

حذف کروم شش ظرفیتی از محلول‌های آبی توسط نانو ذرات مغناطیسی اصلاح شده

محمد علی سلمان پور

مهندسی محیط زیست، آب و فاضلاب، واحد علوم تحقیقات تهران

چکیده

کروم یک آلاینده شناسایی شده در خاک و آب‌های زیرزمینی می‌باشد و بطور گسترده‌ای در صنایع استفاده می‌شود. در این پژوهش با سنتز استفاده نانو ذره مغناطیسی اصلاح شده (NiFe_2O_4) جذب کروم (VI) از محلول‌های آبی حاوی آن مورد بررسی قرار گرفت. جهت تعیین میزان جذب فلزات توسط نانو ذرات مغناطیسی اصلاح شده مقادیر مختلفی از جاذب (0.125 و 0.25 و 0.5 گرم) تحت شرایط pHهای مختلف (2 و 4 و 6 و 8 و 10) و دماهای مختلف (27 و 35 و 42 درجه سانتی‌گراد) و مدت زمان تماس‌های (15 و 30 و 45 دقیقه) و غلظت‌های مختلف کروم شش ظرفیتی (5 و 10 و 15 PPM) با نمونه سنتتیک تماس داده شدند. نتایج حاکی از آن بود میزان حذف فلز کروم (VI) بوسیله نانو ذرات از محلول حاوی آن تحت شرایط بهینه 97.28% بود. از میان متغیرهای مورد بررسی، pH نقش مهمی در میزان جذب فلز داشت به طوری که در pH برابر ۷ بیشترین جذب فلز مشاهده شد. بنابراین با توجه به نتایج استفاده از نانو ذرات مغناطیسی اصلاح شده به دلیل دستیابی راحت، اقتصادی بودن و منطبق بودن با استانداردهای زیست محیطی گزینه مناسبی برای حذف فلز کروم از پساب صنایع می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: جذب سطحی، نانو ذرات مغناطیسی، کروم (VI)، پساب صنایع

مقدمه

رها شدن و پخش مواد سمی در محیط زیست می تواند اثرات نامطلوبی بر انسان ها و سایر موجودات زنده بگذارد. افزایش بی رویه و شدید در تولید و مصرف فلزات سنگین طی چند دهه گذشته باعث شده است که مقادیر زیادی از آن ها وارد محیط های آبی شده و به علت عدم تجزیه بیولوژیکی باعث بروز اثرات مخرب می شوند اغلب این یون ها برای موجودات زنده سمی هستند. فلزات سنگین با ایجاد مکانیسم های متعدد موجب به هم خوردن تعادل در موجودات زنده به ویژه انسان می شوند و طیف گسترده ای از عوارض و اختلالات را به وجود می آورند که به فاکتورهای مختلفی از جمله نوع فلز بستگی دارند. پساب های خروجی صنایع معمولاً حاوی فلزات سنگین با غلظت های مختلف از ده ها تا صدها میلی گرم بر لیتر می باشند و بنابراین کاهش غلظت فلزات سنگین در پساب های خروجی به حد قابل قبول، قبل از تخلیه به فاضلاب برای صنایع بسیار ضروری است در میان آلاینده ها Cr(III) و Cr(VI) انواع اکسید کروم هستند که در محیط یافت می شوند. خطرات کروم اکثراً مربوط به Cr(VI) با توجه به سمی بودن بالای آن برای سیستم های بیولوژیکی است. منابع اصلی کروم در سیستم های آبی، محلول های خروجی پوشش دهی، صنایع رنگ و چرم، تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی و کاتالیست ها می باشند. ماکزیمم استاندارد کروم در آب های خوراکی را ۰/۱ میلی گرم بر لیتر تعیین کرده اند (جوادی، ۱۳۸۸).

حالت پایدار کروم به صورت سه ظرفیتی است. کروم شش ظرفیتی به آسانی توسط عوامل مختلف احیا می شود. کروم بیشتر به صورت آلیاژهای کروم، در آب کاری، عوامل اکسیدکننده، حفاظت و پوشش، رنگ سازی، منسوجات، سرامیک، شیشه و عکاسی کاربرد دارد. میزان کروم در آب به واسطه حلالیت آن، حدود ۱۰ میکروگرم در لیتر است ولی در مناطق آلوده ترکیبات سه و شش ظرفیتی به صورت نمک های محلول همراه با ذرات معلق در غلظت های بالاتری یافت می شود. کروم سه ظرفیتی pH طبیعی به هیدروکسیل نامحلول تبدیل می شود مقدار کروم در آب ندرتاً به بیش از ۲۵ میکروگرم در لیتر می رسد. کروم سه ظرفیتی به میزان ناچیزی در آب آشامیدنی کله یافت می شود. لذا بیشتر کروم موجود در بدن انسان از نوع شش ظرفیتی است. اطلاعات بسیار محدودی در خصوص آلودگی کروم در هوای تنفسی وجود دارد. غلظت کروم در هوای مناطق شهری به طور عادی ۰/۲ میکروگرم و در هوای آلوده تا ۴ میکروگرم در مترمکعب می باشد. از آن جایی که میانگین هوای تنفسی انسان روزانه ۲۲ مترمکعب و جذب کروم در ریه ها به میزان ۵۰ درصد است، تخمین زده می شود روزانه حدود ۲ میکروگرم کروم از طریق تنفسی جذب می شود. کروم موجود در گرد و غبار ناچیز و قابل اغماض است. میزان جذب کروم از طریق غذا و آشامیدن ۲۰ درصد و از طریق تنفسی ۵۰ درصد تخمین زده می شود (دروار، ۱۳۸۴).

