

Removing cadmium from aqueous solutions by the Canola residuals

Abdoliman Amouei¹,
Mohammad-Hassan Ehrampoush²,
Mohammad-Taghi Ghaneian³,
Fatemeh Asgharzadeh⁴,
Abbas Mousapour⁵,
Hadi Parsian⁶

¹ Associate Professor, Department of Environmental Health, Health Sciences Research Center, School of Paramedicine and Health, Babol University of Medical Sciences, Babol, Iran

² Professor, Department of Environmental Health, School of Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

³ Associate Professor, Department of Environmental Health, School of Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

⁴ MSc, Department of Environmental Health, School of Paramedicine and Health, Babol University of Medical Sciences, Babol, Iran

⁵ Msc, Department of Biochemistry and Boiphysic, School of Medicine, Babol University of Medical Sciences, Babol, Iran

⁶ Assistant Professor, Department of Biochemistry and Boiphysic, School of Medicine, Babol University of Medical Sciences, Babol, Iran

(Received September 25, 2013; Accepted January 5, 2014)

Abstract

Background and purpose: Recently, using agricultural wastes as a biosorbent in removal of heavy metals has been concentrated. The aim of this study was evaluation of Canola residuals on removal of cadmium from aqueous solutions.

Materials and methods: This experimental study was performed in laboratory scale in a batch system. The effect of parameters such as contact time (5, 10, 15, 30, 45, 60, and 120 minutes), pH (2, 4, 6, and 7), initiative concentration of cadmium (15, 30, and 60 mg/l) and adsorbent doses (0.2, 0.6, 1 g/100 ml) was evaluated. The sampled solutions of cadmium with known concentrations in 100 ml were prepared in Erlen Mayer of 150 ml. The samples were analyzed by atomic absorption spectrometry PG-999 instrument in wavelength of 228 nm. The results were compared using the Langmuir and Freundlich isotherms and kinetic models.

Results: Maximum removal of cadmium was 95% happened in primary five minutes. Optimum pH was 6. Adsorption ability of cadmium increased with increasing initiative concentration of cadmium and adsorbent dose. The adsorption isotherm obeyed Freundlich model and the adsorption kinetic followed pseudo-second-order reaction.

Conclusion: Based on the results, Canola residues could be used as a low-cost and efficient biosorbent for treatment of wastewater with cadmium.

Keywords: Canola residues, cadmium solution, isotherm, kinetic, adsorption

بررسی کارایی زایدات گیاه کلزا در حذف کادمیوم از محلول‌های آبی

عبدالایمان عمویی^۱

محمد حسن احرامپوش^۲

محمد تقی قانعیان^۳

فاطمه اصغرزاده^۴

عباس موسی‌پور^۵

هادی پاریسیان^۶

چکیده

سابقه و هدف: در چند سال اخیر کاربرد پسماندهای کشاورزی به عنوان جاذب در حذف فلزات سنگین افزایش چشمگیری یافته است. هدف از تحقیق حاضر، بررسی کارایی زایدات گیاه کلزا در حذف کادمیوم از محلول‌های آبی بود.

مواد و روش‌ها: این تحقیق در مقیاس آزمایشگاهی و در سیستم ناپیوسته صورت گرفت. اثر عوامل زمان تماس (۵، ۱۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه)، میزان pH (۲، ۴، ۶ و ۷)، غلظت کادمیوم (۱۵، ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر) و دوزهای جاذب (۰/۲، ۰/۶ و ۱ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر) بررسی شد. محلول‌های حاوی کادمیوم به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر، با غلظت‌های مشخص در ارلن ۱۵۰ میلی‌لیتری آماده گردید. تحلیل نمونه‌ها با دستگاه اسپکترومتری جذب اتمی مدل PG-990 انجام شد. میزان مطابقت داده‌ها با ایزوترم‌های جذب Freundlich و Langmuir و نیز مدل‌های سینتیک بررسی گردید.

یافته‌ها: بیشترین راندمان حذف کادمیوم ۹۵ درصد به دست آمد که در ۵ دقیقه اول اتفاق افتاد. با افزایش pH تا ۶، میزان جذب کادمیوم روی جاذب افزایش یافت. جذب کادمیوم در واحد جرم جاذب با افزایش غلظت اولیه افزایش پیدا کرد. با افزایش جرم جاذب نیز میزان جذب کادمیوم در واحد جرم جاذب زیاد گردید. جذب کادمیوم توسط جاذب کلزا از ایزوترم Freundlich و سینتیک جذب از مدل شبه درجه دوم پیروی نمود.

استنتاج: می‌توان از پسماندهای گیاه کلزا به عنوان یک جاذب مؤثر و ارزان قیمت جهت تصفیه فاضلاب‌های دارای کادمیوم استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: زایدات کلزا، محلول آبی کادمیوم، ایزوترم، سینتیک، جذب

مقدمه

موجب این قوانین، صاحبان صنایع ملزم به کاهش غلظت فلزات سنگین در پساب خروجی از واحدهای تصفیه می‌باشند (۱). کادمیوم به دلیل سمیت و قابلیت تجمع بیولوژیک زیاد، توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA یا United States Environmental Protection Agency) به عنوان یکی از آلاینده‌های دارای اولویت اول طبقه‌بندی شده

فلزات سنگین یکی از سمی‌ترین آلاینده‌های موجود در فاضلاب‌های صنعتی می‌باشند که ورود آن‌ها به محیط زیست اثرات نامطلوبی بر سلامت انسان و محیط زیست در پی خواهد داشت. از این رو مراجع ذی‌صلاح قوانین سختگیرانه‌ای برای تخلیه فاضلاب‌های صنعتی به محیط زیست وضع کرده‌اند. به

E-mail: asgharzadeh_59@yahoo.com

مؤلف مسئول: فاطمه اصغرزاده - بابل: جاده گنج‌افروز، دانشگاه علوم پزشکی بابل، دانشکده پیراپزشکی.

