مجله علمی – پژوهشی
مهندسی عمران مدرس
دوره نوزدهم، شماره ٦، سال ١٣٩٨

حضور و مشخصه‌یابی میکروپلاستیک ها در فاضلاب شهری، مطالعه موردی: تصفیه‌خانه فاضلاب ساری

سمیه سادات علویان پطرودی[1]، سید حسین هاشمی[2*]

دانشجوی دکتری محیط زیست پژوهشکده علوم محیطی،دانشگاه شهید بهشتی
۲ دانشیار، عضو هیات علمی پژوهشکده علوم محیطی،دانشگاه شهید بهشتی *

h_hashemi@sbu.ac.ir

تاریخ دریافت:۹۸/۷/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۸/۷/۳۰

چکیده

هر چند حضور گسترده میکروپلاستیک‌ها در محیط زیست در مطالعات زیادی نشان داده شده‌است، اما مقدار و منابع تولید آنها چندان مشخص نیست. در این میان، اغلب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به‌عنوان یکی از منابع اصلی تخلیه میکروپلاستیک‌ها به محیط در نظر گرفته می‌شوند. این مقاله برای اولین بار گزارشی از مقدار و ویژگی‌های میکروپلاستیک‌ها در یک تصفیه‌خانه فاضلاب شهری در ایران ارائه می‌دهد. بدین‌منظور، ۳۰ لیتر نمونه مرکب ٢٤ ساعته در ۳ تکرار از خروجی دانه‌گیر تصفیه‌خانه فاضلاب ساری در دو فصل زمستان و بهار ١٣٩٦-١٣٩٧ گرفته شد و پس از عبور نمونه‌ها از الک‌های استیل ۵۰۰، ۳۰۰ و ۳۷ میکرومتر، مواد آلی موجود در نمونه با استفاده از هیدروژن پراکسید هضم و میکروپلاستیک‌ها به روش جداسازی مبتنی بر چگالی با کمک نمک سدیم یدید استخراج و توسط استریومیکروسکوپ و دستگاه میکرورامان بررسی شدند. تعداد میکروپلاستیک در نمونه‌ها در زمستان و بهار به‌ترتیب ٥٦٠±٥١٨٨,٩ و ٦٦٧,٨±١٢٦٦٦,٧ بر مترمکعب بود که تفاوت معنی‌داری را با یکدیگر نشان دادند. نوع غالب میکروپلاستیک‌ها فیبر با تعداد ٥٤٤,٤±٤٩٢٢,٢ و ٦٥٥,٩±١٢٠٢٢,٢ بر مترمکعب به ترتیب در زمستان ٩٦ و بهار ٩٧ بود. در هر دو فصل، فیبرها و ذرات با اندازه ۳۷-۳۰۰ میکرومتر فراوان‌تر بودند و نوع و رنگ غالب فیبرها و ذرات به‌ترتیب پلی‌استر، پلی‌اتیلن و مشکی، آبی تشخیص داده شد. همچنین میزان میکروپلاستیک‌های ورودی به تصفیه‌خانه در دو فصل بهار و زمستان با یکدیگر متفاوت بود که ممکن است ناشی از اثر تغییرات آب و هوایی و فعالیت‌های مردم در دو فصل بر میزان میکروپلاستیک‌های رهاسازی شده به فاضلاب باشد.

واژگان کلیدی: میکروپلاستیک، فیبر، ذره، فاضلاب، منابع آب

۱- مقدمه

هم‌زمان با افزایش تولید و استفاده از پلاستیک در دهه‌های گذشته، مشکلات مربوط به دفع آنها به‌دلیل دوام و استحکام بالا در برابر تخریب، سبب افزایش نگرانی‌های محیط زیستی شده است [1-

[2]. اوایل دهه ۱۹۷۰، اولین گزارش‌ها از تخلیه پلاستیک‌ها به اقیانوس‌ها ارایه شدند، اما توجه اندکی را به خود جلب کردند [3-4]. با گذشت چند سال و آشکار شدن اثرات خرده‌های پلاستیکی بر موجودات دریایی، مطالعات بسیاری درباره آثار مخرب پلاستیک‌ها [5-6-7] شروع شد. ذرات پلاستیکی میکرومقیاس برای اولین بار در اوایل دهه ۱۹۷۰ در محیط دریایی مشاهده شدند [8-9]. اصطلاح میکروپلاستیک اولین بار توسط تامپسون و همکاران مطرح شد [10] . اداره ملی اقیانوسی و اتمسفر آمریکا (NOAA) میکروپلاستیک‌ها را خرده‌های پلاستیکی با اندازه کم‌تر از ۵ میلیمتر تعریف کرد [11]. میکروپلاستیک‌ها براساس ویژگی‌های فیزیکی خود به ذرات (قطعات، فیلم، گلوله، گرانول، لاین، فوم و مهره[1]) و الیاف طبقه‌بندی می‌شوند [13-12-10]. حضور این خرده های پلاستیکی کوچک که از جنس پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن و دیگر پلیمرها می‌باشند، در محیط زیست، به‌ویژه در رودخانه‌ها [15-14]، دریاچه‌ها [17-16] و سواحل [18-10] افزایش یافته است. این شکل از مواد یکی از آلودگی های مهم انسانی هستند که به‌دلیل پتانسیل ایجاد صدمات فیزیکی و شیمیایی برای انواع آبزیان، از زئوپلانکتون تا پستانداران [19]، از طریق انسداد دستگاه گوارش و امکان انتقال آلودگی‌های آلی به بدن موجودات [22-21-20]، به‌عنوان یک نگرانی محیط زیستی جدی مطرح هستند. میکروپلاستیک‌ها پتانسیل انتقال آلودگی‌هایی مانند مواد شیمیایی صنعتی، داروها، هورمون‌ها، آفتکش‌ها و یون‌های فلزی را دارند و باتوجه به‌اندازه کوچک‌شان، ممکن است توسط جانوران تروفیک پایین مصرف شوند [11-23] و مسیری بالقوه برای انتقال آلاینده‌ها، مونومرها و افزودنی‌های پلاستیک به ارگانیسم‌ها به‌وجود آورند که به‌دلیل پیامدهای نامشخص‌شان برای سلامتی، نگرانی‌های جدی به‌وجود آورده‌اند [18]. هم‌چنین میکروپلاستیک‌ها از طریق خوردن غذاهای دریایی آلوده می‌تواند تهدیدی بالقوه برای سلامت انسان [24-19] باشد.

