

رتبه اول سومین دوره مسابقه ایده‌های برتر در علوم و مهندسی آب و فاضلاب
(برگزار شده توسط انجمن آب و فاضلاب ایران، سال ۱۴۰۰)



عنوان: بررسی جذب و تجزیه میکرو/نانوپلاستیک‌ها در پساب خروجی تصفیه خانه فاضلاب توسط بیوجار حاصل از لجن

نگارندگان: دکتر مهتاب باغبان^۱، الهام گودینی^۲

۱- دکتری تخصصی نانو فناوری، مدیر مرکز پایش و نظارت بر کیفیت آب و فاضلاب، شرکت آب و فاضلاب استان تهران

۲- دانشجوی دکتری میکروبیولوژی، کارشناس آزمایشگاه شرکت آب و فاضلاب استان تهران

تاریخ: اسفند ۱۴۰۰

چکیده

مقدمه

تصفیه و استخراج میکروپلاستیک‌ها از ماتریکس اصلی آن‌ها اعمال می‌شود. روش‌های فوق شامل: پراکسیداسیون کاتالیتیک با استفاده از NaClO ، H_2O_2 و معرف فنتون، تخریب آنزیمی، تصفیه قلیایی و تصفیه اسیدی است.

تخمین زده می‌شود که یک تصفیه‌خانه فاضلاب می‌تواند تا 10^{10} پارتیکل را در روز از طریق پساب خروجی آزاد کند. اگرچه ممکن است در بعضی موارد راندمان حذف به ۹۹٪ برسد، تعداد زیادی از میکروپلاستیک‌ها هنوز از طریق شبکه‌های تصفیه‌خانه در محیط زیست آزاد می‌شوند که منجر به آلودگی اکوسیستم‌های آبی می‌شود.

ذرات میکرو/نانوپلاستیکی طی فرآیندهای تصفیه فاضلاب با نیروهای برشی مختلفی که ناشی از اختلاط یا پمپاژ است روبرو می‌شوند که آن‌ها را به ذرات کوچکتر تقسیم کرده و باعث افزایش تعداد نانوپلاستیک‌های سمی آزاد شده در آب می‌شود. فرآیندهای تصفیه هم‌چنین می‌توانند خصوصیات فیزیکی و شیمیایی میکرو/نانوپلاستیک‌ها را تغییر داده و بر تعاملات بین این ذرات و سایر آلاینده‌های موجود در آب تأثیر بگذارند. مواد آلی در فرآیند لجن فعال نیز می‌توانند سطح میکرو/نانوپلاستیک‌ها را اکسید کرده و زبری و تخلخل آن‌ها را افزایش دهند و منجر به افزایش ده برابری جذب آلاینده‌های مختلف توسط آن‌ها شوند. بسترهای پلاستیکی به‌عنوان زیستگاه میکروبی برای میکروارگانیزم‌های آبی در نظر گرفته می‌شوند که با ایجاد یک بیوفیلم در سطح میکروپلاستیک‌ها آن‌ها را کلونیزه می‌کنند. بیوفیلم‌ها هم‌چنین می‌توانند ویژگی‌های سطحی میکروپلاستیک‌ها را با کاهش

سالانه مقدار زیادی پلاستیک وارد محیط‌های آبی می‌شود که دلیل اصلی آن مدیریت ضعیف ضایعات پلاستیکی است. میکروپلاستیک‌ها معمولاً به ذرات پلاستیکی با اندازه $0.1 \mu\text{m}$ تا 5mm اطلاق می‌شود، در حالی که ذرات پلاستیکی با اندازه کمتر از $0.1 \mu\text{m}$ به‌عنوان نانوپلاستیک تعریف می‌شوند. تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به‌عنوان یک مسیر عمده انتشار میکروپلاستیک‌ها به محیط‌های آبی مطرح هستند. تقریباً ۳۵٪ میکروپلاستیک‌ها در محیط‌های آبی، الیاف مصنوعی حاصل از شستشوی پوشاک هستند. تخمین زده می‌شود که به‌ازای شستشوی هر کیلوگرم لباس $308-124$ میلی‌گرم میکروفیبر وارد سیستم فاضلاب می‌شود که معادل با $150000-640000$ میکروفیبر است. میکروپلاستیک و نانوپلاستیک آلاینده‌های خطرناک نوظهوری هستند که به محیط زیست، موجودات زنده و سلامت انسان آسیب می‌رسانند. تصفیه‌خانه‌های فاضلاب ممکن است برخی از میکروپلاستیک‌ها را بسته به واحدهای تصفیه از بین ببرند. با این حال نشان داده شده است که میکروپلاستیک‌ها می‌توانند سیستم‌های تصفیه فاضلاب را دور بزنند، وارد محیط‌های آبی شده و در نهایت در محیط جمع شوند. تشخیص میکروپلاستیک‌ها در سیستم‌های تصفیه فاضلاب معمولاً شامل سه مرحله جمع‌آوری نمونه، پیش تیمار نمونه و تعیین خصوصیات میکروپلاستیک‌ها است. از آن‌جا که نمونه‌های به‌دست آمده از سیستم‌های تصفیه فاضلاب ممکن است حاوی غلظت بالایی از مواد آلی یا مواد جامد غیرآلی باشند، روش‌های مختلفی برای