کروم یک آلاینده شناسایی شده در خاک و آب های زیرزمینی می باشد و بطور گسترده ای در صنایع استفاده می شود و در ایالت متحده امریکا به عنوان آلاینده اصلی در نظر گرفته می شود. کروم سمی و سرطان زا برای انسان و حیوانات است. در محیط کروم (VI) تحرک زیرسطحی دارد که آسیب زیادی به محیط زیست می زند در مقابل، کروم (III) سمیت بسیار کمتری دارد و می تواند یک غذا برای انسان و حیوانات باشد. بنابراین، کاهش کروم (VI) به کروم (III) سازگار با محیط زیست می باشد و روش های عملی را در بازسازی از سایت های زیست محیطی می باشد. تحقیقات زیادی در بازسازی کروم (VI) متمرکز شده است و بسیاری از فرایندهای تصفیه پیشرفت کرده است اما با وجود صرف هزینه های بالا کروم حذف نشده است بلکه منتقل شده است. بازسازی زیستی توسط زنجیره ای از باکتری ها بطور موثری کروم (VI) را تجزیه می کند که از نظر اقتصادی بصره است اما سموم باکتریایی در بسیاری از سایت های فاضلاب رشد و کارایی باکتری ها را محدود می کند (Shao-feng, 2005).

عمده فرم های کروم (VI) در سیستم های آبی آنیون های کرومات و دی کرومات می باشد که از عملیات های مختلف صنعتی از جمله صنایع فلزکاری و دباغی چرم آزاد می شود. فاضلاب محتوی کروم (VI) حاصل از این فرایندها بوسیله سیستم های فاضلاب خانگی و با تصفیه اندک در برخی مناطق توسعه نیافته دفع می شود انواع روش هایی که برای حذف کروم (VI) از فاضلاب توسعه یافته است از قبیل جذب، تبادل یونی، رسوب شیمیایی، الکترورسوب و اسمز معکوس

است. در میان این روش‌ها رسوب و جذب بطور گسترده‌ای استفاده می‌شوند. در این روش‌ها کروم(VI) به کروم(III) با سمیت بسیار کمتر و حلالیت هیدروکسید محدود شده تبدیل می‌شود (Yuan P, 2010).

در میان تکنولوژی‌های موجود جهت حذف Cr(VI) صنعتی، عموماً احیای شیمیایی از طریق ترسیب رایج‌ترین روش حذف است. روش‌های دیگر مانند تعویض یونی نیز به کار می‌رود اما با توجه به هزینه‌های بالا این روش‌ها اقتصادی نیستند. بنابراین روش جذب یک تکنولوژی جدید و مناسب است که جهت حذف فلزات سنگین از آب‌های آلوده پیشنهاد شده است. با انتخاب یک جاذب مناسب، فرآیند جذب می‌تواند یک روش موثر جهت حذف گونه‌های خاص آلاینده‌ها باشد (جوادی، ۱۳۸۸). با توجه به اینکه کروم یک آلاینده شناسایی شده در خاک و آب‌های زیرزمینی می‌باشد و بطور گسترده‌ای در صنایع استفاده می‌شود و در ایالت متحده آمریکا به عنوان آلاینده اصلی در نظر گرفته می‌شود. کروم سمی و سرطان‌زا برای انسان و حیوانات است. در محیط کروم(VI) تحرک زیرسطحی دارد که آسیب زیادی به محیط زیست می‌زند (Shao-feng, 2005) بنابراین ضروری است که نسبت به تصفیه پساب‌های حاوی آن آلاینده قبل از تخلیه آن در محیط اقدام کرد لذا در این تحقیق با سنتز نانوذره مغناطیسی اصلاح شده (NiFe₂O₄) سعی شده است تا از ورود این آلاینده به محیط جلوگیری بشود.

ادبیات تحقیق

فی و همکاران (۲۰۱۱)^۴ تحقیقی را در زمینه حذف موثر یون‌های فلزات سنگین Zn²⁺, Pb²⁺ و Cu²⁺ از محلول‌های آبی توسط پلیمر اصلاح شده نانوذرات مغناطیسی انجام دادند. در این تحقیق نانو ذرات Fe₃O₄ با ۳ آمینو پروپیل تری اکسی سیلان و همچنین پلیمرهای اسید آکریلیک و اسید کروتونیک اصلاح شدند. نتایج حاکی از آن بود که نانو ذرات مغناطیسی می‌توانند به طور کارآمد در pH=۵.۵ بیشترین جذب را داشته و باعث حذف Zn²⁺, Pb²⁺ و Cu²⁺ شوند و همچنین می‌توانند به عنوان جاذب در شرایط مناسب دوباره استفاده شوند.

پانیرسلووم و همکاران (۲۰۱۱)^۱ تحقیقی در زمینه حذف نیکل(II) از محلول‌های آبی توسط نانوذرات مغناطیسی Fe₃O₄ آغشته شده به ضایعات چای انجام دادند. نتایج نشان داد جذب نیکل با افزایش درجه حرارت از ۳۰۳ به ۳۲۳ کلوین افزایش می‌یابد. همچنین نتایج حاکی از آن بود که نانوذرات مغناطیسی آغشته به ضایعات چای ناشی از زیست توده‌های کشاورزی می‌توانند برای حذف فلزات از پساب‌های صنعتی مورد استفاده قرار گیرند.

وانگ و چن (۲۰۱۲)^۲ توانایی بالای حذف کادمیوم، سرب و مس از آب توسط نانوذرات Fe₂O₃ اصلاح شده با تیول و اسید هومیک را گزارش دادند.

چنگ و همکاران (۲۰۱۲)^۳ سنتز و خواص نانوذرات اکسید آهن و کاربردشان در حذف فلزات سنگین از فاضلاب صنعتی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد جذب سرب به شدت به pH بستگی دارد Pb²⁺ از فاضلاب در عرض ۱۵ دقیقه انجام شد.

