



سال دوم، شماره ۵
زمستان ۱۳۸۹، صفحات ۲۲-۱۷

دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی کاربرد شیمی در محیط زیست

کاربرد نانوذرات $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ، Fe_3O_4 و $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ در حذف یون‌های فلزات سنگین از آب آلوده

بابک محمدی اقدم

گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، اهر-ایران

مهدی احمدی سابق

گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، اهر-ایران

m-ahmadi@iau-ahar.ac.ir

ذکیر غریبی

گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، اهر-ایران

چکیده

یکی از اصلی‌ترین مشکلات آب‌های سطحی و زیر زمینی وارد شدن فلزات سنگین با غلظت‌های خطرناک به این منابع با ارزش می‌باشد. روش‌های تصفیه مختلفی برای حذف این نوع آلاینده‌ها مورد استفاده قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان به روش جذب سطحی اشاره نمود. در روش جذب سطحی ماده جاذب به دلیل داشتن مساحت سطح و حجم تخلخل زیاد قادر است آلاینده‌ها را به داخل حفرات خود جذب و از آب جدا نماید. نانو ذرات آهن نیز به دلیل داشتن مساحت سطح و حجم تخلخل قابل توجه توانایی جذب سطحی آلاینده‌ها از محیط آبی را دارا می‌باشند. در این مطالعه قابلیت نانو ذرات $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ و $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ، Fe_3O_4 در جذب سطحی یون‌های فلزات سنگین مانند Ni^{2+} ، Cd^{2+} ، Cu^{2+} ، Cr^{6+} مطالعه و مقایسه شده است.

کلید واژه‌ها: نانو ذرات، تصفیه، فلزات سنگین.

مقدمه

با توجه به اثرات سمی فلزات سنگین بر روی انسان‌ها و سایر موجودات زنده، آلودگی منابع سطحی و زیر زمینی آب به این مواد یک نگرانی بزرگ به شمار می‌رود. یافتن روشی موثر برای حذف این گونه آلاینده‌ها از آب یا پساب‌های صنعتی آلوده شده بسیار مهم است. روش‌های مختلفی برای تصفیه آب‌های آلوده شده به فلزات سنگین مورد استفاده قرار گرفته اند که از آن جمله می‌توان به ترسیب شیمیایی، تعویض یونی، اسمز معکوس و جذب سطحی اشاره نمود [۱]. از میان این روش‌ها، جذب سطحی به دلیل ساده بودن، قابلیت حذف انواع آلاینده‌های شیمیایی و تولید نکردن محصولات جانبی خطرناک می‌تواند بعنوان یک روش مؤثر و کارا برای حذف این نوع آلاینده‌ها مورد استفاده قرار بگیرد [۲]. جذب سطحی عبارتست از یک فرآیند فیزیکی یا فیزیکوشیمیایی که در آن یک ماده در سطح یا فصل مشترک دو فاز، تغلیظ و جمع می‌شود. مواد متعدد طبیعی و سنتزی که قابلیت جذب سطحی زیادی دارند تاکنون شناسایی شده و برای تصفیه آب‌های آلوده مورد استفاده قرار گرفته است و بررسی‌های متعددی نیز جهت سنتز و استفاده از جاذبه‌های جدید در حال انجام می‌باشد.

نانو ذرات اکسید آهن با توجه به داشتن مساحت سطح و حجم تخلخل زیاد و امکان جداسازی آسان آنها از محیط با استفاده از میدان مغناطیسی خارجی قابلیت استفاده به عنوان جاذب در فرآیند تصفیه آب با روش جذب سطحی را دارا می‌باشند و لذا بررسی‌های متعددی بر روی حذف انواع آلاینده‌های آلی و معدنی با این جاذبه‌ها انجام شده است. اکسیدهای آهن در طبیعت به شکل‌های مختلفی یافت می‌شوند که هماتیت (α - Fe_2O_3)، مگنتیت (Fe_3O_4) و ماگماییت (γ - Fe_2O_3) متداول‌ترین گونه‌های طبیعی موجود می‌باشند. در این مطالعه قابلیت نانو ذرات α - Fe_2O_3 ، Fe_3O_4 و γ - Fe_2O_3 در حذف یون‌های فلزات سنگین محلول از آب بررسی و مقایسه شده است.

