

بهینه سازی جذب کادمیوم از محلول های آبی به وسیله دیاتومیت با استفاده از روش سطح پاسخ

مرضیه پیری^۱، ابراهیم سپهر^۲

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار علوم خاک، دانشگاه ارومیه

چکیده

حذف کادمیوم از محلول های آبی با استفاده از دیاتومیت خام معادن ایران با استفاده از روش سطح پاسخ بر مبنای مدل باکس بنکن بررسی شد. آزمایشات جذب برای ارزیابی اثر متغیرهای مستقل شامل pH، قدرت یونی و غلظت با استفاده از روش ذکر شده برای ارزیابی اثرات این متغیرها انجام گردید. نتایج نشان داد میزان جذب کادمیوم با افزایش غلظت اولیه فلز و pH افزایش می یابد ولی افزایش قدرت یونی اثر معکوس در میزان جذب کادمیوم بر روی دیاتومیت داشت. مقادیر ضریب تعیین ($R^2=0/99$) و R^2 متعادل شده ($R^2_{adj}=0/99$) نشان داد مدل بدست آمده برای تحلیل داده ها مناسب می باشد. شرایط بهینه برای جذب حداکثر کادمیوم از محلول های آبی در pH ۵/۶۸، غلظت ۱۹۹/۷۰ (mg/L) و قدرت یونی ۰/۰۳ مولار بدست آمد، مقادیر پیش بینی شده برای شرایط بهینه ذکر شده ۴۹/۹۳ (mg/g) شد. بنابراین با توجه به ظرفیت بالای دیاتومیت در جذب کادمیوم می تواند به عنوان جاذب ارزان در حذف کادمیوم از آب های آلوده بکار برده شود.

واژه های کلیدی: دیاتومیت، جذب، کادمیوم، سطح پاسخ، باکس بنکن.

مقدمه

محدود بودن منابع آبی، کمبود بارندگی، خطر بحران کم آبی در کشور و اهمیت بازیابی مجدد آب از یک سو و افزایش آلودگی آب های سطحی و زیرزمینی به وسیله فلزات سنگین و سایر آلاینده های حاصل از پساب های صنعتی از سوی دیگر، یافتن راه حل های زیست محیطی را در جهت حذف این مواد از منابع آبی را ضروری می سازد (Dermentzis et al., 2011). کادمیوم عنصری غیر ضروری و یکی از عناصر بالقوه خطرناک برای سلامتی انسان است. اثرات اصلی سمیت آن بر روی ریه ها، کلیه ها، استخوان و نقض جنینی بوده و حتی می تواند عامل بسیاری از مرگ و میرهای انسانی نیز باشد (Yaacoubi et al., 2014). تخلیه زباله های آلیاژ سازی، ذوب فلزات، سرامیک سازی ها، آبکاری فلزات، باتری سازی، صنایع چوب و پارچه و لجن فاضلاب از منابع اصلی ورود کادمیوم به آب می باشند (Hua et al., 2012). کادمیوم از راه های مختلف، از قبیل مصرف آب آلوده و مواد غذایی گیاهی و تنفس گرد و غبار وارد بدن می شود و در اندام های مختلف تجمع کرده و موجب آسیب های جدی به بدن می شود. بنابراین حذف یون های فلزی سنگین از آب های آلوده برای حفظ سلامت جامعه بسیار مهم است.

از بین تکنولوژی های مختلف برای حذف عناصر سنگین از محیط زیست، جذب، به ویژه با استفاده از جاذب های ارزان قیمت، تاثیر بالا و سهولت اجرایی داشته و از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه است (Chiban et al., 2011). در سال های اخیر تمایل به استفاده از جاذب های ارزان قیمت برای حذف آلاینده ها به طور چشم گیری افزایش یافته است، جاذب هایی که به فراوانی یافت شده و در دسترس بوده و هزینه آماده سازی آن پایین باشد (Babel and Kurniawan, 2003).

