

1083P-NWWCE

بررسی پارامترهای تأثیرگذار در حذف سرب از محلول‌های آبی به کمک جاذب کامپوزیتی بتونیت-نانوگاما آلومینا با روش پاسخ سطح

زهرا اشرفی^۱، ایمان مباشرپور^۲، معصومه جواهری^۳، اسماعیل صلاحی^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، پژوهشکده سرامیک، پژوهشگاه مواد و انرژی

۲- استادیار، پژوهشکده سرامیک، پژوهشگاه مواد و انرژی

۳- استادیار، پژوهشکده سرامیک، پژوهشگاه مواد و انرژی

۴- دانشیار، پژوهشکده سرامیک، پژوهشگاه مواد و انرژی

iman.mobasherpour@gmail.com

خلاصه

آلودگی محیط‌زیست توسط فلزات سنگین به یک مسئله جدی تبدیل شده است. از این رو بررسی حذف این فلزات ضروری است. در این تحقیق، ابتدا جاذب از مخلوط کردن بتونیت و گاما آلومینا تهیه شد و سپس آزمایش‌های جذب بر روی آن انجام گرفت. بهینه‌سازی با روش پاسخ سطح (RSM) انجام گرفت. برای طراحی آزمایش‌ها، طرح مرکب مرکزی به کار گرفته شد. هدف از این تحقیق، رسیدن به جاذب مناسب و اقتصادی و بهینه‌سازی درصد حذف سرب توسط جاذب بود. تأثیر متغیرهای مستقل شامل غلظت اولیه سرب (۲۰۰-۳۰۰ میلی گرم بر لیتر)، وزن جاذب (۱-۰/۵ گرم) و درصد کامپوزیت (۱-۱۰٪) بر روی درصد حذف سرب بررسی شد. بر اساس نتایج بهینه‌سازی، درصد حذف سرب، ۸۲/۹۹، غلظت اولیه سرب ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر، وزن جاذب ۰/۵ گرم و درصد کامپوزیت ۷/۰۸ به دست آمد. در نهایت آزمایش با مقادیر بهینه انجام گرفت که درصد حذف به دست آمده برابر با ۸۱/۸ بود که با مقدار بدست آمده از نرم‌افزار تفاوت چندانی ندارد. همچنین R^2 و R^2_{adj} نیز به ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۹۷ بود که به خوبی نشان‌دهنده نزدیک بودن مقدار پیش‌بینی شده و مقدار آزمایشی است.

کلمات کلیدی: کامپوزیت، بتونیت، گاما آلومینا، سرب، جاذب

۱. مقدمه

سرب، فلز سنگینی است که با توجه به طبیعت پرمخترش سبب یکی از بزرگ‌ترین آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌شود. سرب از طریق فاضلاب کارخانه‌های ذوب سرب، باتری، کاغذ، صنایع آمونیوم و خمیر کاغذ، در آب و محیط‌زیست پراکنده می‌شود. دانشمندان به این نکته دست یافتند که سرب برای گیاهان و حیوانات غیرضروری است، در حالی که برای انسان‌ها سم انباشته‌ای است که می‌تواند سبب خساراتی به مغز، گلبول‌های قرمز خون و کلیه‌ها شود. سرب بزرگ‌ترین خطر را برای جنین‌ها، نوزادان و کودکان دارد، به این دلیل که مانع رشد فیزیکی و ذهنی عادی آن‌ها می‌شود. به منظور حفاظت محیط‌زیست و سلامت عمومی، لازم است برای کاهش تمرکز سرب در آب آلوده قبل از تخلیه آن، از قرار داشتن آن در محدوده مجاز اطمینان حاصل شود. از روش‌های مختلف می‌توان برای حذف سرب از آب استفاده کرد، اما در بیشتر موارد هزینه نقش اصلی را در انتخاب نوع روش بازی می‌کند [۱]. مقدار مجاز سرب در پساب، 0.05 mg/l و مقدار مجاز آن در آب آشامیدنی 0.15 mg/l است [۲]. متداولاً استراتژی‌های شیمی فیزیکی و بیولوژیکی متنوع، از قبیل رسوب شیمیایی، جذب، رفتار الکتروشیمیایی، تبادل یونی، استخراج حلال، واکنش فلز صفر ظرفیتی، جداسازی غشا و جذب، برای حذف فلزات سنگین از پساب گسترش یافتند [۳]. روش‌های مختلفی برای توسعه تکنولوژی‌های مؤثرتر و ارزان‌تر که هم مقدار فلزات سنگین را کاهش دهد و هم کیفیت پساب تصفیه شده را بهبود بخشد مطالعه شده‌اند. تحقیق روی جاذب‌های ارزان که ظرفیت جذب فلزات را داشته باشند افزایش یافته است. جذب، انتقال یون‌ها از آب به خاک یا انتقال از فاز محلول به فاز جامد است و در اصل گروهی از فرایندها را توصیف می‌کند.