۱. دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکده پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بابل، بابل، ایران

۲. استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران

۳. دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران

۴. کارشناس ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بابل، بابل، ایران

۵. کارشناس ارشد، گروه بیوشیمی و بیوفیزیک، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بابل، بابل، ایران

۶. استادیار، گروه بیوشیمی و بیوفیزیک، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بابل، بابل، ایران

تاریخ دریافت: ۹۲/۷/۳ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: ۹۲/۹/۲۳ تاریخ تصویب: ۹۲/۱۰/۱۵

گیاه کلزا با نام دیگر کانولا و اسم علمی (Canola napus) در کارخانجات تولید مواد غذایی و روغن نباتی کاربرد فراوان دارد. وجود ترکیباتی مانند سلولز، لیگنین، سیلیکا و جایگاه‌های سطحی مناسب در این گیاه آن را به یک جاذب مؤثر در جذب فلزات سنگین از محلول آبی تبدیل نموده است. پژوهش حاضر با هدف بررسی امکان استفاده از زایدات گیاه کلزا جهت حذف فلز کادمیوم از محلول‌های آبی انجام شد. در این مطالعه عواملی مانند زمان تماس، pH محلول، غلظت کادمیوم و دوز جاذب بر کارایی جذب فلز کادمیوم در محلول آبی و نیز تعیین ایزوترم و مدل‌های سینتیکی جذب مورد بررسی قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر یک مطالعه تجربی بود که در سیستم ناپیوسته و در مقیاس آزمایشگاهی انجام شد. در این مطالعه، از ضایعات گیاه کلزا به عنوان جاذب در حذف کادمیوم استفاده گردید. برای انجام مطالعه، زایدات گیاه کلزا در فصل برداشت محصول از زمین‌های کشاورزی شهرستان بابل از توابع استان مازندران جمع‌آوری شد. مراحل کار به صورت زیر بود:

۱- آماده‌سازی جاذب: جهت آماده‌سازی اولیه این زایدات، برای حذف گرد و غبار آن‌ها را با آب تصفیه شده شستشو کرده و بعد زیر نور آفتاب قرار دادیم تا رطوبت آن به طور کامل از بین برود. مواد خشک شده با استفاده از آسیاب برقی خرد گردید تا به ذرات ریز تبدیل شوند. ذرات ریز شده را به نسبت ۱ به ۵ با آب مقطر مخلوط و به مدت ۵ ساعت به آن فرصت جوشیدن داده شد تا رنگ و آلودگی‌ها حذف گردد. سپس آن‌ها را فیلتر کرده، چندین مرتبه با آب مقطر شستشو داده و سپس در فور ۸۰ درجه به مدت ۱۰ ساعت قرار داده شد تا رطوبت آن‌ها به طور کامل حذف شود. بعد از خشک شدن، ذرات دوباره آسیاب و برای دانه‌بندی از الک‌های ASTM با مش ۷۰ عبور داده شد. سرانجام نمونه‌های آماده شده به منظور استفاده به عنوان جاذب در کیسه‌های پلاستیکی نفوذناپذیر قرار داده و نگهداری گردید (۶).

است (۲). این عنصر سمی و خطرناک باعث ایجاد صدمات کبدی و کلیوی، افزایش فشار خون، ضایعات استخوانی و تخریب گلبول‌های خون می‌شود (۴، ۳).

امروزه از روش‌های مختلفی برای تصفیه آب و فاضلاب حاوی فلزات سنگین از جمله کادمیوم استفاده می‌گردد. این روش‌ها شامل رسوب‌دهی شیمیایی، رسوب‌دهی هم‌زمان، تبادل یون، اسمز معکوس، الکترولیز، استخراج با حلال و روش جذب سطحی می‌باشد (۵، ۶). این روش‌ها دارای معایبی مانند کاهش راندمان حذف، هزینه‌های زیاد طراحی، بهره‌برداری و نگهداری، پیچیدگی روش و تولید مواد باقی‌مانده سمی می‌باشد (۷، ۸). فرایند جذب سطحی با کربن فعال یکی از روش‌هایی است که در سال‌های اخیر با وجود کارایی بالا و کاربرد گسترده، به دلایل گرانی کربن فعال و نیاز به نیروی متخصص با انتقاداتی همراه شده است (۹). در حال حاضر، پژوهش‌های وسیعی در راستای یافتن جاذب‌های طبیعی ارزان قیمت و مؤثر در حذف انواع مختلف ترکیبات آلی و معدنی در دنیا در حال انجام است (۱۱، ۱۰).

از جاذب‌های طبیعی مهم و متداول مورد استفاده در صنعت آب و فاضلاب می‌توان به خاک اره، خاکستر چوب، کیتوزان، میوه کاج، هسته زیتون، ملاس نیشکر و شلتوک برنج اشاره نمود (۱۳، ۱۲، ۱۰). بدین منظور فرآورده‌های جانبی و پسماندهای زاید حاصل از محصولات کشاورزی می‌توانند به عنوان جاذب‌های ارزان قیمت و مفید جهت حذف فلزات سنگین به ویژه فلز کادمیوم مورد استفاده قرار گیرند. در مطالعه حمزه و همکاران، از زایدات گیاه کلزا به عنوان جاذب برای حذف رنگ‌های واکنشگر از محلول‌های آبی استفاده شد (۱۴). در پژوهشی دیگر توسط ززولی و همکاران، حذف نوعی رنگ (اسید بلوی ۱۱۳) از محلول آبی توسط جاذب فرآوری شده گیاه کلزا انجام گردید (۱۰). تحقیقات نشان می‌دهد که میزان پسماندهای حاصل از کشت و برداشت گیاه کلزا در مزارع کشور در سال ۱۳۸۵ بیشتر از ۵۸ هزار تن بوده است که بخش قابل توجهی از آن به عنوان پسماندهای کشاورزی در خاک مناطق کشاورزی باقی‌مانده یا سوزانده می‌شود (۱۴).

