



دانشگاه گوارش و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و سوم، شماره سوم، ۱۳۹۵

<http://jwsc.gau.ac.ir>

تأثیر کادمیم بر جذب کروم شش ظرفیتی (VI) توسط نانو رس کلوزایت سدیمی

*مجتبی خوش‌روش^۱، لاله دیوبند^۲، فرزانه معتمدی^۳ و گلاره ریحانی^۴

^۱استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ^۲دانشجوی دکتری گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ^۳دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی عمران- محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز،

^۴دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه علوم و تحقیقات واحد اهواز

تاریخ دریافت: ۹۴/۲/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۸/۹

چکیده

سابقه و هدف: در سال‌های اخیر نگرانی در مورد آثار درازمدت فلزات سنگین به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین آلاینده‌های زیست‌محیطی افزایش یافته است. فلزات سنگین عمدتاً از طریق تخلیه پساب‌های صنعتی و فاضلاب‌های شهری به محیط وارد می‌شوند. این فلزات ثرات نامطلوبی بر سلامتی انسان دارند که عبارتند از کاهش رشد، سرطان، آسیب به سیستم عصبی و قلبی. در حال حاضر روش‌های متنوعی برای کاهش آلودگی‌های آب و حذف فلزات سنگین از آن وجود دارد که یکی از آنها، جذب سطحی با استفاده از جاذب‌های آلی و معدنی می‌باشد. در این پژوهش، توانایی نانورس کلوزایت سدیمی برای جذب کروم شش ظرفیتی از محلول‌های تک‌عنصری (کروم) و دو عنصری (کروم- کادمیم) مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در مقیاس آزمایشگاهی و سیستم ناپیوسته با تغییر عوامل مؤثر بر فرایند جذب از جمله pH (۱-۲)، زمان تماس (۵-۱۴۴۰ دقیقه)، مقدار جاذب (۱-۵۰ گرم بر لیتر) و غلظت اولیه محلول کروم و کادمیم (۱۰-۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) انجام شد. سپس در محلول‌های تک و دو عنصری تطابق داده‌های آزمایش با ایزوترم‌های جذب فروندلیچ، لانگمویر و سیپس بررسی شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که مقدار pH بهینه جذب کروم برای سیستم تک‌عنصری برابر ۶ و برای سیستم دو عنصری برابر ۷ می‌باشد. همچنین در سیستم تک و دو عنصری بیشینه بازده حذف به ترتیب برابر ۸۲ و ۵۹/۲ درصد به دست آمد. مطالعه تأثیر زمان تماس بر فرایند جذب نشان داد که زمان تعادل حذف کروم شش ظرفیتی توسط نانو رس کلوزایت سدیمی در محلول تک‌عنصری ۲۴۰ دقیقه و در محلول ترکیبی (کروم و کادمیم)، ۱۸۰ دقیقه گردید. مقدار بهینه جاذب برای جذب یون‌های کروم از محلول تک‌عنصری و ترکیبی با غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر، به ترتیب ۵ و ۲۰ گرم بر لیتر به دست آمد. مقایسه ایزوترم‌های فروندلیچ، لانگمویر و سیپس نشان داد که مدل سیپس داده‌های سیستم تک‌عنصری را با ضریب تبیین ۰/۹۹۷۷ و شاخص خطای ۰/۱۷۵۱، بهتر از سایر مدل‌ها توصیف می‌نماید. در سیستم دو عنصری مدل فروندلیچ با ضریب تبیین ۰/۹۷۲۱ و شاخص خطای ۰/۲۸۳۱ برازش بهتری بر داده‌های آزمایشگاهی جذب دارد.

* مسئول مکاتبه: khoshravesh_m24@yahoo.com

نتیجه‌گیری: با توجه به حضور فلزات سنگین گوناگون در فاضلاب صنایع مختلف و تأثیر آن‌ها بر فرایند جذب یکدیگر توسط جاذب‌های مختلف لازم است به‌منظور دستیابی به نتایج واقعی‌تر در مطالعات جذب به این موضوع توجه شود. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نیز ثابت کرد که فرایند جذب کروم از محلول‌های تک‌عنصری و ترکیبی با جاذب یکسان کاملاً با هم متفاوت می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ایزوترم جذب، کروم، نانورس

مقدمه

نساجی و رنگ‌کاری کاربرد دارد. بنابراین فاضلاب این صنایع در هنگام تخلیه به محیط حاوی مقادیر زیادی از این آلاینده سمی می‌باشند (۸، ۲۱). برای حذف کروم از محیط‌های آبی روش‌های مختلفی از جمله اسمز معکوس، تعویض یونی، جذب و رسوب دهی شیمیایی وجود دارد که در بین این روش‌ها، فرایند جذب سطحی به دلیل سرعت بالا، هزینه کم، عملیات ساده و عدم ایجاد آلودگی‌های ثانویه یکی از مؤثرترین و اقتصادی‌ترین روش‌های حذف می‌باشد (۱۴، ۱۷). در فرایند جذب سطحی، آلاینده جذب شده از فاز مایع توسط جاذب غیرمتحرک شده و می‌توان ماده جاذب را بعد از جذب آلاینده، بدون خطر خاصی برای محیط زیست دفع و یا با استفاده از عمل واجذب، مجدداً آلاینده و جاذب را بازیافت کرد (۱۲). یکی از جاذب‌های طبیعی موجود، کانی‌های رسی هستند که توسط دو فرایند تبادل کاتیونی و جذب سطحی، نقش مهمی در تصفیه آب‌های آلوده ایفا می‌کنند. یکی از این کانی‌ها که در تکنولوژی پالایش مورد توجه قرار گرفته است، نانورس کلویزایت سدیمی ($\text{Cloisite}^{\text{®}}\text{Na}^+$) است. این کانی نوعی مونت‌موریلونیت طبیعی و یک کانی سیلیکا آلومینیوم آبدار است که از یک ورقه هشت‌وجهی آلومینا و دو ورقه چهاروجهی سیلیکا تشکیل شده است و دارای بار خالص منفی روی سطوح لایه‌لایه است (۱۹). با توجه به این‌که در فاضلاب صنایع، انواع فلزات سنگین گوناگونی وجود دارد که بر بازده جذب

یکی از عمده‌ترین آلاینده‌های محیط زیست، وجود فلزات سنگین موجود در پساب صنایع مختلف است که در سال‌های اخیر نگرانی در مورد آثار سمی درازمدت آن‌ها افزایش یافته است. کروم یکی از این فلزات است که در محیط‌های آبی به دو شکل سه و شش‌ظرفیتی وجود دارد که بسته به شرایط محیط نوع شش‌ظرفیتی می‌تواند به نوع سه‌ظرفیتی تبدیل گردد (۲، ۱۴). در محلول‌های آبی کروم سه‌ظرفیتی به‌صورت یون‌های مثبت وجود دارد و به‌علت تشکیل هیدروکسید سدیم غیرقابل حل از سمیت کم‌تری برخوردار است. اما فرم‌های مختلف کروم شش‌ظرفیتی به pH محلول وابسته است به‌طوری‌که در pH کم‌تر از ۶ به‌صورت یون‌های هیدروژن کرومات (HCrO_4^-) و دی کرومات ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$)، در pH بزرگ‌تر از ۶ به‌صورت یون کرومات (CrO_4^{2-}) وجود دارد (۹، ۲۷). کروم شش‌ظرفیتی به‌علت تحرک زیاد و سمیت بالا، موجب اثرات مخرب شدید از جمله سرطان، آسیب رساندن به بافت‌های عصبی، ریه، کبد و کلیه‌ها می‌گردد (۸، ۲۶). مقدار مجاز کروم در آب آشامیدنی توسط آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا (EPA) برابر ۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر اعلام شده است (۲). همچنین سازمان سلامت جهانی (WHO)، حداکثر غلظت مجاز کروم کل را برابر ۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر تعیین کرده است (۱۴). با توجه به این‌که کروم به‌طور گسترده‌ای در صنایع مختلف متالوژی، دباغی،