میکروپلاستیک‌ها به دو صورت اولیه و ثانویه می‌باشند. میکروپلاستیک‌های اولیه از ابتدا در اندازه‌های میکروسکوپی تولید و در ساخت مواد پلاستیکی بزرگ‌تر، مواد آرایشی و بهداشتی مانند ذرات پلی‌اتیلن در خمیر دندان استفاده می‌شوند. در مقابل میکروپلاستیک‌های ثانویه، ذرات پلاستیکی کوچک ناشی از تجزیه بقایای پلاستیک‌های بزرگتر طی فرآیندهای زیستی، شیمیایی و فیزیکی می باشند که در دریا و زمین شکل گرفته‌اند [25-26-12] .

میکروپلاستیک‌ها می‌توانند از طریق منابع آبی و زمینی وارد محیط شوند. با این وجود، شناسایی منابع آنها یک مسئله چالش برانگیز در سراسر جهان است [27]. میکروپلاستیک‌های مبتنی بر آب اغلب شامل ذرات ثانویه جدا شده از ماکروپلاستیک‌ها دور ریخته شده در محیط آبی بر اثر هوازدگی، فتولیز و تجزیه میکروبی هستند [15-27]. مسیرهای زمینی میکروپلاستیک‌ها اغلب شامل رواناب شهری و پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب [28-29] می‌باشد که در این میان، فاضلاب نقش مهمی در آنها دارد [13]. در سال‌های اخیر توجه پژوهشگران به بررسی نقش فاضلاب‌های در رهاسازی میکروپلاستیک‌ها به محیط و کارآمدی فرایندهای مختلف تصفیه در کاهش تعداد آن‌ها معطوف شده است [23-30-13]. با این وجود، تاکنون مطالعات اندکی در زمینه تعداد و نوع میکروپلاستیک‌ها در فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه‌ها انجام شده است که می‌توان به Magnai و همکاران [13]، Lares و همکاران [31]، Murphy و همکاران [32]، Talvitie و همکاران [33] و Magnusson و Norén [34] اشاره کرد که تعداد میکروپلاستیک‌ها بر مترمکعب را به‌ترتیب ۳۰۰۰±۲۵۰۰ (>63µm)، ۵۷۶۰۰±۱۲۴۰۰ (>250µm)، ۱۵۷۰۰±۵۲۳۰ (>65µm)، ۶۱۰۰۰۰ (>20µm) و در یک تکرار با حجم نمونه ۰٫۳ لیتر) و ۸۹۰±۱۵۱۰۰ (>300µm) به‌دست آورده‌اند.

علاوه بر مشکلات مربوط به بررسی میکروپلاستیک‌ها در تصفیه‌خانه‌ها به‌علت بار آلی زیاد در ورودی فاضلاب، عدم وجود یک روش استاندارد نمونه‌برداری و استخراج، همواره پژوهشگران را با مشکل رو به رو کرده است، به‌طوری‌که در بیش‌تر مطالعات قبلی، نمونه‌برداری از تصفیه‌خانه‌ها به‌صورت لحظه‌ای بوده که به‌دلیل نوسان کمیت و کیفیت فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه ممکن است ارزیابی مناسبی از تعداد میکروپلاستیک‌های آزاد شده به محیط نباشد. بدین دلیل، نمونه‌برداری مرکب ۲۴ ساعته میکروپلاستیک‌ها پیشنهاد شده است [35-36].

مطالعه حاضر، نخستین بررسی درباره ویژگی‌های میکروپلاستیک‌ها در فاضلاب خام شامل تعداد، اندازه، رنگ و نوع پلیمر در یک تصفیه‌خانه فاضلاب لجن فعال متداول در شهر ساری

1- Fragment, Film, Pellets, Granule, Line, Foam and Bead

و با روش نمونه‌برداری مرکب ۲٤ ساعته می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تصفیه‌خانه مورد مطالعه

این مطالعه در تصفیه‌خانه فاضلاب شهر ساری، مرکز استان مازندران واقع در شمال ایران و جنوب دریای خزر انجام شد. جمعیت تحت پوشش تصفیه‌خانه ۱۰۵،۸۰۰ نفر، ظرفیت یک مادول در حال بهره‌برداری آن ۲۳۲٤۰ مترمکعب بر روز و به‌هنگام مطالعه به طور متوسط ۲۲۰۰۰ مترمکعب فاضلاب دریافت و تا سطح استاندارد تخلیه به آب‌های سطحی تصفیه و پساب به رودخانه تجن وارد می‌شد. تنها دو واحد صنعتی لبنیاتی و نوشابه‌سازی در محدوده تحت پوشش سامانه فاضلاب شهر ساری قرار دارند که هر دو مجهز به تصفیه‌خانه هستند و پساب خود را به شبکه فاضلاب شهری تخلیه نمی‌کنند [37]. مادول دوم تصفیه‌خانه در حال ساخت می‌باشد. فرایند تصفیه فاضلاب لجن فعال متعارف و واحدهای اصلی آن شامل آشغالگیر، دانه‌گیر با هوادهی، اندازه‌گیری دبی، ته‌نشینی اولیه، حوض آنوکسیک، حوض هوادهی، ته‌نشینی ثانویه و گندزدایی و واحدهای تصفیه لجن شامل تغلیظ لجن، هاضم هوازی و آبگیری مکانیکی می‌باشد. هم‌چنین به دلیل توپوگرافی منطقه، در مسیر خط انتقال یک ایستگاه پمپاژ مجهز به آشغالگیر قرار داد. شکل ۱ موقعیت شهر ساری در حاشیه دریای خزر نشان می‌دهد. پساب تصفیه‌خانه فاضلاب ساری به رودخانه تجن تخلیه و در نهایت وارد دریای خزر، بزرگ‌ترین دریاچه بسته جهان، می‌شود. از آنجاییکه هر دو محیط آبی دارای اکوسیستم های آبی بسیار ارزشمند بوده و از نظر محیط زیستی با اهمیت می باشند، آلاینده‌های ورودی به این پهنه‌های آبی نه تنها می‌تواند اثرات منفی بر اکوسیستم داشته باشد، بلکه می‌تواند فعالیت‌های اقتصادی وابسته به آنها مانند صید ماهی را نیز تحت تاثیر قرار دهد.

