

کارایی جاذب طبیعی کلاله ذرت در حذف باقیمانده سرب از زه آب کشاورزی

میترا شریف پور^۱، مهرداد چراغی^{۲*}، سهیل سبحان اردکانی^۲، بهاره لرستانی^۳

^۱. دانشجوی دکتری تخصصی محیط زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

^۲. استاد، گروه محیط زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

^۳. دانشیار، گروه محیط زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۰۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۲۸

چکیده

زمینه و هدف: امروزه ورود فلزات سنگین به عنوان آلوده کننده های معدنی به آب های کشاورزی از عمده ترین نگرانی های جهانی بشمار می رود. در چندین سال اخیر جذب این فلزات توسط دسته بندی های مختلفی از بیوجاذب ها به روش های مختلف از جمله جذب سطحی و شیمیایی انجام گرفته است. در این پژوهش، از کلاله ذرت به عنوان بیوجاذب کارآمد در جذب یون های سرب به روش جذب سطحی استفاده گردیده است.

مواد و روش ها: ابتدا کلاله ذرت را از مزارع اطراف کرمانشاه تهیه کرده و سپس آن ها را با آب مقطر شستشو داده شده و به مدت ۲۴ ساعت در آن حرارت داده می شود تا خشک و ساییده شوند. نمونه آماده شده برای جذب فلز سرب مورد مطالعه قرار گرفت.

یافته ها: در غلظت های بالا از جاذب، ظرفیت جذب یون ها به شدت کاهش می یابد. همچنین مقدار pH بهینه برای فرآیند جذب مقدار ۵ بدست آمد. داده های سینتیکی نشان می دهد فرآیند جذب فلز توسط جاذب مورد بررسی از سینتیک شبه مرتبه دوم تبعیت می کند. بعلاوه مطالعات ترمودینامیکی نشان می دهد فرآیند جذب فلز به صورت خودبخودی بوده و جذب بصورت فیزیکی صورت گرفته است.

نتیجه گیری: نتایج نشان دادند که جاذب کلاله ذرت در مقایسه با گزارش های پیشین می تواند یک جاذب بسیار موثر در جذب یون های سرب از محلول های آبی به شمار رود. می توان نتیجه گرفت که کارایی جاذب به وجود گروه های عاملی با قدرت جذب بالا نظیر هیدروکسیل برمیگردد. علاوه بر آن، سرعت جذب آلاینده ها توسط کلاله ذرت چشمگیر بوده بطوریکه پس از ۳۰ دقیقه فرآیند جذب سطحی به تعادل می رسد.

کلید واژه: بیو جاذب طبیعی، زه آب کشاورزی، فلزات سنگین، کلاله ذرت، جذب سطحی.

مقدمه

از عمده دلایل آلودگی زه کشاورزی استفاده از کودهای شیمیایی در تولید محصولات می باشد. یکی از مهمترین چالش های پیش روی استفاده از کودهای شیمیایی، تخلیه آلاینده های ناشی از پساب های کشاورزی همچون فلزات سنگین به منابع آب سطحی و زیرزمینی است ^{۲،۱}. این در حالی است که امروزه کمبود منابع آب و افزایش مصرف آن در فعالیت های انسانی از یک سو و سرعت افزایش آلودگی های آن از سوی دیگر به یک مسئله مهم جهانی تبدیل شده است ^{۴،۳}. امروزه تولید مقادیر زیاد پساب های کشاورزی و حضور دائمی فلزات سنگین همچون سرب، کادمیوم و جیوه ناشی از آنها در بوم سازهای آبی، یک تهدید جدی و همیشگی برای سلامت جوامع بشری به شمار می رود ^۵. این فلزات به دلیل تجزیه ناپذیر بودن، منجر به بروز مشکلات پیچیده ای برای موجودات زنده در منابع آبی می گردند ^{۷،۶}. همین موضوع سبب توسعه راهکارهای مختلفی همچون اکسیداسیون، ته نشینی، فیلتراسیون، جذب سطحی، ترسیب شیمیایی، تصفیه الکتروشیمیایی، اکسیداسیون/ احیا، تبادل یون، تکنولوژی غشائی، اسمز معکوس، استخراج با حلال و بازیافت تبخیری برای حذف و یا کاهش آلاینده ها و فلزات سنگین موجود در پساب ها از محیط های آبی شده است ^{۱۲-۸}. اگرچه این روش ها به طور متداول و پرکاربرد مورد استفاده قرار گرفته اند، با این حال اکثر آنها دارای معایبی مانند نیاز به تجهیزات فنی و سیستم های پایشی، مصرف زیاد انرژی، عدم توجیه اقتصادی، کارایی پایین، بهره برداری با مشکل بالا، عدم انتخابی عمل کردن فرآیند تصفیه، عدم جداسازی کامل فلزات و برجای گذاشتن باقیمانده های آلوده کننده در محیط هستند ^{۱۳}.

امروزه به فرآیند جذب به عنوان یک روش کارآمد و سودمند برای حذف فلزات سنگین نسبت به سایر روش ها، توجه شایانی شده است. جذب سطحی یک فرآیند انتقال جرم

