

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

## کارایی روش سطح پاسخ بر مبنای طرح باکس بنکن در بهینه‌سازی فرایند جذب سرب از محلول‌های آبی با استفاده از سپیولیت

مرضیه پیری<sup>۱\*</sup>، ابراهیم سپهر<sup>۲</sup>، عباس صمدی<sup>۳</sup>، خلیل فرهادی<sup>۴</sup>، محمد علیزاده خالد آباد<sup>۵</sup><sup>۱</sup>دانش آموخته دکتری گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه<sup>۲</sup>دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه<sup>۳</sup>استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه<sup>۴</sup>استاد گروه شیمی، دانشگاه ارومیه<sup>۵</sup>استاد گروه صنایع غذایی، دانشگاه ارومیه

## چکیده

در سال‌های اخیر استفاده از مواد ارزان قیمت به عنوان جاذب فلزات سنگین از منابع آب آلوده گسترش یافته است. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر سپیولیت در جذب سرب از محلول‌های آبی با استفاده از روش سطح پاسخ بر مبنای مدل باکس بنکن می‌باشد. آزمایشات ناپیوسته جذب به منظور ارزیابی اثر متغیرهای مستقل شامل pH، قدرت یونی و غلظت با استفاده از روش ذکر شده برای بررسی اثرات این متغیرها انجام گردید. آنالیز واریانس یک طرفه برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد، با توجه به مقادیر ضریب تعیین ( $R^2=0/99$ ) و  $R^2$  متعادل شده ( $R^2_{adj}=0/99$ )، مدل بدست آمده برای تحلیل داده‌ها مناسب می‌باشد. آنالیز واریانس یک طرفه ( $p<0/0001$ ) نشان داد مدل درجه دو بهترین مدل برای تعیین برهمکنش متغیرهای مطالعه بود. شرایط بهینه برای جذب حداکثر سرب از محلول‌های آبی به ترتیب در محدوده pH ۵/۹۰، غلظت ۱۹۹/۹۰ میلی‌گرم بر لیتر و قدرت یونی ۰/۰۳ مول بر لیتر بدست آمد. مقدار پیش‌بینی شده جذب سرب برای شرایط بهینه ذکر شده ۴۴/۶۲ میلی‌گرم بر گرم شد. بنابراین روش سطح پاسخ می‌تواند در بهینه‌سازی حذف سرب از محلول‌های آبی به وسیله سپیولیت مناسب باشد.

کلمات کلیدی: قدرت یونی، آزمایشات ناپیوسته، مدل باکس بنکن، سرب، سپیولیت

## مقدمه

یکی از عمده‌ترین آلاینده‌های محیط زیست، وجود فلزات سنگین موجود در منابع آب‌های آلوده در پساب صنایع مختلف است، که در سال‌های اخیر نگرانی در مورد آثار سمی دراز مدت آن‌ها بر روی سلامت انسان از طریق ورود به زنجیره غذایی افزایش یافته است. سرب یکی از فلزات سنگین بوده که اختلال یادگیری و رفتاری در کودکان، صدمه به اندام‌های کبد، کلیه، قلب و اختلال در سیستم ایمنی از پیامدهای آلودگی آن است (Shi و همکاران، ۲۰۰۹).

از بین روش‌های حذف فلزات سنگین از محلول‌های آبی از جمله ترسیب شیمیایی<sup>۱</sup>، انعقاد و شناورسازی الکتریکی<sup>۲</sup>، تعویض یون<sup>۳</sup>، اسمز معکوس<sup>۴</sup>، جذب<sup>۵</sup>، روش جذب، به‌ویژه با استفاده از جاذب‌های ارزان قیمت، کارایی بالا و سهولت اجرایی داشته و از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه است (Chiban et al., 2011). در سال‌های اخیر تمایل به استفاده از مواد معدنی به ویژه کانی‌های رسی به عنوان جاذب، برای حذف آلاینده‌ها به طور چشم‌گیری افزایش یافته است. دلیل این امر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاص رس‌ها و همچنین فراوانی، سهولت و مقرون به صرفه بودن و سازگاری رس‌ها با محیط زیست می‌باشد. از جمله کانی‌های فراوان در خاک‌ها و رسوبات مناطق خشک و نیمه خشک دنیا می‌توان به سپیولیت و پالیگورسکیت اشاره نمود (Singer و همکاران، ۱۹۹۸). سپیولیت در خاک‌های خشک و نیمه خشک و یک کانی از گروه رس‌های سیلیکاتی است که معمولاً به همراه کربنات‌ها یافت می‌شود (Khademi و همکاران، ۱۹۹۸). گسستگی و وارونگی صفحات سیلیکاتی در سپیولیت ساختاری تونلی و بلوکی را ایجاد می‌کند

