

## نانوکامپوزیت ها برای تصفیه آب: یک مقاله مروری

چکیده :

با افزایش روز افرون جمعیت جهان، فشار بر روی منابع آبی نیز به طور اجتناب ناپذیری تشدید خواهد شد. در نتیجه، نیاز مبرمی به جهانی به فناوری های تصفیه آب کارامد تر و مقرن به صرفه تر، احساس می شود. استفاده از فناوری نانو در صنعت یک پیشرفت بسیار مهم می باشد و نانوذرات آهن صفر ظرفیتی INP ها به طور جامعی از برای کاربردهای مختلف تصفیه ای مطالعه شده است. با این حال، کاربرد سوسپانسیون های INP محلول محدود بوده است، در حالی که مکانیسم های واکنش INP، خواص انتقال و سمیت محیطی هنوز تحت مطالعه می باشد. از دیدگاه نظری، توسعه نانوکامپوزیت های حاوی INP برای غلبه بر این بافت ها، یک گام منطقی برای توسعه نانو موادی است که کاربرد گسترده ای در صنعت آب دارد. این مقاله مروری به بررسی طیف وسیعی از نانوکامپوزیت های حجمی و استاتیک حاوی INP ها پرداخته ضمن این که بر محدودیت های تک تک روش ها، انواع کلی فناوری ها و نبود آزمایش های مقایسه ای برای نانوکامپوزیت ها تاکید می کند. این مقاله به بررسی مطالعات آینده برای بهینه سازی سیستم های تصفیه آب نانو کامپوزیتی در راستای دست یابی به یک بلوغ تجاری می پردازد.

### مقدمه

آلودگی آب، یکی از مسائل مهم بین المللی است که ناشی از فرایند های صنعتی، مصارف خانگی و نیز زیست محیطی است. سازمان ملل براورد کرده است که 300 تا 500 میلیون تن فلزات سنگین، حلال و سایر پسماند ها به منابع آب دنیا هر ساله وارد می شوند(1). آلودگی آب می تواند منشا طبیعی داشته باشد. برای مثال، آلودگی ارسنیک یک مسئله جدی در کشور هایی نظیر بنگلادش، بنگال غربی و نپال به دلیل هوazardگی سنک هایی است که به طور طبیعی دارای آرسنیک هستند(2-6). به علاوه، با رشد جمعیت جهان، فشار وارد هر منبع آبی نیز تشدید می شود.

در طی دهه اخیر، فناوری نانو به طور روز افزونی به صورت یک جایگزین بالقوه برای روش های درمانی سنتی و عوامل واکنشی برای ارایه آب سالم با هزینه پایین تبدیل شده است ضمن این که به طور هم زمان استاندارد های

کیفیت جهانی آب را نیز رعایت می کند(7). با این حال، تعاریف دقیق مربوط به مواد مقیاس نانو و نانومقیاس به شدت مورد بحث هستند.

در سال 2010، مرکز تحقیقات مشترک کمیسیون اروپا(JCR) یک گزارشی را منتشر کرده است که تعاریف بین المللی را ارایه کرده است(8). در بریتانیا، دو تعریف برای اصطلاح نانومقیاس گزارش شده است. وزارت محیط زیست، امور روستایی و غذا(DEFRA) به صورت 200 نانومتر تعریف شده است، در حالی که سایر سازمان‌ها 100 نانومتر را در نظر گرفته‌اند. بر اساس توصیه‌های ارایه شده توسط JCR در اکتبر 2011، کمیسیون اروپا تعریف زیر را از نانومواد برای اهداف قانونی پذیرفته است(9)

یک ماده طبیعی، تصادفی یا تولید شده حاوی ذرات در حالت محدود و یا حالت ترکیبی در نظر گرفته شده و 50 درصد ذرات در توزیع اندازه دارای ابعاد متناسب با 1 تا 100 نانومتر است.

نانومواد به دلیل اندازه بسیار کوچک خود، ویژگی‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و زیستی را در مقایسه با انواع بزرگ‌تر، میکرو و بزرگ مقیاس نشان داده اند(10-13). نانو مواد دارای نسبت سطح به حجم بوده و در نتیجه تراکم بالایی از مناطق و کنش سطحی به ازای واحد وزنی وجود دارد. به علاوه، انرژی آزاد سطحی برای نانو مواد بزرگ‌تر از مواد میکرو و ماکرو مقیاس است. از این روی نانومواد، واکنش پذیری بالایی را برای فرایند‌های سطحی نشان می‌دهد. با این حال، چون اندازه ذره به مسیر الکترونی نزدیک می‌شود و در مقیاس طول موج است (پایین تر از 30 نانومتر)، اثرات اندازه کوانتم مشخص تر شده و ویژگی‌های فیزیکی اساسی، به طور معنی داری تغییر می‌کنند. این اثرات موجب خنثی سازی واکنش پذیری بالا می‌شود که توسط شارما و همکاران با یک سری مطالعات در خصوص ویژگی‌های نانومواد اثبات شده است.

وقتی که نانومواد در چارچوب دامنه با اندازه بهینه قرار گیرد، آن‌ها به عنوان یک چایگزین مناسب و کارامد تر برای مواد فعلی مورد استفاده برای تصفیه آب است(7). یک فناوری نو ظهور و تجاری در امریکا، تزریق نانوذرات NP است(10-18)، NP‌ها که معمولاً نانوذرات آهن صفر ظرفیتی (INP) می‌باشند، به یک زمین به صورت یک پودر خشک و یا دو غاب برای تصفیه مستقیم آب تزریق می‌شوند. نانوذرات را می‌توان به طور مستقیم ثبت کرده و آن را به یک مانع واکنشی تراوا زیر زمینی PRB تبدیل کرد و یا آن را منتشر کرد به طوری که نانوذرات بتواند با توده آب آلوده مهاجرت کنند. (ش. کل 1)

با این حال این روش دارای معايبي در استفاده از NP های آزاد برای تصفيه می باشند و اين که رفتار نانوذرات به خوبی درک نشده است. اين مسئله به خوبی شناخته شده است که انتشار NP در سистем آب زير زميني با فرایند های مختلف محدود می شود: جذب مواد معدني، فعاليت ميكرو بيولوژيكي، توده اي شدن و تشکيل محصولات خورديگي (INP ها به طور ويزه اي به دليل خواص مغناطيسي قوي (21,22)، علاوه بر جاذبه های الکترو استاتيک NP-NP که به طور موثری در محلول های ذره اي غليظ عمل می کنند، در معرض رسوب گذاري قرار می گيرد (دوغاب ها). مطالعات مختلف در منابع روش هايي را برای اجتناب از اين مسائل با استفاده از NP ارایه کرده اند که در شکل 2 نشان داده شده است.

