

حذف کروم شش ظرفیتی از محیط های آبی با استفاده از خاک اره اصلاح شده درخت راجی : مطالعه تعادلی و سینتیکی

دکتر محمدرضا سمرقندی*، دکتر سعید عزیزیان**، مهدی شیرزاد سیبنی***

دریافت : ۸۸/۷/۲۰ ، پذیرش : ۸۸/۱۲/۱۵

چکیده:

مقدمه و هدف: یکی از عمده ترین آلاینده های محیط زیست پساب های صنعتی حاوی فلزات سنگین است. کروم از جمله فلزات سنگین می باشد که در پساب صنایع مختلف از جمله پساب صنایع آبکاری وجود دارد و بشدت برای انسان و محیط زیست سمی و خطرناک است. هدف از این مطالعه بررسی جذب فلزات سنگین مثل کروم شش ظرفیتی از محیط های آبی با استفاده از خاک اره اصلاح شده درخت راجی به عنوان جاذب ارزان قیمت بود.

روش کار: این مطالعه یک مطالعه بنیادی-کاربردی می باشد که در آزمایشگاه شیمی آب و فاضلاب دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی همدان انجام گردید. در این مطالعه حذف کروم شش ظرفیتی با استفاده از خاک اره اصلاح شده درخت راجی با تغییرات pH ، زمان تماس، مقدار ماده جاذب و غلظت اولیه کروم شش ظرفیتی در سیستم ناپوسته مورد بررسی قرار گرفت، و نتایج توسط نرم افزار Excel تجزیه و تحلیل گردید.

نتایج: نتایج حاصل از انجام آزمایشات مشخص ساخت که کارایی حذف کروم شش ظرفیتی با افزایش pH و غلظت اولیه کروم شش ظرفیتی، کاهش می یابد. به طوری که در شرایط ثابت، زمان تعادل ۳ ساعت، مقدار ماده جاذب ۰/۶ g/100CC و غلظت اولیه کروم شش ظرفیتی ۶۰ mg/L ، با افزایش pH از ۲ به ۱۲ ، کارایی حذف از ۹۹/۶۷٪ به ۲۹/۷۸٪ کاهش یافت. همچنین با افزایش غلظت اولیه کروم شش ظرفیتی از ۲۰ mg/L به ۱۰۰ mg/L ، در شرایط ثابت، کارایی حذف از ۹۹/۳۷٪ به ۴۰/۲۴٪ کاهش یافت. سایر نتایج بیانگر آنست که با افزایش زمان تماس و مقدار ماده جاذب، کارایی حذف افزایش می یابد. به طوری که با افزایش مقدار ماده جاذب از ۰/۲ g/100CC به ۱ g/100CC در شرایط ثابت زمان تعادل ۳ ساعت، غلظت اولیه کروم شش ظرفیتی ۶۰ mg/L و pH=۷ ، کارایی حذف از ۳۴/۶۵٪ به ۹۹/۹۹٪ افزایش یافت. همچنین در شرایط ثابت غلظت اولیه کروم شش ظرفیتی ۶۰ mg/L و pH=۷ و مقدار ماده جاذب ۰/۶ g/100CC با افزایش زمان تماس از ۵ دقیقه به ۱۸۰ دقیقه کارایی حذف از ۴۸/۵۳٪ به ۹۹/۷۶٪ افزایش یافت. داده های تجربی تعادل جذب با مدل های ایزوترم جذب فروندلیخ و لانگمیر مورد بررسی قرار گرفت ، نتایج نشان داد که سینتیک فرآیند جذب از مدل سینتیک شبه درجه دو، و داده های تعادلی از مدل ایزوترمی لانگمیر پیروی می کنند.

نتیجه نهایی: در مجموع نتایج حاصل از انجام آزمایشات مشخص ساخت که می توان از خاک اره اصلاح شده درخت راجی به عنوان یک روش موثر و ارزان قیمت در جهت حذف کروم شش ظرفیتی از محلول های آبی استفاده کرد.

