

کارایی روش سطح پاسخ در بهینه سازی فرایند جذب سرب از محلول های آبی با استفاده از کیتوزان

مرضیه پیری^۱، ابراهیم سپهر^۲

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

چکیده

فلزات سنگین از جمله آلاینده های مهم در منابع آب محسوب می شوند. هدف این پژوهش بررسی تأثیر کیتوزان در جذب سرب از محلول های آبی با استفاده از روش سطح پاسخ بر مبنای مدل باکس بنکن می باشد. آزمایشات جذب به منظور 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 سرب با افزایش غلظت اولیه فلز، pH و با کاهش قدرت یونی افزایش می یابد. شرایط بهینه برای جذب حداکثر سرب از محلول های آبی در pH ۵/۳۳، غلظت ۱۹۹/۸۰ و قدرت یونی ۰/۰۳ مولار بدست آمد. مقادیر پیش بینی شده جذب برای شرایط بهینه ذکر شده ۸۰/۲۲ (mg/g) شد. با توجه به نتایج آزمایشات بدست آمده و در دسترس بودن دیاتومیت ایرانی و ارزانی آن می توان از این ماده به عنوان یک ماده کاربردی جهت حذف سرب از منابع آب آلوده استفاده نمود.

واژه های کلیدی: کیتوزان، سرب، جذب، سطح پاسخ، باکس بنکن

مقدمه

فلزات سنگین از جمله آلاینده های زیست محیطی هستند که مواجهه انسان با آنها از طریق آب و مواد غذایی می تواند مسمومیت های مزمن و خطرناکی ایجاد نماید. سرب جزء عناصر حیاتی و مورد نیاز بدن نبوده و فلزی فوق العاده سمی می باشد و تجمع آن در بدن موجودات زنده باعث بیماری های خطرناکی می گردد (شوکتی و همکاران، ۱۳۸۷). این عنصر فلزی به طور طبیعی در محیط زیست وجود دارد ولی در اکثر موارد حاصل فعالیت های بشری از جمله باطری سازی، صنایع سرامیک و کاشی، ساخت لاستیک ها و حشره کش ها و ... می باشد. متابولیسم سرب از نظر ذخیره و انتقال در استخوان ها شبیه کلسیم می باشد. مطالعات نشان می دهد استخوان ها، کبد و کلیه ها دارای بیشترین مقدار سرب هستند. بنابراین حذف سرب از آب های آلوده، قبل از ورود به محیط زیست امری ضروری می باشد.

فرایندهای مختلفی همچون ترسیب شیمیایی، انعقاد و شناورسازی الکتریکی، تعویض یون و اسمز معکوس به منظور حذف فلزات سنگین از محیط های آبی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است؛ اما هر یک از این فرایندها محدودیت هایی از نظر فنی دارد (Kaczala et al. 2006). از بین تمام این روش ها، جذب به ویژه با استفاده از جاذب های ارزان قیمت، تأثیر بالا و سهولت اجرایی داشته و از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه است (Chiban et al. 2011). کیتوسان یکی از بیوپلیمرهای فراوان و ارزان جهان است که دارای ویژگی های زیادی به عنوان یک جاذب ایده آل برای حذف آلودگی ها از آب های آلوده است (Vakili et al. 2014). کیتوسان مشتقی از گلوکان با واحدهای تکرار شونده کیتین است. کیتین پس از سلولز فراوان ترین پلیمرهای موجود در طبیعت به شمار می آید که در پوست حشرات، دیواره سلولی قارچ ها و همچنین پوست سخت پوستان و یا اسکلت موجودات دریایی از جمله ماهی، میگو، خرچنگ، لابستر، گاماروس یافت می شود (Gavhane et al. 2013). کیتوسان پلیمری آب دوست و کاتیونی است که از حذف گروه های استیل کیتین در محیط های بازی به دست می آید (Jun et al. 2013). کیتوسان به واسطه جذب، تبادل یونی و کیلیت شدن قادر به ترکیب با یون های فلزی است. به همین خاطر به طور گسترده برای جذب یون های فلزات سنگین استفاده شده است (Krajewska, 2004). از مدل های آماری مورد استفاده در طراحی آزمایشات روش سطح پاسخ رویه (RSM) می باشد که روشی ساده، موثر، کم هزینه و اسلوب مند برای بهینه کردن فرایندهای مختلف می باشد. RSM تنها شرایط بهینه را مشخص نمی کند بلکه مدل رگرسیونی مناسب را نیز پیشنهاد می نماید (Ahmadi et al. 2014).

