



فناوری نانو و حذف آلودگی های آب

نویسندگان: محمد حسین سلمانی^۱ محمد عابدی^۲ سید احمد مظفری^۳ محمد حسن احرامپوش^۴

۱. دانشجوی دکتری شیمی تجزیه، مربی گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید

صدوقی یزد

۲. نویسنده مسئول: استادیار شیمی تجزیه، پژوهشکده فناوری های شیمیایی، سازمان پژوهش های علمی و صنعتی ایران

تلفن: ۰۹۱۲۷۱۵۳۶۰۲ Email: mabedi50@yahoo.com

۳. استادیار شیمی تجزیه، پژوهشکده فناوری های شیمیایی، سازمان پژوهش های علمی و صنعتی ایران

۴. استاد گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد

چکیده

مقدمه: مطالعات نشان داده است که چنانچه تصفیه ی فاضلاب و پساب ها بطور مناسب مدیریت شود، بخش قابل ملاحظه ای از منابع آب مورد نیاز جوامع در حال توسعه را فراهم می کند. با افزایش بی رویه غلظت مواد ریزدانه، ترکیبات آلی و معدنی و بخصوص فلزات سنگین در پساب ها روش های متعارف جابگویی حذف آلاینده ها نبوده و لازم است از فرآیندهای جدید در حذف آنها استفاده شود. با توسعه فناوری های نوین از قبیل نانو فناوری، فرآیندهای حذف آلاینده ها از آب و پساب های صنعتی و کشاورزی بهبود یافته است. این مطالعه مروری بر تحقیقات انجام شده در مورد کاربرد فناوری نانو در حذف آلاینده های آب است که در این زمینه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ منتشر شده است و با عبارات کلیدی Application of Nanotechnology, Nanotechnology and wastewater treatment, Nanofiltration and wastewater treatment در

اینترنت و مجلات معتبر علمی بهداشت محیط جستجو انجام شد.

نتیجه گیری: اکثر مطالعات نشان داده اند، که استفاده از مواد نانو به علت دارا بودن سطح ویژه بسیار زیاد و خواص شیمیایی منحصر بفرد به کاربران این امکان را می دهد تا بطور مستقیم یا پس از اصلاح و عاملدار شدن به صورت اختصاصی و با ظرفیت بالاتر آلاینده ها را از محیط آبی خارج نمایند. نانو فیلتراسیون، نانو فتوکاتالیست ها، نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی، نانو ذرات مغناطیسی از جمله روش ها و موادی هستند که جهت کنترل و حذف آلاینده ها از آب و پساب استفاده شده اند. حذف آلاینده ها و بازیابی آب خالص با بکاربردن فناوری نانو تاثیر زیادی در کاهش هزینه و زمان در صنعت تصفیه داشته و باعث بهبود منابع آبی در محیط زیست می گردد. نانو ذرات مغناطیسی اکسید آهن به علت دارا بودن خاصیت مغناطیسی و امکان جداسازی راحت تر از محیط پس از تصفیه، یک روش موثر و کارآمد در حذف آلاینده ها بشمار می رود.

واژه های کلیدی: فناوری نانو، حذف آلاینده ها از آب، نانو فیلتراسیون، نانو ذرات مغناطیسی، نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی

طلوع بهداشت

فصلنامه علمی پژوهشی

دانشکده بهداشت یزد

سال دوازدهم

شماره: چهارم - ۱۳۹۲

(ویژه نامه بهداشت محیط)

شماره مسلسل: ۴۲

تاریخ وصول: ۱۳۹۲/۶/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۷/۱۷

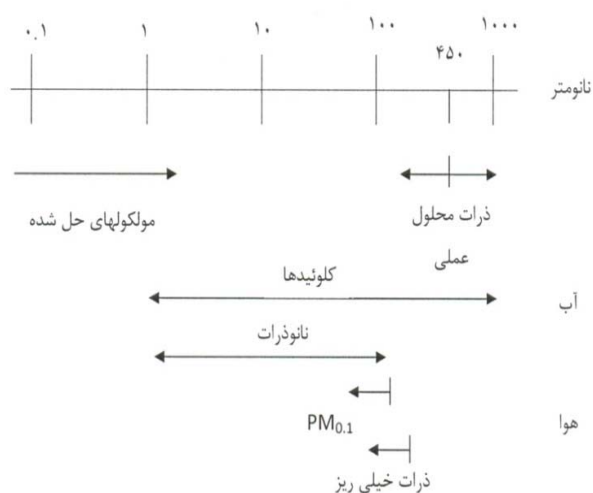
مقدمه

نانو فناوری به عنوان پژوهش و توسعه در مقیاس اتمی، مولکولی و درشت مولکول‌ها تعریف شده است. این شاخه از علم، به نانو ذرات با ابعاد کمتر از ۱۰۰ نانومتر به عنوان واحدهای تشکیل دهنده اشاره دارد. فناوری نانو به عنوان فهم و کنترل مواد در ابعاد ۱-۱۰۰ نانومتر که در این ابعاد خواص فیزیکی منحصر به فردی برای ماده ایجاد می‌گردد، تعریف شده است (۱). این مواد می‌توانند لوله‌ای، کروری و یا نامنظم و در اشکال ذوب شده یا جمع و متراکم وجود داشته باشد. شکل (۱) تقسیم بندی مواد بر حسب اندازه آنها در آب و هوا و مقایسه آنها با نانو ذرات را نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل مشاهده می‌شود، در بسیاری از موارد همه ترکیبات عبور کرده از فیلتر با قطر ۰/۴۵ میکرومتر "ذرات حل شده" تعریف شده است. بخش کلوئیدی ذراتی با اندازه ۱ نانومتر تا ۱ میکرومتر می‌باشد (۲)، که با نانو ذرات از لحاظ اندازه تداخل دارد. تفکیک و تشخیص بین ذرات حل شده و ذرات کلوئیدی در آب‌های طبیعی به در دسترس بودن روش‌های تجزیه‌ای اندازه‌گیری بستگی دارد که می‌تواند میان این اجزا بدون وارد کردن آثار تداخلی تمایز قائل شود (۳).