اخیراً جذب یکی از روش‌های تصفیه جایگزین برای پساب مملو از فلزات سنگین شده است [۴]. در میان جاذب‌های در دسترس، اکسیدهای فلزی با اندازه نانو (NMOs) شامل اکسیدهای آهن با اندازه نانو، اکسیدهای منگنز، اکسیدهای آلومینیوم، اکسیدهای تیتانیوم، اکسیدهای منیزیم و اکسیدهای سرب به‌عنوان محتمل‌ترین روش‌ها برای حذف فلزات سنگین از سیستم‌های آبی طبقه‌بندی شدند. گاما آلومینا همچنین به‌عنوان یک عایق الکتریکی، کاتالیست و پایه کاتالیست در بیشتر واکنش‌های شیمیایی، فرآیند غشا و تصفیه آب استفاده می‌شود. گاما آلومینا به دلیل خواص آمفوتری به‌عنوان یک جاذب ممتاز یون فلز عمل می‌کند و می‌تواند با اندازه ذرات و شکل مناسب سنتز شود که بیشترین مساحت سطح را داشته باشد. مساحت سطح گاما آلومینا در محدوده $500-1500 \text{ m}^2/\text{g}$ و شعاع منافذ در محدوده $160-150 \text{ nm}$ است. گاما آلومینا در محدوده pH ۱۳-۲ خیلی پایدار است که این کاربرد، آن را برای همه محیط‌ها ممکن می‌کند. با توجه به پایداری حرارتی بالا، همچنین می‌توان آن را در دماهای خیلی بالا به کار برد [۵]. در سال‌های اخیر، مقالات زیادی حذف فلز سنگین، رنگ و دیگر آلاینده‌ها را با استفاده از انواع مختلف بنتونیت گزارش کردند. علاوه بر آن، توانایی جذب فلزات زیادی از قبیل Cd , Zn , Fe , Hg , Cr , Cu , Mn , Pb توسط بنتونیت به‌خوبی شناخته شد. بررسی منابع نشان داد که بنتونیت جاذب اصلی برای حذف و جداسازی سرب از محلول است، دلیل این امر ظرفیت تعویض کاتیونی بالا ($90-120 \text{ meq/g}$)، ارزان بودن، جابجایی آسان، فراوان بودن به‌عنوان یک جاذب، و قابلیت پالایش آسان است. حذف سرب از محلول‌های آبی با بنتونیت برای اولین بار در سال ۱۹۹۳ گزارش شد [۶]. روش سطح پاسخ (RSM) مجموعه‌ای از روش‌های آماری و ریاضی سودمند برای مدل‌سازی و آنالیز مسائل است که پاسخ مورد نظر توسط چندین متغیر تأثیر می‌پذیرد و هدف بهینه‌سازی پاسخ هاست [۷]. آنالیز آماری RSM در زمینه‌های مختلف علمی از مهندسی تا علم پزشکی استفاده شده است. فاکتورهای برگزیده و کاربردهای روش در طراحی آزمایش و بهینه‌سازی توسط بسیاری از محققان بررسی شده است [۸].

