

بررسی حذف سیانید از زائدات خطرناک با استفاده از نانو ذرات آهن

احمد اله‌آبادی^۱، ابوالفضل رحمانی ثانی^۱، محمدحسین ساقی^{۱*}، حمیده بهروزخواه^۲، شهرام صادقی^۳، محمدرضا بهروزخواه^۴

۱. عضو هیئت‌علمی دانشکده بهداشت، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، سبزوار، ایران.
۲. دانشجوی دکتری مدیریت پسماند، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۳. مرکز تحقیقات بهداشت محیط، پژوهشکده توسعه سلامت، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران.
۴. گروه بیوشیمی و تغذیه، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، سبزوار، ایران.

چکیده

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۱۳

زمینه و اهداف یکی از عمده‌ترین آلاینده‌های محیط‌زیست که در پساب صنایع مختلف وجود دارد، سیانید است که می‌تواند برای انسان و محیط‌زیست خطرناک باشد. سیانید را می‌توان به روش‌های مختلفی از محیط‌های مایه حذف کرد، اما غالب این روش‌ها هزینه‌بر هستند. هدف از این مطالعه بررسی حذف سیانید با استفاده از نانو ذرات آهن است.

مواد و روش‌ها حذف سیانید از محیط با نانو ذرات آهن در وضعیت‌های مختلف از جمله اثر میزان ماده جاذب، غلظت سیانید اولیه، زمان تماس و pH در فاز ناپیوسته بررسی شد. در این مطالعه میزان به تعادل رسیدن جذب و همچنین سینتیک‌های واکنش بررسی شد.

یافته‌ها نتایج حاصل از مطالعه نشان داد که با افزایش زمان ماند و افزایش میزان جاذب کارایی حذف افزایش می‌یابد. همچنین زمان تعادل بعد از ۱۲۰ دقیقه تماس حاصل شد و میزان حداکثر حذف سیانید، در pH برابر ۱۱ زمان ماند ۱۲۰ دقیقه و غلظت سیانید ۲/۵ میلی‌گرم در لیتر و وزن جاذب ۱ گرم به‌دست آمد که بیش از ۹۷ درصد بود. همچنین نتایج نشان داد که میزان جذب از ایزوترم لانگمیر تبعیت می‌کند و سینتیک واکنش از درجه دوم تبعیت می‌کند.

نتیجه‌گیری با توجه به یافته‌های این تحقیق، نانو ذرات آهن می‌تواند به‌عنوان گزینه‌ای مناسب با کارایی بالا، برای کاهش میزان سیانید از محیط‌های مایه در مناطقی که دارای مشکل حضور سیانید هستند به‌کار رود.

کلیدواژه‌ها:

نانو ذرات آهن، سیانید، زائدات خطرناک

مقدمه

هیدروکربنه، فلزات سنگین، حشره‌کش‌ها و رنگ‌ها هستند. بدیهی است حضور این گونه آلاینده‌ها مخاطرات بهداشتی و زیست‌محیطی را به دنبال دارد. آلودگی آب یکی از بزرگ‌ترین مشکلات ناشی از این آلاینده‌ها است [۱]. سیانید ماده‌ای

سالیانه مقادیر زیادی زائدات از منابع خانگی، کشاورزی و صنعتی وارد محیط‌زیست می‌شود. این پساب‌ها حاوی غلظت بالایی از مواد شیمیایی آلی و غیرآلی نظیر حلال‌های

* نویسنده مسئول: محمدحسین ساقی
نشانی:

دورنگار:

تلفن: ۰۵۱۴۴۰۱۸۴۸۶

رایانه: saghimh@medsab.ac.ir

شناسه ORCID: 0000-0003-1802-7546

شناسه ORCID نویسنده اول: 0000-0002-7374-7637

توانستند سیانید را به میزان ۵۰ درصد حذف کنند ضمناً در $\text{pH}=7$ تحت همین شرایط موفق به حذف ۹۰ درصدی آن شدند. رفعتی و همکاران [۱۱] به مطالعه جذب کروم توسط نانو ذرات آهن پرداخته‌اند و مشاهده شد که در $\text{pH}=6$ میزان حذف کروم به ۰/۰۵ میلی گرم در لیتر رسید. هاشمی مقدم و همکاران [۱۲] در مطالعه‌ای که روی حذف سیانید، با استفاده از رزین‌های نانو ذرات در ستون انجام دادند، نشان داد که در شرایط ثابت مقدار ۳g رزین، غلظت سیانید به ۵ mg/l رسید و بهترین pH به دست آمده ۷/۲ است.

سارلا و همکاران [۵] استفاده از پراکسید هیدروژن برای تجزیه سیانید را بررسی کردند و موفق شدند سیانید را به میزان ۸۰ درصد در محلول حاوی ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر سیانید پس از ۴ ساعت زمان ماند و افزودن ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر هیدروژن پراکسید کسب کنند و با افزایش زمان تماس به ۲۴ ساعت، موفق به حذف ۹۰ درصدی سیانید شدند.

نانو ذرات آهن که در اثر واکنشی احیایی بین بورو هیدرید سدیم و آهن دو ظرفیتی به وجود می‌آیند اندازه‌های در حدود

$$10-100 \frac{\text{m}^2}{\text{g}}$$

متغیر است [۱۳، ۱۴]. اندازه کوچک، بزرگ بودن سطح مقطع و در نتیجه واکنش پذیری بسیار بالای این مواد، ظرفیت باقی ماندن در سوسپانسیون و انتقال آسان توسط آب‌های زیرزمینی، پتانسیل آن‌ها برای کاربرد در تصفیه آب‌ها را افزایش داده و به‌عنوان تکنولوژی قابل انعطاف و در حال گسترش برای اصلاح آب‌های زیرزمینی آلوده در محل شناخته شده است [۱۵، ۱۶]. هدف از انجام این تحقیق بررسی میزان کارایی نانو ذرات آهن در حذف سیانید در شرایط آزمایشگاهی است.

