ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

شماره مجوز مجله: ۸۰۴۰۰ زمان چاپ: ۱۴۰۲/۱۲/۲۰

میکروپلاستیک و روش‌های حذف آن از آب

پریناز پیران ینگجه [۱]، ساناز رضاقلی [۲]، حسین گنجی‌دوست [۳]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران – محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس، تهران parinaz.piran@modares.ac.ir

[۲] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران – محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس، تهران sanaz.rezagholi@modares.ac.ir

[۳] استاد گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران h-ganji@modares.ac.ir

چکیده

آلودگی پلاستیک یک موضوع مهم زیست محیطی است و به یک تهدید فرامرزی برای محیط زیست و سلامت انسان تبدیل شده است. افزایش تقاضا برای استفاده از پلاستیک به ناچار منجر به افزایش تولید زباله های پلاستیکی می‌شود. پلاستیک‌ها پلیمرهای باوزن مولکولی بالا هستند که دارای خواص فیزیکی و شیمیایی از جمله دوام و مقاومت در برابر آب و در برابر خوردگی هستند. پلاستیک‌ها توسط رواناب و باد، به رودخانه‌ها و آبراه‌ها منتقل می‌شوند و در نهایت به اقیانوس‌ها می‌رسند. در محیط دریایی نیروهایی مثل عمل موج و تشعشعات فرابنفش قطعات پلاستیکی بزرگ را به قطعات کوچک‌تر تجزیه می‌کنند و در نهایت آن‌هارا به میکروپلاستیک (MPs) تبدیل می‌کنند. میکروپلاستیک‌ها (MPs) یک آلاینده نوظهور است که به یک معضل جهانی تبدیل شده است. به دلیل اندازه کوچک و سبک بودن، به راحتی در محیط‌زیست جابه‌جا می‌شوند و نه تنها آثار مخربی بر محیط‌زیست دارند بلکه به انسان و سایر موجودات زنده نیز آسیب می‌رسانند. اخیرا (MPs) در بافت بدن و خون حیوانات و انسان نیز دیده شده‌است. از این رو حذف ذرات MPs از آب حائز اهمیت است. در سال‌های اخیر روش‌های مختلفی برای حذف MPs از آب بررسی شده است.

کلمات کلیدی: پلاستیک، میکروپلاستیک، حذف میکروپلاستیک از آب، آلودگی آب

۱- تعریف میکروپلاستیک

ذرات پلاستیکی کوچک‌تر از ۵ میلی‌متر به عنوان میکروپلاستیک شناخته می‌شوند. مطالعات اولیه نشان داده است که میکروپلاستیک‌ها می‌توانند در فواصل طولانی مهاجرت کنند و توسط نیروهای خارجی مانند باد، رودخانه‌ها و جریان‌های اقیانوسی هدایت شوند. بنابراین، آن‌ها در اکوسیستم های سراسر جهان از جمله آب و رسوبات سواحل، دریاچه‌ها و رودخانه‌ها و حتی مناطق قطبی، دریاهای عمیق و فلات‌ها حضور دارند. میکروپلاستیک‌ها ذرات پلاستیکی کوچکی هستند که سطح ویژه بزرگ دارند و آبگریز قوی هستند. درحال‌حاضر، پلاستیک یکی از محبوب ترین مواد مصنوعی است که به طور گسترده در تمام حوزه‌های

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

مصرف استفاده می‌شود. حجم تولید پلاستیک در جهان سال به سال افزایش می‌یابد. گسترده‌ترین انواع پلاستیک عبارتنداز پلی اتیلن، پلی پروپیلن، پلی وینیل کلراید و پلی اتیلن ترفتالات(Pozdnyakov و همکاران، ۲۰۲۰). در جدول(۱) دسته بندی پلاستیک ها از نظر اندازه نشان داده شده است(Portoles و همکاران، ۲۰۲۰).

جدول(۱) دسته بندی پلاستیک ها از نظر اندازه

دسته بندی	مخفف	تعریف
Macroplastic (ماکروپلاستیک)	MAP	هر قطعه پلاستیکی به اندازه یا بزرگتر از ۲۵ میلی متر در طول طولانی ترین ابعاد آن
Mesoplastic (مزوپلاستیک)	MEP	هر قطعه پلاستیکی با اندازه کمتر از ۲۵ میلی متر تا ۵ میلی متر در طول طولانی ترین ابعاد آن
Plasticle (پلاستیک)	PLT	تمام قطعات پلاستیکی با اندازه کمتر از ۵ میلی متر در طول طولانی ترین ابعاد خود
Microplastic (میکروپلاستیک)	MP	هر قطعه پلاستیکی با اندازه کمتر از ۵ تا ۱ میلی متر در طول طولانی ترین ابعاد آن
Mini-microplastic (مینی-میکروپلاستیک)	MMP	هر قطعه پلاستیکی با اندازه کمتر از ۱ میلی متر تا ۱ میکرومتر در طول طولانی ترین ابعاد آن
Nanoplastic (نانو پلاسنیک)	NP	هر قطعه پلاستیکی با اندازه کمتر از ۱ میکرومتر در طول طولانی‌ترین ابعاد آن