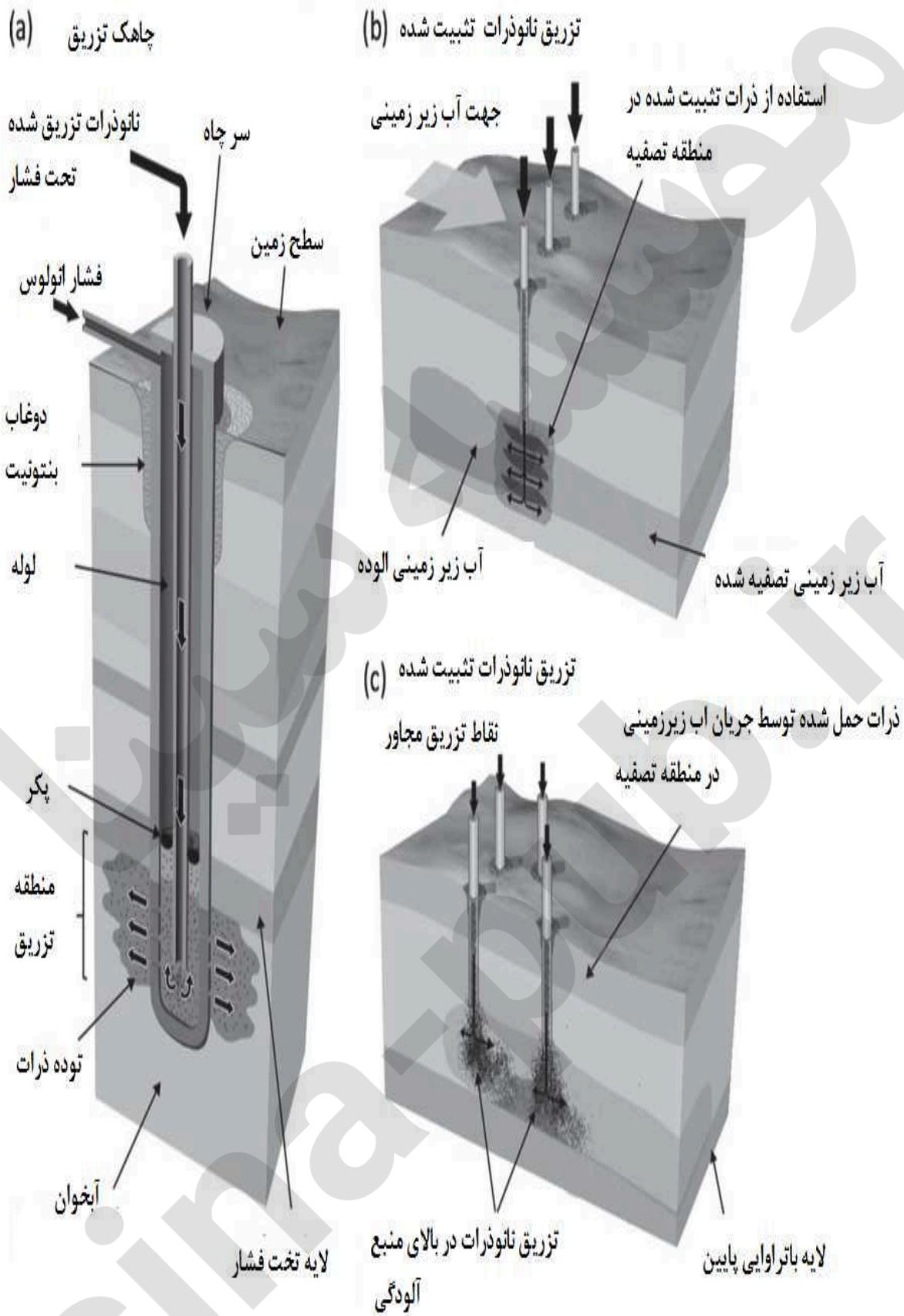
سورفكتانت [32-10,18,26] يا پليمرها [33-62,62] را می توان به سطوح نانوذرات برای افزایش بازدارندگی استري و تغيير بار سطحي برای پيش گيري از جاذبه الکترواستاتيک افزود. نانوذرات را می توان در ساير ساختار های سيار نظير اشكال كربن(78-63)، سيليس(79-89) و رس های كلوبيدي(88) قرار داد. با اين حال، سازو کار ها و مکانيسم های انتقال و تاخير واقع در زير زمين، برای هر يك از سناريو های تصفيه اي منحصر به فرد است و با چندين عامل متغير همراه است. از جمله تركيب خاک، سرعت های جريان، تعادل اسیدите و EH و جوامع باكتري. پيش بيني اين متغير ها سخت است و نيازمند استفاده از NP برای هر يك از شرایط می باشد . تغييرات در آب زير زميني می تواند موجب جذب الainده ها به سطح نانوذرات شود و به اين ترتيب با در نظر گرفتن سختی حذف نانوذرات از زمين، اين مسئله نيز باید مورد توجه قرار گيرد. به علاوه، اطلاعات نسبتا کمي در خصوص اثرات سم بلند مدت NP در محيط وجود دارد. اين ويژگي های كيفي موجب می شوند تا آن ها برای موجودات زنده مضر باشد. اگر نانوذرات سمی باشند، آنگاه بايستى از NP های پاک سازی شده استفاده کرد. از آن جا که روش های تصفيه بايستى دارای عوامل واکنش غير سمی باشند، تا مکانيسم های حذف بلند مدت و پايدار را ارایه کنند، با اين حال معايب آن باعث شده است تا استفاده از اين فناوري مشکل شود. از اين روی، اگرچه هیچ گونه استدلال برای سمیت وجود دارد، بریتانیا در حال استفاده از رویکرد هایي برای معرفی NP مهندسي شده در محيط زیست. اين عمل از گزارش های جامعه پادشاهی و آکادمي پادشاهی مهندسي و CL:AIRE برای وزارت محيط زیست، غذا و امور روستائي(2011) تبعیت می کند. هر دو گزارش نشان دهنده نياز به تحقیقات اساسی در زمینه رفتار NP و نانو توکسيکولوزي در سیستم های محیطی زير زميني است.

به منظور اجتماب از محدودیت های مطرح شده، توسعه یک روش تصفیه ای برای استفاده از فعالیت نانوذرات ضمن اجتناب از آزاد سازی NP در محیط، می تواند بسیار سودمند باشد. یک مسیر و شیوه احتمالی، توسعه یک نانوکامپوزیت است که به صورت زیر تعریف می شود:

یک ماده چند فازی که در آن حداقل یکی از فاز های تشکیل دهنده دارای یک بعد کم تر از 100 نانومتر است. تحقیقات اخیر تغییراتی را در نانوکامپوزیت های مختلف ارایه کرده اند، که در آن به طور کلی نانوذرات با مواد میکرو و ماکرو ترکیب می شوند. در این آرایش، واکنش پذیری نانو نشان داده شده و با ویژگی های مواد همراه مکمل است.

این مقاله به بررسی نانوکامپوزیت های حاوی اکسید آهن و آهن مورد استفاده در سیستم های تصفیه آب ساکن می پردازد که شامل موائع واکنشی تراوا، سیستم های راکتور بج و فیلتر های نقطه ای است. این سیستم ها با استفاده از مسائل مربوط به انتشار NP کنترل نشده اجتناب شود و از این روی جاذب ها با استفاده از چارچوب یک ساختار پایدار باشد. نانوذرات آهن و آهن اکسید، از اهمیت زیادی برخوردار است زیرا آهن در روش های تصفیه ای به مدت زمان طولانی استفاده شده است و به نانوذرات به طور کامل برای اهداف تصفیه ای استفاده شده است. از همه مهم تر این که آن ها موجب تصفیه طیف وسیعی از آلاینده ها از فلزات سنگین از طریق جذب تا تجزیه حلal های کلر از طریق کاهش شیمیایی می شود.

اگرچه این نوع فناوری بسیار مفید به نظر می رسد ولی این مقاله به بررسی زمینه های تحقیق و توسعه ای می پردازد که نیازمند پیشرفت بیشتری است به خصوص اگر نانوکامپوزیت ها به عنوان یک فناوری پاک کننده آب واقعی در نظر گرفته شوند. یکی از مسائل مهم در این مقاله این است که هیچ گونه پیوستگی در ازمایش عملکرد برای نانوکامپوزیت های توسعه یافته توسط گروه های مختلف وجود ندارد. به این ترتیب مقایسه محصولات و تصمیم گیری برای تامین سرمایه و توسعه لازم است.

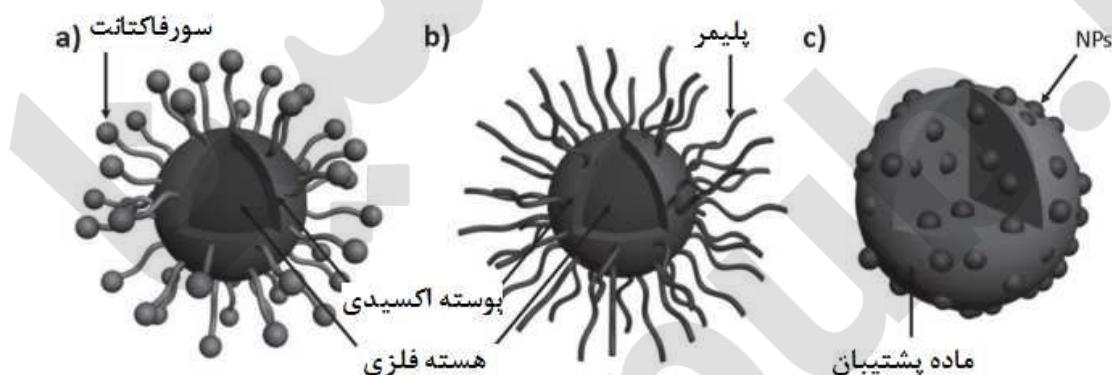


شکل 1: نمودار شماتیک که تصفیه آب خوان را با استفاده از فرایندهای تزریق ناتودرات استفاده می کند

## 2- نانوذرات ایستا

ثبتیت نانوذرات با پلیمر ها، سورفکتانت ها و مواد سیار موجب بهبود سیالیت نانوذرات در زیر زمین می شود با این حال، پیچیدگی ذاتی سیستم های طبیعی موجب کاهش قدرت عوامل ثبتیت کننده می شود که عملکرد خودبی در سیستم های ایده ال دارند. یک راه حل عمل گرایانه، توسعه نانوکامپوزیت های ساکن و ایستا برای استفاده در راکتور های بستر ثابت، ستون های ثابت، موائع واکنشی تراوا و فیلتر های داخلی است. این ساختار های میکرو و ماکرو از مسائل مربوط به NP توصیف شده در فوق اجتناب کرده و بیانگر یک راه حل مهم با ارایه واکنش پذیری نانو در منطقه تصفیه است با این حال بدون آزاد سازی کنترل نشده NP، آن ها در ساختار های مادری قرار می گیرند.

سه مقوله کلی از نانوکامپوزیت های استاتیک وجود دارد: ممبران ها، مهره ها و ساختار های متخلخل بعدی (شکل 3). هر یک از این موارد و مزایا و مواعن آن ها در جدول 1 نشان داده شده است.