دیاتومیت که به عنوان خاک دیاتومه یا (Kieselguhr) هم شناخته می شود یک رسوب نرم با منشاء زیستی و متخلخل، سازگار با محیط زیست است که اساسا حاوی سیلیکای هیدراته و آمورف، مشابه اوپال یعنی به صورت $(SiO_2.nH_2O)$ می باشد اما بخشی از آن حاوی آلومینا (آلومینیوم اکسید) است (Hossam, 2010). دیاتومیت دارای ویژگی های فیزیکی شیمیایی مناسبی نظیر فضاهای خالی (۹۰ تا ۸۰ درصد)، اندازه کوچک ذرات، مساحت سطح ویژه مناسب (۱۶ تا ۷۰ متر مربع بر گرم) و ظرفیت جذب خوب است (Vassileva et al., 2013). حضور سیلیکا در دیاتومیت سبب ساختار منحصر به فرد، استحکام و پایداری در خور توجه، و مقاومت مناسب در برابر سایش شده است. این ویژگی ها موجب شده تا از آن به عنوان یک صافی، عامل ضد آمیختگی، عایق حرارتی، ماده جاذب و جایگاهی مناسب برای تثبیت و نگهداری کاتالیست ها استفاده شود (Zhaolum et al., 2005). تحقیقات متعددی بر روی جذب فلزات سنگین مثل روی، کروم، سرب، کادمیوم، مس از محلول های

آبی توسط دیاتومیت با منشاءهای مختلف در سراسر جهان انجام شده است. معادن دیاتومیت در بسیاری از مناطق جهان یافت شده و در مقادیر زیاد با کمترین هزینه در دسترس است. اگرچه دیاتومیت دارای ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی منحصر به فردی می‌باشد ولی استفاده از آن محلول‌های آبی به طور گسترده بررسی نشده است (Aytas et al., 1999; Hossam 2010). از مدل‌های آماری مورد استفاده در طراحی آزمایشات روش سطح پاسخ رویه (Response Surface Modeling) می‌باشد که روشی ساده، موثر، کم هزینه و اسلوب مند برای بهینه کردن فرایندهای مختلف می‌باشد. RSM تنها شرایط بهینه را مشخص نمی‌کند بلکه مدل رگرسیونی مناسب را نیز پیشنهاد می‌نماید (Ahmadi, et al., 2014). این روش را می‌توان به روش طرح مرکب مرکزی (Central composite) و یا باکس بنکن (Box-Behnken) انجام داد (Zolgharnein et al., 2013). هدف این مطالعه مدل‌سازی ظرفیت دیاتومیت در جذب کادمیوم از محلول‌های آبی با استفاده از روش سطح پاسخ بر مبنای مدل Box-Behnken و اثر متقابل متغیرهای مستقل موثر بر فرایند جذب شامل pH، غلظت و قدرت یونی در وضعیت ناپیوسته (Batch) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه با استفاده از نرم افزار Design-Expert 7.0 برای تعیین تعداد آزمایش‌ها، مقدار پارامترها و در نهایت آنالیز داده‌های به دست آمده پس از انجام فرایند مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۱). تعداد آزمایشات با استفاده از روش سطح پاسخ با بکارگیری مدل باکس بنکن از رابطه $N=2K(K-1)+C$ تعیین شد که N تعداد نمونه آزمایش، K تعداد متغیرها و C تعداد نقطه مرکزی می‌باشد. پارامترهای تأثیر گذار شامل pH در محدوده ۳ تا ۶، غلظت اولیه فلز در محدوده ۰ تا ۱۰۰ میلی گرم در لیتر و قدرت یونی ۰/۰۱ تا ۰/۰۶ مولار در سیستم ناپیوسته برای جذب کادمیوم از محلول‌های آبی با استفاده از دیاتومیت مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۱- پارامترهای مورد استفاده در طراحی به همراه مقادیر و محدوده در نظر گرفته شده

| سطح کد داده شده | | متغیرهای مستقل | |
|-----------------|------|----------------|-----------------------------------|
| -۱ | +۱ | | |
| ۰ | ۲۰۰ | A | غلظت اولیه (mg L^{-1}) |
| ۳ | ۶ | B | pH |
| ۰/۰۱ | ۰/۰۶ | C | قدرت یونی (M) |

