Available online: www.jnmr.ir/papers
نانومواد: ۱۶:۵ (۱۳۹۲) ۲۷۲-۲۶۵

بررسی و تعیین کارایی استفاده از نانوذرات اکسید منیزیم در حذف کروم از محلول‌های آبی

علیرضا بهزادنیا[۱]، پرویز درویشی[۲] و صاحبعلی منافی[۱،*]

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شاهرود، دانشکده فنی و مهندسی، شاهرود، ایران
۲- گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

تاریخ ثبت اولیه: ۱۳۹۲/۰۹/۲۵، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۳۹۲/۱۱/۲۵، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۳۹۲/۱۲/۱۰

چکیده

یکی از عمده‌ترین آلاینده‌های موجود در پساب صنایع از جمله آبکاری، دباغی، کروم (VI) می‌باشد که برای انسان و محیط زیست سمی بوده و سرطان‌زا می‌باشد. لذا هدف این تحقیق بررسی کارایی حذف کروم (VI) از محیط‌های آبی با استفاده از نانواکسید منیزیم در محیط آزمایشگاهی است. در این مطالعه تاثیر پارامترهای مختلفی از جمله زمان تماس (۱۵ تا ۲۴۰ دقیقه)، pH (۳، ۵، ۷ و ۹)، غلظت اولیه کروم (۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر)، غلظت اولیه جاذب (۰/۲۵، ۰/۵و ۰/۷ گرم در لیتر) و تعداد دور همزن (۱۲۰ تا ۳۵۰ دور در دقیقه) بررسی شد. محلول اولیه کروم (VI) با استفاده از حل کردن دی‌کرومات پتاسیم ($K_2Cr_2O_7$) در آب مقطر یک بار تقطیر تهیه گردید. غلظت باقیمانده کروم بوسیله دستگاه ICP ساخت کشور استرالیا اندازه‌گیری شد. نتایج بدست آمده در این پژوهش نشان داد که بهترین زمان برای حذف ۲۴۰ دقیقه بود و با افزایش pH، راندمان حذف افزایش می‌یابد. از سوی دیگر در این پژوهش در بازه‌ای که مورد بررسی قرار گرفت با افزایش مقدار جاذب درصد حذف کروم از آب افزایش یافت و با افزایش غلظت اولیه کروم از ۱۰ تا ۴۰ میلی‌گرم در لیتر، میزان کارایی حذف کروم به ترتیب ۸۱/۲۵ به ۲۱/۵ درصد کاهش یافت. بطوریکه در آخرین مرحله بهینه کردن، دور همزن متوسط ۲۴۰ دور در دقیقه برای فلز کروم بیشترین کارایی حذف را نشان داد. با استفاده از نتایج این تحقیق می‌توان گفت که ترکیب شدن نانوذرات اکسید منیزیم با جاذب‌های حذف کننده کروم می‌تواند Cr^{6+} را به Cr^{3+} تبدیل و بازده فرآیند حذف کروم از آب را افزایش دهد.

***واژه‌های کلیدی*: نانوذرات اکسید منیزیم، کروم شش ظرفیتی، حذف، محلول آبی.**

۱- مقدمه

امروزه با توجه به افزایش جمعیت جهانی نیاز به آب سالم روز به روز در حال افزایش است، با توجه به محدود بودن منابع آب شیرین سالم، نیاز مبرمی به استفاده مجدد از آب‌هایی که توسط منابع مختلف آلوده می‌شوند وجود دارد. فلزات سنگین یکی از مواد بسیار خطرناک آلوده کننده آب می‌باشد که بسیار پایدار و غیرقابل تجزیه هستند همچنین این مواد بیماری‌زا بوده و با گذشت زمان می‌توانند درون ارگانیزم‌های زنده تجمع یابند و درون این موجودات ایجاد بیماری یا اختلالات غیرطبیعی کنند [۱،۲]. در شیمی هر فلزی که دانسیته بیشتر از ۵ گرم بر سانتیمتر مکعب داشته باشد یک فلز سنگین به حساب می‌آید، فلزات سنگین تاثیرات بسیار بدی بر بدن دارند و

* **عهده‌دار مکاتبات:** صاحبعلی منافی
نشانی: شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود، گروه مهندسی مواد
تلفن: ۳۳۹۴۲۸۳-۰۲۷۳، **دورنگار:** ۳۳۹۴۲۸۳-۰۲۷۳، **پست الکترونیکی:** manafi@iau-shahrood.ac.ir