است که در آن ماده ای مد نظر برای جذب، براساس روش های فیزیکی یا شیمیایی توسط جاذب از محیط جدا می شود ^{۱۴}. در انتخاب جاذب مناسب، دو عامل به صرفه بودن از لحاظ اقتصادی و کاربردی بودن از نظر فنی، تأثیر فراوانی دارد. علاوه بر این، یک جاذب ایده آل باید خواصی همچون مساحت سطح وسیع (ظرفیت جذب بالا)، توزیع مناسب اندازه و حجم حفره ها، پایداری مکانیکی، احیای آسان، در دسترس بودن، مقرون به صرفه بودن، دوستدار محیط زیست بودن، راحتی عملکرد، سرعت زیاد جذب و انتخاب پذیری زیاد را داشته باشد ^{۱۵}. اگرچه امروزه جاذب های فراوانی برای فرآیندهای جذب در راستای حذف فلزات سنگین از پساب ها توسعه یافته اند، اما بیشتر این جاذب ها گران قیمت بوده و احیای آسانی ندارند؛ از همین رو باید از جاذب هایی استفاده شود که علاوه بر کارایی و مقاومت شیمیایی بالا، تهیه ی آنها نیز از لحاظ اقتصادی آسان و مقرون به صرفه باشد ^{۱۶}. در همین خصوص، اخیراً مطالعاتی در راستای جایگزینی جاذب های ارزان قیمت و طبیعی به منظور استفاده در فرآیندهای جذب صورت گرفته است ^{۲۰-۱۷}. بدین منظور از ضایعات گیاهی مختلفی همچون پوسته برنج، پوسته میوه تمبر هندی، پوسته گندم، پوست پرتغال و پوست موز و مواردی از این قبیل، در فرآیند تصفیه و حذف فلزات سنگین از زه آب های کشاورزی استفاده شده است ^{۲۴-۲۱}. در پژوهش حاضر از کالاه ذرت برای جذب یون فلزی سرب استفاده گردیده است. کالاه ذرت به دلیل تخلخل و سطح بالا، ارزان بودن و در دسترس بودن آن کاندیدای مناسبی برای جذب به کار می رود. همچنین به بررسی عوامل تأثیرگذار بر روی فرآیند جذب از جمله اثر pH، اثر غلظت جاذب و جذب شونده، اثر زمان تماس پرداخته شد. علاوه بر آن مطالعات سینتیکی، ترمودینامیکی، ایزوترم های جذب و همچنین قابلیت بازیابی جاذب نیز در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش کار

تمام مواد از کمپانی Merck تهیه گردیدند و در حد خلوص تجزیه ای بودند. مواد شیمیایی استفاده شده در این مقاله سرب نیترات ($Pb(NO_3)_2$) به همراه جاذب طبیعی کلاه ذرت می باشد. جداسازی جاذب ها از محلول حاوی فلزات سنگین در این پروژه با استفاده از یک مگنت (۱/۲ تسلا) و به روش کالبراسیون مستقیم انجام شد. اندازه گیری غلظت فلز در محلول با استفاده از دستگاه جذب اتمی شعله ای شیمادزو مدل AA-670 ساخت کشور ژاپن با شعله هوا-استیلن انجام شد. حمام آب فرا صوت مدل باندل ساخت کشور آلمان و یک دستگاه سانتریفیوژ مدل هتیچ ساخت کشور آلمان در این مطالعات مورد استفاده قرار گرفت. اندازه گیری pH محلول نمونه با استفاده از pH متر مترام ۷۸۰ مجهز به الکتروود ترکیبی شیشه ای-کالومل (۳ مولار پتاسیم کلرید) انجام شد. برای تنظیم دمای واکنش جذب از حمام آب گرم مدل 301-NB ساخت شرکت فراز تجهیز طب کشور ایران استفاده شد. جهت آسیاب نمودن نمونه بیوجاذب از آسیاب گلوله ای مدل BM100 ساخت شرکت نانوشات کشور ایران استفاده گردید. برای کلسینه نمودن خاکستر بدست آمده از ساقه جارو از کوره الکتریکی مدل ریپا ساخت کشور اسپانیا استفاده شد. طیف FTIR نمونه های جاذب با استفاده از دستگاه اسپکترومتر مادون قرمز پرکین المر مدل اسپکتروم ۱۰۰ ساخت کشور آمریکا انجام گرفت. همچنین جهت تعیین مورفولوژی سطح جاذب از دستگاه میکروسکوپ الکترونی میدانی مدل Mira 3-TESCAN ساخت کشور چک استفاده شد و طیف پراش پرتو ایکس مربوط به جاذب تهیه شده با استفاده از دستگاه پراش پرتو ایکس مدل XMD 300 ساخت کشور آلمان ثبت گردید.

آماده سازی نمونه

برای تهیه بیوجاذب طبیعی کلاه ذرت مورد استفاده در

این تحقیق، با توجه به اینکه فصل رویش گیاه ذرت در نیمه دوم هر سال است، ابتدا به مقدار کافی از این بیوجاذب از مزارع زیر کشت اطراف شهرستان کرمانشاه جمع آوری و برداشت شد. کلاله های تهیه شده در ظروف مناسب جمع آوری و به آزمایشگاه انتقال یافت. سپس کلاله ها با آب مقطر شستشو داده شده و به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۴۰ درجه سلسیوس حرارت داده می شود تا خشک شوند. سپس کلاله های خشک شده در هاون چینی ساییده شده و از الک با اندازه مش ۷۰ عبور داده می شود. بدین طریق پودر ساییده شده از این بیوجاذب الک گشته و با یکنواخت شدن ذرات عبوری از الک، آماده سازی اولیه انجام گردید. در مرحله بعد، مجدداً پودر الک شده در دو نوبت با آب مقطر شستشو داده شد و سپس در دمای محیط خشک گردید. در این تحقیق برای انجام آزمایش جذب، از سیستم ناپیوسته یا بتچ (Batch) استفاده شد. برای این منظور ابتدا مقداری از مخلوط های تهیه شده با جاذب کلاه ذرت با وزن مشخص، به حجم مشخصی از محلول حاوی فلز سنگین سرب با غلظت معین اضافه شده و تا رسیدن به زمان تعادل توسط لرزاننده همزده شدند. سپس میزان فلز سنگین باقی مانده در محلول پس از صاف شدن با دستگاه جذب اتمی PerkinElmer AA 800 اندازه گیری گردید.