مواد و روش‌ها

محلول سیانید در چهار غلظت ۲/۵، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی گرم در لیتر تهیه شد. سپس محلول‌های موردنظر در تماس با غلظت‌های در بازه ۰/۲ تا ۱ گرم در لیتر از جاذب در زمان‌های تماس‌های مختلف قرار داده شد. برای بررسی تأثیر pH مقدار ۴، ۷ و ۱۱ و برای سنجش زمان ماند ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه تعیین شد. برای ایجاد اختلاط از دستگاه همزن با سرعت ۱۰۰ دور در دقیقه استفاده شد. نمونه‌ها پس از طی فرایند جذب سانتریفیوژ شده و برای قرائت به روش تیتراسیون اندازه‌گیری شد. به‌منظور افزایش دقت تمامی آزمایش‌ها در دمای محیط آزمایشگاه و حدود ۲۵ درجه سلسیوس انجام گرفت. برای اندازه‌گیری سیانید از روش

شیمیایی است که بشر آن را هم به‌طور طبیعی و هم به‌صورت مصنوعی ساخته است و اکثر ترکیبات آن سمیت زیادی دارند. از جمله ترکیبات سیانید می‌توان به سیانید هیدروژن اشاره کرد که به شکل گاز است و نیز نمک‌های سیانید مثل سیانید سدیم و سیانید پتاسیم را نام برد. از منابع عمده سیانید در آب می‌توان به پساب صنایع شیمیایی و صنایع آبکاری، سوخت خودروها، فاضلاب شهری و حشره‌کش اشاره کرد. این ماده از طریق نوشیدن، استنشاق و غذا خوردن وارد بدن می‌شود [۲]. مقدار زیادی از این ماده ممکن است روی قلب و مغز تأثیر بگذارد و در مدت کوتاهی باعث ایجاد حالت کما و سپس مرگ شود. سیانید ممکن است در غلظت ۰/۰۵ mg/dl در خون تولید سم کند و معمولاً مرگ در غلظت ۰/۳ mg/dl بالاتر اتفاق می‌افتد. USEPA حداکثر میزان مجاز سیانید در آب را ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر تعیین کرده است [۲، ۳].

غلظت سیانید در آب و فاضلاب را می‌توان با روش‌های رقیق‌سازی، اکسیداسیون بیولوژیکی و شیمیایی، رسوب‌دهی و بازیافت کاهش داد. نانو تکنولوژی فرایندی است که در جلوگیری از آلودگی، شناسایی، اندازه‌گیری و تصفیه آلاینده‌ها نقش کلیدی را ایفا می‌کند [۲، ۴، ۵]. یکی از فناوری‌هایی که اخیراً مقبولیت زیادی پیدا کرده است استفاده از ذرات در مقیاس نانو برای تصفیه و حذف آلاینده‌ها است. ذرات نانو به دلیل داشتن اندازه کوچک، سطح مقطع زیاد، شکل کریستالی و نظم شبکه‌ای منحصربه‌فرد و در نتیجه واکنش‌پذیری بسیار زیاد می‌توانند برای تصفیه و تبدیل آلاینده‌ها به مواد بی‌ضرر و کم‌ضررتر استفاده شوند [۶، ۷].

ذرات آهن حاصل از فرایندهای صنعتی می‌تواند به‌عنوان آهن در تصفیه آلاینده‌ها استفاده شود. مکانیسم حذف آلاینده‌ها توسط آهن واکنش‌های احیایی یا فرایند جذب است. اندازه ذره ویژگی نسبتاً مهم ذرات در جذب و واکنش با آلاینده‌ها است [۸، ۹]. از روش‌هایی که برای حذف سیانید در گذشته استفاده شده است می‌توان به کلریناسیون با pH بالا، استفاده از فرایند SO_4 / Air و استفاده از روش الکتروشیمیایی اشاره کرد اما این روش‌ها هر کدام معایب خاص خود را دارند. روشان و همکاران [۱] در مطالعه خود از فرایند بیولوژیکی و فرایند ترکیبی بیولوژیکی/جذبی برای حذف سیانید استفاده کردند که طی آن با فرایند بیولوژیکی ۸۰ درصد و با فرایند ترکیبی بیولوژیکی/جذبی ۹۵/۳ درصد از سیانید حذف شد. آدامز و همکاران [۱۰] با به‌کارگیری کربن فعال معادل ۱/۵ گرم بر لیتر در $\text{pH}=10$ پس از زمان ماند ۸ ساعت و غلظت اولیه سیانید معادل ۲۶۵ میلی‌گرم بر لیتر

$$RE(\%) = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100$$

RE: میزان راندمان یا کارایی (به درصد)
 C₀: غلظت اولیه سیانید (میلی گرم در لیتر)
 C_t: غلظت سیانید در زمان t (میلی گرم در لیتر)

یافته‌ها

نتایج حاصل از تأثیر زمان تماس بر کارایی حذف

سیانید

با افزایش زمان ماند در شرایطی ثابت راندمان حذف افزایش یافت (شکل ۱). این افزایش جذب می‌تواند ناشی از افزایش تعداد برخوردهای بین آلاینده و جاذب باشد که هر چه زمان ماند بیشتر شود احتمال برخورد بیشتر شده و جذب آلاینده به وسیله جاذب مورد نظر افزایش می‌یابد. بهترین زمان ماند ۱۲۰ دقیقه به دست آمد که حداکثر حذف یعنی ۹۷ درصد حاصل شد.

