

بررسی حضور آلودگی میکروپلاستیک در تصفیه‌خانه منطقه ۲۲ شهر تهران

فرزانه فیضی^۱، امیر حسین حمیدیان^{۱*}، رازقه اخباری زاده^۲، مهدی جنوبی^۳

^۱گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

^۲مرکز تحقیقات بهداشت محیط سیستمی و انرژی، دانشگاه علوم پزشکی

^۳گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۰۷

چکیده

تصفیه‌خانه‌های فاضلاب منبع مهم انتشار میکروپلاستیک‌ها به‌شمار می‌روند. بخش بزرگی از میکروپلاستیک‌ها را در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب می‌توان حذف کرد، ولی این تصفیه‌خانه‌ها همچنان حاوی مقادیر زیادی از میکروپلاستیک‌ها هستند که در نهایت به محیط زیست آزاد می‌شوند. تاکنون پژوهشی در زمینه تأثیر تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در انتشار آلودگی میکروپلاستیک در تهران وجود ندارد. هدف این تحقیق، بررسی میزان انتشار ذرات میکروپلاستیک از تصفیه‌خانه فاضلاب در منطقه ۲۲ شهر تهران است. به این منظور نمونه‌برداری از ورودی و خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب این منطقه با استفاده از روش volume reduction توسط الک‌هایی با سه اندازه ۳۰۰، ۱۰۵ و ۲۵ میکرومتر انجام گرفت و ذرات در ماتریکس آب پس از تیمارهای لازم و جداسازی ذرات توسط نمک یدید سدیم در زیر میکروسکوپ نوری بررسی شدند. یافته‌ها نشان می‌دهد که فرایند تصفیه دارای تأثیر چشمگیری بر حذف ذرات میکروپلاستیک است. پس از تصفیه به‌طور متوسط ۲/۱۵ ذره میکروپلاستیک در هر لیتر آب فاضلاب یافت شد. ذرات بزرگ‌تر به‌طور مؤثرتری حذف شدند (ذرات بزرگ‌تر از ۳۰۰ میکرومتر و بین ۱۰۵-۳۰۰ میکرومتر) و ذرات کوچک‌تر (۱۰۵-۲۵ میکرومتر) فراوانی بیشتری پیدا می‌کنند. در میان ذرات شناسایی‌شده فیبرها دارای بیشترین فراوانی بودند و فرگمنت‌ها در جایگاه دوم قرار داشتند. نتایج نشان می‌دهد که تصفیه‌خانه‌های فاضلاب می‌توانند منبع انتشار آلودگی میکروپلاستیک در محیط زیست شهری باشند.

کلید واژگان: آلودگی، تصفیه‌خانه فاضلاب، پلاستیک، میکروپلاستیک

مقدمه

تولید جهانی پلاستیک با رشدی مستمر، از ۵ میلیون تن در هر سال طی دهه ۱۹۵۰ به بیش از ۳۰۰ میلیون تن در سال ۲۰۱۵ افزایش یافته است. سهم آسیا بیش از ۴۹ درصد از تولید جهانی پلاستیک است (Plastics Europe, 2015). مبحث آلودگی پلاستیک چنان اهمیت یافته است که سال ۲۰۱۸، سال غلبه بر آلودگی پلاستیک نام‌گذاری شد. پلیمرهای مصنوعی ترکیباتی سبک و مقاوم‌اند که خصوصیات دمایی و الکتریکی عالی دارند و به‌طور تقریبی می‌توانند در هر شکلی فرم بگیرند. بخش بزرگی از پلاستیک در صنعت بسته‌بندی استفاده می‌شود. با توجه به کاربرد گسترده این مواد، زباله‌های پلاستیکی افزایش چشمگیری یافته است، درحالی که میزان بازیافت آن بسیار اندک است. برای مثال، فقط ۳/۲۶ درصد کل زباله‌های پلاستیکی در اروپا تا سال ۲۰۱۲ بازیافت شده است (Plastics-the Facts, 2013). از اوایل قرن بیست‌ویکم، تلاش‌های جامعه علمی درباره آلودگی میکروپلاستیک آغاز شده است. میکروپلاستیک‌ها اولین بار به‌عنوان قطعات بسیار ریز پلاستیک (قطر ۲۰ میلی‌متر) در نمونه‌های دریا در سال ۲۰۰۴ مشاهده شدند (Thompson et al., 2004). میکروپلاستیک‌ها شامل ذراتی با اندازه ۵ میلی‌متر هستند (Hidalgo-Ruz et al., 2012).