هیدروفوبیسیته آن‌ها و افزایش زبری تغییر دهند. از این‌رو جذب آلاینده‌هایی مانند PAHs و DDTs تسهیل می‌شود و گسترش آلاینده‌ها را در محیط افزایش می‌دهد. از سوی دیگر فاضلاب خروجی حاوی جوامع میکروبی خاصی است که می‌تواند شامل پاتوژن‌های انسانی بالقوه و ژن‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک باشد. اگر میکروپلاستیک و پاتوژن‌های بالقوه به‌طور هم‌زمان آزاد شوند، ذرات میکروپلاستیک ممکن است یک جایگاه اکولوژیک برای پاتوژن‌های مشتق شده از فاضلاب فراهم کنند. از سوی دیگر ذرات پلاستیکی می‌توانند به‌عنوان بستری برای محافظ باکتری‌ها عمل کنند که می‌توانند در برابر فرآیند گندزدایی فاضلاب با استفاده از ازن، تابش اشعه ماورای بنفش یا کلرزنی مقاومت کنند.

به‌دلیل مخاطرات ذکر شده در بالا، یک روش نهایی برای محدود کردن تعاملات بین میکروپلاستیک‌ها و سیستم‌های تصفیه، کاهش تعداد این ذرات و تخریب آن‌ها با استفاده از روش‌های کارآمد و با صرفه اقتصادی است. بیوچار یک ماده جامد غنی از کربن است که توسط فرآیند پیرولیز بیوماس تحت شرایط اکسیژن کم یا بدون اکسیژن به‌دست می‌آید و می‌تواند برای مصارف کشاورزی و محیطی استفاده شود. بیوچار معمولاً با استفاده از بقایای محصولات کشاورزی، بیومس چوب، بستری‌های حیوانی و لجن حاصل از تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب به‌عنوان ماده اولیه تولید می‌شود.

مدیریت و دفع بهداشتی لجن حاصل از تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب مسئله‌ای مهم و حساس است. از این‌رو یافتن راه‌حلی برای دفع موثر لجن یا ابزاری برای استفاده بهینه از این مواد برای مقاصد دیگر اهمیت دارد. از آنجایی که بیوچار به‌عنوان یک جاذب قوی به‌عنوان راه‌حلی در فرآیند پاکسازی بسیاری از آلاینده‌های محیطی پدیدار شده است، به‌نظر می‌رسد تبدیل لجن به بیوچار یک استراتژی جذاب در حذف کارآمد آلاینده‌ها و نیز مدیریت لجن تولید شده باشد. هم‌چنین فرآیند پیرولیز لجن سبب حذف آلاینده‌های آلی و پاتوژن‌ها و نیز کاهش حجم لجن می‌شود.

تلاش‌های تحقیقاتی قابل‌توجهی در زمینه جاذب‌های بر پایه بیوچار برای حذف آلاینده‌های آبی انجام شده است که می‌تواند اثرات سودمندی برای کنترل آلودگی منابع آبی اعمال کند. بیوچار به‌دلیل در دسترس بودن گسترده مواد اولیه خام، ارزان قیمت بودن و ویژگی‌های سطحی مطلوب فیزیکی/ شیمیایی، پتانسیل زیادی در جذب آلاینده‌های آب به نمایش گذاشته است. برای تولید بیوچارهای با کیفیت بالا، پیرولیز آهسته اغلب به‌عنوان عملی‌ترین فرآیند تولید در نظر گرفته می‌شود. مطالعات نشان داده

است که مواد اولیه به‌طور قابل‌توجهی بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و ظرفیت جذب آلاینده‌ها توسط بیوچار تأثیر می‌گذارد. بنابراین، انتخاب ماده اولیه مناسب برای تولید بیوچار کارآمد بسیار مهم است. ترکیب فیزیکی و شیمیایی پیچیده و ناهمگن بیوچار یک بستر عالی برای حذف آلاینده‌ها از طریق فرآیند جذب ایجاد می‌کند.

اخیراً توجه گسترده‌ای به اصلاح بیوچار با ساختارها و خواص سطحی جدید به‌منظور افزایش اثربخشی قابلیت تصفیه و مزایای محیط‌زیستی معطوف شده است. روش‌های تغییر و اصلاح بیوچار را می‌توان به چهار دسته اصلی تقسیم کرد: اصلاح شیمیایی، اصلاح فیزیکی، اشباع‌شدن با جاذب‌های معدنی و اصلاح مغناطیسی.