۲- آماده‌سازی محلول آبی: در این مطالعه محلول استوک ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر کادمیوم با انحلال نیترات کادمیوم با فرمول $Cd(NO_3)_2 \cdot H_2O$ در آب دو بار تقطیر تهیه شد و سپس محلول‌های نمونه به حجم ۱۰۰ میلی لیتر و دارای غلظت‌های مشخص کادمیوم از طریق رقیق کردن محلول استوک در ارلن‌های ۲۵۰ لیتری آماده گردید. جهت تنظیم pH از محلول اسید نیتریک و هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال استفاده شد.

۳- روش انجام آزمایش‌ها: آزمایش‌ها به صورت ناپیوسته و با تغییر فاکتورهای pH (۲، ۴، ۶ و ۷)، زمان تماس (۵، ۱۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه)، غلظت اولیه کادمیوم (۱۵، ۳۰ و ۶۰ میلی گرم بر لیتر) و میزان جاذب (۰/۲، ۰/۶ و ۱ گرم در ۱۰۰ میلی لیتر) صورت گرفت. به منظور تعیین اثر pH بر میزان ظرفیت جذب، مقدار ۰/۶ گرم جاذب در ۱۰۰ میلی لیتر محلول کادمیوم با غلظت ۳۰ میلی گرم در لیتر در مدت ۲۴ ساعت و در pH‌های ۲، ۴، ۶ و ۷ قرار داده شد. جهت بررسی اثر غلظت اولیه کادمیوم، میزان دوز جاذب ۱ گرم در ۱۰۰ میلی لیتر در طی مدت ۱۲۰ دقیقه و در pH = ۶ در تماس با محلول کادمیوم با غلظت‌های ۱۵، ۳۰ و ۶۰ میلی گرم در لیتر قرار گرفت. اثر زمان‌های تماس مختلف بر حسب دقیقه (۵، ۱۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۱۲۰) در pH = ۶ و میزان دوز جاذب ۰/۲، ۰/۶ و ۱ گرم در ۱۰۰ میلی لیتر و غلظت ۶۰ میلی گرم بر لیتر کادمیوم نیز بررسی گردید. جهت حصول اطمینان از صحت و دقت نتایج حاصل شده، همه آزمایش‌ها سه بار تکرار و در مجموع تعداد ۲۰۰ نمونه تحلیل گردید.

۴- روش تحلیل: در این تحقیق مقدار کادمیوم با استفاده از دستگاه جذب اتمی شعله‌ای (FAAS) یا Flame absorption atomic spectroscopy مدل PG-990 در طول موج ۲۲۸ نانومتر بر اساس روش ارایه شده در کتاب استاندارد آزمایش‌های آب و فاضلاب اندازه‌گیری شد (۱). به منظور ایجاد اختلاط از دستگاه شیکر مدل FL 83 با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه (Revolutions per minute) یا RPM استفاده گردید. سپس نمونه‌ها با استفاده از صافی غشایی ۰/۴۵ میکرون واتمن (Whatman) صاف و محلول

حاصل در ظروف پلی اتیلنی ریخته شد. سپس به منظور نگهداری نمونه‌ها، pH آن‌ها با استفاده از اسیدنیتریک به زیر ۲ کاهش داده شد و نمونه‌ها تا قبل از اندازه‌گیری با دستگاه جذب اتمی در یخچال نگهداری شد.

۵- تعیین ایزوترم جذب: به منظور تعیین ایزوترم جذب، میزان مطابقت داده‌ها با ایزوترم‌های Langmuir و Freundlich بررسی شد و ظرفیت جذب از طریق رابطه زیر محاسبه گردید:

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

q_e : میزان آلاینده جذب شده به ازای واحد جرم جاذب (میلی گرم بر گرم)

C_0 : غلظت اولیه ماده آلاینده در محلول (میلی گرم بر لیتر)
 C_e : غلظت نهایی آلاینده بعد از برقراری تعادل (میلی گرم بر لیتر)

V : حجم مایع در داخل رآکتور (لیتر)
 راندمان حذف یون کادمیوم در هر نمونه با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

$$R = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100$$

R : راندمان حذف (درصد)
 C_0 : غلظت اولیه در نمونه (میلی گرم بر لیتر)
 C_e : غلظت باقی مانده در نمونه (میلی گرم بر لیتر)
 ۶- تعیین میزان سینتیک جذب: مدل‌های سینتیکی برای شفاف‌سازی مکانیسم و سرعت واکنش در فرایند جذب سطحی پیشنهاد می‌شوند. این مدل‌ها به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی جاذب و فرایند انتقال جرم وابسته می‌باشند (۱۵).

$$\ln(q_e - q) = \ln q_{eq} - \frac{K_1 t}{2.303}$$

q و q_e (mg.g⁻¹) فلز کادمیوم جذب شده به ازای هر گرم جاذب در زمان (t) و در حالت تعادل است. K_1 ثابت سینتیک مرتبه اول (min⁻¹) است و از شیب نمودار $\ln(q_{eq} - q)$ در مقابل t تعیین می‌شود. همچنین سینتیک جذب ممکن است به وسیله معادله شبه درجه دوم توصیف گردد که بر مبنای ظرفیت جذب در فاز جامد به صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{t}{q} = \frac{1}{K_2 q_{eq}^2} + \frac{1}{q_e} t$$

بر روی سطح جاذب کمتر می‌شود؛ اگرچه درصد حذف با افزایش غلظت کادمیوم کاهش یافت، اما مقدار کادمیوم جذب شده به ازای واحد جرم جاذب افزایش پیدا کرد.

اثر زمان تماس

نتایج حاصل شده نشان داد که جذب کادمیوم بر روی زایدات گیاه کلزا سریع بود؛ به طوری که ۹۵ درصد جذب در طی ۵ دقیقه ابتدایی اتفاق افتاد و با افزایش مدت زمان تماس، سرعت جذب کاهش یافت. کاهش شیب نمودار با افزایش زمان تماس نشان دهنده پیشرفت واکنش به سمت ایجاد تعادل و اشباع شدن جاذب بود (نمودار شماره ۳).