میکروپلاستیک‌ها براساس اندازه، شکل، منشأ و ترکیب پلیمری به انواع مختلفی طبقه‌بندی می‌شوند. آنها براساس منشأ به میکروپلاستیک‌های اولیه و ثانویه دسته‌بندی می‌شوند. منابع میکروپلاستیک‌های اولیه، محصولات صنعتی و خانگی شامل پاک‌کننده‌های صورت، بدن، سرویس‌های بهداشتی، لوازم آرایشی، مهره‌های کوچک اسکرابر دارای کاربرد در محصولات شوینده، پودرها و گلوله‌ای رزین، مهره‌های پلاستیکی ساینده دارای کاربرد برای پاک کردن کشتی‌ها و غیره است (Moore, 2008; Wagner et al., 2014). منابع ثانویه میکروپلاستیک‌ها شامل مصارف خانگی، محصولات صنعتی، تیر اتومبیل‌ها،

پوسته‌پوسته شدن رنگ‌ها و خرد شدن محصولات پلاستیکی است (Nizzetto et al., 2016). لباس‌های سنتزی را می‌توان در هر دو دسته منابع اولیه یا ثانویه فیبرهای میکروپلاستیک در نظر گرفت. در زندگی روزانه مردم، آزاد شدن میکروپلاستیک‌ها با شکل فیبرها در نتیجه شست‌وشوی منسوجات به‌صورت گسترده‌ای گزارش شده است (GESAMP, 2015; Napper and Thompson, 2016). به‌طور کلی میکروپلاستیک‌های ثانویه در نتیجه تجزیه میکروپلاستیک‌ها به‌علت تابش UV، فرسایش مکانیکی و تجزیه بیولوژیکی ایجاد می‌شوند (Horton et al., 2017). این فرایند به‌صورت مستمر ادامه می‌یابد و سبب ایجاد ذرات خیلی ریزتر حتی در ابعاد نانو می‌شود (Imhof et al., 2013). میکروپلاستیک‌ها شامل مونومرهایی از پلی‌اتیلن‌هایی با چگالی زیاد و کم (HD/LD-PE)، پلی‌اتیلن تری‌فتالات (PET)، پلی‌پروپیلن (PP)، پلی‌استیرن (PS) و فیل کراید (PVC) هستند (European Commission, 2013). نوع پلیمر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و تجزیه‌ای آن را نشان می‌دهد که عامل مهمی برای شکل‌گیری، انتشار و تجمع میکروپلاستیک‌ها در سیستم آبی است (Klein et al., 2017).

پژوهش‌های به‌نسبت زیادی درباره آلودگی میکروپلاستیک در محیط‌های دریایی انجام گرفته است، ولی منشأ، فراوانی، سرنوشت و اثرهای اکوتوکسیکولوژیکی (بوم‌سم‌شناسی) میکروپلاستیک‌ها در محیط‌های آب شیرین به‌خوبی بررسی و شناخته نشده است؛ درحالی که یافته‌های تحقیقات اخیر، خبر از وقوع آلودگی میکروپلاستیکی در دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و مصب می‌دهند (Klein et al., 2015; Rodrigues et al., 2018). هر ساله بین ۱/۱۵ و ۲/۴۱ میلیون تن زباله پلاستیکی از طریق رودخانه‌ها وارد دریا می‌شود و بیش از ۷۴ درصد انتشار در بین ماه‌های می و اکتبر است و ۶۷ درصد کل آلودگی جهانی میکروپلاستیک‌ها از ۲۰ رودخانه آلوده جهان که بیشتر در