نمک‌های نیترات کادمیوم و محلول ذخیره (استوک) کروم با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از نمک دی‌کرومات پتاسیم در آب دیونیزه تهیه شدند. سایر محلول‌ها با غلظت اولیه (۱۰۰-۱ میلی‌گرم بر لیتر) به روش رقیق‌سازی با توجه به رابطه ۱، از محلول استوک و آب دیونیزه تهیه گردید.

$$N_1V_1 = N_2V_2 \quad (1)$$

که در آن، N_1 و N_2 به ترتیب غلظت محلول استوک و غلظت محلول مورد نیاز بر حسب میلی‌گرم بر لیتر و V_1 و V_2 به ترتیب حجم محلول استوک و حجم محلول مورد نیاز بر حسب میلی‌لیتر می‌باشد. مواد شیمیایی استفاده شده در این پژوهش، محصول شرکت مرک و از نوع آزمایشگاهی بودند. جهت تنظیم pH اولیه محلول‌ها از اسید هیدروکلریک و هیدروکسید سدیم ۰/۰۱ نرمال استفاده شد. تمام آزمایشات در دمای ثابت و در محدوده 2 ± 20 انجام گرفت.

آزمایش‌های جذب ناپیوسته: در این پژوهش آزمایش‌های جذب عناصر کروم و کادمیم توسط نانو رس کلویزیت سدیمی در مقیاس آزمایشگاهی، به صورت سیستم جذب ناپیوسته (Batch adsorption experiment) انجام شد. در آزمایش‌های ناپیوسته جذب پودری با محلول مخلوط شده و پس از انجام فرایند جذب، جذب فیلتر می‌شود. فرایند جذب سطحی فلزات سنگین از آب توسط سیستم‌های ناپیوسته به پارامترهای مختلفی از قبیل زمان تماس، pH اولیه محلول، غلظت اولیه محلول، مقدار جذب، سرعت اختلاط و درجه حرارت محلول بستگی دارد. برای دستیابی به بهترین شرایط جذب لازم است در هر مرحله همه پارامترها ثابت و تغییر یکی از این پارامترها بر فرایند جذب مورد بررسی قرار گیرد. سپس بهترین مقدار پارامتر به دست آمده، به عنوان فاکتور ثابت مراحل

یکدیگر توسط جاذب‌های مختلف تأثیر زیادی دارند، لازم است به منظور دستیابی به نتایج واقعی‌تر در خصوص بررسی توانایی جاذب در جذب آلاینده هدف به این موضوع توجه شود. بنابراین پژوهش انجام شده، با هدف بررسی فرایند جذب کروم از محیط‌های تک و دو عنصری (رقابتی) توسط نانورس به صورت ناپیوسته و در مقیاس آزمایشگاهی صورت گرفت. اثر تغییر pH اولیه محلول، زمان تماس جاذب و محلول و مقدار جاذب بر بازده جذب مورد بررسی قرار گرفت. همچنین به منظور بررسی توانایی مدل‌های ایزوترم در توصیف داده‌های جذب و معرفی بهترین مدل، ایزوترم‌های جذب فروندلیچ، لانگمویر و سیسیس با یکدیگر مقایسه شدند.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های جاذب: جاذب استفاده شده در این پژوهش، نانو مواد رسی با نام تجاری نانو کلویزیت سدیمی (Cloisite®20A) می‌باشد و از شرکت تولید رس جنوب آمریکا تهیه شد. به منظور بررسی پدیده جذب سطحی یون‌های کروم و کادمیم از محلول‌های آبی، مورفولوژی سطح جاذب، قبل و بعد از فرایند جذب با دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) بررسی شد. برای مشخص کردن ترکیب عنصری جاذب از آشکارساز آنالیز عنصری (EDAX) استفاده شده است. درصد کربنات کل نانو رس از روش تیتراسیون (۱۳) و ظرفیت تبادل کاتیونی آن با روش استات سدیم- آمونیوم تعیین شد (۲۴). اندازه‌گیری سطح مخصوص نانو رس (SSA) نیز با استفاده از محلول EGME انجام شد (۶). نقطه بار صفر (pH_{zpc}) با استفاده از روش لاتایه و همکاران (۲۰۰۶) محاسبه گردید (۱۵).

تهیه محلول‌های آزمایش: محلول ذخیره (استوک) کادمیم با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از حل کردن

$$Q = \frac{q_m b C}{1 + b C} \quad (۴)$$

در رابطه ۳، Q مقدار یون جذب‌شده در حالت تعادل (mg/g)، C غلظت یون جذب‌شونده در زمان تعادل (mg/g)، q_m ماکزیمم یون فلزی جذب شده (mg/g) و b ثابت ایزوترم لانگمویر هستند. مدل لانگمویر (رابطه ۴) می‌تواند برای توصیف داده‌های جذب فلزات سنگین در سیستم‌های چند عنصری گسترش یابد و به صورت زیر ارائه گردد (۱۶).

$$Q_i = \frac{q_{m,i} b_i C_i}{1 + \sum_{j=1}^N b_j C_j} \quad (۵)$$

در رابطه بالا، Q_i مقدار یون جذب‌شده در محلول چندعنصری (mg/g)، N تعداد یون فلزی در محلول ترکیبی، C_j غلظت هر یون در زمان تعادل (mg/g)، q_m ماکزیمم یون فلزی جذب شده (mg/g) و b ثابت ایزوترم لانگمویر هستند که از ایزوترم جذب در حالت تک‌عنصری به دست می‌آیند.

مدل ایزوترم سیپس: مدل سیپس یکی دیگر از معادلات تجربی جذب است که به طور گسترده در توصیف داده‌های جذب استفاده می‌شود. رابطه آن برای سیستم تک‌عنصری به صورت زیر است (۲۲).

$$Q = \frac{q_m (aC)^{1/n}}{1 + (aC)^{1/n}} \quad (۶)$$

در رابطه بالا، Q مقدار یون جذب‌شده در حالت تعادل (mg/g)، C غلظت یون جذب‌شونده در زمان تعادل (mg/g)، q_m ماکزیمم یون فلزی جذب‌شده (mg/g) و a ضریب ثابت و $1/n$ فاکتور عدم همگنی مدل سیپس نامیده می‌شوند. مقدار $1/n$ بین صفر و یک تغییر می‌کند و وقتی مقدار آن به صفر نزدیک می‌شود، به معنای این است که سطح جذب در فرایند جذب، غیرهمگن است. این در حالی است که مقدار

بعدی معرفی گردد (۵). بنابراین تأثیر پارامترهای pH اولیه (۱۰-۲)، زمان تماس (۱۴۴۰-۵ دقیقه)، غلظت اولیه محلول (۱۰۰-۱ میلی‌گرم بر لیتر)، مقدار جاذب (۵۰-۱ گرم بر لیتر) و سرعت اختلاط (۱۵۰ دور بر دقیقه) بر فرایند جذب مورد بررسی قرار گرفت. در همه نمونه‌ها پس از پایان زمان هم زدن نمونه به وسیله شیکر، جاذب توسط دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۹۰۰۰ دور در دقیقه و مدت ۱۵ دقیقه از محلول جدا گردید (۱).