۱-۱- تقسیم بندی میکروپلاستیک‌ها

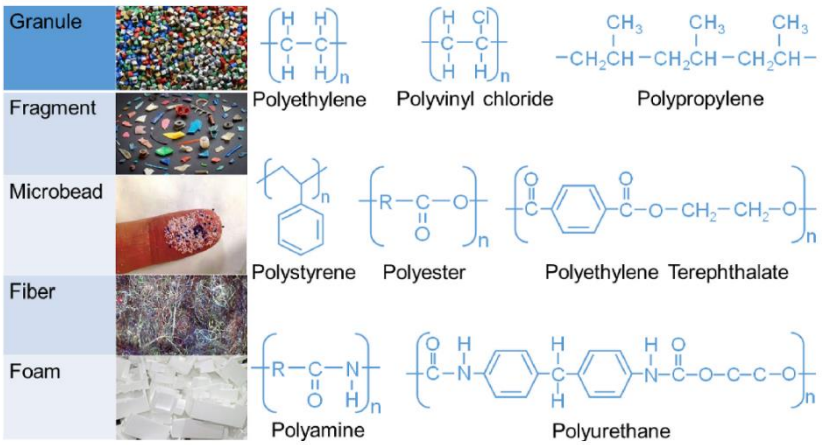
میکروپلاستیک‌ها به دو قسمت اولیه و ثانویه تقسیم می‌شوند. میکروپلاستیک‌های اولیه توسط میکروگرانول‌های پلاستیکی نمایش داده می‌شوند که به طور هدفمند تولید و به محصولات مختلف اضافه می‌شوند و در آن‌ها استفاده می‌شود(Pozdnyakov و همکاران، ۲۰۲۰). میکروپلاستیک‌های اولیه، پلاستیک‌هایی هستند که مستقیماً به شکل ذرات ریز در محیط آزاد می‌شوند. آن‌ها می‌توانند داوطلبانه به محصولاتی مانند مواد پاک‌کننده در لوازم آرایشی و بهداشتی(مانند ژل دوش) اضافه شوند. آن‌ها همچنین می‌توانند از ساییدگی اجسام پلاستیکی بزرگ در طول ساخت، استفاده یا نگهداری، فرسایش لاستیک‌ها در هنگام رانندگی یا ساییدگی منسوجات مصنوعی در حین شستشو منشاء بگیرند. درحالی‌که میکروپلاستیک‌های ثانویه، میکروپلاستیک‌هایی هستند که از تخریب اقلام پلاستیکی بزرگ‌تر به قطعات پلاستیکی کوچک‌تر پس از قرار گرفتن در معرض محیط‌های دریایی منشأ می‌گیرند. این امر از طریق تخریب نوری و سایر فرآیندهای هوازدگی در زباله های مدیریت نشده مانند کیسه‌های پلاستیکی دور ریخته شده یا از دست دادن ناخواسته تورهای ماهیگیری اتفاق می افتد(Boucher و Friot، ۲۰۱۷).

۱-۲-انواع پلیمر میکروپلاستیک‌ها

میکروپلاستیک‌ها از نظر نوع، ترکیب، اندازه و شکل بسیار متنوع هستند. فراوان‌ترین میکروپلاستیک‌ها عبارتند از: پلی‌اتیلن(PE)، پلی‌وینیل کلراید(PVC)، پلی‌پروپیلن(PP)، پلی‌استایرن(PS)، پلی‌استر(PES)، پلی‌اتیلن ترفتالات(PET)، پلی‌آمید(PA) و پلی-اورتان(PUR). در شکل(۱) ساختار مولکولی پلیمرها و شکل‌های مختلف میکروپلاستیک نشان داده شده است. مواد پلیمری میکروپلاستیک‌های اولیه عمدتاً شامل پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن و پلی‌استایرن هستند که بستگی به نوع محصولات تولیدشده توسط کارخانه دارد. درحالی‌که میکروپلاستیک‌های ثانویه عمدتاً از پلی‌استر، اکریلیک و پلی‌آمید ساخته می‌شوند و الیاف را در محیط تشکیل می‌دهند(Ahmed و همکاران، ۲۰۲۲).

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶



شکل(۱)-انواع پلیمر و شکل های مختلف میکروپلاستیک

۲-روش های حذف میکروپلاستیک‌ها از آب

میکروپلاستیک‌ها به دلیل پایداری و دوام، سینتیک کند تخریب، پایداری بالا و نسبت سطح به حجم بالا، افزایش آبگریزی، زمان ماند طولانی و حساسیت بالا به جذب سایر آلاینده‌ها، تهدیدات و نگرانی‌های بالقوه‌ای برای دوستداران محیط‌زیست و زیست‌شناسان ایجاد می‌کند(Sharma و همکاران، ۲۰۲۱). برخلاف ذرات بزرگ پلاستیک، میکروپلاستیک‌ها را نمی‌توان با استفاده از روش‌های حذف معمولی مانند رسوب‌گذاری حذف کرد. بنابراین، تحقیقات گسترده‌ای به سمت توسعه روش‌های حذف و فیلتراسیون برای خالص‌سازی و بی‌آلودگی موجودات زنده از میکروپلاستیک‌ها انجام شده است(Barcelo و Pico ، ۲۰۲۰).