کلید واژه ها: خاک اره / کروم شش ظرفیتی / مدل ایزوترمی / مدل سینتیکی

مقدمه :

شدت آلودگی در گروه آلاینده های درجه اول سمی قرار دارند. ترکیبات سمی درجه اول، موادی هستند که دارای خطرات زیست محیطی بوده و برای سلامت انسان زیان آور

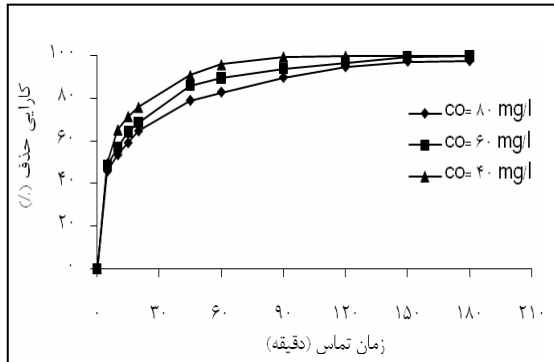
یکی از عمده ترین آلاینده های محیط زیست وجود فلزات سنگین در پساب های صنعتی می باشد که از نظر

* استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی همدان

** دانشیار گروه شیمی و فیزیک دانشکده علوم دانشگاه بوعلی سینا همدان

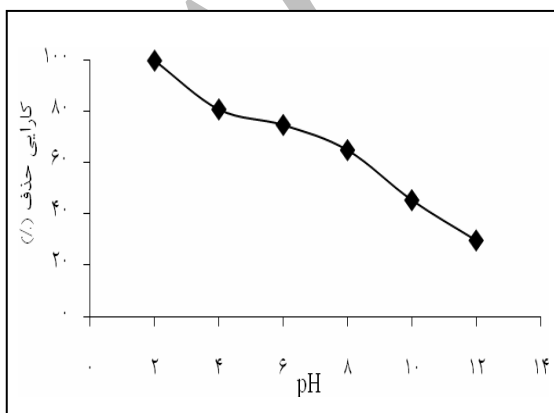
*** کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی همدان (mehdi_dshirzad@yahoo.com)

ظرفیتی (۴۰،۶۰،۸۰ mg/L) بررسی گردید. شکل ۱ تاثیر زمان تماس بر روی کارایی حذف را نشان می دهد. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می گردد وقتی زمان تماس از ۵ دقیقه به ۱۸۰ دقیقه افزایش می یابد، کارایی حذف باغلظت اولیه کروم شش ظرفیتی برابر با ۶۰ mg/L از ۴۸/۵۳٪ به ۹۹/۷۶٪ افزایش می یابد. که این زمان همان زمان تعادل در آزمایشات می باشد.



شکل ۱: تاثیر زمان تماس بروی کارایی حذف (pH=۷) و مقدار ماده جاذب (۰/۶ g/100CC)

تاثیر pH بر حذف کروم شش ظرفیتی: ابتدا محلولهای مورد نظر با pH های اولیه ۸،۶،۴،۲ و ۱۲ از محلول استوک ساخته شد. سپس نمونه های مورد نظر در غلظت ثابت کروم شش ظرفیتی ۶۰ mg/L و مقدار ماده جاذب ۰/۶ gr/100CC به مدت ۳ ساعت مخلوط شد و در نهایت غلظت باقیمانده کروم شش ظرفیتی به روش اسپکتروفتومتری تعیین گردید. در شکل ۲ نتایج حاصل از تاثیر pH بر روی کارایی حذف نشان داده شده است.



شکل ۲: تاثیر تغییرات pH بروی کارایی حذف (غلظت اولیه کروم شش ظرفیتی ۶۰ mg/l، مقدار ماده جاذب ۰/۶ gr/100CC، زمان تماس ۱۸۰ min)

تعیین شده توسط پژوهشگاه صنعت نفت ایران (RIPI Research Institute of Petroleum Industry) ۳۶۵m²/g تعیین گردید.