ذرات در اندازه نانو هزاران سال در صنایع مختلف مورد استفاده قرار گرفته است، اما تجدید فعالیت‌های جدید به خاطر قابلیت در ساخت و عمل‌آوری این مواد شکل گرفته است. مواد با اندازه نانو در صنایع مختلف از قبیل الکترونیک، مغناطیس و اپتوالکترونیک، زیست پزشکی، داروسازی، بهداشتی و آرایشی، انرژی، محیط زیست و کاتالیست‌ها کاربرد موثر دارد. نانو فناوری پتانسیل زیادی



در بهبود هوا، آب و کیفیت خاک در محیط دارد و می‌تواند موجب بهبود در شناسایی و سنجش آلاینده‌ها شود و به توسعه فناوری‌های نو برای حذف آنها کمک کند (۴). دانستن ساختار و نحوه رشد نانو ذرات به توسعه موثر برای به حداقل رساندن اثر آلاینده‌ها در مبداء و کاهش منابع انتشار آنها کمک می‌کند. البته، مفهوم نانوفناوری به حدی گسترده است که بخش‌های مختلف علوم و فناوری را تحت تأثیر خود قرار داده و در عرصه‌های مختلف از جمله بهداشت محیط نیز کاربردهای وسیعی یافته است (۵).



شکل ۱: تقسیم بندی مواد بر حسب اندازه آنها در آب و هوا

مطالعات اخیر نشان دادند، که بسیاری از مشکلات کیفیت آب را می‌توان با استفاده از فناوری‌های نانو بهبود بخشید. در این خصوص تحقیقات برای استفاده از نانوذرات در ساخت صافی‌ها و یا بر روی سایر محیط‌ها ادامه دارد. ایده جدید استفاده از نانو ذرات در تصفیه فاضلاب‌های صنعتی و پساب‌ها یکی از کاربردهای مفید این مواد می‌باشد. این مطالعه بر توانایی استفاده از فناوری نانو و



فاکتورهای موثر در فرآیند جذب شامل مساحت سطح، طبیعت و غلظت اولیه جاذب، pH محلول، دما، مواد مداخله کننده، طبیعت و مقدار جاذب هستند. از آنجا که مرحله ابتدایی جذب یک پدیده سطحی است، جذب متناسب با مساحت سطح ویژه است که قسمتی از مساحت سطح کل است که قابل دسترس گونه برای جذب شدن است. سهم اصلی برای مساحت سطح در ابعاد مولکولی، منافذ جاذب است. برای مثال مساحت سطح چند کربن فعال استفاده شده برای تصفیه پساب که در حدود $1/000$ مترمربع بر گرم است، با قطر متوسط ذرات در حدود $1/6$ میلی متر، دانسیته $1/4$ گرم بر سانتی متر مکعب و فرض اینکه ذرات کروی باشند، فقط در حدود $0/0003$ درصد از سطح کل سطح داخلی ذرات کربن را شامل است. نانو ذرات دارای دو ویژگی کلیدی هستند که آنها را از جاذب‌های دیگر متمایز می‌کند. نانو مواد در مقایسه با مواد در ابعاد بزرگ دارای سطوح بسیار وسیع تری هستند و آنها می‌توانند با سایر گروه‌های شیمیایی ترکیب و نانو ذرات عاملدار شده را ایجاد نمایند. به علاوه این مواد قادر به برهم‌کنش با گروه‌های شیمیایی مختلف به منظور افزایش میل ترکیبی آنها با ترکیبات ویژه می‌باشند (۸). همچنین نانو مواد می‌توانند به عنوان لیگندهای قابل بازیافت با ظرفیت و عملکرد انتخابی بسیار بالا برای حذف یون‌های فلزی ترکیب‌های معدنی به شمار آیند.

۲- صافی غشایی و غربال‌های نانو: غشاء یک مانع نفوذپذیر و انتخابی بین دو فاز حاوی گونه و دریافت کننده گونه می‌باشد که فقط گونه شیمیایی انتخاب شده ممکن است از آن عبور نماید. صافی‌های غشایی بطور متناوب برای جداسازی املاح حل شده در

نانوذرات در تصفیه آب‌ها و پساب‌ها پرداخته است.

مواد نانو در حذف آلاینده‌ها: چهار طبقه‌ی (۱) نانوجاذب‌ها (۲) نانوصافی‌ها (۳) نانو کاتالیست‌ها و (۴) نانو ذرات مغناطیسی از فناوری نانومقیاس به عنوان مواد کاربردی برای خالص‌سازی آب ارزیابی شده‌اند (۶). این‌ها دامنه وسیعی از خواص فیزیکی و شیمیایی دارند که آنها را برای جداسازی آلاینده‌ها و حدواسط‌های فعال برای تصفیه آب‌ها جاذب کرده است.

۱- نانو جاذب‌ها: جذب بطور عمومی یک روش مطالعه شده برای خالص‌سازی و تصفیه آب است. فرایند جذب انتقال یونها از فاز محلول به فاز جامد است. اساساً جذب فرآیند انتقال جرم است تا آنکه ماده‌ای از فاز مایع یا گاز به سطح جامد منتقل شود و سپس با برهم‌کنش‌های فیزیکی یا شیمیایی به جاذب پیوند داده می‌شود. در سطح جامدها، نیروهای نامتعادل جذب وجود دارد که مسئول جذب هستند. در صورتی که جذب متناسب با نیروهای ضعیف و اندروالس باشد، جذب فیزیکی نامیده می‌شود. در حالتی که ممکن است پیوندهای شیمیایی بین جاذب و مولکولهای جذب شونده باشد به عنوان جذب شیمیایی معرفی می‌شود. جذب در واقع گروهی از فرآیندهایی را شرح می‌دهد که شامل واکنش‌های جذب و رسوب‌گیری در فاز جامد است. در حالت کلی، سه مرحله اصلی در جذب آلاینده بداخل جاذب جامد تعریف می‌گردد.