شکل ۱- موقعیت شهر ساری در جنوب دریای خزر

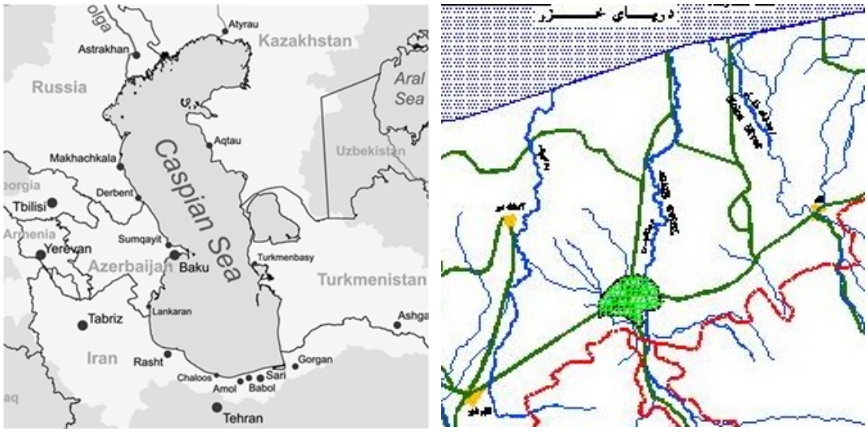

Fig. 1- Sari city on the southern coast of the Caspian Sea

۲-۲- نمونه‌برداری

از آنجاکه روش استانداردی برای نمونه‌برداری از میکروپلاستیک‌ها در فاضلاب وجود ندارد و از طرفی به‌دلیل تغییر نوع فعالیت‌های مصرف‌کنندگان آب، کمیت و کیفیت جریان فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه فاضلاب در طول روز تغییر می‌کند، نمونه‌برداری به‌صورت مرکب ۲٤ ساعته و در ۳ تکرار انجام و ۳۰ لیتر فاضلاب در هر تکرار از خروجی واحد دانه‌گیر در بهمن ۱۳۹٦ و اردیبهشت ۱۳۹۷ برداشت شد. نمونه‌ها در محل از الک‌های استیل ۵۰۰، ۳۰۰ و ۳۷ میکرومتر (مش ۳۵، ۵۰ و ٤۰۰) با روش صاف کردن به صورت ثقلی عبور داده شدند و ذرات باقیمانده بر روی الک‌ها با ۱۰۰۰ml آب مقطر شستشو و درون بطری‌های تمیز ریخته شدند. جهت جلوگیری از رشد میکروارگانیسم‌ها، نمونه‌ها در دمای ٤°C و محیط تاریک نگهداری و به آزمایشگاه منتقل شدند.

۲-۳- استخراج میکروپلاستیک

به‌دلیل مقدار بالای مواد آلی در نمونه‌ها، استخراج میکروپلاستیک‌ها

با استفاده از یک روش ویژه نمونه‌های فاضلاب انجام شد. بدین منظور، ابتدا نمونه از بطری به یک بشر منتقل و در آون در دمای ٧٠°C تا ١٠٠ml تغلیظ شد. سپس، محلول پراکسید هیدروژن ٣٠٪ برای هضم مواد آلی اضافه و نمونه با استفاده از یک هیتر هم‌زن مغناطیسی در دمای ٦٠°C هم‌زده شد. افزایش مقدار محلول هیدروژن پراکسید مصرفی به محتوای ماده آلی نمونه بستگی دارد و تا هضم مواد آلی و دستیابی به یک نمونه شفاف ادامه می‌یابد. سپس، نمونه در دمای ٦٠°C نگه داشته شد تا پراکسید هیدروژن و آب به‌طور کامل تبخیر شود. در گام بعدی، به‌منظور جداسازی مبتنی بر اختلاف چگالی، ١٥ml محلول یدید سدیم با چگالی ١,٧٥-١,٧ g/cm^3 به نمونه خشک شده اضافه شد تا پلیمرها در محلول یدید سدیم شناور شوند. در انتها، نمونه سانتریفیوژ و ذرات شناور با استفاده از مش‌های استیل ٣٧μm با قطر پنج سانتیمتر فیلتر و نمک اضافی با آب مقطر شسته شد [39-38-30-23].

٢-٤- شناسایی میکروپلاستیک‌های مشکوک

روش رنگ‌آمیزی با محلول رز بنگال (٤،٥،٦،٧-تترا کلرو-٢، ٤، ٥، ٧-تترایودوفلورسین) برای شناسایی میکروپلاستیک‌های مشکوک استفاده شد. در این روش ذرات طبیعی مانند الیاف پنبه که از نظر ظاهری مشابه الیاف پلاستیکی هستند، رنگ‌آمیزی و جداسازی چشمی ممکن می‌شود [41-40-23]. جهت کاهش احتمال آلودگی نمونه‌ها، پردازش آن‌ها زیر هود انجام و تمام ظروف با فویل آلومینیوم پوشانده شدند [38]. علاوه بر این، نمونه‌های شاهد جهت تعیین هر گونه آلودگی میکروپلاستیکی ورودی به نمونه‌ها ناشی از شرایط آزمایشگاه، بررسی شدند که هیچ‌گونه آلودگی نشان ندادند.