روش انجام جذب

برای اندازه گیری مقدار فلز سنگین سرب در این تحقیق، ابتدا ۱ گرم از ذرات جاذب وزن شده به محلول حاوی فلز سنگین مذکور اضافه گردید. لازم به ذکر است که برای تهیه محلول حاوی سرب با غلظت ۵۰ میلی گرم از نمک نیترات سرب (ساخت شرکت Merck) استفاده شد. سپس محلول تهیه شده برای سرب تا رسیدن به زمان تعادل ۳۰ دقیقه با استفاده از لرزاننده همزده شد. در ادامه مخلوط حاصل با کاغذ صافی واتمن صاف شده و میزان سرب باقیمانده از محلول

آزمایش بازیابی جاذب

قابلیت بازیابی جاذب تهیه شده با انجام فرآیند جذب/ واجذب بر روی جاذب بصورت ۵ مرتبه متوالی انجام گرفت. از محلول هیدروکلریدریک اسید (۱/۰HCl مولار) بعنوان محلول شستشو استفاده شد^{۲۵}. در هر مرتبه از ۵۰ mL محلول مورد آزمایش حاوی یون سرب با غلظت $50 \text{ L}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ استفاده گردید. سایر شرایط آزمایش شامل مقدار جاذب ۱۰۰ میلیگرم، زمان همزدن ۱۵ دقیقه، دمای 25°C و $\text{pH} = 5/3$ بود. مقدار جذبی که در هر چرخه برای عنصر سرب صورت گرفت اندازه گیری شد.

یافته ها

طیف FT-IR

بمنظور یافتن گروه عاملی که درگیر جذب یون Pb^{2+} است طیف FT-IR کالاه ذرت قبل و بعد از جذب مورد مقایسه قرار گرفت. طیف جذبی FT-IR در دامنه cm^{-1} ۴۰۰-۴۰۰۰ مورد بررسی قرار گرفتند. جذب پهن در ناحیه 3287 cm^{-1} بعلاوه ارتعاشات کششی گروه عاملی هیدروکسی (OH) است. ارتعاشات کششی متقارن و نامتقارن گروه عاملی CH در ناحیه 2850 cm^{-1} و 2918 cm^{-1} مشاهده می شود^{۲۶}. پیک جذبی شارپ در 1732 cm^{-1} به گروه عاملی کربنیل (C=O) کربکسیلیک اسید یا استر مربوطه نسبت داده می شود. جذب قوی در 1637 cm^{-1} به گروه کربنیل نسبت داده می شود که در پیوند هیدروژنی درون مولکولی شرکت دارد^{۲۷}. پیک جذبی در 1546 cm^{-1} و 1420 cm^{-1} بترتیب به گروه های آمیدی و آلکن (C=C) نسبت داده می شوند. بعلاوه ارتعاشات خمشی گروه CH_3 و OH در ناحیه 1376 cm^{-1} مشاهده می شود^{۲۸}. پیک در ناحیه 1250 cm^{-1} مربوط به ارتعاشات کششی C-O و پیک جذبی در ناحیه 1150 cm^{-1} مربوط به ارتعاشات C-O-C می باشد. همچنین، ارتعاشات پهن در cm^{-1} ۱۰۳۲ به پیوندهای C-N و C-O نسبت داده می شود^{۲۹}.

توسط دستگاه جذب اتمی perkinelmer AA800 اندازه گیری گردیدند.

پس از انجام آزمایشات لازم، برای تعیین ظرفیت جذب عناصر (فلز سرب) (q_e) و همچنین تعیین درصد کارایی جاذب کالاه ذرت برای حذف فلزات از رابطه ۱ استفاده گردید:

$$RE(\%) = \frac{C_i - C_e}{C_i} \times 100 \quad (1)$$

به طوری که در این روابط، V حجم محلول بر حسب لیتر، C_i غلظت اولیه جذب شونده محلول برحسب میلی گرم بر لیتر، C_e غلظت تعادلی جذب شونده برحسب میلی گرم بر لیتر و m جرم جاذب برحسب گرم، RE کارایی جذب و q_e نیز غلظت تعادلی گونه بر سطح جاذب یا وزن جذب شونده در واحد وزن جذب کننده بر حسب میلی گرم بر لیتر می باشند.

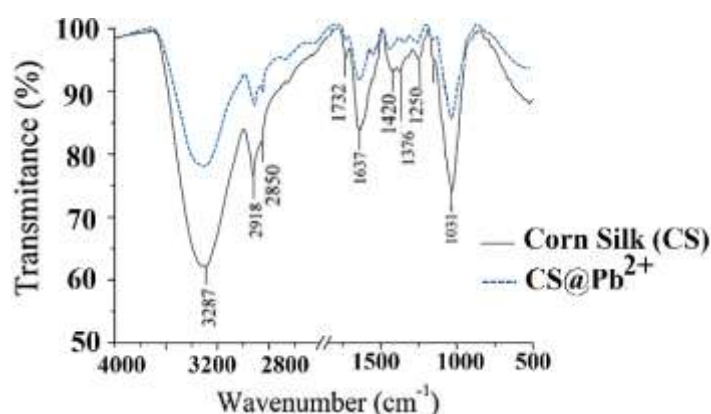
بررسی سینتیک جذب

به منظور مطالعه سینتیک جذب سرب بر روی بیوجاذب کالاه ذرت، مقدار ۰/۱ گرم از این دو بیوجاذب توزین و در لوله های آزمایش ریخته شده و ۲۵ میلی لیتر از محلول های فلزی با غلظت ۸۰ میلی گرم بر لیتر در محلول زمینه ۰/۰۳ مولار نیترات سدیم (به منظور ثابت نگهداشتن قدرت یونی محلول) با pH برابر ۶ ریخته می شد. سپس مخلوط های به دست آمده در زمان های مختلف (۰، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰ دقیقه و ۲، ۴ و ۶ ساعت) تکان داده شده و پس از جداسازی محلول رویی توسط دستگاه سانتریفیوژ، مقدار سرب با استفاده از دستگاه جذب اتمی قرائت گردید.

سپس مقدار ظرفیت جذب عناصر (q_e) و همچنین درصد کارایی هر یک از جاذب های مورد مطالعه برای حذف عناصر (RE) به ترتیب طبق رابطه ۱ که در بخش قبلی معرفی شد، تعیین شد.

