

## Evaluation of Barberry Stems ash on Chromium (VI) Removal Efficiency from Aqueous Solutions

Sahlabadi F<sup>1</sup>, Jasemi zad T<sup>2</sup>, Ghasemi S M<sup>1\*</sup>

### Abstract

**Background and Objectives:** Chromium occurs mainly in the oxidation states (III) and (VI), and finds in the wastewater industries such as electroplating, glass, ceramic, leather and tanning, tannery industries. Hexavalent Chromium (VI) is reported as confirmed carcinogen. The aim of this study was to evaluate removal efficiency of chromium (VI) by using Barberry stems powder from aqueous solutions.

**Materials and Methods:** This study was done in laboratory scale. The Barberry stems powder prepared in lab conditions and Pulverized using ASTM standard sieves (40-60 mesh). The effects of adsorbent dose (Barberry stems powder), initial concentration of hexavalent chromium, contact time and pH on the removal chromium were investigated. The concentration of chromium (VI) in all samples measured by spectrophotometer at 540 nm. For better understanding of the adsorption process, the experimental data were analyzed with Langmuir and Freundlich isotherm models and pseudo first order and pseudo second order kinetic studies. Finally, the data were analyzed by EXCEL.

**Results:** The results showed that the removal efficiency of Cr was fixed and 100% in all amounts of adsorbent. By increasing of reaction time, the Cr removal rate increased and by increasing of Cr initial concentration and pH, the removal efficiency decreased. By increasing of pH from 2 to 9, the Cr removal efficiency with 2 mg/L chromium decreased from 100% to 16.4%. Furthermore, the data were well fitted with Langmuir isotherm and pseudo- second-order kinetic.

**Conclusion:** According to the results, Barberry stems powder is able to absorb the Cr (VI). Removal efficiency of Cr (VI) in pH=2 was at its optimum capacity. The results of this study demonstrated that the Barberry stems powder can be used as an effective and appropriate adsorbent.

**Keywords:** Barberry Stems Powder, Chromium (VI), Removal Efficiency

### How to cite this article:

Sahlabadi F, Jasemi zad T, Ghasemi S M. Evaluation of Barberry Stems ash on Chromium (VI) Removal Efficiency from Aqueous Solutions. *J Saf Promot Inj Prev.* 2017; 5(1):25-32 .

1- Students` Research Committee, School of Public Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

2- Environmental health Engineering, School of Public Health, Shahid Sadoughi university of medical science, Yazd, Iran

\*Corresponding Author: ghasemimehdi61@gmail.com

## بررسی کارایی خاکستر ساقه درخت زرشک در حذف کروم شش ظرفیتی از محلول‌های آبی

فاطمه سهل‌آبادی<sup>۱</sup>، طاهره جاسمی زاد<sup>۲</sup>، سید مهدی قاسمی<sup>۳\*</sup>۱- کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران  
۲- مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی، یزد، ایران

## چکیده

**سابقه و هدف:** کروم عمدتاً به صورت اکسیدهای سه و شش ظرفیتی وجود داشته و در فاضلاب صنایع مختلفی نظیر آبکاری، شیشه، سرامیک، چرم و دباغی وجود دارد. کروم شش ظرفیتی باعث مخاطرات بهداشتی اثبات شده‌ای مانند سرطان‌زایی می‌شود. هدف از این مطالعه بررسی کارایی خاکستر ساقه درخت زرشک در حذف کروم شش ظرفیتی از محلول‌های آبی بود.

**روش بررسی:** این مطالعه در مقیاس آزمایشگاهی و به صورت ناپیوسته انجام گردید. خاکستر ساقه درخت زرشک در شرایط آزمایشگاهی تهیه و با استفاده از الک‌های استاندارد ASTM (اندازه‌ی مش بین ۴۰ تا ۶۰) دانه‌بندی شد و اثر مقدار جاذب، غلظت اولیه کروم، زمان واکنش و pH بر حذف کروم شش ظرفیتی توسط خاکستر ساقه درخت زرشک بررسی گردید. سنجش غلظت کروم شش ظرفیتی در نمونه‌های استاندارد و مجهول با استفاده از روش اسپکتروفتومتری در طول موج ۵۴۰ نانومتر انجام گردید. برای درک بهتر فرایند جذب، داده‌های آزمایش با مدل‌های ایزوترم لانگمیر و فروندلیچ و مطالعات سینتیک شبه درجه اول و شبه درجه دوم مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در نهایت داده‌های حاصل از تحقیق با استفاده از نرم‌افزار EXCEL تجزیه و تحلیل شد.

**یافته‌ها:** نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد راندمان حذف کروم شش ظرفیتی در تمام مقادیر جاذب ثابت و برابر ۱۰۰ درصد است. با افزایش زمان واکنش، مقدار حذف آلاینده افزایش و با افزایش غلظت آلاینده و pH، مقدار حذف آلاینده کاهش یافت. با افزایش pH از ۲ به ۷، کارایی حذف در غلظت اولیه کروم ۲ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب از ۱۰۰٪ به ۱۶/۴٪ کاهش یافت. همچنین مشخص شد داده‌های حاصل از این تحقیق از ایزوترم فرندلیچ و سینتیک شبه درجه دوم تبعیت می‌کند.

**نتیجه‌گیری:** بر اساس نتایج این تحقیق خاکستر ساقه درخت زرشک قادر به جذب کروم شش ظرفیتی است و کارایی حذف در pH برابر ۲ بیشتر از بقیه pH ها می‌باشد. با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق در مقایسه با جاذب‌های دیگر جهت حذف این آلاینده، خاکستر ساقه درخت زرشک می‌تواند به عنوان جاذبی مؤثر و مناسب جهت حذف کروم شش ظرفیتی مورد استفاده قرار گیرد.

