**محور مقاله: آلودگی خاک و آب و سلامت محصولات کشاورزی**

# بهینه سازی جذب مس از محلول‌های آبی بوسیله دیاتومیت با استفاده از روش سطح پاسخ بر مبنای طرح باکس بنکن

مرضیه پیری[۱*]، ابراهیم سپهر[۲]، عباس صمدی[۳]، خلیل فرهادی[۴]، محمد علیزاده خالد آباد[۵]

[۱] دانش آموخته دکتری گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

[۲] دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

[۳] استاد گروه علوم خاک، دانشگاه ارومیه

[۴] استاد گروه شیمی، دانشگاه ارومیه

[۵] استاد گروه صنایع غذایی، دانشگاه ارومیه

## چکیده

روش سطح پاسخ می‌تواند در بهینه‌سازی عوامل موثر در فرایند جذب فلزات سنگین به وسیله جاذب‌ها استفاده شود. هدف این پژوهش بهینه سازی جذب مس بوسیله دیاتومیت با استفاده از روش سطح پاسخ بر مبنای مدل باکس بنکن، آزمایشات ناپیوسته جذب برای ارزیابی اثر متغیرهای مستقل شامل pH، قدرت یونی و غلظت با استفاده از روش ذکر شده انجام گردید. آنالیز واریانس یک طرفه برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد. با توجه به مقادیر ضریب تعیین ($R^2$=۰/۹۹) و$R^2$ متعادل شده ($R^2$adj=۰/۹۹)، مدل بدست آمده برای تحلیل داده‌ها مناسب می‌باشد. آنالیز واریانس یک طرفه ($p<$۰/۰۰۰۱) نشان داد مدل درجه دو بهترین مدل برای تعیین برهمکنش متغیرهای مطالعه می‌باشد. نتایج نشان داد میزان جذب مس با افزایش غلظت اولیه فلز و pH افزایش و با افزایش قدرت یونی کاهش یافت. شرایط بهینه برای جذب حداکثر مس به وسیله دیاتومیت از محلول‌های آبی به ترتیب در محدوده pH ۵/۹۹ ، غلظت ۱۹۹/۹ میلی گرم بر لیتر و قدرت یونی ۰/۰۳ مول بر لیتر بدست آمد. مقدار پیش‌بینی شده جذب برای شرایط بهینه ذکر شده برای جذب مس به ترتیب ۴۷/۸۸میلی گرم بر گرم شد.

**کلمات کلیدی**: روش سطح پاسخ، مس، دیاتومیت، جذب

## مقدمه

مس یکی از عناصر ضروری برای گیاهان و حیوانات است، اما مقدار زیاد آن با ایجاد اختلال در جذب آهن و روی، باعث کم خونی و فقر آهن در بدن می‌شود (Xu و همکاران، ۲۰۰۶). اگر مس بیش از حد نیاز به بدن برسد بر باروری تاثیر منفی می‌نهد. سازمان بهداشت جهانی (۲۰۰۸) بیشینه غلظت مجاز مس در آب آشامیدنی را کمتر از ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر پیشنهاد کرده است (Meniai و Larous، ۲۰۱۲). غلظت بالای مس در انسان منجر به ایجاد مشکلاتی از قبیل آسیب گسترده مویرگی، آسیب کبد، مشکلات گوارشی، کم خونی، اختلالات کلیه، تحریک سیستم عصبی و به دنبال آن افسردگی می‌شود (Senthilkumar و همکاران، ۲۰۱۱). به دلیل پیامدهای منفی آلودگی فلزات سنگین بر سلامت انسان در سال‌های اخیر زدودن آن‌ها از منابع آبی آلوده مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است.