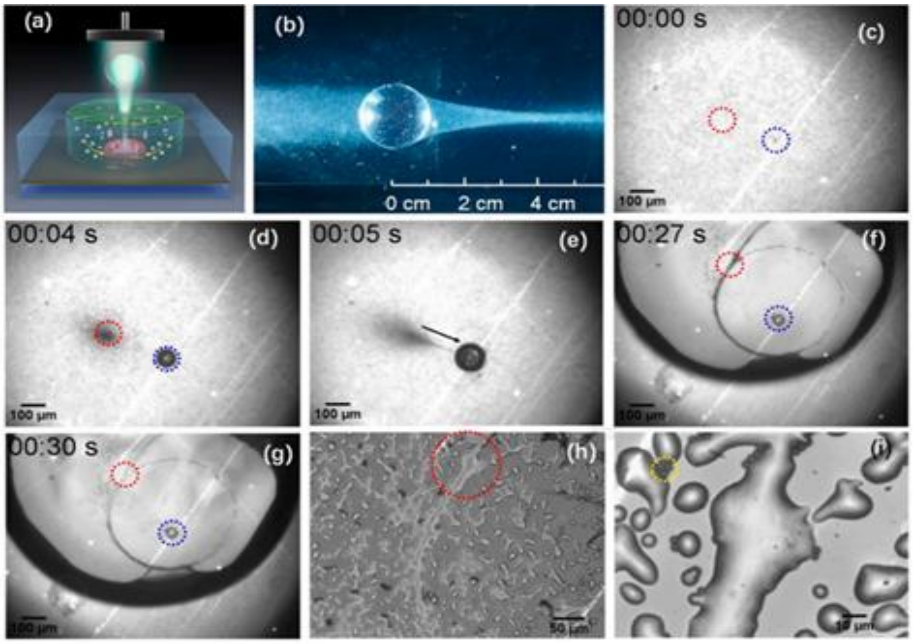
۲-۱-حذف میکروپلاستیک‌ها توسط انرژی خورشیدی

Wangو همکاران (۲۰۲۲)، یک استراتژی جدید برای حذف کارآمد ذرات پلاستیکی در آب که توسط انرژی خورشیدی هدایت می‌شود، پیشنهاد دادند. آن‌ها یک میکروحباب داغ کردند که به عنوان یک‌کوره برای جمع‌آوری و ذوب نانو/میکروپلاستیک‌ها در آب با تمرکز نور خورشید به یک نقطه کوچک از طریق یک توپ شیشه‌ای کروی عمل کرد. اثر گرما در نقطه نور متمرکز می‌تواند جریان همرفتی را القا کند که می‌تواند ذرات پلاستیک را به مرکز نقطه سوق دهد، در حالی‌که تشکیل یک میکروحباب داغ می‌تواند ذرات پلاستیک را به توده‌های بزرگ تبدیل کند و حذف کارآمد ذرات پلاستیک در محلول را بدون استفاده از معرف یا فیلترهای شیمیایی یا بیولوژیکی تسهیل کند. این روش کاملاً پایدار است زیرا می‌تواند به طور مؤثر از انرژی خورشیدی استفاده کند، نه نیاز به انرژی اضافی دارد و نه باعث آلودگی ثانویه(همجوشی)می‌شود، که بسیار ساده و کم هزینه است، که حاکی از کاربرد امیدوارکننده آن در رسیدگی به آلودگی پلاستیکی رو به رشد در اکوسیستم های آبی است. آن‌ها دریافتند: اندازه حباب به قدرت پرتو لیزر بستگی دارد، قدرت پرتو لیزر باید بیشتر از ۳۰ مگاوات باشد تا حباب تشکیل شود. دما در مرکز با افزایش توان لیزر می تواند بالاتر باشد، که نشان می‌دهد دمای موجود در حباب میکرو با توان لیزر متفاوت قابل کنترل است. راندمان جمع‌آوری مستقل از اندازه (حدود ۶۰٪ پس از ۸ دقیقه) ذرات پلاستیک زمانی که اندازه آن‌ها کوچکتر از ۱ میکرومتر بود (نانو پلاستیک)، که در آن ذرات پلاستیک به طور همگن در محلول توزیع شده بودند، نشان می‌دهد که راندمان جمع‌آوری احتمالاً به

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

همرفت محلول وابسته است. در مورد میکروپلاستیک ها (بیشتر از ۱ میکرومتر)، راندمان جمع آوری بالاتر بود. در شکل(۲) شیوه حذف میکروپلاستیک با استفاده از این روش نشان داده شده است(Wang و همکاران، ۲۰۲۲).



