

کارایی نانوذرات آهن صفر ظرفیتی در حذف آلاینده‌های مختلف از محیط‌های آبی

محمد تقی کوهیان افضل^۱، احمد فرخیان فیروزی^{۲*}، مهدی تقوی^۳

۱- دانشجوی دکتری فیزیک و حفاظت خاک، دانشگاه شهید چمران اهواز، mkoohiyanafzal@gmail.com

۲- دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه شهید چمران اهواز، farrokhian@gmail.com

۳- استادیار گروه شیمی پلیمر، دانشگاه شهید چمران اهواز، m.taghavi@scu.ac.ir

چکیده

نانوذرات آهن صفر ظرفیتی دارای خصوصیات منحصر به فردی مانند سطوح ویژه بالا، سایت‌های اختصاصی جذب آلاینده‌های مختلف و واکنش‌پذیری بالا است. این امر موجب می‌گردد تا این ذرات که دارای اندازه کمتر از ۱۰۰ نانومتر هستند، در حذف و پالایش آلاینده‌های مختلف آب و خاک بسیار کارا و مفید باشند. نانوذرات آهن صفر ظرفیتی به دلیل وجود نیروهای واندروالس و فرومغناطیسی بین ذرات به سرعت دچار هم‌آوری و رسوب شده که این امر از راندمان حذف آلاینده‌ها توسط این ذرات می‌کاهد. بدین منظور، از پوشش‌های پلیمری مختلف در راستای پایدارسازی این ذرات و جلوگیری از رسوب و مجتمع شدن آنها استفاده می‌گردد. در این بین استفاده از پلیمرهای طبیعی مانند گوارگام و گزانتان‌گام بسیار مورد توجه می‌باشند. از خصوصیات این پلیمرها می‌توان به طبیعی، خنثی، غیرسمی، آبدوست، پایداری بالا، مقرون به صرفه و زیست تخریب پذیر بودن اشاره کرد. پلیمرهای مذکور به دلیل طبیعی بودن، هیچ‌گونه سمیتی نداشته و اثر مخربی نیز در محیط بر جا نمی‌گذارند.

واژه های کلیدی: نانوذرات آهن صفر ظرفیتی، حذف، آلاینده، پلیمر

۱- مقدمه

نانوتکنولوژی یکی از زمینه‌های علوم کاربردی است که تمرکز آن بر روی طراحی، سنتز، توصیف ویژگی‌ها و کاربرد مواد و ابزارهایی است که دارای مقیاس نانو هستند. این شاخه از علم به عنوان یک زیر کلاس تکنولوژی محسوب می‌شود که در علوم کلونیدی، بیولوژی، فیزیک، شیمی و دیگر زمینه‌های علمی مطرح بوده و به مطالعه پدیده‌ها و مدیریت مواد در مقیاس نانو می‌پردازد. یکی از مهمترین موضوعاتی که در نانوتکنولوژی مطرح است آن است که نانوذرات نسبت سطح ویژه به حجم بسیار بالایی دارند که سبب بروز پتانسیل‌های بسیاری در این مواد شده است (Koohiyan Afzal, et al., 2017). نانوذرات آهن صفر ظرفیتی بدون پوشش دارای دو بخش مجزا هستند که عبارتند از:

- ۱- هسته، که از آهن صفر ظرفیتی یا آهن فلزی تشکیل شده است.
- ۲- پوسته، که اطراف این هسته را در بر گرفته و شامل اکسیدهای آهن با ظرفیت مخلوط (آهن دو و سه ظرفیتی) بوده که در نتیجه اکسیداسیون آهن فلزی حاصل شده است. که به طور کلی به این مدل ۲ بخشی، مدل هسته‌ای-پوسته‌ای نانوذرات آهن صفر ظرفیتی اطلاق می‌گردد. هسته، شامل ذرات آهن صفر ظرفیتی است و دارای قدرت احیاء برای واکنش با آلاینده‌های محیطی است. پوسته نیز به طور عمده شامل اکسیدها و یا هیدروکسیدهای آهن بوده که از اکسیداسیون آهن صفر ظرفیتی حاصل شده و مکانهایی را برای تشکیل کمپلکس‌های شیمیایی فراهم می‌کند. مطابق این مدل عمده اکسیدهای آهن با ظرفیت مخلوط در پوسته در پ هاش های خنثی نامحلول بوده و احتمالاً از اکسیداسیون سریع هسته که شامل ذرات آهن صفر ظرفیتی است ممانعت می‌نماید. آهن عنصری به آرامی به آهن فرس (دو ظرفیتی) اکسیده شده و ۲ الکترون از دست می‌دهد که این الکترون‌ها در واکنش‌هایی که منجر به دگرگونی و تبدیل آلاینده‌های مورد نظر