شدت طیف پس از اضافه شدن Pb^{2+} کاهش یافته است. شواهد ثبت شده بالا همگی نشان دهنده جذب Pb^{2+} توسط کمپلکس شدن گروه عاملی OH در کلاله ذرت دارد.^{۳۰}

همانطور که در شکل ۱ مشاهده می شود، شدت جذب کششی گروه عاملی OH پس از اضافه شدن Pb^{2+} بصورت محسوسی کاهش یافته است. همچنین، شاهد جابجایی فرکانس ارتعاشی از 3287 cm^{-1} به 3231 cm^{-1} هستیم. این شواهد حاکی از کوئوردینه شدن فلز و گروه عاملی OH و تشکیل کمپلکس سطحی می باشد. همچنین، طول موج جذبی در ناحیه های 1376 cm^{-1} و 1150 cm^{-1} دچار شیفت شده و

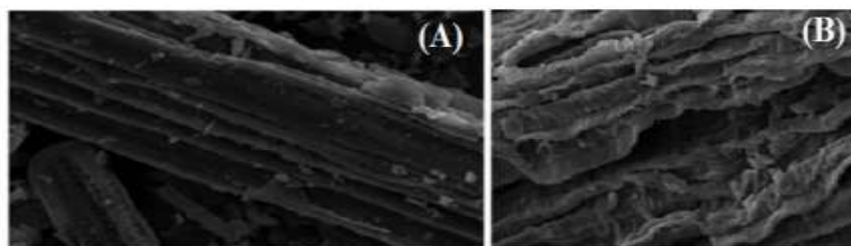


شکل ۱: طیف FT-IR کلاله ذرت قبل از جذب (خطوط مشکی رنگ)، بعد از جذب سرب (خطوط آبی رنگ).

محسوب می شوند. به علاوه همانطور که در تصویر مشخص است، کلاله ذرت دارای تخلخل پایین می باشد که ویژگی عمول برای مواد با پایه بیو محسوب می شود.^{۳۱} تصاویر بعد از بارگذاری یون فلزی Pb^{2+} نشان دهنده انباشتگی یون ها بر روی جاذب می باشد که شواهدی برای اثبات کارامدی جاذب در نظر گرفته می شود (شکل ۲ ب).

آنالیز SEM

میکروگراف SEM مربوط به کلاله ذرت قبل و بعد از جذب Pb^{2+} در شکل ۲ نشان داده شده است. مطابق تصویر، کلاله ذرت دارای مورفولوژی سطحی برآمده و تعداد زیادی کانال می باشد (شکل ۲). این کانال ها با اندازه در مقیاس میکرون مهم ترین ویژگی غالب در مورفولوژی کلاله ذرت

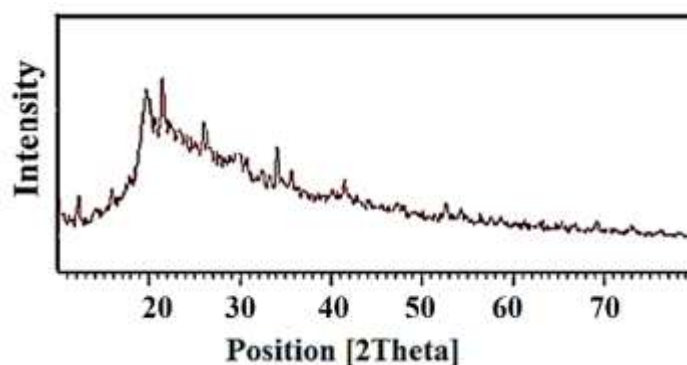


شکل ۲: تصویر SEM (الف) کلاله ذرت قبل از بارگذاری یون سرب، (ب) بعد از بارگذاری سرب

آنالیز XRD

داده های بدست آمده از miniflex 600 PXRD توسط نرم افزار origin 8 مورد تحلیل قرار گرفتند. مطابق شکل ۳ از آنجایی که نسبت عرض پیک به نصف شدت کمتر از ۰,۵

درجه می باشد، طیف پراش کالاه ذرت دارای ساختار آمورف نمی باشد^{۳۲}. چهار پیک واضح کریستالی را می توان در دامنه اسکن شده ۰ تا ۲۰ $^{\circ}$ بترتیب در ۲۰، ۲۲، ۲۷ و ۳۴ درجه برای کالاه ذرت مشاهده مشاهده کرد (شکل ۳).

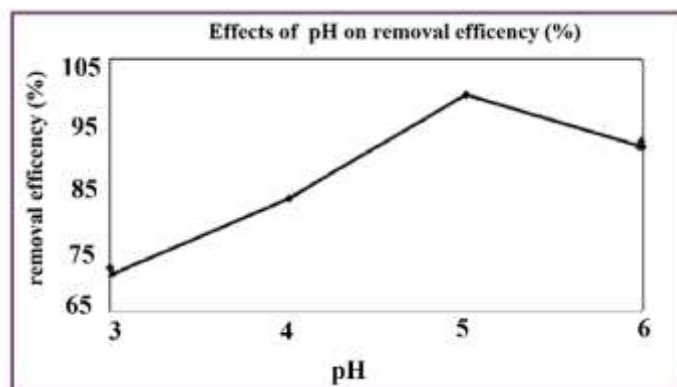


شکل ۳: تصویر XRD کالاه ذرت.

تأثیر pH

تأثیر pH بر روی جاذب کالاه ذرت و جذب شونده فلزی سرب در شکل ۴ نمایش داده شده است. با توجه به نتایج با افزایش pH از ۳ به ۵ کارایی جذب افزایش یافته است؛ به

طوری که بیشترین میزان جذب در pH معادل ۵ با ۹۹/۸٪ راندمان می باشد. با افزایش pH از ۵ به ۶ مجدداً میزان جذب کاسته شده است.

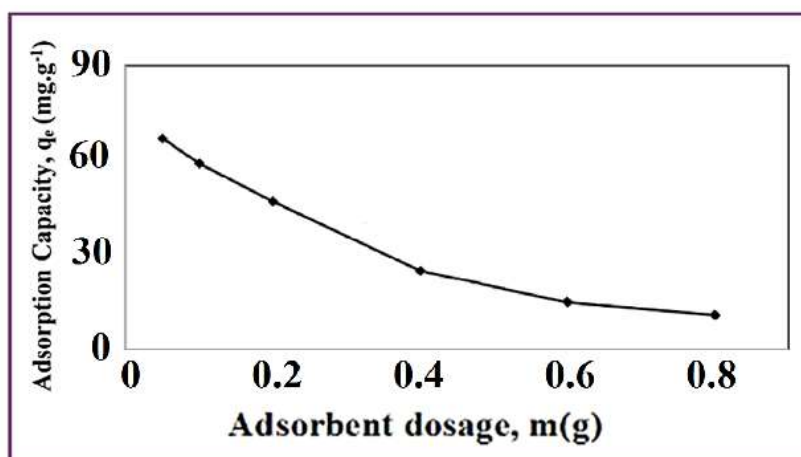


شکل ۴: اثر pH بر روی جذب یون فلزی سرب توسط کالاه ذرت.

