درباره نانو و تصفیه آب

مقدمه

جمعیت جهان در حال افزایش و منابع آب آشامیدنی رو به کاهش است ؛ بنابراین ممکن است جهان در آینده با مشکل کمبود آب مواجه شود. افزایش مصرف آب و کمبود حاصل از آن که بر اثر آلودگی نیز تشدید می‌شود سبب شده‌است تا تأمین آب بهداشتی به یکی از دغدغه‌های اساسی جامعه جهانی تبدیل شود. امراض ناشی از آلودگی‌های آب هرروزه هزاران و شاید دهها هزار نفر را می‌کشد. توانایی بازیافت آب، امکان دسترسی به یک منبع مناسب برای مصارف گوناگون را ایجاد می‌کند. با به کارگیری فناوری‌های الکتریکی و مکانیکی به سادگی می‌توان آب آلوده را برای استفاده در کشاورزی و یا حتی برای مصارف خانگی بازیافت نمود. بدین ترتیب، فیلترنمودن آب با فیلترهای نانومتری، تحولی عظیم در بازیافت و استفاده مجدد از آب‌های صنعتی و کشاورزی ایجاد می‌کند. فیلترهای فیزیکی با منافذی در حد نانومتر می‌توانند باکتری‌ها، ویروس‌ها و حتی واحدهای کوچک پروتئین را صددرصد غربال کنند. با جداسازهای الکتریکی که یون‌ها را به وسیله صفحات آبَرخازن جذب می‌کند، می‌توان نمک‌ها و مواد سنگین را جذب کرد. بررسی فعالیت‌های مختلف دنیا، شامل برنامه‌های در دست اجرا و برنامه‌های آتی مراکز صنعتی و پژوهشی، نشان می‌دهد که حوزه تصفیه یکی از حوزه‌های کاربرد فناوری‌نانو در صنعت آب است؛ و با بهره‌گیری از آن، هزینه‌های تصفیه آب به میزان زیادی کاهش خواهد یافت. دو زمینه اصلی در این عرصه عبارتند از: فیلترهای نانومتری به منظور افزایش بازیابی آب در سیستم‌های موجود؛ نانوحسگرهای زیستی به منظور تشخیص سریع و کامل آلودگی‌های آب.در این مقاله به بررسی تعدادی از کاربردهای فناوری نانو در صنعت آب می‌پردازیم. نانوفیلتراسیون فناوری‌های جدید، امکان تولید آب نانوفیلتر شده را در مقیاس انبوه فراهم می‌کند. آب تصفیه‌شده به وسیله نانوفیلتراسیون به اندازه آب‌معدنی تصفیه‌شده ارزش دارد. با استفاده از نانوفیلتر، مواد معدنی لازم برای سلامت انسان در آب باقی مانده و مواد سمی و مضر، از آن حذف می‌شود.

نانوفیلتراسیون یک روش مفید بین روش‌های اسمز معکوس و آلترافیلتراسیون است. آلترافیلتراسیون به دلیل بالاتر بودن مقدار آلاینده‌های معدنی و قلیایی نسبت به حد مجاز و روش اسمز معکوس به دلیل تولید خلوص بیش از حد محصول و بالا بودن قیمت دارای نقایصی هستند. دانشمندان دانشگاه باناراس (Banaras) روش ساده‌ای برای تولید فیلترها با استفاده از نانولوله‌های‌کربنی توسعه داده‌اند که قادر به حذف مؤثر آلاینده‌های میکرو و نانومقیاس از آب و نیز حذف هیدروکربن‌های سنگین از نفت خام است. استفاده از نانولوله‌های‌کربنی در ساخت فیلترها سبب سهولت در تمیز کردن، افزایش استحکام، قابلیت استفاده مجدد و مقاومت آنها در برابر گرما می‌شود. این فیلترها دارای دقت بسیار مناسبی در کاربردهای مختلف هستند، به عنوان مثال قادرند پلی‌ویروس‌هایی با اندازه ۲۵ نانومتر را به خوبی پاتوژن‌های بزرگ‌تری مانند E.Coil و باکتری‌های استافیلوکوک، از آب حذف نمایند. نانوفیلتراسیون دارای مزایایی مانند قیمت پایین، و کنترل مقدار کاهش آلاینده‌ها در آب تصفیه شده است. شرکت آرگوناید (argonide) در حال استفاده از نانوفیبرهای اکسید آلومینیوم با اندازه دو نانومتر برای تصفیه آب است. فیلترهایی که از این فیبرها ساخته شده‌اند، می‌توانند ویروس‌ها، باکتری‌ها و کیست‌ها را از بین ببرند. شیرین سازی آب به وسیله نانوغشاها غشاء نانو لوله‌ای محققان آزمایشگاه ملی Lawrence Livermore با همکاری دانشگاه برکلی کالیفرنیا غشاءهایی با حفره‌هایی از جنس نانولوله‌های‌کربنی ساخته‌اند که به کمک آن امکان جداسازی ارزان‌تر گاز و مایع فراهم می‌شود. در حال حاضر اغلب غشاءهای موجود از جنس مواد پلیمری هستند که برای کاربردهای دمای بالا مناسب نیست. استفاده از این نوع غشاءها نمی‌تواند توازن قابل قبولی بین ورودی غشاء و قابلیت انتخاب آن برقرار نماید، یعنی ورودی بالا منجر به کاهش انتخاب‌پذیری است و بالعکس؛ اما دانشمندان با استفاده از نانولوله‌های کربنی توانسته‌اند این دو امر به ظاهر متضاد را با هم جمع و امکان انتخاب‌پذیری خوب همراه با ورودی بالا را فراهم کنند. این محققان توانسته‌اند روشی برای ساخت این غشاءها بیابند که با سیستم‌های میکروالکترومکانیکی (MEMS) هم سازگار

باشد. این غشاءهای جدید با حفره‌های کوچک‌تر و با تراکم بسیار و امکان عبور شدت جریان زیاد از هر حفره، از لحاظ گذردهی آب و هوا نسبت به غشاءهای پلی‌کربناتی فعلی بسیار برترند. این غشاءهای بهبود یافته کاربردهای فراوانی در تصفیه آب دارند. کامالش سیکار(Kamalesh Sirkar) در مؤسسه فناوری نیوجرسی از روش جداسازی غشایی در شیرین‌سازی آب استفاده کرده است. در روش جداسازی غشایی، آب شور داغ را روی ورقه نازکی از غشایی دارای سوراخ‌های ریز موسوم به نانوحفره می‌ریزند. این حفره‌ها آنقدر کوچکند که تنها بخار می‌تواند از آنها عبور کند و آب، مایع، نمک‌ها و مواد معدنی دیگر در پشت غشاء می‌مانند. در طرف دیگر محفظه‌ای از آب سرد قرار دارد که بخار با عبور از آن، کندانس شده و دوباره به مایع تبدیل می‌شود. ابزاری که در این روش به کار رفته است، عبارت است از دستگاهی مستطیل شکل با مجموعه‌ای از غشاءهای الیاف مانند توخالی که مایع به طور عرضی در آن جریان می‌یابد. این غشاءها به صورت هزاران لوله به شکل تار مو در آمده، سپس آنها را به صورت بسته‌هایی داخل یک جعبه قرار می‌دهند. در قسمت وسط، دسته‌ای از هزاران لوله توخالی شبیه تارمو قرار دارد. جداره این لوله‌ها را هم غشاءهایی با نانوحفره‌های کوچک تشکیل می‌دهند. تصفیه آب به کمک نانوذرات لانتانیوم تولیدی شرکت آلتایرنانو (Altairnano) فسفات را از محیطهای آبی جذب می‌کند. به‌کارگیری این نانوذرات در حوضچه‌ها و استخرهای شنا می‌تواند به طور مؤثری فسفات موجود را از بین برده و در نتیجه از رشد جلبک‌ها جلوگیری نمایند. تحقیقات دانشگاه Lehigh آمریکا نشان می‌دهد که نانوپودرها می‌توانند به عنوان ابزاری مناسب برای پاک‌سازی خاک‌های آلوده و آب‌های زیرزمینی استفاده شوند. نانوذرات آهن موجب اکسیده و درهم شکستگی ترکیبات آلوده کننده مانند تری‌کلرواتیلن، تتراکلرید کربن، دیوکسین‌ها وPCB ها شده، آنها را به ترکیبات کربنی با درجه سمیت بسیار پایین تبدیل می‌کند . برای از بین بردن اغلب فلزات سنگین موجود در آب، روش تصفیه کاتالیزوری گزینه مناسبی نیست، بنابراین محققان به جای آن از روش‌های جذب روی پلیمرها و یا ذرات افزودنی استفاده می‌کنند. آرسنیک از آلاینده‌های بسیار سمی رایجی