عامل بسیاری از بیماری‌ها [۲،۳] و حساسیت‌ها هستند، این مواد با راه‌یابی به زنجیره مواد غذایی و آب آشامیدنی باعث تهدید سلامت انسان و سایر جانداران می‌شوند [۳،۴]. به علت رشد انواع صنایع از جمله صنایع آبکاری امروزه غلظت این فلزات در محیط‌های آبی زیاد شده است [۳،۵]. کروم یک فلز سنگین است این فلز می‌تواند تاثیرات بسیار بدی بر بدن انسان داشته باشد [۶] و منابع زیادی از جمله آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان، اتحادیه اروپا و برنامه سم‌شناسی ایالات متحده سرطان‌زا بودن موادی مثل کروم شش ظرفیتی، آرسنیک، بریلیوم، نیکل و کادمیوم را برای انسان اعلام کردند [۵-۲]، فلزات سنگین در حالت طبیعی بطور خودبخودی از بین نمی‌روند و در طبیعت بسیار پایدار می‌باشند [۲]، و حتی به مرور زمان به ترکیبات سمی‌تر و خطرناک‌تری تبدیل می‌شوند، پس باید آنها را با روش‌های مختلفی از محیط‌های آلوده به آنها حذف کرد. روش‌هایی مثل ترسیب شیمیایی، تصفیه الکتروشیمیایی، تبادل یونی، جذب سطحی روی کربن فعال، جذب سطحی بوسیله انواع جاذب‌های طبیعی مثل پسماندهای حاصل از صنایع کشاورزی و صنایع غذایی، فشار اسمزی و فرآیند غشایی از جمله روش‌های مورد استفاده در زمینه حذف فلزات سنگین از محیط‌های آبی هستند [۱۰-۷] که هر کدام دارای مزایای خاص خود می‌باشد. این روش‌ها دارای معایبی نیز می‌باشند که استفاده از آنها را دچار محدودیت‌هایی می‌کند، از جمله اینکه روش ترسیب شیمیایی و تصفیه الکتروشیمیایی در غلظت‌های پایین پاسخگو نیستند، روش‌های تبادل یونی، جذب سطحی روی کربن فعال و فرآیند غشایی بسیار پرهزینه هستند [۵،۷،۱۱]، پس باید در مرحله انتخاب روش مورد استفاده برای حذف به این محدودیت‌ها توجه کرد. حذف کروم (VI) بوسیله نانواکسید منیزیم یک تکنولوژی بسیار موفقیت‌آمیز می‌باشد و از چندین واکنش به صورت یک سیکل خورندگی الکتروشیمیایی تشکیل شده است که می‌توان به مزایایی همچون چگالی کم، غیرسمی بودن، قابلیت شکل‌پذیری خوب و اینکه در مقایسه با مواد پلیمری دارای خواص مکانیکی بهتر [۱۲] و ناحیه سطحی ویژه بزرگ و سطح بالای واکنش [۱۳] همچنین ذرات نانواکسید منیزیم، کارایی بالقوه‌اش به عنوان یک کاتالیزور به علت واکنش‌پذیری بالا برای آماده‌سازی ترکیباتی با ساختار پیشرفته استفاده می‌شوند. جاذب نانواکسید منیزیم در این پژوهش بدلیل خاصیت جاذبه مکانیزم الکترواستاتیک و قدرت تعویض یونی مطلوب آنها که ایجاد می‌کند در بین اکسیدهای دیگر به عنوان نمونه انتخاب می‌شود، اگر چه این مواد به راحتی قابل بازیابی نیستند [۱۶-۱۴]. پژوهش‌های زیادی در رابطه با حذف فلزات صورت گرفته به عنوان مثال در تحقیقی که توسط قلی‌پور و همکارانش جهت حذف کروم شش ظرفیتی با استفاده از نانولوله‌های کربنی صورت گرفته، که این نانولوله‌های کربنی دارای خواص ویژه و ساختاری از کربن می‌باشند که به راحتی قابل بازیابی می‌باشد [۹]. همچنین در پژوهش دیگر که توسط منافی و همکارانش صورت گرفت به این نتیجه رسیدند که نانوذرات اکسید آهن دارای خواص مغناطیسی هستند که جهت حذف کروم شش ظرفیتی می‌توان از این خاصیت استفاده کرد و این مواد را به راحتی بازیابی کرد [۲]. گزارش‌های زیادی در مورد استفاده از نانوتکنولوژی به عنوان فرآیند تصفیه و حذف آلاینده‌ها از محیط زیست وجود دارد. یکی از فناوری‌های نانو که مقبولیت زیادی پیدا کرده است استفاده از ذرات در مقیاس نانو برای تصفیه و حذف آلاینده‌ها می‌باشد ذرات نانو بدلیل داشتن اندازه کوچک، سطح مقطع زیاد، و نظم شبکه‌ای منحصربفرد واکنش‌پذیری بسیار زیاد می‌توانند برای تصفیه و تبدیل آلاینده‌ها به مواد کم ضرر استفاده شوند [۱۷،۱۸]. اندازه ذره یک ویژگی نسبتا مهم ذرات در جذب و واکنش با آلاینده‌ها است بنابراین هر چه اندازه ذره کمتر و سطح مقطع ذره بیشتر شود میزان واکنش‌پذیری این ذرات افزایش می‌یابد [۱۹]. در این پژوهش از روش جذب سطحی که نوعی فرآیند جداسازی است که در آن بعضی از اجزای یک فاز مایع یا گاز بطور انتخابی به سطح جذب کننده یک جامد منتقل می‌شود. به فاز جامد در فرآیند جذب سطحی، جاذب گفته می‌شود. یک مساله بسیار مهم در روش جذب سطحی انتخاب جاذب می‌باشد. روش جذب سطحی یک روش کارآمد و در عین حال مقرون به صرفه برای جداسازی فلز کروم توسط نانوذرات اکسید منیزیم استفاده شده است. همچنین با بررسی اثر

پارامترهای مختلف سعی شده بهینه‌ترین شرایط برای جذب کروم تعیین گردد. با تعیین شرایط بهینه، امکان افزایش ظرفیت جذب و راندمان جداسازی فراهم گردد [۲۰،۲۱].

هدف اصلی این پژوهش بررسی تاثیر افزودن نانوذرات اکسید منیزیم به منظور کاهش حذف کروم (VI) از محلول‌های آبی بوده است.