٢-٥- آنالیز میکروپلاستیک‌ها

٢-٥-١- بررسی مورفولوژیک

به‌منظور جداسازی میکروپلاستیک‌ها، مش‌های حاوی نمونه‌های مربوط به الک‌های ٥٠٠، ٣٠٠ و ٣٧ میکرومتری استخراج شده از مرحله خالص‌سازی، توسط استریومیکروسکوپ دو چشمی مجهز به دوربین (KERN stereo microscope OZL-45, KECAM 10 MP camera) بررسی شدند و میکروپلاستیک‌ها شامل فیبرها (دارای طول بیش‌تر از قطر و ضخامت تقریبا یکسان در طول) و ذرات (کروی یا بی‌شکل و گاهی متخلخل) توسط سوزن جدا و رنگ و تعداد آنها ثبت شد.

٢-٥-٢- بررسی ساختاری

ساختار میکروپلاستیک‌های استخراج شده با استفاده از طیف‌سنج میکروررامان (Confocal Raman microscope, LabRAM HR Evolution - HORIBA) بررسی و به‌منظور تعیین نوع آن‌ها، طیف‌های به‌دست آمده با طیف‌های مرجع مقایسه شدند.

٢-٦- آزمون آماری

به‌منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون شاپیرو-ویلک و جهت بررسی اختلاف در تعداد میکروپلاستیک‌ها (میکروذرات و میکروفیبرها) بین دو فصل از آزمون آماری t مستقل در نرم افزار SPSS16 استفاده شد.

٣- نتایج

٣-١- تعداد ذرات

میکروپلاستیک‌ها در تمام نمونه‌های فاضلاب خام یافت شدند و میانگین تعداد آنها در خروجی واحد دانه‌گیر در فصل‌های بهار و زمستان به‌ترتیب ١٢٦٦٦,٧ MPs/m^3[2] و ٥١٨٨.٩ MPs/m^3 بود (جدول ١) که تفاوت معناداری در دو فصل داشتند ($p<0.01$ ،$t=-٨,٣٢٤$).

هم‌چنین، بررسی میکروسکوپی نمونه‌ها نشان داد میکروپلاستیک‌ها دو نوع فیبر و ذرات هستند و اختلاف معنی‌داری بین تعداد هر یک از آنها در دو فصل وجود دارد ($p<0.05$ ،$t=-٣,٤٥٤,-٨,٣٣٠$). این موضوع می‌تواند دلیل وجود اختلاف معنی‌دار در تعداد کل میکروپلاستیک‌ها در دو فصل بهار ٩٧ و زمستان ٩٦ باشد (جدول١).

جدول ١- میانگین تعداد میکروپلاستیک‌ها، میکروفیبرها و میکروذرات (n=٣) پس از واحد دانه‌گیر تصفیه‌خانه فاضلاب ساری در فصل‌های بهار ٩٧ و زمستان ٩٦ (حروف (a,b) نشان‌دهنده نتیجه آزمون t مستقل و تفاوت بین دو فصل می‌باشد.)

2- Microplastics per cubic meter

Season	MPs/m³ $\bar{N} \pm SE$	Fibers/m³ $\bar{N} \pm SE$	Particles/m³ $\bar{N} \pm SE$
Spring	12666.7±667.8[a]	12022.2±655.9[a]	644.5±58.8[a]
Winter	5188.9±560.0[b]	4922.2±544.4[b]	266.7±38.0[b]

Table 1- The mean number of microplastics, microfibers and microparticles (n=3) after grit removal unit in Sari wastewater treatment plant in spring and winter (a and b indicate independent t-test result and the differences between the seasons).

۳-۲- ویژگی‌های مورفولوژیک

بررسی اندازه میکروپلاستیک‌ها در فصل‌های مختلف نشان داد که بیش‌تر آنها (شکل A) در هر دو فصل بهار ۹۷ و زمستان ۹٦ اندازه‌ای ۳۷–۳۰۰ میکرون دارند. بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی، میکروپلاستیک‌ها به دو نوع فیبرها و ذرات تفکیک شدند. بررسی جزیی تر میکروپلاستیک‌ها نشان داد بیش‌تر فیبرها (شکل C) و ذرات (شکل B) در هر دو فصل اندازه‌ای ۳۷– ۳۰۰ میکرون دارند. هم‌چنین در زمستان هیچ میکروذره‌ای با اندازه بزرگ‌تر از ۳۰۰ میکرون دیده نشد. علاوه بر این، بیش از ۹۰٪ فیبرها دارای رنگ مشکی و آبی و ۱۰۰٪ ذرات دارای رنگ آبی بودند (شکل ۲، نمودار ۱).

نمودار ۱– مقایسه تعداد میکروپلاستیک، میکروفیبر و میکروذرات با اندازه‌های مختلف (محور عمودی نشان دهنده تعداد بر مترمکعب می‌باشد).