شکل 2: یک نمودار شماتیک نشان دهنده سه نوع نانومواد a: NP سورفکتانت b: NP پلیمر و c: NP های پشتیبانی شده توسط مواد نانو/ میکرو



شکل 3: یک نمودار شماتیک نشان دهنده سه نوع نانوکامپوزیت استاتیک

## 1-2 ممبران ها و مت ها

مبران ها به عنوان فیلتر های مبتنی بر تعیین اندازه می باشند و این مانع از عبور میکروب ها و ذرات مضر می شود. با این حال، گفته می شود که با اصلاح خلل و فرج با گروه های عاملی واکنشی و NP ها، می توان آن ها را بهبود بخشید. استفاده از نانوذرات در ممبران های میکرو فیلتراسیون متخلخل برای شرای تصفیه ای بسیار مهم است. این خواص امکان NP های تثبیت شده را در ممبران ها می دهد. این زمانی صادق است که جریان متلاطم باشد و منطقه و سطح تماس بالا باشد

جدول 1: خلاصه ای از سه نوع نانوکامپوزیت های استاتیک و مزايا و معایب

نوع	مزایا	معایب
مبران	بر اساس فناوری ممبران برای تصفیه آب حفظ خواص با اندازه مناسب	فشار آب بالا می تواند مجر به شکستگی ممبران، ازاد شدن نانوذرات و ورود الاینده به درون سیستم می شود قادر به بازیافت نیست
مهره ها	به آسانی در زیر ساخت های موجود قرار می گیرد جریان آب با تغییر اندازه مهره و تراکم بسی بندی تغییر می کند	مواد واکنشی درون هسته ساختار مهره در تماس با الاینده ها است آب باید درون کanal بین مهره هایی انتقال یابد که تولید مقاومت بالایی می کند بازیافت پر هزینه
ساختار های سه بعدی متخلخل	اجتناب از محدودیت های ممبران ها و مهره ها	تحقیقات نسبتاً اندک در توسعه این مواد اندازه و شکل متناسب با ساختار جریان است ظرفیت خوب برای بازیافت و استفاده مجدد از مواد

ساختار حجمی اصلی ممبران از پلیمر هایی نظیر پلی (وینیل الكل) (PVA)، [123-125] پلی (اکریلیک اسید) وارونگی فاز، [126] پلی (PES) [127] و کیتوزان. [128] ساخته شده است. روش های تولید ممبران شامل فرایند، الکتروریسی (125-127) و الیاف توسط دفع الکترواستاتیک تولید می شود. برای استفاده از IPN صفر ظرفیتی، الیاف در محلول آبی نمک آهن غوطه ور شده است که در آن یون آهن با الیاف کمپلکس تشکیل می دهد. بعد از آب کشی نمک اضافی، یون ها به طور شیمیایی با استفاده از بروهیدرید سدیم، برای تشکیل INP صفر ظرفیتی کاهش می یابند: روش تولید نسبتاً ارزان و سریع.

هارزوم و همکاران (127) با استفاده از این روش تولید، ممبران فیبر کیتوزان عاملی شده با INP را تولید کرده و یک سری آزمایشات را برای نشان دادن توانایی مواد برای تصفیه ارسنیک از محلول های ازمايشگاهی با غلظت و اسیدیته متغیر انجام دادند. کامپوزیت به طور موفق موجب حذف گونه های ارسنیک شده و در عین حال تشابه با آرسنیک نشان می دهد. درصد جذب برای هر دو اشکال یونی با افزایش غلظت کاهش یافته و کارایی مواد نیز بر اساس اسیدیته محدود شد و کاهش جذب ارسنیک با اسیدیته 7 و 8 به ترتیب کاهش می یابد. درصد حذف آرسنیک موجب افزایش 90 درصدی نشده و حذف ارسنیک بیش از 90 درصد تحت شرایط خاص بود.

یک نانوکامپوزیت موفق تر تولید شده با این روش، توسط یک گروه در دانشگاه دانگا چین تولید شده است. PAA/PVA الکترو ریسی پایدار در آب در نانوراکتور باری کمپلکس آهن با بقایای کربوکسیل INP ها استفاده شد. الیاف نانوفایبر پلیمری پایدار، متخلخل، قابل استفاده مجدد بوده سپس با رنگ و مس تصفیه می شود. مطالعه دیگر توسط ما و همکاران (123)، از روشی برای نانوذرات آهن/پالادیوم هسته ای استفاده گرده است. با مواجهه نانوذرات INP در نانوالیاف بر روی محلول پالادیوم، نانوذرات دو فلزی آهن و پالادیوم از طریق کاهش جزیی پالادیوم بر روی سطوح INP تشکیل شد. آزمایشات بج برای تصفیه تریکلورو اتیلن از محلول های سنتیک، در غلظت های نسبتاً پایین برای مقایسه عملکرد کامپوزیت های نانوذرات دو فلزی آهن و پالادیوم استفاده شد. بستر های حاوی نانوذرات پالادیوم تنها از 6.96 درصد TCE با جذب مشاهده شده بود که به بستر پلیمری نسبت داده شد. سه نمونه باقی مانده در 99 درصد Tce تجزیه شده و به یک مقدار تعادلی در طی 1.5 ساعت رسید. بستر حاوی آهن و پالادیوم، بهترین عملکرد را در غلظت های (TCE) 10-100 نانومتر میلی یگرم)

نشان داد زیرا مزیت های نانوذرات دو فلزی ترکیب شد. به علاوه، مقاومت یونی متغیر منجر به تغییری در حذف TCE نشد به جز مواردی که در شرایط اسیدی تر، میزان کازایی کاهش یافت.

یک نمونه بارز از حذف TCE توسط نانوذرات فلزی در ممبران پلیمری، مطالعه پارشتی و دونگ (129) می باشد. با استفاده از روش های تولید متفاوت پارشتی و دانک ، قادر به تثبیت نانوذرات نیکل و آهن در ممبران های گرافت گلیکول پلی اتیلن بودند. در این مطالعه دو ممبران پلیمری پلی وینیل فلورید (PVDF) و نایلون 66 با PEG از طریق استفاده از یون های نیکل و آهن از طریق پوشش دهی و بسپارش حرارتی استفاده شد. یون ها با استفاده از NaNH<sub>4</sub> کاهش یافته و تولید نانوذرات آهن و نیکل کردند که توزیع یکنواختی در سطح ممبران داشت. دو ممبران تست شده و از نظر دی کلریناسیون TCE مقایسه شد. مطالعه نشان داد که نایلون 66 ، یگ بستر مناسب برای تجزیه TCE است زیرا میزان رسوب شدگی کاهش یافت و مقدار نیکل نانوذارت دو فلزی بالا باقی ماند و این به دلیل حضور تراکم بالای مناطق کلاته کننده چند عاملی بود. تقریبا 100 درصد TCE در طی 25 دقیقه حذف شده و کامپوزیت واکنش پذیری بالایی را پس از 10 روز نشان داد که در طی آن 16 چرخه تزریق وجود داشت. اگرچه این مطالعات از نظر مفهومی در ازمایشگاه ب شرایط سنتیک موفق استفاده دو عامل کلیدی را می توان در نظر گرفت. مقاومت جریان کامپوزیت ها و توانایی آن ها برای تصفیه شیمیایی موجب کمپلکس شدن آب های محیطی می شود. یکی از معای منحصر به فرد نانوکامپوزیت های ممبران ایناست که آن ها قادر به تحمل نرخ پایین جریان و نیز فشار آب کم هستند در غیر این صورت ساختار ممبران شکسته می شود.

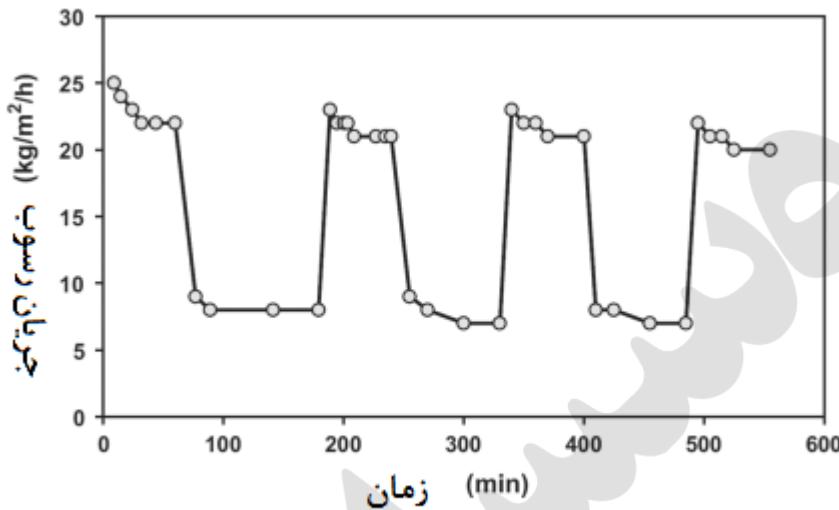
این مسئله موجب کاهش احتمال کاربرد واقعی در شرایط خانگی می شود زیرا جریان بسیار کند است. به علاوه، تقویت جریان با فشار بالا موجب ایجاد مسائلی در پایین دست می شود. از این روی، جریان عبوری از ازمایشات برای تست یکپارچکی ساختاری انواع ممبران های جدید استفاده می شود.

دارایی و همکاران (126) یک ممبران نانوکامپوزیتی جدید را با استفاده از روش فاز معکوس ایجاد کردند. ماتریس ممبران PES با افزودن NP (PANI-Fe3O4) بهبود بخشیده شد که در آن PANI تشکیل آهن اکسید 12 تا 28 میلی متری می دهد. ممبران حاصله برای حذف مس در اسیدیته 5 تست شد پس از مقایسه ترکیبات مختلف، ممبران بهینه با 0.1 درصد وزنی از نانوذرات، ، حذف 85 درصد روی از یک محلول 20 میلی گرمی و 75 درصد از محلول 5 میلی گرننی در طی 2 ساعت بدست امد. برخلاف مثال های قبلی، این تست های الاینده این تست

های آلاینده هادر سیستم جنبشی یا سینتیک انجام شده و جریان آب خالص در 4.5 بار فشار ترانس ممبران بررسی شد

نتایج نشان داد که هر چه نکه داری مس بهتر باشد، جریان آب ضعیف تر خواهد بود و ممبران بهینه دارای جریان آب 25 کیلوگرم بر ساعت در مقایسه با بیش از 25 کیلوگرم در سرعت برای ممبران PES خواهد بود. از این روی این جریان به طور منطقی رخ می دهد: سرعت های جریان بالاتر موجب کاهش احتمال حذف آلاینده با کاهش زمان تمرکز سیال درون فیلتر می شود PES اشباع شده با نانوذرات ، سرعت جریان پایین را نسب به PES اصلی نشان می دهند زیرا اندازه منافذ درون ممبران کاهش می یابد. اگرچه این بهبود سرعت جریان را در مقایسه با مطالعات قبلی نشان می دهد، با این حال کم تر عملی است. از این روی مطالعه آینده باقیستی موجب بهبود نسبت نگه داشت جریان نسبت به الاینده شود. دارایی و همکاران به بررسی این پرداختند که چگونه نanolole های کربنی چند دیواره ای اصلاح شده با پلیمر و عاملی اسیدی موجب بهبود جریان آب در مقایسه با ممبران های PES می شود. گفته می شود که ممبران حاوی پلی سیتریک، عملکرد خوب دارد ف زیرا PCA ایجاد دندانه هایی با کربوکسیل و هیدروکسیل شده و این مسئله منجر به آب دوستی فراوان در ممبران می شود.

