



دانشگاه گوارزی و منابع طبیعی گران

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد بیست و چهارم، شماره سوم، ۱۳۹۶

<http://jwfst.gau.ac.ir>

حذف سرب از محلول‌های آبی با استفاده از ژل نانو فیبر سلولزی باکتریایی

سهیلا مقصودلو محلی^۱ و *حسن رضائی^۲

^۱ کارشناسی ارشد آلودگی‌های محیط‌زیست، دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۲ استادیار گروه محیط‌زیست، دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۴/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۰۵

چکیده

سابقه و هدف: فلزات سنگین از جمله سرب به علت سمیت، پایداری و عدم قابلیت تجزیه بیولوژیکی اثرات سوء فراوانی بر موجودات زنده و محیط‌زیست می‌گذارند حضور فلزات سنگین در آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی تبدیل به یک مشکل عمده آلودگی معدنی شده است تخلیه و تصفیه فاضلاب صنعتی حاوی فلزات سنگین مسائل مهم در حفاظت از محیط‌زیست می‌باشد. روش‌های مختلفی جهت حذف فلزات سنگین وجود دارد که یکی از بهترین روش‌ها جذب سطحی است. هدف از این پژوهش استفاده از ژل نانو فیبرهای سلولزی باکتریایی جهت حذف یون‌های فلز سنگین سرب از محلول‌های آبی بود.

مواد و روش‌ها: ابتدا ژل نانو فیبرهای سلولزی باکتریایی به‌عنوان نانویو مواد طبیعی که دارای قطر در محدوده نانومتری و طول تا چند میکرون است، خریداری شد. سپس محلول استوک از نمک نترات سرب در آب مقطر دیونیزه تهیه شد. محلول‌های آزمایش در غلظت‌های متفاوت از رقیق کردن محلول استوک اولیه با آب مقطر دیونیزه تهیه شدند. pH محلول با استفاده از محلول‌های ۰/۱ مولار نیتریک اسید و سدیم هیدروکسید در ابتدای آزمایش تنظیم شدند و بعد از شروع آزمایش کنترل نشدند. در این مطالعه پارامترهایی از جمله تأثیر pH، دما، زمان تماس، مقدار جاذب و غلظت در سیستم ناپیوسته و با سه بار تکرار بررسی گردید. محلول‌های حاوی جاذب در ارلن مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری قرارداد شده و در شیکر با دور ۱۲۰ rpm در زمان‌های مشخص قرار گرفتند و پس از آن نمونه‌ها در سانتریفیوژ با ۴۰۰۰ rpm به مدت ۵ دقیقه قرار گرفتند. میزان غلظت یون‌های سرب در محلول با استفاده دستگاه اسپکتروفتومتر جذب اتمی تعیین شدند. جهت بررسی مکانیسم جذب سطحی از مدل‌های ایزوترمی فروندلیچ و لانگمویر و پارامترهای سینتیکی استفاده شد. نرم‌افزار Excel برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که حداکثر راندمان جذب سرب در ژل نانو فیبرهای سلولزی باکتریایی در شرایط $\text{pH} = 5$ ، زمان ۵۰ دقیقه و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و جرم جاذب ۰/۳۵ گرم، برابر $93/2 \pm$ بوده است. که بیانگر این است جذب در شرایط مناسب انجام شده است. مطالعات سیستم ناپیوسته ایزوترم نشان داد که جذب از مدل فروندلیچ پیروی می‌کند و سینتیک جذب از معادله شبه مرتبه دوم تبعیت داشت.

*مسئول مکاتبه: hassanrezaei1979@gmail.com

نتیجه‌گیری: بنابراین بر اساس یافته‌های این مطالعه چنین می‌توان گفت که ژل نانو فیبرهای سلولزی باکتریایی می‌تواند به‌عنوان یک جاذب مناسب و دوستدار محیط زیست با سطح ویژه بالا جهت حذف فلزات سنگین از محلول‌های آبی به‌ویژه از فاضلاب صنایع استفاده شود. در مقایسه با سایر تحقیق‌های مشابه در زمینه جذب سطحی مشخص شد که این نانوجاذب از بهترین جاذب‌ها می‌باشد و می‌تواند به شکل موفقیت‌آمیزی برای حذف سرب در صنایع استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: فلزات سنگین، سرب، جذب سطحی، ژل نانو فیبرهای سلولزی باکتریایی

مقدمه

فلزات سنگین سمی می‌باشد که در اثر فعالیت‌های بشری و پساب‌های صنایع مختلف وارد محیط‌زیست می‌شود. غلظت‌های بیش از ۵ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر سرب در محیط آب آشامیدنی باعث بیماری کم‌خونی، آسیب‌های مغزی، هپاتیت و سندرم کلیه می‌گردد. علاوه بر این سرب سبب افزایش سقط جنین و تولد نارس نوزادان می‌شود. سرب در صنایعی از قبیل باتری‌سازی، چاپخانه‌ها، صنایع سوختی و مواد منفجره به‌کار می‌رود (۳۱). در سال‌های اخیر، افزایش آگاهی از اثرات زیست‌محیطی فلزات سنگین باعث شده است که تقاضا برای نظارت و ضدعفونی کردن ضایعات صنعتی قبل از تخلیه به آب طبیعی بالا برود. روش‌های مختلفی برای حذف فلزات سنگین از محیط‌های آبی به‌خصوص فاضلاب‌ها، به‌کار می‌رود، که از میان آن‌ها، روش جذب سطحی به‌عنوان یک روش آسان بیشتر مورد توجه بوده است (۱). جذب بیولوژیکی یک فن‌آوری مؤثر برای حذف بهینه فلزات سنگین از محلول‌های آبی می‌باشد. ساده بودن عملکرد سبب شده که این روش یکی از بهترین روش‌های حذف مواد سمی از طبیعت باشد (۲۱). در طول چند دهه گذشته، معرفی قابلیت‌ها و کاربردهای جدیدی از سلولز و مشتقات آن، هم در بخش تحقیقات دانشگاهی و هم در بخش صنعت، سرعت بسیار زیادی پیدا کرده است. سلولز که از اعضای