بعد از طراحی آزمایش‌ها، ۰/۱ گرم از دیاتومیت در داخل لوله‌های سانتریفیوژ ۵۰ میلی‌لیتری ریخته و به هر یک از لوله‌ها ۲۵ میلی‌لیتر محلول فلزی با شرایط آزمایش‌های طراحی شده در محلول زمینه نیترات سدیم ریخته و به مدت ۳ ساعت شیک شدند. تنظیم pH با استفاده از محلول‌های اسید هیدروکلریک و سدیم هیدروکسید یک نرمال انجام گردید. پس از اتمام زمان تماس، نمونه‌ها توسط دستگاه سانتریفیوژ صاف محلول رویی برای تعیین غلظت کادمیوم باقی مانده توسط دستگاه جذب اتمی (شیمادزو، مدل AA ۶۳۰۰) آنالیز شد. میزان جذب (q_e) کادمیوم توسط دیاتومیت به وسیله رابطه زیر محاسبه شد:

$$q_e = \frac{(C_i - C_e) \times V}{m} \quad (1)$$

که در آن C_i غلظت اولیه فلز (میلی‌گرم بر لیتر)، C_e غلظت تعادلی (میلی‌گرم بر لیتر)، m جرم جاذب (۰/۱ گرم) و V حجم محلول (۲۵ میلی‌لیتر) می‌باشد. میزان جذب فلز در نرم افزار اکسل محاسبه و در پایان آزمایشات از نرم افزار Design-Expert 7.0 استفاده شد.

نتایج و بحث

آزمایش‌های طراحی شده با روش باکس بنکن

پس از طراحی تعداد و مقادیر پارامترها، نتایج حاصل از آزمایش به دست آمد (جدول ۲). براساس نتایج به دست آمده حداکثر میزان جذب کادمیوم ۴۲/۷ (mg/g) شد. به منظور یافتن بهترین مدل، پس از آنالیز واریانس مربوط به مدل های مختلف، یک مدل درجه دوم (Quadratic) توسط نرم افزار برای توصیف فرایند جذب کادمیوم به وسیله دیاتومیت پیشنهاد شد (جدول ۳).

جدول ۲- نتایج طراحی آزمایش های انجام شده مطابق روش باکس بنکن برای جذب کادمیوم به وسیله دیاتومیت

| شماره آزمایش | A غلظت (mg/L) | B pH | C قدرت یونی (mol/L) | Y ₁ جذب (mg/g) |
|--------------|---------------------|---------|---------------------------|------------------------------|
| ۱ | ۰ | ۶ | ۰/۰۳ | ۰ |
| ۲ | ۱۰۰ | ۶ | ۰/۰۱ | ۲۳/۱۲ |
| ۳ | ۱۰۰ | ۳ | ۰/۰۱ | ۲۱/۷۹ |
| ۴ | ۱۰۰ | ۴/۵ | ۰/۰۳ | ۱۹/۵۸ |
| ۵ | ۲۰۰ | ۳ | ۰/۰۳ | ۴۹/۶۸ |
| ۶ | ۲۰۰ | ۴/۵ | ۰/۰۶ | ۴۹/۶۵ |
| ۷ | ۱۰۰ | ۴/۵ | ۰/۰۳ | ۱۹/۷۷ |
| ۸ | ۲۰۰ | ۴/۵ | ۰/۰۳ | ۴۹/۶۹ |
| ۹ | ۱۰۰ | ۴/۵ | ۰/۰۳ | ۱۹/۴۶ |
| ۱۰ | ۰ | ۳ | ۰/۰۳ | ۰ |
| ۱۱ | ۰ | ۴/۵ | ۰/۰۶ | ۰ |
| ۱۲ | ۱۰۰ | ۶ | ۰/۰۶ | ۱۵/۸۲ |
| ۱۳ | ۱۰۰ | ۳ | ۰/۰۶ | ۱۵/۳۸ |
| ۱۴ | ۱۰۰ | ۴/۵ | ۰/۰۳ | ۱۹/۱۷ |
| ۱۵ | ۰ | ۴/۵ | ۰/۰۱ | ۰ |
| ۱۶ | ۲۰۰ | ۴/۵ | ۰/۰۱ | ۴۹/۷۲ |
| ۱۷ | ۱۰۰ | ۴/۵ | ۰/۰۳ | ۱۹/۷۱ |