مبران دارای قادر به حفظ دوام جریان و بازیافت در طی سه دوره از مراحل شست و شوی کف می باشد( شکل 4). این مطالعه در ترکیب با NP، یک گام مهم در بهبود ممبران است. با این حال، یک سری خصوصیات شیمایی آب باقیستی در نظر گرفته شود. در مطالعه ما و همکاران 124، به بررسی اتحاد NP در طی یک ماه پرداختند. تست های بررسی اثرات سن کامپوزیت ها و انسداد آن ها در نمونه های آبی از جمله ذرات اتحالی، مقدار، برای رفع این محدودیت لازم است

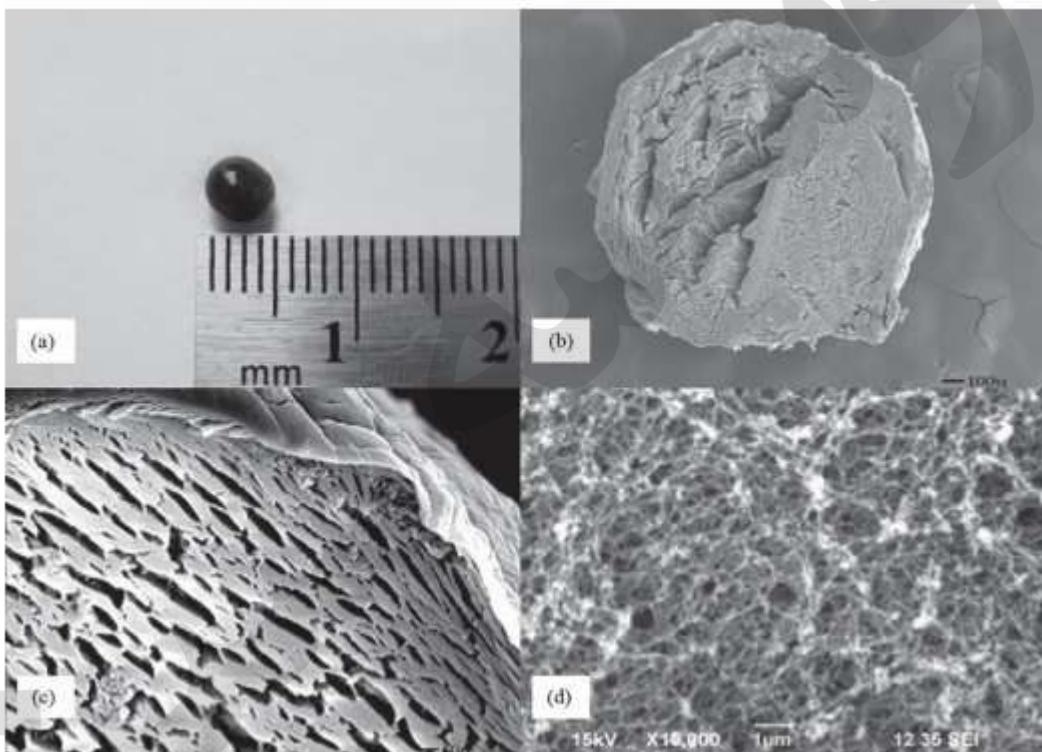


شکل 4: تست های متوالی رفتار کف ممبران PES با PCA-CNT

نانوکامپوزیت های حجمی را می توان در شکل مهره های کوچک و بزرگ و یا ذرات ساخت. مهره ها می توانند در سیستم های نظیر ستون های فیلتر (مشابه با ستون های مبادله یون) و موائع واکنشی نفوذ پذیر استفاده شوند. مزایای کلیدی این نانوکامپوزیت های کروی این است که آن ها را می توان در زیر ساخت ها و فناوری های موجود استفاده کرده و از این روی موائع کمی برای جذب فراهم می کنند. مطالعات متعدد توسط سی. نابکتاب (134-142) گارابی استفاده از آهن را در سیستم های ستون فیلتر نشان داده اند. با انجام این کار، عملکرد به طور معنی داری بهبود می یابد و انسداد های طبیعی از بین می روند. با جایگزینی آهن و شن با مهره های نانوکامپوزیتی، واکنش پذیری نیز به شدت افزایش می یابد معمولا در مهره های نانو کامپوزیتی، نانوذرات NP در چارچوب ساختار های پلیمری کروی و رزین ها نظیر رزین های کلاته کننده و رزین های تبادل یونی قرار می گیرند(143-147). یک مثال رایج، بیوپلیمر الژینات است(148-156).

بزبوراه و همکاران طیف وسیعی از مطالعات را در خصوص استفاده از INP در مهره های الژینات کلسیم کزارش کرده اند. در هر مورد، کامپوزیت ها با استفاده از یک روش ساخته شده اند. اولا نانوذرات از طریق کاهش نمک آهن با استفاده از بروهیدرید سدیم سنتز شد. این ها همگی در درون محلول سدیم الژینات و آب ترکیب شده و هدف اصلی اطمینان از عدم تشکیل حباب های گازی بود. با استفاده از یک پمپ پریس تالتیک، ترکیب به صورت

قطره ای به محلول ابی بدون اکسیژن کلسیم کلرید افزوده شده و این مسئله منجر به تشکیل مهره های ژل کلسیم zrionates خاوي INP شد. مهره ها دارای اندازه 5 ميلي متر بودند و حاوي NP با اندازه متوسط 35 نانومتر و 10 تا 100 نانومتر بودند

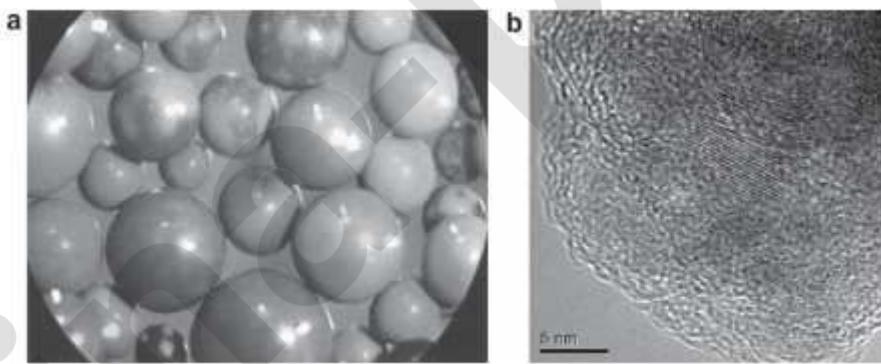


شکل 5: الف: تصویر SEM یک مهره zrionates خاوي INP پ و ت: تصاویر مهره عرضی.

هر یک از مطالعه ها به بررسی حذف الاینده های مختلف ولی در شرایط فیزیکی یکسان پرداخت یعنی محلول های الوده در شرایط ازمایشگاه ساخته شده و در راکتور ها قرار گرفته و مقدار اسیدیته تعديل شده و نمونه ها 8 بار در 2 ساعت و در سه تکرار گرفته شدند. برای اطمینان از استفاده از نانوذرات درون مهره ها، تغییر معنی داری در کارایی تصفیه دیده نشد و ازمایشات دارای شاهد نیز بودند. اگرچه وزن نانوذرات ازad و پوشش دهی شده در هر ازمایش یکسان بود، هر یک از الاینده ها نیازمند یک ماده واکنشی متفاوتی بودند که بر اساس مقادیر گزارش شده در منابع بود. درصد های حذف نیترات، TCE و ارسنیک برای مهره های نانوکامپوزیتی تقریبا 73-50 درصد، 89-85 درصد و 100-85 درصد بودند. عملکرد INP های پوشش دهی شده بود. این یک نمونه از تست های تکراری بود که در آن ها تنها یک الاینده وجود داشت. به علاوه در این گروه عوامل موثر دیگر بر تجاری سازی مواد بررسی شد. از این روی مطالعات کوچک مقیاس نیز می تواند مفید باشد تا نشان داده شود که

آیا کامپوزیت در دوره های طولانی زمانی می تواند واکنش پذیری خود را حفظ کند یا خیر. در 2011، بازبورا و همکاران مهره های سنتز شده از یک بچ را در ویال های هوا حاوی 2 درصد کلسیم کلرید در اب بدون اکسیژن هفظ کرده و آن را با گاز نیتروژن قبل از پوشش دهی در الومینیوم تخلیص کردند. این تست ها نشان دادند که واکنش پذیری بین 4 و 5 ماه متوقف می شود . و از 84 درصد به 89 درصد می رسد. پس از شش ماه، کارایی 82 درصد بود. اگرچه تحقیقات در مراحل اولیه قرار دارند با این حال می توانند به توسعه فیلتر های نانو گامپوزیتی کمک کنند

یک جایگزین ماده دیگر، یعنی رزین های تبادل یونی برای تولید مهره های نانوکامپوزیتی بسیار مفید هستند. یک مثال ، موسوم به **ArsenX<sup>np</sup>** است. از 1997، دانشگاه لیک و بنگال مطالعاتی را روی واحد های حذف ارسنیک **ArsenX<sup>np</sup>** از اب در غرب بنگال انجام دادند. در ابتدا الومینیوم فعال یک ماده جاذب بود ولی برای بهبود عملکرد استفاده شد مهره های **ArsenX<sup>np</sup>** با قطر 300 تا 1200 میلی متر حاوی  $\text{NP}=\text{آهن اکسید درون یک رزین}$  تبادل یانیونی ماکروپور بوده دارای واکنش پذیری بالایی است. واحد نشان داده شده در شکل 7 متصل به چاهک ها بوده و به طور جاذبه ای تزریق شده و نیاز به الکتریسیته و تعديل اسیدیته ندارد. در بیش از 20000 حجم بستر، وقتی که ارسنیک 50 گرم بر لیتر تجزیه می شود این محلول را می توان حفظ کردو موفقیت **ArsenX<sup>np</sup>** نشان می دهد که چگونه مواد جدید نوظهور را می توان در زیر ساخت های قدیمی استفاده کرد. با این حال یک نانوکامپوزیت کمهره ای است و از محدودیت های زیر رنج می برد.



