

پایش علی انان، محیط زیست و توسعه پایدار
باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران

۱۳۸۸/۱۲/۱۹

کاربرد فناوری نانو در پاکسازی محیط زیست سمیه خواجه قصاب^۱

چکیده:

یکی از مهم ترین کاربردهای فناوری نانو در محیط زیست، تصفیه آلاینده های آب های زیرزمینی با نانوذرات nZVI است که بازدهی قابل توجهی دارد، اما نامشخص بودن خصوصیات اساسی این فناوری، مشکلاتی در ارتباط با استفاده بهینه و یا ارزیابی خطرات آن از لحاظ انسانی و اکولوژیکی به وجود آورده است.

در این مقاله به سه مورد اساسی که باعث سوء تفاهم در مورد این فناوری می شود، اشاره می شود:
1. nZVI هایی که در تصفیه آب های زیرزمینی به کار می روند، بسیار بزرگتر از ذراتی هستند که تأثیرات حقیقی در اندازه نانو را نشان می دهند.

2. واکنش پذیری بالای این ذرات عمدتاً حاصل سطح ویژه بالای آنهاست.

3. تحرک nZVI تقریباً در تمامی شرایط، کمتر از چند متر است. لذا استفاده از آن در تصفیه به حداقل می رسد.

هنوز سؤالات زیادی در مورد این فناوری وجود دارد، مثلاً اینکه چگونه nZVI به سرعت جابه جا خواهد شد؟ این جابه جایی به سمت چه محصولاتی است؟ آیا این مواد در محیط زیست قابل تشخیص هستند؟ و اینکه چگونه تغییرات سطح nZVI باعث تغییر طول عمر و تأثیر آن روی تصفیه خواهد شد؟

کلمات کلیدی: فناوری نانو، نانوذرات، محیط زیست

۱- دانش آموخته رشته مهندسی کامپیوتر- نرم افزار و عضو باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول

مقدمه:

امروزه پیشرفت تکنولوژی و دستیابی انسان به روش های نوین برای استفاده از منابع طبیعی، دستاوردهایی را به همراه دارد که علاوه بر تاثیرات فراوان در زندگی بشر، تاثیراتی منفی را نیز برای طبیعت به ارمغان می آورد. به تازگی انسان متمدن به این تفکر رسیده است که شاید بتوان با استفاده از تکنولوژی مدرن و پیشرفته به کمک منابع طبیعی و محیط زیست شتافت که از جمله آنها می توان به فناوری نانو و کاربرد آن در حفظ محیط زیست اشاره کرد. تاثیرات مستقیم و غیرمستقیم فناوری نانو بر محیط زیست، از جنبه های مختلف قابل بررسی است. در حال حاضر، می توان موارد متعددی از کاربرد مواد نانو ساختاری در حفظ محیط زیست، از قبیل نانوفیلترها (برای تصفیه پساب های صنعتی)، نانوپودرها (برای تصفیه گازهای آلاینده خروجی از خودروها و واحدهای صنعتی) و نانو تیوب ها (برای ذخیره سازی سوخت کاملاً تمیز هیدروژن) را برشمرد، اما دورنمای استفاده از این فناوری نوین بسیار گسترده تر از اینگونه کاربردهای جزئی و مقطعی است. برخی از مهمترین کاربردهای علمی شناخته شده فناوری نانو در زمینه محیط زیست نانوحسگرها، نانوفیلترها و کاتالیزورهای زیست محیطی هستند که در این مقاله به آنها اشاره می شود.

کاربردهای نویدبخش فناوری نانو در محیط زیست بسیار زیاد است. این مطلب در «پیشرفت محیط زیستی» به عنوان یکی از هشت زمینه پیشرو فناوری نانو که از جانب NNI تعیین شده، منعکس شده است. در واقع، تقریباً تمام برنامه های (NNI پدیده های بنیادی، مواد، روش ها، اندازه گیری و غیره) جنبه های محیطی دارند. نگرانی های زیست محیطی تقریباً در تمام ۱۱ سازمان حاضر در برنامه NNI قابل مشاهده است.