شکل(۲)-حذف میکروپلاستیک با استفاده از انرژی خورشیدی

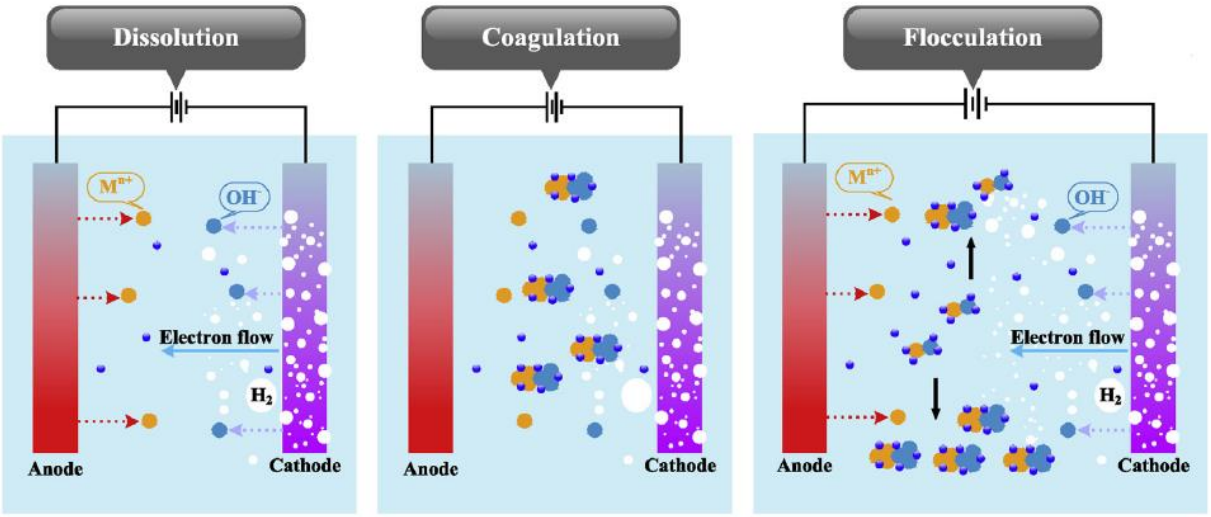
۲-۲-حذف میکروپلاستیک‌ها به روش انعقاد الکتریکی

انعقاد الکتریکی یک فرآیند تصفیه ارزان‌تر را فراهم می‌کند که متکی به مواد شیمیایی یا میکروب‌های مورد استفاده در انعقاد شیمیایی عمومی و فرآیندهای لجن فعال معمولی نیست. انعقاد الکتریکی از الکترودهای فلزی برای تولید منعقد کننده‌های الکتریکی استفاده می‌کند و در نتیجه فرآیند انعقاد را ساده و قوی می‌کند. انعقاد الکتریکی فرآیند پیچیده‌ای است که در آن کاتیون‌ها توسط الکترودهای فلزی تحت تأثیر میدان الکتریکی تولید می‌شوند. از تولید یون‌ها و تا تشکیل لخته‌ها، سه مرحله متوالی وجود دارد. در شکل (۳) ابتدا تحت تأثیر میدان‌الکتریکی، الکترون‌ها در آند تولید می‌شوند تا میکرو منعقدکننده‌ها، هیدروکسیدهای Fe^{3+} یا Al^{3+} را تشکیل دهند. ذرات معلق و آلاینده‌های کلوئیدی در آب پایداری خود را تحت تأثیر مواد منعقدکننده از دست می‌دهند و پس از بی‌ثباتی، ذرات آلاینده و میکرومنعقدکننده‌ها با یکدیگر برخورد می‌کنند و ریزلخته‌ها را تشکیل می‌دهند. از آنجایی که محصول واکنش الکترولیتی در فرآیند انعقاد الکتریکی فقط یون است، به اکسیدان یا احیاکننده نیاز ندارد و آلودگی به محیط زیست تولید نمی‌شود، به آن روش تصفیه آب، سازگار با محیط زیست می‌گویند. انعقاد الکتریکی دارای مزایای سازگاری با محیط زیست، اتوماسیون آسان، به حداقل رساندن لجن، بهره‌وری انرژی و هزینه سرمایه پایین است و برای حذف سایر آلاینده‌ها در آب آشامیدنی استفاده شده است(Shen و همکاران، ۲۰۲۰). اخیراً Perren و همکاران (۲۰۱۸)، عملکرد انعقاد الکتریکی را برای حذف میکروپلاستیک در شرایط آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار دادند. اثرات ویژگی‌های آب، مانند pH، چگالی جریان و هدایت و غلظت (۰/۱-۰گرم در لیتر) و اندازه ذرات (۳۵۵-۳۰۰ میکرومتر) میکروپلاستیک‌ها (PE)بر راندمان حذف به طور کامل مورد مطالعه قرار گرفت. مشخص شد که حذف میکروپلاستیک‌ها از آب توسط انعقاد الکتریکی موثر