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

<sup>1</sup> Chemical precipitation<sup>2</sup> Electro-coagulation-flotation<sup>3</sup> Ion exchange<sup>4</sup> Reverse osmosis<sup>5</sup> Sorption

که آن را از سایر سیلیکات‌های تری اکتاهدرا ۲:۱ متمایز می‌کند. فرمول ساختمانی این کانی که از جمله کانی‌های سیلیکاتی تری اکتاهدرا ۲:۱ و آبدار است به صورت  $Mg_8Si_{12}O_{30}(OH)_4 \cdot 8H_2O$  می‌باشد. جایگزینی هم‌شکل سیلیسیم در لایه‌های چهار وجهی این کانی به وسیله یون‌های آلومینیوم، با ایجاد بار منفی مکان‌های مناسبی را برای جذب کاتیون‌ها به وجود می‌آورد. همچنین به دلیل ناپیوستگی صفحات سیلیکاتی بیرونی تعداد قابل توجهی گروه‌های عاملی سیلانول (Si-OH) در سطح این کانی وجود دارند (Galan, ۱۹۹۶). این ویژگی‌های سیپولیت سبب جذب مواد آلی و معدنی به سطح کانی گردیده و سیپولیت را در زمره جاذب‌های مناسب قرار داده است (Lazarević و همکاران، ۲۰۰۷).

مقدار جذب فلزات سنگین علاوه بر نوع جاذب و نوع فلز، به فاکتورهای مختلفی از جمله غلظت، مقدار pH محلول، دما و قدرت یونی محلول وابسته است. روش سطح پاسخ<sup>۱</sup> (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 بر روی فرایند را نشان دهد. RSM تنها شرایط بهینه را مشخص نمی‌کند، بلکه مدل رگرسیونی مناسب را نیز پیشنهاد می‌نماید. این کار را می‌توان به روش طرح مرکب مرکزی<sup>۲</sup> و یا باکس بنکن<sup>۳</sup> انجام داد (Zolgharnein و همکاران، ۲۰۱۳). هدف از این مطالعه مدل سازی جذب سرب به وسیله سیپولیت از محلول‌های آبی با استفاده از روش سطح پاسخ بر مبنای مدل باکس بنکن برای بررسی اثر متقابل متغیرهای مستقل موثر بر فرایند جذب شامل pH، غلظت و قدرت یونی در وضعیت ناپیوسته می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

از روش سطح پاسخ بر مبنای طراحی باکس بنکن جهت ارزیابی تأثیر متغیرهای مستقل بر عملکرد پاسخ (جذب فلز سنگین سرب) به وسیله کانی سیپولیت 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 (جدول ۱). 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 در لیتر 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

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 ( $mol L^{-1}$ )

پس از طراحی آزمایش‌ها، ۰/۱ گرم از سیپولیت در داخل لوله‌های سانتریفیوژ ۵۰ میلی لیتری ریخته و به هر یک از لوله‌ها ۲۵ میلی لیتر محلول فلزی با شرایط آزمایش‌های طراحی شده در محلول زمینه نیترات سدیم ریخته و به مدت ۳ ساعت تکان داده شدند. پس از سانتریفیوژ کردن نمونه‌ها، غلظت سرب باقی مانده در محلول رویی صاف شده با استفاده از دستگاه جذب اتمی (شیمادزو<sup>۴</sup>، مدل AA ۶۳۰۰) اندازه گیری شد. تنظیم pH با استفاده از محلول‌های اسید هیدروکلریک و هیدروکسید سدیم یک نرمال انجام گردید. میزان جذب ( $q_e$ ) ( $mg g^{-1}$ ) سرب توسط سیپولیت 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 سرب ( $mg L^{-1}$ )،  $C_e$  غلظت تعادلی ( $mg L^{-1}$ )، m جرم جاذب (۰/۰۵ گرم) و V حجم محلول (۲۵ میلی لیتر) می‌باشد. مقدار 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.