۲- فعالیت‌های تجربی

۲-۱- مواد اولیه و تجهیزات

در این تحقیق، محلول اولیه کروم (VI) با استفاده از حل کردن دی‌کرومات پتاسیم ($K_2Cr_2O_7$) در آب مقطر یک بار تقطیر ساخته شد و طبق رابطه $N_1V_1=N_2V_2$ محلول‌سازی نمونه‌ها تهیه گردید که نوع مواد و میزان هر کدام در ترکیب دی کرومات پتاسیم مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱: مشخصات دی کرومات پتاسیم.

نوع ماده	درصد ماده
دی کرومات پتاسیم	۹۹/۵
سرب	۰/۰۰۵
سدیم	۰/۰۲
کلسیم	۰/۰۰۵
یون سولفات SO_4^{2-}	۰/۰۱
یون کلرید Cl^-	۰/۰۰۱
مواد غیرقابل حل در آب	۰/۰۰۵

نانوذرات اکسید منیزیم استفاده شده در این تحقیق از شرکت نانو پارس لیما خریداری شده و جهت تنظیم pH محلول، از اسید کلریک HCl (۰/۱ مول بر لیتر) و سود هیدروکسید سدیم (۰/۱، ۰/۰۱ مول بر لیتر) و برای اندازه‌گیری pH از دستگاه pHسنج Metrohm استفاده شد. جهت عملیات همزدن محلول‌ها در حین جذب از دستگاه میکسر استفاده شد، که با تنظیم دور چرخش مناسب می‌توان مقاومت‌های نفوذ و انتقال جرم را تا حد امکان کاهش داد برای جداسازی فاز جامد جاذب از محلول، از دستگاه سانتریفوژ ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت زمان ۱۵ دقیقه عمل سانتریفوژ صورت گرفته است. کلیه آنالیزهای فلز کروم با استفاده از دستگاه ICP جذب اتمی، مدل GBC INTEGRA XL انجام شد.

۲-۲- روش کار و ارزیابی

در این مطالعه از نانوذرات اکسید منیزیم (MgO) استفاده شد. جذب کروم (VI) بر روی نانواکسید منیزیم در محیط آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت.

روش کلی آزمایش جذب بدین صورت بوده که ابتدا محلولی با غلظت بالا از نمک دی‌کرومات پتاسیم تهیه کرده و سپس از آن جهت تهیه غلظت‌های مطلوب استفاده گردید.

در مرحله اول تاثیر پارامتر زمان بر میزان حذف بدست خواهد آمد. جاذب نانو مورد استفاده در این پژوهش به میزان (۰/۷ g/l) توزین شده در درون ارلن ۲۵۰ ml که حاوی ۱۰۰ ml محلول دی‌کرومات پتاسیم می‌باشد، ریخته و پس از پوشاندن دهانه ارلن مایرها با فیلم پارافینی، نمونه‌ها جهت انجام عملیات جذب بر روی میکسر قرار داده شده و سپس مقدار دور همزن ثابت ۲۴۰ دور در دقیقه و غلظت ثابت اولیه کروم ۱۰ mg/l در pH ثابت ۷ و بازه زمانی متغیر (۱۵ تا ۲۴۰ دقیقه) تنظیم گردید.

پس از گذشت زمان‌های انجام شده، با استفاده از دستگاه سانتریفوژ، جاذب را از محلول فلزی جذب شده جدا کرده و برای آنالیز مقدار فلز باقیمانده از دستگاه جذب اتمی استفاده شد. در سری آزمایش‌های مربوط به فرآیند جذب، پس از این کار مقدار بهینه دیگر پارامترهای تاثیرگذار در میزان حذف فلز سنگین از قبیل pH (۳، ۵، ۷ و ۹) غلظت اولیه فلز سنگین ۱۰ تا ۴۰ میلی‌گرم در لیتر، و دوز جاذب ۰/۲۵ تا ۰/۷ گرم در لیتر، دور همزن ثابت ۲۴۰ دور در دقیقه، محلول به ترتیب به روش گفته شده یعنی ثابت نگهداشتن مقدار تمامی فاکتورهای دیگر و تغییر در مقدار فاکتور مورد نظر، بدست خواهد آمد.

البته در تمامی این مراحل آزمایش در حال انجام در هر مرحله در مقدار بهینه بدست آمده در مرحله قبل انجام خواهد شد، برای مثال در مرحله دوم آزمایش کلیه پارامترها در زمان بهینه بدست آمده از مرحله اول انجام خواهد شد. میزان جذب فلزات بر روی جاذب اندازه‌گیری

شده تحت عنوان q در متن نشان داده شده، طبق محاسبه زیر بدست خواهد آمد.

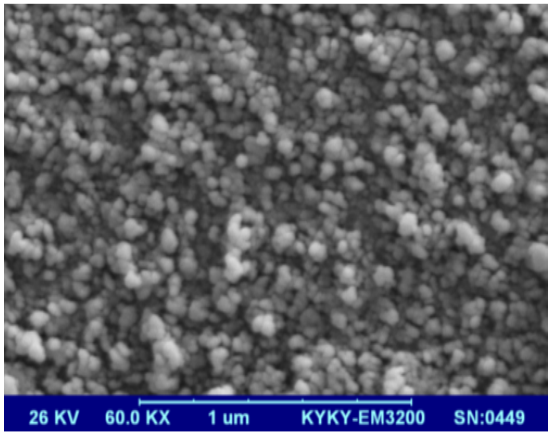
$$q=v\times(C_i-C_f)/S \qquad (1)$$

در رابطه ۱، q فاکتور بهینه کردن فرآیند، C_i غلظت اولیه فلز سنگین (mg/l)، C_f غلظت نهایی فلز سنگین (mg/l)، v حجم محلول (l) و S میزان جاذب (g)، استفاده شده می‌باشند.