می‌شوند شرکت می‌کنند. این امر باعث می‌گردد آلاینده‌های سمی از طریق واکنش‌های احیاء به مخلوطی از ترکیبات غیرسمی تبدیل شوند. آهن عنصری می‌تواند توسط بسیاری از مواد موجود در طبیعت اکسید گردد که نتیجه آن تولید دو الکترون و تشکیل آهن فروس است (Koohiyan Afzal et al., 2017). در تحقیقی که بر روی انتقال نانوذرات آهن صفر ظرفیتی پایدار شده با سیلیس در محیط متخلخل انجام شد نتایج نشان داد که انتقال نانوذرات آهن صفر ظرفیتی بدون پوشش در محیط متخلخل بسیار ناچیز و نزدیک به صفر است. نتایج نهایی این مطالعه مشخص نمود که با افزایش کاتیون‌های دو ظرفیتی کلسیم و منیزیم میزان انتقال نانوذرات کاهش یافته و با افزایش مواد آلی خاک به دلیل کاهش مجتمع شدن نانوذرات، انتقال و تحرک نانوذرات آهن صفر ظرفیتی در خاک افزایش خواهد یافت. همچنین با افزایش قدرت یونی به دلیل کاهش ضخامت لایه دوگانه، پایداری کلوئیدی کاهش یافت (Yang et al., 2015). در یک مطالعه محققان دریافتند که نانوذرات آهن صفر ظرفیتی بدون پوشش ناپایدار بوده و به دلیل رسوب، اکسیداسیون و مجتمع شدن ذرات، قدرت انتقال پایینی دارند ولی نانوذرات آهن صفر ظرفیتی پایدار شده با پلی‌اکریلیک اسید قادرند به خوبی در محیط متخلخل اشباع حرکت کرده و انتقال یابند (Kanel et al., 2012). طی تحقیقی دانشمندان دریافتند که پایداری نانوذرات آهن صفر ظرفیتی سنتز شده با کربوکسی متیل سلولز می‌تواند انتقال آنها را در محیط متخلخل افزایش دهد. نتایج نشان داد که با افزایش قدرت یونی و غلظت نانوذرات آهن صفر ظرفیتی انتقال آنها در محیط متخلخل کاهش می‌یابد. همچنین نتایج آشکار نمود که نانوذرات آهن صفر ظرفیتی پایدار شده به دلیل اندازه کوچکتر ذرات که ناشی از عدم مجتمع شدن و رسوب ذرات است تحرک بالایی در محیط دارند (Raychoudhury et al., 2012). کوهیان افضل و همکاران (۲۰۱۷) طی یک مطالعه بر روی کارایی حذف کروم شش ظرفیتی از محلول‌های آبی توسط نانوذرات آهن صفر ظرفیتی پایدار شده با پلیمرهای مختلف نیز به این نتیجه رسیدند که با افزایش غلظت اولیه نانوذرات آهن صفر ظرفیتی سنتز شده و کاهش غلظت اولیه یون کروم شش ظرفیتی، راندمان احیای این یون افزایش یافت. آنها دریافتند که احیای یون کروم شش ظرفیتی وابسته به عواملی مانند پ‌هاش بهینه، زمان تعادل، غلظت اولیه کروم و غلظت اولیه نانوذرات آهن صفر ظرفیتی پایدار شده بوده به طوری که با افزایش قدرت احیایی نانوذرات، راندمان احیای کروم افزایش یافت. آنها به این نتیجه دست یافتند که نانوذرات آهن صفر ظرفیتی پایدار شده با پلیمرهای پلی‌وینیل پیرولیدون، پلی‌استایرن سولفونات، پلی‌اکریلامید و گوارگام در مدت زمان‌های متفاوت قادر به احیای کروم از محلول‌های آبی بوده و در این میان نانوذرات آهن صفر ظرفیتی پایدار شده با پلی‌اکریلامید و پس از آن گوارگام بیشترین کارایی را در احیای یون کروم شش ظرفیتی و حذف آن داشتند (Koohiyan Afzal et al., 2017). در مطالعه‌ای که بر روی احیاء و حذف کروم شش ظرفیتی از محلول‌های آبی انجام گرفت، نتایج نشان داد که استفاده از نانوذرات آهن صفر ظرفیتی پایدار شده با بنتونیت سبب حذف کروم شش ظرفیتی از محلول‌های آبی می‌گردد. در این تحقیق عواملی مانند پ‌هاش، غلظت اولیه کروم، غلظت اولیه نانوذرات آهن صفر ظرفیتی و زمان تماس مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان دادند که با افزایش غلظت اولیه نانوذرات آهن صفر ظرفیتی و کاهش غلظت اولیه کروم شش ظرفیتی، راندمان حذف کروم افزایش یافته و با کاهش پ‌هاش، به خصوص در پ‌هاش بهینه ۴/۵، غلظت بهینه ۰/۳ گرم در لیتر نانوذرات و غلظت اولیه ۵۰ میلی‌گرم در لیتر یون کروم شش ظرفیتی، راندمان احیای کروم شش ظرفیتی به کروم سه ظرفیتی ۹۹/۸۵ درصد بود (Arildii et al., 2018). وانگ و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی صورت گرفته در خصوص حذف نیترات از آب‌های زیرزمینی توسط نانوذرات آهن صفر ظرفیتی به این نتیجه رسیدند که کاربرد نانوذرات آهن صفر ظرفیتی اصلاح شده با گرافن قادر به احیای یون نیترات از محلول خواهد بود. آنها دریافتند که در پ‌هاش اسیدی (۲/۱۵) میزان احیای این یون صد درصد است (Wang et al., 2018).