روش‌های مختلفی برای حذف فلزات سنگین از محلول‌های آبی بکار رفته است که از آن جمله می‌توان به تبادل یون، جذب سطحی، اسمز معکوس، الکترودیالیز، حذف زیستی، استخراج حلال، لخته شدن و فرآیند تفکیک پیوسته اشاره نمود. در حال حاضر برخی از این روش‌ها به دلایل اقتصادی و فنی در داخل و خارج از کشور پذیرفته نیستند. روش جذب سطحی به دلیل کارایی و کاربرد آسان در سال‌های اخیر مورد توجه زیادی قرار گرفته است. تلاش‌های زیادی برای تولید و توسعه مواد ارزان قیمت برای حذف و کنترل آلودگی ناشی از فلزات سنگین از محلول‌های آبی و خاکی صورت گرفته است. طیف چنین موادی وسیع بوده از انواع مختلف مواد طبیعی معدنی و آلی و حتی گاهی اوقات میکروارگانیسم‌های زنده و غیر زنده برای این منظور استفاده شده است (Srinivasa و همکاران، ۲۰۱۰).

اخیرا تمایل به استفاده از مواد معدنی به عنوان جاذب، برای حذف آلاینده‌ها به طور چشم گیری افزایش یافته است. دیاتومیت دارای ویژگی‌های 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 و همچنین به فراوانی و با هزینه کم قابل دسترس می باشد. دیاتومیت به عنوان یک ماده معدنی سیلیکایی با منشاء آلی دارای گروه‌های فعال سیلانول که تمایل زیادی برای واکنش با ترکیبات قطبی و سایر گروه‌ها دارند (Bilgin و Tulun، ۲۰۱۵). معادن دیاتومیت در بسیاری از مناطق

* ایمیل نویسنده مسئول: ma.piri@urmia.ac.ir

جهان یافت شده و در مقادیر زیاد با کمترین هزینه در دسترس است. در ایران مهمترین نهشته های دیاتومیت در ناحیه آذربایجان مشاهده شده است ولی در استان های خراسان جنوبی (مرکزیت بیرجند شهرستان سربیشه-بخش مود-روستای اسفزار) و زنجان نیز معادن دیاتومیت وجود دارد.

در سال‌های اخیر روش‌های آماری و ریاضی زیادی برای طراحی فاکتورهای موثر در فرایندهای شیمیایی بکار رفته است. روش سطح پاسخ (Response surface method) یا (RSM) یکی از روش‌های آماری و ریاضی برای طراحی و بهینه سازی فرایندها است. این روش می‌تواند بررسی اثرات پارامترهای مستقل و اهمیت نسبی برهمکنش بین دو یا چند متغیر را بر روی فرایند نشان دهد. روش RSM بسیار کاراتر از روش‌های قدیمی بهینه‌سازی تک پارامتری است، زیرا از صرف زمان، فضا و مواد اضافی جلوگیری می‌کند. این روش آماری، توانایی تحلیل و آنالیز اثرات دوگانه یا چندگانه متغیرها را بطور همزمان دارد. روش سطح پاسخ تنها شرایط بهینه را مشخص نمی‌کند بلکه مدل رگرسیونی مناسب را نیز پیشنهاد می‌نماید. این روش را می‌توان به روش طرح مرکب مرکزی و یا باکس بنکن انجام داد. علاوه بر نوع جاذب و نوع فلز، میزان جذب وابسته به فاکتورهای مختلفی از جمله غلظت فلزات، مقدار pH محلول، غلظت و قدرت یونی محلول است (Sheshmani و همکاران، ۲۰۱۳؛ Nuhoglu و Oguz ، ۲۰۰۳)، لذا هدف این پژوهش بررسی جذب مس به وسیله دیاتومیت از محلول‌های آبی با استفاده از روش سطح پاسخ بر مبنای مدل باکس بنکن و بعلاوه بررسی اثر متقابل متغیرهای مستقل موثر بر فرایند جذب شامل pH، غلظت و قدرت یونی در وضعیت ناپیوسته می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

در این مطالعه دیاتومیت تهیه شده از شرکت زرین خاک قاین واقع در شهر بیرجند، به عنوان جاذب برای جذب مس استفاده شد. از روش سطح پاسخ بر مبنای طراحی باکس بنکن جهت ارزیابی تأثیر متغیرهای مستقل بر عملکرد پاسخ (جذب فلز سنگین مس) به وسیله دیاتومیت استفاده شد. متغیرهای مستقل در این مطالعه شامل غلظت اولیه فلز (A)، pH (B)، قدرت یونی (C) در دو سطح حداقل و حداکثر ۱- و ۱ بودند (جدول۱). تعداد آزمایشات مورد نیاز با استفاده از مدل باکس بنکن از رابطه $N=2K(K-1)+C$ تعیین می‌شود که N تعداد نمونه آزمایش، K تعداد متغیرها و C تعداد نقطه مرکزی می‌باشد. پارامترهای pH در محدوده ۳ تا ۶، غلظت اولیه فلز در محدوده ۰ تا ۲۰۰ میلی گرم درلیتر و قدرت یونی ۰/۰۱ تا ۰/۰۶ مولار قرار گرفتند (جدول ۲).