است که هم به طور طبیعی و هم به شکل پساب‌های بشری باعث آلودگی آب می‌شود. مصرف این ماده سبب افزایش سرطان‌های مثانه و روده می‌شود. در سطح جهان آمار مسمومیت با آرسنیک بسیار بالا است و در بسیاری از کشورهای در حال توسعه مانند بنگلادش که بیش از ۱۰ تا ۲۰ درصد جمعیت آن دچار مسمومیت با آرسنیک شده‌اند، یک فاجعه بهداشتی تلقی می‌شود. اغلب آلایندگی‌های ناشی از آرسنیک به کشورهای جهان سوم اختصاص دارد. به این ترتیب نیاز شدیدی به فناوری‌های نوین احساس می‌شود تا بتوان آلاینده‌های فلزی سنگین مانند آرسنیک را از آب آشامیدنی حذف کرد. به همین منظور محققان دانشگاه رایس، از نانوبلورهای مغناطیسی به عنوان هسته اصلی سیستم‌های تصفیه جدید استفاده کرده‌اند. سطوح معدنی آهنی نه تنها تمایل شدیدی به جذب آرسنیک دارند، بلکه با انتخاب اندازه مناسب می‌توان به راحتی این ذرات مغناطیسی را به واسطه جداسازی مغناطیسی از آب جدا کرد. نانوذرات همان کارایی توده آهنی را در جذب آرسنیک دارند. در واقع نه تنها ظرفیت جذب آرسنیک آنها بالاتر است، بلکه به محض قرار گرفتن این ماده در کنار نانوذرات جدا کردن آنها سخت می‌شود. در نظر گرفتن تمام این نتایج، نشان می‌دهد که نانوذرات مغناطیسی جاذب‌های بسیار کارآمدی برای آرسنیک خصوصاً در pH پایین هستند و خاصیت جذبی غیرقابل برگشت آنها مخزن مناسبی را برای جمع‌آوری آلاینده‌ها فراهم می‌کند. تصفیه پساب‌های صنعتی صنایع شوینده، غنی از اکسیژن بیوشیمیایی و مواد فعال شیمیایی است که باید در فرآیندهای تصفیه از آب زدوده شود. یکی دیگر از موادی که در پساب‌های صنعتی فراوان یافت می‌شود مواد نامحلول روغنی شامل روغن‌ها و گریس‌هاست. حضور این مواد فرآیند پالایش آب را دچار مشکل می‌کند. یکی از روش‌های اقتصادی برای تصفیه این مواد، استفاده از سیستم‌های ترکیبی میکروفیلتراسیون-نانوفیلتراسیون است. در این سیستم‌ها از میکروفیلتراسیون برای زدودن ذرات معلق مانند روغن‌ها و گریس‌ها و از نانوفیلتراسیون برای حذف پاک‌کننده‌ها استفاده می‌شود. محققان دانشگاهUniSA در استرالیا به دنبال توسعه روش منحصر به فردی برای تصفیه فاضلاب‌ها هستند

که بدون استفاده از مواد شیمیایی گران قیمت، کیفیت آب را بیشتر از روش‌های موجود بهبود می‌بخشد. آخرین مرحله تصفیه آب، حذف موجودات زنده بسیار ریز است. در حال حاضر از کلر به عنوان ماده ضدعفونی‌کننده استفاده می‌شود، ولی در این حالت حتی بعد از تصفیه هم ترکیبات ارگانیک زیادی در آب حضور دارند. کلر، موجودات زنده ریز را از آب حذف می‌کند، ولی با آلاینده‌های ارگانیک واکنش داده، محصولات جانبی تجزیه‌ناپذیر و سمی تولید می‌کند که نمی‌توان آنها را از آب حذف کرد. انتقال این مواد به محیطزیست و استفاده از آنها در کشاورزی و دیگر صنایع می‌تواند مشکلات بهداشتی جدی ایجاد کند. تصفیه فاضلاب به کمک نانوکاتالیزور نوری می‌تواند جایگزین سومین مرحله تصفیه، یعنی ضد عفونی با کلر شود تا موجودات زنده ریز و ترکیبات آلی را به طور همزمان حذف و فاضلاب را به یک منبع آب مناسب تبدیل کند. به طور طبیعی موجودات زنده ریز، ترکیبات ارگانیک بزرگ را کوچک‌تر می‌کنند؛ اما از آنجا که این ترکیبات به طور زیستی تجزیه ناپذیرند، ما مجبور به استفاده از نوعی انرژی برای تجزیه آنها هستیم. این انرژی از اشعه فرابنفش نور خورشید گرفته می‌شود و به همراه کاتالیزورهای نوری مورد استفاده قرار می‌گیرد. انرژی تولید شده از واکنش سلول کاتالیزوری نوری می‌تواند موجودات زنده ریز را کشته و ترکیبات تجزیه‌ناپذیر را تجزیه کند. این فرآیند به دلیل امکان استفاده مجدد از کاتالیزورهای نوری، بسیار مقرون به صرفه است . ذرات کاتالیزوری چه به صورت همگن در محلول پراکنده شده یا روی ساختارهای غشایی رسوب داده شده باشند، می‌توانند ما را از تجزیه شیمیایی آلاینده‌ها مطمئن سازند. اثر افزودن فلزات مختلف در بهبود فعالیت کاتالیزوری شناخته شده است و دانشمندان از آن در حذف تری‌کلرواتیلن (TCE) از آب‌های زیرزمینی استفاده کرده‌اند. تحقیقات مرکز فناوری‌نانوی زیست‌محیطی (CBEN) دانشگاه رایس نشان می‌دهد نانوذرات طلا و پالادیم، کاتالیست‌هایی بسیار مؤثر برای حذف آلودگیTCE از آب هستند. مزیت‌های حذف TCE با پالادیم به خوبی مشخص است ولی این روش تا حدودی پرهزینه است. با به کارگیری فناوری‌نانو می‌توان تعداد اتم‌های در تماس با مولکول‌های TCEو در نتیجه کارایی این کاتالیست را چندین

برابر کاتالیست‌های رایج افزایش داد. TCE حلال رایج در روغن زدایی از فلزات و قطعات الکترونیکی، یکی از مواد آلی سمی رایج در منابع آب است و در ۶۰ درصد پسماندهای صنعتی به عنوان آلودگی وجود دارد. تماس آن با بدن باعث صدمه زدن به کبد و بروز سرطان می‌شود. کاتالیست‌های شیمیایی نسبت به کاتالیست‌های زیستی بسیار سریع‌تر عمل می‌کنند ولی بسیار گران هستند. یکی از مزیت‌های کاتالیست‌های پالادیم برای تجزیه TCE این است که پالادیم، این ماده را مستقیماً به ماده غیرسمی اتان تبدیل می‌کند. در حالی که کاتالیست‌های رایج مانند آهن، آن را به برخی مواد واسطه سمی مانند وینیل‌کلراید تبدیل می‌کنند. محققان دانشگاه رایس، روش جدیدی را توسعه داده‌اند که طی آن نانوبلورهای تیتانیوم با سطح ویژه بالا (بیش از ۲۵۰ m2/g) برای حذف آروماتیک‌های آلی تولید می‌شوند. این مواد تحت تابش اشعه فرابنفش، قابلیت اکسیداسیون نوری بسیاری از مولکول‌ها را پیدا می‌کنند. همچنین C۶۰ کاتالیزور نوری بسیار خوبی است که کارایی آن صدها برابر بیش از تیتانیای موجود در بازار است. تولید رادیکال آزاد به وسیله C۶۰ متراکم در آب، امکان تجزیه آلاینده‌ها را فراهم می‌کند.