اثر غلظت جاذب

نتایج اثر غلظت جاذب بر جذب یونهای سرب در شکل ۵ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می شود غلظت کالاه

ذرت از ۰/۵ به ۰/۸ گرم افزایش می یابد در حالیکه مقدار سرب جذب شده در کالاه ذرت از ۶۷ به ۱۱ میلی گرم کاهش پیدا می کند.

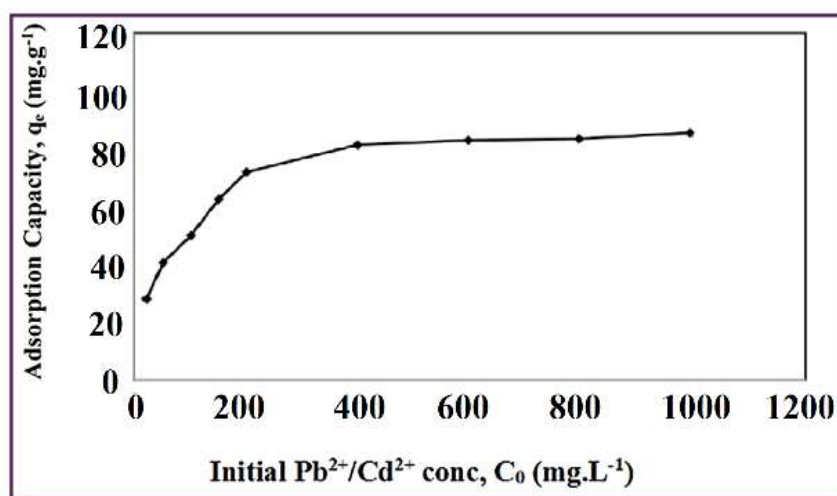


شکل ۵: اثر غلظت جاذب کالاه ذرت بر روی جذب یون فلزی سرب.

اثر غلظت جذب شونده

در این آزمایش اثر غلظت اولیه یون سرب بر روی فرایند جذب سطحی کالاه ذرت مورد مطالعه قرار گرفت (شکل ۶).

همانگونه که در تصویر مشخص است با افزایش غلظت Pb^{2+} از ۲۰ به ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر میزان ظرفیت جذب کالاه ذرت بترتیب از ۳۰/۵ به ۸۵ میلی گرم افزایش می یابد.

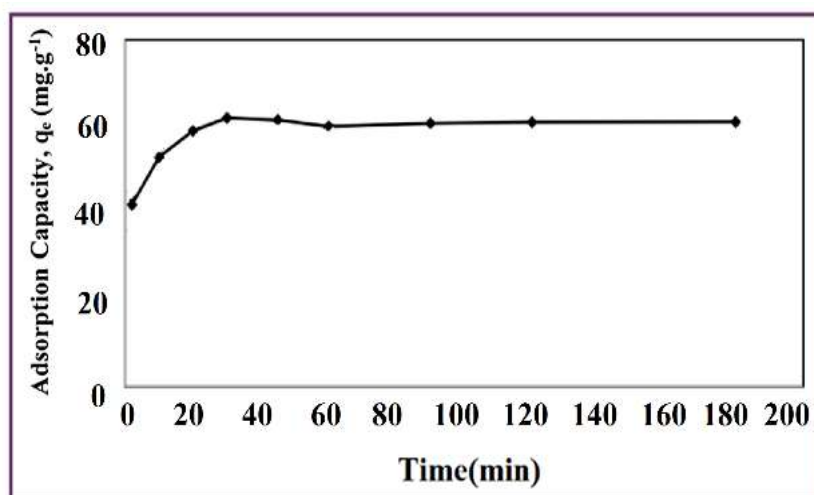


شکل ۶: اثر غلظت جذب شونده سرب بر روی جذب آن توسط کالاه ذرت.

اثر زمان تماس

اثر زمان تماس در جذب Pb^{2+} بر روی کالاه ذرت مورد مطالعه قرار گرفت (شکل ۷). مطابق نتایج یدست آمده، جذب سطحی تمامی یون ها با افزایش زمان تماس در یک مقدار مشخص در دقایق اولیه سرعت بالایی دارد؛ به گونه ای که در

۲ الی ۳۰ دقیقه ظرفیت جذب سطحی Pb^{2+} بر روی کالاه ذرت از ۴۲ به ۶۲ میلی گرم با افزایش زمان تماس ارتقا می یابد. در فاصله زمانی ۲ تا ۳۰ دقیقه سرعت جذب برای همه یون ها و بر روی جاذب ها کاهش یافت و پس از ۳۰ دقیقه به تعادل رسید و فرایند جذب دیگر به زمان وابسته نبود.



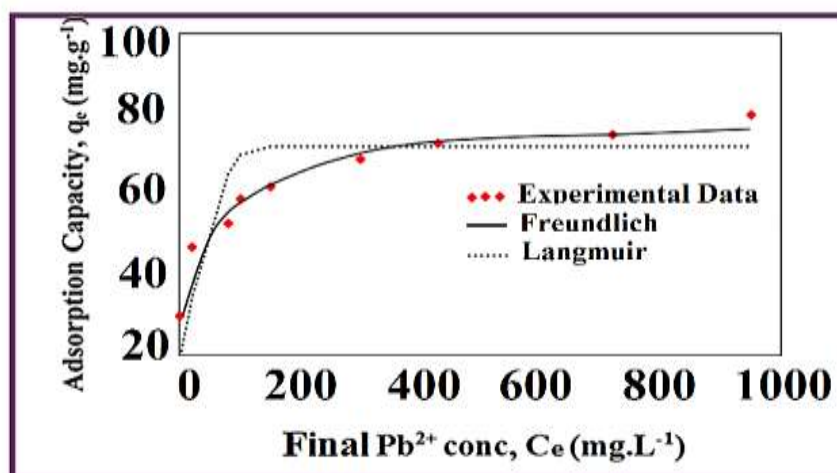
شکل ۷: اثر زمان تماس بر روی جذب یون فلزی سرب توسط کلاله ذرت.