تهیه محلول استوک کروم شش ظرفیتی: محلول استوک کروم شش ظرفیتی (۱۰۰۰ mg/L) با استفاده از حل کردن دی کرومات پتاسیم (K₂Cr₂O₇) در آب بدون یون تهیه شد. سپس محلولهای استاندارد تعیین شده برای آزمایشات با استفاده از رقیق نمودن محلول استوک تهیه گردید. جهت تنظیم pH از اسید کلریدریک و سود یک نرمال استفاده شد.

مطالعات جذب در سیستم ناپیوسته: فاکتورهای موثر بر انجام فرآیندهای مورد مطالعه شامل زمان ماند (۵ تا ۱۸۰ دقیقه)، pH (۲،۴،۶،۸،۱۰،۱۲) و غلظت خاک اژه (۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸، ۱ گرم در ۱۰۰ سی سی)، غلظت اولیه کروم شش ظرفیتی (۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ میلی گرم در لیتر) و سایزذرات (۷۰ مش) بود، که در مراحل جداگانه در طول تحقیق بررسی گردید. برای انجام آزمایشات ابتدا زمان تعادل در شرایط pH برابر با ۷ و غلظت ماده جاذب برابر با ۰/۶ گرم در ۱۰۰ سی سی و غلظت کروم شش ظرفیتی برابر با ۶۰ میلی گرم در لیتر تعیین گردید، که برابر با ۱۸۰ دقیقه بود. پس از تعیین زمان تعادل، آزمایشات با ثابت نگه داشتن سه متغیر و تغییر دادن یک متغیر انجام گردید. برای مثال در pH=۷ و مقدار ماده جاذب ۰/۶ g/100CC، غلظت های مختلف کروم شش ظرفیتی به سیستم ناپیوسته اضافه شده و در دمای ۲۵±۱ °C با استفاده از انکوباتور در همزن مغناطیسی با ۱۶۰ دور در دقیقه به مدت سه ساعت مخلوط گردید. سپس برای حذف خاک اژه، نمونه ابتدا با دور ۴۰۰ rpm به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ شد (Sigma-301) و غلظت باقیمانده کروم شش ظرفیتی به روش ۵،۱ دی فنیل کربازاید توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (UV/VIS Shimadzo-1700, Japan) در طول موج ۵۴۰ نانومتر تعیین گردید. کلیه روش های مورد استفاده مطابق روشهای استاندارد (۱۷) انجام گردید.

نتایج:

تاثیر زمان تماس بر روی حذف کروم شش ظرفیتی: تاثیر زمان تماس بر روی کارایی حذف در سیستم مورد مطالعه با تغییر در زمان تماس از ۵ دقیقه به ۱۸۰ دقیقه در pH=۷، مقدار ماده جاذب ۰/۶ gr/100CC و غلظت اولیه کروم شش

$$q_e = kc_e^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

و معادله خطی آن به صورت معادله (۳) می باشد.

$$\log q_e = \log k + \frac{1}{n} \log c_e \quad (3)$$

c_e غلظت تعادل میلی گرم در لیتر، q_e ظرفیت جذب در زمان تعادل برحسب میلی گرم بر گرم و k و n ثابت های فروندلیخ می باشند (۱۸) که با رسم نمودار $\log q_e$ در مقابل $\log c_e$ بدست می آیند. پارامترهای ایزوترم جذب در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: ضرایب ثابت و ضرایب همبستگی ایزوترم فروندلیخ و لانگمیر در جذب کروم شش ظرفیتی بر روی خاک ارضه اصلاح شده درخت راجی

شده درخت راجی			
فروندلیخ		لانگمیر	
K	۱۳/۱۷	K	۱/۰۲
n	۵/۲۴	q_m	۱۷/۸۶
R^2	۰/۹۲۶۶	R^2	۰/۹۹۷۵

سینتیک جذب کروم شش ظرفیتی بر روی خاک ارضه اصلاح شده درخت راجی: سینتیک جذب با مدل های سینتیک شبه درجه یک و شبه درجه دو مورد بررسی قرار گرفت. معادله سینتیک شبه درجه یک عموماً به صورت معادله (۴) ارائه می شود (۱۹).