4-Fei et al (2011)

1- Paneerselvam et al (2011)

2- Wang and Chen (2012)

3- Cheng et al (2012)

علیزاده و همکاران (۱۳۹۰) پژوهشی را در زمینه حذف فلز سرب از پساب صنایع باتری‌سازی با استفاده از نانوذرات مغناطیسی آهن انجام دادند. نتایج این پژوهش بیانگر درصد حذف بالای سرب از پساب واقعی (با راندمان ۷۰٪) در pH اسیدی (۵.۵-۶) و دمای محیط می‌باشد.

معاذ و همکاران (۱۳۹۱) حذف کادمیوم از محلول‌های آبی توسط نانورس را انجام دادند و مشخص شد نانورس دارای مزایایی از قبیل کارایی حذف در غلظت‌های بالا و زمان واکنش کوتاه می‌باشد.

ایدریس و همکاران (۱۳۹۲) ۴ سنتز آلزینات مغناطیسی بر روی نانوذرات مگه‌میت برای حذف سرب از محلول‌های آبی را بررسی کردند و بیان کردند این نانوذرات می‌توانند به طور بالقوه برای حذف فلزات از فاضلاب استفاده شوند و حداقل ۵ بار قبل از دست دادن خاصیت خود مورد استفاده قرار گیرند.

روش تحقیق

ابتدا ۲۵۰ میلی‌لیتر آمونیاک را با استفاده از دستگاه هیتر و همزن درون بشر ۵۰۰ میلی‌لیتر به درجه جوش رسانیدیم (شکل ۳-۱) و سپس ۴۰ میلی‌لیتر محلول $FeCl_3$ یک مولار و ۱۰ میلی‌لیتر محلول $NiCl_2$ یک مولار (شکل ۳-۲) را همزمان به آن اضافه نمودیم و به مدت ۹۰ دقیقه توسط همزن مغناطیسی مخلوط نمودیم. پس از سرد شدن رسوب ایجاد شده را با آب مقطر شستشو دادیم و عمل شستشو سه بار تکرار گردید سپس رسوب را درون آن با دمای ۱۰۰ درجه قرار دادیم تا کاملاً خشک گردید (شکل ۳-۳) و بعد از آن رسوب را درون کوزه چینی گذاشته و به مدت ۶ ساعت درون کوره در دمای ۶۰۰ درجه گذاشتیم همچنین ۱۰۰۰ میلی‌لیتر محلول ۱۰۰۰ ppm از $k_2Cr_2O_7$ تهیه گردید و در مراحل آزمایش از آن استفاده گردید برای ترسیم منحنی کالیبراسیون غلظت‌های ۱ ppm و ۵ ppm و ۱۶۰ ppm و ۸۰ ppm و ۴۰ ppm و ۲۰ ppm / از محلول دی کرومات پتاسیم تهیه گردید و سپس در دستگاه اسپکتروفتومتر جذب در طول موج ۵۴۰ نانومتر قرائت گردید

تاثیر pH بر حذف کروم از محلول آبی

۵۰ میلی‌لیتر محلول دی کرومات پتاسیم با غلظت ۵ ppm را درون بشرهای مختلف ریخته و محلول HCl را به آن‌ها اضافه نمودیم تا pH برابر ۴،۲، ۸، ۱۰ و تنظیم شود و محلول را به درون ارلن مایر ریختیم و مقدار ۲۵۰ گرم نانوذره مغناطیسی را به آن اضافه کردیم به مدت ۳۰ دقیقه با شیکر مغناطیسی مخلوط نمودیم سپس به مدت ۲ ساعت بر روی صفحه مغناطیسی قرار دادیم سپس ۱/۵ میلی‌لیتر را از محلول را درون بشر ریختیم و مقدار ۲۳/۵ میلی‌لیتر آب مقطر و مقدار ۱ میلی‌لیتر محلول اسید سولفوریک و ۱/۵ میلی‌لیتر معرف دی‌فنیل کاربامازید به آن اضافه کردیم و پس از ۵ دقیقه با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۴۰ نانومتر میزان جذب نور قرائت گردید (آزمایش با سه بار تکرار انجام شد).

تاثیر میزان جاذب بر حذف کروم

۵۰ میلی‌لیتر محلول دی کرومات پتاسیم با غلظت ۵ ppm را درون بشر ریخته و محلول HCl را به آن اضافه نمودیم تا pH برابر ۲ تنظیم شود و محلول را به درون ارلن مایر ریختیم و مقدار ۱۲۵ گرم و ۲۵۰ گرم و ۵۰۰ گرم نانوذره مغناطیسی را به آن اضافه کردیم به مدت ۳۰ دقیقه با شیکر مغناطیسی مخلوط نمودیم سپس به مدت ۲ ساعت بر روی صفحه مغناطیسی قرار دادیم سپس ۱/۵ میلی‌لیتر را از محلول را درون بشر ریختیم و مقدار ۲۳/۵ میلی‌لیتر آب مقطر و مقدار ۱ میلی‌لیتر محلول اسید سولفوریک و ۱/۵ میلی‌لیتر معرف دی‌فنیل کاربامازید به آن اضافه کردیم و پس از ۵ دقیقه با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۴۰ نانومتر میزان جذب نور قرائت گردید (آزمایش با سه بار تکرار انجام شد).