تیتراسیون (Standard Methods – CN.D – Titrimetric Method) استفاده شد [۱۷].

پس از انجام عمل تصفیه با روش‌های مورد نظر، به هر کدام از نمونه‌های مورد نظر، ۵۰ میلی لیتر محلول NaOH رقیق شده و ۰/۵ سی سی محلول شاخص اضافه کرده و نمونه را کاملاً مخلوط می‌کنیم، سپس با استفاده از تیترانت و استاندارد نیترات نقره، تیتراسیون تا تغییر رنگ از زرد قناری به صورتی قهوه‌ای انجام شد. این مراحل را هم برای تهیه نمونه شاهد انجام داده و سپس طبق رابطه (۱) میزان سیانید باقیمانده محاسبه می‌شود.

$$mgCN^- / L = \frac{(A - B) \times 1000}{C} \quad (1)$$

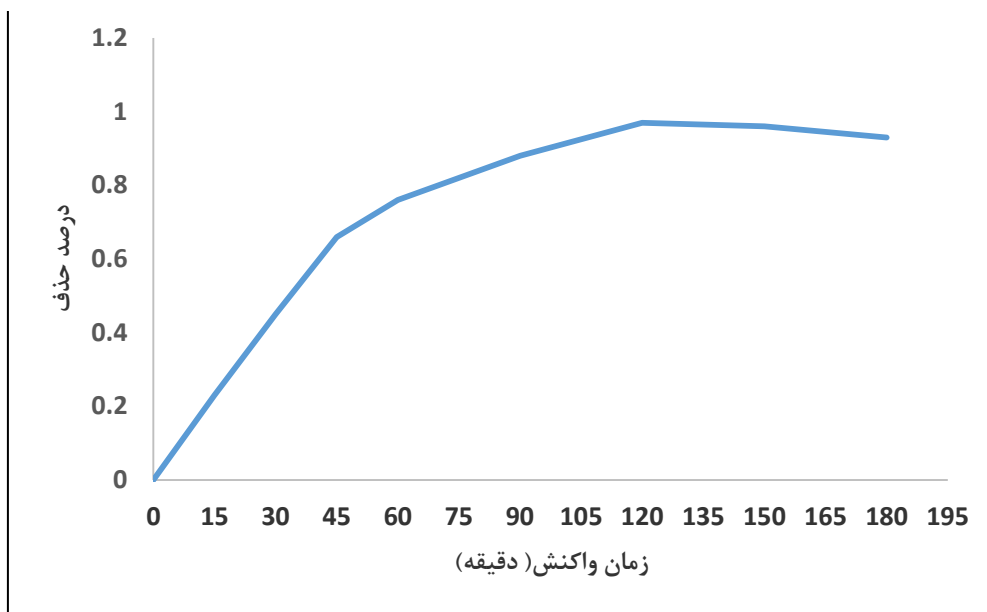
A = میلی لیتر استاندارد نیترات نقره برای نمونه

B = میلی لیتر استاندارد نیترات نقره برای شاهد

C = میلی لیتر نمونه اولیه

در نهایت، برای سنجش میزان کارایی نانو ذرات در حذف

سیانید از رابطه زیر استفاده شد.



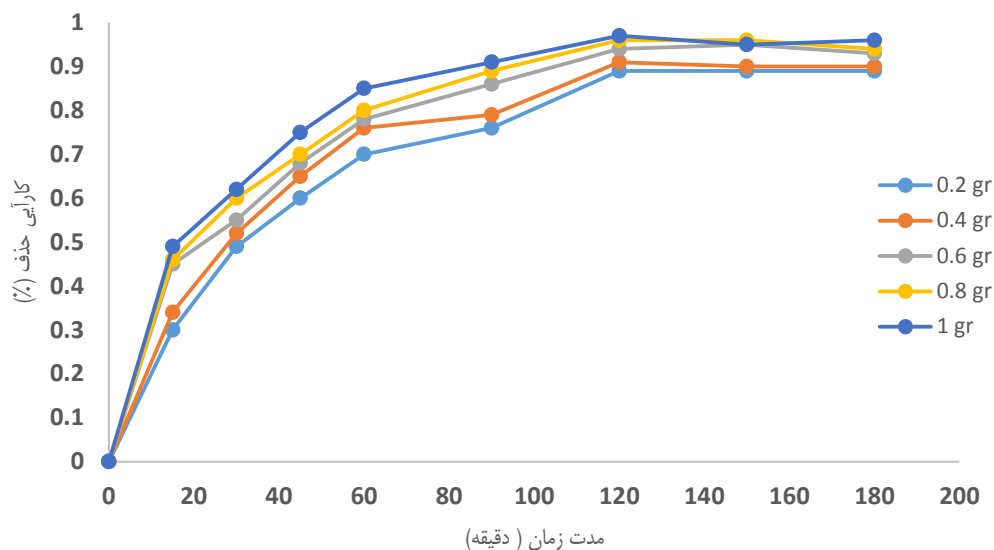
شکل ۱. اثر زمان تماس بر کارایی حذف سیانید (غلظت اولیه سیانید ۲/۵ میلی گرم بر لیتر، وزن جاذب ۰/۵ گرم و pH=۱۱)

افزایش یافته است. همچنین مناسب‌ترین مقدار وزن جاذب یک گرم انتخاب شد زیرا تا این مقدار درصد حذف افزایش پیدا کرد؛ اما بعد از آن درصد حذف افزایش چشمگیری نداشت و علاوه بر آن میزان کدورت مایع افزایش یافت.