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (4)$$

q_t و q_e ظرفیت جذب در حالت تعادل و در زمان t بوده و k_1 ضریب سرعت می باشد. با انتگرال گیری از این معادله، معادله (۵) حاصل می شود.

$$\ln\left(1 - \frac{q_t}{q_e}\right) = -k_1 t \quad (5)$$

از رسم نمودار $\ln\left(1 - \frac{q_t}{q_e}\right)$ در مقابل t ، k_1 بدست می آید (شکل ۳ الف).

سینتیک جذب شبه درجه دو عموماً به صورت معادله (۶) بیان می شود (۱۹).

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (6)$$

با انتگرال گیری از معادله بالا و نوآرایی آن رابطه خطی (۷) حاصل می شود.

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (7)$$

همانطور که مشاهده می گردد با افزایش pH کارایی حذف کاهش می یابد. به نحوی که با تغییر pH از ۱۲ به ۱۰ کارایی حذف از ۹۹/۶۷٪ به ۲۹/۷۸٪ تقلیل می یابد.

تاثیر غلظت اولیه کروم شش ظرفیتی بروی کارایی حذف در سیستم مورد مطالعه با تغییر در غلظت کروم شش ظرفیتی (۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ میلی گرم در لیتر) در pH=۷ و مقدار ماده جاذب ۰/۶ g/100CC در زمان تعادل ۳ ساعت بررسی گردید. مشاهده گردید که کارایی حذف با افزایش غلظت اولیه کروم شش ظرفیتی کاهش می یابد. به طوری که وقتی غلظت اولیه کروم شش ظرفیتی از ۲۰ mg/L به ۱۰۰ mg/L افزایش می یابد کارایی حذف از ۹۷/۳۷٪ به ۴۰/۲۴٪ کاهش پیدا می کند.

تاثیر مقدار ماده جاذب بروی حذف کروم شش ظرفیتی: تاثیر مقدار ماده جاذب بر روی کارایی حذف در سیستم مورد مطالعه با تغییر در مقدار ماده جاذب (۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۰۰ سی سی) (pH=۷ و غلظت اولیه کروم شش ظرفیتی ۶۰ mg/L در زمان تعادل ۳ ساعت بررسی شد. مشاهده گردید که کارایی حذف با افزایش مقدار ماده جاذب افزایش می یابد. به طوری که وقتی مقدار ماده جاذب از ۰/۲ gr/100CC به ۱ gr/100CC افزایش پیدا می کند کارایی حذف از ۳۴/۶۵٪ به ۹۹/۹۹٪ افزایش می یابد. ایزوترم های جذب کروم شش ظرفیتی بر روی خاک ارضه اصلاح شده درخت راجی: ایزوترم های جذب، معادلاتی برای تشریح حالت تعادل جزء جذب شونده بین فاز جامد و سیال می باشد. در این مطالعه داده های تجربی تعادل جذب با مدل های ایزوترم جذب فروندلیخ و لانگمیر مورد بررسی قرار گرفت. معادله خطی ایزوترم لانگمیر به صورت معادله (۱) می باشد.

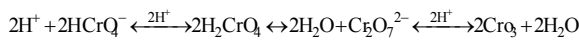
$$\frac{c_e}{q_e} = \frac{1}{q_m K} + \frac{1}{q_m} c_e \quad (1)$$

q_e مقدار جزء جذب شده در واحد جرم جسم جاذب برحسب میلی گرم بر گرم، c_e غلظت تعادلی ماده جذب شدنی در محلول بعد از جذب سطحی بر حسب میلی گرم بر لیتر، q_m نشان دهنده ظرفیت جذب و K ثابت لانگمیر می باشند که از رسم نمودار $\frac{c_e}{q_e}$ در مقابل c_e بدست می آیند.

معادله ایزوترم جذب فروندلیخ به صورت معادله (۲) می باشد.