تاثیر میزان جاذب بر حذف کروم

۵۰ میلی لیتر محلول دی کرومات پتاسیم با غلظت ۵ppm را درون بشر ریخته و محلول HCl را به آن اضافه نمودیم تا pH برابر ۲ تنظیم شود و محلول را به درون ارلن مایر ریختیم و مقدار ۱۲۵/۱ گرم و ۲۵۰/۱ گرم و ۵۰۰/۱ گرم نانوذره مغناطیسی را به آن اضافه کردیم به مدت ۳۰ دقیقه با شیکر مغناطیسی مخلوط نمودیم سپس به مدت ۲ ساعت بر روی صفحه مغناطیسی قرار دادیم سپس ۱/۵ میلی لیتر را از محلول را درون بشر ریختیم و مقدار ۲۳/۵ میلی لیتر آب مقطر و مقدار ۱ میلی لیتر محلول اسیدسولفوریک و ۱/۵ میلی لیتر معرف دی فنیل کاربامازید به آن اضافه کردیم و پس از ۵ دقیقه با دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۵۴۰ نانومتر میزان جذب نور قرائت گردید (آزمایش با سه بار تکرار انجام شد).

تاثیر غلظت محلول بر حذف کروم VI

۵۰ میلی لیتر محلول دی کرومات پتاسیم با غلظت ۱۵،۱۰ ppm و ۵ را درون بشر ریخته و محلول HCl را به آن اضافه نمودیم تا pH برابر ۲ تنظیم شود و محلول را به درون ارلن مایر ریختیم و مقدار ۵۰۰/۱ گرم نانوذره مغناطیسی را به آن اضافه کردیم به مدت ۳۰ دقیقه با شیکر مغناطیسی مخلوط نمودیم سپس به مدت ۲ ساعت بر روی صفحه مغناطیسی قرار دادیم سپس ۱/۵ میلی لیتر را از محلول را درون بشر ریختیم و مقدار ۲۳/۵ میلی لیتر آب مقطر و مقدار ۱ میلی لیتر محلول اسید سولفوریک و ۱/۵ میلی لیتر معرف دی فنیل کاربامازید به آن اضافه کردیم و پس از ۵ دقیقه با دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۵۴۰ نانومتر میزان جذب نور قرائت گردید (آزمایش با سه بار تکرار انجام شد).

تاثیر مدت زمان تماس محلول و جاذب بر حذف کروم VI

۵۰ میلی لیتر محلول دی کرومات پتاسیم با غلظت ۵ppm را درون بشر ریخته و محلول HCl را به آن اضافه نمودیم تا pH برابر ۲ تنظیم شود و محلول را به درون ارلن مایر ریختیم و مقدار ۵۰۰/۱ گرم نانوذره مغناطیسی را به آن اضافه کردیم و مدت زمان های ۱۵ دقیقه، ۳۰ دقیقه، ۴۵ دقیقه اختلاط محلول و جاذب توسط شیکر مغناطیسی را مورد آزمایش قرار دادیم سپس به مدت ۲ ساعت بر روی صفحه مغناطیسی قرار دادیم سپس ۱/۵ میلی لیتر را از محلول را درون بشر ریختیم و مقدار ۲۳/۵ میلی لیتر آب مقطر و مقدار ۱ میلی لیتر محلول اسیدسولفوریک و ۱/۵ میلی لیتر معرف دی فنیل کاربامازید به آن اضافه کردیم و پس از ۵ دقیقه با دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۵۴۰ نانومتر میزان جذب نور قرائت گردید (آزمایش با سه بار تکرار انجام شد).

تاثیر دما بر روی حذف کروم VI از محلول های آبی

۵۰ میلی لیتر محلول دی کرومات پتاسیم با غلظت ۵ppm را درون بشر ریخته و محلول HCl را به آن اضافه نمودیم تا pH برابر ۲ تنظیم شود و محلول را به درون ارلن مایر ریختیم و مقدار ۵۰۰/۱ گرم نانوذره مغناطیسی را به آن اضافه کردیم به مدت ۴۵ دقیقه و در دماهایی ۲۷ درجه سانتی گراد و ۳۵ درجه سانتی گراد و ۴۲ درجه سانتی گراد با شیکر مغناطیسی مخلوط نمودیم سپس به مدت ۲ ساعت بر روی صفحه مغناطیسی قرار دادیم سپس ۱/۵ میلی لیتر را از محلول را درون بشر ریختیم و مقدار ۲۳/۵ میلی لیتر آب مقطر و مقدار ۱ میلی لیتر محلول اسید سولفوریک و ۱/۵ میلی لیتر معرف دی فنیل کاربامازید به آن اضافه کردیم و پس از ۵ دقیقه با دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۵۴۰ نانومتر میزان جذب نور قرائت گردید (آزمایش با سه بار تکرار انجام شد).

روش آماری

جهت مقایسه تاثیر فاکتورهای مورد آزمایش بر جاذب نرم افزار spss استفاده گردید و از دستور Standardized coefficients استفاده گردید.