نانو ذرات Fe_3O_4

Fe_3O_4 (مگنتیت) قوی‌ترین گونه مغناطیسی در میان اکسیدهای فلزات واسطه می‌باشد. این اکسید آهن با نام‌های دیگری مانند اکسید آهن سیاه، سنگ معدن آهن مغناطیسی یا فرس فریت شناخته می‌شود. در مگنتیت یون‌های اکسیژن با آرایش مکعبی، یون‌های Fe(III) به صورت راندوم بین محل‌های اکتاهدرال و تتراهدرال و یون‌های Fe(II) در محل‌های اکتاهدرال قرار گرفته اند [۳]. مطالعات زیادی بر روی قابلیت مگنتیت در ابعاد نانو یا بزرگ‌تر در جذب سطحی آلاینده‌های مختلف انجام شده که چند نمونه از کاربردهای نانو ذرات Fe_3O_4 در حذف یون‌های فلزات سنگین در این مقاله معرفی شده است.

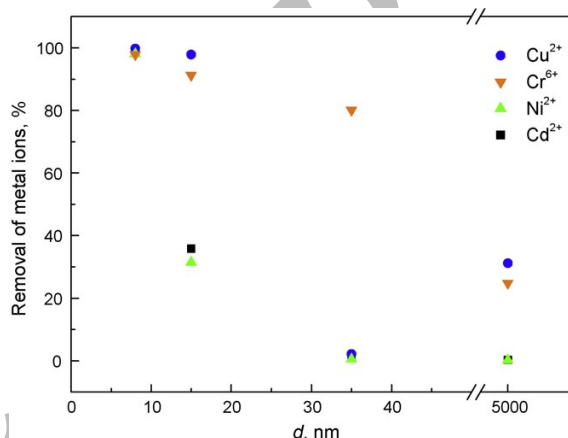
شن و همکارانش در سال ۲۰۰۹ نانو ذرات Fe_3O_4 را با ابعاد ۸، ۱۲ و ۳۵ نانومتر سنتز کردند که مساحت سطح آنها به ترتیب برابر ۴۶، ۱۱۰ و $190 \text{ m}^2/\text{g}$ بود [۱]. آنها از این نانو ذرات برای حذف فلزات سنگین نیکل (II)، کادمیوم (II)، مس (II) و کروم (VI) از پساب آلوده شده به این فلزات استفاده کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که عواملی مانند ابعاد نانو ذرات، مقدار نانو ذرات، pH، دما و زمان تماس بین نانو ذرات و پساب در فرآیند حذف آلاینده‌ها موثر می‌باشند. بر اساس نتایج بدست آمده از این کار پژوهشی با کاهش ابعاد نانو ذرات اکسید آهن قابلیت جذب سطحی آن افزایش پیدا می‌کند که دلیل این امر افزایش مساحت سطح جاذب به ازای واحد وزن آن و فراهم شدن سطح فعال بیشتری برای جذب این آلاینده می‌باشد (شکل ۱). با افزایش مقدار نانو ذرات نیز مقدار آلاینده حذف شده افزایش پیدا کرد که بدلیل بیشتر شدن سایت‌های جذب سطحی برای جذب آن می‌باشد. افزایش pH محلول تاثیر افزایشی در جذب سطحی نیکل (II) و کادمیوم (II) و تاثیر کاهنده‌ای در جذب کروم (VI) نشان داد. دلیل این امر تغییر بار سطحی نانو ذره با تغییر pH محلول می‌باشد. در pH‌های پایین یون‌های H^+ جذب سطح نانو ذره می‌شوند و بار سطحی آن را مثبت می‌کنند که به تبع آن جذب سطحی آلاینده‌های با بار

ویژه نانوذرات نیز که با استفاده از آزمایش‌های جذب سطحی- واجذب نیتروژن اندازه گیری شده بود، بر اساس مدل ایزوترم جذب سطحی BET تقریباً $97/7 \text{ m}^2/\text{g}$ محاسبه گردید. بر اساس نتایج بدست آمده از آزمایش‌های جذب سطحی بیشترین ظرفیت نانوذرات برای گرفتن پالادیم (II)، رودیم (III) و پلاتینیوم (IV) از محلول به ترتیب برابر $0/103$ ، $0/149$ و $0/068 \text{ mmol/g}$ می‌باشد [۴].