در سال‌های اخیر ورود آلاینده‌ها با منشا انسانی مانند فلزات سنگین به محیط‌زیست افزایش چشمگیری یافته است که یک خطر جدی بهداشتی و زیست‌محیطی مطرح شده است (۲۸). صنایع مختلف مانند آبکاری، باتری‌سازی، رنگ‌سازی، تثبیت کننده‌ها، صنایع متالورژی، صنایع شیمیایی، معادن، کاغذ و مقواسازی، پالایشگاه‌های نفت، صنایع الکتریکی، صنایع لاستیک و کودهای شیمیایی فلزات سمی مختلفی مانند آرسنیک، کادمیوم، جیوه، کروم، نیکل، روی، کبالت، مس و غیره را وارد محیط‌زیست نموده (۲۳) و این مواد سمی از طریق آب آشامیدنی و محصولات کشاورزی وارد زنجیره غذایی می‌شوند (۲۹). یکی از اساسی‌ترین مسئله در ارتباط با فلزات سنگین عدم متابولیسم شدن آن‌ها در بدن می‌باشد. در واقع فلزات سنگین پس از ورود به بدن دیگر از بدن دفع نشده بلکه در بافت‌هایی مثل چربی، عضلات، استخوان‌ها و مفاصل رسوب کرده و انباشته می‌شود (۶). حضور فلزات سنگین بیش از استانداردهای تعریف شده در محیط باعث بروز مشکلات و عوارض زیست‌محیطی برای ساکنان آن محل و اکوسیستم می‌گردد. تأثیر فلزات سنگین روی انسان مختلف بوده و عمده‌ترین آن مربوط به بروز اختلالات عصبی است (۴). سرب از دسته عناصر

از محلول‌های آبی توسط ژل نانو فیبرهای سلولزی باکتریایی بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

ژل نانو فیبر سلولزی باکتریایی از شرکت دانش بنیان نانو نوین پلیمر تهیه شد. این محصول از ورق نانو الیاف سلولزی باکتریایی از طریق درمان‌های شیمیایی تولید شده، در نانو الیاف سلولزی به‌طور کامل پراکنده شده است. جاذب استفاده شده با فرمول $(C_5H_{10}O_5)_n$ به حالت ژل (۱ درصد) به رنگ سقید با درصد خلوص $99 \leq$ درصد با قطر نانو فیبر ۴۰ نانومتر بود. در شروع کار، جهت به‌دست آوردن مقادیر بهینه‌ای از پارامترهای pH، دما، زمان، مقدار جاذب کلیه آزمایشات با غلظت ثابتی از سرب ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر انجام شدند. برای شروع آزمایش یک محلول استوک ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از سرب با انحلال $Pb(NO_3)_2$ در آب مقطر تهیه گردید و در مراحل بعدی آزمایش، برای ساخت استانداردها و غلظت‌های موردنظر سرب از این محلول استوک ساخته شدند. آزمایش در محدوده pH (۷-۲)، دما ($40^{\circ}C - 15$)، غلظت سرب ($50 - 5$ mg/L)، مقدار جاذب ($0.1 - 0.6$ gr) و زمان تماس ($15 - 120$ min) انجام شد و جمعا ۱۴۴ نمونه تهیه و تجزیه گردید، تمام آزمایشات با ۳ بار تکرار انجام شده و متوسط نتایج آن در مقاله ذکر شد. برای تنظیم pH از محلول‌های ۰/۱ نرمال HNO_3 و NaOH استفاده گردید. در این تحقیق برای اندازه‌گیری pH، از دستگاه pH متر مدل (AZ 86552) استفاده شد. آزمایشات در سیستم‌های بسته واقع در ارلن مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری حاوی مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول با غلظت مشخص انجام می‌شد که در آن‌ها بر اساس نوع تیمار مقدار مشخص از جاذب به آن اضافه

خانواده پلی ساکاریدهاست، فراوان‌ترین پلیمر زیستی و ماده تجدید شونده طبیعی است، مولکول‌های سلولزی به‌طور کامل خطی هستند، مقاومت کششی بالایی داشته و در بیشتر حلال‌ها، نامحلول هستند. سلولزی به‌طور گسترده در گیاهان آلی و در برخی جانوران دریایی یافت می‌شود (۳). با تولید سلولزی با روش‌های مقرون به صرفه و دوست‌دار محیط‌زیست، می‌توان محصولی بر پایه فناوری نانو و با کارایی منحصر به فرد و ویژه تولید کرد. این ماده دارای آینده نوید بخش به‌نام نانوسلولز است که از مواد اولیه لیگنوسلولزی تهیه می‌شود. نانو الیاف سلولزی یکی از نازک‌ترین و جدیدترین فیبرها در جهان طبیعت هستند که دارای ویژگی‌های جالبی، همچون تجدیدپذیری، قیمت کم و مقاومت ویژه زیاد می‌باشند و به‌دلیل دارا بودن نسبت طول به قطر بالا و مقاومت بسیار زیاد در مقایسه با نانو ویسکوز سلولزی، دارای آینده نویدبخشی است (۱۰). به‌طور مشخص تحقیقات توسعه‌ای مرتبط با این ماده در اوایل قرن جاری شروع و در آینده نزدیک، جهانی و به‌روز خواهد شد. به‌طور کلی نانوسلولز به دو مکانیسم بالا به پایین (مانند هیدرولیز اسیدی، سوپر آسیاب و غیره) و پایین به بالا (سنتز باکتریایی) تولید می‌گردد. در مکانیسم سنتز باکتریایی نانوسلولز تولید شده دارای خلوص، مقاومت و درجه کریستالی بالاتری نسبت به نانوسلولز تولید شده با مکانیسم های بالا به پایین است لذا از برخی جهات اهمیت آن از نانوسلولز حاصل از مواد لیگنوسلولزی نظیر چوب بیشتر می‌باشد (۳۰). با توجه به این‌که تاکنون گزارش مکتوبی از کاربرد ژل نانو فیبرهای سلولزی باکتریایی در متون علمی مشاهده نشده است و نظر به اهمیت این نانو بیوپلیمر و نیز ضرورت و اهمیت تصفیه آب از فلزات سنگین، در این مطالعه قابلیت جذب سرب