۱- انتقال آلاینده از توده محلول به سطح جاذب

۲- جذب بر روی سطح ذرات

۳- انتقال بین ذرات جاذب (۷).



غشاهای نانولوله‌ای می‌توانند به عنوان غشاهای میکروفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون استفاده شوند زیرا تخلخل نانولوله‌های کربنی به طور قابل توجهی کوچک است. 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 فرایند اولتراسونیک و اتوکلاو در 121°C در مدت ۳۰ دقیقه تمیز می‌شوند. لی و همکارانش (۲۰۰۳) تحقیقی در مورد جذب سطحی یون‌های Pb(II) ، Cu(II) و Cd(II) با نانولوله‌های کربنی چند دیواره (MWCNTs) انجام داده‌اند. آنها حداکثر میزان جذب سطحی را $97/08$ ، $24/49$ و $10/86$ میلی‌گرم بر گرم برای سرب، مس و کادمیوم در دمای اتاق، در $\text{pH}=5$ و در غلظت بهینه شده یون‌های فلزی برابر ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر گزارش کردند (۱۲). گائو و همکاران فاکتورهای موثر در جذب یون‌های فلزات واسطه بر روی نانولوله‌های کربن اکسید شده را بررسی کردند و دریافتند که مکانیزم جذب بوسیله ترکیب سطح، فرایندهای تعویض یون و پتانسیل الکتروشیمیایی کنترل می‌شود. پتانسیل شیمیایی نقش عمده در فرایند جذب دارد، زیرا واکنش‌های اکسایش-کاهش نه فقط روی سطح بلکه در بین ذرات جاذب نیز بطور مشابه ظاهر می‌شود (۱۳). هم اکنون نانولوله‌های کربنی می‌توانند در مقادیر زیاد به روش رسوب‌گیری بخار شیمیایی (CVD) تولید شوند که یک روش نوید بخش برای کاهش قیمت نانولوله‌های کربنی است و بنابراین کاربرد آنها در تصفیه و حفاظت از آب را افزایش می‌دهد (جدول ۲). علاوه بر این، خصوصیت ویژه کربن نانولوله آن‌ها را برای ساخت نانو سنسورهای شیمیایی و الکتروشیمیایی نیز جذاب کرده است.

سیال و یا جداسازی مخلوط گازها به کار برده می‌شوند. فناوری غشاء کاربرد وسیعی در تصفیه فاضلاب و آب شیرین‌کن‌ها از طریق اسمز معکوس دارد. در این روش تفاوت فشار دو طرف غشاء باعث غلبه بر شیب فشار اسمزی شده و مولکول‌های کوچک‌تر آب از یک طرف غشاء به طرف دیگر نفوذ کرده در حالی که گونه‌های موجود در محلول در آن طرف حفظ شده و باقی می‌مانند (۹). در میان گروه‌های مختلف غشاهای فیلتراسیون اسمز معکوس یک فرایند شناخته شده در آب شیرین‌کن‌های آب دریا می‌باشد اولترافیلتراسیون در جداسازی و تفکیک مواد آلی در فرایند تصفیه استفاده می‌گردد. نانوفیلتراسیون یک فرآیند با غشا نفوذپذیر بین اسمز معکوس اولترافیلتراسیون می‌باشد که اندازه ذرات حفره غشاء در این حالت بین $0/2$ تا 4 نانومتر است و برای استخراج فلزها، حذف فلزات سنگین از قبیل روی، کادمیوم، کروم، سرب، مس، پالادیوم و جیوه از فاضلاب و همچنین حذف کاتیون‌های قلیایی نظیر سدیم، پتاسیم، سزیم، لیتیم و آنیون‌های نظیر کلرید، سولفات، فسفات و کرومات استفاده شده است (۱۰). جدول ۱ خصوصیات غشاهای مختلف در تصفیه آب را مقایسه کرده است.

۱-۲ نانولوله‌های کربنی: نانولوله‌های کربنی می‌توانند برای تشکیل غشاهایی با تخلخل نانومتری و با 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.



جدول ۱: خصوصیات غشاهای مختلف در تصفیه آلاینده‌های آب (۱۱)

ابعاد (nm)	نوع آلاینده‌ها	نوع غشاء (اندازه حفره، nm)	نوع حفره nm
۱۰۰۰-۱۰۰۰۰	مخمرها و قارچ‌ها		
۳۰۰-۱۰۰۰۰	باکتری‌ها	میکروفیلتراسیون	ماکرو حفره (> ۵۰)
۱۰۰-۱۰۰۰۰	امولسیون روغن	(۵۰-۵۰۰)	
۱۰۰-۱۰۰۰	جامدات کلوییدی		
۳۰-۳۰۰	ویروس‌ها	اولترافیلتراسیون	مزوحفره (۲-۵۰)
> ۳	پروتئین‌ها، هیومیک اسید	(۲-۵۰)	
۰/۶-۱/۲	آنتی بیوتیک‌ها	نانوفیلتراسیون (≤ ۲)	
۰/۳-۰/۸	یون‌های معدنی	اسمز معکوس (۰/۳-۰/۶)	میکرو حفره (۲-۰/۲)
۰/۲	آب	اسمز جلو برنده (۰/۳-۰/۶)	