هو و همکارانش در سال ۲۰۰۴ نانوذرات Fe_3O_4 به ابعاد حدود 10 nm با استفاده از روش هم‌رسوبی تهیه کردند و از آن برای حذف کروم (VI) از پساب آلوده شده به آن استفاده کردند [۵]. بررسی انجام شده نشان داد که جذب سطحی کروم (VI) با نانوذرات Fe_3O_4 از مدل فروندلیچ تبعیت می‌کند و همچنین وابسته به دما و pH محیط می‌باشد [۵].

در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۱ انجام شد وانگ و همکارانش از نانوذرات Fe_3O_4 با ابعاد 10 nm و مساحت سطح حدود $115/3 \text{ m}^2/\text{g}$ برای حذف مس (II) از محلول آبی استفاده نمودند [۶]. نتایج بررسی‌های سینتیکی و مکانیسم جذب سطحی نشان داد که جذب سطحی مس (II) بر روی نانوذرات Fe_3O_4 از مدل سینتیکی شبه درجه دوم ($R^2 = 0/9876$) و درجه جزئی ($R^2 = 0/9882$) تبعیت کرده و بیشتر جذب سطحی از طریق ایجاد کمپلکس انجام شده است [۶]. بررسی تاثیر نیروی یونی محیط بر روی جذب سطحی نشان داد که با افزایش غلظت الکترولیت راندمان حذف افزایش پیدا می‌کند (شکل ۲). برای نمونه با افزایش غلظت NaCl از $0/001$ به $0/1 \text{ mol/L}$ راندمان حذف با غلظت اولیه یکسان از $20/86$ به $27/73$ می‌رسد که دلیل آن می‌تواند ایجاد کمپلکس در محیط باشد. نتایج مطالعات ایزوترمی جذب سطحی نیز حاکی از تبعیت داده‌های تجربی با مدل‌های ایزوترمی لانگمیر ($R^2 = 0/9944$) و فروندلیچ ($R^2 = 0/9938$) است. بر اساس مدل لانگمیر بیشترین ظرفیت نانوذرات برای جذب سطحی مس (II) برابر $0/1354 \text{ mmol/g}$ است.

منفی مانند کروم (VI)، که در محیط بصورت گونه $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ وجود دارند، بر روی نانوذره بهتر انجام می‌گیرد. با افزایش pH مقدار OH^- جذب شده در سطح نانو ذره افزایش پیدا می‌کند و لذا جذب سطحی ترکیبات با بار سطحی مثبت مانند نیکل (II) و کادمیوم (II) بیشتر می‌شود. با افزایش دمای محلول و زمان تماس بین جاذب و جذب شونده نیز مقدار آلاینده جذب شده افزایش پیدا کرد. ظرفیت جذب سطحی نانو ذرات Fe_3O_4 حدود $35/46 \text{ mg/g}$ بود که تقریباً ۷ بار بیشتر از ظرفیت جذب سطحی ذرات در ابعاد درشت می‌باشد [۱].



شکل ۱: تاثیر اندازه نانوذرات Fe_3O_4 در سرعت جذب

سطحی یونهای

فلزات سنگین (برگرفته شده از انتشارات Elsevier با شماره

لیسانس ۲۶۶۴۶۷۰۲۲۸۹۵۷).