پس از جداسازی جاذب از نمونه‌ها، غلظت عنصر کروم در محلول‌ها توسط دستگاه جذب اتمی مدل (AA220) اندازه‌گیری شد. درصد بازده جذب و ظرفیت جذب به ترتیب از رابطه‌های ۲ و ۳ تعیین شدند (۱۴، ۱۷).

$$\%R = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \quad (۲)$$

$$q = \frac{C_i - C_f}{m} \times V \quad (۳)$$

که در آن، C_i غلظت اولیه عناصر در محلول (mg/L)، C_f غلظت عناصر باقی‌مانده در محلول پس از سپری شدن زمان تعادل (mg/L)، m جرم جاذب (g)، V حجم محلول (L)، q مقدار یون جذب‌شده بر واحد جرم جاذب (mg/g) و R درصد بازده حذف می‌باشد.

به منظور پیش‌بینی ماکزیمم ظرفیت جذب جاذب و فرایند جذب، از مدل‌های ایزوترم جذب لانگمویر، فروندلیچ و سیپس به صورت زیر استفاده شد.

مدل ایزوترم لانگمویر: مدل لانگمویر فرایند جذب را به صورت تک‌لایه‌ای روی سطح همگن فرض می‌کند و مکان‌های جذب به طور یکسان بر روی جاذب توزیع شدند. این مدل برای محلول‌های تک‌عنصری به صورت زیر ارائه می‌شود (۷).

که در آن، K و m ثابت‌های فروندلیچ هستند که به مقدار جذب و شدت جذب وابسته‌اند.

مدل ایزوترم فروندلیچ در سیستم ترکیبی به صورت رابطه ۹ است (۲۲).

$$Q_i = \frac{K_i C_i^{(1/m_i)+b_{ii}}}{(1-K_{ii})C_i^{b_{ii}} + \left(\sum_{j=1}^N K_{ij} C_j^{b_{ij}}\right)} \quad (9)$$

که در آن، K_i و m_i از ایزوترم فروندلیچ تک‌عنصری به دست می‌آیند و سایر پارامترها، ضرایب تصحیح هستند.

نتایج

خصوصیات نانورس: شکل ۱ (الف و ب) تصویر (SEM) نانورس کلویزایت سدیمی را (قبل و بعد از جذب) نشان می‌دهند. همچنین نتایج نشان داد که مقدار pH_{pzc} جاذب نانورس کلویزایت سدیمی برابر ۳ می‌باشد. جدول ۱ نتایج آنالیز عنصری جاذب و جدول ۲ برخی خصوصیات جاذب مورد مطالعه را ارائه می‌دهد.

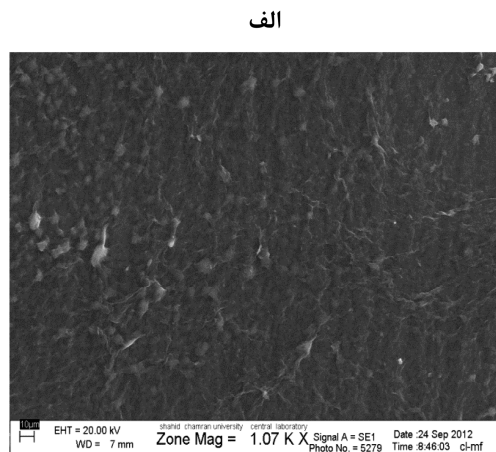
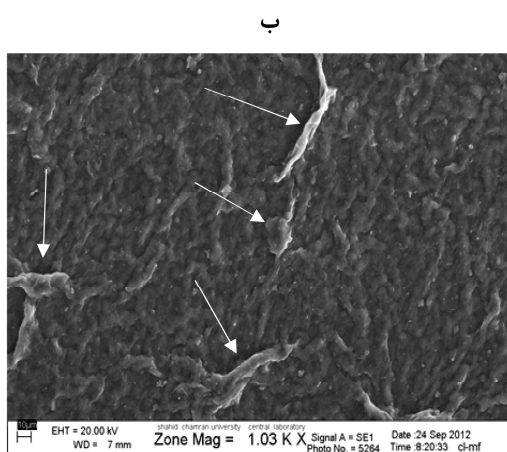
برابر با یک به مفهوم یکنواخت بودن مناطق جذب واقع بر سطح جسم جاذب، قدرت جذب یکسان آن‌ها و تبدیل مدل سیپس به مدل لانگمویر می‌باشد. رابطه مدل سیپس برای سیستم چندعنصری به صورت زیر است (۲۲).

$$Q_i = \frac{q_{m,i} a_i C_i \left(\sum_{k=1}^N a_k C_k\right)^{1/n_i-1}}{1 + \left(\sum_{k=1}^N a_k C_k\right)^{1/n_i}} \quad (7)$$

در رابطه v, C_i, a_i و q_m از ایزوترم سیپس تک‌عنصری به دست می‌آیند.

مدل ایزوترم فروندلیچ: مدل تجربی است که فرض می‌کند مناطق موجود بر روی سطح جاذب، یکنواخت نبوده و قدرت جذب متفاوتی دارند. بر طبق این فرض Q ، مقدار یون جذب‌شده در حالت تعادل (mg/g) به‌عنوان تابعی از C ، غلظت یون جذب‌شونده در زمان تعادل (mg/g) به صورت زیر بیان می‌شود (۱۶).

$$Q = KC^{1/m} \quad (8)$$



شکل ۱- تصویر گرفته شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی نانورس کلویزایت سدیمی (الف) قبل از جذب، (ب) بعد از جذب فلزات سنگین کروم و کادمیم (بزرگنمایی ۱۰۰۰).

Figure 1. Image of nano clay (Cloisite Na⁺) taken by a scanning electron microscope. (a) Before adsorption, (b) After heavy metal of chromium and cadmium adsorption (magnification 1000).

جدول ۱- نتایج آنالیز عنصری نانورس کلویزایت سدیمی مورد استفاده.

Table 1. The results of elemental analysis of nano clay (Cloisite Na⁺) used in this study.

مقدار (درصد) Quantity (Percent)	عنصر Element	مقدار (درصد) Quantity (Percent)	عنصر Element
6.28	سیلیسیوم Silicon	3.65	آهن Iron
10.9	آلومینیوم Aluminum	0.34	کلسیم Calcium
0.9	منیزیم Magnesium	0.07	پتاسیم Potassium
1.33	سدیم Sodium	0.1	کلر Chlorine
33.13	اکسیژن Oxygen	0.27	گوگرد Sulfur

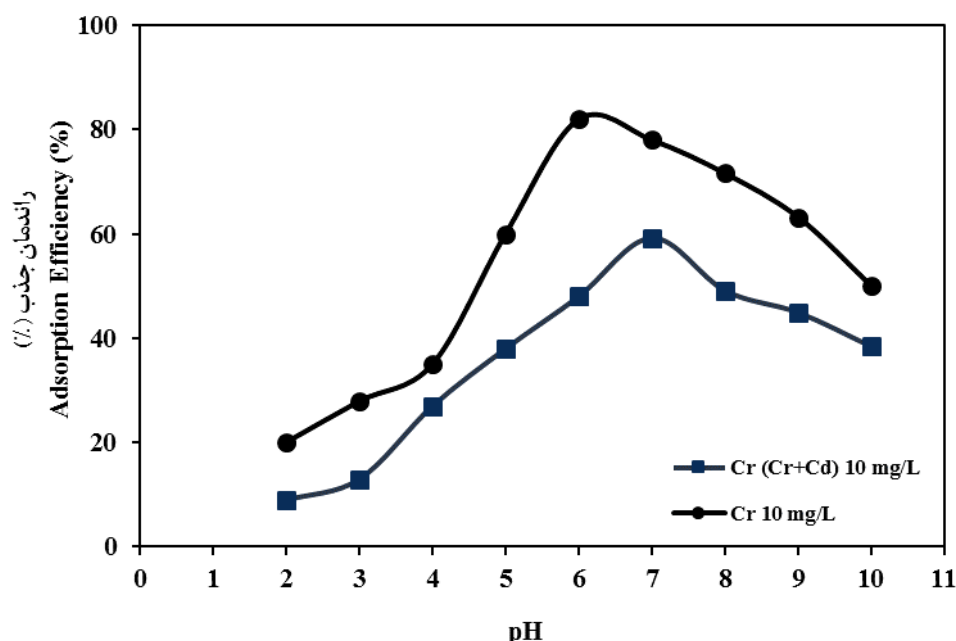
جدول ۲- خصوصیات نانورس کلویزایت سدیمی مورد استفاده.