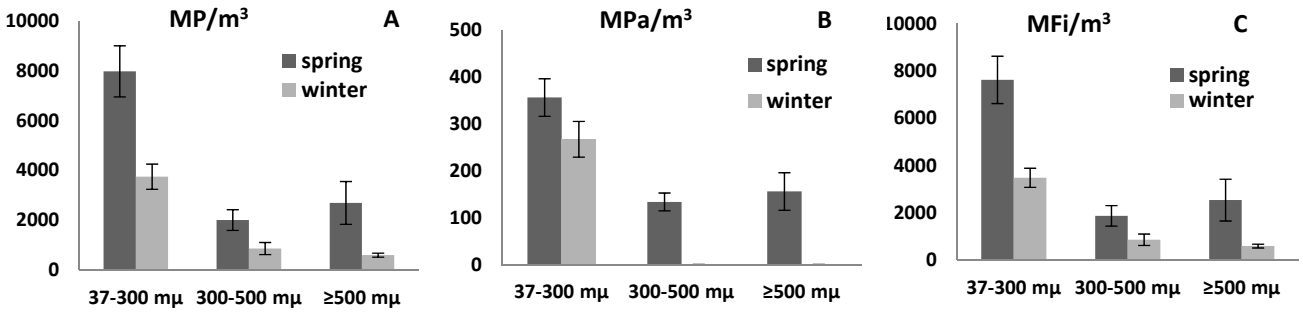

Chart 1- Comparison of the number of microplastics, microfiber and microparticles with different sizes (The Y axis represents the number in m³).

شکل ۲- میکروذرات (چپ) و میکروفیبرها (راست) استخراج شده از فاضلاب ساری

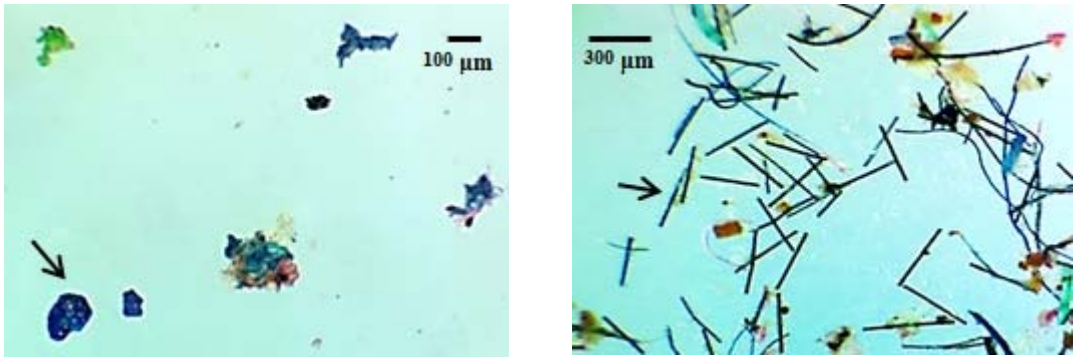

Fig. 2- Extracted microparticles (left) and microfibers (right) after grit removal in Sari wastewater treatment plant

۳-۳- ویژگی‌های ساختاری

به‌منظور حذف میکروپلاستیک‌های مشکوک و تعیین نوع میکروپلاستیک‌ها، نمونه‌های جداسازی شده توسط دستگاه میکروراما‌ن بررسی شدند. پنج نوع پلیمر شامل پلی‌استر، پلی‌آاکریل، نایلون، پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن در فاضلاب یافت شد که نوع غالب برای فیبرها پلی‌استر و برای ذرات پلی‌اتیلن می‌باشد (جدول ۲). هم‌چنین، بررسی فیبرهای مشکوک صورتی رنگ نشان داد که این الیاف ذرات آلی طبیعی می‌باشند که به علت استفاده از

رزبنگال به رنگ صورتی درآمده‌اند.

جدول ۲- درصد نوع پلیمرهای موجود در هر فصل

Season	Fiber			Particle	
	Polyester(%)	Polyacrylic(%)	Nylon(%)	Polyethylene(%)	Polypropylene(%)
Winter	85	5	10	100	-
Spring	57	36	7	91	9

Table 2- Percentage of polymers in each season

٤- بحث

در حالی میکروپلاستیک‌ها در خروجی دانه‌گیر تصفیه‌خانه فاضلاب ساری در هر دو فصل زمستان ٩٦ و بهار ٩٧ مشاهده شدند که مقایسه تعداد ذرات میکروپلاستیک بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار بین تعداد آنها در دو فصل می‌باشد که ممکن است ناشی از تاثیر فصل بر فعالیت‌های مردم باشد. هم‌چنین، اگرچه نمونه‌برداری‌ها در روزهای آفتابی انجام شدند، اما تاثیر ورود نشتاب و رواناب ناشی از بارندگی روزهای پیش از نمونه‌برداری در فصل زمستان به فاضلابروها را شاید بتوان به‌عنوان یک عامل کاهش تعداد ذرات بر مترمکعب به‌دلیل رقیق‌سازی فاضلاب بیان کرد.

تفاوت نتایج مطالعات مختلف انجام شده بر روی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب می‌تواند ناشی از استفاده از روش‌های متفاوت نمونه‌برداری (ساده یا مرکب، زمان نمونه‌برداری، اندازه الک و غیره)، روش استخراج (روش هضم و نمک مورد استفاده)، روش شناسایی و تفاوت‌های اجتماعی، اقتصادی و اقلیمی و سایر عوامل باشد. این موارد بیانگر اهمیت تدوین پروتکل‌های استاندارد برای سنجش میکروپلاستیک‌ها و هم‌چنین توسعه یک یکای یکسان برای گزارش فراوانی آنها به‌منظور تسهیل مقایسه داده‌ها بین سایت‌های مختلف نمونه‌گیری می‌باشد. به‌همین دلیل، مقایسه نتایج کار پژوهشگران مختلف به‌صورت جزیی چندان علمی نمی‌باشد [13]. با این وجود، در پژوهشی مشابه، Murphy و همکاران در تصفیه‌خانه فاضلاب گلاسکو در اسکاتلند با فرایند لجن فعال و ته‌نشینی اولیه و ثانویه، تعداد میکروپلاستیک‌ها را در خروجی دانه‌گیر ۱۵٦۰±۸۷۰۰ عدد بر مترمکعب به‌دست آورده‌اند که تقریبا مشابه میانگین تعداد میکروپلاستیک‌ها در مطالعه حاضر (۹۰۲۰±۱۷٦۳) می‌باشد [32].