**واژگان کلیدی:** جذب سطحی، خاکستر ساقه درخت زرشک، کروم شش ظرفیتی، محلول‌های آبی

## مقدمه

به‌رحال، فلزات سنگین سمی از طریق جذب مستقیم یا زنجیره غذایی وارد اکوسیستم شده و باعث تجمع یون‌های فلزی در بدن انسان خواهند شد. بعضی از فلزات سنگین مثل کروم شش ظرفیتی (VI) بسیار سمی هستند و تماس با این فلزات خطر جدی برای انسان و سایر سیستم‌های بیولوژیکی دارد. در سال‌های اخیر سطح این فلز سمی در آب‌های سطحی به علت آلودگی ایجاد شده در اثر تخلیه فاضلاب صنعتی در حال افزایش است (۸). کروم در سال ۱۷۹۷ توسط شیمیدان فرانسوی لوئیس واتکیویلیه کشف شد و بیست و یکمین عنصر فراوان در روی زمین (در حدود ۱۲۲ ppm) است و در طبیعت به اشکال مختلفی موجود است که از آن جمله می‌توان به کروم فلزی (کروم با ظرفیت صفر)، کروم دو، سه، چهار،

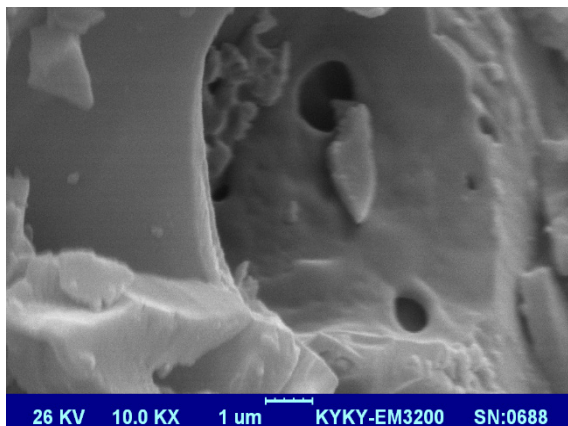
آلودگی آب به دلیل دفع فلزات سنگین بزرگ‌ترین نگرانی عمده در سراسر جهان است (۱). فلزات سنگین در فاضلاب بسیاری از صنایع مثل صنایع آبکاری، معدن کاری، باتری‌سازی، صنایع سرامیک، شیشه و غیره وجود دارند (۲-۶). فاضلاب این صنایع عمدتاً شامل کادمیوم، سرب، نیکل، مس و کروم می‌باشد (۱، ۷). این فلزات سنگین زیست تجزیه‌پذیر نبوده و حضور آن‌ها در رودخانه‌ها و دریاچه‌ها منجر به تجمع زیستی در ارگانیسم‌های زنده می‌شود که باعث مشکلات سلامتی در حیوانات، گیاهان و انسان می‌شود،

فلزات سنگین مورد استفاده قرار گرفته است (۱۲-۱۵). کوپال و دویی در سال ۲۰۰۷ مطالعه‌ای تحت عنوان جذب کروم شش ظرفیتی بر روی جاذب‌های ارزان قیمت مشتق شده از مواد زائد کشاورزی انجام دادند که در این مطالعه از پوسته بادامزمینی به عنوان جاذب استفاده شد و نتایج نشان داد جاذب‌هایی که به طور شیمیایی با یک عامل اکسیدکننده اصلاح می‌شوند توانایی حذف کروم بیشتری را در مقایسه با جاذب‌های خالص دارند. همچنین نتیجه گرفتند کربن فعال حاصل از پوسته بادامزمینی اکسیدشده با نقره ظرفیت جذب بالاتری از کروم را داشت (۴). با توجه به اینکه تاکنون تحقیقی درباره جاذب خاکستر ساقه درخت زرشک برای حذف فلز کروم صورت نگرفته است، بنابراین هدف این مطالعه، بررسی کارایی خاکستر ساقه درخت زرشک به عنوان جاذب طبیعی در تصفیه آب‌های آلوده به کروم می‌باشد.

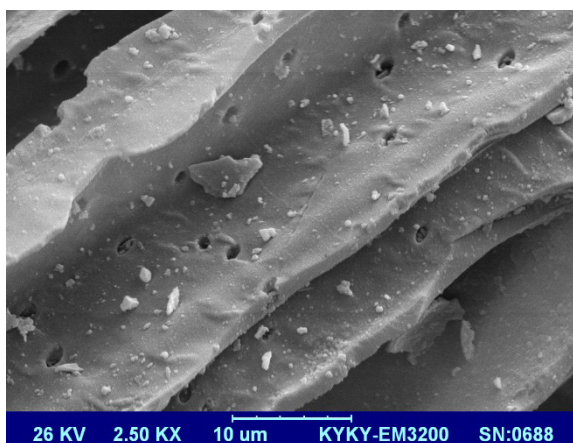
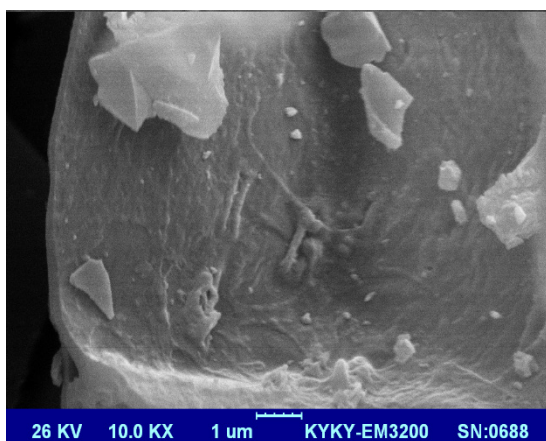
### مواد و روش‌ها