Table 2. Characteristics of nano clay (Cloisite Na⁺) used in this study.

مقدار Quantity	خصوصیت Characteristics
0.0	کربنات (درصد) Carbonate (Percent)
6.0	مواد آلی (درصد) Organic matter (Percent)
524.8±5	سطح ویژه (مترمربع بر گرم) Surface area (m ² /g)
84.6	ظرفیت تبادل کاتیونی Cation exchange capacity
47.02	چگالی ویژه Specific density

یون‌های کروم در محلول تک‌عنصری (۸۲ درصد) در pH=۶ و در حضور یون‌های کادمیم (۵۹/۲ درصد) در pH=۷ حاصل شد. بنابراین pH برابر ۶ در محلول تک‌عنصری و برابر ۷ در محلول ترکیبی به‌عنوان pH بهینه انتخاب و در آزمایش‌های بعدی فرایند جذب مورد استفاده قرار گرفت.

تأثیر pH اولیه بر فرایند جذب کروم: شکل ۲ تأثیر pH اولیه محلول بر بازده جذب کروم را در دو حالت تک‌عنصری و در حضور یون رقیب (کادمیم) نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که حداقل جذب کادمیم تک‌عنصری (۲۰ درصد) و ترکیبی (۹ درصد) در pH=۲ به‌دست آمد. با افزایش pH، بازده جذب افزایش می‌یابد به‌صورتی که ماکزیمم درصد حذف

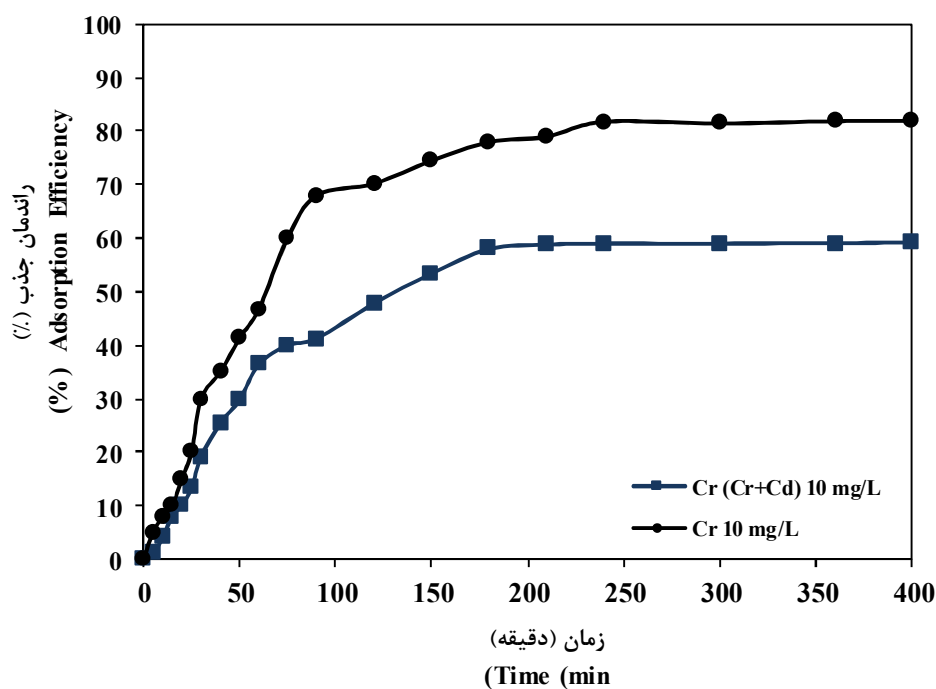


شکل ۲- تأثیر pH اولیه بر راندمان جذب کروم از محلول تک‌عنصری (کروم) و ترکیبی (کروم- کادمیم) توسط نانو رس کلویزایت سدیمی. (غلظت اولیه محلول ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، مقدار جاذب ۱۰ گرم بر لیتر و زمان تماس ۲۴ ساعت).

Figure 2. Effect of pH on absorption efficiency of chromium from solution of single element (chromium) and two elements (chromium- cadmium) by nano clay (Cloisite Na⁺). (Initial concentration of solution 10 mg/L, adsorbent dosage 10 gr/L and contact time 24 h).

محلول حاوی یون‌های کروم نسبت به محلول ترکیبی کروم و کادمیم سریع‌تر رخ داد، به‌طوری‌که زمان تعادل جذب در محلول تک‌عنصری (۲۴۰ دقیقه) و در محلول ترکیبی (۱۸۰ دقیقه) می‌باشد. زمان‌های ذکر شده به‌عنوان زمان تماس بهینه در آزمایش‌های ایزوترم جذب استفاده شدند.

تأثیر زمان تماس بر فرایند جذب کروم: شکل ۳ تغییرات راندمان جذب کروم توسط نانورس و زمان تماس را در حالت تک‌عنصری و در حضور یون‌های کادمیم نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود با افزایش زمان تماس در هر دو محلول، جذب کروم توسط نانورس روند افزایشی داشته است و پس از مدتی ثابت گردیده است. فرایند جذب در