کلیه آزمایش‌ها در دمای معمول محیط یعنی در دمایی حدود ۲۰ تا ۲۷ درجه سانتیگراد انجام گرفته‌اند.

۳-۲- بررسی خواص سطحی نانواکسید منیزیم

به منظور مشاهده و ارزیابی تغییرات ایجاد شده در مورفولوژی و ریزساختار سطح، نمونه توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (EM-3200) مورد ارزیابی قرار گرفت.



شکل ۱: تصویر SEM از نانوذرات اکسید منیزیم استفاده شده.

بر اساس تصویر بدست آمده مشخص گردید که جاذب نمی‌تواند هر ساختار منفذداری داشته باشد و نانوذره در محلول به شکل کروی می‌باشد و میانگین قطر ذرات آن ۴۰ نانومتر و دارای سطح ویژه ۱۰۳/۵ m^2/g می‌باشد. بر طبق آنالیز SEM مشخص گردید که این ذرات کروی شکل نانو تمایل به چسبیدن به همدیگر و تشکیل حالت زنجیره مانند دارند.

به همین خاطر نانوذرات اکسید منیزیم دارای سطح ویژه بزرگی می‌باشد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تاثیر زمان واکنش

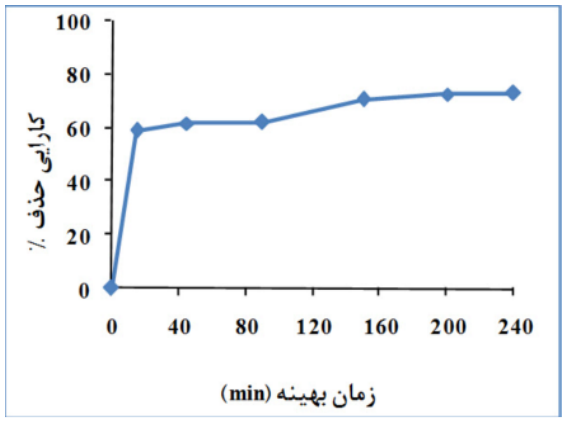
نتایج بدست آمده در شکل ۲ نشان داد که زمان یکی از فاکتورهای موثر بر میزان جذب فلز توسط نانو است. در این قسمت نحوه تقسیم‌بندی زمان‌های نمونه‌برداری آزمایش نکته مهمی بوده است که نحوه چیدمان نتایج بدست آمده تصویر درستی از نحوه عملکرد جاذب را در پی داشته است، برای این منظور سعی شده در انتخاب زمان‌های مورد استفاده برای نمونه‌برداری به طبیعت جاذب مورد استفاده شده توجه ویژه‌ای شود دلیل استفاده از این بازه‌های زمانی بسیار کوتاه در اصل خواص ویژه این نانوذرات منیزیم است.

این مواد دارای سطح موثر بسیار زیادی نسبت به دیگر جاذب‌ها می‌باشند پس در نتیجه این مواد قادرند در بازه زمانی بسیار کوتاهی مقادیر بسیار زیادی از فلز محلول در آب را حذف کنند بر همین اساس باید سعی شود در انتخاب زمان‌های نمونه‌برداری برای مواردی که از جاذب‌های نانوذرات برای حذف استفاده می‌گردد برای بدست آوردن تحلیلی درست از شیوه عمل جاذب بازه‌های زمانی کوتاه برای این منظور انتخاب شود.

نتایج حاصل از بررسی غلظت محلول‌ها توسط دستگاه ICP نشان داد که کارایی حذف کروم با گذشت زمان افزایش می‌یابد و همانطورکه در شکل ۲ دیده می‌شود می‌توان نتایج این مرحله را به دو قسمت تقسیم کرد، در قسمت اول نتایج با گذشت زمان کوتاهی میزان درصد حذف کروم به سرعت زیاد می‌شود که این بازه زمانی بین صفر تا ۱۵ دقیقه اول مشاهده شده است و در قسمت بعد افزایش چشمگیری در بازه زمانی ۱۵ تا ۲۴۰ دقیقه بدست آمده است.

در مورد علت بدست آمدن چنین نتایجی باید گفت در ابتدای آزمایش بدلیل اختلاف زیاد میان غلظت کروم محلول در آب و کروم موجود در جاذب، کروم موجود در آب تمایل بسیار زیادی دارد به سرعت به سمت جاذب حرکت کند و جذب آن شود، در واقع کروم به سرعت توسط جاذب حذف می‌شود البته دلیل دیگر این نتایج را می‌توان به پاک بودن جاذب از فلز در ابتدای واکنش