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

است و راندمان حذف میکروپلاستیک‌های پلی‌اتیلن همگی بیش از ۹۰ درصد است. راندمان حذف بهینه بایدpH=۷/۵ در شرایط۹۹/۲۴٪ مشاهده شود. نتایج نشان داد که pH خنثی و بالاتر آب به دلیل تولید بیشتر موادمنعقدکننده در این شرایط، رسانایی بیشتری برای حذف آلاینده‌ها دارد و سایر تحقیقات نیز این پدیده را گزارش کرده‌اند. در چگالی جریان بالا، کاهش راندمان حذف میکروپلاستیک پلی‌اتیلن عمدتاً به دلیل افزایش مصرف انرژی است، اما بهبود راندمان حذف آشکار نیست. هدایت آب هیچ تاثیر آشکاری بر راندمان حذف ندارد و راندمان حذف با گذشت زمان افزایش یافته و پس از ۴۰ دقیقه به حالت ثابت می رسد. اگرچه محدودیت‌هایی در این تحقیق وجود دارد، اما با توجه به راندمان حذف میکروپلاستیک‌ها و هزینه‌های عملیاتی، این تکنیک از آزمایشگاه به صنعت قابل انتقال و تکرار است(Perren و همکاران، ۲۰۱۸).



شکل(۳)-حذف میکروپلاستیک‌ها توسط روش انعقاد الکتریکی

۳-۲-حذف میکروپلاستیک‌ها به روش اکسیداسیون پیشرفته

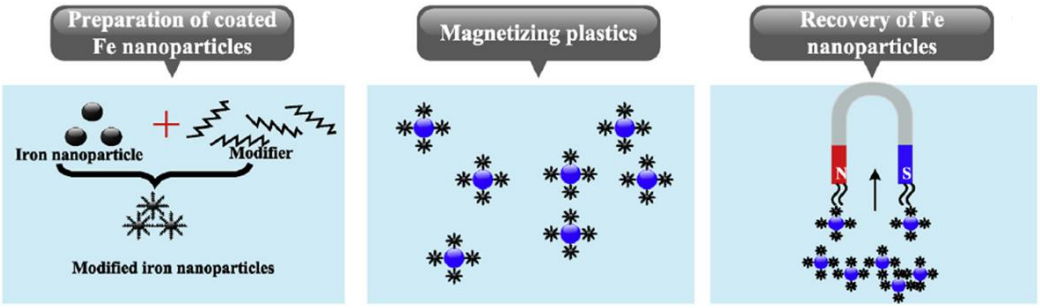
از روش‌های شیمیایی برای تجزیه میکروپلاستیک‌ها شامل ازن‌زنی و تکنیک‌های اکسیداسیون پیشرفته است. تغییر طبیعی پلی‌استایرن و میکروپلاستیک‌های پلی‌اتیلن با چگالی بالا هنگام قرارگرفتن در معرض فرآیندهای‌اکسیداسیون پیشرفته (AOPs)، مانند تیمارهای فنتون و $K_2S_2O_8$ گرما فعال شده، توسط Liu و همکاران ارزیابی شد. نتایج نشان داد که تیمار پرسولفات فعال شده با گرما اثرات بارزتری را نشان می‌دهد و نرخ اکسیداسیون بالاتری را در مقایسه با تیمار فنتون ایجاد می‌کند که منجر به ترک‌خوردگی قابل توجه‌تر در نمونه‌ها و سرعت تخریب سریع‌تر می‌شود. محققان پیشنهاد کردند که تیمار فنتون دارای ظرفیت اکسیداسیون پایین‌تری است که اثرات تخریب کمتری را به همراه داشت. این به دلیل اشباع شدن سطح میکروپلاستیک‌ها از طریق رسوب و جذب هیدروکسید آهن است که مانع از حملات موثر رادیکال‌های OH می‌شود. پیشنهاد می‌شود که AOPها می‌توانند سرعت تخریب میکروپلاستیک‌ها را تسریع کنند و می‌توانند با روش‌های دیگر برای حذف مؤثر، ترکیب شوند(Liu و همکاران، ۲۰۱۹).