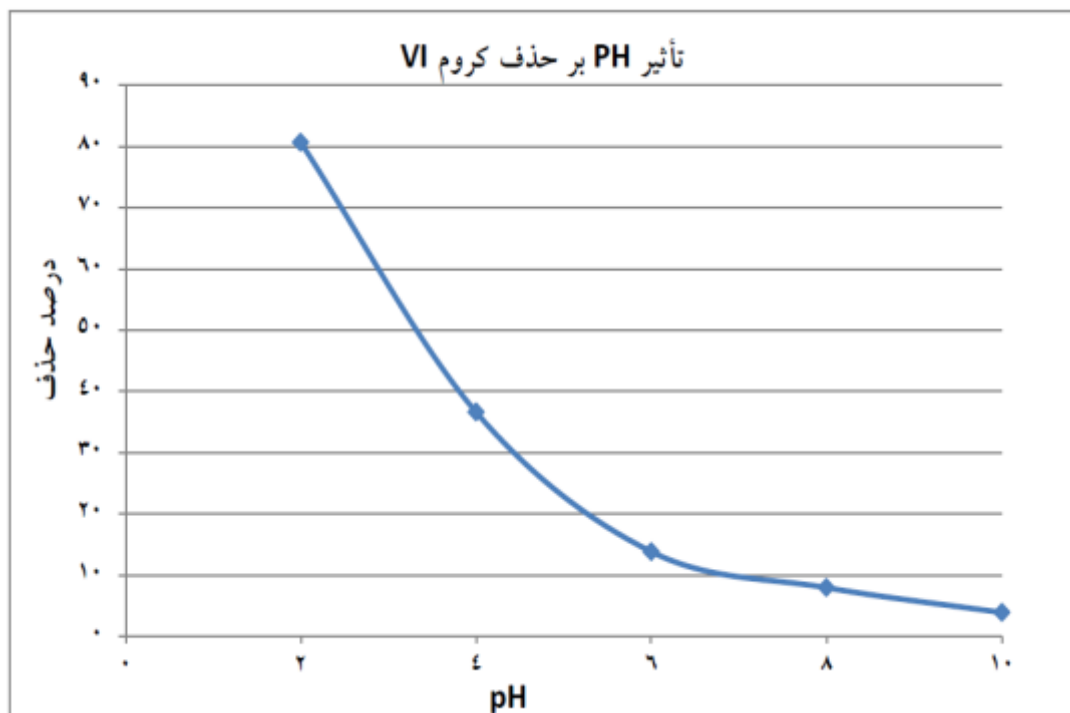
یافته ها

نتایج حاصل از اثر pH

جهت بررسی اثر pH بر حذف کارایی یون کروم (VI) در مقادیر pH مختلف در دامنه ۲ تا ۱۰ مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج آن در جدول (۱) و نمودار (۴) ارائه شده است.

جدول ۱. نتایج حاصل از اثر pH

درصد حذف	pH
۸۰.۶۵۵	۲
۳۶.۶۳۵	۴
۱۳.۸۳۵	۶
۷.۹۶۵	۸
۳.۹۰۲	۱۰



نمودار ۱. تأثیر pH بر حذف کروم VI

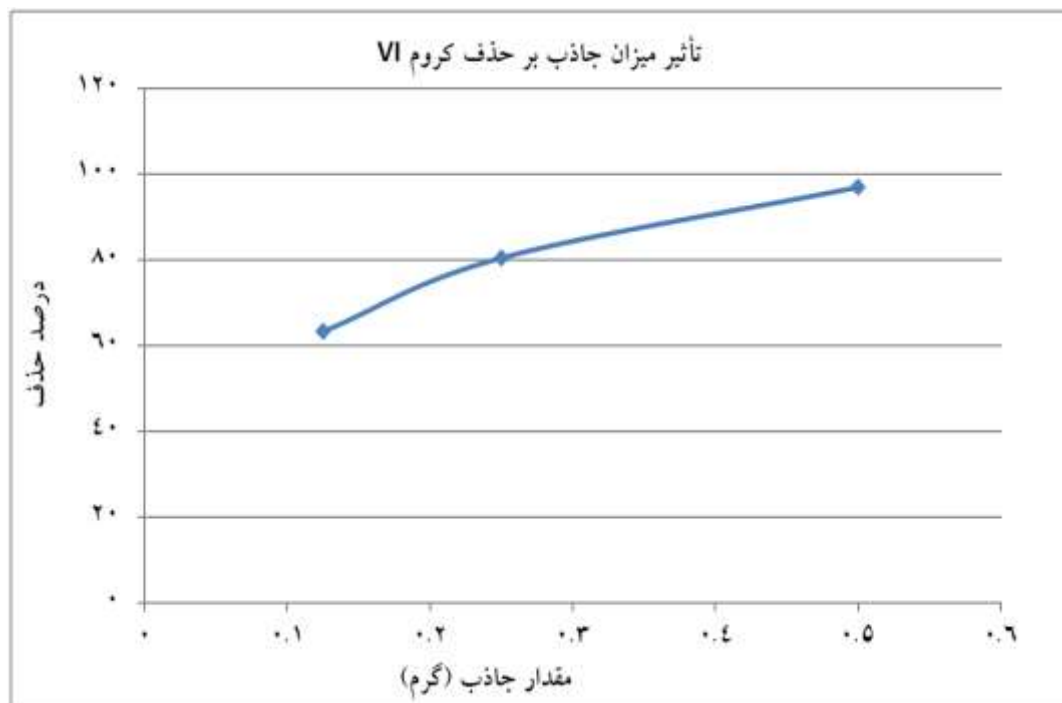
به منظور مقایسه تأثیرگذاری pH با سایر فاکتورهای مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار SPSS ضریب کارایی $\beta = -0.908$ محاسبه گردید

نتایج حاصل از تاثیر میزان جاذب بر حذف کروم VI

جهت بررسی میزان تاثیر مقدار جاذب بر حذف کروم مقدارهای ۱۲۵/۰ و ۲۵۰/۰ و ۵۰۰/۰ گرم نانوذره مغناطیسی انتخاب گردید. نتایج در جدول (۲) و نمودار (۲) نمایش داده شده است.