دانست به عبارتی کمتر اشباع شدن مکان‌های فعال جاذب و همچنین می‌توان به افزایش سرعت برخورد بین یون‌های فلزی و افزایش فرصت شانس برخورد یون‌های فلزی با ذرات جاذب دانست از سویی دیگر در قسمت دوم، در بازه ۱۵ تا ۲۴۰ دقیقه به چند دلیل میزان حذف کروم با سرعت نسبتا کم در حال افزایش است، دلیل اول این افزایش نه چندان کروم را می‌توان به وجود شرایط محیطی آرام دانست که در محلول ایجاد می‌شود در واقع با ایجاد چنین شرایطی یون‌های فلز کروم فرصت پیدا می‌کنند تا در اثر اختلاف غلظت موجود در محلول و جاذب به سمت جاذب حرکت بسیار کندی داشته باشند و توسط آن حذف شوند و دلیل دیگر اینکه بخشی از جاذب که در بازه زمانی قبل فرصت تماس با یون‌های کروم را پیدا نکرده، در این فاصله زمانی در تماس با یون‌های کروم قرار گرفته و میزانی از کروم محلول در آب حذف می‌شود. همچنین در کار دیگری که با هدف بررسی حذف یون کروم شش ظرفیتی از محلول‌های آبی با استفاده از فرآیندهای نانوفتوکاتالیستی و فتوشیمیایی UV/TiO_2 توسط گلستانی‌فر و همکارانش انجام گرفت به این نتیجه رسیدند با افزایش زمان تماس، میزان کارایی حذف فلز کروم بیشتر می‌شود که این کار با پژوهش حاضر انطباق بیشتری دارد [۲۲].

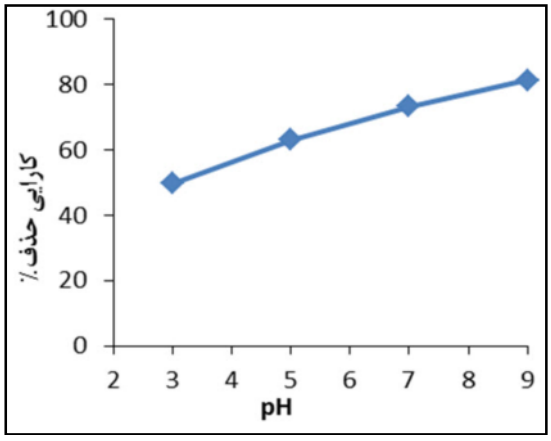


شکل ۲: تاثیر زمان تماس بر کارایی حذف کروم (VI) در غلظت ۱۰ mg/l، pH= ۷، دوز جاذب ۰/۷ g/l و دور همزن ۲۴۰ rpm.

۳-۲- بررسی تاثیر pH

pH یکی از فاکتورهای مهمی است که بر خصوصیات سطحی و بار سطحی جاذب در فرآیند جاذب تاثیر می‌گذارد. نتایج حاصل از تاثیر pH در شکل ۳ نشان داده شده است. همانطورکه استنباط می‌شود مقدار راندمان حذف کروم با افزایش pH بیشتر می‌گردد. ماکزیمم ظرفیت جذب کروم برای نانواکسید منیزیم در pH=۹ مشاهده شد. همانطور در شکل داده شده است راندمان حذف کروم در pHهای ۳، ۵، ۷ و ۹ به ترتیب ۴۹/۷، ۶۳، ۷۳/۲و ۸۱/۲۵ درصد می‌باشد.

این امر ناشی از آن است که در pH بالا بدلیل کاهش یون H^+ در محیط و افزایش OH^- و افزایش یون‌های منفی بر روی سطح جاذب نانواکسید منیزیم توجیح کرد. نیترات فلزات در محلول‌های آبی دارای بار مثبت خواهند گردید که این امر باعث می‌گردد کارایی جاذب در pH بالا افزایش یابد چرا که در pH بالا سطح جاذب بار منفی خواهد داشت.



شکل ۳: تاثیر pH بر کارایی حذف Cr (۰/۷ g جاذب، غلظت ۱۰ mg/l، دور همزن ۲۴۰ rpm و زمان بهینه ۲۴۰ min در ۱۰۰ ml نمونه).

نتایج کارهای دیگر پژوهشگران نیز تقریبا با نتایج بدست آمده در این پژوهش شباهت‌های زیادی داشته است. برای مثال در پژوهشی که با هدف بررسی و کارایی نانوذرات اکسید منیزیم در حذف رنگ مایه‌های فاضلاب صنعتی توسط موسوی و همکاران صورت گرفت آنها به این نتیجه رسیدند که بیشترین راندمان حذف در pH=۸/۵ انجام گرفته، که نتایج آنها نزدیک شباهت کلی بدست آمده در پژوهش حاضر است [۱۴]. همچنین در پژوهشی به منظور حذف کروم از آب بوسیله نانوذرات گاما آلومینا که توسط مقدی و همکاران صورت گرفت آنها به این نتیجه رسیدند با افزایش مقدار pH میزان حذف Cr افزایش می‌یابد [۵].

اگرچه تاکنون گزارشی از نانوذرات اکسید منیزیم در حذف فلزات سنگین توسط دیگر محققین صورت نگرفته است.

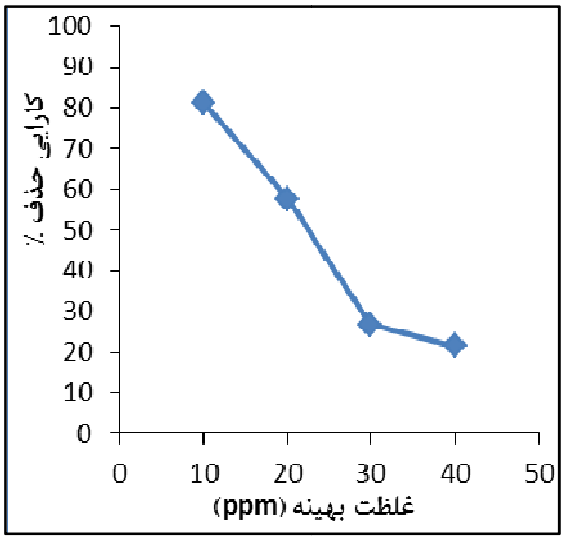
۳-۳- بررسی تاثیر غلظت

به منظور بررسی تاثیر غلظت اولیه کروم، آزمایشات در چهار غلظت ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر انجام گرفت.