در آن $qe = q_e$ = ظرفیت جذب (مقدار جذب به ازای جرم جاذب)، $C_e = C_e$ = غلظت تعادلی سرب، $q_e = q_e$ = ظرفیت جذب، $n = n$ = ثابت تعادل فروندلیچ که نشان دهنده‌ی انرژی پیوندهای بین فلز و جاذب، $b = b$ = ثابت تعادل، $K_f = K_f$ = ثابت ایزوترم فروندلیچ که نشان‌دهنده قدرت جذب (۲).

برای بررسی پارامترهای سینتیکی از روابط ۵ و ۶ استفاده شده است:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - K_1 t \quad (\text{رابطه ۵})$$

$$\frac{t}{q_e} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} * t \quad (\text{رابطه ۶})$$

t زمان بر حسب دقیقه، $K_1 = K_1$ = ثابت سرعت سینتیک شبه درجه اول بر حسب ۰/۱ دقیقه، K_2 ثابت سرعت سینتیک شبه درجه اول بر حسب گرم بر میلی‌گرم در دقیقه، $qt = qt$ = بیانگر آلاینده جذب شده به ازای هر گرم از جاذب در زمان تعادل بر حسب میلی‌گرم بر گرم.

نتایج

نتایج حاصل از این مطالعه در خصوص تأثیر pH، دما، زمان، مقدار جاذب و غلظت اولیه در جذب سرب در شکل‌های ۱ تا ۵ نشان داده شده است. همچنین جهت تعیین حداکثر مقدار جذب و تعیین شرایط بهینه برای جذب مطلوب از ایزوترم‌های فروندلیچ و لانگمویر استفاده گردید. نتایج حاصل از ایزوترم‌های جذب فروندلیچ و لانگمویر سینتیک برای جاذب مورد استفاده به ترتیب در شکل‌های ۶ تا ۹ نمایش داده شده است. همچنین پارامترهای اصلی و ضرایب رگرسیون مدل‌های فروندلیچ و لانگمویر در جدول ۱ ارائه شده است.

می‌گردید و در ادامه بلافاصله در دستگاه شیکر مدل IKA KS (4000 ic) و در مدت زمان مشخص با دمای مشخص قرار می‌گرفت. سپس نمونه‌ها به مدت ۵ دقیقه با دور ۴۰۰۰RPM در دستگاه سانتریفیوژ مدل (HERMLE Z300) قرار داده می‌شد و پس از آن محلول رویی را در داخل فالكون ۱۰۰ میلی‌لیتری منتقل می‌شدند و برای نگه‌داری نمونه به آن‌ها ۱-۲ میلی‌لیتر نیتریک اسید اضافه و نهایت در یخچال نگهداری می‌شدند. غلظت پایانی محلول با استفاده از دستگاه جذب اتمی (AAS) مدل (Unicam-919) تعیین شد. در نهایت از نرم‌افزار Excel برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و تعیین راندمان حذف استفاده شد. داده‌های به‌دست آمده با استفاده از مدل‌های جذب لانگمویر، فروندلیچ و پارامترهای سینتیک بررسی شد (۲۰، ۲۷). برای تعیین راندمان حذف و ظرفیت حذف توسط مواد جاذب از روابط ۱ و ۲ استفاده شده است:

$$A(\%) = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} * 100 \quad (\text{رابطه ۱})$$

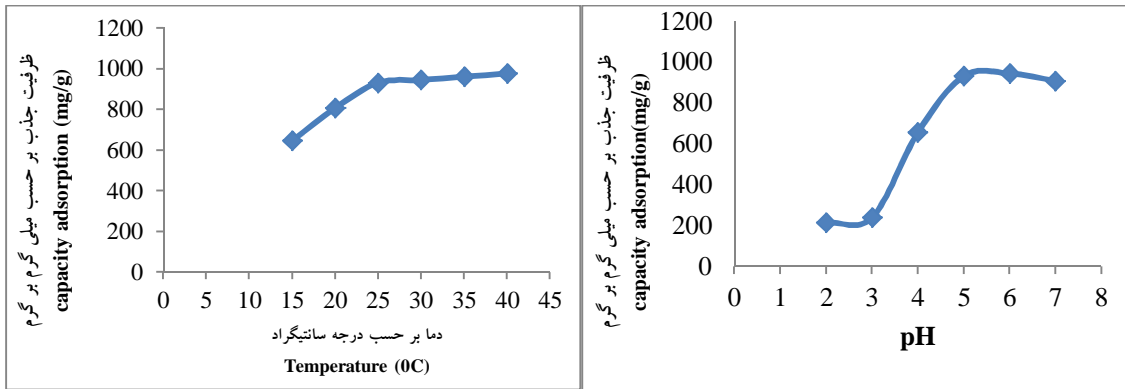
$$q_e = \frac{(C_0 - C_e).V}{m} \quad (\text{رابطه ۲})$$

در این رابطه C_0 و C_e به ترتیب، غلظت اولیه و غلظت نه‌ای سرب بر حسب میلی‌گرم بر لیتر است. ظرفیت جذب تعادل را می‌توان با استفاده از رابطه ۲ به‌دست آورد (۱۴، ۲۲).