در بررسی دیگری که توسط یوهیدا و همکارانش در سال ۲۰۰۶ انجام شد نانوذرات Fe_3O_4 با روش هم‌رسوبی و با استفاده از نمک‌های کلرید آهن (II) و آهن (III) در محیط قلیایی تهیه شدند و از آنها برای حذف پالادیم (II)، رودیم (III) و پلاتینیوم (IV) از محلول‌های رقیق شده اسید هیدروکلریک استفاده گردید [۴]. اشکال بدست آمده از میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) از نانوذرات تهیه شده نشان داد که این نانوذرات در ابعاد حدود 10 nm قرار دارند. مساحت سطح

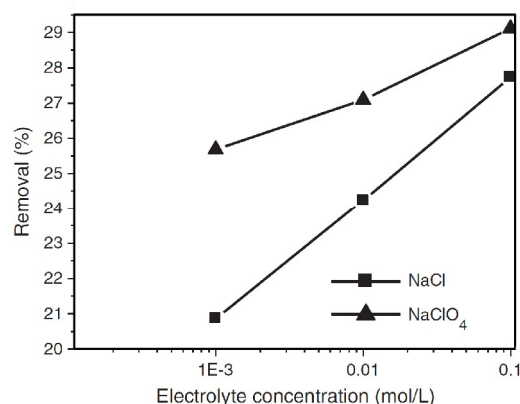
سطحی از مدل شبه درجه دو می‌باشد. مطالعات ایزوترمی نیز نشان می‌دهند که مدل لانگمویر بهتر از مدل فروندلیچ توانسته جذب سطحی تعادلی را مدل نماید. بر اساس مدل لانگمویر جذب سطحی مس (II) بر روی نانو ذرات $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ تک لایه بوده و بیشینه ظرفیت جذب سطحی نیز $149/25 \text{ mg/g}$ می‌باشد [۷].

در سال ۲۰۰۶ ها و همکارانش از $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ در ابعاد نانو و میکرو برای جذب سطحی و ترسیب روی (II) محلول استفاده نمودند [۸]. نانو ذرات $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ مورد استفاده ابعاد حدود $10/5 \pm 1/6 \text{ nm}$ و مساحت سطح $218 \pm 1/3 \text{ m}^2/\text{g}$ و میکروذرات $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ نیز ابعاد حدود $800 \pm 3 \text{ nm}$ و مساحت سطح $18 \pm 0/8 \text{ m}^2/\text{g}$ داشتند. در این مطالعه جذب روی (II) بر روی نانو و میکروذرات $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ در محدوده گسترده‌ای از غلظت روی (II) بررسی شده است. نتایج بدست آمده نشان داد که در غلظت‌های اولیه پایین روی (II)، بیشتر جذب این آلاینده بر روی نانو ذرات با مکانیسم ایجاد کمپلکس بوده و با زیاد شدن غلظت اولیه آن ایجاد ترسیب سطحی نیز بر روی نانو ذرات مشاهده گردید. نتایج آزمایش‌های جذب روی (II) بر روی میکروذرات $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ هیچ نشانه‌ای از ترسیب سطحی حتی در غلظت‌های زیاد این آلاینده نشان نداد. این نتایج نشان می‌دهد که فعالیت نانو ذرات و میکروذرات $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ نسبت به جذب روی (II) متفاوت است که به احتمال زیاد بدلیل تاثیر درجه بلورینگی ذرات $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ با اندازه‌های مختلف می‌باشد [۸].

نانو ذرات $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$

$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (ماگنیت) در نتیجه فرسایش مگنتیت در اثر هوا یا در نتیجه حرارت دهی سایر گونه‌های اکسید آهن تولید می‌شود. $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ساختار مشابه Fe_3O_4 دارد ولی در شبکه کاتیونی آن در برخی محل‌ها خالی مانده است [۳].

افخمی و همکارانش در سال ۲۰۰۹ نانو ذرات $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ را از پیش ماده FeCl_3 و با روش هم‌رسوبی کاهشی و به دنبال آن



شکل ۲: تاثیر غلظت الکترولیتها در حذف مس (II): g/L

Fe_3O_4 ، pH ۱۰، $5/0$ ، زمان همزدن ۴ h، دمای همزدن 25°C و $3/90 \text{ mmol/L}$ Cu (II)

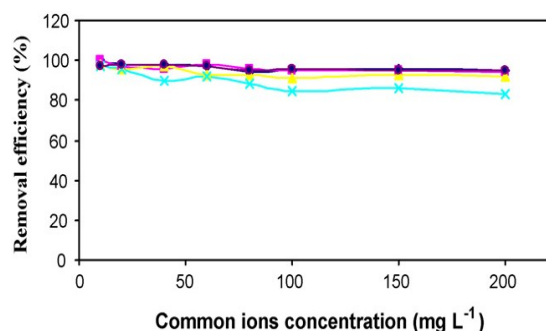
(بر گرفته شده از انتشارات Elsevier با شماره لیسانس

۲۶۶۴۶۶۰۷۵۵۱۱۷).