اثر مقدار جاذب

برای تعیین تأثیر دوز جاذب بر کارایی حذف کادمیوم مقادیر ۰/۲، ۰/۶ و ۱ گرم جاذب به ارلن‌های حاوی ۱۰۰ میلی‌لیتر از محلول حاوی غلظت‌های متفاوت کادمیوم (۱۵، ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر) با pH بهینه ۶ اضافه شد. پس از زمان ماندهای ۵، ۱۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه در دمای آزمایشگاه و میزان اختلاط با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه نسبت به اندازه‌گیری میزان نهایی کادمیوم در محلول اقدام شد. نتایج این قسمت از مطالعه بیانگر این موضوع بود که با افزایش جرم جاذب تا مقدار ۰/۶ گرم، میزان درصد حذف فلز کادمیوم با شیب زیاد و به صورت خطی افزایش یافت (نمودار شماره ۴).

اگر معادله شبه درجه دوم قابل کاربرد باشد، نمودار $\frac{t}{q}$ در مقابل t از معادله فوق باید یک رابطه خطی را نشان دهد. K_2 ثابت سینتیک مرتبه دوم $(g (mg.min)^{-1})$ است. K_2 و q_{eq} از شیب و نقطه تقاطع نمودار تعیین می‌شوند.

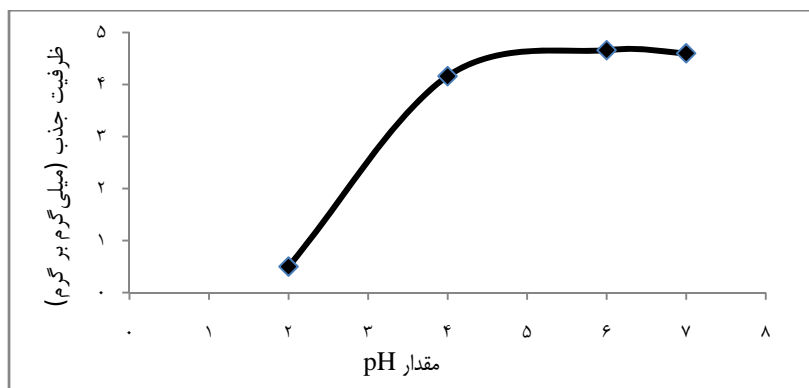
یافته‌ها

اثر pH

برای مطالعه اثر pH، محلول‌های سینتیک با غلظت ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر در pHهای ۲، ۴، ۶ و ۷ تهیه گردید و به هر یک از نمونه‌ها به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر ۰/۶ گرم جاذب اضافه شد و نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت روی شیکر قرار گرفتند. نتایج حاصل از این مطالعه در نمودار شماره ۱ نشان داد که میزان ظرفیت جذب کادمیوم در محلول آبی نمونه توسط زایدات گیاه کلزا با افزایش pH تا ۶ افزایش و سپس در pH برابر با ۷ دوباره کاهش یافت. بیشترین جذب در $pH = 6$ رخ داد. در ضمن pH بالاتر از ۷ موجب رسوب یون کادمیوم شد.

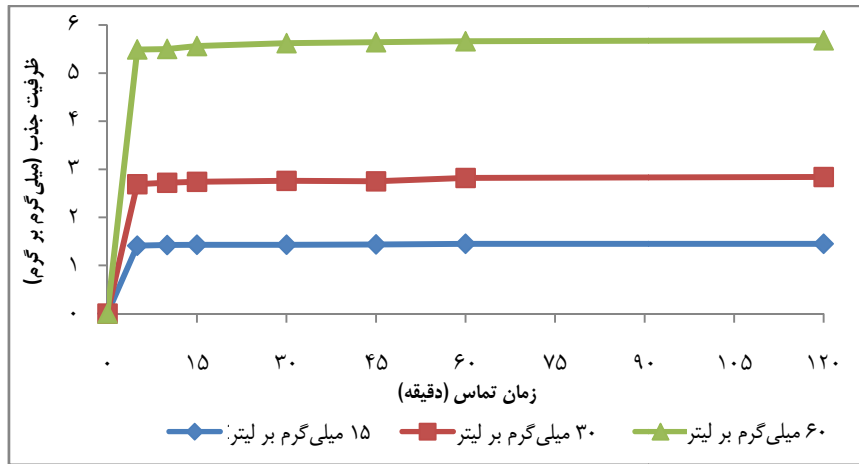
اثر غلظت اولیه کادمیوم

برای بررسی تأثیر غلظت اولیه کادمیوم بر جذب، غلظت اولیه کادمیوم از ۱۵ تا ۶۰ میلی‌گرم در لیتر تغییر داده شد. در این مرحله از آزمایش، عوامل دیگر مورد بررسی مانند pH و دوز جاذب ثابت بود. همان طور که در نمودار شماره ۲ مشاهده می‌شود، با افزایش غلظت اولیه کادمیوم، میزان ظرفیت جذب افزایش یافت. با افزایش غلظت، مکان‌های موجود برای جذب