برای مدل‌های ایزوترمی لانگمویر و فروندلیچ از روابط ۳ و ۴ استفاده شده است:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{max}.b} + \frac{1}{q_{max}} \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$\ln q_e = \ln K_f + 1/n \ln C_e \quad (\text{رابطه ۴})$$

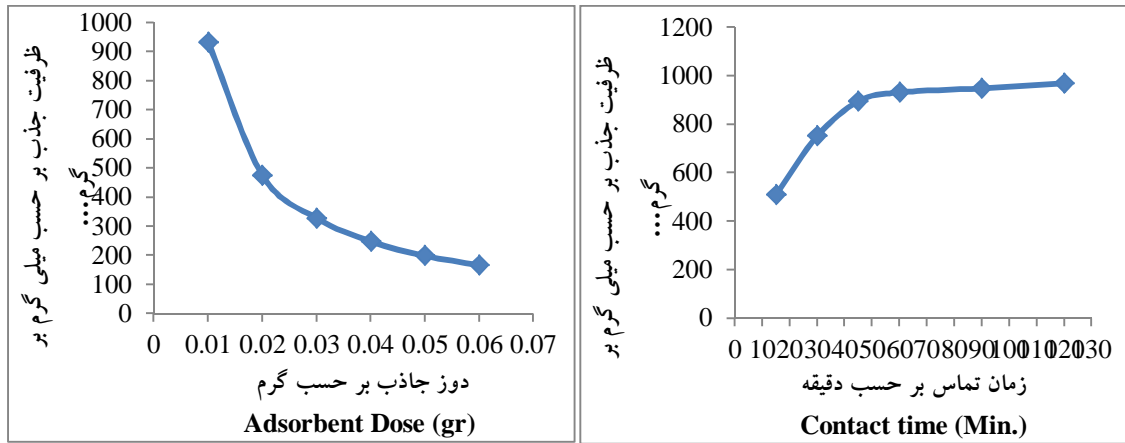


شکل ۱- تأثیر pH بر میزان جذب سرب.

Figure 1. Effect of pH on adsorption Pb

شکل ۲- تأثیر دما بر میزان جذب سرب.

Figure 2. Effect of Temperature on adsorption Pb

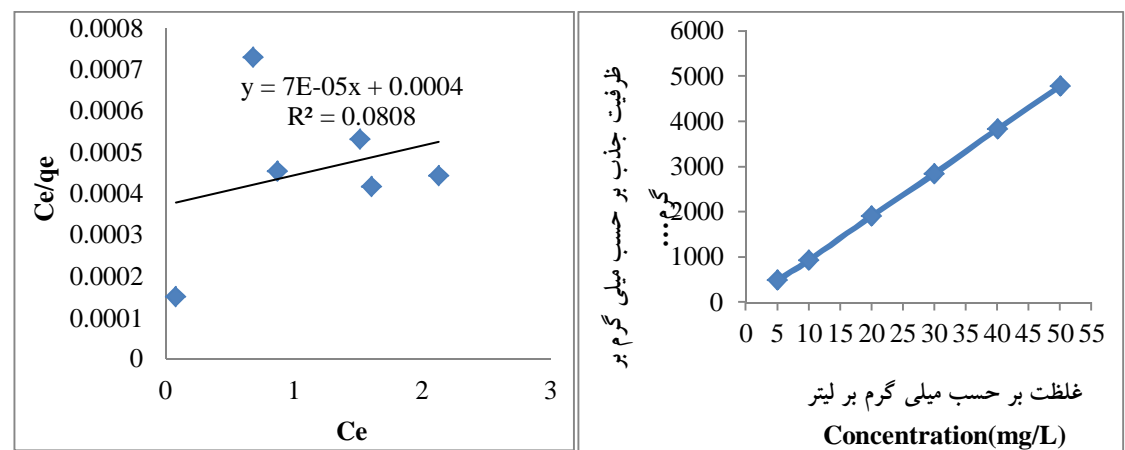


شکل ۳- تأثیر زمان تماس بر میزان جذب سرب.

Figure 3. Effect of contact time on adsorption Pb.

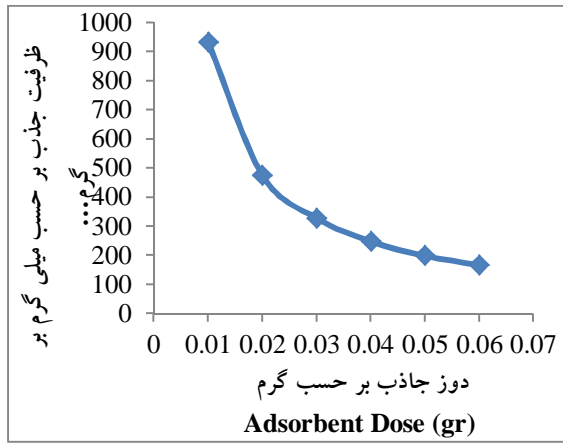
شکل ۴- تأثیر دوز جاذب بر میزان جذب سرب.