جدول ۲: حذف آلاینده‌ها با استفاده از نانولوله‌های کربنی

مرجع	pH	ظرفیت جذب mg/g	عنصر حذف شده	نوع نانو ذره
۱۴	۵/۱	۱۱/۲	Pb(II)	کربن نانو لوله‌ها
۱۵	۵/۵	۱۱	Cd(II)	کربن نانو لوله‌های اکسید شده با پتاسیم پرمنگنات
۱۶	-	۳۲/۷	Zn(II)	کربن نانو لوله‌ها
۱۷	-	۱۴/۹	F ⁻	Al ₂ O ₃ /CNTS

گرفته است و می‌توان برای تشکیل فیلترهای شبه کاغذی، آنها را روی یک زیرلایه صاف و یا لوله‌ای قرار داد. با این کار از قابلیت پیچیده شدن به اطراف هر ساختار استوانه‌ای متداول و یا ساختار دیگر را به دست می‌آورند. از نانوغربال‌ها می‌توان در حذف گستره وسیعی از ترکیبات آلی و معدنی و یا مواد زیستی استفاده کرد. نانوغربال‌های مورد استفاده توانایی حذف بیش از ۹۹/۹۹

۲-۲- نانو غربال‌ها: نانو غربال‌ها یکی دیگر از صافی‌ها هستند که کاربرد وسیعی در زمینه تصفیه آب و فاضلاب و حذف آلاینده‌ها دارند. این فیلترها از چندین لایه نانولوله کربنی ساخته شده‌اند که هر لایه قابلیت حذف نوع متفاوتی از ترکیبات را دارد. بعبارت دیگر، نانوغربال از نانولوله‌های کربنی جفت شده با یکدیگر تشکیل می‌شود که روی یک زیرلایه متخلخل و انعطاف‌پذیر قرار



بسیاری از غشاها و فناوری‌های جاذب دیگر، جذب سریع‌تر، ظرفیت بالاتر و انتخاب‌پذیری بهتری را از خود نشان داده است. این ترکیبات برای حذف آلودگی‌های فلزی از آب آشامیدنی، آب‌های زیرزمینی و فاضلاب‌های صنعتی طراحی شده است (۲۰). همچنین طبق گزارش‌ها، سرامیک‌های نانوحفره می‌توانند برای حذف فلزات خاصی برنامه‌ریزی شوند؛ ولی برخی فلزات از قبیل کلسیم، منیزیم و روی را حذف نمی‌کنند. سرامیک‌های نانوحفره تک‌لایه برای حذف آلودگی‌های زیستی یا آلی مؤثر نیست. از سرامیک‌های نانوحفره می‌توان در گستره وسیعی از کاربردها برای تصفیه آب مصرفی تا تصفیه فاضلاب‌های صنعتی، استفاده کرد (۲۱). یکی از سرامیک‌های نانوحفره زئولیت‌ها می‌باشند که ترکیبات آلومینوسیلیکاتی با تخلخل زیاد و ساختمان حفره‌ای متفاوت شامل چارچوب سه بعدی و در درون شبکه بار منفی هستند. بار منفی بوسیله کاتیونی که قابل تعویض با برخی کاتیون‌های موجود در محلول است، متعادل می‌شود. ظرفیت تعویض یونی بالا، مساحت سطح ویژه بالا و همچنین قیمت نسبتاً پایین زئولیت‌ها برای حذف یون‌های فلزات سنگین جاذب می‌باشند. جذب آرسنیک از محلول آبی روی سرامیک‌های نانوحفره در دمای اطاق بررسی شده و نتایج نشان داده است که سرامیک‌های نانوحفره‌ای سنتز شده جاذب‌های مؤثر برای حذف یون آرسنیک در هر دو سطح غلظتی کم و زیاد می‌باشد (۲۲).

۳- نانوکاتالیست‌ها: نانوکاتالیست‌ها در مقایسه با کاتالیست‌های معمولی که نیاز به مقدار انرژی فعال سازی بیشتری دارند و یا برای محیط مضر می‌باشند، می‌توانند جایگزین شوند. نانوکاتالیست‌ها در

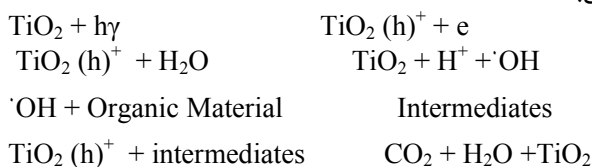
درصد از باکتری‌ها، ویروس‌ها، کیست‌ها، میکروب‌ها، کپک‌ها، انگل‌ها، و همچنین کاهش یون‌های فلزی آرسنیک و سرب را دارند. نانوغربال‌های چند عملکردی نیز مانند ترکیبات معدنی اعم از فلزات سنگین، ذرات معلق و دیگر مواد می‌توانند ترکیبات آلی از قبیل آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌ها را حذف نمایند (۱۸).

۲-۳- صافی آلومینای نانولیفی: جاذب‌های نانولیفی 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 کلونیدهای آلی و غیرآلی و یون‌های فلزی می‌شوند. فیلترهای نانولیفی آلومینا به جای جمع‌آوری ذرات بسیار ریز بر روی سطح، آنها را جذب می‌کنند؛ بنابراین نسبتاً عمر مفید و طولانی‌تری دارند. فیلترهای نانوالومینا لیفی بیش از ۹۹/۹۹ درصد ویروس‌ها، باکتری‌ها، انگل‌ها، ترکیبات آلی طبیعی، DNA و کدری را حذف می‌کند، همچنین قابلیت جذب ۹۹/۹ درصد از نمک‌ها، مواد رادیواکتیو و فلزات سنگین از قبیل کروم، آرسنیک و سرب را دارند، حتی اگر ذرات، نانومقیاس و یا حل شده باشند. فیلترهای نانوالومینا لیفی در pH بین ۵ تا ۹ بهتر عمل می‌کنند (۱۹).

۲-۴- سرامیک‌های نانوحفره: 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. سرامیک‌های نانوحفره نسبت به



تجزیه می‌کنند. واکنش کلی به صورت واکنش‌های زیر می‌باشد (۲۳).