نوع مطالعه مقطعی- تحلیلی بود. ابتدا ساقه درخت زرشک را قطعه‌قطعه کرده، جهت از بین بردن ناخالصی‌ها آن‌ها را چندین بار، با آب مقطر شسته، سپس در آون در دمای  $110^{\circ}\text{C}$  برای ۱۲ ساعت قرار داده تا خشک شوند. سپس در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت سوزانده شد. بعد از سوزانده شدن توسط آسیاب برقی خرد و سپس دانه‌بندی شدند. جهت دانه‌بندی جاذب‌های مورد نظر از الک‌های استاندارد ASTM بین ۶۰-۴۰ استفاده شد. برای بررسی خصوصیات فیزیکی سطح جاذب، قبل و بعد از فرآیند جذب، از سطح جاذب به کمک میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل KYKY-EM3200 ساخت کشور چین عکس برداری شد. این روش می‌تواند روشی مناسب جهت بررسی اندازه ذرات و سطوح آن‌ها باشد. متغیرهای مورد مطالعه در این آزمایش شامل  $\text{pH}$  (۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷)، مقدار جاذب (۱/۱، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸ و ۱ گرم در ۱۰۰ cc)، غلظت اولیه کروم ( $5\text{mg/l}$ ، ۲، ۵، ۱۰، ۱۵، ۳۰، ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ دقیقه) بود. متغیرها در شرایط دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و شدت اختلاط ۱۲۰ دور در دقیقه مورد آزمایش قرار گرفتند. در هر مرحله از آزمایش، ۱۰۰ میلی‌لیتر از نمونه حاوی غلظت معین کروم، تهیه گردید و داخل ارلن ۲۵۰ میلی‌لیتری ریخته شد و پس از تنظیم pH با استفاده از فسفریک اسید نرمال و سدیم هیدروکسید، میزان جاذب مورد نیاز به آن اضافه شد. سپس ارلن‌ها به مدت ۵ دقیقه در حمام اولتراسونیک قرار داده شد تا جاذب به طور یکنواخت در کل محلول پراکنده شود. بعد از این مرحله، ارلن‌ها را به منظور اختلاط بین جاذب و آلاینده، داخل شیکر قرار داده و سرعت و دمای شیکر تنظیم گردید. پس از گذشت زمان‌های تماس

و کروم شش ظرفیتی اشاره کرد. البته در میان آن‌ها کروم فلزی و کروم سه و شش ظرفیتی از اهمیت بیشتری برخوردار هستند (۹). ترکیبات کروم شش ظرفیتی بسیار سمی‌تر از کروم سه ظرفیتی است. کروم شش ظرفیتی در آب‌های زیرزمینی معمولاً به صورت آنیون‌های کرومات  $\text{CrO}_4^{2-}$ ، هیدروژن کرومات  $\text{HCrO}_4^-$  و دی کرومات  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  یافت می‌شود که تابع تغییرات pH می‌باشد برآورد شده است که میزان کروم شش ظرفیتی در فاضلاب صنعتی می‌تواند در رنج ۰٫۵ تا ۲۷۰ ppm باشد (۶، ۸، ۱۰). کروم سه ظرفیتی با فرمول یک عنصر ضروری برای انسان است و نسبت به کروم شش ظرفیتی کمتر سمی می‌باشد. همچنین کروم شش ظرفیتی سرطان‌زا و جهش‌زا است. ترکیبات کروم از خطرناک‌ترین آلاینده‌های معدنی آب هستند و توسط فرایندهای طبیعی و منابع انسان‌ساخت منتشر می‌شوند (۱۱). تماس با کروم شش ظرفیتی باعث تهوع، اسهال، آسیب کبد و کلیه، درماتیت، خونریزی داخلی و مشکلات تنفسی می‌شود. استنشاق آن ممکن است باعث سمیت حاد، تحریک و زخم تیغه بینی و آسم شود. خوردن آن‌هم باعث آسیب کبد و کلیه می‌شود. تماس پوستی با آن ممکن است باعث سوختگی شدید و تداخل با بهبود زخم‌ها و خراش‌ها شود. همچنین تماس با چشم ممکن است باعث آسیب دائمی شود. رهنمود آب آشامیدنی توسط USEPA، ۱۰۰ میکروگرم بر لیتر را پیشنهاد می‌کند (۲، ۴). ترکیبات کروم به طور گسترده در آبکاری، تهیه نوارهای مغناطیسی، چرم، تولید چوب، صنعت نساجی، ساخت مواد شیمیایی و تجهیزات الکتریکی و الکترونیک به کار می‌روند. حذف و بازیافت کروم از فاضلاب‌های صنایع به دلیل کمیاب بودن و در نتیجه گران قیمت بودن کروم و همچنین خطرات زیست‌محیطی این فلز حائز اهمیت است. چندین تکنولوژی تصفیه برای حذف کروم از آب و فاضلاب توسعه یافته است که روش‌های رایج شامل ترسیب شیمیایی، تبادل یون، جداسازی غشایی، اولترافیلتراسیون، شناورسازی، انعقاد الکتریکی، استخراج محلول، ترسیب، ترسیب الکتروشیمیایی، اسمز معکوس، احیا، دیالیز/الکترودیالیز، جذب/فیلتراسیون، تبخیر، ترقیق، هوادهی، انعقاد و شلاته کردن است (۲، ۴). جذب، یکی از تکنیک‌های مؤثر برای حذف کروم از فاضلاب است (۵، ۶). در چند سال گذشته، تلاش‌هایی جهت حذف مواد سمی از فاضلاب با استفاده از جاذب‌های ارزان قیمت انجام گرفته است. مواد زائد کشاورزی به خاطر ویژگی فیبرها، تخلخل و وزن مولکولی کم، می‌تواند جاذب کم‌هزینه برای حذف فلزات سنگین محسوب شوند. ساختار کربوکسیلیک و هیدروکسیل روی سطح زائدات کشاورزی میل ترکیبی زیادی به یون‌های فلزات سنگین دارد. تعدادی از مواد زائد کشاورزی و جاذب‌های ارزان قیمت مثل کلزا، پوسته برنج و گندم، برگ درخت، ساقه گندم و برنج، پوسته بادام، پوسته موز، خاکستر گزنه، زائدات ذرت در حذف