بیشتر کاربردهای زیست محیطی فناوری نانو در سه مقوله جای می گیرند که عبارتند از:

۱. محصولات بی خطر برای محیط زیست یا محصولات با قابلیت تحمل بالا، مثلاً شیمی سبز

۲. تصفیه موادی که به ذرات خطرناک آلوده شده اند

۳. حسگرهایی برای ذرات محیطی

با اینکه معمولاً این سه مقوله در زمره مواد شیمیایی یا مواد نانوبیولوژیکی تلقی می شوند، باید توجه کرد که این موارد می توانند در خصوص عوامل میکروبی و مواد زیست محیطی نیز کاربرد داشته باشند. فناوری نانو، نقش مهمی در بهبود روش های کشف و پاکسازی عوامل زیست محیطی مضر دارد.

دو فناوری متعارف تصفیه که در فناوری نانو نیز از آنها استفاده می شود، عبارتند از: جاذبه و واکنش درجا و غیردرجا. در فناوری تصفیه جاذبه ای به کمک فرایند جداسازی، آلاینده ها و بویژه فلزات، را جدا می کنند؛ در حالی که فناوری واکنشی باعث تجزیه آلاینده ها می شود. گاهی اوقات تمام روش ها به سمت تولید محصولات کم ضررتر است، مثلاً در مواردی که آلاینده ها آلی باشند محصولاتی مثل CO_2 و H_2O تولید می شود.

در فناوری درجا، پاکسازی آلودگی در محل آلودگی صورت می گیرد؛ در حالی که در فناوری غیردرجا، عملیات پاکسازی پس از انتقال مواد آلوده کننده به مکان مطمئن، انجام می شود. مثلاً، آب های زیرزمینی آلوده به سطح زمین پمپ شده و پاکسازی آنها در راکتورهای واقع در سطح زمین انجام می شود.

فناوری نانو غیردرجا:

مثالی برجسته از فناوری نانو برای تصفیه آلاینده‌ها از طریق جذب سطحی، تک لایه‌های خودآرا روی پایه میان‌حفره‌ای یا SAMMS است SAMMS. از طریق خودآرایی یک لایه از عوامل سطحی فعال شده بر روی پایه‌های سرامیکی میان حفره‌ای به وجود می‌آید که باعث ایجاد موادی با سطح ویژه بسیار بالا تقریباً $1000 \text{ (m}^2/\text{g)}$ می‌شود. خصوصیات جذبی این مواد را به گونه‌ای می‌توان تنظیم کرد که آلاینده‌های خاص نظیر: جیوه، کرومات، آرسنات، پرتکتات، و سلنیت را جذب کند.

پلیمرهای درخت‌سانی، نوع دیگری از مواد نانو ساختار هستند که از پتانسیل تصفیه آلاینده‌ها برخوردارند. نمونه‌های جدید این روش، شامل اولترافیلتراسیون بهبود یافته با درخت‌سان‌ها به منظور حذف Cu^{2+} از آب و حذف آلاینده‌های Pb^{2+} از خاک است. این دو نوع نانو ساختار جاذب که در فرایندهای غیردرجا استفاده می‌شوند، می‌توانند مواد پرخطر را با غلظت بالای در سطح خود جمع کنند.

تجزیه آلاینده‌ها به کمک فناوری نانو بر خلاف تصفیه از طریق جذب، مختص آلاینده‌های آلی است. روش رایج، تصفیه آلاینده‌های آلی فوتواکسیداسیون 2 به وسیله کاتالیزورهای نیمه‌رسانا (مانند TiO_2) است. قابلیت فوتوکاتالیست‌های کوانتومی (اندازه ذره تقریباً 10 نانومتر) مدت‌هاست که در تجزیه آلاینده‌ها شناخته شده است. در هر حال، همان‌طور که هنگام توضیح فناوری‌های جاذب گفته شد، فوتواکسیداسیون به وسیله نیمه‌هادی‌های نانو ساختار، روشی غیردرجاست. زیرا به نور نیاز دارد و باید در یک راکتور طراحی شده برای اینکار، انجام شود.

