siwek M, Chmielewski A, Rafalski A, Walo MW, Sudlitz M, et al. The Potential of Electron Beams for the Removal of Microplastics from Wastewater and Sewage Sludge 2023; 13(9): 100760.
24. 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: 1644-1651.
25. Mintenig SM, Löder MG, Primpke S, Gerdts G. Low numbers of microplastics detected in drinking water from ground water sources. Sci Total Environ 2019; 648: 631-635.
26. Pivokonský M, Pivokonská L, Novotná K, Čermáková L, Klimtová 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.
27. Zhang Y, Diehl A, Lewandowski A, Gopalakrishnan K, Baker T. Removal efficiency of micro-and nanoplastics (180 nm–125 μm) during drinking water treatment. Science of The Total Environment 2020; 720: 137383.
28. 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.
29. Sarkar DJ, Sarkar SD, 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.
30. Velasco AN, Gentile SR, Zimmermann S, Le Coustumer P, Stoll S. Contamination and removal efficiency of microplastics and synthetic fibres in a conventional drinking water treatment plant in Geneva, Switzerland. Science of The Total Environment 2023; 880: 163270.
31. Han Z, Jiang J, Xia J, Yan C, Cui C. Occurrence and fate of microplastics from a water source to two different drinking water treatment plants in a megacity in eastern China. Environmental Pollution 2024; 346: 123546.
32. Johnson AC, Ball H, Cross R, Horton AA, Jürgens MD, Read DS, et al. Identification and quantification of microplastics in potable water and their sources within water treatment works in England and Wales. Environ Sci Technol 2020; 54(19): 12326-12334.
33. Yousefvand F, Bayat R. Investigation of Functional Units and Method of Construction of Water Treatment Plants. Human & Environment 2022; 20(2): 85-95.
34. Bäuerlein PS, Hofman-Caris RC, Pieke EN, Ter Laak TL. Fate of microplastics in the drinking water production. Water Research 2022; 221: 118790.
35. Zhou G, Wang Q, Li J, Li Q, Xu H, Ye Q, et al. Removal of polystyrene and polyethylene microplastics using PAC and FeCl3 coagulation: Performance and mechanism. Science of the Total Environment 2021; 752:

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2024-08-19]

141837.

36. Tang W, Li H, Fei L, Wei B, Zhou T, Zhang H. The removal of microplastics from water by coagulation: A comprehensive review. Science of The Total Environment 2022; 851: 158224.
37. Miranda Zoppas F, Sacco N, Soffietti J, Devard A, Akhter F, Marchesini FA. Catalytic approaches for the removal of microplastics from water: Recent advances and future opportunities. Chemical Engineering Journal Advances 2023; 16: 100529.
38. Hidayaturrahman H, Lee T-G. A study on characteristics of microplastic in wastewater of South Korea: Identification, quantification, and fate of microplastics during treatment process. Marine Pollution Bulletin 2019; 146: 696-702.
39. Fox S, Stefánsson H, Peternell M, Zlotskiy E, Ásbjörnsson EJ, Sturkell E, et al. Physical characteristics of microplastic particles and potential for global atmospheric transport: A meta-analysis. Environmental Pollution 2024; 342: 122938.
40. Fox S, Stefánsson H, Ásbjörnsson EJ, Peternell M, Wanner P, Sturkell E, et al. Physical characteristics of microplastic particles and potential for global atmospheric transport: A meta-analysis. Environmental Pollution 2024; 342: 122938.
41. Blackburn K, Green D. The potential effects of microplastics on human health: What is known and what is unknown. Ambio 2022; 51(3): 518-530.
42. Jiang Y, Yang F, Kazmi SSUH, Zhao Y, Chen M, Wang J. A review of microplastic pollution in seawater, sediments and organisms of the Chinese coastal and marginal seas. Chemosphere 2022; 286: 131677.
43. Issac MN, Kandasubramanian B. Effect of microplastics in water and aquatic systems. Environmental Science and Pollution Research 2021; 28: 19544-19562.
44. Braun M, Mail M, Krupp AE, Amelung W. Microplastic contamination of soil: Are input pathways by compost overridden by littering? Sci Total Environ 2023; 855: 158889.
45. Kouhi K, Abbasi Tajadod A, Hashempour Y. An Overview of the Potential Impact of Nano and Microplastics on the Health of Sensitive Groups, Especially Children: A Narrative Review. J Mazandaran Univ Med Sci 2023; 33(227): 187-201 (Persian).

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2024-08-19]