a1 و a2



b1 و b2

شکل ۱- عکس SEM مربوط به سطح جاذب قبل (a1 و a2) و

(b1 و b2) از فرآیند جاذب

همان طور که در نمودار ۱ نشان داده شده است با افزایش pH ظرفیت جاذب و راندمان حذف کاهش یافت، به طوری که ظرفیت جاذب در pH ۲ برابر با ۰/۵ و با افزایش pH به ۹ ظرفیت جاذب به ۰/۱ کاهش یافته بود. همچنین راندمان حذف از ۱۰۰ درصد به ۱۶ درصد رسیده بود. با توجه به شکل مشخص است که بالاترین ظرفیت جاذب و راندمان حذف در pH ۲ به دست آمد.

موردنظر، نمونه‌ها برداشته شده و با استفاده از فیلتر واتمن شماره ۴۷ باند قرمز و پمپ خلاء صاف نموده و مقدار کروم باقیمانده، از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل T80 (در طول موج ۵۴۰ نانومتر) استفاده شد. پس از تعیین غلظت کروم در نمونه‌های مورد آزمایش، مقدار کروم جذب شده و راندمان جذب از فرمول زیر محاسبه شد.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{M}$$

$$R(\%) = \frac{C_0 - C_e}{C_0} * 100$$

که در آن  $C_0$  غلظت اولیه کروم،

$C_e$  غلظت نهایی کروم در محلول بعد از زمان تماس،

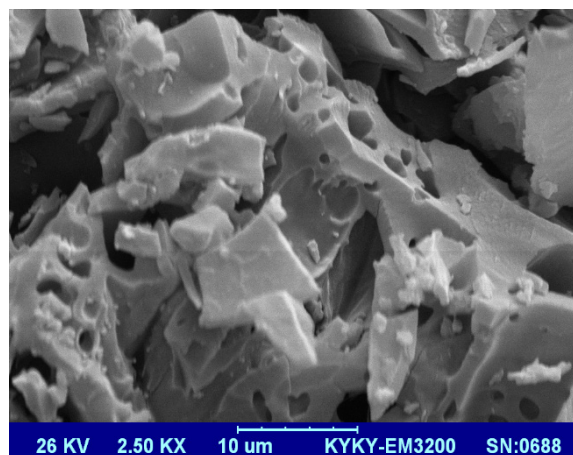
$q_e$  مقدار کروم جذب شده بر حسب mg/g،

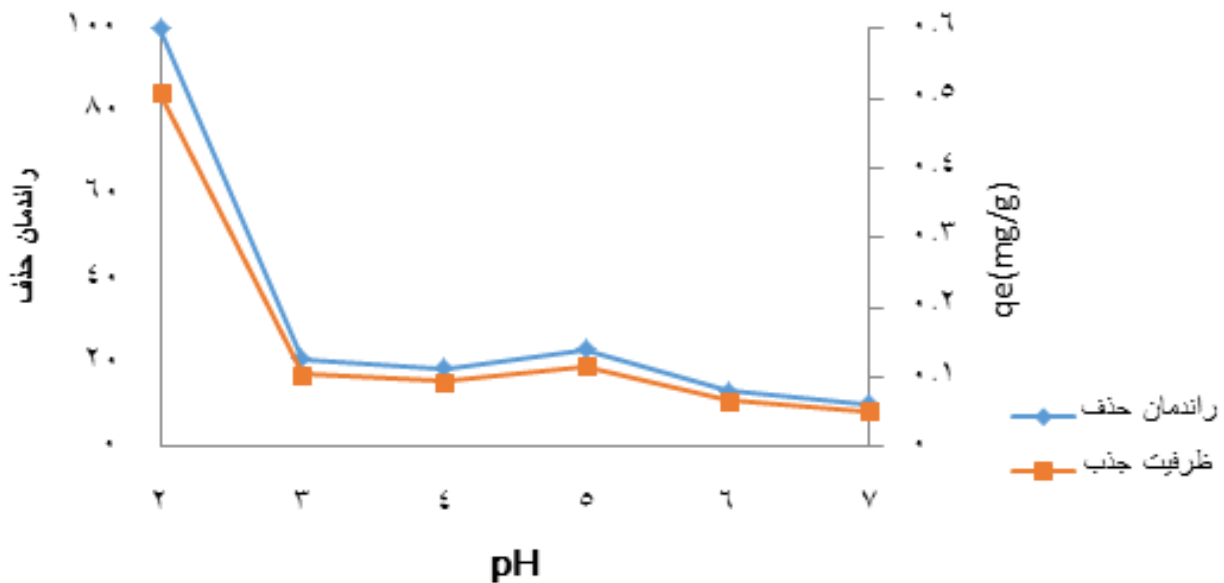
$m$  مقدار جاذب بر حسب گرم و  $V$  حجم محلول کروم بر حسب لیتر است.

برای به دست آوردن سینیتیک و ایزوترم جذب، از میان ۴ متغیر موجود، به ترتیب زمان تماس و دوز کروم را تغییر و سه متغیر دیگر را ثابت نگه داشته و با استفاده از فرمول‌های مربوطه اقدام به رسم سینیتیک و ایزوترم جذب شد.