فناوری نانو درجا:

تجزیه درجای آلاینده‌ها بر دیگر روش‌ها ارجحیت دارد زیرا از نظر اقتصادی مقرون به صرفه‌تر است. تصفیه درجا، مستلزم تداخل آلاینده‌ها با عملیات پاکسازی است و این امر، مانع اصلی در توسعه و بسط این نوع فناوری‌هاست. امکان تزریق نانوذرات (واکنشی و جذبی) در محیط‌های متخلخل آلوده نظیر خاک‌ها، رسوبات و محیط‌های آبی، باعث شده است تا این روش از پتانسیل بالایی برخوردار باشد. در این روش یکی از دو امکان زیر باید وجود داشته باشد:

۱. ایجاد نواحی واکنشی درجا با نانوذراتی که تقریباً بی‌حرکت هستند
۲. ایجاد توده نانوذرات واکنشی که به سمت مناطق آلوده حرکت می‌کنند؛ البته به شرطی که این نانوذرات به اندازه کافی متحرک باشند (شکل ۱).

البته باید به این نکته توجه داشت که واکنش، تنها زمانی رخ می‌دهد که آلاینده‌ها به صورت محلول در آب‌های زیرزمینی بوده و یا مانند DNAPL به سطوح Fe متصل باشند. تشریح بیشتر تحرک در جای نانوذرات، درک این مطلب را آسان می‌سازد زیرا تحرک در جای نانوذرات، معمولاً باعث ایجاد سوء تفاهم در فهم مطلب می‌شود.

گرچه در تصفیه درجا، از نانوذرات گوناگونی نظیر دوقطبی غیریونی، پلی‌بورتان و یا فلزات نجیبی روی پایه آلومینا استفاده می‌شود، اما تا به حال بیشترین توجه به نانوذرات حاوی nZVI معطوف شده است. تمایل به استفاده از nZVI برای تصفیه، باعث بهبود شیمی تصفیه و یا گزینه‌های توسعه آن شده است. این امر منجر به انتقال بسیار

سریع این فناوری از مرحله آزمایشگاهی به مرحله نیمه صنعتی شده است. کاربردهای تجاری nZVI در تصفیه، به سرعت رایج شده و بازارهای رقابتی شدیدی در زمینه مواد حاوی nZVI و تأمین‌کنندگان خدمات آن به وجود آورده است.

در مورد اصول اساسی فناوری تصفیه مبتنی بر nZVI و کاربردهای آن در محیط‌زیست، تصورات نادرستی وجود دارد. گرچه این مطالب بسیار به هم وابسته‌اند، ولی ما می‌توانیم آنها را در سه گروه تقسیم کنیم: ریخت‌شناسی ذره، واکنش‌پذیری و تحرک.

در ادامه، نکات کلیدی سه دسته بالا را توضیح می‌دهیم تا بتوانیم به یک جمع‌بندی در مورد این فناوری دست یابیم و از این طریق به پیشرفت‌های زیست محیطی فناوری کمک کنیم.

ویژگی‌های نانوذرات:

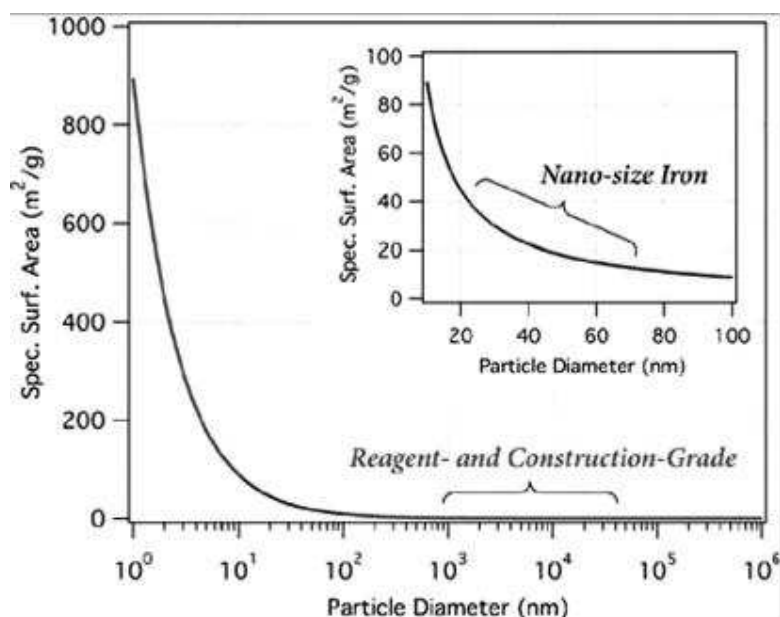
ریخت‌شناسی:

تعریف‌های گوناگونی در مورد اندازه نانو ارائه شده است، اما باید به این نظریه اشاره کرد که اندازه نانو محدوده‌ای از اندازه مولکول‌ها و مواد است که ذرات در این محدوده، خواص بی‌همانند یا به‌طور کیفی، متفاوت با ذرات بزرگ‌تر از خود دارند.