۲- استفاده از نانوذرات آهن صفر ظرفیتی در پاکسازی آلاینده‌های محیطی

نتایج پژوهش‌ها نشان داده است واکنش‌پذیری بالاتر نانوذرات آهن صفر ظرفیتی ناشی از سطح ویژه بیشتر، چگالی بیشتر مکان‌های واکنش‌زا بر روی سطوح ذرات و واکنش‌پذیری ذاتی بالاتر مکان‌های سطحی واکنش‌زا می‌باشد. به طور کلی در طرح‌های نیمه صنعتی از این ذرات به دو طریق برای رفع آلودگی آب‌های زیرزمینی استفاده شده است:

- ۱- تزریق نانوذرات آهن صفر ظرفیتی به چاهک‌های حفر شده
 - ۲- بکارگیری دیواره‌ها یا فیلترهای نفوذپذیری که حاوی نانوذرات آهن صفر ظرفیتی می‌باشند
- در روش اول نانوذرات آهن صفر ظرفیتی را تحت فشار و از طریق چاهک‌های حفر شده و لوله‌های ایجاد دسترسی به سایت آلوده، به منابع آب تزریق می‌کنند. این عمل باعث می‌شود تا نانوذرات تحت فشار روی ذرات خاک موجود در سفره‌های آب زیرزمینی قرار گیرند و منطقه‌ای را تشکیل دهند که آلودگی‌های آب با عبور از این ناحیه و تماس با این نانوذرات از بین بروند. در روش دوم نانوذرات آهن صفر ظرفیتی را در دیواره‌های نفوذپذیری که در مسیر جریان آب قرار گرفته‌اند می‌ریزند. در این روش نیز مشابه روش قبلی آب آلوده با عبور از این دیواره نفوذپذیر تصفیه می‌شود. در فواصل زمانی مناسب (بسته به اندازه فیلتر و میزان آلودگی آب یا پساب) فیلتر را می‌توان تعویض کرد (Khalil et al, 2017).