<sup>1</sup> Response Surface Modeling (RSM)

<sup>2</sup> Central composite

<sup>3</sup> Box-Behnken

<sup>4</sup> Shimadzu

## نتایج و بحث

### مدل سازی و آنالیز آماری با استفاده از روش RSM

پس از طراحی تعداد و مقادیر پارامترها، نتایج حاصل از آزمایش به دست آمد (جدول ۲). براساس نتایج به دست آمده حداکثر مقدار جذب سرب  $44 \text{ (mg g}^{-1}\text{)}$  شد. 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 سرب به وسیله سپیولیت پیشنهاد شد (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج روش باکس بنکن جذب سرب به وسیله سپیولیت

Response (sorption $\text{mg g}^{-1}$ )	IS	pH	Ci	Run
Pb(II)	$\text{mol L}^{-1}$		$\text{mg L}^{-1}$	
۰	۰/۰۳	۳	۰	۱
۴۲/۵۲	۰/۰۳	۳	۲۰۰	۲
۰	۰/۰۳	۶	۰	۳
۴۴/۵۹	۰/۰۳	۶	۲۰۰	۴
۰	۰/۰۱	۴/۵	۰	۵
۴۳/۶۱	۰/۰۱	۴/۵	۲۰۰	۶
۰	۰/۰۶	۴/۵	۰	۷
۴۱/۵۰	۰/۰۶	۴/۵	۲۰۰	۸
۲۲/۷۲	۰/۰۱	۳	۱۰۰	۹
۲۴/۳۵	۰/۰۱	۶	۱۰۰	۱۰
۲۱/۶۲	۰/۰۶	۳	۱۰۰	۱۱
۲۲/۰۶	۰/۰۶	۶	۱۰۰	۱۲
۲۳/۱۳	۰/۰۳	۴/۵	۱۰۰	۱۳
۲۳/۲۸	۰/۰۳	۴/۵	۱۰۰	۱۴
۲۳/۳۶	۰/۰۳	۴/۵	۱۰۰	۱۵
۲۳/۴۴	۰/۰۳	۴/۵	۱۰۰	۱۶
۲۳/۴۱	۰/۰۳	۴/۵	۱۰۰	۱۷

مقدار F-value برابر ۴۱۹۳ و مقدار P-value کوچکتر از ۰/۰۰۰۱ برای مدل نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی برای شبیه سازی جذب سرب از محلول های آبی توسط سپیولیت 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 دو اثر انحنای درجه دوم است. اما همه این پارامترها در مدل تأثیر معنی‌دار و مهم نداشته و با حذف برخی از این پارامترها مدل ساده تر می‌شود.

جدول ۳- نتایج آنالیز واریانس برای مدل درجه دو برای جذب سرب به وسیله سپیولیت

P value	F value	Mean square	df	Sum of squares	Source
<0.0001	4193/88	532/44	7	3727/05	Model
<0.0001	29205/81	3707/83	1	3707/83	A-Con
0.0027	16/79	2/13	1	2/13	B-pH
0.0004	29/74	3/78	1	3/78	C-IS
0.0176	8/42	1/07	1	1/07	AB
0.0161	8/73	1/11	1	1/11	AC
<0.0001	73/45	9/32	1	9/32	A <sup>2</sup>
0.0094	10/83	1/37	1	1/37	C <sup>2</sup>
		0.13	9	1/14	Residual
0.0122	13/91	0.22	5	1/08	Lack of Fit
		0.016	4	0.062	Pure Error
			16	3728/19	Cor Total

مقدار ضریب تبیین ( $R^2$ )، پارامتر مجذور مربعات پیش بینی شده ( $Pre-R^2$ ) و مقدار پارامتر مجذور مربعات فواصل تنظیم شده ( $Adj-R^2$ ) برای برابر ۰/۹۹ است، نشان می‌دهد که مدل دارای صحت قابل قبولی است (جدول ۳). همچنین پارامتر دقت مناسب<sup>۱</sup> نشان دهنده نسبت سیگنال به نویز است که نسبت بزرگتر از ۴ قابل قبول است، که این پارامتر ۱۸۳ می‌باشد که نشان دهنده مقدار مطلوب دقت مناسب است (جدول ۳). پس از تحلیل‌های آماری مدل پیشنهادی برای جذب سرب به صورت معادله درجه دو توسط نرم افزار ارائه شد که در رابطه‌های زیر نشان داده شده است:

$$\text{Sorb}_{(Pb)} = +23.30 + 21.53 * A + 0.52 * B - 0.69 * C + 0.52 * A * B - 0.53 * A * C - 1.49 * A^2 - 0.57 * C^2 \quad (2)$$