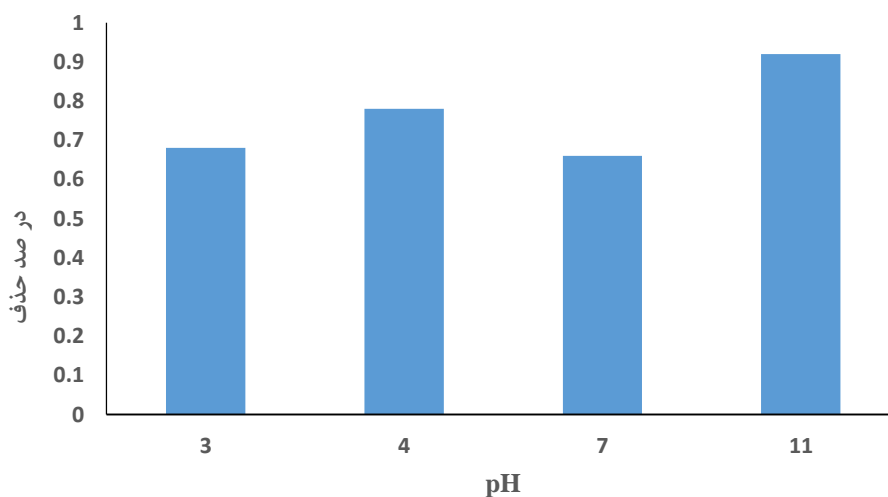
نتایج تأثیر تغییرات غلظت جاذب بر کارایی حذف

سیانید

نتایج حاصله طبق شکل ۲ نشان می‌دهد که با افزایش مقدار غلظت نانو ذرات در شرایط ثابت راندمان حذف سیانید



شکل ۲. تأثیر غلظت جاذب بر کارایی حذف سیانید با استفاده از نانو ذرات آهن (غلظت اولیه سیانید ۲/۵ میلی گرم بر لیتر، و pH=۱۱)



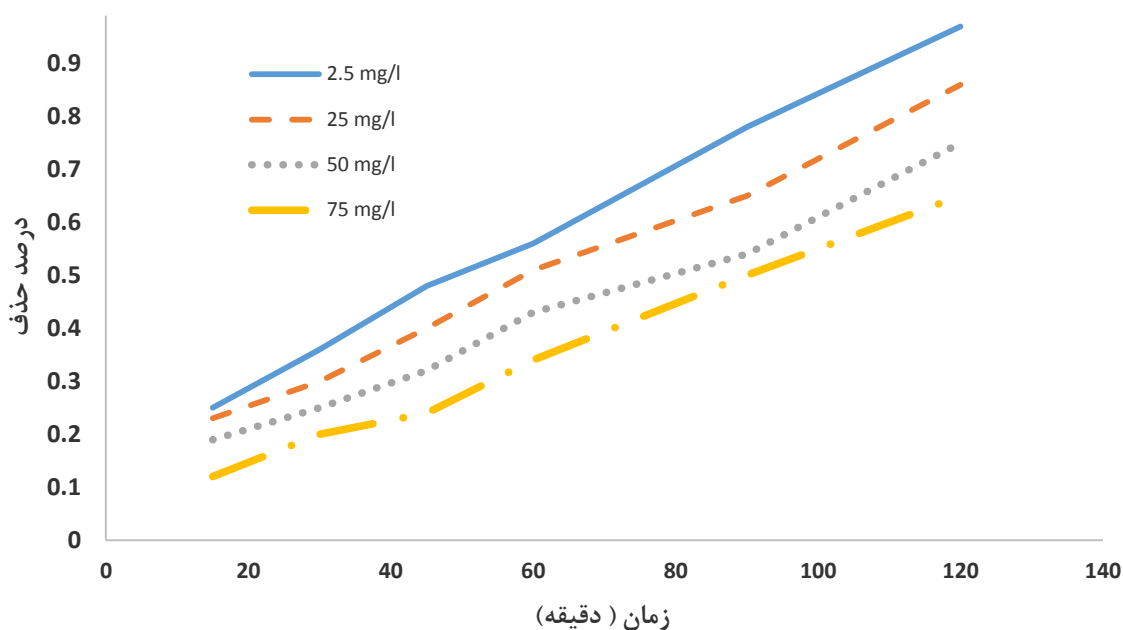
شکل ۳. تأثیر تغییرات pH بر راندمان حذف سیانید با استفاده از نانو ذرات آهن (غلظت اولیه سیانید ۲/۵ میلی گرم بر لیتر، وزن جاذب ۰/۵ گرم و زمان ۱۲۰ دقیقه)