هدف این مطالعه مدل سازی ظرفیت کیتوزان در جذب فلز سنگین سرب از محلول های آبی با استفاده از روش سطح پاسخ بر مبنای مدل باکس بنکن و اثر متقابل متغیرهای مستقل موثر بر فرایند جذب شامل pH، غلظت و قدرت یونی در وضعیت ناپیوسته می باشد.

مواد و روش ها

در این مطالعه با استفاده از نرم افزار Design-Expert 7.0 برای تعیین تعداد آزمایش ها، مقدار پارامترها و در نهایت آنالیز داده های 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 می باشد. پارامترهای تأثیر گذار شامل pH در محدوده ۳ تا ۶، غلظت اولیه فلز در محدوده ۰ تا ۱۰۰ mg/L و قدرت یونی ۰/۰۱ تا ۰/۰۶ مولار (M) در سیستم ناپیوسته برای جذب سرب از محلول های آبی با استفاده از کیتوزان (۰/۹۵) 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 آزمایش ها، ۰/۰۵ گرم از کیتوزان در داخل لوله های سانتریفیوژ ۵۰ میلی لیتری ریخته و به هر یک از لوله ها ۲۵ میلی لیتر محلول فلزی با شرایط آزمایش های طراحی شده در محلول زمینه نیترات سدیم ریخته و به مدت ۳ ساعت شیک شدند. تنظیم pH با استفاده از محلول های اسید هیدروکلریک و سدیم هیدروکسید یک نرمال انجام گردید. پس از اتمام زمان تماس، نمونه ها توسط دستگاه سانتریفیوژ صاف محلول رویی برای تعیین غلظت سرب باقی مانده توسط دستگاه جذب اتمی (شیمادزو، مدل AA ۶۳۰۰) آنالیز شد. میزان جذب (q_e) سرب توسط کیتوزان 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 (میلی گرم بر لیتر)، C_e غلظت تعادلی (میلی گرم بر لیتر)، m جرم جاذب (۰/۰۵ گرم) و V حجم محلول (۲۵ میلی لیتر) می باشد. میزان جذب فلز در نرم افزار اکسل محاسبه و در پایان آزمایشات از نرم افزار Design-Expert 7.0 استفاده شد.

نتایج و بحث

مدل سازی و آنالیز آماری با استفاده از روش RSM

پس از طراحی تعداد و مقادیر پارامترها توسط مدل باکس بنکن نتایج حاصل از مطالعات بدست آمد (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج طراحی آزمایش‌های انجام شده مطابق روش باکس بنکن برای جذب سرب به وسیله کیتوزان

شماره آزمایش	A غلظت (mg/L)	B pH	C قدرت یونی (mol/L)	Y ₁ جذب (mg/g)
۱	۰	۴/۵	۰/۰۶	۰
۲	۰	۴/۵	۰/۰۱	۰
۳	۲۰۰	۶	۰/۰۳	۷۸/۹۲
۴	۱۰۰	۴/۵	۰/۰۳	۴۳/۵۷
۵	۲۰۰	۴/۵	۰/۰۶	۷۵/۲۴
۶	۱۰۰	۴/۵	۰/۰۳	۴۳/۰۲
۷	۰	۳	۰/۰۳	۰
۸	۱۰۰	۶	۰/۰۱	۴۴/۲۳
۹	۱۰۰	۳	۰/۰۶	۳۷/۷۲
۱۰	۱۰۰	۶	۰/۰۶	۳۹/۹۷
۱۱	۲۰۰	۳	۰/۰۳	۷۶/۹۶
۱۲	۱۰۰	۳	۰/۰۱	۴۱/۱۸
۱۳	۱۰۰	۴/۵	۰/۰۳	۴۳/۵۱
۱۴	۱۰۰	۴/۵	۰/۰۳	۴۳/۴۳
۱۵	۰	۶	۰/۰۳	۰
۱۶	۲۰۰	۴/۵	۰/۰۱	۷۹/۸۱
۱۷	۱۰۰	۴/۵	۰/۰۳	۴۳/۲۹

به منظور یافتن بهترین مدل، مدل درجه دو (Quadratic) توسط نرم افزار برای توصیف فرایند جذب پیشنهاد شد (جدول ۳). مقدار F-value برابر ۱۲۱۷۹ و مقدار P-value کوچکتر از ۰/۰۰۱ برای مدل نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی برای شبیه سازی فرایند جذب سرب از محلول‌های آبی توسط کیتوزان 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 ساده‌تر می‌شود.