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

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

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 نیترات‌سدیم با قدرت یونی ارائه شده در جدول ۲ ریخته و به مدت ۳ ساعت تکان داده شدند. پس از سانتریفوژ کردن نمونه‌ها، غلظت عناصر باقی مانده در محلول رویی صاف شده با استفاده از دستگاه جذب اتمی (شیمادزو[1] مدل AA ۶۳۰۰) اندازه گیری شد. تنظیم pH با استفاده از محلول‌های اسید هیدروکلریک و هیدروکسید سدیم یک نرمال انجام گردید. میزان جذب ($q_e$) ($mg\ g^{-1}$) مس توسط دیاتومیت از طریق رابطه زیر محاسبه شد:

$$qe = \frac{(C_i - C_e) \times V}{m} \quad [۱]$$

که در آن، $C_i$ غلظت اولیه فلز($mg\ L^{-1}$)،$C_e$($mg\ L^{-1}$) غلظت تعادلی m، جرم جاذب (۰/۰۵ گرم) و V حجم محلول (۲۵میلی‌لیتر) می‌باشد. میزان جذب فلز در نرم افزار اکسل محاسبه و 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.

[1] Shimadzu

## نتایج و بحث

### مدلسازی جذب مس به وسیله دیاتومیت

نتایج بررسی تأثیر فاکتورهای pH، قدرت یونی و غلظت اولیه بر میزان جذب مس به وسیله دیاتومیت به روش سطح پاسخ بر مبنای مدل باکس بنکن در جدول ۲ آورده شده است. حداکثر میزان جذب مس۴۷ (mg/g) در قدرت یونی ۰/۰۳ مولار و غلظت ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر بدست آمد. به منظور یافتن بهترین مدل، پس از آنالیز واریانس مربوط به مدل‌های مختلف، یک مدل درجه دوم (Quadratic) توسط نرم افزار برای توصیف فرایند جذب مس به وسیله دیاتومیت پیشنهاد شد (جدول۲).

جدول۲- نتایج روش باکس بنکن جذب مس به وسیله دیاتومیت

| Response(sorption mg $g^{-1}$) | IS | pH | Ci | Run |
|---|---|---|---|---|
| Cu(II) | mol $L^{-1}$ | | mg $L^{-1}$ | |
| ۰ | ۰/۰۳ | ۳ | ۰ | ۱ |
| ۴۴/۲۰ | ۰/۰۳ | ۳ | ۲۰۰ | ۲ |
| ۰ | ۰/۰۳ | ۶ | ۰ | ۳ |
| ۴۷/۶۵ | ۰/۰۳ | ۶ | ۲۰۰ | ۴ |
| ۰ | ۰/۰۱ | ۴/۵ | ۰ | ۵ |
| ۴۶/۴۴ | ۰/۰۱ | ۴/۵ | ۲۰۰ | ۶ |
| ۰ | ۰/۰۶ | ۴/۵ | ۰ | ۷ |
| ۴۳/۰۶ | ۰/۰۶ | ۴/۵ | ۲۰۰ | ۸ |
| ۲۲/۹۱ | ۰/۰۱ | ۳ | ۱۰۰ | ۹ |
| ۲۴/۳۱ | ۰/۰۱ | ۶ | ۱۰۰ | ۱۰ |
| ۲۱/۱۸ | ۰/۰۶ | ۳ | ۱۰۰ | ۱۱ |
| ۲۱/۸۲ | ۰/۰۶ | ۶ | ۱۰۰ | ۱۲ |
| ۲۳/۳۸ | ۰/۰۳ | ۴/۵ | ۱۰۰ | ۱۳ |
| ۲۳/۳۲ | ۰/۰۳ | ۴/۵ | ۱۰۰ | ۱۴ |
| ۲۳/۳۵ | ۰/۰۳ | ۴/۵ | ۱۰۰ | ۱۵ |
| ۲۳/۵۰ | ۰/۰۳ | ۴/۵ | ۱۰۰ | ۱۶ |
| ۲۳/۵۴ | ۰/۰۳ | ۴/۵ | ۱۰۰ | ۱۷ |