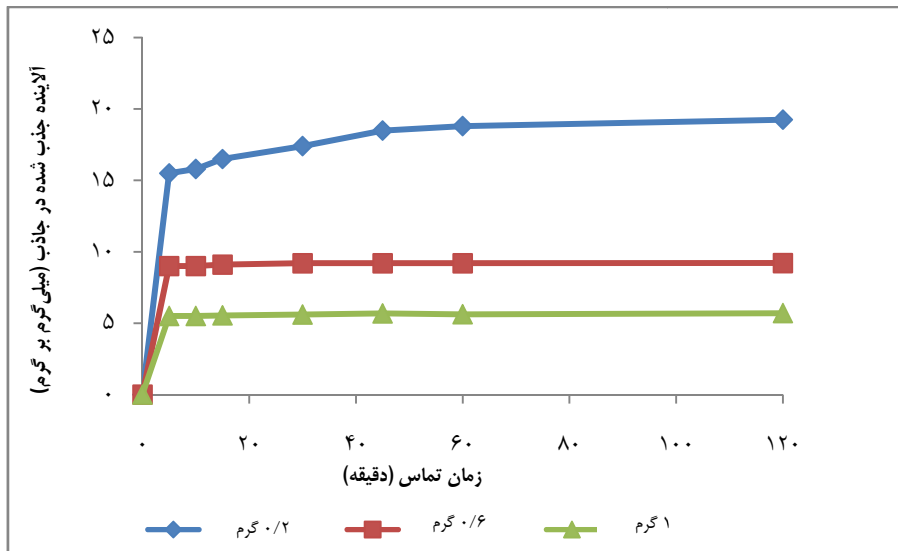


نمودار شماره ۱: تأثیر pH اولیه بر ظرفیت جذب کادمیوم

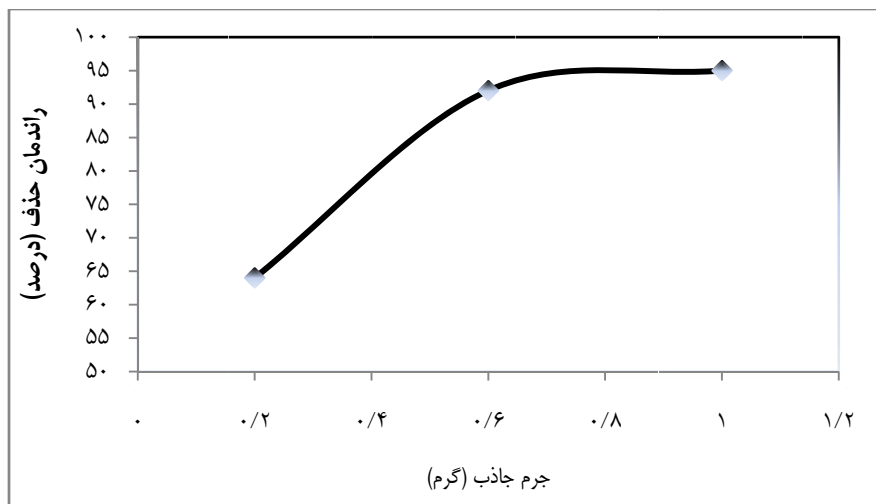
(غلظت محلول = ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر و دوز جاذب = ۰/۶ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر)



نمودار شماره ۲: تأثیر غلظت اولیه کادمیوم بر ظرفیت جذب کادمیوم
(pH = ۶ و دوز جاذب = ۱ گرم در ۱۰۰ میلی لیتر)



نمودار شماره ۳: تأثیر زمان تماس بر ظرفیت جذب کادمیوم
(pH = ۶، غلظت اولیه کادمیوم = ۶۰ میلی گرم بر لیتر)



نمودار شماره ۴: تأثیر جرم جاذب بر راندمان حذف کادمیوم
(غلظت اولیه کادمیوم = ۶۰ میلی گرم در لیتر، زمان تماس = ۱۲۰ دقیقه و pH = ۶)

تعیین ایزوترم جذب

در مطالعات مربوط به جذب آلاینده‌ها بر روی جاذب‌های مختلف، تعیین ایزوترم جذب و ظرفیت جاذب مورد استفاده از مهم‌ترین مشخصه‌هایی است که باید مورد توجه قرار گیرد (۱۶، ۱۷). برای بررسی تطابق داده‌ها با این مدل‌های جذب، از حالت‌های خطی معادلات ایزوترم جذب Freundlich و Langmuir که به صورت معادلات ۱ و ۲ نشان داده شده است، استفاده گردید. بر اساس بررسی ضرایب همبستگی منحنی‌های این دو مدل جذب که در نمودارهای شماره ۵ و ۶ نشان داده شده است، می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که جذب کادمیوم بر روی زایدات گیاه کلزا با توجه به ضریب همبستگی بالاتر از ۰/۹۸ از ایزوترم جذب Freundlich تبعیت می‌کند. مقادیر ضرایب ثابت n و

k با توجه به منحنی و حالت کلی معادله مربوطه به ترتیب ۱/۰۷۴ و ۲/۳۶ می‌باشد.

معادله ۱:

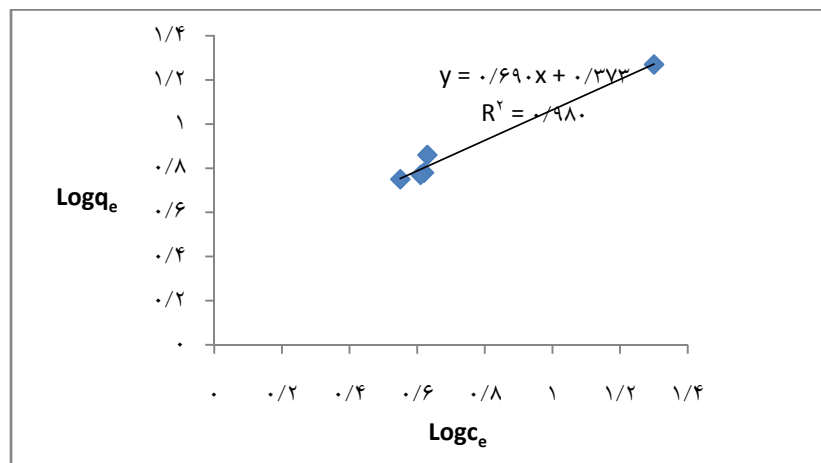
$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m b} + \frac{1}{q_m} C_e$$

معادله ۲:

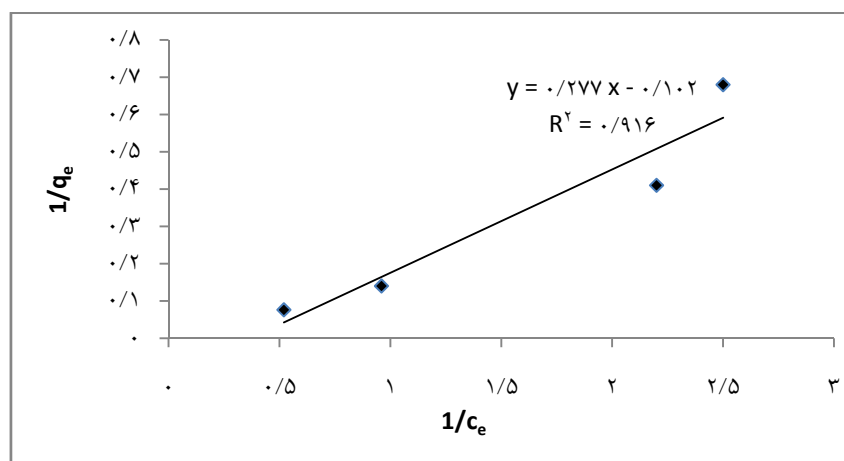
$$\log q_e = \log k_F + \frac{1}{n} \log C_e$$

تعیین درجه سینتیک واکنش جذب

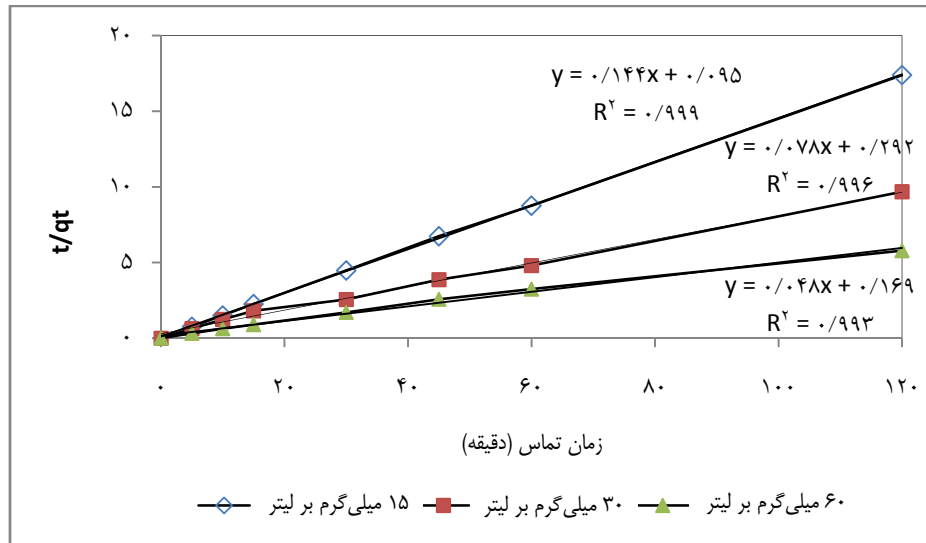
بررسی داده‌های حاصل از این تحقیق بیانگر این موضوع بود که مقدار ضریب همبستگی (R^2) در مدل شبه درجه اول به نسبت پایین است؛ پس سینتیک جذب کادمیوم روی



نمودار شماره ۵: ایزوترم Freundlich در جذب کادمیوم بر زایدات گیاه کلزا



نمودار شماره ۶: ایزوترم Langmuir در جذب کادمیوم بر زایدات گیاه کلزا



نمودار شماره ۷: مدل سینتیکی شبه درجه دو جذب کادمیوم بر زایدات گیاه کلزا

تحقیق انجام شده توسط Serencam و همکاران که از برگ درخت صنوبر برای حذف کادمیوم از محلول‌های آبی استفاده گردید، pH مناسب ۶ بیان شده است (۲۰).

بر اساس یافته‌های این مطالعه، میزان کادمیوم جذب شده در واحد جرم جاذب با افزایش غلظت اولیه کادمیوم افزایش می‌یابد. چنین نتایجی توسط غنی‌زاده و عسگری (۲۱) و Dogan و همکاران (۲۲) نیز تأیید شده است. علت افزایش میزان جذب کادمیوم در غلظت‌های بالاتر به این دلیل است که در چنین شرایطی، نیروی انتقال جرم افزایش می‌یابد و همین پدیده بر نیروی مقاومت کننده در برابر جذب غلبه می‌کند و باعث ایجاد نیروی رانش قابل توجهی جهت انتقال آلاینده از فاز مایع به سطح مشترک جاذب مایع می‌شود و در نتیجه باعث افزایش میزان جذب در واحد جرم جاذب می‌گردد (۲۳). در این پژوهش از نقطه نظر راندمان حذف کادمیوم با افزایش غلظت اولیه کادمیوم، نتایج نشان می‌دهد که با افزایش غلظت اولیه کادمیوم، راندمان حذف کاهش می‌یابد. نتایج تحقیق Nameni و همکاران در مورد حذف کروم با ساقه گندم نشان داد که با افزایش غلظت اولیه کروم از ۲/۵ به ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر راندمان از ۵۲ به ۴۰ درصد کاهش یافت (۲۴).

نتایج بررسی زمان جذب در مطالعه حاضر بیانگر این موضوع است که در ۵ دقیقه ابتدایی، بیشترین جذب کادمیوم

زایدات گیاه کلزا با مدل شبه درجه اول تطابق ندارد؛ در حالی که مقدار ضریب همبستگی در این مطالعه که در نمودار شماره ۷ مشاهده می‌شود، در مدل شبه درجه دوم بسیار بالا می‌باشد ($R^2 = 0.99$)؛ بنابراین درجه سینتیک واکنش در این تحقیق به مدل شبه درجه دوم نزدیک‌تر بود.