Figure 4. Effect of adsorbent Dose on adsorption Pb.



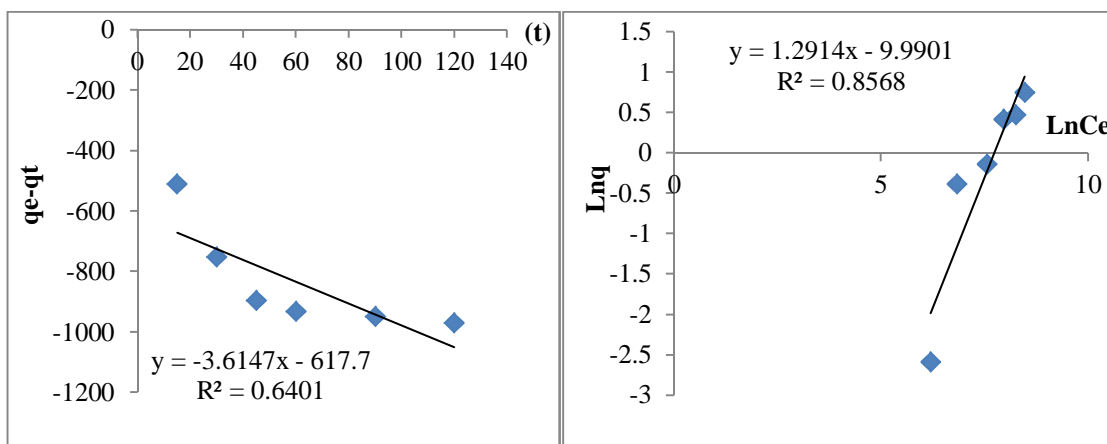
شکل ۵- تأثیر غلظت بر میزان جذب سرب.

Figure 5. Effect of Concentration on adsorption Pb.



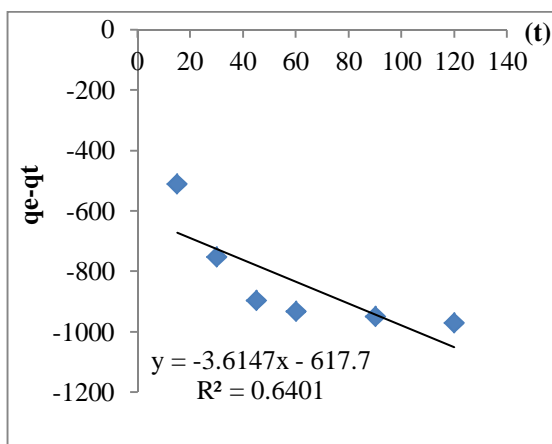
شکل ۶- ایزوترم خطی جذب لانگمویر.

Figure 6. Langmuir adsorption isotherm.



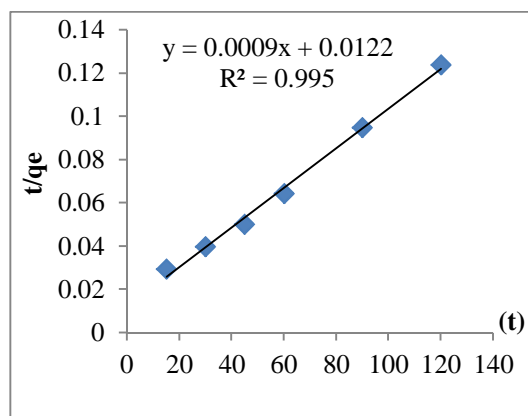
شکل ۷- ایزوترم خطی جذب فرندلیچ.

Figure 7. Freundlich adsorption isotherm.



شکل ۸- سینتیک شبه درجه اول.

Figure 8. Pseudo-first order Kinetic



شکل ۹- سینتیک شبه درجه دوم.

Figure 9. Pseudo-second order Kinetic.

جدول ۱- پارامترهای مدل ایزوترم جذب فرندلیچ و لانگمویر.

سینتیک درجه دوم		سینتیک درجه اول		مدل لانگمویر		مدل فرندلیچ		نوع ایزوترم
K2	K1	R ²	b	q _{max} (mg/g)	R ²	n	k(l/mg)	پارامترهای جذب
0.000066	3.6147	0.0808	0.17	14285.71	0.8568	0.77	2.30	ژل نانو فیبر سلولزی باکتریایی

این چنین می‌توان استنباط کرد که تغییر در pH ممکن است باعث یونیزاسیون محل‌های فعال موجود در جاذب شده و بنابراین عملکرد حذف مناسب‌تر می‌شود. در نتیجه میزان حذف فلز در pH پایین‌تر از ۵ کم است. اما با افزایش pH به بیش از ۵ یون‌های فلزی به‌صورت یون هیدروکسید رسوب کرده و در

بحث و نتیجه‌گیری

تأثیر pH: حذف سرب از محلول‌های آبی به شدت تحت تأثیر pH محلول بوده و نتایج شکل ۱ نیز موید این مطلب است. مطابق نتایج، با افزایش pH از ۲ به ۵ راندمان حذف سرب افزایش می‌یابد و با افزایش بیشتر pH تا ۷ راندمان کاهش می‌یابد. مطابق نتایج

حاصل از تحقیقات محوی و غدیری بر روی حذف سرب توسط لجن فعال خشک، تأثیر زمان بر کارایی حذف سرب را در این فرآیند تأیید می‌نماید (۹، ۱۹).
تأثیر مقدار جاذب: مطابق نتایج به دست آمده از نمودار ۴ مشاهده می‌شود که با افزایش دوز جاذب مقدار ظرفیت جذب کاهش می‌یابد و راندمان حذف بالا می‌رود. این افزایش در راندمان می‌تواند در نتیجه در دسترس بودن سطح بیشتری از جاذب با گروه‌های فعال آلاینده در مقدار ژل نانو فیبرهای سلولزی باکتریایی بالاتر باشد (۱۳). به عبارت دیگر با افزایش مقدار جاذب، محل‌های جذب برای سرب افزایش می‌یابد همچنین مشاهده می‌گردد که با افزایش بیشتر در مقدار جاذب، میزان حذف روند تقریباً ثابتی پیدا می‌کند. نتایج مشابهی در این خصوص برای جذب سرب بر روی جاذب‌های زیستی توسط تونالی و همکارانش ارائه شده است (۸، ۱۸، ۲۵).