جدول ۲. نتایج حاصل از تاثیر میزان جاذب بر حذف کروم VI

میزان جاذب میلی گرم	% حذف
۰.۱۲۵	۶۳.۲۷
۰.۲۵	۸۰.۴۲
۰.۵	۹۶.۹۰



نمودار ۲. تاثیر میزان جاذب بر حذف کروم VI

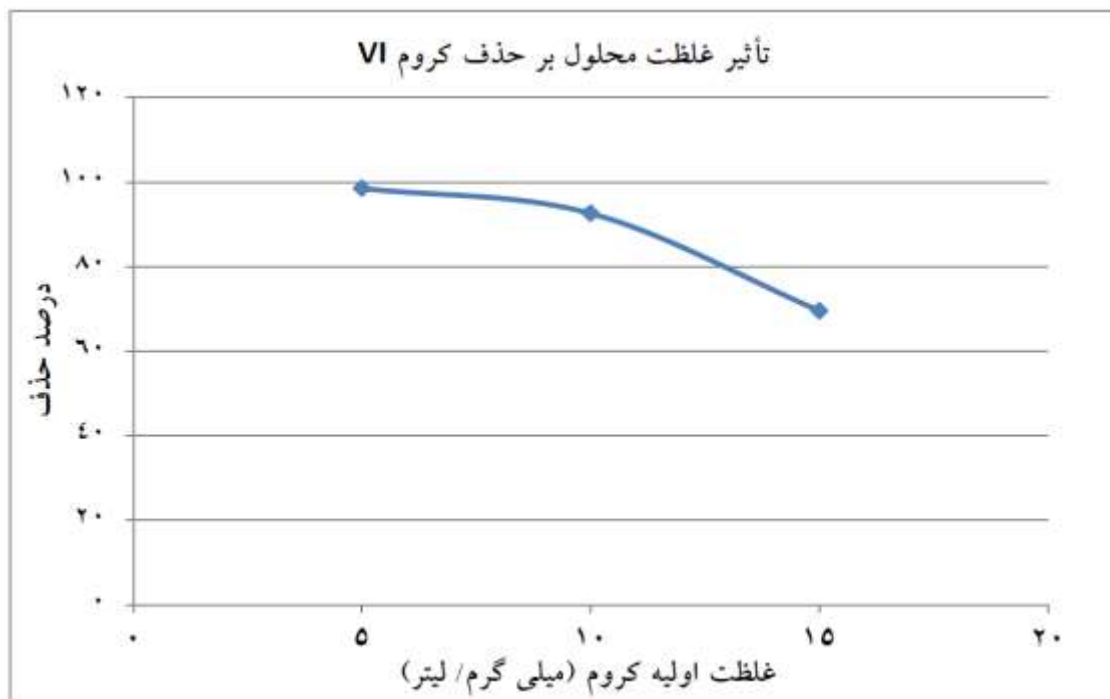
با استفاده از رگرسیون چندمتغیره در نرم افزار spss میزان تأثیرگذاری مقدار جاذب بر حذف کروم VI محاسبه گردید $BETA=980$

تأثیر غلظت محلول بر حذف کروم VI

محلول کروم با غلظت های ۵ و ۱۰ و ۱۵ ppm تهیه گردید و با جاذب به میزان ۵۰۰ گرم نانودرصد حذف کروم مورد آزمایش قرار گرفت که نتایج آن در جدول (۳) و نمودار (۳) آمده است.

جدول ۳. تأثیر غلظت محلول بر حذف کروم VI

غلظت ppm	% حذف
۵	۹۸.۴۹
۱۰	۹۲.۵۸
۱۵	۹۶.۵۵



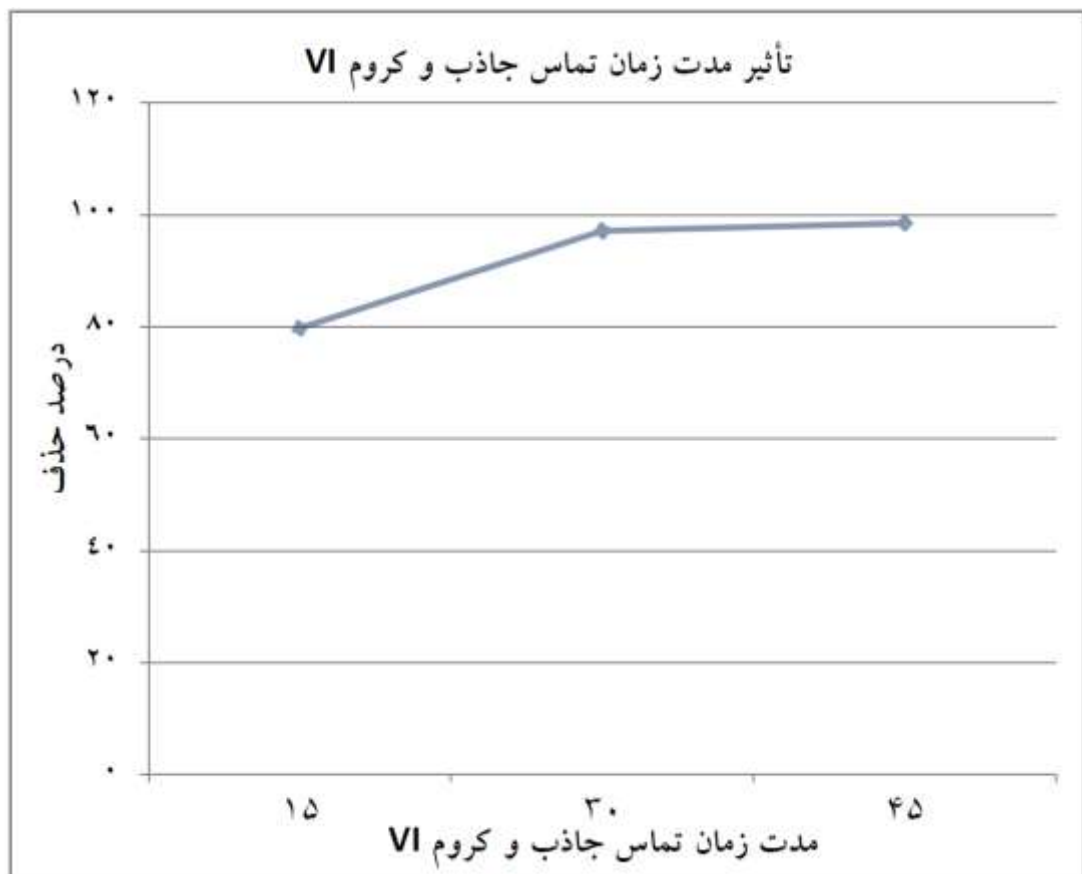
نمودار ۳. تأثیر غلظت محلول بر حذف کروم VI

تاثیر مدت زمان تماس محلول و جاذب بر حذف کروم VI

مدت زمان‌های ۱۵ و ۳۰ و ۴۵ دقیقه مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج مطابق جدول شماره (۴) و نمودار شماره (۴) حاصل گردید.