نتایج تأثیر تغییرات غلظت سیانید اولیه بر کارایی حذف سیانید

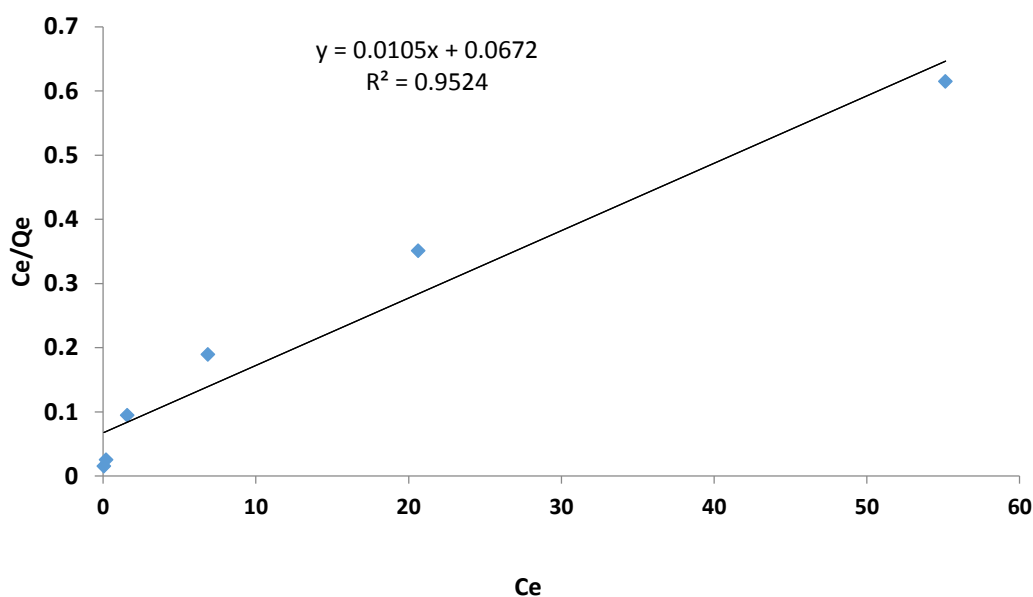
با افزایش مقدار غلظت سیانید در شرایط ثابت راندمان حذف مورد مطالعه کاهش یافت. این افزایش راندمان به این دلیل است که هر چه غلظت ماده آلاینده اولیه کمتری در برخورد با مقدار مشخصی جاذب قرار گیرد احتمال جذب بیشتری بر جاذب وجود دارد (شکل ۲).

نتایج تأثیر تغییرات pH اولیه بر کارایی حذف سیانید

به منظور بررسی اثر پارامتر pH بر راندمان حذف سیانید، مطالعات در ۴ محدوده pH انجام پذیرفت که نتایج مرتبط با تأثیر تغییرات pH بر کارایی حذف در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که در شرایط ثابت، pH=۱۱ بیشترین کارایی را در حذف دارد. در غلظت اولیه سیانید ۲/۵ میلی گرم بر لیتر، وزن جاذب ۰/۵ گرم و زمان ۱۲۰ دقیقه میزان جذب آلاینده بیش از ۹۷ درصد بود.



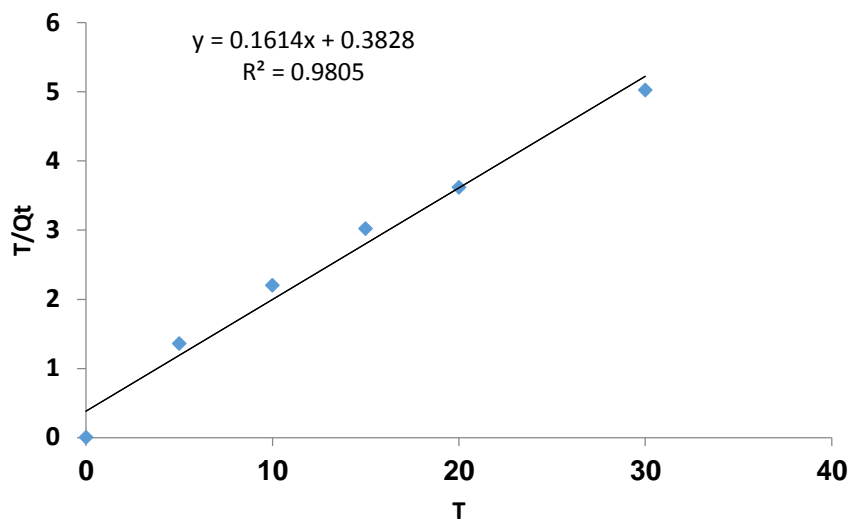
شکل ۴. تأثیر غلظت‌های اولیه سیانید بر راندمان حذف سیانید (غلظت اولیه سیانید ۲/۵ میلی‌گرم بر لیتر، pH=۱)



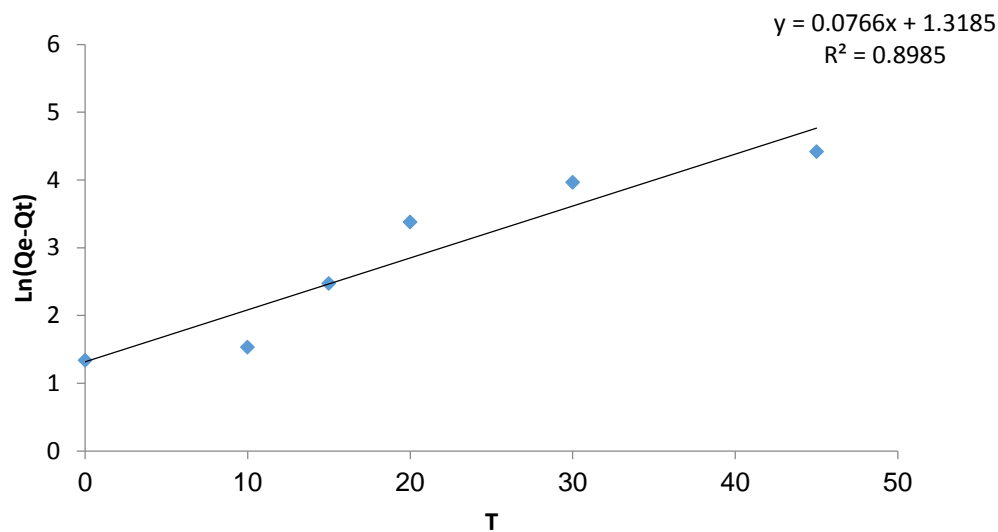
شکل ۵. ایزوترم لانگمویر حذف سیانید با استفاده از نانو ذرات آهن