در این تحقیق، تأثیر غلظت اولیه سرب، مقدار جاذب و درصد کامپوزیت روی ظرفیت جذب و درصد حذف سرب از محلول‌های آبی بررسی شد و از نکات مثبت این تحقیق، می‌توان به استفاده از بنتونیت ایرانی از منطقه اصفهان بدون عملیات آماده‌سازی و هزینه پایین تمام شده اشاره کرد. هدف از این مطالعه دست یافتن به جاذبی با قیمت مناسب و جذب بالا و در عین حال در دسترس برای حذف کادمیم از آب و بهینه‌سازی ظرفیت جذب و درصد حذف بود. و در عین حال در دسترس برای حذف کادمیم از آب و بهینه‌سازی ظرفیت جذب و درصد حذف بود.

۲. مواد و روش‌ها

مواد استفاده شده در این تحقیق شامل پودر گاما آلومینا از شرکت US آمریکا، پودر بنتونیت از اصفهان، معدن گوه‌ران و نیترات سرب از شرکت مرک خریداری شد. به دلیل پیچیدگی فاضلاب‌ها از لحاظ مواد آلی و غیرآلی و کاهش خطا، از نمک سرب برای تهیه محلول شامل غلظت مشخصی از یون این فلز سنگین استفاده شد. برای تهیه محلول‌های آبی دارای یون سرب، غلظت مشخصی از نیترات سرب ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) در آب مقطر حل و با توجه به غلظت مشخص این نمک، میزان عنصر سنگین اولیه در محلول تعیین شد. سپس مقدار مشخصی از بنتونیت اولیه و گاما آلومینا به مدت ۱۰ دقیقه با هم مخلوط شدند. برای بررسی پدیده جذب، ۵۰۰ میلی لیتر از محلول با غلظت‌های اولیه و مقدار جاذب کامپوزیتی و درصد کامپوزیت پیشنهاد شده توسط نرم‌افزار با هم مخلوط شدند. عملیات مخلوط شدن در یک بشر شیشه‌ای تمیز و بر روی یک همزن در دمای اتاق و سرعت همزن ۵۰۰ دور بر دقیقه صورت گرفت. برای اندازه‌گیری میزان سرب باقی مانده در محلول، در زمان تعادلی ۱۲۰ دقیقه، محلول خارج گشته و پس از سانتریفیوژ و عبور از کاغذ صافی Whatman Grade6 غلظت سرب سنجیده شد. برای اندازه‌گیری غلظت از دستگاه طیف سنجی جذب اتمی مدل AAS:GBC 932 plus استفاده شد. متغیرهای مستقل و پاسخ مطابق با جدول ۱ کدگذاری شدند. برای بهینه‌سازی تأثیر متغیرهای مستقل شامل غلظت اولیه سرب، مقدار جاذب و درصد کامپوزیت روی پاسخ درصد حذف از روش سطح پاسخ استفاده شد. برای طراحی آزمایش‌ها، طرح مرکب مرکزی به کار برده شد. نرم‌افزار design-expert 7.1.5 برای این هدف به کار گرفته شد که تعداد ۲۰ آزمایش (۶ نقطه مرکزی، ۶ نقطه محوری و ۲۳ نقطه طرح فاکتوریل) توسط آن پیشنهاد شد که در جدول ۲ آمده است. مدل استفاده شده در RSM رابطه درجه دوم است (معادله ۱) که در زیر آمده است.

$$Y = \beta_0 + \sum \beta_i X_i + \sum \beta_{ii} X_i^2 + \sum \beta_{ij} X_i X_j \quad (1)$$

که Y پاسخ پیش‌بینی شده، β_0 ضریب ثابت، β_i اثرات خطی، β_{ii} اثر مربعی، β_{ij} اثرات متقابل می‌باشد [۹]. معنی دار بودن هر یک از عبارات در معادله رگرسیون بررسی شد و عبارت معنی دار در مدل توسط آنالیز واریانس برای هر پاسخ مشخص شد و نمودارهای سه بعدی رسم شد. لازم به ذکر است که از روش بهینه‌سازی عددی در یافتن پاسخ‌های بهینه استفاده شد و نیز پاسخ‌ها در مقادیر بیشینه، وزن جاذب در مقدار کمینه و غلظت اولیه سرب و درصد کامپوزیت در محدوده مجاز بررسی شدند.