ذرات میکروپلاستیک که توسط تصفیه‌خانه‌های مدرن به‌دست آمده است، میزان بار سالانه بسیار زیاد است. در دانمارک، بار سالانه میکروپلاستیک به همه تصفیه‌خانه‌ها ۴۰۰۰ تن در سال محاسبه شده که از این مقدار، ۱۱ تن در سال توسط تصفیه‌خانه‌های فاضلاب آزاد می‌شود و بخش باقی‌مانده که حدود ۳۱۰۰ تن در سال است در لجن تصفیه‌خانه تجمع می‌یابد (Vollertsen and Hansen, 2017). در کره، بیش از چهار بیلیون ذره میکروپلاستیک در سال توسط هر تصفیه‌خانه فاضلاب آزاد می‌شود (Lee and Kim, 2018). تخمین زده شده است که ۶۵ میلیون و ۲۰۰ میلیون تا ۱ بیلیون میکروپلاستیک روزانه توسط خروجی تصفیه‌خانه‌ها به ترتیب در گلاسکو و آمریکا آزاد می‌شوند (Murphy et al., 2016; Conley et al., 2019). تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به‌عنوان پذیرنده مقدار فراوانی از میکروپلاستیک‌ها از بخش‌های صنعتی، خانگی و لندفیل شناخته شده‌اند (Mahon et al., 2014). ۹۵ درصد از کل بار خروجی میکروپلاستیک‌ها از طریق انتشار مستقیم فاضلاب تصفیه‌نشده وارد محیط می‌شود؛ ۵ درصد باقی‌مانده از کل انتشار میکروپلاستیک توسط آب خروجی تصفیه‌شده به‌واسطه حذف ناقص میکروپلاستیک‌ها در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب وارد محیط می‌شوند (Praveena et al., 2018). با توجه به اهمیت تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به‌عنوان محل جذب و انتشار ذرات میکروپلاستیک، در این پژوهش برآنیم تا مقدار انتشار میکروپلاستیک از تصفیه‌خانه منطقه ۲۲ تهران را بررسی کنیم.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش: منطقه ۲۲ تهران با جمعیت نزدیک به ۳۰۰ هزار نفر، بین طول‌های شرقی ۱۰° ۵۱' تا ۴۰° ۵۷' و عرض‌های شمالی ۱۶° ۳۲' تا ۳۵° ۱۹' در شمال غربی شهر تهران واقع شده است. یک تصفیه‌خانه فاضلاب در این منطقه وجود دارد که بخشی از فاضلاب شهرک‌های موجود در ناحیه شهید باقری و برج‌ها

آسیا هستند سرچشمه می‌گیرد (Lebreton et al., 2017). میکروپلاستیک‌ها از طریق دو مسیر شناخته‌شده شامل منابع اولیه و ثانویه وارد آب‌های شیرین می‌شوند. فعالیت‌های انسانی در محیط‌های شهری مسیر ورود میکروپلاستیک‌های بیشتر به داخل اکوسیستم‌های آب شیرین را تسهیل می‌کند. زباله‌های پلاستیکی به‌صورت مستقیم توسط رواناب یا سیلاب‌ها و آب خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب وارد اکوسیستم آب شیرین می‌شوند. بخش بزرگی از میکروپلاستیک‌ها را در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب می‌توان حذف کرد، ولی همچنان مقادیر زیادی از میکروپلاستیک‌ها باقی می‌مانند که در نهایت به داخل آب‌ها آزاد می‌شوند (Murphy et al., 2017; Leslie et al., 2016). حتی پس از تصفیه، با استفاده از لجن‌های فاضلاب تصفیه‌شده در کشاورزی و جنگلداری، پلاستیک باقی‌مانده در لجن فاضلاب ممکن است به محیط زیست انتقال یابد (Leslie et al., 2017). تحقیقات نشان می‌دهند که منابع ثانویه، منبع اصلی آلودگی آب‌های شیرین است (Zhang et al., 2018). پژوهش‌های زیادی برای ارزیابی تأثیر تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در آزاد کردن و انتشار آلودگی میکروپلاستیک در کشورهای مختلف انجام گرفته است. با وجود کارایی زیاد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، در همه پژوهش‌ها حضور میکروپلاستیک‌ها در خروجی‌های تصفیه‌خانه‌های اثبات شده است. تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به‌عنوان منبع مهم میکروپلاستیک‌ها در نظر گرفته شده‌اند، درحالی که فناوری‌های مختلف دارای کاربرد در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب بر کارایی حذف ذرات تأثیر می‌گذارند.