جدول ۴. تاثیر مدت زمان تماس محلول و جاذب بر حذف کروم VI

زمان تماس دقیقه	% حذف
۱۵	۷۹.۷۵
۳۰	۹۷.۱۳
۴۵	۹۸.۴۹



نمودار ۴. تاثیر مدت زمان تماس محلول و جاذب بر حذف کروم VI

تاثیر دما بر روی حذف کروم VI

برای مورد آزمایش قرار دادن اثر دما، دماهای ۲۷ و ۳۵ و ۴۲ درجه سانتی‌گراد مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج آن در جدول شماره (۵) و نمودار شماره (۵) نمایش داده شده است.

جدول ۵. تاثیر دما بر روی حذف کروم VI

درصد حذف	دما درجه سانتی‌گراد
۹۶.۹۱	۲۷
۹۷.۳۶	۳۵
۹۸.۲۶	۴۲



نمودار ۵. تاثیر دما بر روی حذف کروم VI

بررسی میزان تاثیر فاکتورهای مورد آزمایش بر کارایی جاذب

جهت مقایسه تاثیر فاکتورهای مورد آزمایش بر جاذب نرم‌افزار spss استفاده گردید و از دستورات Standardized coefficients استفاده گردید که نتایج آن در جدول (۶) آمده است.

جدول ۶. بررسی ضریب تأثیر فاکتورهای مختلف بر جاذب

ردیف	نوع فاکتور	Standardized coefficients
------	------------	---------------------------

۱	دما	۰/۹۷۴
۲	جاذب	۰/۹۸۰
۳	غلظت	۰/۹۴۶
۴	pH	۰/۹۰۸
۵	مدت زمان تماس	۰/۹۱۵

با توجه به نتایج به دست آمده مشخص گردید که بیشترین تاثیر مربوط به میزان جاذب می باشد.

نتایج

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد با کاهش عامل pH میزان جذب کروم (VI) افزایش می یابد که نتایج این تحقیق با تحقیق نازنین جوادی و همکاران (۱۳۸۸) و نتایج تحقیق Peng yuan (2009) و همکاران و همچنین با تحقیق علیرضا رحمانی (۱۳۹۰) مطابقت دارد، با افزایش مقدار جاذب میزان جذب کروم (VI) افزایش می یابد که با نتایج تحقیق علیرضا رحمانی و همکاران (۱۳۹۰) مطابقت دارد، با افزایش غلظت محلول میزان جذب کروم (VI) کاهش می یابد. تحقیق نازنین جوادی و همکاران (۱۳۸۸) و نتایج تحقیق Peng yuan (2009) و همکاران و همچنین با تحقیق علیرضا رحمانی (۱۳۹۰) مطابقت دارد، با افزایش مدت زمان تماس جاذب با محلول میزان جذب کروم (VI) افزایش می یابد که با نتایج تحقیق علیرضا رحمانی و همکاران (۱۳۹۰) مطابقت دارد و با افزایش دما تماس جاذب با محلول میزان جذب کروم (VI) افزایش می یابد که با نتایج تحقیق علیرضا رحمانی و همکاران (۱۳۹۰) و همکاران (۱۳۸۸) مطابقت دارد.

بطور کلی نتایج نشان می دهد ظرفیت جذب فلز کروم VI توسط نانوذرات مغناطیسی اصلاح شده بالا می باشد و مهم ترین دلیل توانایی حذف فلز کروم VI توسط نانوذرات مغناطیسی اصلاح شده بالا بودن مساحت سطحی نانوذرات می باشد. با توجه به این که در این روش با بکارگیری عامل مغناطیسی خارجی می توان فلز را از محلول جدا کرد بنابراین نیاز به استفاده از فیلتر نمی باشد با توجه به اینکه میزان ظرفیت جذب کروم VI با استفاده از این جاذب بستگی زیادی به PH محلول، دما، غلظت اولیه یون فلزی، زمان تماس و مقدار جاذب دارد، لذا جهت دستیابی به راندمان حذف بالاتر بایستی حالت های بهینه متغیرهای فوق در مواقع استفاده از نانوذرات مغناطیسی اصلاح شده به عنوان جاذب در حذف فلزات سنگین از پساب های صنعتی فراهم شود.

منابع

۱. اسماعیلی، ع، (۱۳۸۱)، آلاینده ها و بهداشت و استاندارد در محیط زیست، ساری، صفحه ۱۳۰-۸۴.
۲. بذرافشان، ا، محوی، ا، (۱۳۸۶)، کاربرد فرآیند الکتروکواگولاسیون با استفاده از الکترودهای آلومینیومی در حذف فلزسنگین کادمیوم از محیط های آبی، صفحه ۹-۱۵
۳. پرویزی مساعد، ح، سبحان اردکانی، س، حمیدیان، ا، (۱۳۹۱)، حذف فلزات سنگین Cr(VI) و Zn(II) از پساب توسط یونجه، نشریه محیط زیست طبیعی، مجله محیط زیست ایران، دوره ۶۵ شماره ۳، صفحه ۳۲۷-۳۱۵.
۴. جوادی، ن، رایگان، ش، سیدابراهیمی، س، ع، (۱۳۸۸)، حذف کروم (VI) از آب های آلوده توسط نانوذرات مگنتیت، سومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران.