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

۲-۴-حذف میکروپلاستیک‌ها توسط استخراج مغناطیسی

اخیراً،Grbic و همکاران(۲۰۱۹)، عملکرد استخراج مغناطیسی را برای حذف میکروپلاستیک از آب مورد مطالعه قرار دادند. استخراج مغناطیسی یک فناوری جداسازی است که از دانه‌های مغناطیسی و اسید با میدان‌مغناطیسی خارجی برای بهبود سرعت جداسازی استفاده می‌کند. نانوذرات آهن به دلیل قیمت پایین، سطح ویژه بالا و خواص فرومغناطیسی به عنوان دانه مغناطیسی در این تحقیق انتخاب شدند. نانوذرات‌آهن با هگزادسیل‌تری متوکسی سیلان پوشانده شدند تا آبگریز شوند و در نتیجه امکان جداسازی میکروپلاستیک‌ها از آب با استخراج مغناطیسی فراهم شود. سه محدوده اندازه میکروپلاستیک، بزرگ (۸-۱ میلیمتر)، متوسط (۱میلیمتر-۲۰۰ میکرومتر) و کوچک (<۲۰ میکرومتر)، مورد آزمایش قرارگرفتند. شکل(۴)آماده سازی نانوذرات‌آهن پوشش داده شده و حذف میکروپلاستیک‌ها با استخراج مغناطیسی را نشان می‌دهد(Shen و همکاران، ۲۰۲۰). مشخص شد که بازیابی میکروپلاستیک‌های متوسط(۲۰۰ میکرومتر-۱ میلی‌متر) به ترتیب ۸۴ درصد و ۷۸ درصد از آب شیرین و رسوب اندازه-گیری شد. برای میکروپلاستیک‌های کوچک(<۲۰ میکرومتر)، ۹۲ درصد از میکروپلاستیک‌های پلی‌اتیلن و پلی‌اتیلن از آب دریا بازیابی شدند. نتایج نشان داد که استخراج مغناطیسی باعث حذف بهتر میکروپلاستیک‌های کوچک می‌شود. برای رسوبات، بازیابی کم بود؛ زیرا ذرات خاک مانع از برخورد نانوذرات‌آهن با میکروپلاستیک می‌شود. علاوه‌براین، اگر مواد چربی‌دوست یا موجودات زنده در نمونه‌های‌رسوبی وجود داشته‌باشد، اتصال غیراختصاصی نانوذرات به میزان قابل‌توجهی اثر را کاهش می‌دهد. بنابراین، نویسندگان گزارش کردند که این‌روش می‌تواند برای تصفیه‌آب‌آشامیدنی مناسب‌تر باشد(Grbic و همکاران، ۲۰۱۹).



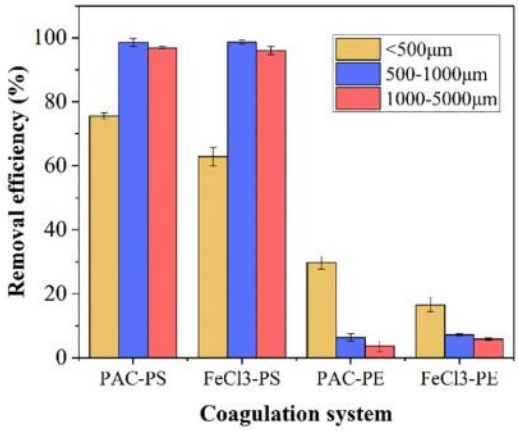
شکل(۴)-حذف میکروپلاستیک با نیروی مغناطیسی

۲-۵-حذف میکروپلاستیک‌ها از طریق انعقاد به واسطه PAC و $FeCl_3$

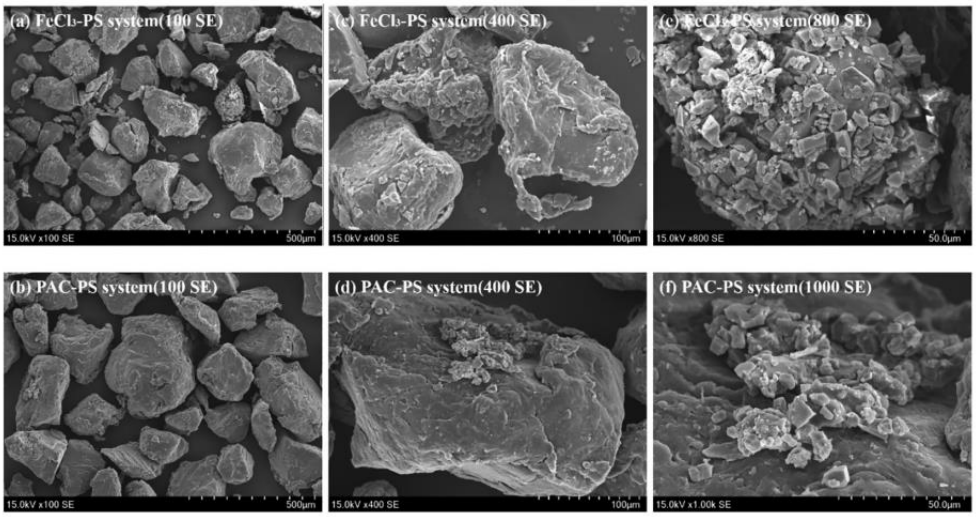
در مقاله Zhou و همکاران(۲۰۲۱)، عملکرد و مکانیسم حذف میکروپلاستیک‌های پلی‌استایرن (PS) و پلی اتیلن (PE) با استفاده از انعقاد PAC(پلی‌آلومینیوم‌کلرید)و$FeCl_3$ موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که PAC در راندمان حذف میکروپلاستیک PS و PE بهتر از$FeCl_3$ بود. خنثی‌سازی بار در فرآیند انعقاد اتفاق افتاد. در شکل(۵) راندمان حذف این دو روش در دو نوع پلیمرذکرشده نشان داده‌شده‌است. شکل(۶) تصاویر SEM هستند که نشان می‌دهد تجمع و جذب در سیستم PSرخ داده است، و طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR) نشان‌داد که پیوندهای جدیدی در طول تعامل بین میکروپلاستیک‌های PS و منعقدکننده‌ها تشکیل شده‌اند. علاوه بر این، محصولات هیدرولیز منعقدکننده‌ها نقش‌اصلی را به جای فرآیند هیدرولیز در سیستم PS و سیستم PE ایفا کردند. راندمان حذف میکروپلاستیک‌ها در شرایط قلیایی بیشتر از شرایط اسیدی بود Cl- تأثیرکمی بر راندمان حذف میکروپلاستیک‌ها داشت، در حالی که SO_4^{-2} و CO_3^{-2} به ترتیب اثرات بازدارنده و ترویجی داشتند. افزایش سرعت هم‌زدن می تواند راندمان حذف میکروپلاستیک‌ها را بهبود بخشد(Zhou و همکاران، ۲۰۲۱).