نرخ کم انتشار و خروج ذرات پلاستیک از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب گزارش شده است. میزان انتشار آلودگی میکروپلاستیک ممکن است تنها کمتر از ۰/۱ درصد از ورودی آلودگی پلاستیک به نواحی شهری بر اساس توده سالانه، با لحاظ منابع مدیریت‌نشده زباله‌های پلاستیکی باشد (Conley et al., 2019). با وجود نرخ‌های زیاد حذف

نمونه‌ها در آون در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت دست کم ۴۰ ساعت خشک شد تا هیدروژن پراکسید باقی‌مانده کاملاً تبخیر شود. سپس ۱۰ میلی‌لیتر سدیم یدید (اشباع فیلترشده) با چگالی ۱/۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب اضافه شد تا ذرات پلاستیک را براساس چگالی تفکیک کند. پس از سه ساعت ذرات پلاستیک در بالای محلول سدیم یدید شناور شد. سپس نمونه‌ها سانتریفیوژ در ۳۵۰۰ گرم به مدت ۵ دقیقه نموده و محلول معلق با استفاده از کاغذ فیلتر واتمن ۴۲ فیلتر شد. مواد جامد باقی‌مانده روی فیلتر برای بررسی به ظرف پتری تمیز انتقال داده شد و به مدت ۲۴ درحالی که روی آن به آرامی با ورقه فویل پوشانده شده بود گذاشته شد تا خشک شود. این کار را می‌توان در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت نیز انجام داد. پس از خشک شدن، نمونه‌ها از روی فیلتر به داخل ظرف پتری انتقال داده شده و زیر میکروسکوپ نوری بررسی شدند.

آنالیز میکروسکوپی: برای جداسازی و تعیین ویژگی‌های فیزیکی میکروپلاستیک‌های جداسازی شده، از میکروسکوپ نوری استفاده شد. همه نمونه‌های فیلترشده به ظرف پتری انتقال داده شد. با استفاده از میکروسکوپ نوری (بزرگنمایی ۱۰) ذراتی که احتمال داده می‌شد پلاستیک باشند شمارش شدند و براساس ویژگی‌های ظاهری در چهار دسته فرگمنت، فیبر، فیلم یا پلت طبقه‌بندی شدند و رنگ آنها نیز ثبت شد. ذرات دارای ساختار سلولزی یا نرم که به راحتی قابل تخریب باشند (مواد آلی) از بقیه مراحل آنالیز حذف شدند. ویژگی‌های مورفولوژیکی ذرات با استفاده از تست سوزن بررسی شد تا ذرات نرم و مواد آلی حذف شوند.