۵. خسروی، امیر، حسینی، مجید، خضری، سمیه، حبیبی، مسعود، (۱۳۹۰)، حذف فلزات سنگین دوظرفیتی (کادمیوم، کبالت، روی و سرب) و آمونیوم از پساب‌ها با استفاده از زئولیت طبیعی استان آذربایجان غربی، اندیشه علوم- شیمی کاربردی، سال ششم، شماره ۲۰ صفحه ۳۷-۳۳.
۶. دروار، پ، (۱۳۸۴)، بررسی غلظت فلزات سنگین در رسوبات سطحی سواحل بندرعباس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد تهران شمال.
۷. دبیری، مینو، بهمن(۱۳۷۹)، آلودی محیط‌زیست، انتشارات اتحاد صفحه ۱۴۰.
۸. دیانتی تیلکی، ر، ناصری، س، شریعت، س م، (۱۳۸۱)، بررسی میزان حذف کادمیوم از آب به وسیله کربن فعال دانه‌ای (GAC)، مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران، سال دوازدهم، شماره ۳۷ صفحه ۵۹-۵۴.
۹. رحمانی، ع، نوروزی، ر، صمدی، م ت، افخمی، ع، (۱۳۸۷)، حذف کروم شش ظرفیتی از محیط آبی با استفاده از نانوذرات تولید شده. مجله سلامت و محیط، فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران، دوره اول، شماره دوم، صفحه ۷۴-۶۷.
۱۰. رحمانی، ع، نوروزی، ر، صمدی، م ت، شیرزاد سبینی، م، (۱۳۹۰)، حذف کروم شش ظرفیتی از محیط‌های آبی با استفاده از جذب بر روی پودر آهن تجاری. مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی و درمانی همدان، دوره هیجدهم، شماره سه، صفحه ۳۳-۳۹.
۱۱. علی پورتراب، شیرین، (۱۳۸۹)، حذف کادمیم از پساب‌های کشاورزی با استفاده از باگاس نیشکر، شیمی و مهندسی شیمی ایران، (۲)۲۹ صفحه ۱۰۷-۹۹.
۱۲. علیزاده، رضا، عابدینی، سوده، عموعابدینی، قاسم، (۱۳۹۰)، حذف فلز سرب از پساب صنایع، باتری‌سازی با استفاده از نانوذرات مغناطیسی آهن. نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران، دوره ۳۰، شماره ۱، صفحه ۷۷-۷۱.
۱۳. قاسمی مبتکر، حسین، کاظمیان، حسین، (۱۳۸۴)، بررسی کاربرد زئولیت‌های A و B سنتز شده از زئولیت کلینوپتیلولیت طبیعی ایران برای حذف کاتیون‌های سنگین از پساب‌های شبیه‌سازی شده، شیمی و مهندسی شیمی ایران، دوره ۲۴، شماره ۲ صفحه ۴۹-۴۳.
۱۴. کلارک، آری، (۱۳۷۹)، آلودگی دریا، ترجمه محمد علی زاهد.
۱۵. معاضد، هادی، معتمدی، فرزانه، جعفرزاده حقیقی، نعمت اله، حسینی زارع، نادر، (۱۳۹۱) حذف کادمیوم از محلول‌های آبی توسط نانورس. اولین کنفرانس بین‌المللی نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی.
۱۶. نوروزاصل، رسول، باغبان، علی، (۱۳۸۹)، سنتز نانوذرات مغناطیسی مگهمایت و بکارگیری آن برای حذف سطحی و حذف کاتیون‌های فلزات جیوه و سرب از نمونه‌های آبی، اولین کنفرانس ملی علوم و فناوری نانو.

17. Ghaedi M., Hossaini S.J. , Ramezani S., 2012, platinum nanoparticles loaded on activated carbon as novel adsorbent for the removal of congo Red, E. J. Chem., 9(1), 63-74.
18. L., Hui, Y., Bao-Xiang, Zh.,(2011), Effective removal of heavy metal ions Cu, zn, Pb, from aqueous solution by polymer, modified magnetic nanoparticles. Journal of hazardous material available,160:213-217
19. Meera sheriff begum, K. M., anantharaman, N. Removal of chromium Ions from aqueous solution and industrial effluents using magnetic fe₃o₄nano-particles. Journal adsorption science & technology. 2010: 166: 701-722.
20. nassar, n, n. Rapid removal and recovery of Pb from wastewater by magnetic nanoadsorbents. Journal of hazardous material, 2010; volume 184, Issues 1-3: 538-546.

21. Panneerselvam, P., Norhashimah, M., KahAik, T. Magnetic nanoparticle (fe₃o₄) impregnated on to tea waste for the removal of nickel from aqueous solution. Journal of hazardous material, 2011; volume 186: 160-168.
22. Wang, M., Chen, Sh. Removal of Cd, Pb and Cu from Water Using Thiol and Humic Acid Functionalized Fe₂O₃ Nanoparticles. Advanced Materials Research, 2012:518-523; 1956-1963
23. Yong-Mei H., Man C., ZHong - Bo H., 2010, Effective removal of Cu (II) ions from aqueous solution by amino - functionalized magnetic nanoparticles, J. Hazard. Mater., 184, 392-399.
24. Yuan P., Liu D., Fan M., Yang D., Zhu R., Ge F., Zhu J., He H., 2010, Removal of hexavalent chromium [Cr(VI)] from aqueous solutions by the diatomite-supported unsupported magnetit nanoparticles, J. Hazard. Mater., 173, 614-621.