جدول ۱- کدها و سطوح متغیرهای مستقل

متغیرهای مستقل	کد	محدوده بررسی	سطح متغیرها	
			سطح بالا (+1)	سطح پایین (-1)
غلظت اولیه سرب (mg/l)	X ₁	200-300	300	200
وزن جاذب (g)	X ₂	0.5-1	1	0.5
درصد کامپوزیت (%)	X ₃	1-10	10	1

جدول ۲- طراحی کامپوزیت مرکزی و نتایج آزمایشات و مقادیر پیش‌بینی شده

نتایج آزمایش							مقادیر پیش‌بینی شده
شماره آزمایشات	غلظت اولیه (mg/l)		وزن جاذب (g)		درصد کامپوزیت (%)		درصد حذف سرب
	مقادیر واقعی	مقادیر کدگذاری شده	مقادیر واقعی	مقادیر کدگذاری شده	مقادیر واقعی	مقادیر کدگذاری شده	درصد حذف سرب
1	200	-1	0.5	-1	1	-1	66.33
2	300	1	0.5	-1	1	-1	55.67
3	200	-1	1	1	1	-1	89.33
4	300	1	1	1	1	-1	78.67
5	200	-1	0.5	-1	10	1	78.61
6	300	1	0.5	-1	10	1	52.47
7	200	-1	1	1	10	1	101.61
8	300	1	1	1	10	1	75.47
9	250	0	0.75	0	5.5	0	88.5
10	250	0	0.75	0	5.5	0	88.5
11	250	0	0.75	0	5.5	0	88.5
12	250	0	0.75	0	5.5	0	88.5
13	165.91	-1.68179	0.75	0	5.5	0	103.9725
14	334.09	1.68179	0.75	0	5.5	0	73.02751
15	250	0	0.33	-1.68179	5.5	0	56.31832
16	250	0	1.17	1.68179	5.5	0	94.99956
17	250	0	0.75	0	5.5	0	88.5
18	250	0	0.75	0	13.07	1.68179	66.32442
19	250	0	0.75	0	5.5	0	88.5
20	250	0	0.75	0	5.5	0	88.5

۳. نتایج و بحث

مقادیر f بالاتر و p پایین تر اهمیت مدل رگرسیون و ضرایب را نشان می دهند. ضرایبی که دارای p کمتر از ۰/۰۵ هستند مهم اند. بنابراین طبق جدول ۳ ضرایبی که دارای p بزرگتر از ۰/۰۵ هستند از معادله رگرسیون حذف شدند. معادله اصلاح شده (معادله ۲) در زیر آمده است:

$$Y = 88.50 - 9.20X_1 + 11.50X_2 + 2.27X_3 - 3.87X_1X_3 - 4.54X_2^2 - 9.19X_3^2 \quad (2)$$

مدل به دلیل داشتن f بالاتر $۷۳/۶۵$ و p پایین تر $۰/۰۰۰۱$ اهمیت بالایی دارد. علاوه بر آن، مقدار Adeq precision بزرگتر از ۴ مورد قبول است که در اینجا نرخ $۲۷/۶۵۳$ نشان دهنده علامت کافی جذب است [۱۰]. کارایی مدل توسط R^2 و R^2_{adj} بررسی شد. مقدار R^2 برابر با $۰/۹۸۶۶$ نشان دهنده نزدیک بودن مقدار پیش بینی شده و مقدار آزمایشی است. مقدار R^2_{adj} برابر با $۰/۹۷۳۲$ نشان می دهد که $۰/۹۷$ درصد این پاسخ ناشی از متغیر های مستقل است و $۳/۰$ بقیه توسط مدل قابل شرح نیست.