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

#### 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 سرب به صورت تابعی از pH، غلظت اولیه فلز و قدرت یونی را نشان می‌دهد. همان‌طوریکه در شکل ۱-الف نشان داده شده است، دو پارامتر pH و غلظت اولیه (con) فلز سرب به عنوان پارامترهای انتخابی بودند که در محدوده پارامترهای تعریف شده، تأثیر غلظت فلز نسبت به pH محلول بیشتر بود و با تغییر غلظت فرایند جذب بیشتر دستخوش تغییرات قرار گرفت و پارامتر pH تأثیرگذاری نسبی کمتری داشت. با افزایش pH و غلظت مقدار 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 داشت. افزایش قدرت یونی اثر معکوس بر میزان جذب داشت. 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 نشان داده شده است، با افزایش pH و کاهش قدرت یونی مقدار جذب فلز افزایش یافت.

<sup>1</sup> Predicted R-squared

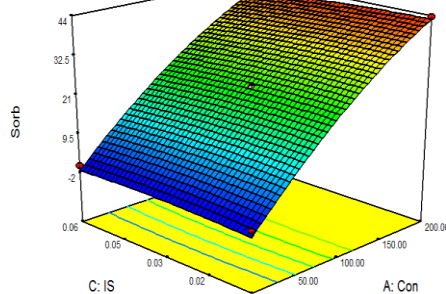
<sup>2</sup> Adequate Precision

(ب)

Sorb  
44.5905  
0

X1 = A: Con  
X2 = C: IS

Actual Factors  
B: pH = 4.50  
D: D = Pb

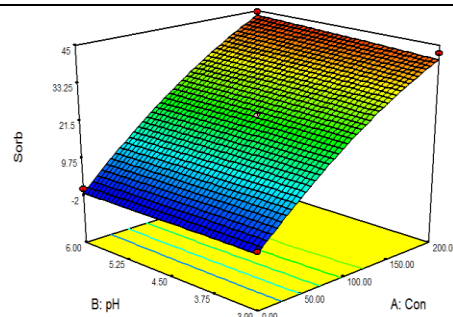


(الف)

Sorb  
44.5905  
0

X1 = A: Con  
X2 = B: pH

Actual Factors  
C: IS = 0.03  
D: D = Pb

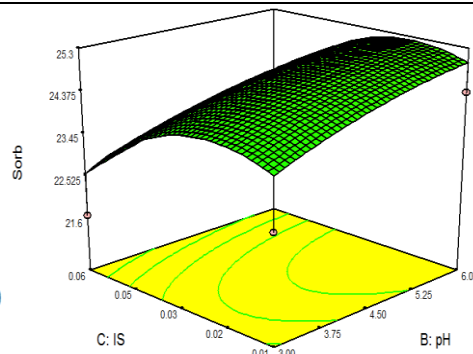


(ج)

Sorb  
44.5905  
0

X1 = B: pH  
X2 = C: IS

Actual Factors  
A: Con = 100.00  
D: D = Pb



شکل ۱- نمودار سه بعدی جذب سرب به وسیله سپیولیت 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 گرفته و مقدار جذب افزایش می‌یابد، ولی با افزایش خیلی زیاد غلظت سطح جاذب سریع اشباع می‌شود و جذب یون‌های فلزی و درصد حذف کاهش می‌یابد. Katsou و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند 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 pHهای کم (شرایط اسیدیته محلول)، افزایش یون هیدروژن موجب رقابت بیشتر  $H^+$  با کاتیون‌های محلول شده و  $H^+$  به جای یون‌های فلزی جذب جاذب می‌شود (Deng و Ting، ۲۰۰۵). در نتیجه جذب سرب در pHهای اسیدی کاهش پیدا می‌کند در pHهای بالاتر به علت کاهش  $H^+$  مقدار جذب یون‌های فلزی افزایش یافته و سبب افزایش درصد حذف فلز می‌شود (Kiff و Zhou، ۱۹۹۱). قدرت یونی نیز عاملی تأثیرگذار بر تعادل گونه‌های جذب شده و جاذب در فاز محلول است، با افزایش قدرت یونی محلول میزان جذب فلز کاهش پیدا می‌کند (Sanchez، ۱۹۹۹). El-sayed و همکاران (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.