تأثیر غلظت اولیه: نتایج نشان می‌دهد که با افزایش غلظت اولیه سرب کارایی حذف آن کاهش می‌یابد. بر اساس این شکل مشخص گردید که با افزایش غلظت سرب از ۵ به ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر کارایی حذف آن از ۹۸/۵ درصد به ۹۳/۲ درصد کاهش می‌یابد. این کاهش در راندمان می‌تواند به این دلیل باشد که مقاومت در برابر جذب سرب در نتیجه افزایش نیروی انتقال جرم، کاهش پیدا می‌کند. در این زمینه می‌توان به نتایج تحقیقاتی توسط کومار و همکارانش در حذف سرب، نیکل، کادمیوم با استفاده از نانو سلولز اشاره نمود (۳۲).

ایزوترم‌های جذب، روابط و معادلات ریاضی تهیه شده برای تشریح حالت تعادل جز جذب شونده بین فاز جامد و سیال می‌باشد. در مطالعات مربوط به جذب آلاینده‌ها بر روی جاذب‌های مختلف تعیین ایزوترم جذب و ظرفیت جاذب مورد استفاده از مهم-

نتیجه میزان یونهای فلزی در محلول کاهش یافته و میزان جذب کم می‌شود. نتایج برخی از مطالعات صورت گرفته بر روی حذف فلزات سنگین سرب و کادمیوم از محلول‌های آبی توسط ترکیبات سلولزی، نشان دهنده نقش غالب تعویض یون در فرآیند بیوجذب در نتیجه فرآیند یونیزاسیون می‌باشد (۱۵، ۲۰، ۲۵).

تأثیر دما: نتایج نشان داد که با افزایش دما تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد مقدار جذب افزایش می‌یابد و با افزایش بیشتر دما تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد راندمان فرآیند کاهش می‌یابد. با افزایش دما تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد تعداد برخوردهای بین ذرات و سطح جاذب زیاد شده و میزان جذب زیاد می‌شود (۵). همچنین افزایش بیشتر دما باعث افزایش تحرک و جنب و جوش فلز شده و در نتیجه، این امر یک اثر عکس در توانایی یون‌های فلز در جهت واکنش با محل‌های فعال جاذب می‌گذارد. در این زمینه می‌توان به جذب زیستی سرب توسط دلا روسا اشاره نمود (۱۲، ۷).

تأثیر زمان: تأثیر زمان تماس و غلظت اولیه سرب بر روی کارایی حذف فرآیند در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج حاصله نشان داد که با افزایش زمان واکنش کارایی حذف سرب افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد که زمان تماس ۵۰ دقیقه برای دستیابی به تعادل کافی است و با افزایش بیشتر در زمان تماس، تغییر عمده‌ای در جذب مشاهده نمی‌شود. میزان جذب بالاتر در زمان‌های اول ممکن است در نتیجه افزایش تعداد محل‌های خالی در جاذب موجود در مراحل اولیه می‌باشد همچنین گرادیان غلظت بین ماده جذب شده در محلول و ماده جذب شده در سطح جاذب افزایش می‌یابد (۳۲). با گذشت زمان و در زمان‌های بالاتر گرادیان غلظت در نتیجه تجمع ذرات سرب در مکان‌های خالی کاهش می‌یابد. نتایج

نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه توانایی حذف سرب از محلول‌های آبی با استفاده از ژل نانو فیبرهای سلولزی باکتریایی اثبات شد. در این تحقیق پارامترهای گوناگون همچون pH، دما، زمان تماس، مقدار جاذب و غلظت سرب مورد بررسی قرار گرفت. حداکثر جذب سرب در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و pH برابر ۵ به دست آمد. در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان ذکر کرد که ژل نانو فیبرهای سلولزی باکتریایی می‌تواند به‌عنوان یک جاذب در دسترس و مطلوب برای جذب فلز سنگین سرب استفاده شود.

ترین مشخصه‌هایی است که باید مورد توجه قرار گیرد (۱۷). نتایج مربوط به ایزوترم‌های فروندلیچ، لانگمویر در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است و مقادیر مربوط به ضریب رگرسیون نیز در جدول ۱ آورده شده است. با توجه به ضریب رگرسیون نتایج نشان داد که جذب سرب در ژل نانو فیبرهای سلولزی باکتریایی از ایزوترم فروندلیچ تبعیت می‌کند. مدل فروندلیچ به‌صورت فیزیکی توصیف قابل اطمینان‌تری جهت جذب آلاینده‌ها بر روی مواد آلی ارائه می‌کند (۱۱، ۳، ۲۹).