مطالعات ایزوترم

مدل‌های Freundlich و Langmuir برای جذب یون Pb^{2+}

بر روی کلاله ذرت در دمای ۲۹۸ K معادل ۲۵ درجه سانتی گراد در شکل ۸ نشان داده شده است. مقادیر همبستگی

ضرایب R^2 و χ^2 مشخص می‌کند که مدل ایزوترم Freundlich مطابقت بهتری با داده های بدست آمده تجربی دارد.

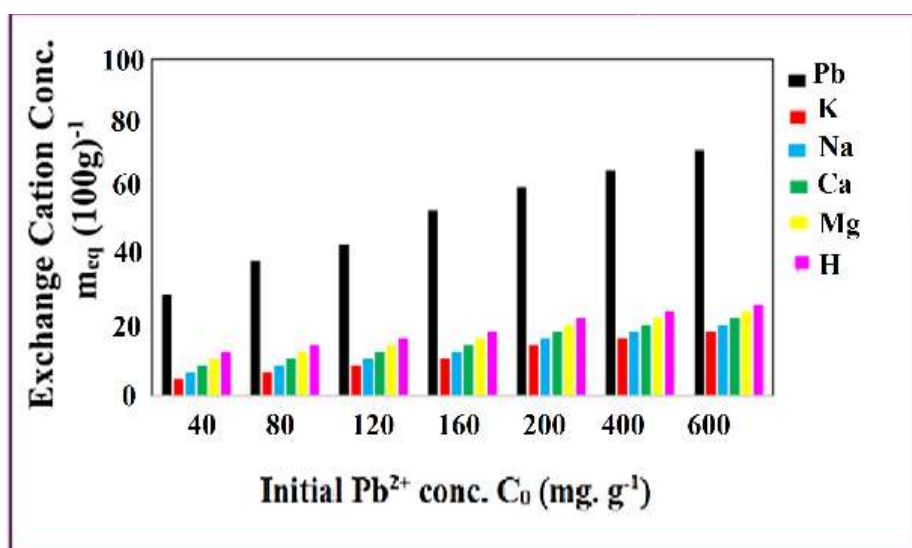


شکل ۸: تصویر ایزوترمی Freundlich و Langmuir برای جذب سطحی یون Pb^{2+} بر روی کلاله ذرت.

مکانیزم جذب

بمنظور مطالعه مکانیزم احتمالی تبادل یون در جذب سطحی یون فلزی Pb^{2+} بر روی کلاله ذرت، ارتباط بین رهایش یون های Na^+ ، K^+ ، Mg^{2+} و Ca^{2+} و H^+ از جاذب و

حذف یون فلزی (Pb^{2+}) در محلول آبی مورد مطالعه قرار گرفت. تصویر ۹ حذف یون فلزی Pb^{2+} (در دامنه غلظتی mg L⁻¹ ۴۰-۶۰۰) را با کاتیون های Na^+ ، K^+ ، Mg^{2+} و Ca^{2+} و H^+ که از کلاله ذرت آزاد شده اند نشان می دهد.



شکل ۹: مقدار حذف شده و کاتیون های رها شده در جاذب کلاله ذرت.

بررسی مطالعات سینتیکی

فلز سرب از سینتیک شبه مرتبه اول بیشتر بوده و ۰/۹۹۹۶ بدست آمد، که نشان می دهد فرآیند جذب فلز توسط جاذب مورد بررسی از سینتیک شبه مرتبه دوم تبعیت می کند.

در جدول ۱ پارامترهای سینتیکی فلز سرب جذب شده توسط کلاله ذرت آورده شده است. با توجه به مقادیر بدست آمده در جدول ۱، مقدار R² در سینتیک شبه مرتبه دوم برای

جدول ۱: داده های سینتیکی جذب سرب توسط کلاله ذرت

مدل سینتیکی	پارامتر	مقدار
شبه مرتبه اول	q _{e,cal} (mg g ⁻¹)	۱۳/۶۹
	k ₁ (min ⁻¹)	۰/۰۳۳۲
	R ² y = -0.0144x + 1.1363	۰/۴۵۸۲
شبه مرتبه دوم	k ₂ (g mg ⁻¹ min ⁻¹)	۰/۱۲۵۵
	q _{e,cal} (mg g ⁻¹)	۱۰/۲۱
	q _{e,exp} (mg g ⁻¹)	۲۰/۸۷۵
	R ² y = 0.0474x + 0.0179	۰/۹۹۶

k در دماهای مختلف طبق رابطه زیر محاسبه گردید.

$$k = \frac{(C_0 - C_e)}{C_e} \quad (1)$$

مقادیر ΔG⁰ برای واکنش جذب نشان می دهد که واکنش

بررسی مطالعات ترمودینامیکی

جدول ۲ تغییرات مقادیر غلظت تعادلی و غلظت اولیه یون های سرب را در دماهای مختلف نشان می دهد. با توجه به مقادیر غلظت تعادلی C_e و غلظت اولیه C₀، مقادیر ثابت تعادل

جذب بطور خودبه خودی اتفاق می افتد. بطوریکه در جدول ۳ به $1/52 \text{ kJ mol}^{-1}$ در دمای 60°C تغییر پیدا کرده است و مشاهده می گردد، افزایش دما تاثیر اندکی بر مقدار ΔG° میگذارد بطوریکه مقدار ΔG° از $3/97 \text{ kJ mol}^{-1}$ در 25°C به سمت مقادیر منفی کوچکتر متمایل شده است.

جدول ۲: مقادیر مربوط به ظرفیت جذب و غلظتهای تعادلی یونهای سرب در دماهای مختلف.