این گزارش مروری بر انواع کاربردهای فناوری نانو در تصفیه آب است و برای نشان دادن هر یک از آنها، به مثال‌های ویژه‌ای از نوآوری‌های فناوری نانو اشاره می‌شود. باید توجه داشت که در حوزه فناوری نانو محصولات و روش‌های بسیار دیگری توسعه یافته، یا می‌توانند موجود باشند و اینکه بسیاری از اطلاعات موجود درباره این مثال‌ها مبتنی بر اطلاعاتی است که تولیدکنندگان منتشر کرده‌اند. از آن جایی که این محصولات هنوز در بازار موجود نبوده، یا مدت زیادی از حضورشان در بازار نمی‌گذرد، مطالعات پراکنده‌ای نسبت به عملکرد آنها در حال انجام است. این متن به اطلاعات موجود درباره خطرات ناشی از این فناوری برای سلامت بشر یا محیطزیست اشاره ندارد؛ چرا که این موضوع نیازمند بحث جداگانه‌ای است.

۱. فناوری‌نانولوله‌های کربنی

۱-۱. غشاهای نانولوله‌ای

نانولوله‌های کربنی می‌توانند برای تشکیل غشاهایی با تخلخل نانومتری و دارای قابلیت جداسازی آلودگی‌ها، به طور یکنواخت همراستا شوند. تخلخل‌های نانومتری نانولوله‌ها، این فیلترها را از دیگر فناوری‌های فیلتراسیون بسیار انتخاب‌پذیرتر نموده است. همچنین نانولوله‌های کربنی دارای سطح ویژه بسیار بالا، نفوذپذیری زیاد و پایداری حرارتی و مکانیکی خوبی هستند. اگر چه چندین روش برای سنتز نانولوله‌های کربنی استفاده شده است، غشاهای نانولوله‌ای می‌توانند به وسیله پوشش‌دهی یک ویفر سیلیکونی با نانوذرات فلزی به عنوان کاتالیست، که موجب رشد عمودی و فشردگی بسیار زیاد نانولوله‌های کربنی می‌شود، سنتز شوند و پس از آن برای افزایش پایداری، فضای بین نانولوله‌های کربنی را با مواد سرامیکی پر نمود.

حذف آلودگی‌ها

مطالعات آزمایشگاهی نشان می‌دهد که غشاهای نانولوله‌ای می‌توانند، تقریباً همه انواع آلودگی‌های آب را حذف کنند؛ این آلودگی شامل باکتری، ویروس، ترکیبات آلی و تیرگی است. همچنین این غشاها نویدی برای فرآیند نمک‌زدایی و گزینه‌ای برای غشاهای اسمز معکوس هستند.

مقدار تصفیه آب

اگر چه تخلخل نانولوله‌های کربنی به طور قابل توجهی کوچک است، غشاهای نانولوله‌ای نشان داده‌اند که به خاطر سطح داخلی صاف نانولوله‌ها، شدت جریان بیشتر یا یکسانی نسبت به تخلخل‌های بسیار بزرگ‌تر دارند.

هزینه

با توسعه روش‌های جدید و بسیار مؤثر برای تولید نانولوله‌های کربنی، هزینه تولید غشاهای نانولوله‌ای به طور پیوسته کاهش می‌یابد. بر اساس پیش‌بینی برخی منابع، به دلیل کاهش قیمت نانولوله‌های کربنی، غشاهای نانولوله‌ای بسیار ارزان‌تر از سایر غشاهای فیلتراسیون،

غشاهای اسمز معکوس، سرامیک و غشاهای پلیمری خواهد شد. از آن جا که نانولوله‌های کربنی شدت جریان بالایی را نشان می‌دهند، فشار مورد نیاز برای انتقال آب نسبت به فرآیند نمک‌زدایی با اسمز معکوس، کاهش می‌یابد و به دلیل این ذخیره انرژی، نمک‌زدایی با استفاده از فیلترهای نانولوله‌ای بسیار ارزان‌تر از اسمز معکوس خواهد بود. انتظار می‌رود غشاهای نانولوله‌ای بسیار بادوام‌تر از غشاهای متداول باشند و استفاده مجدد از آنها بازدهی فیلتراسیون را کاهش ندهد.

روش مصرف

غشاهای نانولوله‌ای می‌توانند در گزینه‌های مشابهی به عنوان غشاهای میکروفیلتراسیون و آلترافیلتراسیون استفاده شوند. مطالعات نشان می‌دهد که این مواد، بادوام و در برابر گرما مقاومند و تمیز کردن و استفاده مجدد از آنها ساده است و با استفاده از فرآیند آلتراسونیک و اتوکلاو در ۱۲۱°C در مدت ۳۰ دقیقه تمیز می‌شوند.

توضیحات تکمیلی

انتظار می‌رود در پنج الی ده سال آینده، شاهد ورود غشاهای نانولوله‌ای نمک‌زا به بازار باشیم. اخیراً محققان برای غلبه بر چالش‌های مرتبط با افزایش مقیاس فناوری، فعالیت‌های تازه‌ای را مدنظر قرار داده‌اند.

۲-۱. نانوغربال‌ها

آزمایشگاه‌های سلدن (Seldon)، چندین طرح مبتنی بر فیلترهای نانوغربال را توسعه داده‌اند. نانوغربال از نانولوله‌های کربنی جفت شده با یکدیگر تشکیل می‌شود که روی یک زیرلایه متخلخل و منعطف قرار گرفته‌اند؛ و می‌توان برای تشکیل فیلترهای شبه‌کاغذی، آنها را روی یک زیرلایه صاف و یا لوله‌ای قرار داد، با این کار توانایی پیچیده شدن به اطراف هر ساختار استوانه‌ای متداول و یا هر ساختار دیگری را به دست می‌آورند، همچنین برای افزایش سطح فیلتر می‌توان نانوغربال‌های مسطح را تا زد. اخیراً در آزمایشگاه‌های مذکور چندین نمونه فیلتر قابل حمل مبتنی

بر این فناوری، برای خالص‌سازی آب ساخته شده‌اند؛ این فیلترها در اندازه قلم بوده و تحت عنوان ابزارهای فیلتراسیون نی‌مانند به نام water stick معروف هستند.

حذف آلودگی‌ها

از نانوغربال‌ها می‌توان در حذف گستره وسیعی از ترکیبات آلی و معدنی و یا مواد زیستی استفاده کرد. این فیلتر می‌تواند از چندین لایه نانولوله کربنی ساخته شود که هر لایه قابلیت حذف نوع متفاوتی از ترکیبات را دارد. نانوغربال‌های مورد استفاده در Water stick توانایی حذف بیش از ۹۹/۹۹ درصد از باکتری‌ها، ویروس‌ها، کیست‌ها، میکروب‌ها، کپک‌ها، انگل‌ها، و همچنین کاهش قابل توجه آرسنیک و سرب را دارند. نانوغربال‌های چند عملکردی نیز مانند ترکیبات معدنی اعم از فلزات سنگین، کودها، فاضلاب‌های صنعتی و دیگر مواد می‌توانند ترکیبات آلی از قبیل Pesticideها و herbicideها را حذف نمایند. همچنین می‌توان فیلتر را با یک لایه ضدباکتری برای جلوگیری از تشکیل فیلم بیولوژیکی پوشاند. در حال حاضر آزمایشگاه‌های سلدن مشغول ارتقای این فناوری برای استفاده از آن در نمک‌زدایی از آب دریا هستند.

مقدار تصفیه آب

نانوغربال‌ها در مقایسه با دیگر ابزارهای فیلتراسیون که دارای همان اندازه تخلخل هستند، به دلیل خواص انتقال جرم سریع نانولوله‌ها، بدون استفاده از فشار، شدت جریان مناسبی را تأمین می‌کنند. در یک فیلتر نمونه با قطر پنج سانتی‌متر شدت جریان شش لیتر بر ساعت مشاهده شده است. همچنین water stick برای تصفیه یک لیتر آب آلوده در ۹۰ ثانیه طراحی شده است. این فیلتر، در طول عمر مفیدش ۲۰۰ تا۳۰۰ لیتر آب تولید می‌کند؛ اگر چه این مقدار می‌تواند با تغییرات پیش از فیلتراسیون افزایش داده شود.

هزینه

آزمایشگاه سازنده برای قیمت‌گذاری water stick یک طرح رقابتی را با دیگر فناوری‌های مشابه در نظر دارد، تا این فناوری برای مردم کشورهای در حال توسعه قابل استفاده باشد.

روش مصرف

Water stick که شبیه نی نوشیدنی، طراحی شده آب تمیز آشامیدنی تولید می‌کند. اخیراً نمونه‌ای از Water stick به گونه‌ای طراحی شده است که می‌توان وسیله‌ای با فیلتر قابل تعویض را طراحی کرد. علاوه بر این هنگامی که عمر مفید این فیلتر به پایان می‌رسد، به طور اتوماتیک جریان را متوقف می‌کند. نانوغربال‌ها توان ترکیب با دیگر ابزارهای فیلتراسیون را دارند.