بررسی میکروسکوپی میکروپلاستیک‌ها بیانگر غالب بودن فیبرها در فاضلاب ساری در هر دو فصل می‌باشد. هم‌چنین، آنالیز رامان نشان‌دهنده وجود فیبرهای سنتزی (پلی‌استر، پلی‌آکریل و نایلون) در فاضلاب است که منبع اصلی آنها می‌تواند شستشوی البسه و سایر منسوجات مانند فرش‌های ماشینی می‌باشد. در این زمینه Browne و همکاران (۲۰۱۱) دریافتند که در هر بار شستشوی یک لباس به‌طور متوسط بیش از ۱۹۰۰ فیبر رها می‌شود و عالی‌پور و همکاران نشان دادند که شستشوی یک مترمربع فرش ماشینی می‌تواند به طور متوسط حدود ۱۸۰±۱۸۲۵ تا ٦۹± ۳۰۹۸ فیبر رها کند [18-42].

بررسی مورفولوژی و ساختار میکروپلاستیک‌ها نشان می‌دهد که بیش‌تر میکروپلاستیک‌های آبی کروی یا نامنظم و اغلب در محدوده μm۳۰۰-۳۷ و از جنس پلی‌اتیلن هستند که شکل ظاهری آن‌ها شبیه به میکروذرات مورد استفاده در محصولات مراقبت شخصی و آرایش می‌باشد. بدین‌ترتیب، محتمل‌ترین منبع این ذرات می‌تواند محصولات مراقبت شخصی مانند خمیر دندان و اسکراب صورت باشد که به‌هنگام شستشو وارد فاضلاب می‌شوند [23-30]. علاوه بر ذرات پلی‌اتیلن که قسمت اعظم ذرات وجود در هر دو فصل را تشکیل می‌دهد، ذرات پلی‌پروپیلن نیز در فاضلاب فصل بهار مشاهده شد که تنها ۹٪ تعداد کل ذرات می‌باشد که این نوع ذرات هم به میزان کم در ساخت لوازم آرایشی

و بهداشتی استفاده می‌شوند [39].

٥- نتیجه‌گیری

این مطالعه برای اولین بار داده‌های قابل اطمینان در زمینه حضور و مشخصات میکروپلاستیک‌ها شامل میکروذرات‌ها و میکروفیبرها در فاضلاب در ایران را ارائه می‌دهد. با توجه به دبی فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه فاضلاب ساری، برآورد می‌شود که به‌طور متوسط روزانه حدود ١١٤,١٥٦و ٢٧٨,٦٦٧ میلیون میکروپلاستیک به‌ترتیب در زمستان و بهار وارد تصفیه‌خانه می‌شود که با توجه به تعداد بالای آنها می‌توان فاضلاب شهری را یک منبع مهم ورود میکروپلاستیک‌ها به محیط زیست دانست که بایستی فرایندهای موثری برای حذف و دفع نهایی آنها به‌کار گرفت.

هم‌چنین بیش‌تر میکروپلاستیک‌ها اندازه ٣٧-٣٠٠ میکرون دارند که قسمت اعظم آنها فیبرهای پلی‌استر و ذرات پلی‌اتیلن می‌باشند که به‌دلیل سایز کوچک‌شان، نسبت سطح به حجم بالایی دارند. با توجه به توانایی بالای میکروپلاستیک‌ها در جذب سطحی آلاینده‌های آلی و فلزات سنگین، به ویژه پلاستیک‌های با اندازه کوچک‌تر، می‌توانند مخاطرات محیط زیستی قابل توجهی به‌همراه داشته باشند. ورود فاضلاب‌های خام یا تصفیه شده به منابع آب به ویژه منابع آب شیرین مانند رودخانه تجن یا محیط های دریایی مانند دریای خزر که یک پهنه آبی مهم و استراتژیک دارای گونه‌های با ارزش زیستی بالا می‌باشد، اهمیت بررسی میکروپلاستیک‌ها را به‌عنوان یکی از آلاینده‌های مهم انسانی در سال‌های اخیر بسیار پررنگ می‌کند. در سال‌های اخیر در بسیاری از کشورها به شناخت منابع تولید میکروپلاستیک‌ها و میزان ورود آنها به محیط زیست و روش‌های کنترل آنها توجه شده است. با این وجود، بررسی‌های اندکی در این زمینه در محیط‌های آبی و تصفیه‌خانه‌ها و سایر منابع انتشار آنها در ایران انجام شده است. بدین‌ترتیب، این پژوهش به‌عنوان اولین مطالعه بر روی تصفیه‌خانه فاضلاب ساری به عنوان یکی از تصفیه‌خانه‌های مهم شمال کشور، به اهمیت فاضلاب و تصفیه‌خانه در انتشار و دریافت حجم بالای میکروپلاستیک‌ها و لزوم توجه به مدیریت این مواد اشاره می‌کند.

٦- قدردانی

بدین‌وسیله از شرکت آب و فاضلاب استان مازندران به خاطر حمایت ارزشمند و سازنده خود از این پروژه پژوهشی قدردانی می کنیم.

٧- مراجع

[1] Sivan A., 2011 New perspectives in plastic biodegradation. *Current Opinion in Biotechnology*, 22, 422–426.

[2] Barnes David K.A., Galgani F., Thompson R.C., & Barlaz M., 2009 Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments', *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364, 1985-98.

[3] Fowler C.W., 1987 Marine Debris and Northern fur Seals: A Case Study, *Marine Pollution Bulletin*, 18, 326–335.

[4] Colton J.B., & Knapp F.D., 1974 Plastic Particles in Surface Waters of the Northwestern Atlantic, *Science*, 185, 491–497.