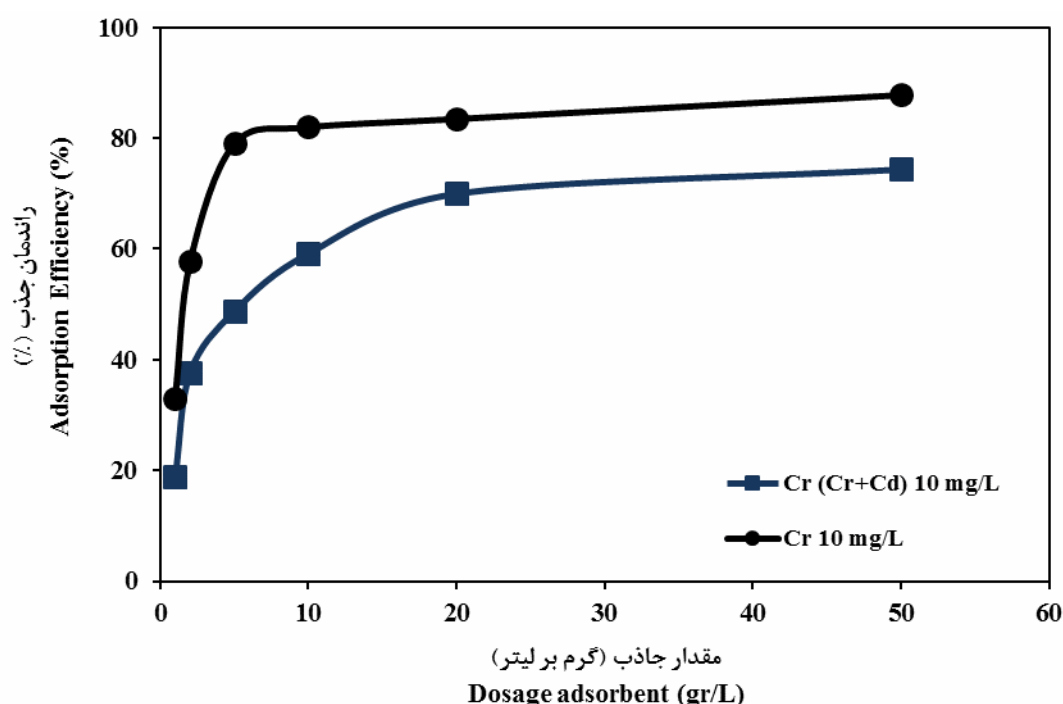


شکل ۳- تأثیر زمان تماس بر راندمان جذب کروم از محلول تک‌عنصری (کروم) و ترکیبی (کروم- کادمیم) توسط نانو رس کلویزایت سدیمی. (غلظت اولیه محلول ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، مقدار جاذب ۱۰ گرم بر لیتر و pH بهینه).

Figure 3. Effect of contact time on absorption efficiency of chromium from solution of single element (chromium) and two elements (chromium- cadmium) by nano clay (Cloisite Na⁺). (Initial concentration of solution 10 mg/L, adsorbent dosage 10 gr/L and optimum pH).

می‌رسد برای جذب کاتیون‌های فلزی کروم با غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر، مقدار جاذب نانو رس مناسب است زیرا افزایش جاذب به میزان بیش‌تر از ۵ گرم بر لیتر تأثیر ناچیزی بر افزایش راندمان حذف کروم داشت. اما در مورد محلول کروم و کادمیم با افزایش جاذب از ۱ به ۲۰ گرم بر لیتر، راندمان جذب از ۱۸/۸ درصد به ۷۰ درصد تغییر یافت در حالی‌که افزایش جاذب بیش از ۲۰ گرم بر لیتر، تأثیر زیادی بر افزایش جذب نداشت.

تأثیر مقدار جاذب بر فرایند جذب کروم: شکل ۴ تأثیر مقدار جاذب بر فرایند جذب کروم توسط جاذب نانورس را در دو حالت تک‌عنصری و در حضور یون‌های کادمیم نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که در محلول کروم با تغییر مقدار جاذب از ۱ به ۵ گرم بر لیتر، سبب ایجاد تغییر قابل‌ملاحظه‌ای در راندمان جذب (۳۳٪ به ۷۲٪) شده است. با افزایش میزان جاذب از ۵ تا ۵۰ گرم بر لیتر تغییر چندانی در بازده جذب کادمیوم مشاهده نشد. به‌نظر



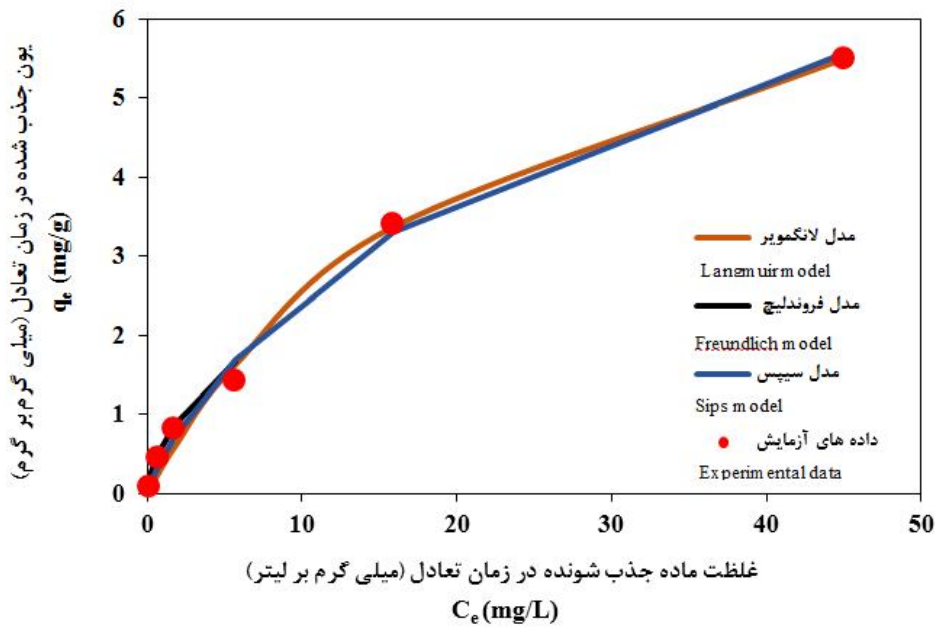
شکل ۴- تأثیر مقدار جاذب بر راندمان جذب کروم از محلول تک‌عنصری (کروم) و ترکیبی (کروم- کادمیم) توسط نانو رس کلویزایت سدیمی. (غلظت اولیه محلول ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، زمان تماس بهینه و pH بهینه).

Figure 4. Effect of adsorbent dosage on absorption efficiency of chromium from solution of single element (chromium) and two elements (chromium- cadmium) by nano clay (Cloisite Na⁺). (Initial concentration of solution 10 mg/L, optimum contact time and optimum pH).

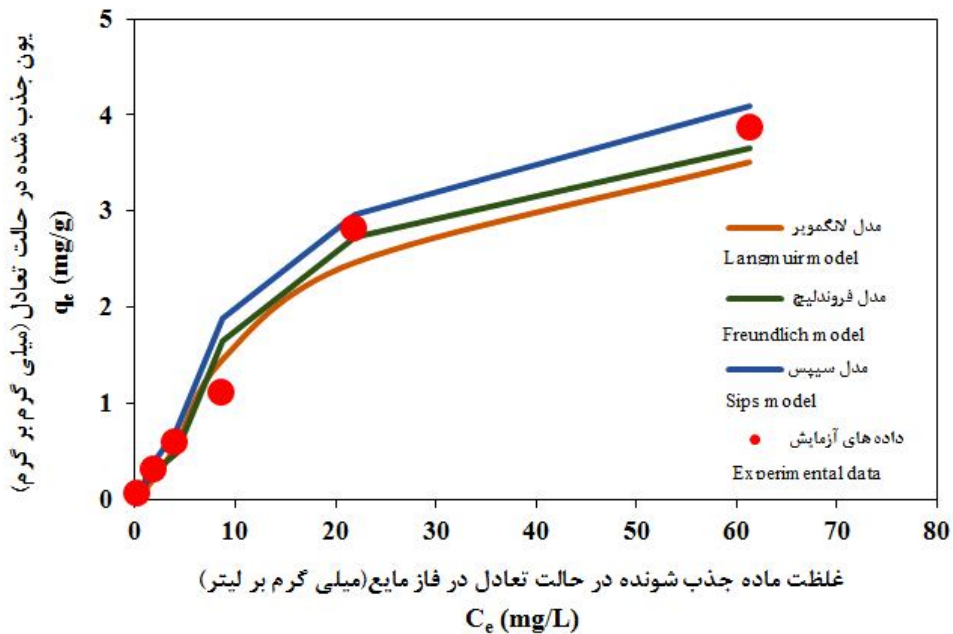
از ۱۸/۸ درصد به ۷۰ درصد تغییر یافت در حالی که افزایش جاذب بیش از ۲۰ گرم بر لیتر، تأثیر زیادی بر افزایش جذب نداشت.