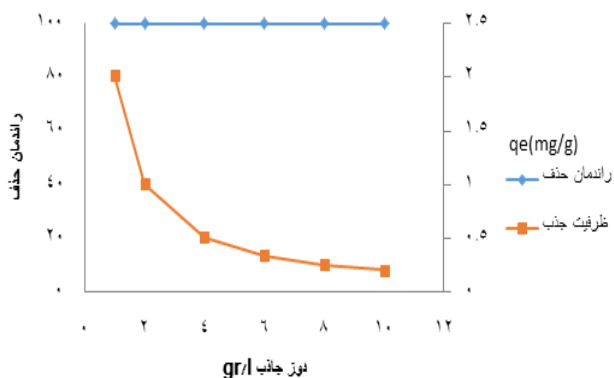
## یافته‌ها

نتایج آزمایش SEM از سطح جاذب‌ها قبل و بعد از فرآیند جذب در دو بزرگنمایی در شکل یک نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود سطح جاذب قبل از فرآیند جذب (a1 و a2) در دو بزرگنمایی مختلف دارای خلل و فرج زیادی بوده که برای به دام انداختن کروم مناسب می‌باشد، ولی پس از فرآیند جذب (b1 و b2) در دو بزرگنمایی مختلف منافذ روی سطح جاذب پر شده و سطحی یکنواخت مشاهده می‌شود.





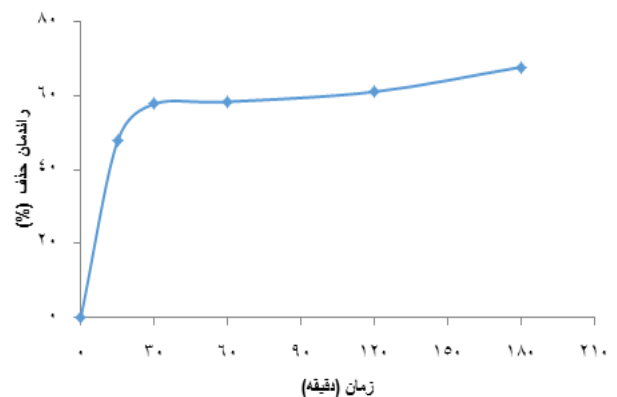
نمودار (۱) اثر pH بر ظرفیت جذب کروم شش ظرفیتی توسط جاذب خاکستر ساقه زرشک (غلظت اولیه کروم = ۲ میلی گرم بر لیتر)



نمودار ۲- اثر دوز جاذب بر راندمان جذب کروم شش ظرفیتی توسط جاذب خاکستر ساقه زرشک (غلظت اولیه کروم = ۲ میلی گرم بر لیتر)

نمودار ۴ ظرفیت جذب و راندمان حذف غلظت اولیه کروم شش ظرفیتی (۰/۵ تا ۱۰ mg/L) را نشان می‌دهد. همان‌طور که در نمودار ۴ نشان داده شده است ظرفیت جذب با افزایش غلظت اولیه کروم افزایش یافت به طوری که ظرفیت جذب در غلظت ۰/۵ میلی گرم در لیتر برابر ۰/۵۳ میلی گرم بر گرم و در غلظت ۱۰ میلی گرم در لیتر برابر ۷/۳۶ میلی گرم بر گرم می‌باشد. همچنین با افزایش غلظت اولیه کروم از ۰/۵ به ۱۰ میلی گرم در لیتر راندمان حذف از ۱۰۰ به ۷۳/۵۶ درصد کاهش یافت.

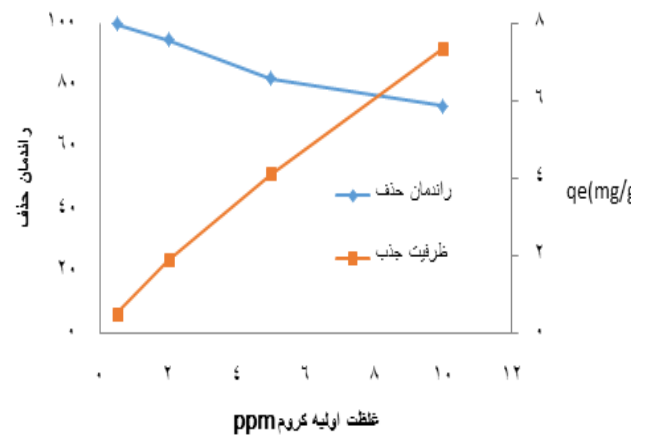
نمودار ۲ اثر زمان‌های مختلف تماس (۱۵ تا ۱۸۰ دقیقه) بر روی حذف کروم از محیط آبی نشان می‌دهد. با توجه به نمودار مشخص می‌شود که با افزایش زمان تماس از ۱۵ دقیقه به ۳۰ دقیقه، راندمان حذف توسط جاذب افزایش یافته بود و پس از آن، افزایش زمان تماس تأثیر چندانی بر عملکرد فرایند نداشت. همان‌طور که در نمودار ۲ مشخص است راندمان حذف از ۱۵ به ۳۰ دقیقه از ۴۷/۸٪ به ۵۷/۸٪ افزایش یافت و سپس از ۳۰ به ۱۸۰ دقیقه از ۵۷/۸٪ به ۶۷/۸٪ رسید.



نمودار ۲- اثر زمان تماس بر ظرفیت جذب کروم شش ظرفیتی توسط جاذب خاکستر ساقه زرشک (غلظت اولیه کروم = ۲ میلی گرم بر لیتر)

همان‌طور که نمودار ۳ نشان می‌دهد راندمان حذف کروم شش ظرفیتی در تمام مقادیر جاذب ثابت و برابر ۱۰۰ درصد به دست آمد ولی ظرفیت جذب با افزایش مقدار جاذب از ۱ به ۱۰ گرم در لیتر کاهش یافت.