بیشتر نمونه‌های دارای این خواص، اندازه‌ای در محدوده کوچک‌تر از ۱۰ نانومتر دارند زیرا در این محدوده، اندازه ذرات به اندازه آنها در شرایط مولکولی پایدار نزدیک‌تر است.

یکی از این مثال‌ها، محدوده کوانتومی است و به این علت به وجود می‌آید که با کاهش اندازه ذرات، باند گپ ۳ افزایش یافته، باعث به وجود آمدن برخی ویژگی‌های مفید در فوتوکاتالیست‌های نیمه هادی می‌شود که در بخش فناوری‌های غیردرجا توضیح داده است.

خصوصیات دیگری که در اندازه‌های زیر ۱۰ نانومتر تغییر می‌کنند، سطح ویژه است که در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱: سطح ویژه با این فرض که ذرات به صورت کروی با ذره برآوردی از قطر زیاد دایره‌ای هندسی و چگالی 7.6 g/cm^3 هستند (بر پایه میانگین چگالی‌های FeO و Fe_3O_4 خالص)

از نظر کیفی، عوامل دیگری را نیز می‌توان یافت که در تعیین این خصوصیات دخالت دارند، مانند نسبت اتم‌های سطحی به اتم‌های توده و قسمتی از حجم ذره که شامل ضخامت محدود لایه سطحی است. آماده‌سازی nZVI برای استفاده در کاربردهای تصفیه‌ای، به‌طور معمول در این محدوده- بین چند ۱۰ تا چند ۱۰۰ نانومتر- انجام می‌شود. علاوه بر این، ذرات nZVI حتی تحت شرایط آزمایشگاهی هم تمایل دارند که به هم بپیوندند و متراکم شوند و در نتیجه مجموعه‌هایی تولید می‌شود که اندازه آنها ممکن است نزدیک چند میکرون شود. یعنی nZVI و مواد مرتبط با آن که در کاربردهای تصفیه محیط‌زیست استفاده می‌شوند، خصوصیات فوق‌العاده مورد انتظار برای نانوذرات حقیقی را از خود نشان نخواهند داد و اغلب همانند کلوئیدهای محیط‌زیست رفتار خواهند کرد.

واکنش‌پذیری:

واکنش‌پذیری زیاد نانوذرات می‌تواند حاصل سطح ویژه بالای نانوذرات، چگالی بیشتر نواحی واکنش‌پذیر روی سطوح ذره و یا افزایش واکنش‌پذیری این نواحی بر روی سطح باشد.

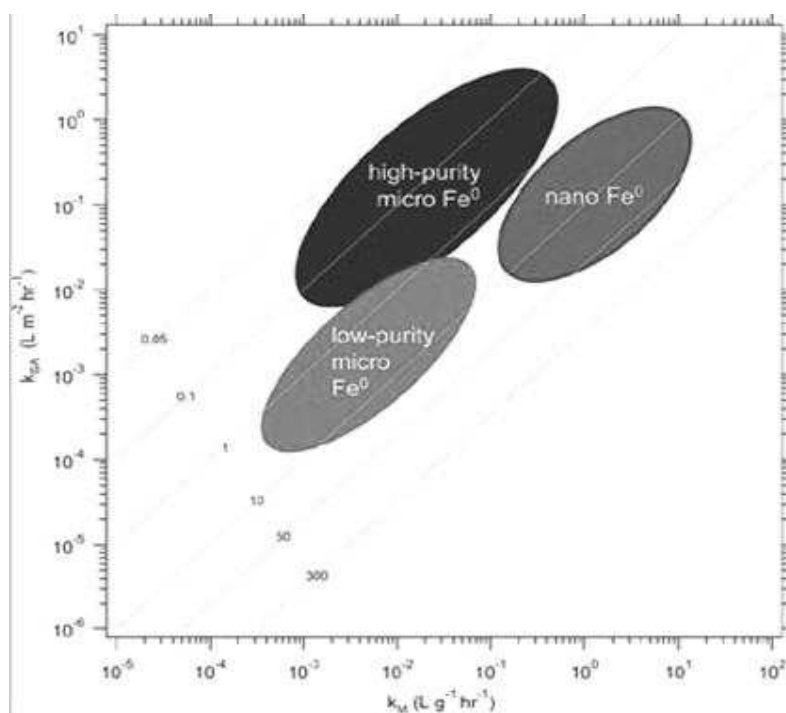
این عوامل، مجموع سه نتیجه واضح و کارا را در مورد nZVI در پی داشته است:

۱. تجزیه آلاینده‌هایی که واکنش چندانی با ذرات بزرگ‌تر نمی‌دهند، مانند پلی‌فنیل‌های کلرینه شده

۲. تجزیه بسیار سریع‌تر آلاینده‌هایی که پیش از این با سرعت‌های مناسبی با ذرات بزرگ‌تر واکنش نشان می‌دادند، مانند اتیلن‌های کلرینه شده

۳. دسترسی به محصولات مطلوب‌تر با تجزیه آلاینده‌هایی که به وسیله مواد بزرگ‌تر سریعاً تجزیه می‌شوند، اما باعث به وجود آمدن محصولات فرعی نامطلوبی مثل تراکلریدکربن می‌شوند. از این سه دسته تأثیرات واکنشی، دومین دسته (تجزیه سریع‌تر آلاینده‌های قابل تجزیه) بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. علت این تأثیر به‌رغم اینکه مسئله‌ای بسیار کاربردی، بنیادی و مهم تلقی می‌شود، کمتر شناخته شده است.

ما برای تجزیه تراکلرید کربن به وسیله nZVI، نسبت ثابت سرعت‌های نرمال شده برحسب سطح ویژه ksa با ثابت سرعت‌های نرمال شده برحسب جرم km مقایسه کردیم. نتایج نشان داد که ksa برای نانوذرات nZVI برابر این پارامتر در ذرات میلی‌متری nZVI است، اما آن بزرگ‌تر از ذرات میلی‌متری است (شکل ۲). بنابراین تجزیه سریع‌تر تراکلرید کربن به وسیله nZVI به خاطر سطح ویژه بالای آن است، نه به خاطر بیشتر بودن فراوانی نقاط واکنش‌پذیر روی سطح و یا واکنش‌پذیرتر بودن این نقاط. این نتیجه ممکن است در مورد سایر آلاینده‌هایی که با nZVI واکنش می‌دهند نیز صدق کند، اما اطلاعات ما در این مورد ناکافی است.



شکل ۲: مقایسه ثابت‌های سرعت احیای CL ۴۱ به وسیله nZVI و دو نوع Fe در اندازه‌های میلی‌متری. مناطق نمودار، تقریباً بر مبنای ۵۰ داده از منابع مختلف هستند.

باید توجه داشت که این تحلیل شامل ترکیبات دوفلزی nZVI با کاتالیزورهای فلزات نجیب، مثل Ni، Pd و Cu نیست. این مواد دوفلزی، معمولاً دارای مقادیر ksa بالایی هستند، ولی این افزایش در درجه اول، نتیجه تأثیر خاصیت کاتالیستی فلزات نجیب است که در مورد فلزات بزرگ‌تر نیز مشاهده می‌شود.

اما این مشکل وجود دارد که افزایش واکنش پذیری معمولاً با کاهش انتخاب پذیری همراه است و موجب واکنش nZVI با مواد غیرهدف شامل اکسیژن غیرمحلول و آب و در نتیجه پایین آمدن بازده تصفیه با nZVI می شود. شکل ۳ منجر به پیدایش نیاز به تزریق ذرات به سیستم و در نتیجه بالا رفتن هزینه عملیات خواهد بود.