مقدار F-value برابر ۵۰۸۹ و مقدار P-value کوچکتر از ۰/۰۰۰۱ برای مدل نشان می دهد که مدل پیشنهادی برای شبیه سازی فرایند جذب کادمیوم از محلول های آبی توسط دیاتومیت دارای اهمیت است. مدل ارائه شده برای سیستم شامل سه ترم اثرات تک جزئی یا خطی (غلظت، pH، قدرت یونی)، سه ترم مربوط به اثرات دو گانه یا برهمکنشی و سه ترم مربوط به اثرات انحنای درجه دوم است. اما همه این پارامترها در مدل تأثیر معنی دار و مهم نداشته و با حذف برخی از این پارامترها مدل ساده تر می شود.

جدول ۳- نتایج آنالیز واریانس برای مدل درجه ۲ برای جذب کادمیوم به وسیله دیاتومیت

| P value | F value | Mean square | df | Sum of squares | Source |
|---------|------------|-------------|----|----------------|--------|
| <۰/۰۰۰۱ | ۱۶۶/۹۹ | ۵۶۵/۵۰ | ۹ | ۵۰۸۹/۵۱ | Model |
| <۰/۰۰۰۱ | ۱۴۵۷/۹۹ | ۴۹۳۷/۵۱ | ۱ | ۴۹۳۷/۵۱ | A-Conc |
| ۰/۷۴۲۷ | ۰/۱۲ | ۰/۴۰ | ۱ | ۰/۴۰ | B-pH |
| ۰/۰۳۳۱ | ۷ | ۲۳/۷۲ | ۱ | ۲۳/۷۲ | C-IS M |
| ۰/۹۹۸۳ | ۴/۶۶۶E-۰۰۶ | ۱/۵۸۰E-۰۰۵ | ۱ | ۱۵/۸۰E-۰۰۵ | AB |
| ۰/۹۸۵۹ | ۳/۳۳۹E-۰۰۴ | ۱/۱۳۱E-۰۰۳ | ۱ | ۱/۱۳۱E-۰۰۳ | AC |
| ۰/۸۱۶۹ | ۰/۰۵۸ | ۰/۲۰ | ۱ | ۰/۲۰ | BC |

| | | | | | |
|---------|--------|--------|----|---------|----------------|
| ۰/۰۰۰۵ | ۳۷/۷۰ | ۱۲۷/۶۹ | ۱ | ۱۲۷/۶۹ | A ² |
| ۰/۷۴۳۷ | ۰/۱۲ | ۰/۳۹ | ۱ | ۰/۳۰ | B ² |
| ۰/۷۴۳۵ | ۰/۱۲ | ۰/۳۹ | ۱ | ۰/۳۹ | C ² |
| | | ۳/۳۹ | ۷ | ۲۳/۷۱ | Residual |
| <۰/۰۰۰۱ | ۵۳۶/۴۶ | ۷/۸۸ | ۳ | ۲۳/۶۵ | Lack of Fit |
| | | ۰/۰۱۵ | ۴ | ۰/۰۵۹ | Pure Error |
| | | | ۱۶ | ۵۱۱۳/۲۲ | Cor-Total |