[5] Laist D.W., 1997 Impacts of Marine Debris: Entanglement of Marine Life in Marine Debris Including a Comprehensive List of Species with Entanglement and Ingestion Records, *Springer- Verlag, New York*, 99-139.

[6] Clapham, P.J.; Young, S.B. & Brownell, J.R., 1999 Baleen Whales: Conservation Issues andthe Status of the Most Endangered Populations, *Mammal Review*, 29, 35–60.

[7] Erikson C., & Burton H., 2003 Origins and Biological Accumulation of Plastic Particles in fur Seals from Macquarie Island, *Ambio*, 32, 380–384.

[8] Buchanan J. B., 1971 Pollution by synthetic fibres, *Marine Pollution Bulletin*, 2: 23.

[9] Carpenter Edward J., and Smith K.L., 1972 Plastics on the Sargasso Sea surface, *Science*, 175, 1240-41.

[10] 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.

[11] Wright S., Thompson R. & Galloway T., 2013 The Physical impacts of microplastics on marine organisms: A review, *Environmental Pollution*, 178, 483-492.

[12] Lassen C., Hansen S.F., Magnusson K., Hartmann N.B., Jensen P.R., Nielsen T.G. & Brinch A., 2015 Microplastics: occurrence, effects and sources of releases to the environment in Denmark.Miranda D.d.A. & de Carvalho-Souza G.F., 2016 Are we eating

plastic-ingesting fish?. Marine pollution Bulletin, 103 (1-2), 109-114.

[13] Magni S., Binelli A., Pittura L., Avio C.G., Torre C.D., Parenti C.C., Gorbi S. & Regoli, F., 2019 The fate of microplastics in an Italian Wastewater Treatment Plant. Science of the Total Environment, 652, 602-610.

[14] Yonkos L.T., Friedel E.A., Perez-Reyes A.C. & Ghosal S., 2014 Microplastics in four estuarine rivers in the Chesapeake Bay, U.S.A. *Environmental Science & Technology*, 48 (24), 14195 14202.

[15] McCormick A., Hoellein T.J., Mason S.A., Schluep J. & Kelly J.J., 2014 Microplastic is an abundant and distinct microbial habitat in an urban river. *Environmental Science & Technology*, 48 (20), 11863-11871.

[16] Free C.M., Jensen O.P., Mason S.A., Erikson M., Williamson N.J. & Boldgiv B., 2014 High-levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake. *Marine pollution Bulletin*, 85 (1), 156-163.

[17] Eriksen M., Mason S., Wilson S., Box C., Zellers A., Edwards W., Farley H. & Amato, S., 2013 Microplastic pollution in the surface waters of the laurentian great lakes. *Marine pollution Bulletin*, 77 (1-2), 177-182.

[18] Browne M.A., Crump P., Niven S.J., Teuten E., Tonkin A., Galloway T. & Thompson, R., 2011 Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environmental Science & Technology*, 45, 9175–9179.

[19] Miranda D.d.A., de Carvalho-Souza G.F., 2016 Are we eating plastic-ingesting fish? *Marine pollution Bulletin*. 103(1-2), 109-114.

[20] Avio C.G., Gorbi S., Milan M., Benedetti M., Fattorini D., d'Errico G., Pauletto M., Bargelloni L. & Regoli F., 2015 Pollutants bioavailability and toxicological risk from microplastics to marine mussels. *Environmental Pollution*, 198, 211-222.

[21] Chua E.M., Shimeta J., Nugegoda D., Morrison P.D. & Clarke, B.O., 2014 Assimilation of polybrominated diphenyl ethers from microplastics by the marine amphipod, Allorchestes compressa. *Environmental Science & Technology*, 48 (14), 8127-8134.

[22] Cole M., Lindeque P., Halsband C. & Galloway T. S., 2011 Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Marine pollution Bulletin*, 62, 2588–2597.

[23] Ziajahromi S., Neale P.A., Rintoul L. & Leusch F.D.L., 2017 Wastewater treatment plants as a pathway for microplastics: Development of a new approach to sample wastewater-based microplastics. Water Research, 112: 93-99.

[24] Rochman C.M., Tahir A., Williams S., Baxa D.V., Lam L., Miller J., The F.C., Werorilangi S. & The J., 2015 Anthropogenic debris in seafood: Plastic debris and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption. *Scientific Reports*, 5:14340.

[25] Zitko V. & Hanlon M., 1991 Another source of pollution by plastics: skin cleaners with plastic scrubbers. *Marine pollution Bulletin*, 22,41– 42.

[26] Lee J., Hong S., Song Y.K., Hong S.H., Jang Y.C., Jang M. & Shim W.J., 2013 Relationships among the abundances of plastic debris in different size classes on beaches in South Korea. *Marine pollution Bulletin,* 77(1-2), 349-354.

[27] Hammer J., Kraak M.H. & Parsons J.R., 2012 Plastics in the marine environment: the dark side of a modern gift. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 220, 1-44.

[28] Eerkes-Medrano D., Thompson R.C. & Aldridge D.C., 2015 Microplastics in freshwater systems: a review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *Water Research*, 75, 63-82.

[29] Wagner M., Scherer C., Alvarez-Mu~noz D., Brennholt N., Bourrain X., Buchinger S., Fries E., Grosbois C., Klasmeier J., Marti T., Rodriguez-Mozaz S., Urbatzka R., Vethaak A., Winther-Nielsen M. & Reifferscheid G., 2014 Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know. *Environmental Sciences Europe*, 26 (1), 12.

[30] Carr S.A., Liu J. & Tesoro A.G., 2016 Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants. *Water Research*, 91, 174–182.

[31] Lares M., Ncibi M.C., Sillanpää M. & Sillanpää M., 2018 Occurrence, identification and removal of microplastic particles and fibers in conventional activated sludge process and advanced MBR technology. *Water Research*, 133, 236-246.