بحث

بر اساس داده‌های حاصل از تحقیق حاضر، جذب کادمیوم توسط زایدات گیاه کلزا تحت تأثیر تغییرات pH قرار دارد. با کاهش pH، به دلیل آزاد شدن یون هیدروژن در محلول و با توجه به این موضوع که اندازه یون هیدروژن کوچک‌تر از یون کادمیوم می‌باشد، سریع‌تر از آن جذب می‌شود و ظرفیت جذب کادمیوم را کاهش می‌دهد. با افزایش pH نیز به دلیل آزاد شدن یون هیدروکسید، قابلیت جذب کادمیوم کاهش می‌یابد و بیشترین جذب در pH برابر با ۶ رخ داده است. در مطالعه محوی و همکاران مشخص شد که با افزایش pH، راندمان حذف افزایش می‌یابد (۱۸). نتایج مطالعه حاضر در این زمینه با مطالعات علیپور (۱۲) بر روی باگاس نیشکر و حیدری (۱۳) بر روی شلتوک برنج مطابقت دارد. در مطالعه Rafatullah و همکاران، مناسب‌ترین pH جهت حذف کادمیوم از محلول‌های آبی توسط چوب درخت مرانته در $pH = 6$ حاصل گردید (۱۹). در

و همکاران (۱۴) مطابقت دارد. این موضوع بیانگر این مطلب است که سرعت جذب آلاینده توسط مواد لیگنوسلولزی ساقه کلزا در حد مطلوبی قرار دارد. در تحقیق Serencam و همکاران نیز ایزوترم جذب کادمیوم از محلول آبی توسط برگ درخت صنوبر از مدل Freundlich تبعیت می‌کرد (۲۰). بر اساس نتایج این پژوهش و نیز بهره‌گیری از مطالعات مشابه می‌توان چنین نتیجه گرفت که یک مدل واحدی را نمی‌توان برای جذب آلاینده‌ها توسط جاذب‌های مختلف ارایه نمود و مدل جذب قابل ارایه، تابعی از نوع آلاینده و نوع جاذب مورد استفاده می‌باشد (۱۶، ۱۴). تحلیل داده‌های جذب کادمیوم توسط زایدات گیاه کلزا با سینتیک جذب نشان داد که جذب کادمیوم بر زایدات گیاه کلزا از مدل درجه دوم با ضریب همبستگی $R^2 = 0/99$ پیروی می‌کند. این نتیجه با تحقیقات انجام شده توسط Rafatullah و همکاران (۱۹) و ربانی و همکاران (۲۸) مطابق می‌باشد. نتایج داده‌های این مطالعه نشان می‌دهد که با افزایش pH (pH = ۶) و دوز جاذب، راندمان حذف کادمیوم در محلول آبی توسط جاذب آماده شده از پسماندهای گیاه کلزا افزایش می‌یابد. اگرچه با افزایش غلظت اولیه کادمیوم، میزان جذب کادمیوم بر روی واحد جرم جاذب افزایش پیدا کرد، اما به طور کلی میزان درصد حذف آن کاهش می‌یابد. از سوی دیگر با توجه به کارایی مناسب، ارزانی و در دسترس بودن این نوع از جاذب‌های طبیعی در تصفیه آب و فاضلاب و نیز مزاحمت‌های آن‌ها به عنوان آلاینده محیط زیست، کاربرد آن‌ها در نقش جاذب سبب کاهش حجم پسماندهای کشاورزی و کنترل آلودگی‌های محیط زیست می‌گردد.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل پایان‌نامه دانشجویی کارشناسی ارشد می‌باشد. نویسندگان مقاله لازم می‌دانند از کلیه کسانی که در اجرای این پژوهش مساعدت نموده‌اند، تشکر و قدردانی نمایند.

صورت گرفت. این موضوع از نظر طراحی و حجم خالی بستر مورد نیاز جهت جذب اهمیت دارد؛ به طوری که هرچه سرعت جذب زیادتر باشد مخازن و فضای مورد نیاز کمتر خواهد شد (۲۱). با توجه به نمودارهای شماره ۲ و ۳ مشخص می‌گردد که در ابتدا با پیشرفت زمان، سرعت جذب کادمیوم بسیار سریع می‌باشد؛ اما پس از گذشت حدود ۱۰ دقیقه، درصد حذف کادمیوم به مقدار ثابتی می‌رسد که مبین رسیدن به تعادل در جذب است. در زمان رسیدن به تعادل، منحنی جذب کادمیوم با محور زمان به طور تقریبی موازی می‌شود. این نتیجه با نتایج مطالعه علیپور (۱۲) و حمزه (۱۴) مطابقت دارد. بر اساس این نتایج، حدود ۹۰ درصد جذب کادمیوم در همان ۵ دقیقه ابتدایی و ۱۰ درصد باقی‌مانده در ساعات بعدی انجام می‌شود. نتایج حاصل از بررسی اثر مقدار جاذب نشان داد که با افزایش مقدار جاذب، راندمان حذف افزایش می‌یابد. این افزایش در مقادیر کم غلظت کادمیوم با سرعت بیشتری اتفاق می‌افتد و به تدریج افزایش راندمان با شیب کمتری همراه با افزایش مقدار جاذب ادامه می‌یابد. دلیل این امر می‌تواند بیشتر بودن مساحت سطحی و وجود مکان‌های جذب در دسترس باشد. ززولی و همکاران نیز دلیل افزایش راندمان حذف همراه با افزایش مقدار جاذب را در دسترس بودن مساحت سطحی بزرگ‌تر و مکان‌های جذب بیشتر ذکر کردند (۲۵). نتایج این بخش با مطالعات انجام شده توسط El-Sayed (۲۶) و سعیدی و همکاران (۲۷) مطابقت دارد. در مطالعات مربوط به جذب آلاینده‌ها بر روی جاذب‌های مختلف، تعیین ایزوترم جذب و ظرفیت جاذب مورد استفاده به منظور تشریح حالت تعادل جزء جذب شونده بین فاز جامد و سیال از مهم‌ترین مشخصه‌هایی است که باید مورد توجه قرار گیرد (۱۶، ۱۵). در این پژوهش، بر اساس بررسی ضرایب همبستگی منحنی‌های این دو مدل جذب می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که جذب کادمیوم بر روی زایدات گیاه کلزا با توجه به ضریب همبستگی بالاتر از ۰/۹۸، از ایزوترم جذب Freundlich تبعیت می‌کند. نتایج این بخش از مطالعه با نتایج مطالعه حمزه