منابع

1. Abdel-Ghani, NT., Hefny, M., and El-Chaghaby, GAF. 2007. Removal of lead from aqueous solution using low cost abundantly available adsorbents. *Environ. Sci. Tech. J.*, 4: 67-73.
2. Ayar, A., Gürsal, S., Gürten, A., and Gezici, O. 2008. On the removal of some phenoli compounds from aqueous solutions by using a sporopollenin-based ligand-exchange fixed bed -Isotherm analysis. *Desalination J.*, 219: 160-170.
3. Ballav, N., Debnath, S., Pillay, K., and Maity, A. 2015. Efficient removal of Reactive Black from aqueous solution using polyaniline coated ligno-cellulose composite as a potential adsorbent. *Molecular Liquids J.*, 209: 387-396.
4. Cay, S., Uyanik, A., and Ozasik, A. 2004. Single and binary component adsorption of Copper (II) and Cadmium (II) from aqueous solutions using tea-industry waste. *sep purif Technol. J.* 38: 273-280.
5. Chen, A.H., Liu, S.C., Chen, C.Y. and Chen, C.Y. 2008. Comparative adsorption of Cu (II), Zn(II), and Pb(II) ions in aqueous solution on the crosslinked chitosan with epichlorohydrin. *Hazardous Materials J.* 154:3.184-191.
6. Choi, S., and Jeong, Y. 2008. The Removal of Heavy Metals in Aqueous Solution by Hydroxyapatite/Cellulose Composite. *Fibers and Polymers J.*, 9: 3.267-270.
7. Dela Rosa, G., Reynel-Avila, HE., Bonilla, A., Cano-Rodriguez, Z., Velasco Santos, C., and Martinez, AL. 2008. Recycling Poultry Feathers for Pb Removal from Wastewater: Kinetic and Equilibrium Studies. *Engineering and Technology J.*, 47: 394-402.
8. Donia, A.M., Atia, A.A., and Abouyayed, F.I. 2012. Preparation and characterization of nano-magnetic cellulose with fast kinetic properties towards the adsorption of some metal ions. *Chemical Engineering J.* 191: 22-30.
9. Febrianto, J., Kosasih, A., Sunarso, J., Ju, Y., Indraswati, N., and Ismadji, S. 2009. Equilibrium and kinetic studies in adsorption of heavy metals using biosorbent: A summary of recent studies. *Hazardous Materials J.*, 162: 616-645.
10. Gafari Petrucci, R., Ariyayi Fard, M., Rezayati Cherani, P., and Vaziri, V. 2012. Features and applications of nano-cellulose as nano-materials, eco-friendly and originating from nature. *Proceedings of the First National Conference on Management of Natural Resources.*
11. Gupta, V., Mittal, A., Kurup, L., and Mittal, J. 2006. Adsorption of a hazardous dye, erythrosine, over hen feathers. *Coll. Inter. Sci. J.*, 304: 52-57.

12. Gupta, V.K., and Nayak, A. 2012. Cadmium removal and recovery from aqueous solutions by novel adsorbents from orange peel and Fe₂O₃ nanoparticles. *Chemical Engineering J.* 180: 81-90.
13. Hokkanen, S., Repo, E., and Sillanpää, M. 2013. Removal of heavy metals from aqueous solutions by succinic anhydride modified mercerized nanocellulose. *Chemical Engineering J.* 223: 40-47.
14. Honarmand, A. 2013. Removal of lead from water solution by modified pistachio husk [Dissertation]. Shahrood Branch, Islamic Azad Univ.
15. Ji, F., Li, C., Tang, B., Xu, J., Lu, G., and Li, P. 2012. Preparation of cellulose acetate/zeolite composite fiber and its adsorption behavior for heavy metal ions in aqueous solution. *Chem. Eng. J.*, 209: 325-333.
16. Kardam, A., Raj, K.R., Srivastava, S., and Srivastava, M.M. 2014. Nano cellulose fibers for biosorption of cadmium, nickel, and lead ions from aqueous solution. *Clean Tech Env. J.* 16: 385-393.
17. Liu, B., Lv, X., Meng, X., Yu, G., and Wang, D. 2013. Removal of Pb(II) from aqueous solution using dithiocarbamate modified chitosan bead with Pb(II) as imprinted ions. *Chem. Eng. J.*, 220: 412-419.
18. Liu, D., Zhu, V., Li, Z., Tian, D., Chen, L., and Chen, P. 2013. Chitin nanofibrils for rapid and efficient removal of metal ions from water system. *Carbo. Poly. J.*, 98: 483-489.
19. Mahvi, A., Ghadiri, K., Yusefi, N., and Fatehi Nezhad, A. 2011. Activated sludge is dried in the absorption of lead and cadmium: modeling of adsorption isotherms and kinetics of reactions. *Ghom, J. University of Medical Sci.*, 6: 1.9-17. (In Persian)
20. Manshuri, M., Yazdanbakhsh, A., Daraei, M., and Noorisepehr, M. 2012. Lead removal from aqueous solution using ostrich feathers modified by hydrogen peroxide. *Hormozgan, J. Med. Sci.*, 17: 4.307-315. (In Persian)
21. Marandi, R., and Amir Afshar, H. 2007. Biosorption Pb (II) and Zn (II) by non-living biomass (pHanoerochaete chryso sporium). *J. Environ. Sci. Tech.*, 10: 4. (In Persian)
22. Mehdinia, S.M., Abdul- Latif, P., and Taghipour, H. 2013. Removal of hydrogen sulfide by physico-biological filters using mixed rice husk silica and dried activated sludge. *Clean Soil Air Water J.*, 41: 949-54.
23. Mehri, A., Ghsemiyan, A., Afra, A., and Gafari, R. 2012. A variety of nano-cellulose and its applications. Hamedan. Second National Conference on sustainable agricultural development and a healthy environment. (In Persian)
24. Mehdizadeh, S., Sadjadi, S., Ahmadi, S.J., and Outokesh, M. 2014. Removal of heavy metals from aqueous solution using platinum nanoparticles/Zeolite-4A. *Environ. Health. Sci. Eng. J.*, 12: 7.
25. Mishra, S., and Bhattacharya, J. 2007. Batch studies on phenol removal using leaf activated carbon. *Malay. J. Chem. J.* 9: 1-15.
26. Padervand, M., and Gholami, M.R. 2013. Removal of toxic heavy metal ions from waste water by functionalized magnetic core-zeolitic shell nanocomposites as adsorbents. *Environmental Science and Pollution Research J.* 20: 6.3900-3909.
27. Rezaei, H. 2013. Biosorption of Chromium by Using Spirulina SP. *Arabian Chemistry J.* 7: 2 1-8.
28. Ruhani, A.A., Honarmand, A., and Mehdinia, S.M. 2014. Study the removal of lead from aqueous solutions using the new sorbent made from the skin of pistachio modified. *Shahrud, J. of Knowledge and Health.*, 10: 3.53-58. (In Persian)
29. Suopajarvi, T., Liimatainen, H., Karjalainen, M., Upola, H., and Niinimäki, J. 2014. Lead adsorption with sulfonated wheat pulp nanocelluloses. *Water Proc. Eng. J.*
30. Yousefi, H., Hejazi, S., Mousavi, M., Azusa, Y., Heidari, A.H. 2013. Comparative study on paper and nanopaper properties prepared from bacterial cellulose and fibers/ground nanofibers of canola straw. *Industrial Crops and Products*, 43: 732-737.