در نانواکسید منیزیم با افزایش غلظت، راندمان حذف فلزات کاهش می‌یابد به نحوی که ماکزیمم حذف فلزات در غلظت ppm ۱۰ بدست آمد که کاهش حذف را می‌توان به کاهش نیروی رانشی (نیروهای بین مولکولی) و احتمالا حلالیت کم جاذب نانو در غلظت‌های بالا محلول فلزات نسبت داد.

هر چه غلظت محلول فلزات بیشتر باشد حلالیت آن با نانو کمتر می‌شود. همچنین اگر مقدار نانو را بیشتر کنیم باز بخاطر غلظت بالای فلزات حلالیت آن کمتر می‌شود و در نتیجه حذف کمتر خواهد بود.

در مطالعات انجام گرفته توسط قلی‌پور با هدف حذف کروم شش ظرفیتی از محلول‌های آبی با استفاده از نانولوله‌های کربنی به این نتیجه دست پیدا کردند که با افزایش غلظت اولیه یون‌های فلزی میزان جذب این یون‌ها کاهش می‌یابد که نتایج آن نزدیک به نتایج بدست آمده در پژوهش حاضر می‌باشد [۹].

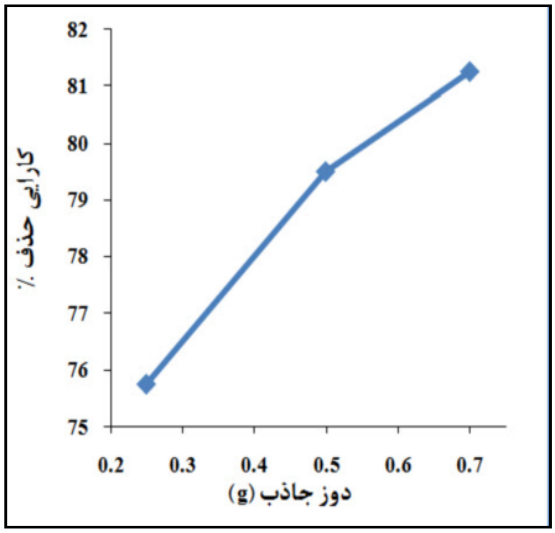


شکل ۴: تاثیر غلظت اولیه کروم (در حضور ۰/۷ گرم جاذب، زمان و pH بهینه، در زمان تعادل و دور همزن ۲۴۰ دور در دقیقه).

۳-۴- بررسی تاثیر دوز جاذب

به منظور بررسی تاثیر مقدار اولیه جاذب‌ها بر میزان حذف فلزات، میزان دوز جاذب در سه مقدار ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷ گرم در لیتر انجام گرفت. بر اساس نتایج مشاهده شده با افزایش غلظت جاذب در محلول‌ها مقدار حذف فلز کروم به مقدار قابل توجهی افزایش می‌یابد. می‌توان این افزایش حذف را به افزایش سطح ویژه و افزایش احتمال برخورد میان ذرات جاذب و یون‌های فلز نسبت داد. نتایج کارهای دیگر پژوهشگران نیز در موارد زیادی با این نتایج همخوانی نسبتا زیادی دارد که نشان دهنده صحت نتایج بدست آمده در این پژوهش است، برای نمونه در پژوهشی به منظور حذف کروم شش ظرفیتی با افزودن نانوذرات اکسید آهن به فیلتر خاک توسط منافی و همکارانش صورت گرفت، آنها به این نتیجه رسیدند با افزایش میزان دوز جاذب کارایی جذب کروم افزایش می‌یابد [۲]. همچنین در کار دیگری که توسط رحمانی و همکارانش با عنوان سنتز نانوذرات آهن صفر ظرفیتی (ZVI) و بررسی کارایی آن در حذف کروم (VI) از محیط‌های آبی انجام گرفت به این نتیجه رسیدند که با افزایش مقدار جاذب میزان حذف فلز بیشتر می‌شود [۲۳]. نتایج نشان داده شده در شکل ۵ نشان داده شده است که با افزایش مقدار جاذب در این پژوهش با افزایش درصد حذف فلز همراه بود. البته در این رابطه باید توجه کرد که افزایش مقدار جاذب به هر میزانی امکان‌پذیر نیست و در این رابطه محدودیت‌هایی وجود دارد، مثلا با افزایش بیش از حد مقدار جاذب ممکن است تجهیزات مورد استفاده مثل همزن یا دیگر وسایل نتوانند به درستی کار کنند و از کار بیافتند و از سوی دیگر در مورد جاذب‌های گران قیمتی مثل مواد نانو و دیگر جاذب‌های گران قیمت ممکن است، افزایش بیش از حد مقدار جاذب باعث غیراقتصادی شدن فرآیند برای استفاده شود پس باید در افزایش مقدار جاذب به مسأله هزینه تمام شده فرآیند نیز توجه داشت. همچنین نمی‌توان با اطمینان گفت که از نقطه نظر اقتصادی این فرآیند در تمامی حالات بهترین فرآیند قابل پیشنهاد برای حذف فلز کروم از آب است دلیل این امر تحت تاثیر بودن تعیین بهترین فرآیند از چند فاکتور است و نه یک فاکتور، به این معنی که در تعیین فرآیند بهینه