اسلوی و همکاران بر روی جذب کروم شش ظرفیتی از محلولهای آبی بر روی کربن فعال بدست آورده بودند مطابقت دارد (۱۱). همچنین طی مطالعه ای که گارگ و همکاران بر روی جذب کروم از محلولهای آبی بر روی خاک اره اصلاح شده انجام دادند به این نتیجه رسیدند که با افزایش مقدار ماده جاذب و زمان تماس افزایش کارایی حذف افزایش می یابد (۱۶).

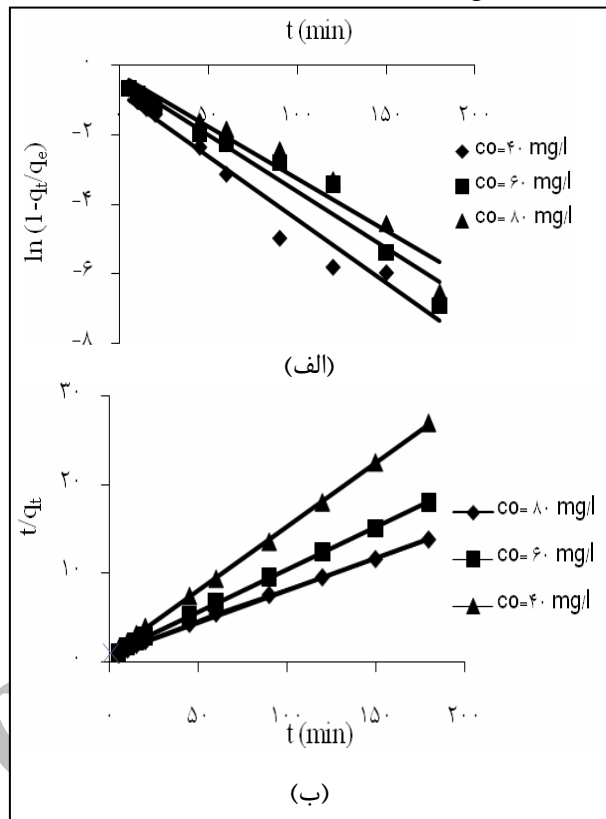
حذف کروم شش ظرفیتی با کاهش pH افزایش می یابد. به طور کلی مکانیسم جذب از کروم شش ظرفیتی در pH های مختلف در معادله زیر نشان داده شده است (۲۰).



در pH پایین (pH=۲) شکل غالب کروم شش ظرفیتی $HCrO_4^-$ بوده و سطح جاذب دارای بار مثبت می باشد. در pH بالاتر از ۲ ظرفیت جذب به علت تغییر شکل $HCrO_4^-$ به CrO_4^{2-} و $Cr_2O_7^{2-}$ کاهش می یابد. در pH بالا به علت وجود رقابت بین آنیونهای CrO_4^{2-} و OH^- بر روی سطح جاذب، OH^- بیشتر جذب شده در نتیجه کارایی حذف کاهش می یابد. در مطالعه ای که گوپتا و بابو در حذف کروم شش ظرفیتی از محلولهای آبی با استفاده از خاک اره به عنوان جاذب استفاده کردند به این نتیجه رسیدند که با افزایش pH از ۱ به ۱۱ کارایی حذف کاهش می یابد (۲۱). همچنین طی مطالعه ای که گارگ و همکاران بر روی جذب کروم از محلولهای آبی بر روی خاک اره اصلاح شده انجام دادند به این نتیجه رسیدند که pH اسیدی برای فرایند جذب مطلوبتر میباشد (۱۶).