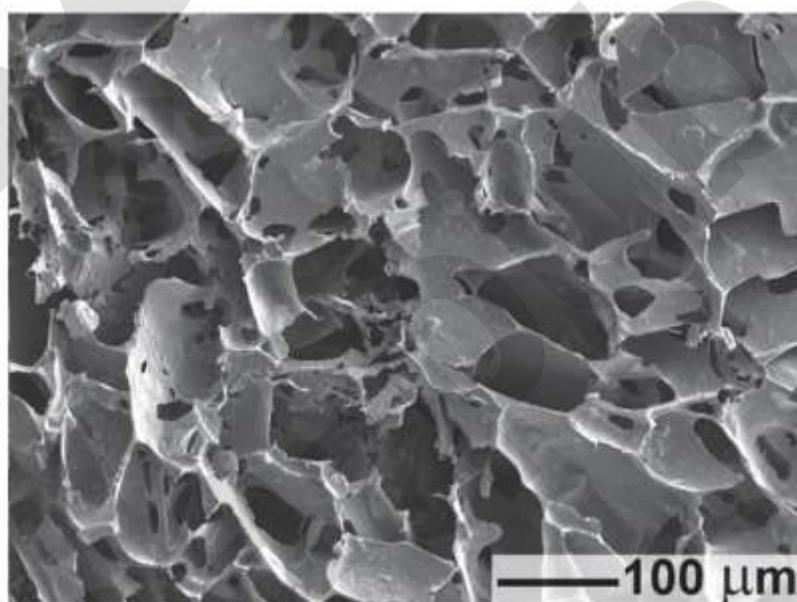
شکل 6: الف: یک عکس و ب: تصویر Tem از مهره های **ArsenX<sup>np</sup>**

اگرچه مزیت استفاده از نانوکامپوزیت های مهره ای در شکل سیستم های تصفیه این است که سرعت جريان با تغیير اندازه و تراکم بسته بندی مهره ها متغير استف ولی آب باید از درون کanal های بين مهره ها جريان يابد و

ایجاد یک مقاومت بالا کند. به علاوه این محصولات تمایل به حفظ میزان بالایی مواد واکنشی در خود هستند و این فرصت را برای واکنش با آب کاهش می دهد زیرا بهطور فیزیکی در درون مهره ذخیره شده است و هرگز با آب الوده تماس ندارد. می توان بیان داشت که آن ها ناکافی هستند زیرا نسبت سطح به حجم ضعیف است و به این ترتیب این می تواند یک محدودیت باشد

## 2- 3 ساختار های سه بعدی متخلخل

سومین و اخرین راه حل، استفاده از نانوذرات در یک ساختار پیوسته و متخلخل سه بعدی است. از دیدگاه نظری ساختار های پیوسته منجر به ایجاد حجم های غیر واکنشی محدود شده و کل ساختار را می توان به زیر ساختار های قبلی نظری فیلتر های ستونی و موائع واکنشی افزود. به علاوه نرخ بالای جریان زمانی تسهیل می شود که کامپوزیت قادر به حفظ خواص مکانیکی سوبسترا باشد. علی رغم این مزایای منطقی، منابع و مطالعات کمی وجود دارند که به بررسی این موضوع در مقایسه با طیف وسیعی از نانو کامپوزیت های مهره و ممبران پرداخته اند. در میان یک سری از الگوهای موجود، مواد سوبسترا شامل پلیمرها، گرافن، کربن و کیتوزان هستند

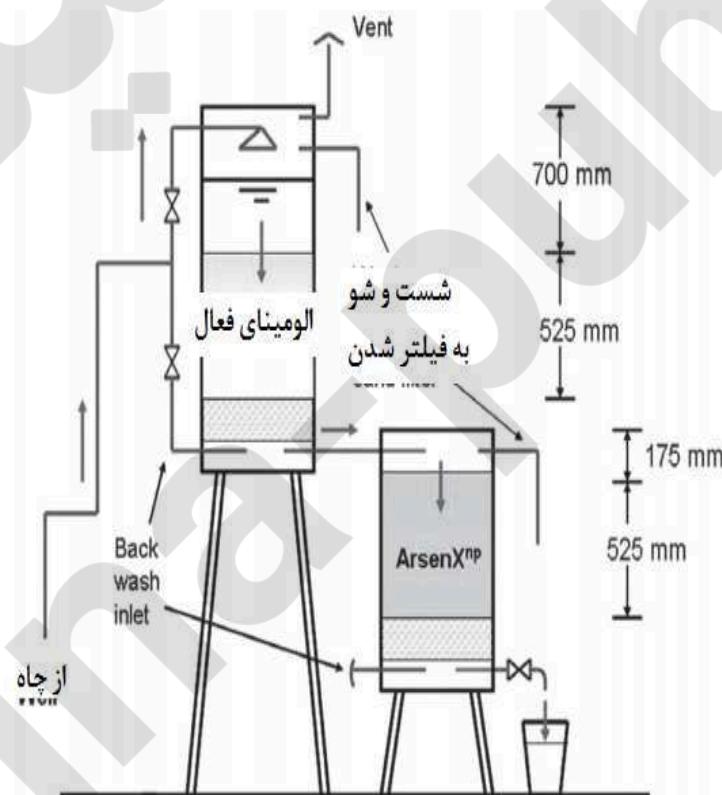


شکل 8: SEM پلیمر با خلل و فرج ماکرپور حاوی نانوذرات اکسید آهن

ساوینا و همکاران(163) یک پلیمر متخلخل حاوی نانوذرات اکسید آهن  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  و  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  را توسعه دادند که از طریق فرایند کوپلیمریزاسیون تشکیل می شود. نانوذرات به ترکیب 2-هیدروکسی اتیل متاکریلات و پلی(اتیلن گلیکول) دی استریلات افزوده شدند. پس از افزودن امونیوم پری سولفات و تری متیل اتیلن امینف ترکیب در

فریزره مدت 18 ساعت قرار داده شد. فرایند انجام‌دهنده تفکیک اب از نانوذرات، مونومرها، اگازگرها و کراس لینکرها شده و ایجاد بسته‌هایی از بلورهای یخی می‌کند. وقتی که بلورهای ذوب می‌شوند، خلل و فرج بیش از 10 میکرومتر را باقی می‌گذارند. سرعت جریان  $2.29 \pm 0.34 \times 10^{-3}$  و  $2.78 \pm 0.33 \times 10^{-3}$  متر بر ثانیه برای ژل های حاوی به ترتیب  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  و  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  بود. وقتی که بسته بندی در ستون شیشه‌ای انجام شد این نتایج بدست آمد. این به طور معنی داری بهتر از سرعت جریان توصیه شده برای  $\text{ArsenX}^{\text{np}}$  بود که  $5.0 \times 10^{-5}$  و  $1.1 \times 10^{-4}$  متر بر ثانیه در فشارهای سنتی بیش از 8 بار است.

اگرچه کارایی حذف تحت تاثیر میزان اسیدیته 3-9 قرار نگرفت، عملکرد در مقایسه با نانوذرات کاهش یافت. ظرفیت جذب تعادلی ارسنیک برای  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  و  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  به ترتیب 2.7 و 3.1 میلی گرم ارسنیک در هر گرم نانوذره بود. این تفاوت معنی دار ناشی از نانوذرات موجود در دیواره ژل بوده و کمتر برای محلول الاینده قابل دسترس است. این نتیجه نشان می‌دهد که در صورتی واکنش پذیری بهبود می‌یابد که نانوذرات بر روی سطح سوبسترا قرار گیرند نه درون آن



شکل 7: طرح شماتیک از ساختار و عملکرد واحد ستون تفکیک کننده

جادب ها به طور گستردگی به عنوان فیلتر جداکننده در تصفیه آب و برای حذف آلاینده های معدنی و آلی از آب آلوده مورد استفاده قرار می گیرند. نانوذرات دارای دو ویژگی کلیدی هستند که استفاده از آنها را به عنوان جاذب جاذب می سازد. آنها دارای نواحی سطحی بسیار وسیعتری از ذرات توده هستند. همچنین نانوذرات می توانند با گروه های شیمیایی مختلف برای افزایش میل به حذف ترکیبات هدف ترکیب شوند. چندین گروه تحقیقاتی در حال جستجو برای تعیین خواص منحصر به فرد نانوذرات به منظور توسعه جاذب های با ظرفیت بالا و انتخابی برای یونهای فلزی و آنیونها می باشند. لی و همکاران (Li & et al.) [5] جذب سرب دو ظرفیتی (Pb(II)، مس دو ظرفیتی Cu(II) و کادمیوم دو ظرفیتی Cd(II)) را بر روی نانولوله های کربنی چند جداره (MWCNTs) بررسی نموده اند. آنها ظرفیت حداکثر جذب را 97/08 میلی گرم سرب دو ظرفیتی (Pb(II)، 24/49 میلی گرم مس دو ظرفیتی Cu(II) و 10/86 میلی گرم کادمیوم دو ظرفیتی Cd(II) به ازای یک گرم ماده جاذب در دمای محیط PH برابر 5 و غلظت تعادل یون فلزی 10 میلی گرم/لیتر گزارش نموده اند. همچنین آنها نشان دادند که ظرفیت جذب یون های فلزی توسط نانولوله های کربنی چند جداره 3 تا 4 برابر بیشتر از جاذب های متداول مورد استفاده در تصفیه آب (کربن فعال پودری و کربن فعال دانه ای) هستند. کی (Qi) [6] جذب سرب دو ظرفیتی (Pb(II)) را بر روی نانوذرات چیتوسان (chitosan) (4-10 نانومتر) تهیه شده از ژلاتین یونی چیتوسان و تری پلی فسفات (tripolyphosphate) مورد ارزیابی قرار داده است.