۳- تکنیک‌های پایدارسازی نانوذرات آهن صفر ظرفیتی

به طور کلی می‌توان گفت که به منظور افزایش فعالیت نانوذرات آهن صفر ظرفیتی و بهبود خواص پالایشی این ذرات می‌بایست از هم‌آوری، رسوب در محلول، رسوب در سطح ذرات خاک و اکسیداسیون آن‌ها جلوگیری نمود. با استفاده از پوشش‌های پایدارساز و حمایتی می‌توان بارهای سطحی را افزایش داده و در راستای نیل به پایداری الکترواستاتیک، استریک و یا الکترواستریک سوسپانسیون‌های کلئیدی گام برداشت (Mukherjee et al., 2016). استفاده از پوشش‌های خاص می‌تواند تحرک و انتقال نانوذرات آهن صفر ظرفیتی را افزایش دهد. تحقیقات نشان داده است که ذراتی که با پوشش‌های پلی‌الکترولیتی مانند پلی‌اکریلیک اسید تیمار شده اند قادرند در مدت زمان بیش از ۸ ماه پس از تزریق در محیط متحرک باقی بمانند. پوشش سطوح نانوذرات آهن صفر ظرفیتی از طریق کاهش برهمکنش بین سطوح واکنش‌پذیر و شرایط ژئوشیمیایی محیط واکنش، عمل می‌کند (Nowack, Bucheli, 2010). موادی که به منظور اصلاح سطح نانوذرات آهن صفر ظرفیتی و پایدارسازی این ذرات مورد استفاده قرار می‌گیرند باید دارای خصوصیات زیر باشند (Fan et al., 2013):

۱. توانایی پوشش‌دار کردن سطح نانوذرات و جلوگیری از هم‌آوری و اتصال نانوذرات به ذرات خاک
۲. پوشش‌های استفاده شده باید نسبت به تغییرات رخ داده در خصوصیات هیدرولوژیکی و ژئوشیمیایی سفره‌های آب زیرزمینی حساسیت نداشته یا حساسیت آنها اندک باشد.
۳. موادی که جهت پوشش‌دار کردن و پایدارسازی نانوذرات آهن صفر ظرفیتی مورد استفاده است می‌بایست قابلیت تخریب زیستی بالایی داشته باشند.
۴. پوشش‌های مورد استفاده باید غیرسمی باشند.
۵. مواد پایدار کننده باید ارزان بوده و از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه باشند.
۶. قابلیت دسترسی به مواد پایدار کننده نانوذرات باید بالا باشد.

در بین روش‌های مختلفی که جهت پایدارسازی این ذرات وجود دارد می‌توان به موارد زیر اشاره نمود (Xue, Sethi, 2012):

- ۱- پایدارسازی نانوذرات آهن صفر ظرفیتی از طریق ایجاد تغییرات و اصلاح سطوح این ذرات با به کارگیری پلیمرها، پلی الکترولیت‌ها، بیوپلیمرها و سورفاکتانت‌ها به عنوان مواد پوشش دهنده و پایدارساز سطوح نانوذرات آهن صفر ظرفیتی
- ۲- امولسیون کردن نانوذرات آهن صفر ظرفیتی در امولسیون‌های آب- روغن در راستای جلوگیری از ایجاد واکنش در سطوح ذرات مربوطه و ایجاد پوشش‌های ممانعت کننده از اکسیداسیون و واکنش ذرات
- ۳- ترکیب نانوذرات آهن صفر ظرفیتی با مواد حمایت کننده از قبیل سیلیس، رس و ... به منظور کاهش فعل و انفعالات در سطوح ذرات نانو