۴. بررسی تأثیر متغیرهای مستقل بر روی درصد حذف سرب

تأثیر متغیرهای مستقل شامل غلظت اولیه سرب، درصد کامپوزیت و وزن جاذب بر روی درصد حذف سرب در شکل ۱ (a-c) آمده است. در بین متغیر های مستقل در جدول ۳، وزن جاذب دارای بیشترین مقدار F-value است که این معنی دار بودن و اهمیت این متغیر و تأثیر غیر قابل انکار آن را روی درصد حذف نشان می دهد. تأثیر متقابل بین وزن جاذب و درصد کامپوزیت با داشتن p-value برابر با $۰/۸۱۹۹$ اهمیت زیادی ندارد. اما اثرات درجه دومی آن با p-value برابر $۰/۰۰۰۱$ به خوبی مشخص است و همانطور که در تصاویر ۳ بعدی مشخص است دارای انحنا است. در شکل ۱ (a) و (c) با افزایش وزن جاذب، درصد حذف افزایش می یابد. با افزایش وزن جاذب، تعداد ذرات جاذب افزایش می یابد و مکان های بیشتری برای جذب فراهم می شود در نتیجه مقدار بیشتری از سرب توسط جاذب حذف می شود [۱۱]. در تحقیقات پیشین برای بررسی تأثیر وزن جاذب روی درصد حذف سرب توسط نانو کامپوزیت تالک/مگنتیت با افزایش وزن جاذب، افزایش درصد حذف مشاهده شد [۱۲].

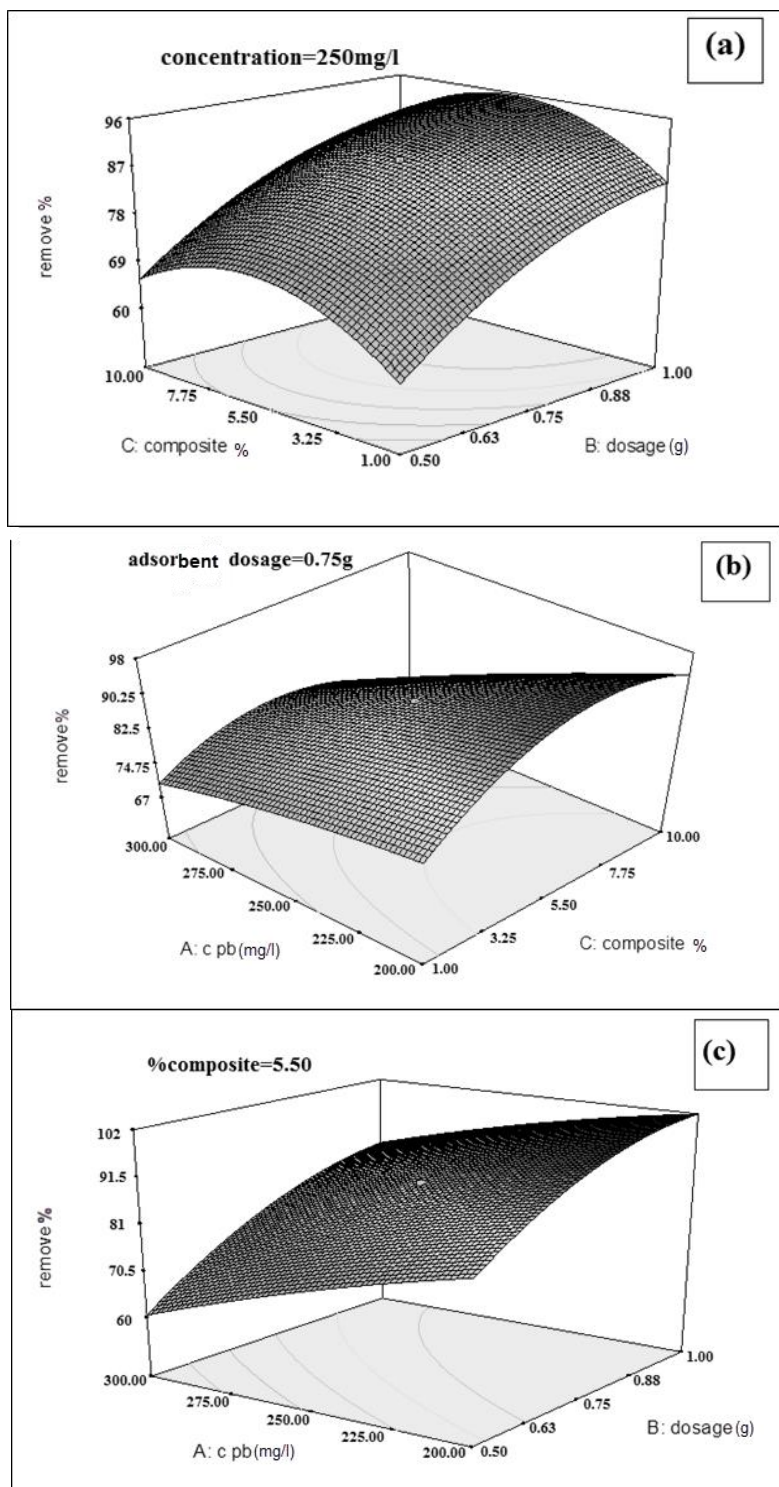
همانطور که در جدول ۳ آمده است غلظت اولیه سرب از عوامل مهم و تأثیر گذار روی درصد حذف سرب است و اهمیت آن با مقدار F-value برابر با $۱۸۲/۲۰$ و p-value برابر با $۰/۰۰۰۱$ به خوبی نشان داده شده است. اما در بعضی موارد در تأثیر متقابل به دلیل داشتن مقدار p-value بالاتر از $۰/۰۵$ اهمیت خود را از دست می دهد که از این موارد می توان به تأثیر متقابل غلظت و مقدار جاذب با داشتن p-value برابر با $۰/۱۳۵۹$ اشاره کرد. در تأثیر متقابل بین غلظت و درصد کامپوزیت مقدار p-value برابر با $۰/۰۰۱۹$ به خوبی اهمیت آن را نشان می دهد. اثرات درجه دومی غلظت در مدل معنی دار نیست بنابراین اثر غلظت در نمودار به صورت خطی است و انحنا ندارد. با توجه به شکل ۱ (b) و (c) وقتی غلظت سرب در کمترین مقدار است، بیشترین درصد حذف مشاهده می شود که این به دلیل آن است که مکان های بیشتری برای جذب سرب وجود دارند و جاذب می تواند سرب بیشتری را جذب کند اما در غلظت های بالاتر و مقدار جاذب کمتر به تدریج از درصد حذف کاسته می شود زیرا یون های سرب اولیه برای در معرض جاذب قرار گرفتن زیاد شده اند [۱۳].