ظرفیت جذب حداکثری مس دو ظرفیتی Cu(II) نانوذرات چیتوسان ترکیب شده با فسفات برابر 398 میلی گرم به ازای یک گرم ماده جاذب است. پنگ و همکاران (Peng & et al.) [7] به تازگی جاذب جدیدی با نام CeO<sub>2</sub> - CNTs سطحی وسیع تر (189 مترمربع/گرم) شامل اکسید سریم تقویت شده با نانولوله های کربنی (CeO<sub>2</sub> - CNTs) را توسعه داده اند. آنها نشان دادند که ذرات اکسید سریم تقویت شده با نانولوله های کربنی جاذب های موثری برای آرسنیک پنج ظرفیتی As(V) می باشند. پنگ و همکاران (Peng & et al.) نشان دادند که افزودن (از 0 تا 10 میلی گرم در لیتر) کاتیونهای دو ظرفیتی [Ca(II) و Mg(II)] منجر به افزایش قابل توجهی در مقدار جذب As(V) - 82 (10 میلی گرم/گرم) می شود. دیلیانی و همکاران نیز جاذب جدیدی برای As(V) متشكل از نانو بلورهای هیدروکسید کلراید آهن به نام [b-FeO(OH)] akaganeite را تولید کرده و ویژگی آن akaganeite را مورد بررسی قرار داده اند. علاوه بر این لازاریدیس و همکاران [10] نشان داده اند که نانوبلور

نیز جاذب موثری برای عنصر کروم شش ظرفیتی Cr(VI) است. زئولیتها جاذب و فیلتر تبادل یونی موثری برای یونهای فلزی می باشند. زئولیتهای Na<sub>6</sub>Al<sub>6</sub>Si<sub>10</sub>O<sub>32</sub>, 12H<sub>2</sub>O (NaP1) نیز دارای تراکم بالایی از سایت های تبادل یون سدیم هستند.

آنها می توانند توسط فعال سازی گرمایی خاکستر بادی با نسبت سیلیسیم به آلومینیم برابر C-150 در محلول های NaOH با غلظت 0.2M مولار و بسیار ارزان ساخته شوند. زئولیتهای NaP1 به عنوان فیلتر تبادل یونی برای حذف فلزات سنگین از فاضلاب های معادن اسیدی مورد بررسی قرار گرفته اند [۲]. آلوارز و همکاران استفاده موفقیت آمیز از زئولیتهای مصنوعی NaP1 را برای حذف کروم سه ظرفیتی Cr(III)، نیکل دو ظرفیتی Ni(II)، روی دو ظرفیتی Zn(II)، مس دو ظرفیتی Cu(II) و کادمیوم دو ظرفیتی Cd(II) از پساب آبکاری فلزات گزارش نموده اند. تک لایه های خود مونتاژ بر روی تقویت کننده های با منافذ 2 الی 50 نانومتر (Self-assembled monolayers on mesoporous supports) فرصت های جدیدی برای توسعه جاذب های موثرتر برای یونهای فلزی سمی، آنیونها و رادیونوکلئیدها فراهم آورده اند. این جاذب ها از طریق سنتز فعال شده سطحی سرامیک دارای منافذ 2 الی 50 نانومتر ساخته می شوند. در این فرآیند اکسیدهای سرامیک با تخلخل های نانویی و ناحیه سطحی بسیار وسیع (حدود 1000 مترمربع / گرم) و چگالی بالایی از سایت های جذب سطحی تولید می شوند که می تواند منجر به افزایش قدرت انتخابی آنها به سمت آلاینده های هدف گردد.

نانو مواد کربنی می توانند به عنوان جاذب با ظرفیت بالا و انتخابی برای املاح آلی در محلول های آبی عمل کنند. منگان و همکاران [۱۷] الیاف های کربن فعال با تخلخل های نانویی را با اندازه سوراخ های 16/1 نانومتر و ناحیه سطحی در محدوده 171 تا 483 متر مربع بر گرم ساخته اند. آنها جذب بنزن، تولوئن، pxylene و اتیل بنزن را بر روی الیاف های کربن فعال با تخلخل های نانویی حدود 20-C اندازه گیری کردند. همچنین آنها نشان دادند که ایزوترم های جذب توسط معادله فرندلیچ توصیف می شوند. در تمام موارد، الیاف های کربن فعال با تخلخل نانویی دارای ثابت های تعادل جذب آلی بسیار بالاتری از کربن فعال دانه ریز بودند. پنگ و همکاران جذب دی کلروبنزن را بر روی نانولوله های کربنی مورد ارزیابی قرار داده اند. آنها دریافتند جذب دی کلروبنزن بر روی نانولوله های کربنی تنها 40 دقیقه برای رسیدن به تعادل با ظرفیت جذب حداقل 30/8 میلی گرم/گرم زمان لازم دارد.

لی و همکاران (Li & et al.) [18] گزارش داده اند که نانولوله های کربنی چند جداره ، جاذب های به مراتب بهتری نسبت به کربن سیاه برای ترکیبات آلی فرار در محلول های آبی هستند. فوگستو و با موفقیت نانولوله های کربنی چند جداره را داخل بسته های آلزینات پیوند یافته (Cross-linked alginate vesicles) به صورت کپسول درآوردند. نانولوله های کربنی چند جداره دارای ظرفیت جذب و انتخاب بالایی برای چهار رنگ قابل انحلال (Orange G و Eosin bluish، Ethidium bromide، Acridine orange) می باشند. ژائو و همکاران (Sodium Dodecyl Sulfate) با هیدروواکسید دو لایه منیزیم-آلومینیوم (LDHs) ساخته اند. آنها گزارش نمودند که ترکیب فوق ظرفیت جذب بالاتری برای جذب آلکانهای کلرینه (Chlorinated alkenes) [تتراکلرواتیلن و تری کلرواتیلن] نسبت به خاک رس آلی (Organoclays) در محلول های آبی دارد. فولرین می تواند به عنوان جاذب برای ترکیبات معطر چند حلقه ای مانند نفتالین نیز مورد استفاده قرار گیرد به تازگی نانوذرات پلی اورتان آمفیفیلیک (Amphiphilic) تولید شده است که می تواند ترکیبات معطر چند حلقه ای (نظیر نفتالن) را جذب نماید و قابلیت زیست پذیری آنها در محلول های آبی را افزایش دهد [22].

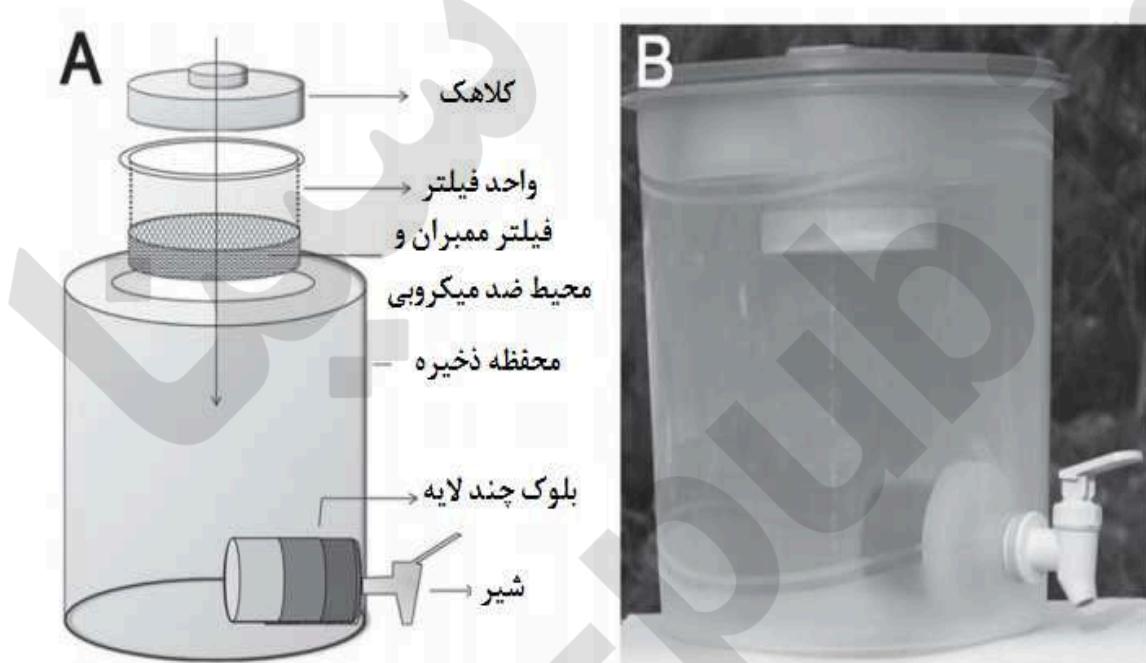
نانوذرات دارای پتانسیل بسیار زیادی به عنوان کاتالیست و فیلتر فعال ردوکس برای تصفیه آب می باشند و این به دلیل نواحی سطحی وسیع ، اندازه ، خواص نوری ، الکترونیک و کاتالیستی وابسته به شکل آنها است در طول دهه گذشته، نانوذرات دی اکسید تیتانیوم ( $TiO_2$ ) به عنوان کاتالیست های نوری برای تصفیه آب ظهر کرده اند نانوذرات دی اکسید تیتانیوم دارای تنوع بسیار زیادی می باشند و می توانند به عنوان کاتالیست های اکسیدکننده و احیاء کننده برای آلاینده های آلی و معدنی مورد استفاده قرار گیرند. با افزودن نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم به آبهای آلوده و در حضور نور ماوراء بنفش ، حذف کربن آلی به شدت افزایش می یابد که این مطلب توسط چیتوسه و همکاران) نشان داده شده است. به تازگی کابارا و همکاران استفاده از کاتالیست های نوری در تصفیه آب آلوده به آلاینده های آلی و معدنی را مورد بررسی قرار داده اند. آنها استفاده موفقیت آمیز از نانوذرات دی اکسید تیتانیوم را برای (1) تجزیه ترکیبات آلی (نظیر آلکانهای کلرینه ، بنزن ها ، دیوکسین ها ، فوران ها ، بایفنیل های پلی کلرینه (PCBs) و غیره) و (2) کاهش یونهای فلزی سمی [نظیر  $Pt(II)$  ،  $Ag(I)$  و  $Cr(VI)$ ] در محلول های آبی تحت نور ماوراء بنفش گزارش نموده اند. به تازگی تولید نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم فعال شده با نور مرئی مورد