۴ نوع از ایزوترم لانگمیر، فرندلیچ و تمکین مورد بررسی قرار گرفتند که نتایج با ایزوترم فرندلیچ مطابقت داشت. نمودار ۵ ایزوترم فرندلیچ را با مقدار  $R^2$  برابر ۰.۹۸ نشان می‌دهد.

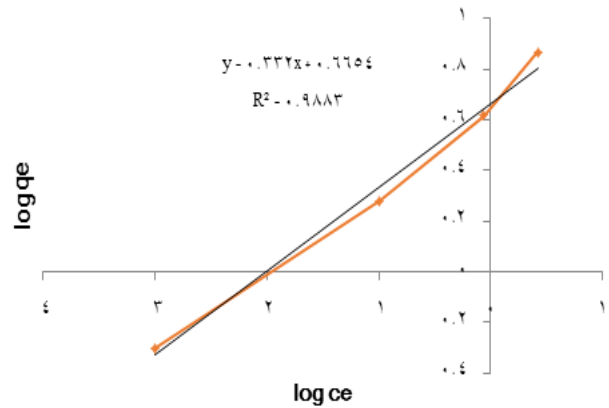


نمودار ۴) اثر غلظت اولیه کروم بر ظرفیت جذب کروم شش ظرفیتی توسط جاذب خاکستر ساقه زرشک (pH = ۲)

جدول ۱) معادلات مربوط به ایزو ترم‌های جذب و ضرایب ثابت آن‌ها

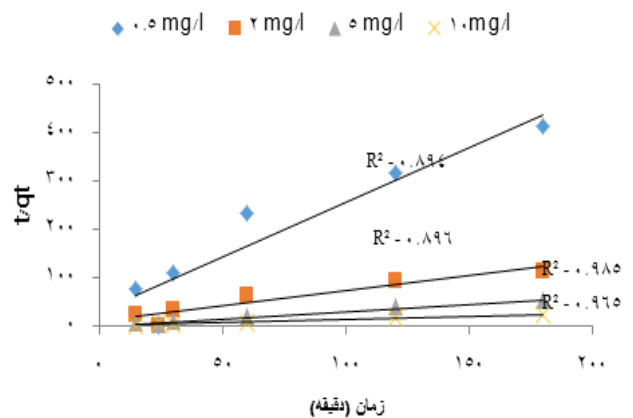
$0.931=R^2$ $7.87=q_m$ $3.08=k_L$	$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{k_L q_m} + \frac{1}{q_m} C_e$	لانگمیر نوع ۱
$0.966=R^2$ $3.39=q_m$ $175.43=k_L$	$\frac{1-q_e}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{k_L q_m C_e}$	لانگمیر نوع ۲
$0.463=R^2$ $4.55=q_m$ $120.48=k_L$	$q_e = q_m - \left(\frac{1}{k_L}\right) \frac{q_e}{C_e}$	لانگمیر نوع ۳
$0.463=R^2$ $5.82=q_m$ $55.81 k_L =$	$\frac{q_e}{C_e} = k_L q_m - k_L q_e$	لانگمیر نوع ۴
$0.988=R^2$ $3.01=n$ $0.665=K_f$	$\text{Log } q_e = 1/n \text{ log } C_e + \text{log } K_f$	فرندلیچ
$0.789=R^2$ $B10.762=$ $765.09=K_t$	$q_e = B_1 \ln(k_t) + B_1 \ln(C_e)$	تمکین

را پر کرده و سطح صافتری را به وجود می‌آورد. راندمان جذب کروم با افزایش مقدار pH کاهش یافت، اما بیشترین حذف کروم توسط جاذب در pH اولیه برابر ۲ اتفاق افتاد. مقادیر بالای pH راندمان جذب کروم را کاهش داد. pH با تأثیر بر روی تعداد بارهای مثبت و منفی سطح جاذب و همچنین تغییر حالت یونی فلزات و یونیزاسیون آن‌ها، بر راندمان جذب تأثیر می‌گذارد. pH اثر قابل ملاحظه‌ای بر جذب فلزات سنگین دارد که به علت بار سطحی و درجه یونیزاسیون جاذب است (۱۶). حامادی و همکاران سینتیک‌های جذب را برای حذف کروم شش ظرفیتی از محلول‌های آبی توسط جاذب‌های مشتق شده از لاستیک و خاکاره مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها بدین نتیجه رسیدند که حداکثر کارایی حذف کروم در pH برابر ۲ بود (۳). البدرینوه‌مکاران، از دولو میت برای حذف کروم شش ظرفیتی استفاده کردند. آنها در مطالعه خود به منظور تعیین تأثیر pH اولیه محلول، از pH های ۲ تا ۱۲ استفاده کردند نتایج نشان داد که با افزایش pH از ۲ تا ۱۲، راندمان حذف کاهش پیدا می‌کند بطوریکه بیشترین راندمان حذف در pH=۲ و کمترین راندمان در pH=۱۲ به دست آمد (۱۷). مطالعه حاضر نیز نشان داد که جذب کروم شش ظرفیتی بر روی خاکستر ساقه زرشک در شرایط اسیدی افزایش یافت. در این مطالعه، با افزایش زمان واکنش، مقدار حذف آلاینده افزایش یافت. با افزایش زمان، تماس آلاینده با سطح جاذب افزایش یافته و کارایی حذف نیز افزایش می‌یابد. با مرور زمان هم با اشباع شدن سطح جاذب شیب افزایش درصد حذف از ۳۰ تا ۱۸۰ دقیقه کاهش می‌یابد (۷، ۱۸). تعیین مقدار جاذب یکی از مواردی است که باید در مطالعات جذب در نظر گرفته شود. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که با افزایش مقدار جاذب، کارایی حذف کروم ثابت و برابر ۱۰۰ درصد به دست آمد اما ظرفیت جاذب بر حسب میلی‌گرم فلز حذف شده به ازای هر گرم جاذب کاهش یافت، بنابراین مقدار یک گرم در لیتر در آزمایشات بعدی به عنوان بهینه انتخاب شد. دلیل کاهش میزان جذب در واحد جرم جاذب می‌تواند به این علت باشد که افزایش جرم جاذب منجر به هم پوشانی سطوح جاذب و تجمع آن‌ها شده که برآیند آن کاهش سطح مفید در دسترس است (۱۳). گوپال و دوی دو جاذب ارزان قیمت را که با استفاده از پوسته بادام زمینی تهیه گردیدند جهت حذف کروم مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها حذف کروم شش ظرفیتی را توسط مقادیر مختلف جاذب از ۰/۰۶۲۵ تا ۰/۷۵ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر مطالعه کردند. آن‌ها مشاهده کردند که به طور کلی، با افزایش مقدار جاذب، کارایی حذف جاذب‌ها افزایش یافت. هر دو جاذب بعد از اینکه مقدار مشخصی از جاذب از ۰/۰۶۲۵ به ۰/۵ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر اضافه گردید، افزایشی در جذب نشان نداد (۴). فاکتور دیگری که در فرآیند جذب باید در نظر گرفته شود، غلظت اولیه آلاینده است. در این مطالعه، نتایج اثر غلظت اولیه کروم شش ظرفیتی نشان داد که با افزایش غلظت اولیه کروم شش ظرفیتی، کارایی حذف کاهش یافت. در حقیقت، جاذب محل‌های فعال محدودی دارد به طوری که در غلظت‌های بالای آلاینده، این محل‌های فعال توسط آلاینده اشباع شده و کارایی حذف