نتایج

داده‌های جدول ۱ از تصفیه‌خانه منطقه ۲۲ تهران حاکی از آن است که نسبت تعداد، اندازه و رنگ ذرات میکروپلاستیک بین ورودی و خروجی تصفیه‌خانه بسیار متفاوت است. فرایند تصفیه تأثیر چشمگیری بر حذف ذرات میکروپلاستیک داشت و ذرات بزرگ‌تر به صورت مؤثرتری حذف شدند (ذرات

را جمع‌آوری و تصفیه می‌کند. این تصفیه‌خانه، فاضلاب ۲۷۰۰۰ نفر از ساکنان را تحت پوشش قرار می‌دهد. دبی ورودی ۲۵۰ متر مکعب در ساعت و دبی خروجی ۱۲۰ متر مکعب در ساعت است که بیشتر آن فاضلاب خانگی به همراه فاضلاب صنعتی و گاه رواناب است. آب تصفیه‌شده خروجی بیشتر برای آبیاری فضای سبز منطقه استفاده شده و بخشی نیز وارد چاه‌های جاذب می‌شود. برای نمونه‌برداری از گرب سمپلینگ استفاده شد. نمونه‌برداری گرب شامل گرفتن یک نمونه از محیط مورد نظر یا اندازه‌گیری در زمان و مکانی مشخص (بدون استمرار) است. در این روش نمونه‌برداری با استفاده از سطل استیل (فلزی) انجام گرفت. سپس نمونه آب گرفته‌شده با عبور دادن از الک‌هایی که به ترتیب از بزرگ به کوچک روی هم قرار داده شد (با اندازه مش‌های ۳۰۰، ۱۰۵ و ۲۵ میکرومتری) فیلترسازی شد. پس از عبور دادن نمونه فاضلاب از فیلتر، برای اجتناب از آلودگی، الک‌های حاوی ذرات میکروپلاستیک به سرعت خارج شده و با فویل آلومینیومی پوشانده شدند. فیلترها/الک‌ها از دو سمت با آب مقطر شست‌وشو داده شده و محلول به دست آمده با یک قیف شیشه‌ای یا فلزی به داخل بطری یا ظرف شیشه‌ای استریل انتقال داده شد. سپس در بطری‌ها با فویل آلومینیومی پوشانده شد. نمونه‌ها در جای خنک نگه داشته شدند و به سرعت به آزمایشگاه انتقال یافتند.

حذف مواد آلی: پس از الک کردن، مواد باقی‌مانده با شست‌وشو با کمی آب مقطر به داخل بشر ۲۵۰ میلی‌لیتری انتقال داده شده و در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در آون گذاشته شد تا به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر برسد. سپس ۲۰ میلی‌لیتر (تا ۵۰ میلی‌لیتر براساس مقدار مواد آلی وجود در نمونه) از هیدروژن پراکسید ۳۵ درصد و مقدار مساوی از $\text{aqueous } 0.05\text{MFe(II)}$ (محلول سولفات آهن) به عنوان کاتالیزور به بشر حاوی ذرات اضافه شد. سپس محلول به مدت ۳۰ دقیقه هم زده و در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد روی هات‌پلیت گرما داده شد.

حذف مواد غیرآلی: پس از اجرای مرحله حذف مواد آلی،

جدول ۱- تعداد میکروپلاستیک‌های شناسایی شده در نمونه‌های ورودی و خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب.

ردیف	نوع نمونه	حجم (لیتر)	تعداد در الک ۳۰۰ میکرومتر	تعداد در الک ۱۰۵ میکرومتر	تعداد در الک ۲۵ میکرومتر
۱	ورودی تصفیه‌خانه (نمونه ۱)	۴	۲۹	۲۰۹	۲۳۰
	ورودی تصفیه‌خانه (نمونه ۲)	۴	۳۵	۲۰۰	۲۲۵
۲	خروجی تصفیه‌خانه (نمونه ۱)	۶۰	۱۵	۵۴	۶۸
	خروجی تصفیه‌خانه (نمونه ۲)	۶۰	۱۰	۵۷	۶۰

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج نشان می‌دهد که فرایند تصفیه تأثیر چشمگیری بر حذف ذرات میکروپلاستیک دارد. پس از تصفیه به‌طور متوسط ۲/۱۵ ذره میکروپلاستیک در هر لیتر آب فاضلاب یافت شد. ذرات بزرگ‌تر به‌صورت مؤثرتری حذف می‌شوند (ذرات بزرگ‌تر از ۳۰۰ میکرومتر و بین ۱۰۵-۳۰۰ میکرومتر) و ذرات کوچک‌تر (۱۰۵-۲۵ میکرومتر) فراوانی بیشتری در پساب دارند. در میان ذرات شناسایی‌شده، فیبرها دارای بیشترین فراوانی بودند و فرگمنت‌ها در جایگاه دوم قرار داشتند. این موضوع نشان می‌دهد که تصفیه‌خانه‌های فاضلاب می‌توانند منبع انتشار آلودگی میکروپلاستیک در محیط زیست شهری باشند.