اهمیت کم و معنی دار نبودن درصد کامپوزیت توسط مقدار F-value آن در جدول ۳ به خوبی مشخص است. زیرا در بین متغیر ها دارای کمترین مقدار F-value برابر با $۶/۷۹$ است. همچنین در تأثیر متقابل بین درصد کامپوزیت و وزن جاذب، این عبارت به دلیل داشتن مقدار p-value بیشتر از $۰/۰۵$ از معادله رگرسیونی حذف می شود و بر روی پاسخ های پیش بینی شده نهایی تأثیر نمی گذارد. اثر درجه دومی این متغیر معنی دار است و همانطور که در شکل ۱ (a) و (b) مشاهده می شود نمودار انحنا دارد.

جدول ۳- جدول ANOVA برای مدل رگرسیون برای بهینه سازی پارامتر های حذف سرب

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	اندیس F	اندیس P
Model	4206.18	9	467.35	73.65	<0.0001
غلظت اولیه سرب-A	1156.15	1	1156.15	182.20	<0.0001
وزن جاذب-B	1804.79	1	1804.79	284.43	<0.0001
درصد کامپوزیت-C	43.07	1	43.07	6.79	0.0285
AB	17.02	1	17.02	2.68	0.1359
AC	120.05	1	120.05	18.92	0.0019
BC	0.35	1	0.35	0.055	0.8199
A ²	21.72	1	21.72	3.42	0.0973
B ²	291.86	1	291.86	46.00	<0.0001
C ²	659.88	1	659.88	103.99	<0.0001
Residual	57.11	9	6.35	-	-
Lack of Fit	57.11	4	14.28	-	-

Pure Error	0.000	5	0.000	-	-
Cor Total	4351.77	19	-	-	-



شکل ۱- تأثیر وزن جاذب و درصد کامپوزیت (a)، تأثیر درصد کامپوزیت و غلظت (b)، تأثیر وزن جاذب و غلظت (c) بر روی درصد حذف سرب

۵. نتیجه گیری

در این پژوهش، یک جاذب جدید از مخلوط بنتونیت و گاما آلومینا به دست آمد. نتایج نشان داد که وزن جاذب و غلظت سرب اولیه روی درصد حذف تأثیر می گذارند و با افزایش وزن جاذب و کاهش غلظت اولیه سرب، درصد حذف افزایش می یابد همچنین درصد کامپوزیت تأثیر چندانی روی درصد حذف سرب نمی گذارد. در نهایت مقادیر بهینه متغیرهای مستقل و پاسخ توسط RSM به دست آمد که به ترتیب، غلظت اولیه سرب، وزن جاذب، درصد کامپوزیت و درصد حذف سرب برابر با ۲۰۰، ۰/۵، ۷/۰۸، ۸۲/۹۸۸۷ بود.