مقدار F-value برابر ۳۹۴۰ و مقدار P-value کوچکتر از ۰/۰۰۰۱ برای مدل نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی برای شبیه سازی جذب مس از محلول‌های آبی توسط دیاتومیت دارای اهمیت است. مدل ارائه شده برای سیستم شامل سه ترم اثرات تک جزئی یا خطی (غلظت، pH، قدرت یونی)،دو اثر دو گانه یا برهمکنشی و یک اثر انحنا یا درجه دوم است. اما همه این پارامترها در مدل تأثیر معنی دار و مهم نداشته و با حذف برخی از این پارامترها مدل ساده‌تر می‌شود.

جدول ۳- نتایج آنالیز واریانس مدل درجه دو برای جذب مس به وسیله دیاتومیت

| Source | Sum of squares | df | Mean square | F value | P value |
|---|---|---|---|---|---|
| Model | ۴۱۳۰/۹۵ | ۶ | ۶۸۸/۴۹ | ۳۹۴۰/۲۵ | <۰/۰۰۰۱ |
| A-Con | ۴۱۱۱/۷۰ | ۱ | ۴۱۱۱/۷۰ | ۲۳۵۳۱/۳۵ | <۰/۰۰۰۱ |
| B-pH | ۳/۷۸ | ۱ | ۳/۷۸ | ۲۱/۶۲ | ۰/۰۰۰۹ |
| C-IS | ۷/۲۳ | ۱ | ۷/۲۳ | ۴۱/۳۹ | <۰/۰۰۰۱ |
| AB | ۲/۹۸ | ۱ | ۲/۹۸ | ۱۷/۰۶ | ۰/۰۰۲۰ |
| AC | ۲/۸۶ | ۱ | ۲/۸۶ | ۱۶/۳۶ | ۰/۰۰۲۳ |
| $C^2$ | ۲/۳۹ | ۱ | ۲/۳۹ | ۱۳/۷۰ | ۰/۰۰۴۱ |
| Residual | ۱/۷۵ | ۱۰ | ۰/۱۷ | | |
| Lack of Fit | ۱/۷۱ | ۶ | ۰/۲۸ | ۲۹/۵۲ | ۰/۰۰۲۸ |
| Pure Error | ۰/۰۳۹ | ۴ | ۰۰۳E-۹/۶۴ | | |
| Cor Total | ۴۱۳۲/۶۹ | ۱۶ | | | |

مقدار ضریب تعیین ($R^2$)، پارامتر مجذور مربعات پیش بینی شده[2] ($Pre\text{-}R^2$) و مقدار پارامتر مجذور مربعات فواصل تنظیم شده ($Adj\text{-}R^2$) برابر ۰/۹۹ به‌دست آمد است، نشان می‌دهد که مدل دارای صحت قابل قبولی است (جدول ۳). همچنین پارامتر دقت مناسب[3]نشان دهنده نسبت سیگنال به نویز است که نسبت بزرگتر از ۴ قابل قبول است که این پارامتر ۱۸۷ می‌باشد که نشان دهنده مقدار مطلوب دقت مناسب است (جدول۳). پس از تحلیل‌های آماری مدل پیشنهادی برای جذب مس به وسیله دیاتومیت به صورت معادله درجه دو توسط نرم افزار ارائه شد که در رابطه های زیر نشان داده شده است:

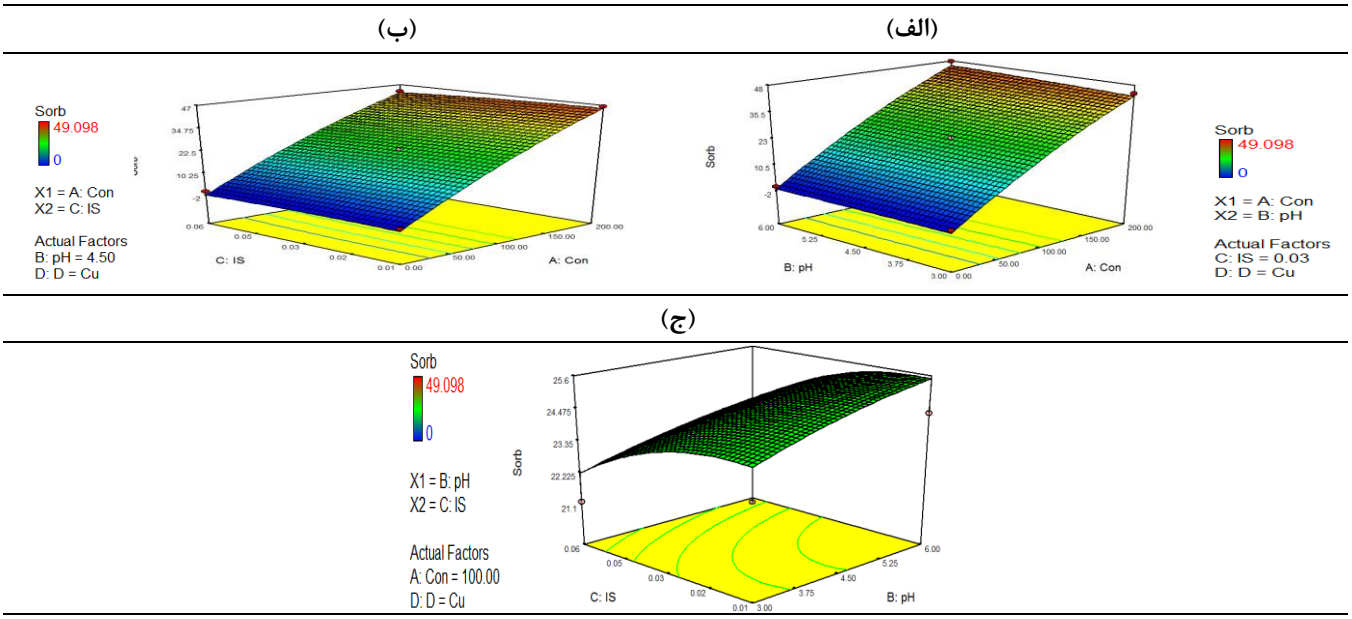
$$Y_{(Cu)} = +23.22+22.67*A+0.69*B-0.95*C+0.86*A*B-0.85*A*C-0.75*C^2$$

Y پاسخ پیش بینی شده برای جذب سرب به وسیله سپیولیت، پارامترهای A، B، C به ترتیب غلظت، pH و قدرت یونی می‌باشند.

**بهینه سازی فاکتورهای pH، غلظت و قدرت یونی**

شکل۱ نمودارهای مربوط جذب مس به وسیله دیاتومیت به صورت تابعی از pH، غلظت اولیه فلز و قدرت یونی را نشان می‌دهد. همان‌طور در شکل ۱-الف مشاهده می‌شود، دو پارامتر pH و غلظت اولیه (con) فلز مس 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 بیشتر شد. در شکل ۱-ب اثرات متقابل پارامترهای غلظت(con) و قدرت یونی(IS) در pH ثابت برابر ۴/۵ پارامترهای انتخابی هستند که در این شکل نیز تأثیر غلظت بیشتر از قدرت یونی است. افزایش قدرت یونی اثر معکوس بر میزان جذب دارد. اثرات متقابل pH و قدرت یونی(IS) در غلظت ثابت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر در شکل ۱-ج نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می شود با افزایش pH و کاهش قدرت یونی میزان جذب فلز افزایش می‌یابد.