از آنجایی که در مقیاس‌های وسیع و مزرعه‌ای به منظور حذف یا احیای آلاینده‌های مختلف می‌بایست از نانوذرات آهن صفر ظرفیتی پایدار شده استفاده نمود و همچنین به دلیل وجود عوارض یا اثرات نامطلوبی که از استفاده مواد پلیمری مختلف در محیط، بخصوص آبهای زیرزمینی حاصل می‌شود، استفاده از پوشش‌های پلیمری سبز و طبیعی در راستای پایدارسازی نانوذرات بسیار مورد توجه است. کوهیان افضل و همکاران در مطالعه ای به بررسی استفاده از پلیمرهای مختلف از جمله پلیمر طبیعی و سبز گوارگام به منظور اصلاح و پایدارسازی سطوح نانوذرات آهن صفر ظرفیتی پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که وجود این پلیمر نقش بسزایی در پایدارسازی نانوذرات آهن صفر ظرفیتی داشته و راندمان حذف کروم از محلول‌های آبی را تا ۹۰ درصد افزایش داد (Koohiyan Afzal et al., 2017). پوشش‌هایی که جهت پایدارسازی نانوذرات آهن صفر ظرفیتی به کار می‌روند می‌توانند از طریق الکترواستاتیک، استریک و یا الکترواستریک باعث پایداری نانوذرات گردند. در مطالعه ای دیگر که بر روی پایدارسازی نانوذرات آهن صفر ظرفیتی صورت گرفت نتایج نشان داد که ترکیب پلیمرهای سبز گوارگام و گزانتان گام توانست در پایدارسازی نانوذرات آهن صفر ظرفیتی نقش مهمی ایفاء نماید. در این مطالعه ترکیب دو پلیمر مذکور از طریق ایجاد ژل ویسکوالاستیک و افزایش ویسکوسیته استاتیک، توانست به خوبی نانوذرات آهن صفر ظرفیتی را پایدار نماید (Xue, Sethi, 2012). پایداری الکترواستاتیک ناشی از بارهای سطحی الکتریکی است که توسط لایه‌های دوگانه القاء می‌شود. هنگامی که دو ذره نانو به یکدیگر نزدیک می‌شوند نیروی دافعه‌ای بین آنها ایجاد شده که ناشی از همپوشانی لایه‌های دوگانه آنهاست. بر خلاف این امر پایدارسازی از طریق روش استریک به وسیله پلیمرهای جذب سطحی شده‌ای است که از نزدیک شدن ذرات به یکدیگر جلوگیری نموده و سبب کاهش همآوری نانوذرات آهن صفر ظرفیتی خواهد شد. مواد پایدار کننده با ایجاد نیروی دافعه استریک قوی در سطح نانوذرات سبب جلوگیری از مجتمع شدن ذرات می‌گردند. به این منظور می‌توان از پلی الکترولیت‌ها، سورفاکتانت‌ها و بیوپلیمرها در راستای جلوگیری از همآوری و اکسیداسیون نانوذرات استفاده نمود (Phenart et al., 2007).

۴- بیوپلیمرها

یکی از پرمصرف‌ترین و در عین حال موثرترین بیوپلیمرهای (پلیمرهای زیستی) موجود جهت پایدارسازی نانوذرات آهن صفر ظرفیتی، گوارگام و گزانتان گام است. گوارگام یک پلیمر طبیعی و محلول در آب از گروه پلی ساکاریدها می‌باشد که از واحدهای بتا- دی- مانوپیرانوز و آلفا- دی- گالاکتوپیرانوز تشکیل شده است. زیبایی عملکرد این پلیمرها در این است که خنثی، غیرسمی، آبدوست، پایداری بالا، مقرون به صرفه و زیست تخریب پذیر هستند. این پلیمرها فاقد مکان‌های قابل دسترس جهت برقراری کمپلکس با کاتیون‌های دو ظرفیتی رایج در آب‌های زیرزمینی بوده و این خود سبب جلوگیری از ایجاد پل‌های کمپلکسی و کمک به کاهش اندازه نانوذرات می‌گردد. گوارگام و گزانتان گام به دلیل دارا بودن ویسکوسیته استاتیک بالا باعث کاهش شدت رسوب نانوذرات آهن صفر ظرفیتی گردیده و نیز در زمان تزریق، فشار کمتری جهت پمپاژ نیازمندند. در ساختار گوارگام گروه‌های عاملی هیدروکسیل باعث تشکیل کمپلکس‌های پایدار با