جدول ۳- نتایج آنالیز واریانس برای مدل درجه ۲ برای جذب Pb به وسیله کیتوزان

P value	F value	Mean square	df	Sum of squares	Source
<۰/۰۰۰۱	۴۰۲۴/۷۲	۱۵۲۲/۴۲	۸	۱۲۱۷۹/۵۳	Model
<۰/۰۰۰۱	۳۱۹۵۰/۷۵	۱۲۰۸۵/۹۳	۱	۱۲۰۸۵/۹۳	A-Conc
۰/۰۰۳۱	۱۷/۴۶	۶/۶۰	۱	۶/۶۰	B-pH
۰/۰۰۰۱	۴۹/۸۳	۱۸/۸۵	۱	۱۸/۸۵	C-IS M
۰/۱۴۷۶	۲/۵۷	۰/۹۷	۱	۰/۹۷	AB
۰/۰۰۵۹	۱۳/۷۸	۵/۲۱	۱	۵/۲۱	AC
<۰/۰۰۰۱	۱۱۳/۲۵	۴۲/۸۴	۱	۰/۱۶	BC
۰/۰۰۴۳	۱۵/۵۴	۵/۸۸	۱	۴۲/۸۴	A ²
۰/۰۰۱۷	۲۱/۴۵	۸/۱۱	۱	۵/۸۸	B ²

		۰/۳۸	۱	۸/۱۱	C ²
۰/۰۰۸۰	۱۸/۰۸	۰/۷۲	۸	۲/۸۶	Residual
	۴۰۲۴/۷۲	۰/۰۴۰	۴	۲/۷۱	Lack of Fit
			۴	۰/۱۶	Pure Error
			۱۶	۱۲۱۸۲/۳۹	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 $0/99$ 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 ۱۸۰ 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:

(۲)

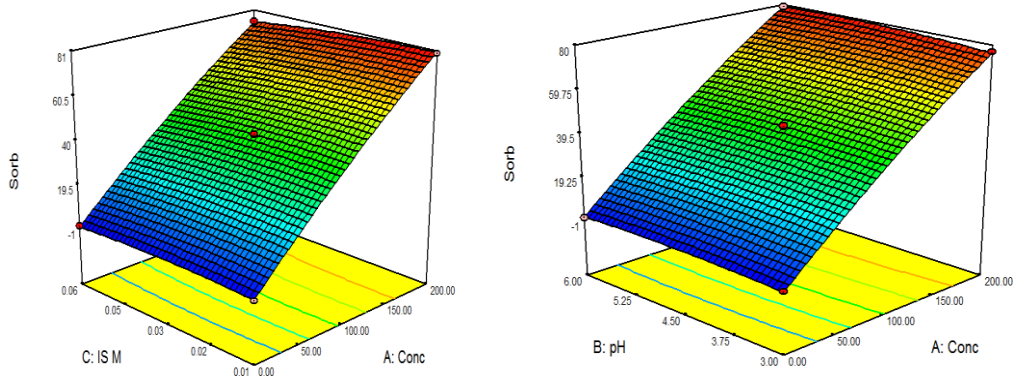
$$Y(\text{Sorb}) = +43.34 + 38.87 * A + 0.91 * B - 1.54 * C + 0.49 * A * B - 1.14 * A * C - 3.19 * A^2 - 1.18 * B^2 - 1.39 * C^2$$

Y پاسخ پیش بینی شده برای جذب سرب به وسیله کیتوزان، 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.

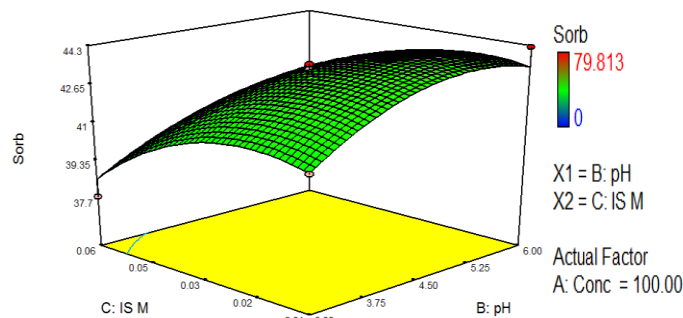
نحوه اثر پارامترها در جذب سرب توسط کیتوزان

به منظور بررسی چگونگی اثرگذاری هر متغیر و اثرات متقابل یا اثرات دوگانه متغیرها بر روی پاسخ تولید 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. همان طوریکه در شکل ۱-الف مشاهده می‌شود، دو پارامتر pH و غلظت اولیه (con) فلز سرب 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 کیتوزان 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 سرب به وسیله کیتوزان 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 می‌شود pH پارامتر تأثیر گذارتری نسبت به قدرت یونی است و با افزایش pH و کاهش قدرت یونی میزان جذب فلز افزایش می‌یابد.