مقدار ضریب تعیین $R^2=0/99$ نشان می‌دهد که مدل دارای دقت قابل قبولی است. از طرف دیگر مقدار پارامتر مجذور مربعات فواصل پیش بینی شده (Predicted R-squared) برابر $0/95$ و مقدار پارامتر مجذور مربعات فواصل تنظیم شده برابر با $0/99$ است. همچنین پارامتر دقت مناسب (Adequate Precision) نشان دهنده نسبت سیگنال به نویز است که نسبت بزرگتر از ۴ قابل قبول است که در مورد این پارامتر برابر $47/72$ بوده که مقدار مطلوبی است. پس از تحلیل‌های آماری مدل پیشنهادی به صورت یک معادله درجه دو بر حسب پارامترهای واقعی توسط نرم افزار ارائه شد که در رابطه زیر نشان داده شده است:

$$Y (\text{Sorb}) = +19.64 + 24.84 * A + 0.22 * B - 1.72 * C - 0.22 * B * C + 5.51 * A^2 - 0.31 * B^2 - 0.31 * C^2 \quad (2)$$

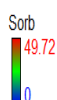
Y پاسخ پیش بینی شده برای جذب کادمیوم به وسیله دیاتومیت، پارامترهای A، B، C به ترتیب غلظت، pH، قدرت یونی می‌باشند. در جدول ۱ نیز محدوده‌ها و سطوح متغیرهای مستقل مربوط به آزمایشات نشان داده شده است.

نحوه اثر متغیرها در فرایند جذب و بهینه سازی مدل

به منظور بررسی چگونگی اثرگذاری هر متغیر و اثرات متقابل یا اثرات دوگانه متغیرها بر روی پاسخ ایجاد شده توسط مدل، نمودارها با استفاده از نرم افزار طراحی آزمایش تهیه شدند. نمودار سه بعدی پاسخ سطحی مربوط به عملکرد دو متغیر در سطح مرکز از سایر متغیرها نشان می‌دهد. شکل ۱ نمودارهای مربوط جذب کادمیوم به صورت تابعی از pH، غلظت اولیه فلز و قدرت یونی را نشان می‌دهد. همان‌طوریکه در شکل ۱-الف مشاهده می‌شود، دو پارامتر pH و غلظت اولیه (con) فلز کادمیوم به عنوان پارامترهای انتخابی هستند که در محدوده پارامترهای تعریف شده، تأثیر غلظت فلز نسبت به pH محلول بیشتر است و با تغییر غلظت فرایند جذب بیشتر دستخوش تغییرات قرار می‌گیرد و پارامتر pH تأثیرگذاری نسبی کمتری دارد. با افزایش pH و غلظت میزان جذب فلز مورد مطالعه به وسیله جاذب دیاتومیت بیشتر شد. در شکل ۱-ب اثرات متقابل پارامترهای غلظت (con) و قدرت یونی (IS) در pH ثابت برابر $4/5$ پارامترهای انتخابی هستند که در این شکل نیز تأثیر غلظت بیشتر از قدرت یونی است. افزایش قدرت یونی اثر معکوس بر میزان جذب کادمیوم دارد. اثرات متقابل pH و قدرت یونی (IS) در غلظت ثابت 100 میلی گرم بر لیتر در شکل ۱-ج نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود با افزایش pH و کاهش قدرت یونی میزان جذب فلز افزایش می‌یابد.