یون‌های آهن دو ظرفیتی شده و سبب تولید نانوذرات با اندازه کوچک خواهد شد چرا که از رسوب و مجتمع شدن نانوذرات آهن صفر ظرفیتی جلوگیری می‌کند. در یک مطالعه پایداری نانوذرات آهن صفر ظرفیتی با پلیمر سبز و طبیعی گوارگام منجر به تشکیل نانوذرات آهن صفر ظرفیتی با اندازه ۱۷ نانومتر گردید که این خود نشان دهنده تاثیر زیاد این پلیمر در کاهش اندازه و افزایش تحرک و انتقال نانوذرات آهن صفر ظرفیتی در محیط و بدنبال آن افزایش کارایی این ذرات در حذف آلاینده کروم از محلول‌های آبی بود (Koochian Afzal et al., 2017). در مقایسه با کربوکسی متیل سلولز آنیونی و پلی وینیل پیرولیدون خنثی، گوارگام دارای بیشترین پایداری سوسپانسیونی نانوذرات آهن صفر ظرفیتی است. در یک تحقیق مقایسه‌ای بین پایداری نانوذرات آهن صفر ظرفیتی با پوشش پلی‌آسپاراتات، گوارگام و بدون پوشش در ستون شنی انجام شد و نتایج نشان داد که نانوذرات آهن صفر ظرفیتی با پوشش گوارگام نسبت به بقیه تحرک بالاتری در ستون شنی داشتند. نانوذرات آهن صفر ظرفیتی با پوشش گوارگام نسبت به قدرت یونی و ترکیبات یونی محیط رفتارهای خنثی از خود بروز داده و همین امر سبب شده این پلیمر جهت اصلاح و پایداری نانوذرات آهن صفر ظرفیتی و بهبود انتقال آنها در محیط و بدنبال آن افزایش کارایی حذف آلاینده‌های موجود در آب‌های زیرزمینی، پلیمری مناسب به شمار رود (Xue, Sethi, 2012, Fan et al., 2013).

۵- نتیجه‌گیری

به منظور دستیابی به راندمان بالاتر در پالایش آب و خاک از آلاینده‌های مختلف موارد زیر در خصوص خصوصیات سایت آلوده باید مد نظر قرار گیرد:

۱. وضعیت آلودگی در ناحیه‌ای که باید مورد پالایش قرار گیرد می‌بایست مورد ارزیابی قرار گرفته بطوری که گسترش آلودگی خاک در سطوح افقی و عمودی و تعیین بخش‌هایی از خاک که باید مورد تزریق قرار گیرند از اهمیت بالایی برخوردار است.
۲. وجود یا عدم وجود ترکیبات خاص در سایت مورد نظر اهمیت بالایی داشته به طوری که از این طریق می‌توان به مقدار مورد نیاز نانوذرات آهن صفر ظرفیتی جهت تزریق دست یافت.
۳. قبل از تزریق نانوذرات آهن صفر ظرفیتی ژئوشیمی محل آلوده باید تعیین شده و با محاسبه پتانسیل ردکس و پهاش ارزیابی خوبی از نقطه صفر حاصل شده و فرآیند تزریق تحت کنترل قرار گیرد.
۴. تعیین میزان پذیرنده‌های الکترون موجود (اکسید کننده‌ها) مانند میزان اکسیژن، نیترات، سولفات، آهن فرس و آهن کل در اعماق مختلف خاک امری حیاتی است چرا که از این طریق می‌توان به مقدار مورد نیاز نانوذرات آهن صفر ظرفیتی جهت پالایش آب‌های زیرزمینی دست یافت (Xue, Sethi, 2012, Fan et al., 2013).
۵. محاسبه میزان دهنده‌های الکترون (احیاء کننده‌ها) از قبیل مواد آلی خاک، کربن آلی کل و کربن آلی محلول در راستای تعیین غلظت مورد نیاز نانوذرات مورد نیاز است. مطالعات ژئوهیدرولوژیکی نیز از جمله مواردی است که می‌تواند با تعیین جزئیات ساختمان خاک تخمین مناسبی از توزیع و شعاع تاثیر تزریقات نانوذرات مربوطه فراهم آورد. سرعت جریان آب‌های زیرزمینی و جهت جریان می‌تواند برآورد مناسبی از محدوده تاثیر و طراحی تزریق در طول زمان تزریق نانوذرات فراهم آورد (Rodrigues et al., 2016).