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶



شکل(۵)-راندمان حذف پلیمر PS و PE از طریق انعقاد به واسطه PAC و $FeCl_3$



شکل(۶)-تصاویر SEM مربوط به حذف پلیمر PS از طریق انعقاد به واسطه PAC و $FeCl_3$

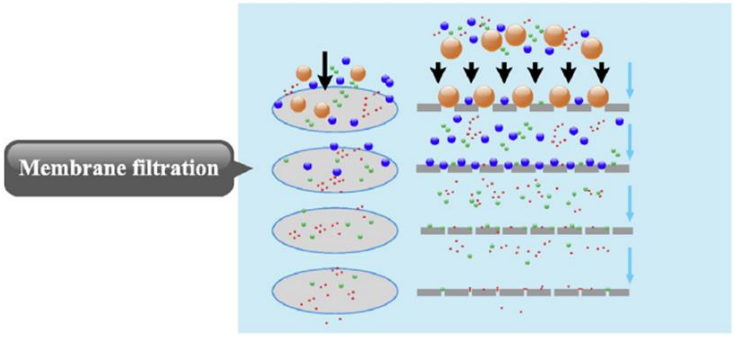
۶-۲-حذف میکروپلاستیک‌ها به روش جداسازی غشایی

فناوری جداسازی غشایی اغلب برای تصفیه پیشرفته آب آشامیدنی مورد استفاده قرار می‌گیرد که دارای مزایای کیفیت پساب پایدار و عملکرد ساده است. بسته به اندازه غشاء، فناوری جداسازی غشا را می توان به اولترافیلتراسیون، نانوفیلتراسیون و اسمز معکوس تقسیم کرد. ممبران دارای گزینش پذیری و جداسازی قوی است که می تواند به طور موثر آلاینده های آلی، یون های چند ظرفیتی و محصولات جانبی ضدعفونی را حذف کند و در عین‌حال سختی‌آب را کاهش دهد. شکل(۷)اصل فناوری جداسازی غشایی را برای تصفیه‌آب نشان می‌دهد. تحت عمل اختلاف فشار، اندازه منافذ غشاء برای رهگیری ذرات در آب‌های‌خام استفاده می‌شود. فناوری جداسازی غشایی در حذف باکتری‌ها، موادجامد معلق و آهن از آب‌آشامیدنی موفق بوده‌است، اکنون روشی عملی برای مبارزه با آلودگی میکروپلاستیک موجود در جریان‌های آب‌آشامیدنی ارائه می‌شود. فناوری جداسازی غشایی به عنوان یک مانع فیزیکی در برابر میکروپلاستیک‌ها عمل می‌کند. برخلاف سایر دستگاه‌ها، که عموماً برای حذف میکروپلاستیک‌ها طراحی نشده‌اند، اندازه ذرات میکروپلاستیک‌ها در محدوده مشابه غشاها است که آنها را قادر می‌سازد تا میکروپلاستیک‌ها را به طور موثر از آب حذف کنند. میکروپلاستیک‌ها و سایر ناخالصی‌های جدا شده ایمن هستند که در حجم کمی آماده برای تصفیه بیشتر

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

هستند. با این‌وجود، تحقیقات کمی در مورد حذف میکروپلاستیک‌ها از آب آشامیدنی توسط فناوری جداسازی غشایی وجود دارد(Shen و همکاران، ۲۰۲۰).