تبعیت می‌کند. بر اساس مدل ایزوترمی لانگمویر، حداکثر ظرفیت جذب برای سیانید به ترتیب برابر ۲۵/۶۳ mg/g به دست آمد.

شکل ۵ مدل ایزوترمی حذف سیانید با استفاده از نانو ذرات آهن نشان می‌دهد. همان‌طوری که مشخص است و با توجه به ضریب رگرسیون خطی، روند حذف سیانید از مدل ایزوترمی لانگمویر با ضریب رگرسیون بیش از ۹۵ درصد



شکل ۶. معادله سنتیکی شبه درجه دوم حذف سیانید با نانو ذرات آهن



شکل ۷. معادله سنتیکی شبه درجه اول حذف سیانید با نانو ذرات آهن

ذرات در شرایط ثابت راندمان حذف سیانید افزایش یافته است. که علت این افزایش کارایی، مربوط به افزایش میزان جاذب و در نتیجه بیشتر شدن برخوردهای بین جاذب و آلاینده می شود که نتیجه آن چسبیدن آلاینده بیشتری به جاذب است اما باید متذکر شد تا اندازه های این افزایش جاذب می تواند مفید باشد بیشتر از آن ممکن است هزینه بر بوده یا کدورت محلول باقیمانده را بیش از پیش افزایش دهد. بر اساس مطالعه رفعتی در رابطه با جذب کرومات توسط نانو ذرات

در شکل های ۶ و ۷ مدل های سنتیکی شبه درجه اول و شبه درجه دوم برای حذف سیانید نشان داده شده است. با توجه به ضریب رگرسیون خطی (R^2) نتایج نشان داد که سنتیک جذب سیانید از معادله سنتیکی شبه درجه دوم تبعیت می شود.

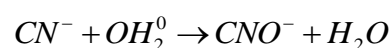
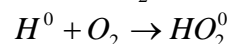
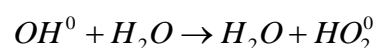
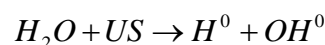
بحث

نتایج حاصله نشان می دهد که با افزایش مقدار غلظت نانو

نتایج حاصل از مطالعات بینا و همکاران که با استفاده از خاک اره در حذف فلزات سنگین از فاضلاب‌های صنعتی انجام شده است نیز این مطلب را نشان می‌دهد. این موضوع احتمالاً به افزایش یون‌های رقابت‌کننده بر سر مکان‌های فعال جذب در غلظت‌های بالاتر مربوط است. در تحقیقی که انصاری و رئوفی [۲۰] روی حذف جیوه با خاک اره پوشش داده با پلی آنیلین انجام داده‌اند نیز مشخص شده است که با افزایش غلظت اولیه ورودی جیوه، کارایی حذف افزایش می‌یابد [۲۰].

با توجه به نتایج به دست آمده میزان حذف در pH قلیایی بیشتر از اسیدی و خنثی است که این امر می‌تواند به دو دلیل باشد: نخست اینکه هر چه pH بالاتر باشد سیانید بیشتر به

شکل CNO^- در می‌آید و رسوب می‌کند اما اگر pH اسیدی باشد سیانید بیشتر به شکل HCN در می‌آید که در این شکل احتمال رسوب آن کمتر است. در تحقیقات دیگر برای حذف سیانید از روش اولتراسونیک استفاده کردند و نتایج نشان داد که سیانید در pH برابر با ۱۰/۵ راندمان حذف بالایی دارد چون در این صورت به یون سیانید تبدیل می‌شود و این یون نیز به آسانی از محیط‌های آبی حذف می‌شود. در pH= ۷/۲ غلظت سیانید، از ۵۳۰ mg/l به ۵ mg/l کاهش یافت [۲۱].



آدامز و همکاران [۲۳] با به‌کارگیری کربن فعال معادل ۱/۵ گرم بر لیتر در pH= ۱۰ پس از زمان ماند ۸ ساعت و غلظت اولیه سیانید معادل ۲۶۵ میلی‌گرم بر لیتر توانستند سیانید را به میزان ۵۰ درصد حذف نمایند. ضمناً در pH= تحت همین شرایط موفق به حذف ۹۰ درصدی آن شدند.

سارلا و همکاران (۲۰۰۴) استفاده از پراکسید هیدروژن جهت تجزیه سیانید را مورد بررسی قرار دادند پس از ۴ ساعت زمان ماند و افزودن ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر هیدروژن پراکسید و با افزایش زمان تماس به ۲۴ ساعت موفق به حذف ۹۰ درصدی سیانید شدند. در مطالعه ژائو و همکاران [۲۴] که روی حذف پرکلرات از منابع آبی بوده در این تحقیق از نانو ذرات آهن صفر استفاده کرده‌اند و توانستند با استفاده از نانو ذرات آهن با ظرفیت صفر در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد ۹۰ درصد از پرکلرات را حذف نمایند.