بهینه‌سازی مدل و یافتن مقدار بهینه متغیرها در فرایند جذب سرب توسط سپیولیت با استفاده از نرم افزار انجام شد. به این منظور در نرم افزار شرایط بهینه‌سازی مربوط به هر متغیر و پاسخ تعیین شد و همه پارامترها در محدوده مربوط به طراحی و میزان جذب در حداکثر مقدار تنظیم شدند. در این شرایط غلظت برابر ۱۹۹/۹۰ ( $mg L^{-1}$ )، pH برابر ۵/۹۰ و قدرت یونی ۰/۰۳ مولار برای سرب پیش‌بینی شد. مقدار پیش‌بینی شده جذب سرب برای شرایط بهینه ذکر شده ۴۴/۶۲ ( $mg g^{-1}$ ) بود.



### نتیجه گیری

براساس نتایج بدست آمده، مدل سازی جذب سرب از محلول های آبی با استفاده از سپیولیت 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 مؤثرترین پارامترها در افزایش عملکرد پاسخ (جذب) می باشند و قدرت یونی اثر معکوس در مقدار جذب سرب از محلول های آبی توسط سپیولیت دارد. بنابراین سپیولیت به عنوان یک جاذب موثر در حذف یون های سرب از محلول های آبی عمل می کند و استفاده از این جاذب به علت فراوانی و هزینه کم آن می تواند توجیه اقتصادی داشته باشد.

### منابع

- 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.
- 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.
- Galan, E. 1996. Properties and applications of palygorskite-sepiolite clays. *Clay Minerals*, 31, 443–453.
- 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.
- Khademi H. and Mermut A.R. 1998. Sub microscopy and stable isotope geochemistry of carbonates and associated palygorskite in selected Iranian Aridisols. *European Journal of Soil Science*, 50, 207-216.
- Lazarević S., Janković-Častvan I., Jovanović D., Milonjić S., Janačković D. and Petrović, R. 2007. Adsorption of Pb<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup> and Sr<sup>2+</sup> ions onto natural and acid-activated sepiolites. *Applied Clay Science*, 37, 47–57.
- 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.
- Shi W., Shao H., Li H., Shao M. and Du S. 2009. Progress in the remediation of hazardous heavy metal-polluted soils by natural zeolite. *Journal of Hazardous Materials*, 170, 1-6.
- Singer A., Stahr K. and Zarei M. 1998. Characteristics and origin of sepiolite (Meerschaum) from Central Somalia. *Clay Minerals*, 33, 349-362.
- 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.



Topic for submission: Soil and Water Pollution and Crop Health

## Efficiency of response surface method by application of Box-Behnken design for optimizing Pb sorption from aqueous solutions by sepiolite

M. Piri<sup>1\*</sup>, E. Sepehr<sup>2</sup>, A. Samadi<sup>3</sup>, Kh. Farhadi<sup>4</sup>, M. Alizadeh Khaledabad<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Ph.D Graduate Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Iran

<sup>2</sup> Associate Prof., Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Iran

<sup>3</sup> Prof., Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Iran

<sup>4</sup> Prof., Department of Chemistry Science Faculty of Chemistry, University of Urmia, Iran

<sup>5</sup> Prof., Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture., University of Urmia, Iran

### Abstract

Use of low-cost substances as adsorbent of heavy metals from polluted water has been developed over recent years. The purpose of this study was to optimize Pb removal from aqueous solutions by sepiolite 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 above 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 removal of Pb 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 optimal conditions for maximum sorption of Pb from aqueous solution were pH= 5.90, 199.9 mg L<sup>-1</sup> for initial concentration and ionic strength= 0.03 M. The predicted adsorption at these settings for adsorption of Pb was 44.62 mg g<sup>-1</sup>. Therefore, response surface method can be suitable for optimization the adsorption of Pb from aqueous solutions by sepiolite.

**Keywords:** Ionic strength, Batch experiment, Box-Behnken, Pb, Sepiolit

---

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