توضیحات تکمیلی

آزمایشگاه‌های سلدن، سیستم تولیدی را برای تولید نانوغربال‌ها توسعه داده‌اند؛ این سیستم دارای صرفه اقتصادی، ظرفیت تولید ۲۷۶ متر مربع بر ماه است که هر متر مربع برای ۳۹۶ فیلتر کافی است. در حال حاضر پزشکان افریقایی، نمونه‌ای از water stick را مورد استفاده قرار داده‌اند.

۲. روش‌های دیگر نانوفیلتراسیون

۲-۱. فیلتر آلومینای نانولیفی

شرکت Argonide فناوری جاذب‌های نانولیفی را به صورت کارتریج فیلترهای نانوسرام عرضه کرده است. این جاذب‌ها از نانوالیاف آلومینا با بار مثبت روی زیرلایه شیشه‌ای تشکیل شده‌اند. نانوالیاف آلومینا سطح بیشتری نسبت به الیاف متداول داشته و بار مثبت بالایی دارند که باعث جذب سریع‌تر آلودگی‌های باردار منفی از قبیل ویروس‌ها، باکتری‌ها و کلوئیدهای آلی و غیرآلی می‌شود.

حذف آلودگی‌ها

فیلترهای نانوسرام بیش از ۹۹/۹۹ درصد ویروس‌ها، باکتری‌ها، انگل‌ها، ترکیبات آلی طبیعی، DNA و کدری را حذف می‌کند، همچنین دارای قابلیت جذب ۹۹/۹ درصد از نمک‌ها، مواد رادیواکتیو

و فلزات سنگین از قبیل کروم، آرسنیک و سرب را هستند، حتی اگر ذرات، نانومقیاس و یا حل شده باشند. فیلترهای نانوسرام در PH بین پنج تا ۹ بهتر عمل می‌کنند.

مقدار تصفیه آب

شدت جریان فیلترهای نانوسرام بدون استفاده از فشار حدود یک تا ۱/۵ لیتر بر ساعت، به ازای هر سانتی‌متر مربع از فیلتر است. حداکثر فشار چهار bar می‌تواند به فیلتر اعمال شود که منجر به شدت جریان ۹ تا ده لیتر بر ساعت به ازای هر سانتی‌متر مربع از فیلتر خواهد شد. کارتریج فیلترهای نانوسرام دارای یک طراحی تاخورده است که سطح آنها را افزایش می‌دهد. همچنین طبق گزارش، فیلتر به طور متوسط مقاومت عملکرد بالایی نسبت به غشاهای بسیار متخلخل دارد.

هزینه

شرکت آرگوناید (Argonide) هزینه تولید فیلترهای نانوسرام را ارزان اعلام کرده است؛ چرا که آنها می‌توانند با استفاده از فناوری کاغذسازی تولید شوند. در حال حاضر هر متر مربع فیلتر ده دلار هزینه برمی‌دارد، که ممکن است این مقدار به سه دلار برسد. کارتریج فیلترها به ازای ۲۰-۲۰۰ فیلتر، وابسته به قطر آنها در حدود ۳۷ دلار هزینه دارند. صفحات فیلتر می‌توانند با قرار گرفتن در اطراف لوله‌های فلزی، بین دو فیلتر متداول و یا در یک نگهدارنده مجزا، هزینه نهایی فیلتر را کاهش دهند. فیلترهای نانوسرام به جای جمع‌آوری ذرات بسیار ریز بر روی سطح، آنها را جذب می‌کنند؛ بنابراین نسبتاً عمر مفید و طولانی‌تری دارند.

روش مصرف

مطابق با توصیه‌های شرکت آرگوناید، فیلترهای نانوسرام به تصفیه‌های پیشین و یا پسین، تمیز کردن، شارژ مجدد فیلتر و یا از بین بردن مواد زاید خطرناک نیاز ندارند. این فیلترها به طور همزمان ترکیبات شیمیایی و بیولوژیکی را بدون استفاده از مواد گندزدای شیمیایی و یا مواد منعقدکننده، حتی در آب‌های شور بسیار کدر حذف می‌کنند.

توضیحات تکمیلی

به گفته شرکت آرگوناید، فیلترهای نانوسرام می‌توانند پودرهای بسیار ریز فلزی حذف شده را برای کاربردهای صنعتی بازیافت کنند.

۲-۲. نانوالیاف جاذب جریان

شرکت KX طرحی از فیلترهای جاذب جریان شامل نانوالیاف را با هدف استفاده در کشورهای در حال توسعه بهره‌برداری کرده است. فیلتر شامل یک لایه پیش فیلتراسیون برای حذف چرک‌ها، یک لایه جاذب برای حذف آلودگی‌های شیمیایی و یک لایه نانوالیاف برای حذف آلودگی‌ها و ذرات کلوئیدی است. نانوالیاف از چندین پلیمر آب‌دوست، رزین‌ها، سرامیک‌ها، سلولز، آلومینا و دیگر مواد ساخته می‌شوند. این فناوری در مقیاس‌های خانگی و شهری قابل دسترسی است.

حذف آلودگی‌ها

طبق گزارش‌ها، فیلترهای سطح فعال بیش از ۹۹ درصد از باکتری‌ها، ویروس‌ها، انگل‌ها، آلودگی‌های آلی و دیگر آلودگی‌های شیمیایی را حذف می‌کنند.

مقدار تصفیه آب

طبق اعلام شرکت سازنده، مقیاس خانگی فیلترهای سطح فعال می‌تواند به ازای هر فیلتر۳۷۵ لیتر آب را با سرعت چهار تا شش لیتر بر ساعت تولید کند. در مقیاس روستایی بیش از ۷۵۰۰ لیتر بر روز با سرعت ۵/٦ لیتر بر دقیقه تولید می‌کند. در مقیاس روستایی هر فیلتر برای بیش از ۹۵ هزار لیتر آب مؤثر است.

هزینه

انتظار می‌رود فیلترهای خانگی شش تا۱۱ دلار فروخته شوند و فیلترهای جایگزین برای آنها ۰/۸تا ۰/۹ دلار هزینه دربر خواهد داشت؛ یعنی ۰/۰۰۲ دلار به ازای هر لیتر آب. همچنین فیلترهای روستایی بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ دلار هزینه خواهند داشت که تقریباً ۰/۰۰۰۳ دلار به ازای هر لیتر است.

روش مصرف

طراحی فیلترهای سطح فعال به گونه‌ای است که بدون استفاده از تجهیزات وسیع، یا نگهدارنده به‌آسانی قابل استفاده باشند.

۳. سرامیک‌های نانوحفره‌ای، کلِی‌ها و دیگر جاذب‌ها

۳-۱. غشای سرامیکی نانوحفره‌ای

شرکت آلمانی AG Nanovation، طرحی از فیلترهای سرامیکی نانوحفره‌ای را تحت عنوان Nano pore و سیستمهای فیلتراسیون غشایی را با مقیاس‌های متنوعی عرضه نموده است. فیلترهای غشایی Nano pore از نانوپودرهای سرامیکی روی مواد پایه از قبیل آلومینا تشکیل شده‌اند و در اندازه‌های متفاوت و در دو شکل لوله‌ای و مسطح موجود هستند. این محصولات با استفاده از نانوپودرهای سرامیکی شرکت و تحت فرآیندهای پیوسته تولید می‌شوند.

حذف آلودگی‌ها

طبق ادعای شرکت سازنده، فیلترهای غشایی Nano pore باکتری‌ها، ویروس‌ها و قارچ‌ها به طور مؤثر از آب حذف می‌کنند. علاوه بر این آزمایش‌های کیفی آب، Coliformها، fecal coliformها، Salmonella یا streptococci را در آب تصفیه شده نشان نمی‌دهند.

مقدار تصفیه آب

مقدار آب تولیدی وابسته به اندازه و شکل فیلتر و کیفیت آب تصفیه شده است. یک واحد فیلتراسیون با ابعاد ۱۵cm ×۶۰×۱۲۰ سطحی معادل با ۲ ۱۱m ایجاد کرده، می‌تواند ۸ هزار لیتر آب آلوده را در روز تصفیه کند.