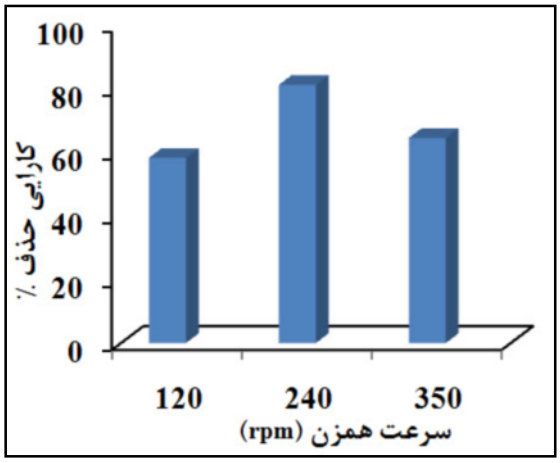
به محدودیت‌هایی از جمله استانداردهای مورد نظر زیست محیطی که باید رعایت شوند، مسأله اقتصادی بودن فرآیند، در دسترس بودن مواد و جاذب‌ها و پاره‌ای از دیگر موارد نیز باید بطور همزمان توجه شود و در نهایت فرآیندی که بیشترین سطوح بر همه فاکتورها را دارد به عنوان فرآیند بهینه انتخاب و معرفی شود.



شکل ۵: تاثیر میزان دوز جاذب (در حضور، زمان بهینه و pH بهینه، غلظت بهینه، دور همزن ۲۴۰ دور در دقیقه).

۳-۵- بررسی دور همزن

به منظور بررسی تاثیر دور همزن بهینه کروم، پژوهش در سه دور ۱۲۰، ۲۴۰ و ۳۵۰ دور در دقیقه انجام گرفت. نتایج بدست آمده در این مرحله آزمایش‌ها در شکل ۶ نشان دهنده توانایی بالای فرآیندی است که در آن از همزن تقریبا دور متوسط ۲۴۰ rpm استفاده شده است که متوسط سرعت همزن منجر به افزایش تماس بین جاذب و جذب شونده شده که باعث نفوذ مایع به عمق بیشتری از جاذب شود. در نهایت منجر به افزایش درصد جذب می‌شود. اما در حالت همزن دور بالا ۳۵۰ rpm موجود در مایع، مقداری از فلزات را که در اثر پیوندهای ضعیف حذف شده‌اند را از جاذب جدا کرده و یا در واقع مانع از حذف این یون‌ها می‌شود که در چنین حالتی تماس بین جاذب و جذب شونده بسیار کم شده است. در دور همزن پایین ۱۲۰ rpm چون فرآیند در شرایط محیطی آرامی قرار دارد و یون‌های فلزی سرعت بسیار پایینی برای برقراری پیوند دارند این امر باعث شده تماس بین جذب شونده و جاذب به کندی صورت بگیرد.



شکل ۶: بررسی تاثیر دور همزن بر کارایی حذف فلز کروم (در حضور فاکتورهای بهینه بدست آمده از مراحل قبل).

۴- نتیجه‌گیری

کروم شش ظرفیتی و ترکیب آن از مهمترین آلاینده‌های زیست محیطی و از عمده عوامل تهدید کننده سلامتی انسان و بهداشت محیط می‌باشند و با توجه به داده‌های بدست آمده در پژوهش انجام شده در رابطه با جذب کروم بر روی نانوذرات اکسید منیزیم مشخص گردید که نانوذرات اکسید منیزیم ظرفیت بالایی دارد و با توجه به اهمیت جداسازی این فلز از پساب‌ها، نتیجه این تحقیق می‌تواند راهکاری جدید در این زمینه باشد. نتایج بدست آمده نشان داد که واکنش در محدوده وسیعی از pH صورت گرفته و بیشترین کارایی حذف در pH بازی بدست آمد. همچنین از آنجائیکه واکنش نانوذرات اکسید منیزیم در حذف کروم (VI) در همان دقایق اولیه می‌باشد در نتیجه بیشترین راندمان حذف کروم (VI) با غلظت اولیه کروم رابطه معکوس خطی دارد که با افزایش غلظت اولیه محلول فلزات، کارایی حذف یا همان جذب فلزات کاهش می‌یابد. می‌توان نتیجه کلی گرفت که نانوذرات اکسید منیزیم را در آینده می‌توان جهت حذف کروم از فاضلاب‌های صنعتی، به عنوان یک روش مفید، ساده و سریع، دارای کارایی بالا و جداسازی آسان نانوذرات، در صنعت آب و فاضلاب مورد استفاده قرار داد.

مراجع

[۱] پروانه اقبالی‌شمس‌آباد، محمود معماریانی، فرامرز معطر، "بررسی عناصر سنگین کروم، کادمیوم، سرب و مواد آلی در سفیدرود با نگرشی بر منشاء زمین ساختاری آنها"، مجله تالاب، شماره ۳، ۱۳۸۹، ۵۵-۳۹.