نانو ذرات $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$

$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (هماتیت) اولین اکسید آهن معدنی شناخته شده است که به صورت گسترده در سنگ‌ها و خاک‌ها یافت می‌شود. رنگ آن قرمز خونی می‌باشد ولی اگر بسیار ریز شود به صورت کریستال‌هایی به رنگ مشکی یا خاکستری دیده می‌شود. هماتیت در شرایط محیطی بسیار پایدار بوده و به عنوان محصول نهایی دگرگونی سایر گونه‌های اکسید آهن شناخته می‌شود. در ساختار کریستالی هماتیت یون‌های اکسیژن در آرایش هگزاگونال و یون‌های آهن (III) بصورت اوکتاهدال قرار گرفته‌اند [۳]. چند نمونه از کاربردهای نانو ذرات $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ در حذف یون‌های فلزات سنگین در این مقاله معرفی شده است.

چن و لی در سال ۲۰۱۰ نانو ذرات را با استفاده از $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ در محیط قلیایی سنتز کردند و از آن برای حذف مس (II) از محلول آبی استفاده نمودند [۷]. اندازه کریستال‌های نانو ذره سنتز شده حدود 75 nm و مساحت سطح آن $24/82 \text{ m}^2/\text{g}$ بود و راندمان جذب سطحی قابل قبولی را در مورد مس (II) از خود نشان داد. نتایج بررسی‌های سینتیکی حاکی از تبعیت جذب



شکل ۳: تاثیر یونهای دیگر: سدیم کلرید (◆)، پتاسیم نترات (■)، پتاسیم کرومات (▼)، سدیم سولفات (×) و Ni(II) ، Hg(II) ، Cd(II) ، Sb(II) ، Cu(II) بر روی حذف نسبی Mo(VI) : $1/0 \text{ g}$ ، $\text{pH } 5/0$ ، زمان همزدن 15 min و 100 mg/L (برگرفته شده از انتشارات Elsevier با شماره لیسانس ۰۸۶۴۹۰۷۶۴۲۰۲۶۶۴).

بررسی قابلیت نانوذرات $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ و Fe_3O_4 در حذف کبالت (II) از محلول آبی توسط یوهیدا و همکارانش در سال ۲۰۰۶ انجام شده است [۱۰]. در این مطالعه هر دو نانوذره اکسید آهن با استفاده از پیش ماده‌های کلریدهای آهن (II) و (III) تهیه شد. اکسیدهای آهن تهیه شده در ابعاد حدود 10 nm قرار داشتند و مساحت سطح آنها $97/7 \text{ m}^2/\text{g}$ بود که برای حذف کبالت (II) از محیط اسید نیتریک مورد استفاده قرار گرفتند. سرعت جذب سطحی بسیار خوب بوده و در مدت 5 min به تعادل رسید. بیشترین ظرفیت جذب سطحی نانوذرات $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ و Fe_3O_4 برای کبالت (II) به ترتیب برابر $0/29$ و $0/19 \text{ mmol/g}$ بود که در مقایسه با Al_2O_3 ($0/03 \text{ mmol/g}$) یا $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ($0/062 \text{ mmol/g}$) یا MnO_2 ($0/128 \text{ mmol/g}$) مقدار قابل توجهی می‌باشد [۱۰]. هو و همکارانش در سال ۲۰۰۵ نانوذرات را از طریق روش سول-ژل و با استفاده از پیش ماده کلریدهای آهن (II) و (III) تهیه کردند و از نانوذرات تهیه شده برای حذف کروم (VI) از پساب مورد استفاده قرار دادند [۱۱]. در این مطالعه جذب سطحی در مدت زمان 15 min به تعادل رسید که مستقل از