نمودار ۵- ایزوترم فرندلیچ در جذب کروم (شش ظرفیتی) توسط خاکستر ساقه زرشک

سینتیک‌های شبه درجه صفر، شبه درجه اول و شبه درجه دوم مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های این مطالعه با سینتیک شبه درجه دوم مطابقت بهتری داشت. نمودار ۶ سینتیک شبه درجه دوم را نشان می‌دهد. همان‌طور که از نمودار ۶ مشخص است مقدار  $R^2$  برای غلظت ۰/۵، ۲، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر به ترتیب ۰/۸۹۶، ۰/۸۹۴، ۰/۸۹۶، ۰/۸۹۶



۰/۹۸۵ و ۰/۹۶۵ به دست آمد.

نمودار ۶- سینتیک شبه درجه دوم در جذب کروم (شش ظرفیتی) توسط خاکستر ساقه زرشک

## بحث

نتایج نشان داد که سطح جاذب مورد نظر بعد از فرآیند جذب دارای سطوح صافتری نسبت به قبل از فرآیند جذب بود که ممکن است به این دلیل باشد که یون‌های فلزی در اثر پیوستن به سطوح متخلخل جاذب، حفره‌ها

سینیتیک ضروری است. در این مطالعه، مکانیسم جذب کروم شش ظرفیتی بر روی پودر ساقه درخت زرشک، به‌خوبی با سینتیک شبه درجه دوم متناسب بود. نتایج اکثر مطالعات با نتایج مطالعه حاضر مشابه بودند. موهان و همکاران، حذف کروم سه‌ظرفیتی از فاضلاب با استفاده از کربن مورد مطالعه قراردادند و بدین نتیجه رسیدند که جذب کروم سه‌ظرفیتی از واکنش شبه درجه دوم تبعیت می‌کند (۲).

### نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از آزمایشات، جاذب خاکستر ساقه زرشک کارایی بالایی در حذف کروم شش ظرفیتی از محیط‌های آبی را دارا می‌باشد به طوری که حذف کروم متوسط جاذب ۱۰۰٪ می‌باشد

### تشکر و قدردانی

از کارکنان آزمایشگاه دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بیرجند و همچنین از خانم دری که در اجرای طرح ۹۳-۹۵۲ مساعدت و همکاری لازم را نموده‌اند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

آلاینده کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر می‌توان گفت در غلظت‌های زیاد به دلیل اینکه نسبت سطح فعال جذب به فلز کروم، کم است میزان درصد حذف کم است. این نتایج در بسیاری از مطالعات اثبات شده است (۱۶، ۱۹-۲۱).

ایزوترم جذب یکی از فاکتورهای مهم جهت تشریح حالت تعادل جزء جذب‌شونده بین فاز جامد و سیال است، لذا همواره به‌عنوان یک فاکتور اساسی جهت تعیین ظرفیت یک جاذب و بهینه نمودن مصرف جاذب مدنظر است. با توجه به ضرایب همبستگی ارائه شده در جدول شماره ۱ می‌توان نتیجه گرفت که جذب کروم توسط ساقه زرشک از مدل جذب فرندلیچ پیروی می‌کند. این بدان معنی است که جذب کروم بروی سطوح غیریکنواخت ساقه زرشک صورت می‌گیرد (۲۲، ۲۳).