نانوپودرهای سوسپانسیون شده تیتانیوم دی‌اکسید فرایند فتوکاتالیستی پُربازدهی را از خود نشان می‌دهند؛ چرا که سطح داخلی آنها در معرض تابش اشعه فرابنفش و آلودگی‌ها قرار می‌گیرد و فرایند فتوکاتالیستی سریع‌تری را نسبت به ذرات بزرگ‌تر فراهم می‌نماید. تیتانیوم دی‌اکسید هم به عنوان عامل احیای فتوکاتالیستی و هم به صورت یک جاذب عمل می‌کند. تیتانیوم دی‌اکسید تقریباً همه آلودگی‌های آلی را تجزیه می‌کند. این ماده بسیار آب‌دوست است؛ و بنابراین توانایی جذب آلودگی‌های زیستی و فلزات سنگین از قبیل آرسنیک را دارد. راندمان آن تابع اندازه تیتانیوم دی‌اکسید، شدت پرتو فرابنفش،

pH آب، اکسیژن محلول در آب و غلظت آلاینده است (۲۴).

۳-۲- نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی: نانوذرات آهن صفر

ظرفیتی بطور گسترده برای حذف آلاینده‌های آلی و معدنی از

آب‌های زیرزمینی استفاده می‌شوند و انعطاف پذیری بسیار بالایی

را برای تصفیه در محل و نیز خارج از محل ارائه می‌کنند. این

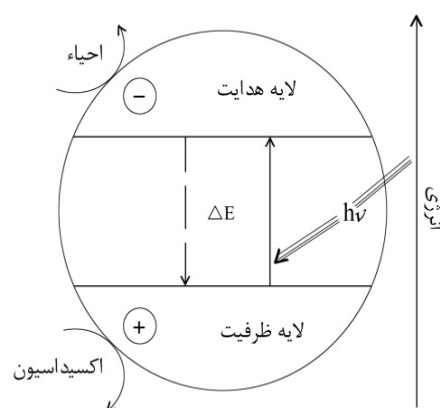
ماده همزمان یک جاذب و یک عامل احیاکننده است (جدول ۳)،

همچنین موجب می‌شود که آلودگی‌های آلی به ترکیبات کربنی

با درجه سمیت کمتری شکسته شوند و فلزات سنگین تجمع یافته

دمای خیلی کمتر از کاتالیست‌های معمولی استفاده می‌شوند و بنابر این انرژی دریافتی آنها کمتر است. ظرفیت نانو کاتالیست‌ها برای کاتالیز کردن خیلی بیشتر از کاتالیست‌های معمولی است و این کاربرد وسیع نانومواد را در فرایندهای کاتالیستی افزایش داده است.

۳-۱- نانو دی‌اکسید تیتانیوم: نیمه رساناها تحت انرژی تابش یک الکترون را به لایه هدایت انتقال می‌دهند و در لایه ظرفیت یک حفره ایجاد می‌شود. این فرایند توانایی اکسید و احیاء را برای ذره به همراه دارد که در شکل ۲ نشان داده شده است. نیمه رسانا TiO_2 ، ZnO و Fe_2O_3 تحت تاثیر اشعه ماورا بنفش این فرایند را انجام می‌دهند.



شکل ۲ نمای فتوکاتالیست نانوذرات

تیتانیوم دی‌اکسید در حضور آب، اکسیژن و تابش UV، رادیکال‌های آزاد هیدروکسیل تولید می‌کند که این ادیکال‌ها آلودگی‌های آلی را به ترکیبات کربنی با درجه سمیت کمتری



است. بنابر این از دیدگاه اقتصادی استفاده از نانوذرات در مقیاس صنعتی مناسب نیست که با استفاده از خاصیت مغناطیسی می‌توان بر این مشکل غلبه کرد. نانوذرات مغناطیسی دو مزیت عمده بر ذرات غیرمغناطیسی دارند. اول جداسازی آسان و دیگری بازیافت سریع و آسان با استفاده از میدان مغناطیسی خارجی است که کاربرد آنها را افزایش می‌دهد. نانوذرات مغناطیسی مگنتیت Fe_3O_4 ، مگهمیت $\gamma-Fe_2O_3$ و زاکوبست $MnFe_2O_3$ به عنوان جاذب و نانوکاتالیست برای تصفیه آب استفاده شده‌اند (جدول ۳). نانوذرات مغناطیسی برای تولید فشار اسمزی مورد نیاز برای راندن آب از میان یک غشای فیلتراسیون استفاده می‌شوند. برخلاف اسمز معکوس که برای تولید فشار اسمزی نیازمند انرژی ورودی است، آهن مغناطیسی با توانایی اسمز پیش‌رونده، برای نمک‌زدایی در نظر گرفته شده است؛ اگر چه با توجه به نوع غشای مصرفی قادر به حذف آلودگی‌های دیگر نیز هست. 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 ۴۰ درصد هزینه‌های اسمز معکوس کاهش می‌دهد (۲۸). نانولوله‌های کربنی که با نانوذرات مغناطیسی عامل‌دار شده است به عنوان جاذب‌های مگنتیک یا رزین‌های تعویض یون مغناطیسی (MIEX) برای حذف مواد آلی طبیعی از آب خام استفاده شده است و نتایج بهتری از فرآیندهای لخته سازی داده