[32] Murphy F., Ewins C., Carbonnier F. & Quinn B., 2016 Wastewater treatment works (WwTW) as a source of microplastics in the

[39] Rocha-Santos T. & Duarte A.C., 2015 A critical overview of the analytical approaches to the occurrence, the fate and the behavior of microplastics in the environment. *Trends in Analytical Chemistry*, 65, 47-53.

[40] Alexander J., et al. 2016 Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). *EFSA Journal*, 14(6), 4501.

[41] Liebezeit G. & Liebezeit E., 2014 Synthetic particles as contaminants in German beers. *Food Additives& Contaminants: Part A,* 31(9), 1574-1578.

[42] Aalipour S., Hashemi S.H. & Alavian Petroody, S.S., 2018 Microplastic in carpet washing industry wastewater. Master thesis. Shahid Beheshti University (In Persian).

aquatic environment. *Environmental Science & Technology, 50, 5800-5808.*

[33] Talvitie J., Heinonen M., Pääkkönen J.P., Vahtera E., Mikola A., Setälä O. & Vahala R., 2015 Do wastewater treatment plants act as a potential point source of microplastics? Preliminary study in the coastal Gulf of Finland, Baltic Sea. *Water Science and Technology*, 72, 1495-1504.

[34] Magnusson K. & Norén F., 2014 Screening of microplastic particles in and down-stream a wastewater treatment plant, IVL Swedish Environmental Research Institute. No. C55.

[35] Talvitie J., Mikola A., Koistinen A. & Setala, O., 2017 Solutions to microplastic pollution e Removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies, *Water Research*, 123, 401- 407.

[36] 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 Reseach X*, 3, 1-9.

[37] Environmental & Social Assessment for the Project Areas in the Cities of Rasht, Anzali, Sari & Babol, Project management unit international bank for reconstruction & development (IBRD), Ministry of Energy, Pars Ab Tadbir Consulting National Engineering services Engineering Company, 2005.

[38] Nuelle M.T., Dekiff J.H., Remy D. & Fries E., 2014 A new analytical approach for monitoring microplastics in marine sediments. *Environmental Pollution*, 184, 161-169.

Occurrence and Characterization of Microplastics in Urban Wastewater, A Case Study: Sari Wastewater Treatment Plant

Abstract

Plastics are a group of relatively high molecular weight organic materials that are obtained from the polymerization process. Plastics have diverse applications due to variety, lightness, strength and transparency. Given the immense benefits of this valuable commodity efficient cause increased worry environmental concerns. The major concern is for smaller pieces or microplastics (MPs) in the oceans that are not seen with the naked eye with a size less than 5mm. Plastics produced in microscopic size are called primary MPs. Primary MPs are composed of microscopic particles of plastic, also MPS that are transferred to the water ecosystem during industrial activities, physical, chemical or biological degradation of macroplastics and various human activities such as using of scrubs and cosmetics are referred to as secondary MPs. Microplastics have a small size that can be eaten and absorbed by the primary organisms in the food chain. The extensive presence of MPs in the environment has been shown by various studies. However, neither MPs concentrations nor their sources are completely known. Wastewater treatment plants (WWTPs) are considered as significant point sources discharging MPs to the environment. This paper is the first to report on the role of an urban WWTP in Iran, as a source of MPs pollution. Composite 30-liter/24-hour samples in 3 replicates took after the grit removal, during one day of winter and spring 2018. Samples were passed through a series of sieves in size of 500, 300 and 37µm (mesh 35, 50 and 400) and transferred to the laboratory for further processing. The sampled materials on each mesh screen were rinsed into a glass bottles with 1000ml ultrapure water depending on the fouling of mesh screens. In the laboratory, the glass sampling bottles were emptied into clean beakers, and dried at 70°C to concentrate the volume to 100ml. The beakers were placed on magnetic heater stirrers at 60°C and hydrogen peroxide (H_2O_2) solution (30%) was added to beakers to digest of organic matter that was present in the samles, including algae and other organic materials. After digestion of the organic matter and full hydrogen peroxide evaporation, 15 mL of sodium iodide (NaI) solution with a density of 1.70-1.75 g/cm3 were added to the dried sample for to density separation of the MPs from the sand particles. MPs floating in the NaI solution were collected by centrifugation and filtering the supernatant over a 37 µm screen. Then, the specimens were centrifuged and the floating particles were filtered using a screen size of 37µm (400 mesh) and washed with distilled water. To further minimize the overestimation of the suspected MPs, a staining method was applied using the Rose-Bengal solution. After extraction of MPs, their morphology and structure were examined by microscope and micro-Raman. The result showed that the wastewater contained 5188.9±560 and 12666.7±667.8 MPs/m^3 in winter and spring, respectively, with the total numbers of MPs/m^3 differing between the two seasons. The dominant type of MPs in the wastewater was microfibers with 4922.2±544.4 and 12022.2±655.9 per m^3 in winter and spring, respectively. In both seasons, fibers and particles sizes of <300µm were the most abundant in comparison to larger sizes, and given the properties of MPs in the absorption of organic pollutants and heavy metals. Smaller microplastics have a higher surface-to-volume ratio, and thus they will have the greater ability to absorb the contaminants and more risk to the organisms. The predominant type of fibres and particles in this study was polyester and polyethylene, respectively, that these fibers and particles are likely to originate from the washing of synthetic clothing or carpet washing industry wastewater and microbeads in toothpaste and cosmetics, Also, The dominant color of the fibres and particles were identified as black, blue, respectively. The results showed that the number of microplastics entering the treatment plant in two spring and winter seasons were different, which could indicate the effect of climate change and also the activities of people in the two seasons on the number of microplastics released into the wastewater.

Keywords: Microplastic; Fiber; Particle; Wastewater; Water resources