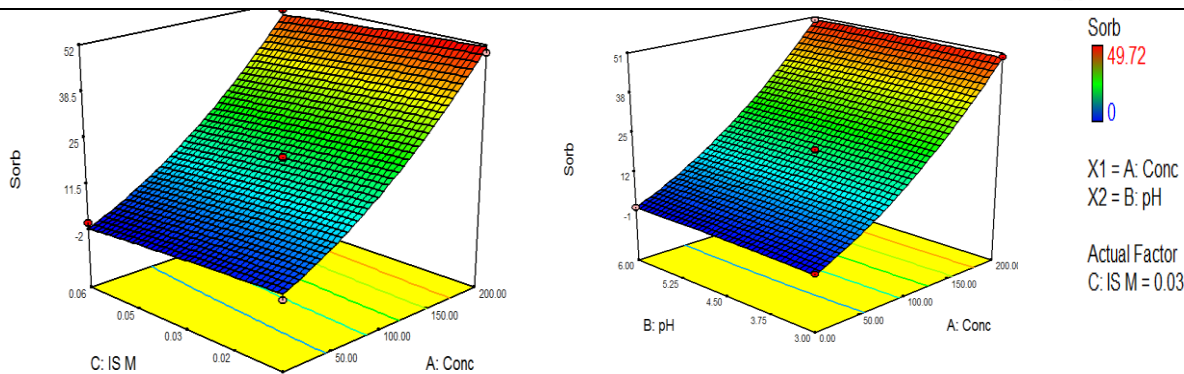
(ب)

(الف)

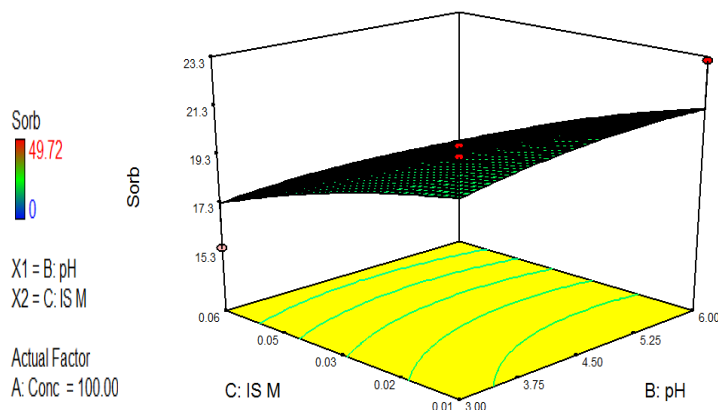


X1 = A: Conc
X2 = C: IS M

Actual Factor
B: pH = 4.50



(ج)



شکل ۱- نمودار سه بعدی جذب کادمیوم بوسیله دیاتومیت الف: اثرات متقابل pH و غلظت (Con) در قدرت یونی ثابت ۰/۰۳، ب: اثرات متقابل قدرت یونی (IS) و غلظت (Con) در pH برابر ۴/۵ ج: اثرات متقابل pH و قدرت یونی (IS) در غلظت ثابت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر

با افزایش غلظت تعداد یون‌های فلزی در محلول‌های آبی، رقابت برای دسترسی به محل‌های اتصال افزایش و تمامی محل‌های اتصال در مواجهه با برخورد یون‌ها قرار می‌گیرند میزان جذب افزایش می‌یابد. ولی با افزایش خیلی زیاد غلظت سطح جاذب سریع اشباع می‌شود و جذب یون‌های فلزی و درصد حذف کاهش می‌یابد. به عبارتی در غلظت‌های پایین، جایگاه‌های جذبی موثر بیشتری برای جذب کاتیون‌های فلزات سنگین در دسترس است، اما در غلظت‌های بالاتر تعداد کاتیون‌های فلزی در مقایسه جایگاه‌های جذبی بر روی جاذب به مراتب بیشتر است. بنابراین جذب کاتیون‌ها به غلظت اولیه وابسته است (Singanan and Peters, 2013). پژوهشی توسط Katsou و همکاران (۲۰۱۱) روی جذب فلزات سنگین مثل نیکل و روی انجام شد، نتایج آنها نشان داد که با افزایش غلظت اولیه فلزات سنگین ظرفیت جذب و راندمان حذف کاهش می‌یابد. pH محلول نقش بسیار مهمی در جذب یون‌های فلزی ایفا می‌کند. در مطالعه حاضر نتایج حاصل از بررسی اثر pH نشان داد (شکل ۱) در pHهای کمتر جذب یون‌های فلزی بسیار پایین بود با افزایش pH از ۳ به ۶ میزان جذب کادمیوم نیز افزایش پیدا کرد. در pHهای کم (شرایط اسیدیته محلول)، افزایش یون هیدروژن موجب رقابت بیشتر H^+ با کاتیون‌های محلول شده و H^+ به جای یون‌های فلزی جذب می‌شود (Deng and Ting, 2005). در نتیجه جذب کادمیوم در pHهای اسیدی کاهش پیدا می‌کند در pHهای بالاتر به علت کاهش H^+ مقدار جذب یون‌های فلزی افزایش یافته و باعث افزایش درصد حذف فلز می‌شود (Zhou and Kiff, 1991). قدرت یونی نیز عاملی مهم و تأثیرگذار بر تعادل گونه‌های جذب شده و جاذب در فاز محلول است. به طور کلی با افزایش قدرت یونی محلول میزان جذب فلز کاهش پیدا می‌کند (Sanchez, 1999). نتایج بررسی قدرت یونی در حذف سرب توسط کیتوزان در شکل ۱ نشان داد با افزایش قدرت یونی از ۰/۰۱ به ۰/۰۶ مولار میزان حذف هر کادمیوم از محلول آبی کاهش یافت. El-sayed و همکاران در سال ۲۰۱۰ در بررسی جذب کادمیوم و نیکل از محلول آبی مشاهده کردند که با افزایش ۱ تا ۱۰ گرم در لیتر NaCl جذب کادمیوم و نیکل کاهش یافت.



بهینه سازی مدل و یافتن مقدار بهینه متغیرها در فرایند جذب کادمیوم توسط دیاتومیت به وسیله نرم افزار انجام شد. به این منظور در نرم افزار شرایط بهینه سازی مربوط به هر متغیر و پاسخ تعیین شد و همه پارامترها در رنج مربوط به طراحی و میزان جذب در حداکثر مقدار تنظیم شد. در این شرایط غلظت برابر $199/70$ (mg/L)، pH برابر $5/68$ و قدرت یونی $0/03$ مولار برای کادمیوم پیش‌بینی شد. مقادیر پیش‌بینی شده جذب کادمیوم برای شرایط بهینه ذکر شده به ترتیب $49/93$ (mg/g) شد.

بر اساس نتایج بدست آمده، مدل سازی جذب کادمیوم از محلول‌های آبی با استفاده از دیاتومیت به روش رویه سطح پاسخ بر مبنای طراحی باکس بنکن، برای بررسی اثر پارامترهای pH، قدرت یونی و غلظت بر روی فرایند جذب با یک مدل درجه دو قابل توضیح است. مدل رگرسیونی بدست آمده نشان داد به ترتیب غلظت و pH به عنوان مؤثرترین پارامتر بر افزایش عملکرد پاسخ (جذب) می‌باشند و قدرت یونی اثر معکوس در میزان جذب کادمیوم از محلول‌های آبی توسط دیاتومیت دارد. بنابراین دیاتومیت به عنوان یک جاذب موثر در حذف یون‌های کادمیوم از محلول‌های آبی عمل می‌کند و استفاده از این جاذب به علت بی‌هزینه بودن و فراوانی آن می‌تواند توجیه اقتصادی داشته باشد.