معادلات جذب تعادلی: به منظور بررسی روند تعادلی جذب کروم در محلول تک و ترکیبی از مدل‌های فروندلیچ، لانگمویر و سیپس بر داده‌های جذب آزمایشگاهی استفاده شد. شکل‌های ۵ و ۶ نتایج برازش مدل‌های ایزوترم جذب کروم (تک و دو‌عنصری) را بر داده‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهد.

نتایج نشان می‌دهد که در محلول کروم با تغییر مقدار جاذب از ۱ به ۵ گرم بر لیتر، سبب ایجاد تغییر قابل‌ملاحظه‌ای در راندمان جذب (۳۳٪ به ۷۲٪) شده است. با افزایش میزان جاذب از ۵ تا ۵۰ گرم بر لیتر تغییر چندانی در بازده جذب کادمیوم مشاهده نشد. به نظر می‌رسد برای جذب کاتیون‌های فلزی کروم با غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر، مقدار جاذب نانو رس مناسب است زیرا افزایش جاذب به میزان بیش‌تر از ۵ گرم بر لیتر تأثیر ناچیزی بر افزایش راندمان حذف کروم داشت. اما در مورد محلول کروم و کادمیم با افزایش جاذب از ۱ به ۲۰ گرم بر لیتر، راندمان جذب



شکل ۵- برازش مدل‌های ایزوترم جذب کروم از محلول تک‌عنصری (کروم) توسط نانو رس کلویزایت سدیمی.
 Figure 5. Fitting isotherm models of chromium adsorption from single element solution (chromium) by nano clay (Cloisite Na⁺).



شکل ۶- برازش مدل‌های ایزوترم جذب کروم از ترکیبی (کروم- کادمیم) توسط نانو رس کلویزایت سدیمی.
 Figure 6. Fitting isotherm models of chromium adsorption from two elements solution (chromium- cadmium) by nano clay (Cloisite Na⁺).

جدول ۳ نشان می‌دهد که در سیستم تک‌عنصری جذب کروم، هر سه مدل برازش خوبی بر داده‌های آزمایشگاهی دارند. همچنین مقدار $1/n$ در سیستم تک‌عنصری $0/83$ به دست آمد. خلاصه نتایج برازش مدل‌های نتایج برازش مدل‌های ایزوترم جذب کروم بر روی نانو رس در محلول دو عنصری در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۳- پارامترهای مدل‌های ایزوترم جذب کروم توسط نانو رس کلویزایت سدیمی (محلول کروم).

Table 3. Isotherm models parameters of chromium adsorption by nano clay (Cloisite Na⁺) (chromium).

مقدار Quantity	پارامتر Parameter	مدل Model
0.611	K	
1.717	n	فروندلیچ
0.9907	R ²	Freundlich
0.2263	RMSE	
8.398	q _m	
0.0423	b	لانگمویر
0.9936	R ²	Langmuir
0.1873	RMSE	
11.19	q _m	
0.0216	a	سیپس
1.21	n	Sips
0.9977	R ²	
0.1751	RMSE	

جدول ۴- R² و RMSE مدل‌های ایزوترم جذب کروم توسط نانو رس کلویزایت سدیمی (محلول کروم - کادمیم).

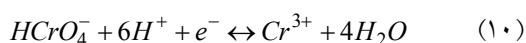
Table 4. R² and RMSE of isotherm models of chromium adsorption by nano clay (Cloisite Na⁺) (chromium-cadmium).

مقدار Quantity	پارامتر Parameter	مدل Model
0.9721	R ²	فروندلیچ
0.2831	RMSE	Freundlich
0.9656	R ²	لانگمویر
0.3418	RMSE	Langmuir
0.9648	R ²	سیپس
0.3478	RMSE	Sips

بحث

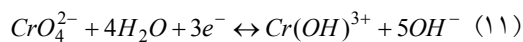
همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، مقایسه تصویر SEM نانو رس کلویزایت قبل از جذب (شکل ۱-الف) و بعد از جذب کروم (شکل ۱-ب) نشان می‌دهد که سطح جاذب بعد از فرایند جذب سطحی، غیریکنواخت‌تر شده است. این غیرهمگنی می‌تواند ناشی از قرارگیری یون‌های کروم و کادمیم روی سطح جاذب باشد و فرایند حذف به روش جذب سطحی را تأیید می‌کند. نتایج محاسبه pH_{pzc} در این پژوهش نشان‌دهنده این است که سطح جاذب نانو رس در pH بزرگ‌تر از ۳ منفی است و تمایل به جذب کاتیون دارد و بالعکس این جاذب در pH کوچک‌تر از ۳ توانایی بالایی در جذب آلاینده‌هایی با بار منفی دارد (۳، ۲۰). عوامل متعددی بر فرایند جذب مؤثر هستند که یکی از مهم‌ترین عوامل pH محلول است. زیرا از یک‌سو یون‌های هیدروژن به شدت با یون‌های فلزی برای قرار گرفتن در جایگاه‌های جذب رقابت می‌کنند و از سوی دیگر تعیین‌کننده بار سطح جاذب است که این وضعیت بر واکنش بین جاذب و ماده جذب‌شونده تأثیر خواهد گذاشت. همان‌طور که قبلاً ذکر شد در pH کم‌تر از ۶، کروم به‌صورت یون‌های هیدروژن کرومات ($HCrO_4^-$) می‌باشد. پس انتظار می‌رود که با افزایش pH ، راندمان جذب کروم کاهش یابد. زیرا افزایش pH از یک طرف باعث افزایش یون‌های (OH^-) می‌شود و از طرفی باعث تبدیل یون هیدروژن کرومات ($HCrO_4^-$) به کرومات (CrO_4^{2-}) می‌شود. بنابراین رقابت بین یون‌های (CrO_4^{2-}) و (OH^-) بر سر قرارگیری روی سطح جاذب صورت خواهد گرفت و نهایت منجر به کاهش جذب کروم خواهد شد. اما با توجه به این‌که مکانیسم جذب فلزات سنگین توسط جاذب‌های مختلف شبیه به هم نمی‌باشد (۲۷)، نتایج این پژوهش نشان داد که در محلول تک‌عنصری حاوی کروم با

افزایش pH ، راندمان جذب کروم توسط نانو رس کلویزایت افزایش می‌یابد و ماکزیمم راندمان جذب در pH برابر ۶ به‌دست آمد. در واقع افزایش pH موجب کاهش کروم شش‌ظرفیتی به کروم سه‌ظرفیتی می‌شود (۴، ۹، ۲۷) و پس از آن کروم سه‌ظرفیتی توسط مکانیسم‌های مختلفی هم‌چون نیروهای الکترواستاتیکی به سطح جاذب متصل می‌شود. مکانیسم زیر برای کاهش کروم شش‌ظرفیتی به کروم سه‌ظرفیتی ارایه گردیده است (۲۷).



در رابطه بالا گروه‌های عاملی حاوی اکسیژن مانند کربونیل و کربوکسیل بر روی سطح جاذب به‌عنوان دهنده الکترون عمل می‌کنند.

با افزایش pH به مقادیر بیش از ۶ و ۷، تشکیل هیدروکسیدهای کروم و رسوب آن‌ها موجب کاهش راندمان جذب کروم سه‌ظرفیتی (یون مثبت) توسط نانو رس کلویزایت خواهد شد (۲۳، ۲۵، ۲۷).