شکل(۷)-حذف میکروپلاستیک‌ها از آب به روش جداسازی غشایی

۳- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

میکروپلاستیک‌ها آلاینده نوظهوری هستند که به وفور در منابع مختلف آب (مانند آب شیرین، فاضلاب، آب های زیرزمینی و اقیانوس‌ها) یافت می‌شوند. آن‌ها به دلیل پایداری و دوام، سینتیک کند تخریب، پایداری بالا و نسبت سطح به حجم بالا، افزایش آبگریزی، زمان ماند طولانی و حساسیت بالا به جذب سایر آلاینده‌ها، ضرر و زیان‌هایی را برای انسان و محیط زیست به دنبال دارند. به همین جهت، حذف این آلاینده از آب، حائز اهمیت است.در سال‌های اخیر، روش‌های حذف مختلفی انجام شده‌است که به نظر می‌رسد در سال‌های آتی روش های نوین و سازگار با محیط زیست مانند حذف میکروپلاستیک‌ها با انرژی خورشیدی اهمیت بسزایی خواهدداشت.

مراجع

۱. Ahmed, R., Hamid, A. K., Krebsbach, S. A., He, J., & Wang, D. (۲۰۲۲). Critical review of microplastics removal from the environment. Chemosphere, ۱۳۳۵۵۷. (https://doi.org/۱۰,۱۰۱۶/j.chemosphere.۲۰۲۲,۱۳۳۵۵۷)

۲. Barcelo, D., & Pico, Y. (۲۰۲۰). Case studies of macro-and microplastics pollution in coastal waters and rivers: is there a solution with new removal technologies and policy actions?. Case studies in chemical and environmental engineering, ۲, ۱۰۰۰۱۹. (https://doi.org/۱۰,۱۰۱۶/j.cscee.۲۰۲۰,۱۰۰۰۱۹)

۳. Boucher, J., & Friot, D. (۲۰۱۷). Primary microplastics in the oceans: a global evaluation of sources (Vol. ٤۳). Gland, Switzerland: Iucn. (https://doi.org/۱۰,۲۳۰۵/IUCN.CH.۲۰۱۷,۰۱.en)

٤. Grbic, J., Nguyen, B., Guo, E., You, J. B., Sinton, D., & Rochman, C. M. (۲۰۱۹). Magnetic extraction of microplastics from environmental samples. Environmental Science & Technology Letters, ٦(۲), ٦۸-۷۲. (https://doi.org/۱۰,۱۰۲۱/acs.estlett.۸b۰۰٦۷۱)

٥. Liu, P., Qian, L., Wang, H., Zhan, X., Lu, K., Gu, C., & Gao, S. (۲۰۱۹). New insights into the aging behavior of microplastics accelerated by advanced oxidation processes. Environmental science & technology, ٥۳(۷), ۳٥۷۹-۳٥۸۸. (https://doi.org/۱۰,۱۰۲۱/acs.est.۹b۰۰٤۹۳)

٦. Perren, W., Wojtasik, A., & Cai, Q. (۲۰۱۸). Removal of microbeads from wastewater using electrocoagulation. ACS omega, ۳(۳), ۳۳٥۷-۳۳٦٤. (https://doi.org/۱۰,۱۰۲۱/acsomega.۷b۰۲۰۳۷)

۷. Portolés Pérez, E. (۲۰۲۰). Estudio de los microplásticos en el agua-estados actuales y desafíos futuros (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).

ISSN ۲۹۸۰-۷۷۸۶

۸. Pozdnyakov, S. R., Ivanova, E. V., Guzeva, A. V., Shalunova, E. P., Martinson, K. D., & Tikhonova, D. A. (۲۰۲۰). Studying the concentration of microplastic particles in water, bottom sediments and subsoils in the coastal area of the Neva Bay, the Gulf of Finland. Water resources, ٤٧(٤), ٥٩٩-٦٠٧.(https://doi.org/١٠,١١٣٤/S٠٠٩٧٨٠٧٨٢٠٠٤٠١٣٢)

۹. Sharma, S., Basu, S., Shetti, N. P., Nadagouda, M. N., & Aminabhavi, T. M. (۲۰۲۱). Microplastics in the environment: Occurrence, perils, and eradication. Chemical Engineering Journal, ٤٠٨, ١٢٧٣١٧. (https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.cej.٢٠٢٠,١٢٧٣١٧)

۱۰. Shen, M., Song, B., Zhu, Y., Zeng, G., Zhang, Y., Yang, Y., ... & Yi, H. (۲۰۲۰). Removal of microplastics via drinking water treatment: Current knowledge and future directions. Chemosphere, ٢٥١, ١٢٦٦١٢. (https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.chemosphere.٢٠٢٠,١٢٦٦١٢)

۱۱. Wang, P., Huang, Z., Chen, S., Jing, M., Ge, Z., Chen, J., ... & Fang, Y. (۲۰۲۲). Sustainable removal of nano/microplastics in water by solar energy. Chemical Engineering Journal, ٤٢٨, ١٣١١٩٦. (https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.cej.٢٠٢١,١٣١١٩٦)

۱۲. Zhou, G.Y., Wang, Q.G., Li, J., Li, Q.S., Xu, H., Ye, Q., et al., ۲۰۲۱. Removal of polystyrene and polyethylene microplastics using PAC and FeCl٣ coagulation: performance and mechanism. Sci. Total Environ. ٧٥٢. https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.scitotenv.٢٠٢٠,١٤١٨٣٧.