[2] Predicted R-squared
[3] Adequate Precision




شکل۱- نمودار سه بعدی جذب مس به وسیله 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 برابر۴/۵ ج: اثرات متقابل pH و قدرت یونی(IS) در غلظت ثابت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر

با افزایش pH از ۳ به ۶ میزان جذب مس به وسیله دیاتومیت افزایش پیدا کرد. در pHهای کم ، افزایش یون پروتون موجب رقابت بیشتر $H^+$ با کاتیون‌های محلول شده و $H^+$ به جای یون‌های فلزی جذب جاذب می‌شود (Deng و Ting، ۲۰۰۵). در نتیجه جذب مس در pHهای اسیدی کاهش پیدا می‌کند. در pHهای بالاتر نیز به علت کاهش $H^+$ مقدار جذب یون‌های فلزی افزایش یافته و باعث افزایش درصد حذف فلز می‌شود (Zhou و Kiff، ۱۹۹۱). کاتیون‌ها بسته به pH به شکل‌های یون، کمپلکس‌های هیدروکسیدی و رسوب یافت می‌شوند. افزایش بیش‌تر pH سبب افزایش مقادیر $OH^-$محلول شده و موجب ایجاد پیوندهای MOH (M: یک فلز) می‌شود که سبب کلاته شدن و ایجاد حالت پایدار در فلز مورد نظر موجود در محلول می‌گردد. این امر سبب کاهش احتمال انتقال و تماس فلز با جاذب و کاهش درصد حذف می‌شود (Chowdhury و Saha، ۲۰۱۰).

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 و همکاران، ۱۹۹۹). Lui و Richard (۱۹۹۹) در بررسی جذب سه فلز کادمیوم، مس و سرب بر روی هومیک اسید مشاهده کردند که با افزایش قدرت یونی از ۰/۰۲ به ۰/۸ مولار میزان جذب هر سه فلز کاهش پیدا می‌کند. شیرزاده و سپهر (۱۳۹۰)در بررسی جذب کادمیم برروی نانو اکسید تیتانیوم و آلومینیم کاهش میزان جذب کادمیم با افزایش قدرت یونی را گزارش کردند. ناصری و همکاران (۲۰۱۴) در بهینه سازی غیر متحرک سازی آرسنیک در خاک لوم شنی با استفاده از جاذب‌های آهن با استفاده از روش سطح پاسخ مشاهده کردند که در بیش ترین غلظت (۲۰۰ میلی گرم بر لیتر) حداکثر جذب بوسیله جاذب‌ها بدست آمد.

بهینه سازی مدل و یافتن مقدار بهینه متغیرها در فرایند جذب مس به وسیله دیاتومیت با 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 ۱۹۹/۹۰(mg/L)، pH برابر ۵/۹۸ و قدرت یونی ۰/۰۳ مولار برای سرب پیش‌بینی شد. مقادیر پیش بینی شده جذب مس برای شرایط بهینه ذکر شده به ترتیب ۴۷/۸۸ (mg/g) شد.

## نتیجه‌گیری

مدل‌سازی جذب مس با استفاده از دیاتومیت به روش سطح پاسخ بر مبنای طراحی باکس بنکن، برای بررسی اثر پارامترهای مستقل pH، قدرت یونی و غلظت بر روی فرایند جذب با یک مدل درجه دو قابل توضیح است. با توجه به مقدار بالای $R^2$ (۰/۹۹) و $R^2$ متعادل شده (۰/۹۹) می‌توان

گفت مدل بدست آمده برای تحلیل داده‌های جذب مس به وسیله دیاتومیت مناسب می‌باشد. مدل رگرسیونی بدست آمده نشان داد غلظت به عنوان مؤثرترین پارامتر بر افزایش عملکرد پاسخ (جذب) می‌باشد و قدرت یونی اثر معکوس در جذب مس توسط دیاتومیت دارد.

**منابع**

شیرزاده، م.، سپهر، ا. ۱۳۹۰. بررسی رفتار جذب کادمیوم بر روی نانو اکسیدهای آلومینیم و تیتانیوم. پایان نامه کارشناسی ارشد، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، دانشگاه ارومیه، دانشکده کشاورزی.

Bilgin, M. and Tulun, S. 2015. Use of diatomite for the removal of lead ions from water: thermodynamics and kinetics. Biotechnology and Biotechnological Equipment, 29(4), 696-704. DOI: 10.1080/13102818.2015.1039059.