حذف کروم شش ظرفیتی با افزایش غلظت اولیه کروم شش ظرفیتی کاهش می یابد. دلیل این امر آن است که جاذبها دارای یک تعداد محللهای فعال محدودی هستند که در غلظتهای بالا اشباع می شوند. به طوری که در مطالعه ای که کادیکیان و همکاران بر روی جذب کروم شش ظرفیتی از محلولهای آبی بر روی کربن فعال تهیه شده از خاک اره انجام دادند به این نتیجه رسیدند که با افزایش غلظت کروم شش ظرفیتی راندمان حذف کاهش می یابد (۲۰). همچنین طی مطالعه ای که گوپتا و بابو در حذف کروم شش ظرفیتی از محلولهای آبی با استفاده از خاک اره به عنوان جاذب استفاده کردند به نتیجه مشابه ای

از رسم $\frac{t}{q_t}$ در مقابل t ، q_e و k_2 محاسبه می شوند (۱۹) (شکل ۳ ب).



شکل ۳: نمودار خطی سینتیک شبه درجه یک (الف) و شبه درجه دو (ب) جذب کروم شش ظرفیتی بر روی خاک اره اصلاح شده درخت راجی (pH=۷) و مقدار ماده جاذب ۱۰۰g/۱۰۰cc

ضرایب ثابت و ضریب همبستگی سینتیک مدل جذب شبه درجه یک و شبه درجه دو در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲: ضرایب ثابت و ضرایب همبستگی مدل سینتیکی شبه درجه یک و شبه درجه دو در جذب کروم شش ظرفیتی بر روی خاک اره اصلاح شده درخت راجی

سینتیک درجه یک				سینتیک درجه دو			
C_o	k_1	q_e	R^2	C_o	k_2	q_e	R^2
۴۰	۰/۰۳۲۶	۶/۷	۰/۹۶۱۵	۴۰	۰/۰۲	۶/۹	۰/۹۹۹۷
۶۰	۰/۰۳۲۴	۱۰/۰	۰/۹۵۹۸	۶۰	۰/۰۱	۱۰/۴	۰/۹۹۹۵
۸۰	۰/۰۲۹۷	۱۳/۱	۰/۹۵۱۸	۸۰	۰/۰۰۶	۱۳/۸	۰/۹۹۸۳

بحث:

حذف کروم شش ظرفیتی با افزایش مقدار ماده جاذب و زمان تماس افزایش می یابد و دلیل آن این است که مساحت سطحی و محللهای جذب قابل دسترس برای جاذب افزایش می یابد. به طوری که نتایج حاصله با نتایجی که

4. Raj C, Anirudhan TS. Chromium (VI) adsorption by sawdust: kinetics and equilibrium. *J Chem Technol* 1997;4:228-236.
5. Park S, Jung WY. Removal of chromium by activated carbon fibers plated with copper metal. *Car Sci* 2001;2:15-21.
6. World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality. 2nd ed. Recommendations. Geneva: WHO, 1993;1: 208.
7. Pawlowski L. Standard methods for the examination of water and wastewater. In: Arnold E. Greenberd, Lenore S. Clesceri, Andrew D. Eaton (eds). Water environment federation. 18th ed. Alexandria, 1992: 1025.
8. Hafeza AI, Manharawy MS, Khedr MA. RO membrane removal of unreacted chromium from spent tanning effluent a pilot-scale study. *Desalination* 2002;144(1-3):23;42-47.
9. Ribeiro AB, Mateus EP, Ottosen LM, B-Nielsen G. Electrodialytic removal of Cu, Cr, and As from chromated copper arsenate-treated timber waste. *Environ Sci. Technol.* 2000;78:34-38
10. Browski D, Hubicki Z, Cielny PP, Robens E. Selective removal of the heavy metal ions from waters and industrial wastewaters by ion-exchange method. *Chemosphere* 2004; 56: 91-106.
11. Selvi K, Pattabhi S, Kadirvelu K. Removal of Cr (VI) from aqueous solutions by adsorption onto activated carbon. *Bioresour Technol* 2001; 80: 87-89.
12. Sharma DC, Forster CF. Removal of hexavalent chromium using shagnum moss peat. *Water Resource* 1993;27:1201-1208.
13. Ranganathan K. Chromium removal by activated carbons prepared from casurina equisetifolia leaves. *Bioresour Technol* 2000;73:99-103.
14. Ahmad R. Sawdust: cost effective scavenger for the removal of chromium(iii) ions from aqueous solutions. *Water Air Soil Pollut* 2004; 83:163-169.
15. Shukla A, Zhang Y, Dubey P, Margrave JL, Shukla SS. The role of sawdust in the removal of unwanted materials from water. *J Hazard Mater* 2002;95:137-152.
16. Garg VK, Gupta R, Kumar R, Gupta RK. Adsorption of chromium from aqueous solution on treated sawdust. *Bioresour Technol* 2004;92: 79-81.
17. Bayat B. Comparative study of adsorption properties of Turkish fly ashes II. The case of chromium(VI) and cadmium(II). *J Hazard Mater.* 2002;95: 275-290.
18. Liu Y, Juan Liu Y. Biosorption isotherms, kinetics and thermodynamics. *Sep Purif Technol* 2008;61: 229-242.
19. Azizian S. Kinetics models of sorption: a