گئرو و همکاران در مطالعه حذف کروم سه‌ظرفیتی از آب با استفاده از دیاتومه طبیعی ارزان‌قیمت بدین نتیجه رسیدند که ایزوترم لانگمیر بالاترین ضریب همبستگی را داشت (۲۴). به‌منظور دست یافتن به اطلاعاتی در مورد عوامل مؤثر بر سرعت واکنش، ارزیابی

## References

1. Salam OEA, Reiad NA, ElShafei MM. A study of the removal characteristics of heavy metals from wastewater by low-cost adsorbents. *Journal of Advanced Research*. 2011;2(4):297-303.
2. Mohan D, Pittman CU. Activated carbons and low cost adsorbents for remediation of tri-and hexavalent chromium from water. *Journal of hazardous materials*. 2006;137(2):762-811.
3. Hamadi NK, Chen XD, Farid MM, Lu MG. Adsorption kinetics for the removal of chromium (VI) from aqueous solution by adsorbents derived from used tyres and sawdust. *Chemical Engineering Journal*. 2001;84(2):95-105.
4. Dubey SP, Gopal K. Adsorption of chromium (VI) on low cost adsorbents derived from agricultural waste material: a comparative study. *Journal of hazardous materials*. 2007;145(3):465-70.
5. Daneshvar N, Salari D, Aber S. Chromium adsorption and Cr (VI) reduction to trivalent chromium in aqueous solutions by soya cake. *Journal of Hazardous Materials*. 2002;94(1):49-61.
6. Cronje K, Chetty K, Carsky M, Sahu J, Meikap B. Optimization of chromium (VI) sorption potential using developed activated carbon from sugarcane bagasse with chemical activation by zinc chloride. *Desalination*. 2011;275(1):276-84.
7. Argun ME, Dursun S. A new approach to modification of natural adsorbent for heavy metal adsorption. *Bioresource Technology*. 2008;99(7):2516-27.
8. Leyva-Ramos R, Jacobo-Azuara A, Diaz-Flores P, Guerrero-Coronado R, Mendoza-Barron J, Berber-Mendoza M. Adsorption of chromium (VI) from an aqueous solution on a surfactant-modified zeolite. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2008;330(1):35-41.
9. Bhattacharya A, Naiya T, Mandal S, Das S. Adsorption,



- kinetics and equilibrium studies on removal of Cr (VI) from aqueous solutions using different low-cost adsorbents. *Chemical engineering journal*. 2008;137(3):529-41.
10. Cronje KJ CK, Carsky M, Sahu JN, Meikap BC. Optimization of chromium(VI) sorption potential using developed activated carbon from sugarcane bagasse with chemical activation by zinc chloride. *Desalination*. 2011;275:276-84.
11. Di Natale F, Lancia A, Molino A, Musmarra D. Removal of chromium ions form aqueous solutions by adsorption on activated carbon and char. *Journal of Hazardous Materials*. 2007;145(3):381-90.
12. Ghasemi SM, Ghaffari H, Sharafi K, Amoei A, Karimyan K. Removal of Cd(II) Ions from Aqueous Solutions onto Modified Sesame Husk. *Nature Environment and Pollution Technology*. 2016;15(3): 841-6.
13. Tilaki RAD, Yousefi Z, Cherati JY, Ghasemi SM. Efficiency Evaluation of Natural (Crude) and Citric Acid Modified Rice Straw for Removal of Pb (II) From Aqueous Solutions *J Mazandaran Univ Med Sci* 2015;24(120):220-31.
14. Dianatitilaki R, Yousefi Z, Yazdanicherati J, Ghasemi SM. Comparison of Ni(II) Removal from Aqueous Solutions by Natural and Citric Acid Modified Rice Straw. *J of Guilan Univ of Med Sci* 2015;24(96):1-12.
15. Zazouli MA BD. Adsorption of 2-Chlorophenol on Activated Carbon Prepared from Orange and Banana Husk: Equilibrium and Kinetic Studies. *J Saf Promot Inj Prev*. 2016;4(2):117-28.
16. Aharoni C, Levinson S, Ravina I, Sparks DL. Kinetics of soil chemical reactions: Relationships between empirical equations and diffusion models. *Soil Science Society of America Journal*. 1991;55(5):1307-12.
17. Albadarin AB, Mangwandi C, Ala'a H, Walker GM, Allen SJ, Ahmad MN. Kinetic and thermodynamics of chromium ions adsorption onto low-cost dolomite adsorbent. *Chemical Engineering Journal*. 2012;179:193-202.
18. Ghasemi SM, Asgharnia HA, Karimyan K, Adabi S. Adsorption of Basic Blue3 (BB3) dye from aqueous solution by tartaric acid modified sunflower stem: Kinetics and Equilibrium studies. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences* 2015;9(5):686-94.
19. Amoei A, Asgharnia HA, Karimian K, Mahdavi Y, Balarak D, Ghasemi SM. Optimization of Dye Reactive Orange 16 (RO16) Adsorption by Modified Sunflower Stem Using Response Surface Method from Aqueous Solutions. *J Rafsanjan Univ Med Sci*. 2016;14(10):813-26.
20. Amoei A, Asgharnia HA, Karimian K, Mahdavi Y, Balarak D, Ghasemi SM. Efficiency of Response Surface Methodology for Optimizing Removal of Crystal Violet (CV) from Aqueous Solutions by Modified Barley Straw. *J environmental health engineering*. 2014;2(2):65-75.
21. Zazouli MA, Balarak D. Adsorption of 2-Chlorophenol on Activated Carbon Prepared from Orange and Banana Husk: Equilibrium and Kinetic Studies. *J Saf Promot Inj Prev*. 2016;4(2):117-28.
22. Bayramoğlu G, Arıca MY. Removal of heavy mercury (II), cadmium (II) and zinc (II) metal ions by live and heat inactivated *Lentinus edodes* pellets. *Chemical Engineering Journal*. 2008;143(1):133-40.
23. Mousavi SA KM, Shahbazi P. Adsorption Isotherm Study and Factor Affected on Methylene Blue Decolorization using Activated Carbon Powder Prepared Grapevine Leaf. *J Saf Promot Inj Prev*. 2016; 3(4):249-56.
24. Gürü M, Venedik D, Murathan A. Removal of trivalent chromium from water using low-cost natural diatomite. *Journal of Hazardous Materials*. 2008;160(2):318-23.