توجه بسیار زیادی قرار گرفته است . یکی از بهترین مطالعات در این زمینه توسط آشاهی و همکاران انجام شده است. آنها موفق به تولید نانوذرات N-doped TiO<sub>2</sub> شده اند که قادر به تجزیه نوری متیلن آبی تحت نور مرئی است. باء (Bae) نانوذرات دی اکسید تیتانیوم فعال شده با نور مرئی را بر مبنای دی اکسید تیتانیوم اصلاح شده با حساس کننده های کمپلکس - روتنیم و رسوبات پلاتین تولید کرده است. نانوذرات Pt/TiO<sub>2</sub>/Ru<sub>x</sub>Li<sub>3</sub> به شدت میزان حذف اتم های هالوژن از مولکول تری کلرواستات و تتراکلرید کربن را در محلول های آبی تحت نور مرئی افزایش می دهد.

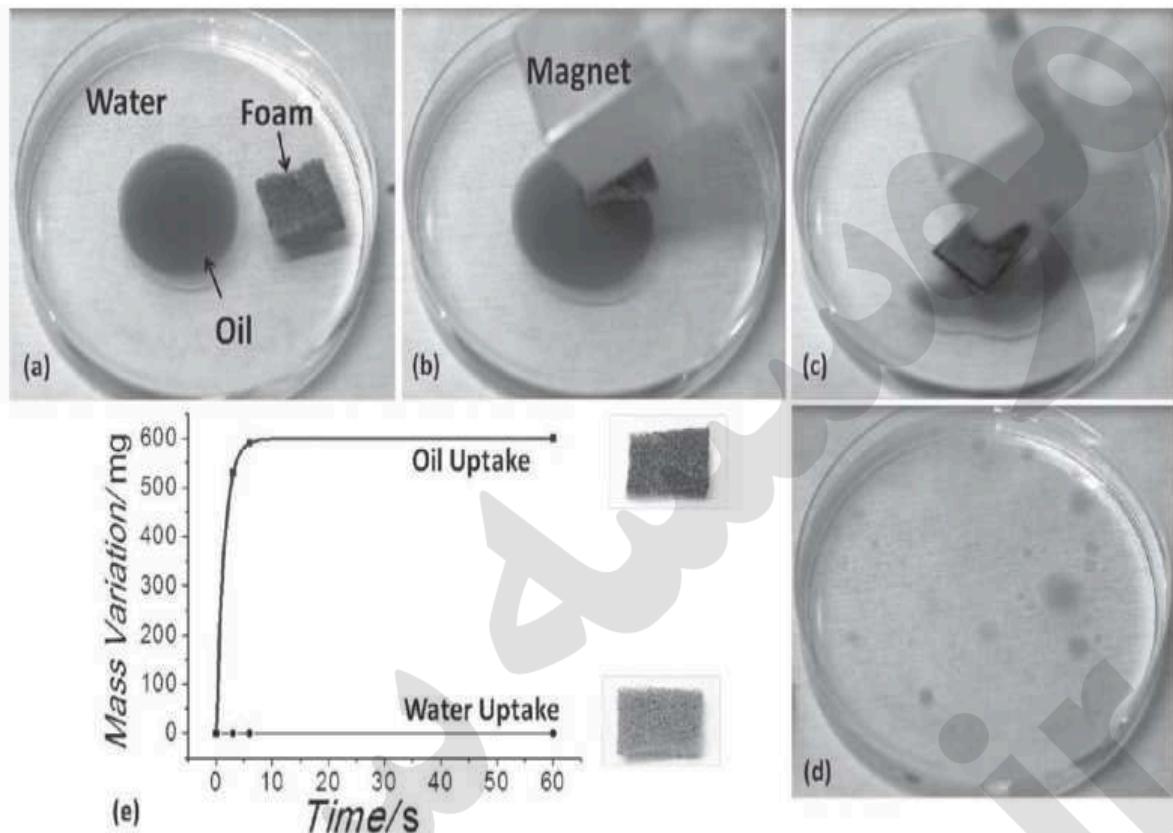
به تازگی ذرات نانو آهن صفر ظرفیتی (Fe0) و دو ظرفیتی (Fe0) به عنوان فیلتر ردوکس برای سم زدایی موثر آلاینده های آلی و معدنی در محلولهای آبی ظهر کرده اند. این نانومواد (10-1 نانومتر) نواحی سطحی وسیع تر و واکنش پذیری بیشتری نسبت به ذرات آهن دو ظرفیتی توده دارند. ژانگ (Zhang) مروری بر تولید ، خواص و استفاده از نانو ذرات Fe0 و Fe0/Co0 و Fe0/Ni0، Fe0/Ag0، Fe0/Pt0، Fe0/Pd0 را در بازسازی محیط زیست انجام داده است. این نانوذرات می توانند انواع آلاینده های آلی (نظیر آلkanها ، آلkanهای کلرینه ، بنزن های کلرینه، پستیسایدها، رنگهای آلی، نیترو آروماتیک ها ، بایفنیل های پلی کلرینه) و آنیونهای غیر آلی (نظیر نیترات ها) در محلولهای آبی را به محصولات فرعی که کمتر سمی هستند و خطر کمتری دارند ، احیا نماید. نانوذرات آهن صفر ظرفیتی و دو ظرفیتی با موفقیت برای احیاء یون های فلزی فعال ردوکس نظیر کروم پنج ظرفیتی Cr(VI) به نمونه های کروم سه ظرفیتی (Cr(III)) که خواص سمی و تحرک کمتری دارند، مورد استفاده قرار گرفته اند از ویژگی عدم تحرک متالوپورفرینوژن ها در ماتریس خاک-ژل نیز با موفقیت برای تولید نانوذرات ردوکس و نانو ذرات فعال کاتالیستی جهت حذف اتم های هالوژن از مولکول ترکیبات آلی کلرینه (تتراکلرواتیلن ، تری کلرواتیلن و تتراکلرید کربن) در محلول های آبی استفاده شده است

فرآیندهای غشاء نظیر اولترافیلتراسیون ، نانوفیلتراسیون و اسمز معکوس در حال ظهر به عنوان مولفه های کلیدی تصفیه آب پیشرفته و فن آوری های شیرین نمودن آب هستند و ندربرگن به بررسی استفاده از نانوفیلتراسیون در حذف کاتیونها ، مواد آلی طبیعی، آلودگی های بیولوژیکی، آلودگی های آلی، نیترات و آرسنیک از آبهای زیرزمینی و آبهای سطحی پرداخته اند. فاورویگولین و همکاران نشان داده اند که از نانوفیلتراسیون می توان برای حذف مقادیر جزیی اورانیوم پنج ظرفیتی (U(VI)) از آب دریا استفاده نمود. میون و همکاران استفاده از نانوفیلتراسیون را

برای شیرین نمودن آب مورد بررسی قرار داده اند. آنها بر این باورند که از ترکیب نانوفیلتراسیون با روش اسmez معکوس می توان به طور موثری برای شیرین نمودن آب آشامیدنی استفاده نمود. پلیت و همکاران نشان داند که از نانوفیلتراسیون می توان در بهبود کیفیت آب برای یک سامانه توزیع بزرگ استفاده نمود. کاهش قابل توجه ای در مقادیر آلاینده های آلی و بیولوژیکی (نظیر باکتری ها و ویروس ها) با استفاده از این فرآیند حاصل شده است. نانومواد در حال ایجاد فرصت های نوینی برای توسعه کارآمد تر و مقرون به صرفه تر غشاء های نانوساختاری و واکنشی برای تصفیه و شیرین نمودن آب هستند. سریواستاوا و همکاران به تازگی ساخت موفقیت آمیز فیلترهایی از نانولوله های کربن را گزارش نموده اند. این غشاء های فیلتراسیون جدید از استوانه توخالی با دیوارهای نانو لوله ای کربن شعاعی تشکیل شده اند.