References

- Davoudi M. Cadmium removal from simulated Acid Mine Drainage using Ion Flotation [MSc Thesis]. Yazd, Iran: Yazd University of Medical Sciences 2009. (Persian).
- Hendricks DW. Water treatment unit processes: Physical and Chemical. New York, NY: CRC/Taylor & Francis; 2006. p. 31-2.
- Passino R, Patterson JW. Metals speciation, separation, and recovery. Albany, GA: Lewis Publishing Co. Inc; 1987.
- Dahaghin M, Shariat M, Norrozi M, Vigh M, Ramezanzadeh F. Effect of environmental exposure to Cadmium on pregnancy outcome. Iran J Health Environ 2010; 3(1): 1-10. (Persian).
- Cheremisinoff NP. Handbook of water and wastewater treatment technologies. London, UK: Butterworth-Heinemann; 2002. p. 98-103.
- Dianati R, Naseri S, Shareiat SM. Removal cadmium from aqueous solution by granular activated carbon. J Mazandaran Univ Med Sci 2002; 12(37): 11-9. (Persian).
- Lewinsky AA. Hazardous materials and wastewater: treatment, removal and analysis. New York, NY: Nova Publishers; 2007. p. 182-6.
- Yousefi Z, Mohseni Bandpei A, Dianati Tileki RA, Malaki A, Mohamadpur RA, Ghahramani E. evaluation of the combined GAC-SBR system performance in the removal of yellow 3 and disperse yellow 3 reactive dyes from the waste. J Mazandaran Univ Med Sci 2011; 22(Supple 1): 41-9. (Persian).
- Ghaneian MT, Ehrampoush MH, Ghanizadeh GH, Momtaz M. Study of eggshell performance as a natural sorbent for the removal of reactive red 198 dye from aqueous solution. Toloee Behdasht 2011; 10(1): 70-81. (Persian).
- Zazouli M, Yazdani J, Balarak D, Ebrahimi M, Mahdavi Y. Investigating the removal rate of acid blue 113 from aqueous solution by canola. J Mazandaran Univ Med Sci 2013; 22(2): 71-8. (Persian).
- Johnson TA, Jain N, Joshi HC, Prasad S. Agricultural and agro-processing wastes as low cost adsorbents for metal removal from wastewater: A review. JSIR 2008; 67(9): 647-58.
- Alipour SH. Cadmium removal from agricultural wastewater using sugar cane bagasse. Iranian Journal of Chemistry & Chemical Engineering 2010; 29(2): 99-108. (Persian).
- Heidari Z. Review process to remove cadmium from the aqueous environment at low concentrations by the modified husk [PhD Thesis]. Ahvaz, Iran: Shahid Chamran University of Ahvaz 2008. (Persian).
- Hamzeh Y, Izadyar S, Azadeh E, Abyaz A, Asadollahi Y. Application of canola stalks waste as adsorbent of acid orange 7 from aqueous solution. Iran J Health Environ 2011; 4(1): 49-56. (Persian).
- Malik UR, Hasany SM, Subhani MS. Sorptive potential of sunflower stem for Cr(III) ions from aqueous solutions and its kinetic and thermodynamic profile. Talanta 2005; 66(1): 166-73.
- Jain M, Garg VK, Kadirvelu K. Equilibrium and kinetic studies for sequestration of Cr(VI) from simulated wastewater using sunflower waste biomass. J Hazard Mater 2009; 171(1-3): 328-34.
- Samadi MT, Norouzi R, Azizian S, Dadban Y, Zarabi M. Servey impact of activated alumina in fluoride concentration peresent in water and appointment adsorption isotherm and kinetics. Iranian Journal of Health 2009; 2(3): 224-31. (Persian).
- Mahvi AH, Nouri J, Omrani GA, Gholami F. Application of platanus orientalis leaves in removal of cadmium from aqueous solution. World Applied Sciences Journal 2007; 2(1): 40-4.
- Rafatullah M, Sulaiman O, Hashim R, Ahmad A. Removal of cadmium (II) from aqueous solutions by adsorption using meranti wood. Wood Science and Technology 2012; 1(3): 221-4.
- Serencam H, Gundogdu A, Uygur Y, Kemer B, Bulut VN, Duran C, et al. Removal of cadmium from aqueous solution by Nordmann fir (*Abies nordmanniana* (Stev.) Spach. Subsp. *nordmanniana*) leaves. Bioresour Technol 2008; 99(6): 1992-2000.
- Ganizadeh GH, Asgari GH. Removal of methylene blue dye from synthetic wastewater with bone char. Iranian Journal of Health 2014; 2(2): 104-13. (Persian).
- Dogan M, Alkan M, Turkyilmaz A, Ozdemir Y. Kinetics and mechanism of removal of methylene blue by adsorption onto perlite. J Hazard Mater 2004; 109(1-3): 141-8.
- Benaissa H. Screening of new sorbent materials for cadmium removal from aqueous solutions. J Hazard Mater 2006; 132(2-3): 189-95.
- Nameni M, Alavi Moghadam MR, Arami M. Adsorption of hexavalent chromium from aqueous solutions by wheat bran. International Journal of Environmental Science & Technology 2008; 5(2): 161-8.
- Zazouli MA, Yousefi Z, Taghavi M, Akbari-adergani B, Yazdani Cherati J. Cadmium Removal from Aqueous Solutions using L-cysteine Functionalized Single-Walled Carbon Nanotubes. J Mazandaran Univ Med Sci 2013; 23(98): 37-47.
- El-Sayed GO. Biosorption of ni (ii) and cd (ii) ions from aqueous solutions onto rice straw. Chemical Sciences Journal 2010; 2010: 1-11.
- Saeidi M, Jamshidi A, Abbasi A, Bayat J. Cadmium removal from water solutions by

charcoal made from walnut and almond skin and comparison with granular activated carbon. Journal of Water and Wastewater 2009; 20(70): 16-22. (Persian).
28. Rabani P, Abdol Ali A, Montazer Rahmati MM,

Keshtkar AR, Dabagh R. Biosorption of Cd(II) and Ni(II) Ions From Aqueous Solution by Raw and Pre-Treated Cystoseira Indica Algae. Journal of Chemical and Petroleum Engineering 2009; 43(1): 37-46. (Persian).