منابع

- Ahmadi, A., Heidarzadeh, S., Mokhtari, A.R., Darezeshki, E., and Asadi Harouni, H. 2014. Optimization of heavy metal removal from aqueous solutions by maghemite ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) nanoparticles using response surface methodology *Journal of Geochemical Exploration*, 147:151-158.
- Aytas, S., Akyil, S., Aslani, M.A.A. and Aytakin, U. 1999. Removal of uranium from aqueous solution by diatomite (Kieselguhr). *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 240:973-976.
- Babel, S. and Kurniawan, T. A. 2003. Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water. A review. *Journal of Hazardous Materials*, 97: 219-243.
- Chiban, M., Zerbet, M., Carja, G. and Sinan, F. 2011. Application of low-cost adsorbents for arsenic removal: A review. *Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 4(5): 91-102.
- Deng, S.B., and Ting, Y.P. 2005. Characterization of PEI-modified biomass and biosorption of Cu (II), Pb(II) and Ni(II). *Water Research*, 39: 2167-2177.
- Dermentzis, K., Christoforidis, A. and Valsamidou, E. 2011. Removal of nickel, copper, zinc and chromium from synthetic and industrial wastewater by electrocoagulation. *International journal of environmental sciences*, 1: 697-510.
- El-Sayed, G. O., Dessouki, H. A., and Ibrahim, S. S. 2010. Biosorption of Ni (II) And Cd (II) ions from aqueous solutions onto rice straw. *Journal, Chemical Sciences*, 9: 1-11.
- Hossam, E. G. M. M. 2010. Diatomite: Its characterization, modifications and application. *Asia journal of materials science*, 2(3): 121-136.
- Hua, M., Zhang, S., Pan, B., Zhang, W., Lv, L., Zhang, Q. 2012. Heavy metal removal from water/wastewater by nanosized metal oxides: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 211: 317-31.
- Katsou, E., Malamis, S. And Haralambous, K.J. 2011. Industrial wastewater pre-treatment for heavy metal reduction by employing a sorbent-assisted ultrafiltration system. *Chemosphere*, 82(4): 557-64.
- Singanani, M., and Peters, E. 2013. Removal of toxic heavy metals from synthetic wastewater using a novel biocarbon technology. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1(4): 884-90.
- Vassileva, P.S., Apostolova, M.S., Detcheva, A.K. and Ivanova, E.H. 2013. Bulgarian natural diatomites: modification and characterization. *Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 67: 342-349.
- Yaacoubi, H., Zidani, O., Mouflih, M., Gourai, M. and Sebti, S. 2014. Removal Cadmium from water using natural phosphatas as adsorbent. *Procedia Engineering*, 83: 386-393.
- Zhaolum, W., Yuxiang, Y., Xuping, Q., Jianbo, Z., Yaru, C and Linxi, N. 2005. Decolouring mechanism of zhejiang diatomite. Application to printing and dyeing wastewater. *Environmental Chemistry Letters*, 3: 33-37.
- Zhou, J.L., and Kiff, R.J. 1991. The uptake of copper from aqueous solution by immobilized. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 52: 317-330.
- Zolgharnein, J., Shahmoradi, A., and Ghasemi, J.B. 2013. Comparative study of Box-Behnken, central composite, and Doehlert matrix for multivariate optimization of Pb (II) adsorption onto Robinia tree leaves. *Journal of Chemometrics*, 27(1): 12-20.



Optimization of Cd sorption from aqueous solutions using diatomite by response surface methodology

M. Piri¹ and E. Sepehr²

1. PhD student of the soil science at the Urmia University 2. Professor of the department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Urmia

Abstract

The removal of Cd ions from aqueous solutions was studied by raw diatomite from Iranian mines using response surface method and Box–Behnken methods. A batch experiment was conducted to evaluate the effects of independent variables such as pH, metal concentration, and ionic strength on the metal sorption by using response surface and Box–Behnken methods. The results showed that adsorption of Cd intensified by increasing initial metal concentration and pH but ionic strength had inverse effect. High value for R^2 (0.99) and adjusted R^2 (0.99) showed that removal of Cd can be described by response surface method. According to optimization results, the sorption of Cd is maximized when pH: 5.68 concentration: 199/70 and ionic strength 0.03 M. The predicted adsorption at these settings is 49.93 mg/g. The high adsorption capacity of diatomite makes it a suitable low-cost material for the removal of Cd from aqueous solutions.

Keywords: diatomite, Cd, sorption, response surface, Box-Behnken