هزینه

تولید سیستم‌های فیلتراسیون غشایی بر مبنای Nano pore با فرآیندهای پیوسته که همزمان تمامی لایه‌های فیلتر مونتاژ می‌شوند، ارزان است؛ هنگامی که تمامی هزینه‌های فیلتراسیون که شامل حفظ، جایگزینی فیلترها، تمیز کردن عوامل و هزینه‌های عملیاتی است، با مواردی از قبیل عمر طولانی‌تر فیلتر، پایداری بیشتر و تمیز کردن کمتر همراه شوند، هزینه این فیلترها با فیلترهای پلیمری قابل رقابت می‌گردد.

روش مصرف

فیلترهای غشایی Nano pore با توجه به خواص ضدرسوبی بسیار شدید خود نیاز به تمیزسازی مکرر ندارند. همچنین می‌تواند به جای پاکسازی شیمیایی با بخار استرلیزه شود. غشاهای Nano pore نسبت به آلودگی‌های قارچی و باکتریایی، اصطکاک، اسید و بازهای غلیظ شده، دمای بالا و اکسیداسیون مقاوم هستند.

۳-۲. تک‌لایه‌های خودآرا روی پایه‌های مزوپروس (SAMMS)

آزمایشگاه ملی پاسیفیک نورث وست (PNNL) تک‌لایه‌های خود آرا روی پایه‌های مزوپروس را توسعه داده است. این فناوری از مواد سرامیکی یا شیشه‌ای با تخلخل نانومتری شکل گرفته است؛ به طوری که تک‌لایه‌ای از مولکول‌ها می‌توانند به یکدیگر متصل شوند. تک‌لایه و لایه مزوپروس، قابلیت برنامه‌ریزی شدن برای حذف آلودگی‌های خاصی را دارند. SAMMS نسبت به بسیاری از غشاها و فناوری‌های جاذب دیگر، جذب سریع‌تر، ظرفیت بالاتر و انتخاب‌پذیری بهتری را از خود نشان داده است. SAMMS برای حذف آلودگی‌های فلزی از آب آشامیدنی، آب‌های زیرزمینی و فاضلاب‌های صنعتی طراحی شده است.

حذف آلودگی‌ها

PNNL مدعی است که SAMMS ۹۹/۹ درصد از جیوه، سرب، کروم، آرسنیک، کادمیم، فلزات پرتوزا و دیگر سموم فلزی را جذب می‌کند. همچنین طبق گزارش‌ها، SAMMS می‌تواند برای حذف فلزات خاصی برنامه‌ریزی شود؛ ولی برخی فلزات از قبیل کلسیم، منیزیم و روی را حذف نمی‌کند. SAMMS برای حذف آلودگی‌های زیستی، یا آلی مؤثر نیست.

مقدار تصفیه آب

از SAMMS می‌توان در گستره وسیعی از کاربردها از تصفیه آب مصرفی گرفته تا تصفیه فاضلاب‌های صنعتی، استفاده کرد. این فیلترها سطح ویژه‌ای در حدود ۶۰۰ تا هزار متر مربع به ازای هر گرم دارند. تولید هر کیلوگرم SAMMS، ۱۵۰ دلار هزینه دارد که با نمونه‌ای از رزین تعویض یونی با هزینه ٤۲ دلار و کربن فعال با هزینه ۱/۷۸ دلار به ازای هر کیلوگرم قابل مقایسه است. همچنین برای حذف یک کیلوگرم جیوه، ۱۳ کیلوگرم SAMMS مورد نیاز است و در مقابل، ۱٥٤ کیلوگرم رزین تعویض یونی و ٤۰ هزار کیلوگرم کربن فعال مورد نیاز خواهد بود.

روش مصرف

SAMMS پودری شکل و اکسترود شده است، که می‌تواند برای فیلترهای تعویض یونی مناسب باشد. این فیلترها گاهی اوقات به منظور حذف آلودگی‌های جذب شده با یک محلول اسیدی احیا می‌شوند. آلودگی‌های ایجاد شده از احیای SAMMS طبق استانداردهای سازمان حفظ محیط زیست آمریکا غیرسمی بوده، می‌توانند به عنوان یک آلودگی متداول تصفیه شوند.

۳-۳. Arsenx

Arsenx، یک رزین جاذب متشکل از نانوذرات اکسید آهن آب‌دار روی یک زیرلایه پلیمری است و برای حذف آرسنیک و دیگر آلودگی‌های فلزی به‌کار می‌رود. نانوذرات، سطح ویژه بالا، ظرفیت بیشتر و سینتیک جذب سریع‌تری فراهم می‌نماید. Arsenx می‌تواند برای کاربردهای مصرفی

کوچک و یا استفاده‌های صنعتی و شهری بزرگ طراحی شود، همچنین در ابزارهای طراحی شده برای رزین‌های تعویض یونی مورد استفاده قرار گیرد.

حذف آلودگی‌ها

Arsenx موادی از قبیل آرسینک، وانادیم، اورانیوم، کروم، آنتیموان و مولیبدن را حذف و سولفات‌ها، کربنات‌ها، فلوریدها، کلریدها، سدیم، منیزیم و یا آلودگی‌های زیستی را حذف نمی‌کند.

مقدار تصفیه آب

شدت جریان عبوری آن بسیار وابسته به نوع ابزاری است که Arsenx استفاده می‌کند. بدون در نظر گرفتن طراحی سیستم، برای تماس بین Arsenx و آب ۲/۵ تا سه دقیقه زمان نیاز است. هر گرم Arsenx حدوداً ۳۸ میلی‌گرم آرسنیک را نگه می‌دارد.

هزینه

شرکت Solmetex اشاره می‌کند که با توجه به کم شدن ظرفیت Arsenx در طول احیاء، می‌تواند نسبت به جاذب‌های دیگر در طی حیاتش هزینه کمتری داشته باشد. هزینه اولیه سیستم وابسته به طراحی‌های متفاوت آن است، اما به طور متداول از ۰/۰۷ تا ۰/۲دلار به ازای هر هزار لیتر گزارش شده است که شامل هزینه‌های استهلاک و هزینه‌های عملیاتی و حفظ و نگهداری است.

روش مصرف

Arsenx به گفته شرکت Solmetex، می‌تواند به عنوان رزین‌های تعویض یونی در زمینه‌های مشابه مورد استفاده قرار گیرد. این فیلتر نیاز به پیش یا پس تصفیه نداشته و گاهی اوقات با محلول سود سوزآور احیا می‌شود و متناسب با سطح آلودگی، بعد از سه ماه تا یک سال

خاصیت خود را از دست خواهد داد. گزارش‌ها حاکی از آن است که زیرلایه پلیمری Arsenx بادوام بوده و می‌تواند در گسترده دمایی یک تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد عمل کند.

۳-٤. پلیمر حفره‌ای سیکلودکسترین

سیلکودکسترین یک ترکیب پلیمری است که از ذراتی با حفره‌های استوانه‌ای تشکیل شده است؛ این ذرات می‌توانند آلودگی‌های آلی را جدا کنند.

پلیمر سیکلودکسترین را می‌توان به صورت پودر، دانه‌ای و یا لایه نازک برای استفاده در ابزارها و کاربردهای متفاوت تولید کرد. به هر حال پلیمر سیکلودکسترین برای تصفیه آب مصرفی استفاده شده و همچنین می‌تواند برای تصفیه در محل آب‌های زیرزمینی یا پاکسازی فاضلاب‌های شیمیایی آلی و نفتی نیز مورد استفاده قرار گیرد.

حذف آلودگی‌ها

سیکلودکسترین گستره وسیعی از آلودگی‌های آلی شامل بنزن، هیدروکربن‌های پلی‌آروماتیک، فلورین‌ها، و آلودگی‌های حاوی نیتروژن، استن، کودها، Pesticidها و بسیاری دیگر را حذف می‌کند. آزمایش‌ها نشان می‌دهند که پلیمرسیکلودکسترین این آلودگی‌ها را تا حد ppt کاهش می‌دهد، در حالی که کربن فعال و زئولیت این آلودگی‌ها را تا حد ppm کاهش می‌دهد. همچنین پلیمر صدهزار مرتبه بیشتر از کربن فعال، ترکیبات آلی پیوند می‌دهد و بازدهی حذف یکسانی برای آب با غلظت آلودگی پایین را نشان داده است. پلیمرسیکلودکسترین تحت تأثیر رطوبت هوا قرار نگرفته، می‌تواند در نواحی مرطوب بدون اشباع یا غیرفعال شدن، مورد استفاده قرار گیرد. همچنین آلودگی‌های جذب شده را از خود عبور نمی‌دهد.