اکسیداسیون تحت هوا تهیه کردند [۹]. بیشتر نانوذرات تهیه شده در ابعاد 50 nm بودند. در این مطالعه از قابلیت جذب سطحی خوب $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ و همچنین سادگی جداسازی این نانوذره از محلول با استفاده از میدان مغناطیسی خارجی استفاده شده است تا مولیبدن (VI) را از آب یا پساب آلوده به آن خارج نمایند. در این مطالعه تاثیر عواملی مانند زمان، pH ، دما، غلظت اولیه آلاینده و حضور یونهای دیگر در محلول بر روی جذب سطحی مولیبدن (VI) بر روی $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ بررسی شد. جذب سطحی در زمان کمتر از 10 دقیقه به تعادل رسید و مستقل از غلظت اولیه مولیبدن (VI) بود [۹]. با افزایش pH محلول تا 4 جذب سطحی افزایش پیدا کرد و تا حدود 6 در مقدار بیشینه خود قرار داشت ولی با افزایش بیشتر pH مقدار آلاینده جذب شده کاهش یافت. پایین بودن جذب در pH های پایین می‌تواند به دلیل تبدیل MoO_4^{2-} به سایر گونه‌ها مانند H_2MoO_4 ، HMoO_4^- یا حل شدن نانوذرات $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ در محلول باشد. در pH بالاتر از 6 نیز چون بار سطحی نانوذره منفی می‌شود لذا برای جذب سطحی گونه MoO_4^{2-} مناسب نمی‌باشد. با افزایش دما از 24°C ، افزایش جزئی در مقدار مولیبدن (VI) مشاهده شد که احتمالاً بدلیل تغییر در ثابت‌های نفوذ در مرحله انتقال مولیبدن (VI) در داخل حفرات نانوذره $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ می‌باشد. بررسی تاثیر حضور یونهای Na^+ ، K^+ ، Ni^{2+} ، Cu^{2+} ، Sb^{3+} ، Cd^{2+} ، Hg^{2+} ، NO_3^- ، Cl^- ، SO_4^{2-} و CrO_4^{2-} نشان داد (شکل ۳) که از میان یونهای بررسی شده یونهای SO_4^{2-} و CrO_4^{2-} تاثیر قابل مشاهده‌ای بر روی مقدار حذف شده نشان دادند ولی تاثیر بقیه یونها بسیار جزئی و قابل چشم پوشی بود. فرایند جذب سطحی از مدل ایزوترمی لانگمویر تبعیت کرده و بیشینه ظرفیت جذب سطحی $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ برای حذف مولیبدن (VI) بر اساس این مدل برابر با $33/4 \text{ mg Mo(VI)/g}$ بود.

۲- pH: با توجه به تغییر بار سطح نانوذرات در محیط‌های اسیدی و قلیایی بدلیل جذب H^+ یا OH^- در سطح آنها، تمایل این جاذبها بر جذب سطحی ترکیبات یونی تغییر می‌کند. همچنین pH بر روی ماده جذب شونده و تغییر بار آن نیز تاثیر می‌گذارد.

۳- مقدار نانوذرات: با افزایش مقدار نانوذرات، سایت‌های فعال برای جذب سطحی نیز افزایش پیدا می‌کند و لذا جذب سطحی بیشتر انجام می‌گیرد.

۴- دمای محلول: افزایش دما با مکانیسم‌های مختلف مانند کم کردن مقاومت نفوذ به داخل حفره‌های نانو ذرات یا تسریع واکنش بین جاذب و ماده جذب شونده سرعت جذب سطحی را افزایش می‌دهد.

۵- زمان تماس بین اکسید آهن و یون فلز سنگین: با زیاد شدن زمان تماس فرصت بیشتری برا نفوذ ماده جذب شونده به داخل حفرات ایجاد شده و راندمان جذب سطحی بیشتر می‌شود.

۶- گونه‌های یونی دیگر: وجود یون‌های دیگر نیز با توجه به تاثیراتی که می‌توانند بر روی جاذب و جذب شونده داشته باشند تاثیرات متفاوتی بر روی جذب سطحی دارند.