آهن، مشاهده شد که در pH= ۶ میزان حذف کروم در ۱۰۰۰ R= به ۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر رسید که بسیار کمتر از مقدار به دست آمده در این مطالعه است [۱۱].

با افزایش مقدار غلظت سیانید در شرایط ثابت راندمان حذف مورد مطالعه کاهش یافت. این افزایش راندمان به این دلیل است که هر چه غلظت ماده آلاینده اولیه کمتری در برخورد با مقدار مشخصی جاذب قرار می‌گیرد احتمال جذب بیشتری بر جاذب وجود دارد (شکل ۴). در تحقیقی که هاشمی مقدم [۱۲] بر حذف سیانید با استفاده از رزین‌های نانو ذرات در ستون انجام دادند نتایج نشان داد که در شرایط ثابت مقدار ۳g رزین، غلظت سیانید به ۵ mg/l رسید و بهترین pH به دست آمده ۷/۲ است.

در خصوص متغیر زمان تماس، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد هر چند با افزایش زمان تماس راندمان حذف سیانید افزایش می‌یابد اما بیشترین میزان جذب، طی ۱۲۰ دقیقه اول اتفاق می‌افتد. این نتایج همچنین نشان می‌دهد که در مراحل جذب این رنگ پخش در لایه نازک که نخستین مرحله جذب است سریع‌تر اتفاق می‌افتد اما نفوذ در خلل و فرج که به افزایش جذب بیشتر در سطوح داخلی جاذب منجر می‌شود با تأخیر اتفاق می‌افتد. تأخیر درباره این جاذب و آلاینده موردنظر در حدود ۱۲۰ دقیقه بود. زمان تماس یکی از پارامترهای مهم در واکنش‌های شیمیایی است. اصولاً در واکنش‌های شیمیایی می‌توان یک‌زمان تماس بهینه یا زمان تعادل برای واکنش موردنظر تعریف کرد. زمان تعادل زمانی است که در آن میزان حذف آلاینده به مقداری ثابت می‌رسد. همچنین در این تحقیق بین متغیر زمان تماس جاذب با کارایی حذف نیز رابطه مستقیمی مشاهده شد. دلیل این امر را نیز می‌توان افزایش زمان تماس ماده جاذب و آلاینده در نظر گرفت. در تحقیقی که عبدالغنی و همکاران [۱۸] روی حذف سرب با خاک اره انجام دادند نیز رابطه مستقیم بین عامل زمان تماس و درصد حذف مشاهده شد. ادوبی و همکاران [۱۹] در تحقیق دیگری که برای حذف فلزات سنگین از محیط‌های آبی با خاک اره انجام دادند نیز مشخص شد که اعمال زمان تماس باعث افزایش کارایی خواهد شد.

همچنین در این تحقیق مشاهده شد که با افزایش غلظت اولیه سیانید، درصد حذف آن نیز افزایش می‌یابد. با افزایش غلظت آلاینده در محلول، نیروی رانش در اثر گرادیان غلظت به وجود خواهد آمد که باعث رانش آلاینده به منافذ درونی جاذب خواهد شد. بنابراین علاوه بر سطح جاذب، قسمت‌های درونی جاذب نیز مورد استفاده قرار گرفته و به این ترتیب راندمان حذف افزایش خواهد یافت.

نتیجه گیری

یافته‌های این تحقیق، نانو ذرات آهن می‌تواند گزینه‌ای مناسب، برای کاهش میزان سیانید از محیط‌های مایی در مناطقی به‌کار رود که دارای مشکل حضور سیانید هستند.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل طرح تحقیقاتی با شماره طرح ۹۰۰۲۰ مصوب دانشگاه علوم پزشکی سبزوار است و نویسندگان این مقاله از معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی سبزوار به خاطر حمایت‌های مالی، تشکر و قدردانی می‌کنند.