۶. مراجع

1. M. Randelović, M. Purenović, A. Zarubica, J. Purenović, B. Matović, and M. Momčilović, (2012). "Synthesis of composite by application of mixed Fe, Mg (hydr) oxides coatings onto bentonite—a use for the removal of Pb (II) from water," Journal of hazardous materials, vol. 199, pp. 367-374.
2. D. Hamane, O. Arous, F. Kaouah, M. Trari, H. Kerdjoudj, and Z. Bendjama, (2015). "Adsorption/photo-electrodialysis combination system for Pb 2+ removal using bentonite/membrane/semiconductor," Journal of Environmental Chemical Engineering, vol. 3, pp. 60-69.
3. L. Yuan and Y. Liu, (2013). "Removal of Pb (II) and Zn (II) from aqueous solution by ceramistite prepared by sintering bentonite, iron powder and activated carbon," Chemical engineering journal, vol. 215, pp. 432-439.
4. M. Barakat, "New trends in removing heavy metals from industrial wastewater, (2011)." Arabian Journal of Chemistry, vol. 4, pp. 361-377.
5. A. Bhat, G. B. Megeri, C. Thomas, H. Bhargava, C. Jeevitha, S. Chandrashekar, and G. Madhu, (2015). "Adsorption and optimization studies of lead from aqueous solution using γ -Alumina," Journal of Environmental Chemical Engineering, vol. 3, pp. 30-39.
6. B. Sadeghalvad, H. S. Karimi, H. Hosseinzadegan, and A. R. Azadmehr, (2014). "A comparative study on the removal of lead from industrial wastewater by adsorption onto raw and modified Iranian Bentonite (from Isfahan area)," Desalination and Water Treatment, vol. 52, pp. 6440-6452.
7. E. Aghaie, M. Pazouki, M. Hosseini, M. Ranjbar, and F. Ghavipankeh, (2009). "Response surface methodology (RSM) analysis of organic acid production for Kaolin beneficiation by Aspergillus niger," Chemical engineering journal, vol. 147, pp. 245-251.
8. P. Gupta and K. K. Nayak, (2016). "Optimization of keratin/alginate scaffold using RSM and its characterization for tissue engineering," International journal of biological macromolecules, vol. 85, pp. 141-149.
9. P. Mohammad, H. Azarmidokht, M. Fatollah, and B. Mahboubbeh, (2006). "Application of response surface methodology for optimization of important parameters in decolorizing treated distillery wastewater using Aspergillus fumigatus U B2 60," International biodeterioration & biodegradation, vol. 57, pp. 195-199.



کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵



10. R. Soundararajan, A. Ramesh, N. Mohanraj, and N. Parthasarathi, (2016). "An investigation of material removal rate and surface roughness of squeeze casted A413 alloy on WEDM by multi response optimization using RSM," Journal of Alloys and Compounds, vol. 685, pp. 533-545.
11. R. Ahmad and I. Hasan, (2016). "Optimization of the adsorption of Pb (II) from aqueous solution onto PAB nanocomposite using response surface methodology," Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management, vol. 6, pp. 116-129.
12. Ü. H. Kaynar, I. Şabikoğlu, S. Ç. Kaynar, and M. Eral, (2016). "Modeling of thorium (IV) ions adsorption onto a novel adsorbent material silicon dioxide nano-balls using response surface methodology," Applied Radiation and Isotopes, vol. 115, pp. 280-288.
13. K. Kalantari, M. B. Ahmad, H. R. F. Masoumi, K. Shameli, M. Basri, and R. Khandanlou, (2014). "Rapid adsorption of heavy metals by Fe₃O₄/talc nanocomposite and optimization study using response surface methodology," International journal of molecular sciences, vol. 15, pp. 12913-12927.