غلظت اولیه آلاینده بود. نتایج بررسی‌های ایزوترمی حاکی از تطابق جذب سطحی با مدل ایزوترمی فروندلیچ داشت. همچنین حضور یون‌هایی مانند Na^+ ، Ca^{2+} ، Mg^{2+} ، Cu^{2+} ، Ni^{2+} ، NO_3^- و Cl^- تاثیر چندانی در جذب سطحی کروم (VI) نداشت که نشان دهنده جذب سطحی انتخابی این یون بر روی نانوذرات $\gamma-Fe_2O_3$ استفاده شده می‌باشد. توانایی جذب سطحی نانوذرات $\gamma-Fe_2O_3$ حتی پس از ۶ بار تکرار فرایند جذب و واجدبی کروم (VI) کاهش قابل مشاهده ای را نشان نداد [۱۱].

بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله مروری سعی شد تا کاربرد نانوذرات $\alpha-Fe_3O_4$ ، Fe_2O_3 و $\gamma-Fe_2O_3$ در حذف یون‌های فلزات سنگین از آب آلوده و تاثیر عوامل مختلف جمع‌آوری و مقایسه شود. بر اساس نتایج بدست آمده مهم‌ترین عواملی که بر روی جذب یون‌های فلزات سنگین بر روی نانوذرات آهن موثر هستند عبارتند از: ۱- اندازه نانوذرات: با کوچک‌تر شده ابعاد نانوذرات مساحت سطح آنها افزایش یافته و سطح بیشتری برای شرکت در فرایند جذب سطحی فراهم می‌شود. علاوه بر این با کوچک‌تر شدن ابعاد ذرات ممکن است ساختار کریستالی آنها نیز تغییر کرده و این تغییر بر روی واکنش پذیری آنها تاثیر می‌گذارد.

منابع

7. Chen, Y.-H. and F.-A. Li, Kinetic study on removal of copper(II) using goethite and hematite nano-photocatalysts. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2010. 347(2): p. 277-281.
8. Ha, J., F. Farcoes, and G.E. Brown, Jr., Adsorption and Precipitation of Aqueous Zn(II) on Hematite Nano- and Microparticles. Contributed to 13th International Conference On X-Ray Absorption Fine Structure (XAFS13), July 9-14, 2006, Stanford, California, 2006.
9. Afkhami, A. and R. Norooz-Asl, Removal, preconcentration and determination of Mo(VI) from water and wastewater samples using maghemite nanoparticles. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2009. 346(1-3): p. 52-57.
10. Uheida, A., et al., Fe_3O_4 and $\gamma-Fe_2O_3$ nanoparticles for the adsorption of Co^{2+} from aqueous solution. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2006. 298(2): p. 501-507.
11. Hu, J., G. Chen, and I. Lo, Removal and recovery of Cr(VI) from wastewater by maghemite nanoparticles. *Water Research*, 2005. 39(18): p. 4528-4536.
1. Shen, Y.F., et al., Preparation and application of magnetic Fe_3O_4 nanoparticles for wastewater purification. *Separation and Purification Technology*, 2009. 68(3): p. 312-319.
2. Aber, S., A. Khataee, and M. Sheydaei, Optimization of activated carbon fiber preparation from Kenaf using K_2HPO_4 as chemical activator for adsorption of phenolic compounds. *Bioresour Technol*, 2009. 100(24): p. 6586-91.
3. Teja, A.S. and P.-Y. Koh, Synthesis, properties, and applications of magnetic iron oxide nanoparticles. *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*, 2009. 55(1-2): p. 22-45.
4. Uheida, A., et al., Sorption of palladium(II), rhodium(III), and platinum(IV) on Fe_3O_4 nanoparticles. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2006. 301(2): p. 402-408.
5. Hu, J., I.M. Lo, and G. Chen, Removal of Cr(VI) by magnetite nanoparticle. *Water Sci Technol*, 2004. 50(12): p. 139-46.
6. Wang, X.S., L. Zhu, and H.J. Lu, Surface chemical properties and adsorption of Cu (II) on nanoscale magnetite in aqueous solutions. *Desalination*. In Press, Corrected Proof.