از محدودیت‌های به کارگیری نانوذرات آهن صفر ظرفیتی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود (Bhaskar reddy et al., 2015):

۱. طول عمر کوتاه نانوذرات آهن صفر ظرفیتی

این ذرات دارای سطح ویژه بالایی بوده بنابراین واکنش پذیری آنها نسبت به مواد گرانوله فلزی بیش از سه برابر بوده لذا می‌توانند با آلاینده‌های مختلف آب و خاک واکنش دهند. بر اساس تحقیقات انجام شده ذرات آهن صفر ظرفیتی گرانوله با اندازه ۱ میلیمتر با شدت مصرف ۰/۲ تا ۰/۶ میلی‌مول در کیلوگرم آهن صفر ظرفیتی در روز، دارای طول عمر ۱۳۰ سال بوده در حالی که نانوذرات آهن صفر ظرفیتی با اندازه ۱۰۰ نانومتر و شدت مصرف ۰/۴ میلی‌مول در کیلوگرم آهن صفر در روز طول عمر ۰/۸ سال داشته ولی واکنش پذیری آنها ۱۵۰ برابر خواهد بود.

۲. تمایل بسیار نانوذرات آهن صفر ظرفیتی به هم‌آوری، رسوب و جذب بر سطوح ذرات خاک سبب کاهش پراکندگی آنها در خاک زیرسطحی شده و این امر باعث کاهش واکنش‌پذیری ذرات خواهد شد. بنابراین در هنگام تزریق نانوذرات آهن صفر ظرفیتی باید تا حد امکان تحرک و انتقال آنها را در مدت زمان تزریق افزایش داده که این امر کار دشواری است یکی از روشهای کاربردی در این خصوص استفاده از پوشش‌های پلیمری سبز و زیست تخریب پذیر مانند گوارگام و گزانتان‌گام است که می‌تواند علاوه بر افزایش تحرک و انتقال نانوذرات در محیط، از آلودگی‌های آتی آب و خاک در اثر مصرف غلظت‌های بالای این مواد جلوگیری کند.

۳. پراکنش همگن و یکنواخت نانوذرات آهن صفر ظرفیتی در سطوح سفره‌های آب زیرزمینی

۴. هزینه بکارگیری این ذرات بالا بوده به طوری که جهت حذف ۱۰ کیلوگرم از آلاینده ۱۰۰ کیلوگرم نانوذرات آهن صفر ظرفیتی مورد نیاز است اما در مطالعات انجام شده نتایج نشان داد که با ترکیب پلیمر سبز گوارگام با مقادیر اندک گزانتان‌گام می‌توان میزان غلظت بهینه مصرفی این نانوذرات را کاهش داد (Xue, Sethi, 2012, Fan et al., 2013).

مراجع

Arildii, D., Davaasambuu, S. and Batchuluun, S., (2018), Equilibrium and kinetic study on hexavalent chromium sorption on bentonite supported zerovalent iron. Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 53(2), 218- 231.

Bhaskar reddy, A. V., Jaafar, J., Abdul Majid, Z., Aris, A., Umar, K., Talib, J. and Madhavi, G., (2015), Relative Efficiency Comparison of Carboxymethyl Cellulose(CMC) Stabilized Fe⁰ and Fe⁰/Ag Nanoparticles for Rapid Degradation of CHLORPYRIFOS in Aqueous Solutions. Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures, 10(2), 331 - 340.

Fan, G., Cang, L., Qin, W., Zhou, C., Gomes, H. and Zhou, D., (2013), Surfactants-enhanced electrokinetic transport of xanthan gum stabilized nanoPd/Fe for the remediation of PCBs contaminated soils. Separation and Purification Technology, 114, 64-72.

Guo, J., Guo, P., Yu, M., Sun, Z., Li, P., Yang, T., Liu, J. and Zhang, L., (2018), Chemical reduction of nitrate using nanoscale bimetallic iron/copper particles. polish journal of environmental studies, 27(5), 2023- 2028.

Kanel, S. R., Nepal, D., Manning, B., and Choi, H., (2007), Transport of surface-modified iron nanoparticle in porous media and application to arsenic(III) remediation. Nanoparticle Research, 9, 725-735.