Chowdhury, S. and Saha, P. 2010. Sea shell powder as a new adsorbent to remove Basic Green 4 (Malachite Green) from aqueous solutions: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. Chemical Engineering Journal, 164(1), 168-77.

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.

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.

Larous, S. and Meniai, A.H. 2012. Removal of copper (II) from aqueous solution by agricultural by-products-sawdust. Energy Procedia, 18, 915-923.

Lui, A. and Richard G. 1999. Modeling adsorption of copper, cadmium and lead on purified humic acid. American Chemical Society, 16, 3902-3909.

Naseri, E., Reyhanitabar, A., Oustan, Sh., Heydari, A.A., Alidokht, L. 2014. Optimization arsenic immobilization in a sandy loam soil using iron-based amendments by response surface methodology. Geoderma, (232), 547–555.

Nuhoglu, Y. and Oguz, E. 2003. Removal of copper (II) from aqueous solutions by biosorption on the cone biomass of Thujaorientalis. Process Biochemical, 37, 1627–1631.

Sanchez, A.G., Ayuso, E.A. and De Blas, O.J. 1999. Sorption of heavy metals from industrial waste water by low-cost mineral silicates. Clay Minerals, 34, 469-477.

SenthilKumar, P., Ramalingam, S., Sathyaselvabala, V., Kirupha, S.D., Sivanesan, S. 2011. Removal of copper (II) ions from aqueous solution by adsorption using cashew nut shell. Desalination, 266(1), 63-71.

Sheshmani, S.H., Arab, Fashapoyeh, M. and Amini, R. 2013. Iron (iii) hydroxide/graphene oxide nano composite and investigation of lead adsorption. Quarterly Journal of Applied Researches in Chemistry (JARC), 6(4), 17-23. [Persian].

Srinivasa Rao, K., Roy Chaudhury, G., Mishra, B.K. 2010. Kinetics and equilibrium studies for the removal of cadmium ions from aqueous solutions using Duolite ES 467 resin. International Journal of Mineral Processing, 97, 68-73.

Xu, J., Yang, L., Wang, Z., Dong, G., Huang, J. and Wang, Y. 2006. Toxicity of copper on rice growth and accumulation of copper in rice grain in copper contaminated soil. Chemosphere, (62), 602-607.

**Topic for submission: Soil and Water Pollution and Crop Health**

# Optimizing sorption of Cu by diatomite from aqueous solutions using the response surface method by application of Box-Behnken design

M Piri[1*], E Sepehr[2], A Samadi[3], Kh Farhadi[4], M Alizadeh Khaledabad[5]

[1] PhD Graduate Dept. of Soil Sci., Faculty of Agric., Univ. of Urmia

[2] Assoc. Prof., Dept. of Soil Sci., Faculty of Agric., Univ. of Urmia

[3] Prof., Dept. of Soil Sci., Faculty of Agric., Univ. of Urmia

[4] Prof., Dept. of Chemistry Sci., Faculty of Chem., Univ. of Urmia

[5] Prof., Dept. of Food Sci. and Techno., Faculty of Agric., Univ. of Urmia

**Abstract**

Response surface method can be useful for optimization the effective factors in the sorption process of heavy metals by sorbents. The purpose of this study was to optimize sorption of Cu from aqueous solutions by diatomite using response surface method and Box–Behnken methods. The batch experiment was conducted to evaluate the effects of independent variables such as pH, metal concentration, and ionic strength on the metal sorption by mentioned methods. One-way analysis of variance (ANOVA) was applied for data analysis. High value for $R^2$ (0.99) and adjusted $R^2$ (0.99) showed that sorption of Cu can be described by response surface method. One-way ANOVA showed ($p < 0.001$) that quadratic model was the best model for determining the interaction variables. The results showed that sorption of Cu by diatomite intensified by increasing initial concentration and pH but ionic strength had inverse effect. The optimal conditions determined for Cu initial concentration, pH and ionic strength were 199.9, 5.99 and 0.03 M, respectively. The predicted adsorption at these settings for sorption of Cu by diatomite is 47.88 mg $g^{-1}$.

**Keywords**: Response surface method, Cu, diatomite, sorption

* Corresponding author, Email: ma.piri@urmia.ac.ir