T(K)	C _e	C ₀	k	1/T	lnk
298/15	8/7	50	4/75	0/00335	1/56
313/15	11/3	50	3/42	0/00319	1/23
323/15	15/9	50	14/2	0/00309	0/76
333/15	18/4	50	1/72	0/00300	0/54

جدول ۳: مقادیر مربوط به پارامترهای ترمودینامیکی یونهای سرب در دماهای مختلف.

T(K)	ΔG°	ΔS°	ΔH°
298/15	-3/97	-70/21	-24904/6
313/15	-2/92		
323/15	-2/22		
333/15	-1/52		

شده در کلالة ذرت از ۶۷ به ۱۱ میلی گرم کاهش پیدا می کند. لذا با افزایش غلظت جاذب ظرفیت جذب یون به شدت کاهش می یابد. همچنین با افزایش غلظت سرب میزان ظرفیت جذب کلالة ذرت بشدت افزایش می یابد. این پدیده را می توان به اثر غلظت اولیه نسبت داد که بعنوان نیروی پیش برنده برای غلبه بر مقاومت های انتقال جرم سرب بین فاز مایع و جامد عمل می کند^{۳۳}. همچنین مقدار pH بهینه بدست آمده از نتایج برای جذب یون توسط بیوجاذب بدست آمد. نتایج نشان دادند با افزایش مقدار pH بیش از ۶، مقدار یون هیدروکسی (OH^-) در نتیجه پروتن زدایی از گروه هیدروکسی جاذب در محلول افزایش یافته و کاتیون فلزی Pb^{2+} در نتیجه واکنش با OH^- با فرمول شیمیایی $\text{Pb}(\text{OH})_2$ رسوب می کنند که در نتیجه برای فرآیند جذب سطحی مناسب نمی باشند. کاهش مقدار pH به پایین تر از ۲ منجر به کاهش جذب سطحی می گردد. این پدیده توسط رقابت جذبی بین پروتن

بررسی قابلیت بازیابی جاذب

شکل ۱۰ نمودار مربوط به مقدار جذب در هر مرتبه را برای جذب سرب نشان میدهد. مشاهده می شود که جاذب پس از ۵ مرتبه استفاده پی درپی همچنان خصوصیات جذبی و مغناطیسی خود را حفظ کرده و پس از عمل جذب، براحتی با آهنربا از داخل محلول جدا می شود.

بحث

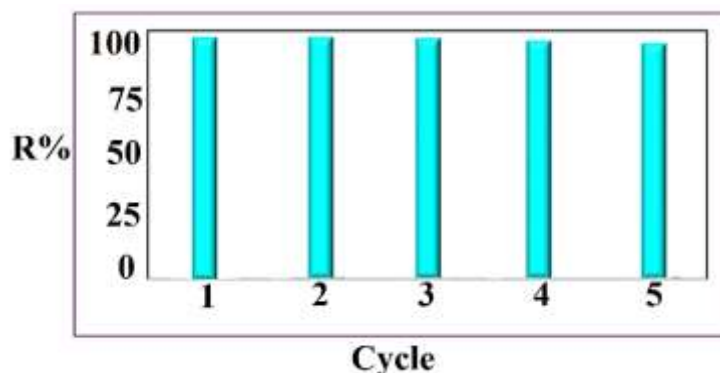
در این پژوهش پارامترهایی نظیر اثر pH، اثر زمان تماس، اثر غلظت جاذب، اثر غلظت جذب شونده، مطالعات ایزوترم جذب، مطالعات سینتیکی و ترمودینامیکی، ایزوترم های جذب، مکانیزم جذب و قدرت بازیابی جاذب مورد بررسی قرار گرفتند. در بررسی اثر غلظت کلالة ذرت بر روی جذب سرب، نتایج بدست آمده نشان دادند زمانی که غلظت کلالة ذرت از ۰/۰۵ به ۰/۸ گرم افزایش می یابد مقدار سرب جذب

ها و یون های فلزی برای جذب شدن روی سطح جاذب توجیه می شود که در مقادیر pH کمتر از ۲ یون فلزی Pb^{2+} در این رقابت شکست خواهند خورد. مطابق شکل ۴، کارایی جاذب بصورت محسوس از $pH = 3$ افزایش پیدا می کند که به معنای افزایش حذف یون فلزی جذب شونده متناسب با افزایش pH می باشد. این پدیده در نتیجه کاهش رقابت یون هیدرونیوم (H_3O^+) و یون های فلزی برای جذب شدن بر روی سایت های فعال (گروه OH سطحی کلاله ذرت) ساختار جاذب توجیه می شود^{۳۴}. همچنین، بر اساس آزمایش انجام گرفته $pH = 5$ نقطه حداکثری ۹۹٫۸٪ برای جذب یون فلزی مشاهده می گردد. در توجیه این مشاهده می توان به کاهش بار سطحی مثبت بر روی جاذب اشاره کرد که منجر به کاهش دافعه الکترواستاتیک بین سطح و یون های جذب شونده که در نتیجه حاصل آن افزایش قابلیت جذب سطحی یون فلزی می باشد^{۳۵}. بررسی اثر زمان تماس در جذب Pb^{2+} بر روی کلاه ذرت نشان داد که جذب سطحی تمامی یون های سرب با افزایش زمان تماس در یک مقدار مشخص در دقایق اولیه سرعت بالایی دارد؛ به گونه ای که در ۲ الی ۳۰ دقیقه ظرفیت جذب سطحی Pb^{2+} بر روی کلاله ذرت از ۴۲ به ۶۲ میلی گرم با افزایش زمان تماس ارتقا می یابد. در فاصله زمانی ۲ تا ۳۰ دقیقه سرعت جذب برای همه یون ها و بر روی جاذب ها کاهش یافت و پس از ۳۰ دقیقه به تعادل رسید و فرایند جذب دیگر به زمان وابسته نبود. بنابراین جذب سرب دارای سینتیک نسبتاً سریعی بوده و در زمان ۳۰ دقیقه کاملاً به تعادل میرسد. جذب سطحی سریع در ۳۰ دقیقه نخست به سایت های فعال (گروه عاملی هیدروکسی) بر روی جاذب نسبت داده می شود. از ۳۰ تا ۷۰ دقیقه ظرفیت جذب سطحی بصورت بسیار اندکی افزایش می یابد و پس از این مدت تغییرات قابل توجه ای مشاهده نمی شود (از ۶۳ به ۶۷ میلی گرم برای Pb^{2+}). بنابراین مدت زمان ۷۰ دقیقه بعنوان زمان تعادل در نظر گرفته می شود. مدل ایزوترم های جذب