قابل ذکر است که در تمامی pH ها درصد جذب کروم در محلول ترکیبی پایین‌تر می‌باشد و این عامل از وجود یون‌های رقیب ناشی می‌شود. تغییرات زمان تماس و راندمان جذب کروم توسط نانورس را در حالت تک‌عنصری و در حضور یون‌های کادمیم تا ۴۰۰ دقیقه مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که در ۵۰ دقیقه ابتدایی، زمان تماس به‌دلیل بیش‌تر بودن تعداد فضاهای خالی سطح جاذب، جذب کروم در هر دو محلول بسیار سریع می‌باشد (۱۸). هر چند که جذب فلزات سنگین توسط رس‌ها پروسه پیچیده‌ای است که در نتیجه تمایل زیاد به تشکیل پیوندهای کووالانسی است. میزان جذب به سادگی

لانگمویر شباهت دارد. از طرفی توجه به مقادیر R^2 و RMSE مدل‌های برازش داده شده بر داده‌های آزمایشگاهی محلول ترکیبی نشان داد که مدل فروندلیچ در توصیف داده‌های جذب موفق‌تر بوده است. بنابراین نتایج نشان داد، ایزوترم‌های جذب که به‌منظور تعریف جرم جذب‌شونده از ماده جذب‌شونده به‌ازای واحد جرم ماده جذب‌شونده استفاده می‌شوند، به‌شدت به نوع جاذب و آلاینده وابسته می‌باشند.

نتیجه‌گیری

عوامل گوناگونی بر میزان جذب فلزات سنگین توسط جاذب‌های مختلف تأثیرگذارند. یکی از این عوامل، وجود یون‌های رقیب است که در مطالعات جذب به ندرت در نظر گرفته می‌شود. نتایج این پژوهش نشان داد که وجود یون‌های کادمیم در کنار یون‌های کروم pH بهینه جذب کروم را از ۶ به ۷ تغییر داد. زمان تعادل برای جذب یون‌های کروم در محلول تک‌عنصری (کروم) و ترکیبی (کروم و کادمیم) با غلظت اولیه ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر، به‌ترتیب ۲۴۰ و ۱۸۰ دقیقه به‌دست آمد. مقایسه مدل‌های ایزوترم جذب نشان داد که مدل سیپس در پیش‌بینی فرایند جذب کروم در سیستم تک‌عنصری (کروم) توسط نانو رس کلویزایت سدیمی نسبت به سایر مدل‌ها موفق‌تر بوده است. همچنین در سیستم ترکیبی (کروم و کادمیم)، مدل فروندلیچ داده‌های آزمایشگاهی جذب کروم را بهتر توصیف می‌کند. بنابراین برای بررسی توانایی یک جاذب به‌منظور حذف آلاینده در مقیاس آزمایشگاهی، نمی‌توان تنها به محلول‌های تک‌آلاینده‌ای بسنده کرد و لازم است پژوهش‌ها در محلول‌هایی با دو آلاینده یا بیشتر بررسی شود تا نتایج به واقعیت نزدیک‌تر شود.

تابعی از ظرفیت تبادل کاتیونی کانی‌های رسی نیست و شامل انواع پروسه‌ها از جمله، تشکیل کمپلکس سطحی (داخلی و هم بیرونی)، تبادل یونی ساده و رسوب سطحی می‌باشد. نتایج نشان داد که فرایند جذب در محلول ترکیبی به‌علت وجود یون‌های بیش‌تر برای قرارگیری بر روی مکان‌های جذب ثابت سریع‌تر به تعادل می‌رسد. سایر پژوهشگران در بررسی فرایند جذب کروم توسط جاذب‌های مختلف نیز به این نتیجه رسیدند که هنگامی که جاذب و محلول حاوی کروم در تماس با یکدیگر قرار گیرند، راندمان حذف کروم افزایش خواهد یافت و پس از آن که جاذب اشباع شد و فرایند جذب به تعادل رسید، تغییری در راندمان جذب کروم روی نخواهد داد (۱۰، ۱۱). در بررسی تأثیر مقدار جاذب بر فرایند جذب کروم مشخص شد که در محلول تک‌عنصری کادمیم با افزایش مقدار جاذب تا ۵ گرم بر لیتر، تعداد جایگاه‌های جذب قابل دسترس افزایش یافته و کارایی جاذب برای جذب یون فلزی افزایش می‌یابد (۱). اما افزایش بیش‌تر جاذب (بیش‌تر از ۵ گرم بر لیتر) تأثیری بر فرایند جذب ندارد. مقدار بهینه جاذب در محلول ترکیبی کروم و کادمیم، به‌علت افزایش تعداد آلاینده نسبت به محلول تک‌عنصری افزایش یافت و ۲۰ گرم بر لیتر گزارش شد. یافته‌های به‌دست آمده از تأثیر مقدار نانو رس کلویزایت بر جذب کروم، مشابه نتایج به‌دست آمده توسط سایر پژوهشگران می‌باشد (۱۱). در محلول تک‌عنصری مدل سیپس به‌علت R^2 بالاتر (۰/۹۹۷۷) و RMSE پایین‌تر (۰/۱۷۵۱) نسبت به سایر مدل‌ها توصیف بهتری از داده‌های جذب دارد. همچنین مقدار $1/n = 0/83$ نشان می‌دهد که سایت‌های جذبی بر روی سطح جاذب نانو رس تقریباً یکنواخت بوده است و شرایط توصیف توسط مدل سیپس تا حد زیادی به مدل