Khalil, A., Eljamal, O., Eljamal, R., Sugihara, Y. and Matsunaga, N., (2017), Treatment and Regeneration of Nano-scale Zero-valent Iron Spent in Water Remediation. EVERGREEN Joint Journal of Novel Carbon Resource Sciences and Green Asia Strategy, 04(01), 21-28.

Koohiyan Afzal, M. T., Farrokhan Firouzi, A. and Taghavi, M., (2017), Synthesis of Bare and Four Different Polymer- Stabilized Zero-Valent Iron Nanoparticles and Their Efficiency on Hexavalent Chromium Removal from Aqueous Solutions. Journal of Water and Environmental Nanotechnology, 2(4), 278-289.

Mukherjee, R., Kumar, R., Sinha, A., Lama, Y. and Krishna Saha, A., (2016), A review on synthesis, characterization, and applications of nano zero valent iron (nZVI) for environmental remediation. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 46(5), 443-466.

Nowack, B., Bucheli, T. D., (2007), Occurrence, behavior and effects of nanoparticles in the environment. Environmental Pollution 150(1), 5-22.

Phenrat, T., Saleh, N., Sirk, K., Kim, H-J., Tilton, R. D and Lowry, G. V., (2007), Stabilization of aqueous zerovalent iron dispersions by anionic polyelectrolytes: adsorbed anionic polyelectrolyte layer properties and their effect on aggregation and sedimentation. Nanoparticle Research, 10, 795-814.

Ratnayake, S.Y, Ratnayake, A. K, Schild, D., Maczka, E., Luetzenkirchen, J., Kosmulski, M. and Weerasooriya, R., (2017), Chemical reduction of nitrate by zerovalent iron nanoparticles adsorbed radiation-grafted copolymer matrix. J NUKLEONIKA, 62(4), 269-275.

Raychoudhury, T., Naja, G., and Ghoshal, S., (2010), Assessment of transport of two polyelectrolyte-stabilized zero- valent iron nanoparticles in porous media. Journal of Contaminant Hydrology, 118(3-4), 143-151.

Rodrigues Gonçalves, J., (2016), The Soil and Groundwater Remediation with ZeroValent Iron Nanoparticles. Procedia Engineering, 143, 1268-1275.

Wang, Y., Yang, S. and Li, B., (2018), Research on nitrate removal from simulated groundwater by iron nanoparticle-loaded grapheme. Desalination and Water Treatment, 104, 189–200.

Xue, D. and Sethi, R., (2012), Viscoelastic gels of guar and xanthan gum mixtures provide long-term stabilization of iron micro- and nanoparticles. Nanoparticle Research, 14, 1239.

Yang, G.C.C., Tu, H. C., and Hung, C. H., (2007), Stability of nanoiron slurries and their transport in the subsurface environment. Separation and Purification Technology, 58(1), 166–172.

The efficiency of zerovalent iron nanoparticles for pollutant removal from aqueous solutions

Mohammad Taghi Kouhiyan Afzal¹, Ahmad Farrokhian Firouzi^{2,*}, Mehdi Taghavi³

1- Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran, email: mkoohiyanafzal@gmail.com

2- Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran, email: farrokhian@gmail.com

3- Polymer Chemistry Research Laboratory, Faculty of Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran email: m.taghavi@scu.ac.ir

ABSTRACT

Zerovalent iron nanoparticles have special properties comprising of high surface area, special adsorption sites for different pollutants and high reactivity cause these particles with sizes of less than 100 nm to be so efficient. Zerovalent iron nanoparticles (ZVIN) due to van der Waals and ferromagnetic forces between particles are so prone to aggregating and sedimenting. This will cause the efficiency of ZVIN for pollutants removal to decrease. Upon mentioned cases using polymer coatings for ZVIN stabilization and prevention from aggregation and sedimentation is so vital. Biopolymers such as Guar gum and xanthan gum due to natural, neutral, non-toxic, hydrophilic, high stability, cost-effective and biodegradable properties of them are so effective for pollutant removal from water and soil.

Key words: ZVIN, polymer, pollutant, removal