را از محلول خارج کند. نانوذرات آهن صفر ظرفیتی را می‌توان برای تصفیه درمحل مستقیماً به منابع آب‌های زیرزمینی تزریق کرد، یا می‌توان آنها را وارد غشاها کرد و برای کاربردهای خارجی استفاده کرد (۲۵). نانوذرات آهن صفر ظرفیتی بسیار فعال بوده و سطح مخصوص بالایی نسبت به آهن صفر ظرفیتی دانه‌ای دارد و در گستره وسیعی از pH ها و دماهای خاک و مقادیر ماده مغذی مؤثر است. لذا می‌تواند برای کاهش گستره وسیعی از آلودگی‌های متداول زیست‌محیطی، مثل کلرومتان‌ها، کلروبنزن‌ها، آفت‌کش‌ها، رنگ‌های آلی، تری‌هالومتان‌ها، پلی‌سیکلیک بی‌فل‌ها، آرسنیک، نیترات و فلزات سنگین از قبیل جیوه، نیکل و نقره استفاده شود (۲۶). همچنین نانوذرات آهن صفر ظرفیتی دو فلزی که در آن نانوذرات آهن با یک فلز ثانویه از قبیل پالادیم برای افزایش فعالیت آهن پوشیده می‌شوند، تهیه شده است. نانوذرات آهن صفر ظرفیتی پوشیده‌شده با پالادیم نشان داده است که همه ترکیبات کلردار را در مدت هشت ساعت تا زیر مقادیر حد مجاز کاهش می‌دهد. این در حالی است که نانوذرات آهن صفر ظرفیتی معمولی برای حذف بیش از ۹۹ درصد از این ترکیبات به ۲۴ ساعت زمان نیاز دارد (۲۷).

۴- نانوذرات مغناطیسی: نانوذرات کارآیی بهتری از ذرات پودری در حذف آلاینده‌ها دارند اما جداسازی و بازیافت ذرات ریز (کمتر از ۰/۵ میکرومتر) از آب تصفیه شده مشکل و پر هزینه



با آنهایی که در مرکز نانوذرات قرار دارند متفاوت می‌باشد و می‌توانند تاثیرات قابل توجهی روی خاصیت مغناطیسی نانو ذرات داشته باشد. کنترل اندازه و پاشیدگی نیز بسیار مهم می‌باشد، چراکه خاصیت نانوبلورها بستگی زیادی بر روی تعداد نانوذرات دارد. جالب است که فقط ذرات مغناطیسی با اندازه کمتر از ۳۰ نانومتر فضای سطحی بزرگی دارند و خاصیت فوق پارامغناطیسی ارائه می‌دهند که آنها را در معرض میدان مغناطیسی قرار می‌دهد. این خاصیت به میزان زیاد در گسترش و توسعه فرایندهای جداسازی جدید یا نو مفید می‌باشد. اکسید آهن نانو ساختار دانه‌ای و خشک، برای حذف آرسنیک موثر بوده است. اکسید آهن نانو با ترکیبی از خواص کاتالستی و جذبی ضمن تبدیل آرسنیک به موادی با سمیت کمتر، به طور همزمان آن را از آب جدا می‌نماید. اکسید آهن نانو 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 (۳۰).

جدول ۳: حذف آلاینده‌ها با استفاده از نانوذرات بر پایه آهن

مرجع	pH	راندمان حذف %	نوع آلاینده	نوع نانو ذره
۳۰	-	۹۴	لیندان	نانوذره سولفید آهن
۳۱	-	۱۰۰	نیترات	آهن صفر ظرفیتی
۳۲	۶/۵-۶/۸	۱۰۰	پرکلرات	نانوذره آهن صفر ظرفیتی
۳۳	-	۱۰۰	Ni (II)	نانوذره آهن
۳۴	-	۱۰۰	نیترات	نانوذره آهن / مس
۳۵	-	> ۹۰	تری کلرواتان	نانوذره نیکل / آهن
۲۸	۷	۹۶/۵	Ni (II)	نانوذره مگمیت
۳۶	۵/۳	۹۵/۰	Cu(II)	MnFe ₂ O ₄

است. در این حالت گلوله‌های رزین تعویض یون شامل یک جزء مغناطیس شده در ساختمانشان هستند و لذا به صورت مگنتیک‌های منحصر به فرد عمل می‌کنند. ذرات ژل کیتوزان مغناطیسی، کربن مغناطیسی و آلزینات مغناطیسی در فرآیند حذف رنگ‌های پلی‌سیکلیک مالاشیت سبز، کریستال سفید و رنگ‌های آلی دیگر از پساب‌ها بکار برده شده‌اند (۲۹). باکتری‌های مگنتواستیک که بطور طبیعی به صورت منابع جاذب مگنتیکی در طبیعت ظاهر می‌شوند، توانایی دارند خودشان را در جهت میدان مغناطیسی مرتب کنند. باکتری‌های مگنتواستیک برای حذف آلاینده‌های آلی از آب با واکنش‌های آنزیمی عمل می‌کنند (۲۹).

۴-۱- نانوذرات اکسید آهن: نانوذرات اکسید آهن مغناطیسی به راحتی در سیستم‌های آبی تجمع می‌یابند، بنابراین بکار بردن این نانوذرات به وسیله تغییر شکل سطحی مطلوب می‌باشد. ساختار اکسید آهن مغناطیسی در لایه‌های سطحی معمولاً به میزان زیادی



بحث و نتیجه‌گیری

مساحت سطح زیاد و همچنین نیروهای برهمکنش سطحی قوی از دیگر جاذب‌ها متمایز کرده‌اند. اگر چه مطالعات زیادی روی فرآیند جذب نانوذررات انجام شده است، هنوز بسیاری موضوعات نامعلوم برای جستجوهای آینده مثل رابطه بین توزیع وسعت ذرات جاذب، اندازه مولکول‌های جذب شونده، گروه‌های عاملی موجود روی سطح نانوذررات و ظرفیت جذب آنها وجود دارد که به پیش‌بینی و انتخاب جاذب‌ها در کارهای عملی واقعی کمک می‌کند (۳۷).