مقدار تصفیه آب

پلیمرسیکلودکسترین ظرفیت بارگذاری ۲۲ میلی‌گرم از آلودگی‌های آلی به ازای هر گرم از پلیمر را دارد، که با ۵۸ میلی‌گرم به ازای هر گرم کربن فعال قابل مقایسه است. این پلیمر برای

تماس با آب آلوده حدوداً به پنج ثانیه زمان نیاز دارد. و در حین احیا، ظرفیت خود را از دست نداده، می‌تواند به طور نامحدودی استفاده شود.

هزینه

تولید پلیمرسیکلودکسترین، ارزان بوده است و می‌توان آن را مستقیماً از نشاسته، با تبدیل ۱۰۰ درصد تولید شود. انتظار می‌رود که تولید انبوه، هزینه آن را پایین‌تر از قیمت کربن فعال و زئولیت آورد. شرکت پژوهشی محصولات پلیمری، اشاره می‌کند که روشی را جهت افزایش مقیاس این فرآیند برای تولید مواد توسعه داده است. اخیراً شرکت پژوهشی Manhattan یک فناوری را برای کاربردهای مصرفی توسعه داده و اظهار می‌دارد که تولید انبوه موجب ارزان‌تر شدن پلیمر نسبت به سایر روش‌های حذف آلودگی‌های آلی خواهد شد.

روش مصرف

پودر سیکلودکسترین می‌تواند در ستون، کارتریج و یا فیلترهای بستری به گونه‌ای متراکم شود که آب از آن بگذرد. سیکلودکسترین دانه‌ای می‌تواند مستقیماً در منبع یا لوله‌های آب به‌کار رود و لایه نازک آن می‌تواند روی زیرلایه‌ای از شیشه برای تشکیل غشاء قرار گیرد.

از همه اشکال متفاوت سیکلودکسترین می‌توان در ابزارهای طراحی شده برای فیلترها، غشاها و یا جاذب‌ها استفاده کرد.

پلیمرسیلکودکسترین هم آب‌دوست و هم آب‌گریز است؛ لذا می‌تواند بدون استفاده از فشار برای جذب آب از میان تخلخل‌ها مورد استفاده قرار گیرد. پلیمر گاهی اوقات به احیا با استفاده از یک الکل ساده از قبیل اتانول یا متانول نیاز خواهد داشت و ممکن است به خاطر ظرفیت بارگذاری پائین آن نسبت به کربن فعال و جاذب‌های دیگر، به عملیات بیشتری نیاز داشته باشد.

توضیحات تکمیلی

آلودگی‌هایی که پلیمر سلیکودکسترین جذب می‌کند، می‌تواند بعد از احیا، برای کودها، Pesticideها و محصولات صنعتی دیگر بازیافت شود.

۳-۵. نانوکامپوزیت‌های پلی‌پیرون- نانولوله‌کربنی

آزمایشگاه ملی پاسیفیک نورث وست یک غشای نانوکامپوزیتی شامل لایه نازکی از یک پلیمر جاذب موسوم به پلی‌پیرون را روی ماتریسی از نانولوله‌های کربنی که سطح مخصوص و پایداری غشا را افزایش می‌دهند، توسعه داده است. برخلاف جاذب‌های دیگر که به احیای شیمیایی نیاز دارند این غشاها می‌توانند به طور الکتریکی احیا می‌شوند.

حذف آلودگی‌ها

غشاهای پلی‌پیرون دارای نانولوله‌کربنی با بار مثبت است و می‌تواند پرکلرات‌ها، سزیم، کروم و دیگر آلودگی‌های باردار منفی را حذف کند. همچنین غشاهای نانوکامپوزیتی می‌توانند برای حذف نمک طراحی شوند. از آنجا که پلی‌پیرون می‌تواند به طور منفی باردار شود، بنابراین این غشاء ذرات باردار مثبت از قبیل کلسیم و منیزیم را حذف می‌کند.

مقدار تصفیه آب

غشاهای نانوکامپوزیتی پلی‌پیرون- نانولوله‌کربنی قابل استفاهه مجدد هستند آزمایش‌ها نشان می‌دهد که این غشاها بعد از صد دوره استفاده بسیار کم بازدهی خود را از دست می‌دهند. همچنین به خاطر خواص انتقال جرم سریع، نانولوله‌های‌کربنی شدت جریان بالایی دارند.

هزینه

انتظار می‌رود که غشاهای پلی‌پیرون- نانولوله‌کربنی در استفاده طولانی مدت، نسبتاً کم هزینه باشند؛ چرا که آنها می‌توانند بدون از دست دادن قابل توجه ظرفیت جذب، احیا شده، استفاده شوند. این غشاها هزینه‌های مرتبط با خرید و ذخیره‌سازی مواد شیمیایی احیاکننده و تعلیم کاربران را ندارند. علاوه بر این، انتظار می‌رود که هزینه نانولوله‌های‌کربنی در پنج سال آینده بین ده تا صد برابر کاهش یابد.

روش مصرف

این غشاها، آلودگی‌های ثانویه خطرناک تولید نمی‌کنند. با بکارگیری جریان الکتریکی، بار پلیمر خنثی شده و آلودگی‌های جذب شده، از غشا آزاد می‌شوند. با حذف آلودگی‌ها، پلیمر می‌تواند دوباره باردار شده و مجدداً استفاده شود.

٤. زئولیت

٤-١. زئولیت‌های طبیعی، مصنوعی، زغال‌سنگ و ترکیبی

زئولیت‌ها مواد جاذب با ساختار شبکه‌ای جهت تشکیل تخلخل‌ها هستند. آنها می‌توانند از منابع طبیعی به دست آمده و یا سنتز شوند. زئولیت‌های مصنوعی معمولاً از محلول‌های سیلیکون- آلومینیوم یا زغال‌سنگ ساخته شده و به عنوان جاذب یا ابزار تعویض یونی در کارتریج یا فیلترهای ستونی به‌کار می‌روند. شرکت فناوری‌های AGLON ترکیبی از زئولیت‌ها و یون‌های نقره طبیعی با خواص ضد باکتری تولید می‌کند.

حذف آلودگی‌ها

زئولیت‌ها به طور متداول برای حذف آلودگی‌های فلزی به‌کار می‌روند. زئولیت‌های طبیعی مکزیک و مجارستان، آرسنیک را از منابع آب آشامیدنی تا حد مورد پذیرش سازمان بهداشت جهانی کاهش می‌دهند. زئولیت‌های ساخته شده از زغال‌سنگ می‌توانند گستره‌ای از فلزات سنگین شامل سرب، مس، روی، کادمیم، نیکل و نقره را از آب آلوده جذب کنند. همچنین می‌توانند تحت شرایط خاصی کروم، آرسنیک و جیوه را جذب کنند. ظرفیت جذب زئولیت‌ها متأثر از چند عامل؛ ترکیبشان، PH آب و غلظت انواع آلودگی‌هاست. به عنوان مثال تأثیرات PH آب بر روی سطح باردار شده منفی و یا مثبت زئولیت قابل ذکر است. همچنین با توجه جذب آسان سرب و مس در زغال‌سنگ، غلظت بالای این مواد، مقدار کادمیم و نیکل حذف شده را کاهش می‌دهد. ترکیبات زئولیت- نقره AGLON، بازدهی را در مقابل میکروارگانیسم‌ها که شامل باکتری‌ها و

کپک‌هاست، ارتقا می‌دهند. زئولیت نمی‌تواند آلودگی‌های آلی را به قدر کافی حذف کند، همچنین رطوبت هوا در اشباع زئولیت‌ها دخالت داشته، موجب کاهش بازدهی آنها می‌شود.

مقدار تصفیه آب

مقدار آبی که زئولیت‌ها می‌توانند تصفیه کنند، وابسته به منبع زئولیت و ابزاری است که آنها استفاده می‌کنند. در مورد زئولیت‌های زغال‌سنگ، محتوای کربن این ماده به طور قابل توجهی سطح مخصوص و در نتیجه ظرفیت جذب زئولیت را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

هزینه

زئولیت‌ها را می‌توان به طور ارزان تولید کرد زیرا منبع آنها به طور طبیعی و فراوان در دسترس است. در امریکا زئولیت‌های دانه‌ای برای کاربردهای صنعتی و کشاورزی بین ۳۰ تا ۷۰ دلار به ازای هر تن و برای محصولات مصرفی بین ۰/۵ تا ٤/٥ دلار به ازای هر کیلوگرم هزینه دارند.