منابع

1. Afkhami, A., Saber-Tehrani, M., and Bagheri, H. 2010. Simultaneous removal of heavy-metal ions in wastewater samples using nano-alumina modified with 2,4-dinitrophenylhydrazine. *J. Hazard. Mater.* 181: 834-6.
2. Chen, H., Yan, T., and Jiang, F. 2014. Adsorption of Cr (VI) from aqueous solution on mesoporous carbon nitride. *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* 45: 1842-9.
3. Chen, H., Zhao, J., Dai, G., Wu, J., and Yan, H. 2010. Adsorption characteristics of Pb (II) from aqueous solution onto a natural biosorbent, fallen *Cinnamomum camphora* leaves. *Desalination*. 262: 1. 174-82.
4. Chen, Y.G., He, Y., Ye, W.M., and Jia, L.Y. 2015. Competitive adsorption characteristics of Na (I)/Cr (III) and Cu (II)/Cr (III) on GMZ bentonite in their binary solution. *J. Ind. Engin. Chem.* 26: 335-339.
5. Coelho, G.F., Gonçalves Jr, A.C., Tarley, C.R.T., Casarin, J., Nacke, H., and Francziskowski, M.A. 2014. Removal of metal ions Cd (II), Pb (II) and Cr (III) from water by the cashew nut shell *Anacardium occidentale* L. *Ecol. Eng.* 73: 514-25.
6. Eltantawy, I., and Arnold, P. 1973. Reappraisal of ethylene glycol mono-ethyl ether (EGME) method for surface area estimation of clays. *J. Soil Sci.* 24: 2. 232-238.
7. Escudero, C., Poch, J., and Villaescusa, I. 2013. Modelling of breakthrough curves of single and binary mixtures of Cu (II), Cd (II), Ni (II) and Pb (II) sorption onto grape stalks waste. *Chem. Eng. J.* 217: 129-38.
8. Fang, X., Fang, Z., Tsang, P., Cheng, W., Yan, X., and Zheng, L. 2014. Selective adsorption of Cr (VI) from aqueous solution by EDA- Fe₃O₄ nanoparticles prepared from steel pickling waste liquor. *Appl. Surf. Sci.* 314: 655-62.
9. Fu, X., Yang, H., Lu, G., Tu, Y., and Wu, J. 2015. Improved performance of surface functionalized TiO₂/activated carbon for adsorption-photocatalytic reduction of Cr (VI) in aqueous solution. *Mater. Sci. Semiconduct. Process.* 39: 362-370.
10. Ge, H., and Ma, Z. 2015. Microwave preparation of triethylenetetramine modified graphene oxide/chitosan composite for adsorption of Cr (VI). *Carbohydr. Polym.* 131: 280-287.
11. Georgieva, V.G., Tavlieva, M.P., Genieva, S.D., and Vlaev, L. T. 2015. Adsorption kinetics of Cr (VI) ions from aqueous solutions onto black rice husk ash. *J. Mol. Liq.* 208: 219-226.
12. Gupta, S., and Bhattacharyya, K.G. 2008. Immobilization of Pb (II), Cd (II) and Ni (II) ions on kaolinite and montmorillonite surfaces from aqueous medium. *J. Environ. Manage.* 87: 1. 46-58.
13. Hesse, P.R. 1971. A textbook of soil chemical analysis. Cambridge University Press. 520p.
14. Ji, M., Su, X., Zhao, Y., Qi, W., Wang, Y., Chen, G., and Zhang, Z. 2015. Effective adsorption of Cr (VI) on mesoporous Fe-functionalized Akadama clay: Optimization, selectivity, and mechanism. *Appl. Surf. Sci.* 344: 128-136.
15. Lataye, D.H., Mishra, I.M., and Mall, I.D. 2006. Removal of pyridine from aqueous solution by adsorption on bagasse fly ash. *Ind. Eng. Chem. Res.* 45: 11. 3934-3943.
16. Li, L., Liu, F., Jing, X., Ling, P., and Li, A. 2011. Displacement mechanism of binary competitive adsorption for aqueous divalent metal ions onto a novel IDA-chelating resin: Isotherm and kinetic modeling. *Water Res.* 45: 3. 1177-88.
17. Lu, M., Guan, X.H., Xu, X.H., and Wei, D.Z. 2013. Characteristic and mechanism of Cr (VI) adsorption by ammonium sulfamate-bacterial cellulose in aqueous solutions. *Chinese Chem. Lett.* 24: 253-6.
18. Mahamadi, C., and Nharingo, T. 2010. Competitive adsorption of Pb²⁺ Cd²⁺ and Zn²⁺ ions onto *Eichhornia crassipes* in binary and ternary systems. *Bioresource Technol.* 101: 3. 859-64.
19. Mallakpour, S., and Moslemi, S. 2012. Dispersion of chiral amino acid organomodified Cloisite Na⁺ in poly (vinyl alcohol) matrix for designing of novel bionanocomposite films. *Prog. Org. Coat.* 74: 1. 8-13.
20. Niu, Y., Qu, R., Sun, C., Wang, C., Chen, H., and Ji, C. 2013. Adsorption of Pb (II) from aqueous solution by silica-gel supported hyperbranched polyamidoamine dendrimers. *J. Hazard. Mater.* 244: 276-86.

21. Pan, J., Jiang, J., and Xu, R. 2013. Adsorption of Cr (III) from acidic solutions by crop straw derived biochars. *J. Environ. Sci.* 25: 10. 1957-65.
22. Papageorgiou, S., Katsaros, F., Kouvelos, E., and Kanellopoulos, N. 2009. Prediction of binary adsorption isotherms of Cu^{2+} , Cd^{2+} and Pb^{2+} on calcium alginate beads from single adsorption data. *J. Hazard. Mater.* 162: 2. 1347-54.
23. Rahmani, A., Zavvar Mousavi, H., and Fazli, M. 2010. Effect of nanostructure alumina on adsorption of heavy metals. *Desalination.* 253: 1. 94-100.
24. Siboni, S., Samadi, T., Azizian, S., Maleki, A., and Zarrabi, M. 2011. Removal of Chromium by Using of Adsorption onto Strong Base Anion Resin: Study of Equilibrium and Kinetic. *J. Water Wastewater.* 3: 10-8. (In Persian)
25. Vieira Santos, A.C., and Masini, J. 2007. Evaluating the removal of Cd (II), Pb (II) and Cu (II) from a wastewater sample of a coating industry by adsorption onto vermiculite. *Appl. Clay Sci.* 37: 1. 167-74.
26. Wang, W., Zhou, J., Achari, G., Yu, J., and Cai, W. 2014. Cr (VI) removal from aqueous solutions by hydrothermal synthetic layered double hydroxides: Adsorption performance, coexisting anions and regeneration studies. *Colloid Surf.* 457: 33-40.
27. Zhang, Y.J., Ou, J.L., Duan, Z.K., Xing, Z.J., and Wang, Y. 2015. Adsorption of Cr (VI) on bamboo bark-based activated carbon in the absence and presence of humic acid. *Colloids and Surf. A: Physicochem. Engin. Asp.* 481: 108-116.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(3), 2016
<http://jwsc.gau.ac.ir>

The effects of cadmium on the adsorption of Cr (VI) by nano clay (Cloisite®Na⁺)

***M. Khoshravesh¹, L. Divband², F. Motamedi³ and G. Reihany⁴**

¹Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, ²Ph.D. Student, Dept of Irrigation and Drainage. Shahid Chamran University of Ahvaz, ³M.Sc. Graduate, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, ⁴M.Sc. Graduate, Dept. of Irrigation and Drainage, University of Science and Research, Ahvaz Branch
Received: 05/18/2015; Accepted: 10/31/2015

Abstract

Background and Objectives: In recent years, concerns about the long-term effects of heavy metals as one of the main environmental pollutants has increased. These metals have adverse effects on human health, which include growth retardation, cancer, damage to the nervous and heart system. Mainly heavy metals discharge into environment from industrial and urban sewage. There are the different methods to reduce water pollution and removal of heavy metals from water that one of them is adsorption by using organic and inorganic absorbers. In this study, the use of nanoclay (Cloisite Na⁺) for adsorption of chromium form Single- and two- component solution (competitive) was investigated.

Materials and Methods: This study was conducted in scale laboratory conditions and batch system by changing the factors that affect the absorption process such as pH (2-10), contact time (5-1440 minutes), adsorbent dose (1-5 and 2 gr/L) and adsorbate concentration (1-100 mg/ L). Then in solution of single and two elements systems, experimental data were investigated with absorption isotherms of Freundlich, Langmuir and Sips.

Results: Results showed that the optimum pH values for adsorption of chromium were 6 and 7 for single-element and two elements systems, respectively. Also, in single and two-element systems, the maximum removal efficiency was obtained (82% and 59.2%). Effect of contact time on the adsorption process showed that equilibrium time of removal of Cr (VI) by nanoclay (Cloisite Na⁺) is 180 min in single element systems and 240 min in two-element systems. Optimum dosage of adsorbent for absorption of chromium ions from single and two element solution with a concentration of 10 ppm is 5 and 20 g/L, respectively. Comparison of the Freundlich, Langmuir and Sips isotherms showed that the Sips model for single element system was described data of adsorption better than other models with R² (0.9977) and RMSE (0.1751). Also in two-element system, Freundlich model with R² (0.9721) and RMSE (0.2831), is better fit with data of adsorption.

Conclusion: Due to the presence of heavy metals in various industries wastewater and their effects on adsorption of each other by the different adsorbent, it is necessary for getting real results in the process of adsorption Notice to this matter. The results of this study also showed that the absorption presses of chromium from solutions of single element or combination of elements with the same adsorbent are completely different.

Keywords: Adsorption isotherm, Chromium, Nano clay

* Corresponding Author; Email: khoshravesh_m24@yahoo.com