(ج)



شکل ۱- نمودار سه بعدی جذب سرب بوسیله کیتوزان 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 جذب 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 جذب 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 فلز سنگین 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 سرب 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 جذب 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 فلز 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 سرب توسط کیتوزان 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 ۱۹۹/۸۰ (mg/L)، pH برابر ۵/۳۳ و قدرت یونی ۰/۰۳



مولار برای سرب پیش‌بینی شد. مقادیر پیش‌بینی شده جذب سرب برای شرایط بهینه ذکر شده به ترتیب ۸۰/۲۲ میلی گرم بر گرم شد.

بر اساس نتایج بدست آمده، مدل سازی جذب سرب از محلول‌های آبی با استفاده از بیوپلیمر کیتوزان 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 جذب سرب از محلول‌های آبی توسط کیتوزان دارد. بنابراین روش سطح پاسخ می‌تواند روشی کارآمد در بهینه سازی جذب سرب از محلول‌های آبی به وسیله بیوپلیمر کیتوزان و بررسی اثرات متقابل متغیرها و درک بهتر اثرات متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته باشد.

منابع

شوکتی، پورنابی، افشین، شریعت، محمود، جعفرزاده حقیقی، نعمت الله، نبی زاده، رامین. حذف فلزات از پساب‌ها با استفاده مجدد از یک دور ریز، مثال موردی حذف املاح کادمیوم با استفاده از خاک رنگ بر صنایع روغن نباتی، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، بهار ۱۳۸۷، جلد ۳۶، شماره ۴۱-۴۶.

- Ahmadi, A., Heidarzadeh, S., Mokhtari, A.R., Darezreshki, 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.
- 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*, Vol. 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.
- 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.
- Gavhane, Y.N., Gurav Atul, S., and Yadav Adhikrao, V. 2013. Chitosan and its applications, A review of literature. *International Journal of Research in Pharmaceutical and Biomedical Sciences*, 4(1): 312-332.
- Jun, C., Jin, L., Changgao, W., Jianguo, L., Ying, H., Jianhong, Y., Yumin, D., and Hua, Z. 2013. Parametric optimization of extracellular chitin deacetylase production by *Scopulariopsis brevicaulis*, *Journal of Biocatalysis and Biotransformation*, 2(1):1-5.
- Kaczala, F., Marques, M., and Hogland, W. 2009. Lead and vanadium removal from a real industrial wastewater by gravitational settling/sedimentation and sorption onto *Pinus sylvestris* sawdust. *Bioresour Technology*, 100(1): 235-43.
- 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.
- Krajewska, B. 2004. Application of chitin- and chitosan-based materials for enzyme immobilizations": A review. *Journal of Enzyme and Microbial Technology*, 35:126-139.
- 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.
- Singan, 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.
- Vakili, M., Rafatullah, M., Salamatinia, B., Zuhairi Abdullah, A., Hakimi Ibrahim, M., Tan, K., Gholami, Z., Amouzgar, P. 2014. Application of chitosan and its derivatives as adsorbents for dye removal from water and wastewater", A review. *Carbohydrate Polymers*, 113: 115-130.
- 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.



Usefulness of response surface method for optimizing of Pb sorption from aqueous solutions by chitosan

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

Heavy metals are among the most common pollutants of water sources. The purpose of this study was to optimize Pb removal from aqueous solutions by chitosan 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 Pb intensified by increasing initial metal concentration and pH but ionic strength had inverse effect. According to optimization results, the sorption of Pb is maximized when pH: 5.33 concentration: 199/80 and ionic strength 0.03 M. The predicted adsorption at these settings is 80.22 mg/g. Response Surface Method can be useful for optimization the adsorption of Pb from aqueous solutions by chitosan.

Keywords: chitosan, Pb, sorption, response surface, Box-Behnken