اخیراً توجه زیادی به تحقیق در زمینه سنتز نانو کامپوزیت‌های بر پایه بیوچار برای از بین بردن آلاینده‌های آبی معطوف شده است. سنتز یک نانو کامپوزیت بر پایه بیوچار روشی برای به‌دست آوردن کامپوزیت جدید و ترکیب مزایای بیوچار با مزایای نانو مواد است. اخیراً مواد نانو کامپوزیتی بر پایه سوبستری‌های مختلف برای رفع آلودگی فاضلاب‌ها حتی فاضلاب هسته‌ای ساخته شده است. سنتز نانو کامپوزیت‌های بر پایه بیوچار می‌تواند با اهداف حذف آلاینده‌ها و نیز مدیریت پسماند انجام شود. کامپوزیت‌های حاصل معمولاً به‌دلیل استفاده از نانو مواد، در عوامل موثر بر حذف آلاینده‌ها از جمله سطح ویژه، توزیع اندازه منافذ، حجم منافذ، وجود سایت‌های فعال سطحی، توانایی تخریب کاتالیتیک و قابلیت جداسازی آسان پیشرفت زیادی داشته‌اند. این کامپوزیت‌ها توانایی زیادی در جذب طیف وسیعی از آلاینده‌ها از محلول‌های آبی از جمله فلزات سنگین، آلاینده‌های آلی و سایر آلاینده‌های غیر آلی دارند. نانو کامپوزیت‌های بر پایه بیوچار با مواد مختلف کاتالیتیک که در سطح بیوچار پراکنده شده‌اند، می‌توانند با جذب و تخریب هم‌زمان، آلاینده‌های آلی را از بین ببرند.

ایده پیشنهادی

بررسی پتانسیل استفاده از لجن حاصل از تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب به‌عنوان ماده خام اولیه در تهیه بیوچار برای حذف آلاینده‌هایی نظیر میکروپلاستیک‌ها از فاضلاب.

روش پیشنهادی

۱- تهیه بیوچار از لجن به‌عنوان ماده خام اولیه با استفاده از فرآیند پیرولیز آهسته تحت شرایط دمایی بالا (600-700°C) و دمایی پایین (300-400°C) و ارزیابی و مقایسه کارایی آن‌ها در

جذب و حذف میکرو/نانوپلاستیک‌ها؛

- ۲- مراحل شناسایی و آنالیز میکروپلاستیک‌ها شامل: جمع‌آوری نمونه‌های فاضلاب، استخراج میکروپلاستیک‌ها، شناسایی (با استفاده از استریومیکروسکوپ، میکروسکوپ فلورسنس، FT-IR، GC-MS و یا کروماتوگرافی مایع؛
- ۳- بهینه‌سازی شرایط موثر در حذف میکروپلاستیک‌ها توسط بیوچارها نظیر pH، دما و ...؛
- ۴- اصلاح بیوچار توسط نانومواد و استفاده از نانوکامپوزیت‌های برپایه بیوچار برای جذب و حذف هم‌زمان میکروپلاستیک‌ها و مقایسه کارایی آن‌ها با بیوچار خام؛
- ۵- اصلاح بیوچار توسط فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی مختلف (بهینه‌سازی) برای افزایش کارایی آن‌ها.

سخن آخر

پلاستیک‌ها زمانی به‌عنوان "اختراع بزرگ قرن بیستم" مورد ستایش قرار گرفتند، اما اکنون آسیب ناشی از مدیریت نادرست محصولات پلاستیکی به‌طور فزاینده‌ای شناخته شده است. تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به‌عنوان یک مسیر عمده برای انتشار میکروپلاستیک‌ها در محیط‌زیست در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین نیاز به ایجاد روش‌های ارزان‌قیمت، سازگار با محیط‌زیست و کارآمد برای پالایش آلاینده‌های میکرو/نانوپلاستیکی وجود دارد. مطابق با ایده پیشنهاد شده در این طرح، از لجن حاصل از تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب به‌عنوان ماده خام اولیه در تهیه بیوچار استفاده می‌شود. به این ترتیب با استفاده از بیوچار به‌عنوان جاذب، علاوه بر حذف میکرو/نانوپلاستیک‌ها، مدیریت پسماند نیز صورت گرفته و منابع آلاینده محیط‌زیست به حداقل می‌رسند. از سوی دیگر، برای افزایش عملکرد بیوچار، اصلاح با نانومواد و نیز اصلاح تحت فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی مختلف صورت گرفته و بهینه‌سازی انجام می‌شود. هم‌چنین با استفاده از بیوچار مهندسی شده جذب و تخریب هم‌زمان میکروپلاستیک‌ها از فاضلاب صورت می‌گیرد. به‌علت قابلیت تهیه جاذب‌های بیوچار با استفاده از مواد اولیه فراوان و ارزان قیمت که به‌راحتی نیز در دسترس هستند، ایده مناسبی است که از فرآیند جذب برای حذف آلاینده‌هایی که در غلظت‌های کم موجود هستند استفاده شود. با توجه به ساختار منافذ خوب، ناحیه سطحی بالا و غنای گروه‌های عاملی سطح، کامپوزیت‌های بیوچار تهیه شده از لجن پتانسیل بسیار زیادی به‌عنوان جاذب برای حذف آلاینده‌ها دارند.