علم نانو توانایی زیاد برای بهبود فناوری‌های مختلف و از جمله فناوری تصفیه آب نشان داده است. انواع مختلف نانوذررات آلی و معدنی مثل نانولوله‌های کربنی، نانوحفرها، نانوذررات مغناطیسی مرور و ویژگی‌ها و ظرفیت جذب آنها در شرایط مختلف مورد بحث و مقایسه قرار گرفت (جدول ۴). مطالعات مختلف نشان دادند که رابطه شدید بین خصوصیات و ساختمان جاذب با خواص سطح و گروه‌های روی سطح جاذب بویژه مساحت سطح و تخلخل جاذب‌ها وجود دارد. این مطالعات نانو جاذب‌ها را به علت داشتن

جدول ۴: خلاصه‌ای از کاربردهای فناوری نانو در حذف آلاینده‌ها

نوع نانوذره	مکانیزم تصفیه	آلاینده حذف شده	مزیت	معایب
نانوفیلتراسیون و غشاء غربال	نانو فیلتراسیون	ترکیبات آلی و معدنی	فشار کمتر از اسمز معکوس	پرهزینه، جلوگیری از بسته شدن غشاء
نانو لوله‌ها و فلورن‌ها	جذب	فلزات سنگین، آنیون‌ها، آلاینده‌های آلی	تصفیه آلاینده‌ها از هوا و آب، خواص الکترونی منحصر به فرد، پایداری شیمیایی زیاد	هزینه سرمایه‌گذاری زیاد، ظرفیت جذب کم، بازیافت مشکل، خطر سلامتی
نانو ذره پایه آهن	احیاء و جذب	فلزات سنگین، آنیون‌ها، آلاینده‌های آلی	تصفیه آب و خاک، قیمت کم، تصفیه درجا، حمل و نقل ایمن	مشکل بازیافت، تولید لجن، خطر سلامتی
نانوذره بر پایه TiO_2	اکسیداسیون فتو کاتالیست	آلاینده‌های آلی	غیرسمی - قابل حل در اغلب شرایط - پایداری نوری	هزینه عملیاتی زیاد، مشکل بازیافت، تولید لجن
نانوذررات مغناطیسی	جذب	فلزات سنگین، آلاینده‌های آلی	سادگی جداسازی، تولید نکردن لجن	میدان مغناطیسی خارجی لازم است، پرهزینه

References

- 1- EPA. Nanotechnology White Paper. Environmental protection Agency Report EPA. 2007 100/B-07/001
- 2-Pratim B. and Chang-Yu Wu, Nanoparticles and the Environment J Air & Waste Manage. Assoc 2012; 55: 708-46



- 3- Mansoori GA, Rohani Bastami T, Ahmadpour A, Eshaghi Z. Environmental Application of nanotechnology. Annual Review of Nano Research. Vol.2, Chap.2,2008: 1.[Persian]
- 4- Wei Wu Quanguo, He Changzhong Jiang. Magnetic Iron Oxide Nanoparticles: Synthesis and Surface Functionalization Strategies. Nanoscale Res Lett 2008; 3: 397–415.
- 5- Salmani MH, Aoueyan M, Ehrampoush MH, et al. Ability of Iron Oxide Nanoparticles in Ion Silver Removal from Synthetic Wastewater. J Toloee Behdasht. 2008; 31, 62-83. [Persian]
- 6- Nurmi JT, Tratnyek P G, Sarathy V. Characterization and Properties of Metallic Iron Nanoparticles Spectroscopy, Electrochemistry, and Kinetics. Environ Sci Technol. 2005; 39: 1221- 30
- 7- Gre ´gorio Crini, Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: A review 2005; doi:10.1016/j.biortech.2005.05.001
- 8- An-Hui Lu, Salabas E L, Ferdi Sch th. Magnetic Nanoparticles: Synthesis, Protection Functionalization, and Application. Angew Chem Int Ed 2007; 46:1222 –44
- 9- Bernd N, Thomas D Bucheli. Occurrence, behavior and effects of nanoparticles in the environment. Environ Pollution. 2007; 150: 5-22.
- 10- Hoek E, Jawor A. Nano-filtration separations. Dekker Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology, 2002
- 11- Mulder M. Basic Principles of Membrane Technology landan: Kluwer Academic Publishers;1996
- 12-Y Li, J Ding, Z Luan, Z Di, Y Zhu, C Xu, D Wu, B Wei. Competitive adsorption of Pb^{2+} , Cu^{2+} and Cd^{2+} ions from aqueous solutions by multiwalled carbon nanotubes. Carbon 2003; 41: 2787–92.
- 13-Gao Z, Badosz, TJ, Zhao, Z, Han M Qiu J. Investigation of factors affecting adsorption of transition metals on oxidized carbon nanotubes. J Hazard Matter. 2009; 167, 357-65.
- 14- Li Y H, Wang S, Wei J, Zhang X, Xu C, Luan Z, Wu D, Wei B. Lead adsorption on carbon nanotubes. Chem Phys Lett 2002; 357: 263–6
- 15-YH Li, Wang S, Luan Z, Ding J, Xu C Wu D. A desorption of cadmium (II) from aqueous solution by surface oxidized carbon nanotubes. Carbon 2003; 41: 1057.
- 16- Srivastava S. Sorption of divalent metal ions from aqueous solution by oxidized carbon nanotubes and nanocages: A review Adv Mat Lett. 2013; 4(1), 2-8