[۲] صاحبعلی منافی، صادق شکرایی، "افزودن نانوذرات اکسید آهن به فیلتر خاک برای جذب کروم"، مجله نانومواد، شماره ۱۰، ۱۳۹۱، ۴۱-۳۵.

[۳] مهدی شیرزاد سیبنی، محمدتقی صمدی، سعید عزیزیان، افشین ملکی، "مطالعه حذف کروم شش ظرفیتی از محیط‌های آبی با استفاده از جذب بر روی رزین آنیونی بازی قوی و مطالعه تعدلی و سنیتیکی"، مجله آب و فاضلاب ایران، شماره ۳، ۱۳۹۰، ۱۸-۱۰.

[۴] عباس خدابخشی، محمد مهدی امین، مرتضی سدهی، "حذف کروم شش ظرفیتی از پساب شبیه‌سازی شده صنایع آبکاری توسط نانوذرات مگنتیت"، مجله دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد، شماره ۴، ۱۳۹۰، ۱۰۱-۹۴.

[۵] مقدی دراوانسیان، مسعود بهشتی، "مدلسازی سنتیک و ایزوترم جذب فلز کروم از آب توسط نانوذرات گاما آلومینا"، چهاردمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران، تهران، ایران، مهر ماه ۱۳۹۱.

[۶] میترا محمدی، امیر فتوت، غلامحسین حق‌نیا،"بررسی کارایی فیلتر شن-خاک-ماده آلی، در حذف فلزات سنگین مس، نیکل، روی و کروم از فاضلاب صنعتی"، مجله آب و خاک علوم و صنایع کشاورزی، شماره ۱، ۱۳۸۸، ۲۶۲-۲۵۱.

[7] F. Fu, Q. Wan, *Journal of Environmental Management*, **92** 2010, 407.

[8] A. Roger, S. Enzyme, *Adv. Synth. Catal.*, **349**, 2007,1289.

[۹] مینا قلی‌پور، حسن هاشمی‌پور، عطاالله سلطانی، "حذف کروم شش ظرفیتی از محلول‌های آبی با استفاده از نانولوله‌های کربنی و مطالعه فرآیندهای جذب سطحی و واجذب"، اولین همایش فناوری‌های پالایش در محیط زیست، تهران، ایران، خرداد ماه ۱۳۹۰.

[۱۰] محسن عباسی، محمد فارسی، عبدالحسین جهانمیری، "بررسی امکان استفاده از فرآیندهای غشایی جهت حذف فلزات سنگین (HM) از فاضلاب‌های صنعتی"، مجله مهندسی شیمی ایران، شماره ۵۴، ۱۳۹۰، ۵۰-۴۰.

[11] A. Pathak, M.G. Dastidar, T.R. Sreekrishnan, *Journal of Environmental Management*, **90**, 2009, 2343.

[۱۲] سید محید برقعی، سمیرا کمالی، محمود قرآن‌نویس، "سنتز نانوذرات اکسید منیزیم HFCDF و اثر تغییر دما بر روی سایر ذرات"، اولین کنفرانس علوم و فناوری نانو، یزد، بهمن ۱۳۸۹.

[13] Y. Keqiang Zhang, F.E. Wang, L. Lin, *Desalination*, **281**, 2011, 30.

[14] G.H. Moussavi, M. Mahmoudi, *Journal of Hazardous Materials*, **168**, 2009, 806.

[15] G.H. Moussavi, A.L. khavanin, R. Alizadeh, *Applied Catalysis B: Environmental*, **97**, 2010, 160.

[16] V.I. Kumar Das, A.S. Jyoti Thakur, *Tetrahedron Letters*, **54**, 2013, 4164.

[۱۷] رقیه نوروزی، علیرضا رحمانی، محمدتقی صمدی، "بررسی و کارایی نانوذرات آهن تولید شده در حذف کروم از محلول‌های آبی"، یازدهمین همایش ملی بهداشت محیط، زاهدان، ایران، آبان ماه ۱۳۸۷.

[18] M.I. Zhang, B. Gao, Y.I. Yao, Y. Xue, *Chemical Engineering Journal*, **210**, 2012, 26.

[۱۹] زمان شامحمدی حیدری، مصطفی خواجه، "اثر تغییرات جرم جاذب خاک اره بر سنتیک جذب فلز کروم در محیط آبی"، مجله محیط‌شناسی، شماره ۵۶، ۱۳۸۹، ۶۸-۶۱.

[20] T.G. Venkatesha, Y. Arthoba Nayaka, B.K. Chethana, *Applied Surface Science*, **276**, 2013, 620.

[۲۱] لیلا نیازی، اصغر لشنی‌زادگان، محمودرضا رحیمی، "مدلسازی و طراحی نیمه صنعتی جذب کروم با پوست بلوط فعال‌سازی شده"، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه یاسوج، یاسوج،۱۳۹۰.

[۲۲] حافظ گلستانی‌فر، انور اسدی، محمد هادی دهقانی، "حذف کروم (VI) از محلول‌های آبی با استفاده از فرآیندهای UV/ZnO و UV/TiO_2"، مجله دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی، شماره ۴، ۱۳۹۰، ۱۳-۷.

[۲۳] علیرضا رحمانی، حمیدرضا غفاری، محمدتقی صمدی، منصور ضرابی، "سنتز نانوذرات آهن صفر ظرفیتی (ZVI) و بررسی کارآیی آن در حذف آرسنیک از محیط‌های آبی"، مجله آب و فاضلاب، شماره ۱، ۱۳۹۰، ۴۱-۳۵.