با محدود کردن مواد ناخواسته (مواد غیرهدف شامل اکسیژن و آب) به وسیله گیرنده های ارزان تر، می توان طول عمر کوتاه nZVI را مفیدتر کرد البته به این شرط که ذرات، تحرک قابل ملاحظه ای از خود نشان دهند.

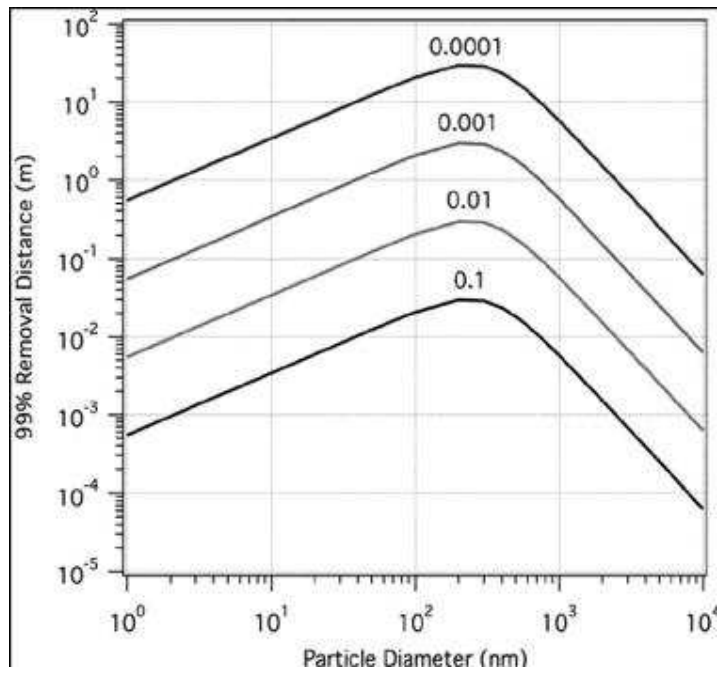
حرکت:

نانوذرات در محیط های متخلخل، تحرک زیادی دارند زیرا اندازه آنها از اندازه سوراخ های محیط های متخلخل بسیار کوچک تر است، اما اینکه ما فرض کنیم علت تحرک نانوذرات تنها به همین مطلب ختم می شود، بسیار ساده انگاری کرده ایم. معمولاً دو عامل، تعیین کننده تحرک نانوذرات در محیط های متخلخل اشباع هستند.

۱. تعداد برخورد های نانوذرات با محیط متخلخل به ازای واحد جابه جایی
۲. ضریب چسبندگی (احتمال اینکه هر برخورد، منجر به حذف ذره از جریان شود) برخورد ممکن است در نتیجه سه عامل رخ دهد: حرکت براونی، بازدارنده ها (عواملی که مانعی از حرکت نانوذره می شوند) و رسوب گذاری گرانشی.

نانوذرات در محیط های متخلخل، اغلب حرکت براونی دارند. برای ذرات بزرگتر از ۴۰۰ نانومتر با چگالی بالا (مثلاً 2g/cm^3) برای ذرات آهن خالص) تأثیر جاذبه می تواند عاملی بسیار مهم باشد. با استفاده از روش بازده Collector-Single که به وسیله Tufenkji و Elimelech ارائه شده و تئوری فیلتراسیون deep-bed، این امکان وجود دارد که بتوان فاصله جابه جایی را که در آن، ۹۹ درصد حذف نانوذرات به عنوان تابعی از خواص سطحی و ضریب چسبندگی صورت می گیرد، محاسبه کرد. شکل (۴) نشان می دهد که محدوده فاصله جابه جایی در شرایط سطحی متعارف، از چند میلی متر تا چند ده متر متناسب با ضریب چسبندگی است.

ضریب چسبندگی گزارش شده برای nZVI معمولی در انواع محیط های متخلخل، بین ۰/۱۴ تا یک است و این به معنی فاصله جابه جایی چند سانتی متر در محیط های متخلخل در شرایط آب های زیرزمینی است (شکل ۴). این امر موجب ایجاد علاقه قابل ملاحظه ای برای تغییر سطح نانوذرات در جهت افزایش فاصله جابه جایی شده است.