- 17-Y.H. Li, S. Wang, A. Cao, D. Zhao, X. Zhang, C. Xu, Z. Luan, D. Ruan, J. Liang, D. Wu, and B. Wei, Adsorption of fluoride from water by amorphous alumina supported on carbon nanotubes. *Chem Phys Lett.* 2001; 350, 412-16
- 18- Pradeep P. Noble metal nanoparticles for water purification: A critical review. *Thin Solid Films.* 2009; 517(24): 6441–78.
- 19- Hua M, Zhang S, Pan B, Zhang W, Lv L, Zhang Q. Heavy metal removal from water/wastewater by nanosized metal oxides: A review. *J Hazard Mater* 2011, 4: 317-31.
- 20- Cain M, Morrell R. Nanostructured ceramics: a review of their potential. *Appl Organomet Chem* 2001; 15, 321-30.
- 21- Savage N, Mamadou S Diallo. Nanomaterials and water purification: opportunities and challenges. *J Nanoparticle Res* 2005; 7: 331–42, DOI 10.1007/s11051-005-7523-5
- 22-Chutia, P, Kato S, Kojima T., Satokawa S. Arsenic adsorption from aqueous solution on synthetic zeolites. *J Hazard Matter.* 2009; 162: 440-47.
- 23- Bahnemann D. Photocatalytic water treatment: Solar energy applications. *Sol Energy* 2004; 77:445-9.
- 24-Li Y, Somorjai GA. Nanoscale advances in catalysis and energy applications. *Nano Lett.* 2010; 10(7): 2289–95.
- 25- Bolong N, A review of the effect of emerging contamination in wastewater and options for their removal. *Desalination.* 2000; 239: 229-46.
- 26- Wang LY, Luo J, Maye MM, Fan Q, Qiang RD, et al, Iron oxide-gold core shell nanoparticles and thin film assembly. *J Mater Chem* 2005; 15(18): 1821-32.
- 27-Chicgoua N, Sabine C, Richard C. Nanoscale Metallic Iron for Environmental Remediation: Prospects and Limitations. *Water Air Soil Pollut.* 2012; 223:1363–82.
- 28- Salmani MH, Ehrampoush MH, Aboiiian M. Comparison between Ag (I) and Ni (II) removal from synthetic nuclear power plant coolant water by iron oxide nanoparticles. *J Health Eng Sci* 2013; 11: 21 doi:10.1186/2052-336X-11-21.
- 29- Piao Xu , Guang Ming Zeng, Dan Lian Huang, et al. Use of iron oxide nanomaterials in wastewater treatment: A review. *Science of the Total Environment.* 2012; 424: 1–10.



- 30-Wang L, Li J, Jiang Q, Zhao L. Water-soluble Fe₃O₄ nanoparticles with high solubility for removal of heavy-metal ions from waste water. Dalton Trans 2012; 41: 4544-51.
- 31- Choe S, Chang YY, Hwang KY, Khim, Kinetics of reductive denitrification by nanoscale zero-valent iron. J Chemosphere 2000; 41(8): 1307-11.
- 32- Zhong Xiong, Dongye Zhao, Gang Pan, Rapid and complete destruction of perchlorate in water and ion-exchange brine using stabilized zero-valent iron nanoparticles. Water Res 2007; 41(15) 3497–505.
- 33- Li XQ, Zhang WX, Hexavalent chromium removal from water using chitosan-Fe₀ nanoparticles. Langmuir. 22: 4638-42.
- 34- Liou YH, Lo SL, Lin CJ, Kuan WH, Weng SC. Chemical reduction of an unbuffered nitrate solution using catalyzed and uncatalyzed nanoscale iron particles. J of Hazard Mater 2005; 127 (1):102-10.
- 35- Schrick B., Blough J.L., Jones A.D., and T.E. Mallouk, Nanotechnology for water treatment application. Chem. Mater 2002; 14: 5140 .
- 36- Takafuj M., Ihara S. Ide, H., and Xu Z., Noncrystalline L-Phenylalanine-Silica Hybrid Composite Materials. Chem. Mater (2004); 16, 1977.
- 37- Salmani MH, Zarei S, Ehrampoush MH, Danaie S. Evaluations of pH and High Ionic Strength Solution Effect in Cadmium Removal by Zinc Oxide Nanoparticles. J Appl Sci Environ Manage 2013; 17 (4): 583-93.



Nanotechnology and water pollutants removal

Salmani MH (Ph.D)¹, Abedi M(Ph.D)², Mozaffari SA(Ph.D)³, Ehrampoush MH(Ph.D)⁴

1.Ph.D student in Analytical Chemistry, Department of Environmental Health Engineering, Shahid Sadoughi university of Medical Sciences, Yazd, Iran.

2.corresponding Author: Assistant professor,Department of Chemical Technologies, Iranian Research Organization for Science & Technology, Tehran, Iran

3.Assistant professor, Department of Chemical Technologies, Iranian Research Organization for Science & Technology, Tehran, Iran

4. Professor, Department of Environmental Health Engineering, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran.

Abstract

Introduction: Researches have been shown if water and wastewater treatment systems properly managed, it provides a major part of water reservoirs for the needs of developing countries. Because of the uncontrolled increase in concentrations of fine particle materials, organic and inorganic compounds and especially heavy metals in water, the conventional methods of treatment is not able to remove contaminants and it require a relatively new process. Recently, removal processes of industrial and agricultural wastewater pollutants have improved by development of new technologies such as nanotechnology. This study reviews the application of nanotechnology innovations for removing pollutants from waste water which published in this area from 2000-2013. We have searched through internet by following keywords; Application of nanotechnology, nanotechnology and wastewater treatment, and nanofiltration.

Conclusion: Extensive studies have been evaluated to obtain low-cost and environmentally friendly adsorbents. Most of researchers used nanomaterials due to the high specific area and unique chemical properties for removing contaminates from aqueous media directly or after modification and functionalization. They used nano-filtration, nano-photocatalysts, zero-valent iron nano-particles and magnetic nanoparticles to control and remove pollutants from water and wastewaters. According to the capabilities and high capacity of nano-sized practices, they introduced them as a superior technology. Iron oxide magnetic nanoparticles, due to easy separation with a magnet, have been considered for removing pollutants as an effective and efficient process. Based on these considerations, nanotechnology can efficiently affect the cost and time of treatment process and is suggested instead of conventional process for treatment of water and waste waters.

Keywords: Nanotechnology, Nanoadsorption, Nanofiltration, Magnetic nanoparticles, Zero valant iron nanoparticles, Waste water treatment