روش مصرف

چگونگی مصرف زئولیت‌ها بسیار وابسته به نوع ابزاری است که در آن استفاده می‌شوند. این ابزار می‌تواند شامل رزین‌های تعویض یونی، کارتریج و ابزارهای ستونی و غیره باشند. علاوه بر این زئولیت‌ها گاهی اوقات به احیا با یک محلول اسیدی نیاز دارند. مصرف زئولیت‌های زغال‌سنگ ممکن است مشکل‌ساز باشد، چرا که مطالعات نشان می‌دهند مقادیری از آلودگی‌های سرب، کادمیم، کروم، مس، جیوه، روی و دیگر آلودگی‌ها می‌توانند از زغال‌سنگ گذشته و موجب آلودگی خاک، آب‌های زیرزمینی و آب شوند. همچنین مشخص شده است که مقادیر آرسنیک و منیزیم عبور کرده از Fly ash بسیار بیشتر از مقادیر توصیه شده سازمان بهداشت جهانی است. ترکیبات زئولیت نقره AGION نیاز به پاک‌سازی مکرر دارند، زیرا پوشش ضد باکتری نقره از تشکیل آلودگی‌های بیولوژیکی روی فیلتر جلوگیری می‌کند و در این صورت نیاز به ذخیره‌سازی و مصرف احیاکننده‌های شیمیایی مرتفع می‌شود.

۵. فناوری‌های مبتنی بر نانوکاتالیست‌ها

۵-۱. نانوذرات آهن خنثی

نانوذرات آهن خنثی (NZVI) برای تصفیه درجا و غیردرجای آب‌های زیرزمینی استفاده می‌شوند. این ماده همزمان یک جاذب و یک عامل احیاکننده است، همچنین موجب می‌شود که آلودگی‌های آلی به ترکیبات کربنی با درجه سمیت کمتری شکسته شوند و فلزات سنگین کلوخه شده، به سطح خاک بچسبند. NZVI را می‌توان برای تصفیه درجا، مستقیماً به منابع آب‌های زیرزمینی تزریق کرد، یا می‌توان از آن در غشاءها برای کاربردهای خارجی استفاده کرد. همچنین NZVI دو فلزی که در آن نانوذرات آهن با یک فلز ثانویه از قبیل پالادیم برای افزایش فعالیت آهن پوشیده می‌شوند، موجود است. NZVI بسیار فعال بوده و سطح مخصوص بالایی نسبت به ZVI دانه‌ای دارد.

حذف آلودگی‌ها

NZVI می‌تواند برای فرآوری گستره وسیعی از آلودگی‌های متداول زیست‌محیطی، مثل متان کلردار، بنزن کلردار، Pesticideها، رنگ‌های آلی، تری‌هالومتان‌ها، PCBها، آرسنیک، نیترات و فلزات سنگین از قبیل جیوه، نیکل و نقره استفاده شود. همچنین ممکن است توانایی کاهش پرتوهای رادیویی را داشته باشد. پالادیم پوشیده‌شده با NZVI نشان داده است که همه ترکیبات کلردار را در مدت هشت ساعت تا زیر مقادیر قابل رؤیت کاهش می‌دهد. این در حالی است که NZVI معمولی برای حذف بیش از ۹۹ درصد از این ترکیبات به ۲٤ ساعت نیاز دارد. نانوذرات نسبت به آلودگی‌ها، برای یک دوره شش الی هشت هفته‌ای، فعال باقی می‌مانند. NZVI نشان داده است که در گستره وسیعی از PHها و دماهای خاک و مقادیر Nutrient مؤثر است.

مقدار تصفیه آب

مقدار آب زیرزمینی که NZVI می‌تواند فرآوری کند، وابسته به کیفیت آهن، شامل تعداد دفعاتی که استفاده مجدد شده است؛ نوع زیرلایه مورد استفاده، کیفیت آب معدنی برای تولید

محلول قابل تزریق، شامل مقدار اکسیژن، مقدار و نوع ذرات ریز در محلول است. دریک مطالعه موردی، سطحی با مساحت صد مترمربع را ٦/٠٥٧ لیتراز محلول شامل ١١/٢kg از NZVI تحت تأثیر قرار می‌دهد. مطالعه دیگری نشان می‌دهد که در یک منطقه، مقدار ١٣٦ کیلوگرم NZVI برای فرآوری ١١/٦میلیون کیلوگرم از خاک کافی است؛ اما در منطقه دیگر همین مقدار از NZVI تنها برای فرآوری ١٠٢ میلیون کیلوگرم از خاک به‌کار می‌رود. دلایل ذکر شده برای این عدم تطابق شامل حجم متفاوت آب مصرف شده در تهیه محلول، مقادیر متفاوت کنش‌پذیری آهن به‌دلیل تفاوت در مقدار اکسیژن آب و مقدار متفاوت فشار کاربردی در حین تزریق است.

هزینه

NZVI حدوداً ٤٠ تا ٥٠ دلار به ازای هر کیلوگرم و پلادیم پوشش یافته با NZVI بین ٦٨ تا ١٤٦ دلار به ازای هر کیلوگرم هزینه دارد. اگر چه NZVI به طور قابل توجهی نسبت به ZVI دانه‌ای و میکرومقیاس که هر کدام به ترتیب ٢/٢ و ٣/٧٥ دلار به ازای هر کیلوگرم هزینه دارند، گران است، اما از آن جا که مقادیر کمی از NZVI به دلیل سطح ویژه و واکنش‌پذیری بسیار بالای آن مورد نیاز است، از نظر اقتصادی به‌صرفه است. در مقابل هر گرم پودر تجاری ZVI که سطحی کمتر از یک متر مربع دارد، NZVI به ازای هر گرم ٣٣/٥ مترمربع سطح واکنش‌پذیر داشته و سرعت تصفیه آن ده تا صد مرتبه سریع‌تر است.

روش مصرف

استفاده درجا و غیردرجای از NZVI نسبتاً آسان است. برای کاربردهای درجا، پودر NZVI را برای تشکیل محلول آهن با آب در یک منبع مخلوط کرده، سپس با یک پمپ و چاه تزریق مستقیماً به خاک‌آلوده تزریق می‌کنیم. از آنجا که تجهیزات مشابه مورد استفاده برای دیگر موارد تزریقی موجود است، تجهیزات چاهی خاص مورد نیاز نیست. NZVI به دلیل داشتن ذرات کوچک‌تر نسبت به ZVI دانه‌ای، راحت‌تر تزریق شده، می‌تواند تا اعماق بیشتری نفوذ کند.

همچنین نانوذرات NZVI می‌توانند در یک ماتریس جامد از قبیل کربن فعال، زئولیت، نانولوله‌های‌کربنی و دیگر مواد برای تولید غشاءهایی با کاربرد غیردرجا ایمن شوند.

۲-۵. فتوکاتالیست‌های نانومقیاس دی‌اکسید تیتانیوم

دی‌اکسید تیتانیوم هم به‌عنوان عامل احیای فتوکاتالیستی و هم به صورت یک جاذب عمل می‌کند و به صورت درجا و غیردرجا در تصفیه آب استفاده می‌شود. دی‌اکسید تیتانیوم در حضور آب، اکسیژن و تابش UV، رادیکال‌های آزاد تولید می‌کند که این رادیکال‌ها آلودگی‌های متفاوت را به ترکیبات کربنی با درجه سمیت کمتری تجزیه می‌کنند. دی‌اکسید تیتانیوم نانومقیاس، سطح بیشتر و فرآیند فتوکاتالیستی سریع‌تری را نسبت به ذرات بزرگ‌تر فراهم می‌نماید. دی‌اکسید تیتانیوم یا به صورت نانوپودر، برای استفاده در سوسپانسیون‌ها و یا به شکل فیلترهای دانه‌ای موجود است و در چندین شکل دیگر به عنوان پوشش برای غشاءهای ثابت، میکروکره‌های نانوکریستالی و غشاهای ترکیبی با سیلیکا به‌کار می‌رود.