رسیدند(۲۱).

با توجه به ضرایب همبستگی (R^2) می توان نتیجه گرفت که داده های تعادلی فرآیند جذب کروم شش ظرفیتی بر روی خاک اره اصلاح شده درخت راجی از ایزوترم لانگمیر نسبت به ایزوترم فروندلیخ بهتر پیروی می کند. همچنین با توجه به ضرایب همبستگی (R^2) می توان نتیجه گرفت که داده های جذب از مدل سینتیکی شبه درجه دو، به علت بالا بودن غلظت اولیه کروم شش ظرفیتی بیش از خروجی فاضلاب صنایع در این مطالعه، نسبت به مدل سینتیکی شبه درجه یک، بهتر پیروی می کند.

نتیجه نهایی:

نتایج حاصل از آزمایشات نشان می دهد که pH محلول آبی نقش مهمی در فرآیند جذب بازی می کند. دلیل این امر آن است که گونه های مختلف کروم شش ظرفیتی و بار سطحی جاذب وابستگی زیادی به pH دارند. نتایج این مطالعه نشان داد که حذف کروم شش ظرفیتی با استفاده از خاک اره اصلاح شده درخت راجی به طور موثری در pH پایین تر از ۶ می تواند انجام شود. داده های تعادلی فرآیند جذب کروم شش ظرفیتی بر روی خاک اره اصلاح شده درخت راجی از ایزوترم لانگمیر نسبت به ایزوترم فروندلیخ بهتر پیروی می کند. سینتیک جذب کروم شش ظرفیتی بر روی خاک اره درخت راجی اصلاح شده از مدل سینتیکی شبه درجه دو نسبت به مدل سینتیکی شبه درجه یک بهتر پیروی می کند. سرانجام نتایج حاصل از انجام آزمایشات مشخص ساخت که می توان از خاک اره به عنوان یک روش موثر و ارزان در جهت حذف کروم شش ظرفیتی از محلول های آبی استفاده کرد.

منابع:

1. Mahvi AH, Naghipour D, Vaezi F, Nazmara S. Teawaste as an adsorbent for heavy metal removal from industrial wastewaters. *J App Sci* 2005; 2:372-375.
2. Fiol N, Villaescusa I, Miralles N, Poch J, Serarols J. Sorption of Pb(II), Ni(II), Cu(II) and Cd(II) from aqueous solution by olive stone waste. *Sep Pur Technol* 2006;50:132-140.
3. Gupta VK, Shrivastava AK, Jain N. Biosorption of chromium (VI) from aqueous solutions by green algae spirogyra species. *Water Res* 2001; 35:4079-4090.

- theoretical study. *J Collo Interface Sci* 2004; 276: 47-52.
20. Karthikeyan T, Rajgopal S, Miranda LR. Chromium(VI) adsorption from aqueous solution by Hevea Brasilinesis sawdust activated carbon. *J Hazard Mater* 2005;124:192-199.
21. Gupta S, Babu BV. Removal of toxic metal Cr (VI) from aqueous solutions using sawdust as adsorbent: Equilibrium, kinetics and regeneration studies. *J Chem Eng* 2009;150:352-365.

Archive of SID