31. Yu, B., Zhang, Y., Shukla, A., Shukla, SS., and Dorris, KL. 2000. The removal of heavy metal from aqueous solutions by sawdust adsorption removal of copper. *Hazard Mater J.* 80: 33-42.
32. Zhu, H., Jia, S., Wan, T., Jia, Y., Yang, H., Li, J., Yan, L., and Zhong, C. 2011. Biosynthesis of spherical Fe₃O₄/bacterial cellulose nanocomposites as adsorbents for heavy metal ions. *Carbo. Poly. J.* 86: 1558-1564.
33. Zhu, J., Gu, H., Chen, M., Wei, H., Luo, Z., Colorado, H., Yerra, N., Ding, D., Ho, T.C., Haldolaaraching, N., Hopper, J., Young, D.P., Guo, Z., and Wei, S. 2014. Mesoporous magnetic carbon nanocomposite fabrics for highly efficient Cr (III) removal. *Materials Chem. J.* 2: 2256-2265.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 24 (3), 2017
<http://jwfst.gau.ac.ir>

Removal of Lead Ions from Aqueous Solutions Using Bacterial Cellulose Nano Fibers Gel

S. Maghsudlu Mahalli¹ and *H. Rezaei²

¹M.Sc. Environmental Pollution, Faculty of Fisheries and Environmental, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Assistant Prof., Dept., of Environmental Sciences, Faculty of Fisheries and Environmental, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 07/04/2016; Accepted: 08/27/2017

Abstract

Background and Objectives: Heavy metals such as Lead are toxic, stable and non-biological and causing numerous harmful effects on the environment and animals. Due to their mobility in natural water ecosystems and toxicity, the presence of heavy metals in surface water and ground water has become a major inorganic contamination problem. Discharge and treatment of industrial wastewater containing heavy metals are important issues in environmental protection. There are several methods to remove the heavy metals from aqueous solutions that adsorption is one of the best one. The aim of this study was to evaluate the efficiency of Bacterial Cellulose Nano Fibers Gel as adsorbent for the removal of Pb²⁺ ions from aqueous solutions.

Material and Methods: Firstly, Bacterial Cellulose Nano Fibers Gel as a natural bio-nanomaterial was purchased with the diameter in nanometer scale and length of a few microns. Secondly, the stock solution of Pb was prepared by dissolving Pb(NO₃)₂.6H₂O in deionized water. The test solutions of various concentrations were prepared from the stock solution. The solution pH was adjusted using 0.1 M HNO₃ and 0.1 M NaOH at the beginning of the experiment and not controlled afterwards. Batch experiments were conducted to study the effect of solution pH, temperature, contact time, adsorbent amount and initial metal concentration and repeated on several occasions. Solution containing adsorbate and adsorbent was taken in 250 mL capacity conical flask and agitated at 120 rpm in a shaker at predetermined time intervals. Samples putted on the centrifuge with 4000 rpm for 5 minutes. Lead ions were determined spectrophotometrically by atomic absorption spectrophotometer. Finally, adsorption isotherm models and kinetic models were studied. Excel software was used for the analysis of data.

Results: The results of this study showed that the highest uptake was observed in condition of pH=5, contact time 50 minutes and temperature 25°C. Metal uptake capacity of adsorbent was very high so adsorption was done on favorable conditions. The batch isotherm studies showed that the adsorption data could be described by Freundlich model and kinetic model of the sorption were pseudo second order equation.

Conclusion: Based on the results, it can be concluded that, Bacterial Cellulose Nano Fibers Gel could be successfully used as an adsorbent for the removal of heavy metals from aqueous solutions, especially for the industrial wastewaters. This bio-nanopolymer has high specific surface area and also is easy to use, renewable, and environmental friendly material. Comparing with other similar studies, this material was found to be an excellent adsorbent and can be successfully used by industries for removal of Lead.

Keywords: Heavy metals, Lead, Adsorption, Bacterial Cellulose Nano Fibers Gel

*Corresponding author: hassanrezaei1979@gmail.com