شکل 10: دستکاه فیلتراسیون حاوی بلوك محوري چند لایه که درون آن کامپوزیت قرار گرفته است



شکل 11: کارایی جذب روغن فوم پلی اورتان عاملی NF-PTFE اکسید آهن

این می تواند ناشی از هزینه و نیز محدودیت های عملی ای باشد که بایستی بر نیاز بین واکنش پذیری، سرعت جریان و نیز یکپارچگی ساختاری غلبه کرد. این مسئله توسط ساوینا و همکاران 173 نیز گزارش شده است که واکنش پذیری را تایید کرده است. چه چیزی باعث می شود تا نانوکامپوزیت ها به حالت غیر استاتیک باشند همان طور که در منابع دیده می شود، قیف ها و دستگاه های تصفیه آب به صورت تجاری و تحقیقاتی موجود هستند. این موارد شامل جاذب ها، فلکوله کننده ها و منعقد کننده ها، رزین های تبادل یونی و فیلتر های با اندازه های مختلف هستند. چون آبتصفیه شده برای نوشیدن استفاده می شود فواین سفت و سخت زیادی وجود دارد که این فناوری ها بایستی برای رسیدن به بلوغ تجاری آن ها را رعایت کنند.

در آمریکا، کیفیت آب اشامیدنی توسط قانون آب اشامیدنی ایمن 1974 و آزانس حفاظت از محیط زیست امریکا، دفتر آب زیر زمینی و آب منطقه ای و سازما های دیگر در سطح محلی کنترل می شود. هم چنین سازمان ثالث NSF، نقش مهمی در تایید محصولات مرتبط با آب اشامیدنی نظیر فیلتر ها، تصفیه های شیمیایی و لوله کشی ها ایفا می کند. به منظور دست یابی به مجوز خاص، ادعا در مورد عملکرد فیلتر درک شده و بایستی تضمین

شود. به علاوه کمیته مشترک NSF واحد های تصفیه آب اشامیدنی، استاندارد های مختلفی را برای ارزیابی و مجوز دهی توسعه داده اند.

در عین حال، در بریتانیا، این قوانین و مقرران توسط طیف وسیعی از مراکز بازرگانی آب آشامیدنی (تنظیم کیفیت آب آشامیدنی برای انگلستان و ولز) و تنظیم کیفیت آب برای اسکاتلند، آژانس حفاظت از بهداشت (وزارت بهداشت)، وزارت توسعه منطقه ای، وزارت محیط زیست، غذا و امور روستایی (دفرا)، و همچنین مقامات محلی و تامین کننده آب کنترل می شود. [178]. فناوری های تصفیه ای همراه با موارد مورد استفاده برای ذخیره و انتقال آب بر اساس اثرات قابل اندازه گیری بر روی آب کنترل می شوند. مرکز توسعه آب آشامیدنی بریتانیا گزارش های سالانه را در خصوص شرایط عرضه آب منتشر می کند. این فهرست بر اساس ایمنی آب آشامیدنی است و به ارزیابی فناوری ها یا مواد نمی پردازد

در همه موارد، هزینه ازمون های نظارتی برای محصولات فیلتر مورد استفاده برای آب آشامیدنی به شدت هزینه بردار است. بر همین اساس مسیر های مختلف بهبود نانوکامپوزیت های الگو و نمونه برای دست یابی به مقیاس وسیع تر، چالش بر انگیز بوده و نیازمند چند دور سرمایه گذاری است



شکل 12: یک تصویر نشان دهنده خود مونتاژی یک هیدروژل اکسید گرافن

نانوکامپوزیت ها به طور اخص منجر به بروز مسائل متعددی می شوند. نانوکامپوزیت های سیار می توانند برای محیط و بدن انسان سمی باشند. آن ها دارای کاربرد تجاری محدودی در حال حاضر هستند. در عین حال، استفاده از نانوکامپوزیت ها باقیستی مورد تست واقع شود که نانوذرات هیچ گونه مواد سمی را وارد آب نمی

کنند. این مسئله موجب افزایش هزینه می شود و لی مطابق با توصیه های ارایه شده توسط گزارش " علوم نانو و فناوری های نانو" فرصت ها و عدم قطعیت ها" است.

به علاوه تحقیقات برای این که جنبه تجاری پیدا کنند بایستی اطمینان حاصل کنند که فناوری نوظهور، پایدار است. در واقع، برای بیشینه سازی اعتبار نانوذرات، آن ها بایستی قابل باز یافت باشند و در عین حال روش های آسانی برای از بین بردن الاینده ها و نانوذرات و استفاده مجدد از سوبسترا وجود داشته باشد. از این روی فلزات با ترکیب مطلوب را می توان استفاده کرد که دارای سود اقتصادی هستند و مواد پسماند باقی مانده به آسانی از آن ها تصفیه می شوند. امروزه بسیاری از سازمان های استفاده کننده از NP ، از روش های ایمنی شیمیایی سنتی برای مواد خطرناک در سرتاسر چرخه حیات نانوذرات استفاده می کنند. اگرچه این مبنای خوبی برای مدیریت و بازیافت نانو مواد است، با این حال اگر قوانین ویژه بتوانند سمیت آن ها را نیز در نظر بگیرند بسیار مطلوب خواهد بود. برای انجام این کار باید اطمینان حاصل شود که نانوکامپوزیت ها در سراسر چرخه خود از نظر محیطی ایمن هستند

در نهایت این که یک مسئله کلیدی مربوط به مواد و روش های جدید بررسی شده توسط تحقیقات این است که یک روش استاندارد و یا روش های استاندارد برای تست الاینده ها برای ازمایشگاهی مختلف وجود ندارد و ملزمات اندازه برای حجم واکنشی بایستی در نظر گرفته شود. تست های آزمایشگاهی اغلب، عملکرد محصولات را با تست ساده ترین سیستم های ابی تست می کنند. این موجب می شود تا مقایسه سخت تر شود و بسیاری از تحقیقات فعلی نتوانند به پیشرفت و روند تغییرات بپردازنند.

#### 4- نتیجه گیری و مطالعات آینده

این مقاله مروری به بررسی وضعیت فعلی و نقش نانوکامپوزیت ها در تصفیه آب پرداخته است. بدیهی است که این زمینه تحقیقاتی به شدت در حال توسعه است و مواد نانو کاربرد تجاری پیدا کرده اند.

از دیدگاه نظری، کامپوزیت های ایده ال برای کاربرد های صنعتی و خانگی پیوسته و مواد با ویژگی غیر ثابت شونده هستند که با نانومواد می کنند به حالت غیر واکنش پذیر در ایند و این کار از طریق اشباع کردن ساختار های ماده مادری با مواد نانو حاصل شود که دارای ویژگی های مکانیکی متعددی هستند. این نوع نانوکامپوزیت ها مانع از بروز مسائل مربوط به سمیت نانو برای انسان و محیط زیست می شود که نیازمند تحقیقات بیشتری است.

این کامپوزیت ها را می توان وارد زیر ساخت های تصفیه آب در شکل عوامل واکنشی سنتی به صورت یک روش ارزان تر و کارآمد تر در راستای رسیدن به اهداف قانونی استفاده کرد. کاربرد های آن ها از گوچک مقیاس نظری د تصفیه داخلی تا روش های محیطی مشابه با موانع واکنشی نفوذ پذیرو در نهایت کاربرد های صنعتی بزرگ مقیاس متغیر است. به علاوه این فناوری برای فرایند های فیلترینگ و تصفیه آب صنعتی مناسب است که در آن ها کاتالیزور های NP به طور انتخابی در کامپوزیت ها برای گونه های مضر یا ارزشمند استفاده می شوند. نانو کامپوزیت های واکنشی در صنعت کاربرد زیادی دارند و این موجب شده است تا توسعه این مواد برای تصفیه آب در سطح جهانی در دستور کار قرار گیرد

- بر اساس استدلال های ارایه شده، کامپوزیت های فیلتراسیون واکنشی با بیشترین موفقیت تجاری، خواص زیر را نشان می دهند
- ساختار های حجمی پیوسته برای اجتناب از معايب ذرات ازاد و اطمینان از طراحی ساختار ها به طوری که واکنش و سطح مقطع افزایش یابد
- چسبندگی قوی نانوذرات برای اطمینان از این که هیچ نانوذره ای به سیستم آب و محیط ازاد نمی شود
- خواص مکانیکی مناسب ساختار مادری امکان جریان بهینه آب را می دهد
- سطح مقطع درونی بالا برای بیشینه سازی واکنش پذیری
- توانایی حذف طیف وسیعی از الاینده ها که موجب بیشینه سازی کاربرد های بالقوه می شود
- قابلیت تصفیه برای دست یابی به پایداری
- قابلیت تصفیه الاینده ها برای بهبود شیوه های ارزشمند
- هزینه تولید پایین برای اطمینان از دست یابی به کاربرد گسترده تر

تا کنون هیچ نانو کامپوزیت سحر آمیزی به طور تجاری ظهر نکرده است. چالش کلیدی افزایش موفق این سطوح مواد واکنشیبدون از بین رفتن ویژگی های مکانیکی ضمن کاهش هزینه است. پیشرفت و توسعه مداوم نیازمند بهبود این مواد و انجام تحقیقات بیشتر در زمینه روش های اشباع سازی و تصفیه پس از سنتز است که موجب بهبود نانو واکنش پذیری می شود. به علاوه، تست های استاندارد بایستی توسط جامعه اکادمیک در راستای مقایسه

بین مواد و بهبود توسعه مواد در آینده شود. با توجه به سرعت فعلی پیشرفت فناوری و جذب بازار، آینده نانوکامپوزیت‌ها نه تنها برای تصفیه آب بلکه برای بسیاری از صنایع مهم جهانی، درخشنان خواهد بود.