حذف آلودگی‌ها

دی‌اکسید تیتانیوم تقریباً همه آلودگی‌های آلی را تجزیه می‌کند. این ماده بسیار آب‌دوست است؛ و بنابراین توانایی جذب آلودگی‌های زیستی و فلزات سنگین از قبل آرسنیک را دارد. راندمان آن تابع کیفیت دی‌اکسید تیتانیوم، شدت پرتو فرابنفش، PH آب، موجودی اکسیژن و غلظت آلودگی‌ها است.

مقدار تصفیه آب

سیستم‌های متفاوت دی‌اکسید تیتانیوم، شدت جریان و سرعت‌های حذف متنوعی را فراهم می‌کنند و ازهمه آنها می‌توان محدوده استفاده کرد. نانوپودرهای سوسپانسیون شده دی‌اکسید تیتانیوم فرآیند فتوکاتالیستی پُربازدهی را از خود نشان می‌دهند؛ چرا که سطح داخلی آنها در معرض تابش اشعه فرابنفش و آلودگی‌ها قرار می‌گیرد. به دلیل ترکیب سطوح کنش‌پذیر با مواد پایه و در نتیجه، کاهش سطح فعال، بازده نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم که به عنوان پوشش

استفاده شده یا روی زیرلایه‌هایی از قبیل شیشه و سرامیک ثابت شده‌اند، پنج برابر درصد بازده فتوکاتالیستی نانوذرات سوسپانسیون شده است. همچنین تخلخل غشاء یا زیرلایه، بر شدت جریان و عمر مفید این سیستم‌ها مؤثر است. میکروکره‌های نانوکریستالی دی‌اکسید تیتانیوم، سطحی قابل مقایسه با نانوپودرها دارند، اما فرآیندهای فتوکاتالیستی آهسته‌تری انجام می‌دهند.

هزینه

هزینه نانوپودرهای دی‌اکسید تیتانیوم برحسب کیفیت آن چند صد دلار بر کیلوگرم است. به عنوان مثال اخیراً شرکت Altair یک سیستم تولیدی به ثبت رسانده است، که می‌تواند نانوپودرهای دی‌اکسید تیتانیوم را در مقیاس انبوه و بسیار ارزان تولید کند. همچنین این شرکت فروش محصولات کوچک مبتنی بر این فناوری را طراحی می‌کند. این محصولات در دو اندازه ٤٠ کیلوگرم بر ساعت و یک تا دو کیلوگرم بر ساعت موجود خواهند بود. این واحد، دی‌اکسید تیتانیوم را از تتراکلرید تیتانیوم تولید می‌کند که می‌تواند حدوداً هزار و صد دلار به ازای هر تن یا صد و ده دلار به ازای هر کیلوگرم فروخته شود.

روش مصرف

به دلیل سختی بازیافت و جداسازی ذرات بعد از تصفیه، استفاده از نانوپودرهای دی‌اکسید تیتانیوم سوسپانسیون شده، مشکل است. ذرات سوسپانسیون معمولاً به وسیله آلترافیلتراسیون یا میکروفیلتراسیون جدا می‌شوند اما در حین این فرآیند مقدار قابل توجهی از ذرات از بین می‌روند. استفاده از میکروکره‌های نانوکریستالی آسانتر است. آنها در آب، از طریق حباب‌سازی هوا، سوسپانسیون شده و به طور طبیعی در ظرف آب برای بازیافت آسان‌تر ته‌نشین می‌شوند.

۵-۳. اکسیدآهن نانوساختار جاذب

شرکت فناوری‌های Adedge امریکا، اکسیدآهن نانوساختار دانه‌ای و خشکی به نام ۳۳AD، برای حذف آرسنیک عرضه نموده است. ۳۳AD با ترکیبی خواص کاتالیستی و جذبی اکسیدآهن با هم، ضمن تبدیل آرسنیک به موادی با سمیت کمتر، به طور همزمان آن را از آب جدا می‌نماید، این شرکت همچنین طرحی از لوازم مصرفی شامل فیلترهای ۳۳AD را ارائه نموده است.

حذف آلودگی‌ها

۳۳AD می‌تواند بیش از ۹۹ درصد آرسنیک را حذف کند، همچنین می‌تواند مقادیر سرب، روی، کروم، مس و دیگر فلزات سنگین را کاهش دهد و آلودگی‌های جذب شده را از خود عبور نمی‌دهد.

مقدار تصفیه آب

عمر مفید فیلترهای ۳۳AD معمولاً دو تا چهار سال است. سیستم‌های تصفیه خانگی سری مدالیون شرکت Adedge با سه دبی ۱۹، ۲۶ و ۳۸ لیتر بر دقیقه موجود است، همچنین شرکت Adedge کارتریج‌های حاوی ۳۳AD با دبی متوسط دو لیتر بر دقیقه را عرضه نموده است. عمر مفید این کارتریج‌ها بین سه هزار و ۸۰۰ تا ۱۱ هزار و ٤۰۰ لیتر است و به طوری که تخمین زده می‌شود چهار تا شش برابر بزرگ‌تر از دیگر جاذب‌های تجاری موجود است.

هزینه

هزینه کارتریج‌های ۳۳AD برای هر مورد حدوداً ۵۰ دلار است و هزینه هر فیلتر مجزا وابسته به مقدار خریداری شده است؛ اما به طور نمونه بین هشت تا ۱۳ دلار به ازای هر لیتر تغییر می‌کند.

روش مصرف

طبق توصیه‌های شرکت Adedge، فیلترها و محصولات ۳۳AD نیاز به جایگزینی مکرر داشته و مواد شیمیایی یا احیاءکننده‌ها برای آنها استفاده نمی‌شود. با توجه به خشکی ابزارهای ۳۳AD، نسبت به سایر ابزارهای فیلتراسیون مبتنی بر آهن مرطوب، راحت‌تر استفاده می‌شوند؛ به طوری که در گسترده وسیعی از سیستم‌ها استفاده می‌شوند. علاوه بر این، ابزارهای ۳۳AD

مصرف‌شده خطرناک نیست می‌توان آنها را طبق استانداردهای سازمان حفاظت از محیطزیست امریکا، در زمین دفع کرد.

٦. نانوذرات مغناطیسی

٦-١. Magneto ferritin

نانوذرات مغناطیسی معمولاً به عنوان جاذب و نانوکاتالیست برای تصفیه آب بررسی شده‌اند. شرکت انگلیسی Nano Magnetics، نانوذرات مغناطیسی را تحت عنوان Magneto ferritin ارائه کرده و مشغول بررسی توانایی آن برای انجام اسمز پیش‌رونده (forward osmosis) به عنوان گزینه‌ای با بازدهی انرژی برای اسمز معکوس است. در چنین سیستمی از نانوذرات مغناطیسی برای تولید فشار اسمزی مورد نیاز برای راندن آب از میان یک غشای فیلتراسیون استفاده شده‌اند. برخلاف اسمز معکوس که برای تولید فشار اسمزی نیازمند انرژی ورودی است.

حذف آلودگی‌ها

Magneto ferritin با توانایی اسمز پیش‌رونده، برای نمک‌زدایی در نظر گرفته شده است؛ اگر چه با توجه به به نوع غشای مصرفی قادر به حذف آلودگی‌های دیگر نیز هست.

مقدار تصفیه آب شرکت Nano Magnetics اشاره می‌کند که Magneto ferritin را می‌توان از آب، بازیافت و بدون هیچ محدودیت ویژه‌ای دوباره استفاده کرد.

هزینه

اطلاعات خاصی نسبت به هزینه‌های Magneto ferritin در دسترس نیست؛ اما به گفته شرکت Nano Magnetics عمر طولانی و استفاده مجدد این مواد آنها را نسبت به اسمز معکوس از لحاظ هزینه بسیار مناسب‌تر نموده است. همچنین اسمز پیش‌رونده هزینه‌های مرتبط با انرژی را تا ٤٠ درصد هزینه‌های اسمز معکوس کاهش می‌دهد.

روش مصرف

هنوز برای Magneto ferritin هیچ سیستم قطعی‌ای طراحی نشده است؛ اما برخی منابع اشاره می‌کنند که نانوذرات مغناطیسی در یک طرف غشاء برای ایجاد غلظت، به صورت غیرتعادلی به منبع آب اضافه شده‌اند. این اختلاف غلظت فشار اسمزی مورد نیار برای راندن آب منبع از میان غشاء را ایجاد خواهد کرد. سپس نانوذرات می‌توانند با استفاده از میدان مغناطیسی از آب خالص‌سازی شده، بازیافت شوند.