References

- [1]. Dash RR, Balomajumder C, Kumar A. Cyanide removal by combined adsorption and biodegradation process. Iranian Journal of Environmental Health, Science and Engineering. 2006; 3(2):91-6.
- [2]. Deveci H, Alp I, Uslu T. Removal of cyanide from aqueous solutions by plain and metal-impregnated granular activated carbons. International Journal of Mineral Processing. 2006;79(3):198-208.
- [3]. Liu Y, Ai K, Cheng X, Huo L, Lu L. Gold-Nanocluster-Based Fluorescent Sensors for Highly Sensitive and Selective Detection of Cyanide in Water. Advanced Functional Materials. 2010;20(6):951-6.
- [4]. Moussavi G, Khosravi R. Removal of cyanide from wastewater by adsorption onto pistachio hull wastes: Parametric experiments, kinetics and equilibrium analysis. Journal of Hazardous Materials. 2010; 183(1-3):724-30.
- [5]. Sarla M, Pandit M, Tyagi D, Kapoor J. Oxidation of cyanide in aqueous solution by chemical and photochemical process. Journal of Hazardous Materials. 2004; 116(1-2):49-56.
- [6]. Farrokhi M, Yang J-K, Lee S-M, Shirzad-Siboni M. Effect of organic matter on cyanide removal by illuminated titanium dioxide or zinc oxide nanoparticles. Journal of Environmental Health Science and Engineering. 2013; 11(1):23.
- [7]. Harraz FA, Abdel-Salam OE, Mostafa AA, Mohamed RM, Hanafy M. Rapid synthesis of titania-silica nanoparticles photocatalyst by a modified sol-gel method for cyanide degradation and heavy metals removal. Journal of Alloys and Compounds. 2013; 551:1-7.
- [8]. Junvapoon S. Use of zero-valent iron for wastewater treatment. Kmitl Sci Tech J. 2005;5(3):587-95.
- [9]. Young C, Jordan T, editors. Cyanide remediation: current and past technologies. Proceedings of the 10th Annual Conference on Hazardous Waste Research; 1995: Kansas State University: Manhattan, KS.
- [10]. Adams M. Removal of cyanide from solution using activated carbon. Minerals Engineering. 1994;7(9):1165-77.
- [11]. Bhusari V, Dahake R, Ravalu S, Bansiwala A. Comparative study of removal of hexavalent chromium from water using metal oxide nanoparticles. Advances in Nanoparticles. 2016; 5(01):67.
- [12]. Hashemi-Moghaddam H, Noshiri Z. Removal of cyanide and zinc-cyanide complex with malachite green functionalized amberlite XAD-4 resin from electroplating wastewater. Desalination and Water Treatment. 2015; 53(9):2481-8.
- [13]. Tyagi M, Rana A, Kumari S, Jagadevan S. Adsorptive removal of cyanide from coke oven wastewater onto zero-valent iron: Optimization through response surface methodology, isotherm and kinetic studies. Journal of Cleaner Production. 2018.
- [14]. Li S, Wang W, Liang F, Zhang W-x. Heavy metal removal using nanoscale zero-valent iron (nZVI): Theory and application. Journal of hazardous materials. 2017; 322:163-71.
- [15]. Saeidnia S, Asadollahfardi G, Darban AK, Mohseni M. Simulation of antimony adsorption on nano-zero valent iron and kaolinite and analyzing the influencing parameters. Water Science and Technology. 2016; 73(10):2493-500.
- [16]. Vilardi G, Mpouras T, Dermatas D, Verdona N, Polydera A, Di Palma L. Nanomaterials application for heavy metals recovery from polluted water: The combination of nano zero-valent iron and carbon nanotubes. Competitive adsorption non-linear modeling. Chemosphere. 2018; 201:716-29.
- [17]. Keith L. Environmental sampling and analysis: a practical guide: Routledge; 2017.
- [18]. Abdel-Ghani N, Hefny M, El-Chaghaby GA. Removal of lead from aqueous solution using low cost abundantly available adsorbents. International Journal of Environmental Science & Technology. 2007; 4(1):67-73.
- [19]. Adouby K, Akissi LK, Wandan NE, Yao B. Removal of Heavy Metal Ions (Pb²⁺, Cu²⁺) in Aqueous Solutions by Pterygota macrocarpa Sawdust. Journal of Applied Sciences. 2007; 7(14):1864-72.
- [20]. Ansari R, Raofie F. Removal of mercuric ion from aqueous solutions using sawdust coated by polyaniline. Journal of Chemistry. 2006; 3(1):35-43.
- [21]. Xiao J, Yuan J, Tian Z, Yang K, Yao Z, Yu B, et al. Comparison of ultrasound-assisted and traditional caustic leaching of spent cathode carbon (SCC) from aluminum electrolysis. Ultrasonics sonochemistry. 2018; 40:21-9.
- [22]. Dai X, Breuer P, Jeffrey M. Comparison of activated carbon and ion-exchange resins in recovering copper from cyanide leach solutions. Hydrometallurgy. 2010; 101(1-2):48-57.
- [23]. Adams MD. Impact of recycling cyanide and its reaction products on upstream unit operations. Minerals Engineering. 2013;53:241-55.
- [24]. Xu J, Gao N, Tang Y, Deng Y, Sui M. Perchlorate removal using granular activated carbon supported iron compounds: synthesis, characterization and reactivity. Journal of Environmental Sciences. 2010;22(11):1807-13.

Removal of Cyanide from Hazardous Waste by Iron Nanoparticles

Ahmad Alahabadi¹, Abolfazl Rahmani Sani¹, Mohammad Hossien Saggi¹,
Hamideh behrozikhah², Shahram Sadeghi^{3*}, Mohammadreza Behrouzikhah⁴

1. Department of Environmental Health Engineering, Sabzevar University of Medical Sciences, Sabzevar, Iran
2. Department of Environmental Engineering, Tehran University, Tehran, Iran
3. Environmental Health Research Center, Research Institute for Health Development, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran
4. Department of Biochemistry and Nutrition, Sabzevar University of Medical Sciences, Sabzevar, Iran

Abstract

Background & Objectives One of the most important environmental pollutants that there is in sewage of different industrials is cyanide to cause pollution of water sources that are dangerous to humans and the environment. Cyanide can be removed in different ways from the aqueous media, but most of these methods are costly. Therefore, the aim of this study is the removal cyanide using iron nanoparticles.

Materials & Methods Removal of cyanide from aqueous media using iron nanoparticles in various conditions including the effect of the adsorbent, initial cyanide concentration, contact time and pH were studied in discontinuous phase. In this study, adsorption equilibrium and also the kinetics of the reaction examined.

Results In the process of sharing discontinuous, the balance was achieved after 120 minutes of contact time and maximum amount of removal cyanide in the pH =11 for cyanide concentration of 1 mg/L over 97% obtained. Also the results showed that the adsorption process fitted with Langmuir isotherm and chemical kinetic fitted with of secondary grade.

Conclusion According to the findings, iron nanoparticles can be used as a suitable option for removal cyanide from aqueous solution in hazardous waste.

Received: 2018/03/17

Accepted: 2018/06/03

Keywords: iron nanoparticles, cyanide, hazardous waste