سپاسگزاری

این اثر تحت حمایت مادی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) برگرفته شده از طرح شماره ۹۷۰۰۲۴۱۶، همچنین با حمایت مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران انجام شده است.

بزرگ‌تر از ۳۰۰ میکرومتر و بین ۱۰۵-۳۰۰ میکرومتر) و ذرات کوچک‌تر (۱۰۵-۲۵ میکرومتر) فراوانی بیشتری پیدا کردند؛ این یافته مشابه یافته‌های Talvitie و همکاران (۲۰۱۷) است. در مجموع ۴۶۸ ذره میکروپلاستیک در نمونه آب ورودی تصفیه‌خانه شناسایی شد.

همچنین نسبت نوع و شکل ذرات در طی تصفیه فاضلاب تغییر کرد. در آب ورودی فیبرها نزدیک به ۸۰ درصد کل تعداد ذرات را تشکیل دادند، درحالی که در آب خروجی فقط ۲۰ درصد را به خود اختصاص دادند. بخش عمده فیبرها در طی تصفیه حذف می‌شوند. به نظر می‌رسد که ذرات میکروپلاستیک در طی فرایند تصفیه توسط لجن فاضلاب خارجی می‌شوند. بعد از فیبر، فرگمنت‌ها در رتبه دوم فراوانی ذرات شناسایی‌شده در دو قسمت نمونه‌های ورودی و خروجی فاضلاب بودند. فرگمنت‌ها به‌صورت مؤثرتری نسبت به فیبر و دیگر اشکال متداول در مراحل تصفیه حذف شدند. به لحاظ تنوع رنگ، ذرات اغلب به‌ترتیب شامل رنگ‌های خاکستری، بی‌رنگ، قرمز، آبی، زرد، سیاه و سبز بودند.

References

- Conley, K., Clum, A., Deepe, J., Lane, H., Beckingham, B., 2019. Wastewater treatment plants as a source of microplastics to an urban estuary: Removal efficiencies and loading per capita over one year. *Water Research X* 3, 100030
- European Commission, 2013. Guidance on monitoring of marine litter in European seas. A guidance document within the common implementation strategy for the Marine Strategy Framework Directive. European Commission, Joint Research Centre, MSFD Technical Subgroup on Marine Litter, Ispra.
- GESAMP, 2015. Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment. Reports and Studies 90. London: IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection.
- Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R.C. and Thiel, M., 2012. Microplastics in the marine environment: a review of the