شکل ۴: فاصله جابه‌جایی که در آن، بیش از ۹۹ درصد نانوذرات حذف می‌شوند. در ضرایب چسبندگی، شرایط سطحی به شکل زیر است:

تخلخل = ۳۶,۰، سرعت = ۱,۰ m/day

اندازه ذرات خاک = ۳,۰ میلی‌متر

چگالی نانوذرات = ۳g/cm^۳

به این ترتیب، ضرایب چسبندگی کوچک‌تری برای این گونه نانوذرات و سایر نانوذرات گزارش شده است (۰/۰۰۱) برای نانوذرات Fe که سطح آنها بهبود یافته است و ۰/۰۰۰۱ برای نانوذرات دارای پایه کربنی). اما حتی این ضرایب چسبندگی کوچک هم به‌طور قطعی باعث تحرک بیشتر (بیش از چندمتر) نانوذرات در آب‌های زیرزمینی نمی‌شود؛ بجز در آب‌های زیرزمینی با سرعت حرکت بسیار زیاد.

خطرات:

مباحث ریخت‌شناسی، واکنش‌پذیری و تحرک نانوذرات در زمینه تصفیه محیط‌زیست، نشان می‌دهند که دانش ما در مورد فرایندهای پایه در این فناوری، هنوز ناکافی است. به علاوه، خطرات احتمالی آن برای سلامت انسان و محیط‌زیست، انجام این روش در مقیاس انبوه را با مشکل مواجه کرده است. مخصوصاً با توجه به کاربردهای درجای nZVI (یا مواد وابسته) برای تصفیه محیط‌های متخلخل، هنوز تحقیقات مستقیم و قابل ملاحظه‌ای که خطرات آن را مورد توجه قرار دهد، انجام نشده است. برخی گروه‌ها، وضعیتی احتیاطی (پیشگراانه) را پذیرفته‌اند و

کاربردهای در جای نانوذرات برای تصفیه را ممنوع کرده‌اند، اما برخی گروه‌ها آن را توصیه کرده‌اند. در واقع، تحقیقات در این زمینه باید به‌طور موازی صورت گیرد. این معما که چگونه می‌توان از نانوذرات برای تصفیه استفاده کرد، باید بزودی و با استفاده از نتایج تحقیقات در حال انجام، قابل حل و دسترسی باشد. مهم‌ترین این خطرات، استنشاق ذرات ریزی است که از طریق هوا جابه‌جا می‌شوند.

نتیجه گیری:

آنچه از توانمندی‌های فناوری نانو ارائه شد به این معنی است که می‌توان از این روش‌ها برای حفظ محیط زیست در آینده‌ای نه چندان دور استفاده کرد و در کنار استفاده از منابع طبیعی با کمک فناوری‌های پیشرفته بتوان به تعاملی پایدار با طبیعت رسید.

به هر حال، می‌توان نتیجه گرفت که گرچه از nZVI و مواد مرتبط با آن، در کاربردهای تصفیه‌ای در جا استفاده می‌شود، اما یکی از مواد ویژه در دسترس ما هستند. آنها کوچک‌تر، واکنش‌پذیرتر، مقاوم‌تر و متحرک‌تر بوده و در عین حال، ممکن است برای انسان و محیط‌زیست خطرآفرین باشند.

منابع و ماخذ:

- [1] Huang.T, Chen.W, Geng.T, Gomez.R, Bashir.R, 2003, Fundamentals on nanotechnology relationship to food science & technology, lorre purdue university.
- [2] Morris.J.V, 2005, Is nanotechnology going to change the future of food technology?, available online <http://www.foodtech-international.com>.
- [3] Shefer.A, 2005, The application of nanotechnology in food industry, New jersey, USA. available online <http://www.foodtech-international.com>.
- [4] Mararu.J.C, Haung.Q and other ... , 2005, Nanotechnology: a new frontier in food science, AgroFOOD industry hi-tech Vol 16 - No. 6
- [5] Elamin.A, 2005, Nanotechnology research directed at food industry, available on line. <http://www.foodnavigator.com/>
- [6] Scott.N, Chen.H, 2003, Nanoscale science & engineering for agriculture & food system , Cornell University.
- [7] Wolfe.J, 2005, Safer and guilt-free nano foods, NewYork.
- [8] Shefer.A and Shefer.S, 2003, Nutraceutical and beverages. US patent application No;20030152359 .