- methods used for identification and quantification. *Environmental Science & Technology* 46(6), 3060-3075.
- Horton, A.A., Svendsen, C., Williams, R.J., Spurgeon, D.J., Lahive, E., 2017. Large microplastic particles in sediments of tributaries of the River Thames, UK—Abundance, sources and methods for effective quantification. *Marine Pollution Bulletin* 114(1), 218-226.
- Imhof, H.K., Ivleva, N.P., Schmid, J., Niessner, R., Laforsch, C., 2013. Contamination of beach sediments of a subalpine lake with microplastic particles. *Current Biology* 23(19), R867-R868.
- Klein, S., Dimzon, I.K., Eubeler, J., Knepper, T.P., 2018. Analysis, occurrence, and degradation of microplastics in the aqueous environment. In *Freshwater Microplastics* (pp. 51-67). Springer, Cham
- Klein, S., Worch, E., Knepper, T.P., 2015. Occurrence and spatial distribution of microplastics in river shore sediments of the Rhine-Main area in Germany. *Environmental Science & Technology* 49(10), 6070-6076.
- Leslie, H.A., Brandsma, S.H., Van Velzen, M.J.M., Vethaak, A.D., 2017. Microplastics en route: Field measurements in the Dutch river delta and Amsterdam canals, wastewater treatment plants, North Sea sediments and biota. *Environment International* 101, 133-142.
- Lee, H., Kim, Y., 2017. Microplastics Behavior at Sewage Treatment Facilities. In *Proceedings of the Annual Conference of Japan Society of Material Cycles and Waste Management The 28th Annual Conference of Japan Society of Material Cycles and Waste Management* (p. 535). Japan Society of Material Cycles and Waste Management.
- Lebreton, L.C., Van der Zwet, J., Damsteeg, J.W., Slat, B., Andrady, A., Reisser, J., 2017. River plastic emissions to the world's oceans. *Nature Communications* 8, 15611.
- Murphy, F., Ewins, C., Carbonnier, F., Quinn, B., 2016. Wastewater treatment works (WwTW) as a source of microplastics in the aquatic environment. *Environmental Science & Technology* 50, 5800-5808.
- Mahon, A.M., Officer, R., Nash, R., O'Connor, I., 2014. Scope, fate, risks and impacts of microplastic pollution in Irish freshwater systems. *Epa Research Programme*, 2020.
- Moore, C.J., 2008. Synthetic polymers in the marine environment: a rapidly increasing, long-term threat. *Environmental Research* 108(2), 131-139.
- Napper, I.E. and Thompson, R.C., 2016. Release of synthetic microplastic plastic fibres from domestic washing machines: effects of fabric type and washing conditions. *Marine Pollution Bulletin* 112(1), 39-45.
- Nizzetto, L., Bussi, G., Futter, M.N., Butterfield, D., Whitehead, P.G., 2016. A theoretical assessment of microplastic transport in river catchments and their retention by soils and river sediments. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 18(8), 1050-1059.
- Plastics-the Facts, 2013. An Analysis of European Latest Plastics Production, Demand and Waste Data, p. 40 (Plastics Europe, Association of Plastic Manufacturers: Brussels).
- Plastics Europe. 2015. Plastics – the Facts, An Analysis of European Latest Plastics Production, Demand and Waste Data. <http://www.plasticseurope.org>
- Praveena, S.M., Shaifuddin, S.N.M. and Akizuki, S., 2018. Exploration of microplastics from personal care and cosmetic products and its estimated emissions to marine environment: An evidence from Malaysia. *Marine pollution Bulletin* 136, 135-140.
- Rodrigues, M.O., Abrantes, N., Gonçalves, F.J.M., Nogueira, H., Marques, J.C., Gonçalves, A.M.M., 2018. Spatial and temporal distribution of microplastics in water and sediments of a freshwater system (Antuã River, Portugal). *Science of The Total Environment* 633, 1549-1559.
- Thompson, R.C., Olsen, Y., Mitchell, R.P., Davis, A., Rowland, S.J., John, A.W., Russell, A.E., 2004. Lost at sea: where is all the plastic?. *Science* 304(5672), 838-838.
- Vollertsen, J., Hansen, A.A. 2017. Microplastic in Danish wastewater: Sources, occurrences and fate. *press, Danish Environmental Protection Agency.*
- Wagner, M., Scherer, C., Alvarez-Muñoz, D., Brennholt, N., Bourrain, X., Buchinger, S., Fries, E., Grosbois, C., Klasmeier, J., Marti, T., Rodriguez-Mozaz, S., 2014. Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know. *Environmental Sciences Europe* 26(1), 12.
- Zhang, K., Shi, H., Peng, J., Wang, Y., Xiong, X., Wu, C., Lam, P.K., 2018. Microplastic pollution in China's inland water systems: A review of findings, methods, characteristics, effects, and management. *Science of the Total Environment* 630, 1641-1653.