مشخص کننده بر همکنش بین جاذب و جذب شونده می باشد. همچنین با استفاده از آن می توان ارتباط بین مقدار جذب شونده که بر روی جاذب جذب شده و غلظت جذب شونده باقی مانده در محلول پی برد. در این تحقیق از دو مدل ایزوترمی Freundlich و Langmuir برای آزمون نتایج بدست آمده استفاده شد^{۳۶}. مقادیر همبستگی ضرایب R^2 و χ^2 مشخص می کند که مدل ایزوترم Freundlich مطابقت بهتری با داده های بدست آمده تجربی دارد. این نتایج حاکی از این حقیقت است که جذب یون های فلزی بصورت چندلایه و بر روی سطح هتروژن جاذب انجام می گیرد^{۳۷}. برای بررسی مکانیسم جذب و تطابق داده های تجربی بدست آمده برای جذب سطحی آلاینده ها بر روی جاذب، ثابتهای سرعت با استفاده از مدل های سینتیکی جذب بدست می آیند. در اینجا مدل های سینتیکی شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به مقادیر بدست آمده در جدول داده های سینتیکی مقدار R^2 در سینتیک شبه مرتبه دوم برای فلز سرب از سینتیک شبه مرتبه اول بیشتر بوده که نشان می دهد فرآیند جذب فلز توسط جاذب مورد بررسی از سینتیک شبه مرتبه دوم تبعیت می کند. بدست آوردن پارامترهای ترمودینامیکی برای بررسی خودبخودی بودن فرآیند ضروری می باشد با بدست آوردن مقدار ΔG° و علامت آن در مورد خودبخودی بودن فرآیند میتوان اظهار نظر نمود. مقادیر ΔG° برای واکنش جذب نشان می دهد که واکنش جذب بطور خودبخودی اتفاق می افتد. همچنین می توان نتیجه گرفت که فرآیند جذب انجام شده بصورت فیزیکی انجام شده، زیرا مقادیر ΔG° بین ۰ تا $20 \text{ mol}^{-1} \text{ kJ}$ قرار دارند. بعلاوه مقدار ΔH° نشان می دهد که فرآیند جذب گرماده بوده و این موضوع با نتایج تجربی بدست آمده نیز همراستا می باشد. زیرا بر اساس نتایج تجربی بدست آمده با افزایش دما مقدار جذب یون ها کاهش می یابد. مقدار آنتروپی نیز با افزایش دما اندکی کاهش یافته است. این مشاهده نشان می دهد که مرتبه واکنش در طول فرآیند جذب

افزایش یافته است و بی‌نظمی کاهش یافته است. جاذب کلالة ذرت بیوجاذب نسبتاً بهتری نسبت به گزارشاتی است که تاکنون انجام شده اند. در جدول ۴ مقایسه ای از این گزارش ها مشاهده می گردد. بنابراین جاذب تهیه شده فلز سرب را با سرعت قابل توجهی جذب می کند. بطوریکه فرآیند جذب سطحی فلز پس از حدود ۳۰ دقیقه به تعادل میرسد. از طرفی با مغناطیسی نمودن جاذب امکان جدا نمودن آن از فاز مایع پس از عمل جذب آلاینده بسیار آسان بوده و با استفاده از یک آهنربا این کار انجام میگردد. بنابراین با استفاده از کلالة ذرت جاذبی ارزان قیمت و کارا با قابلیت مغناطیسی قابل تهیه

است. بدلیل اینکه این پژوهش با محدودیت بررسی همه حالات مورد بررسی می باشد لذا با توجه به گروه های عاملی که بر روی این جاذب تهیه شده وجود دارد، این امکان وجود دارد که این جاذب بتواند بسیاری دیگر از آلاینده ها از جمله سایر فلزات سنگین که حذف آنها دارای اهمیت است مانند جیوه، روی، نیکل و ... را جذب نماید. لذا میتوان از این جاذب در حذف سایر آلاینده ها استفاده نمود. همچنین وجود گروه های عاملی مختلف در سطح جاذب، جایگزینی این گروه ها با سایر گروه های دلخواه را ممکن می سازد.



شکل ۱۰: قابلیت بازیابی جاذب های کلالة ذرت پس از جذب سرب.

جدول ۴: مقایسه جذب فلز سرب با استفاده از جاذب های طبیعی.

جاذب	فرآیند تهیه جاذب	عنصر آلاینده	pH نهایی پس از جذب	q_{max} (mg/g)	زمان رسیدن به تعادل (دقیقه)	مرجع
پوست انبه	خشک کردن	سرب	۵	۹۹/۵۰	۶۰	۳۸
پوست بادام زمینی	مشبندی زیر ۵۰ میکرون	سرب	۵/۵	۳۸/۹۱	۱۲۰	۳۹
Waste baker's yeast	فعالسازی با اتانول	سرب	۶	۳۱/۷۵	۵	۴۰
Soda lignin	فعالسازی با سدیم-هیدروکسید ۰/۱ نرمال و استیک اسید	سرب	۵	۲۰	۶۰	۴۱
جاذب مغناطیسی تهیه شده از کلالة ذرت	خشک کردن	سرب	۵/۳	۳۵/۵۹	۳۰	کار حاضر

نتیجه گیری

در این پژوهش به بررسی جذب یون های سرب توسط بیوجاذب های کلالة ذرت پرداخته شد. پارامترهایی نظیر اثر pH، اثر زمان تماس، اثر غلظت جاذب، اثر غلظت جذب شونده، مطالعات ایزو ترم جذب، مطالعات سینتیکی و ترمودینامیکی، ایزو ترم های جذب، مکانیزم جذب، و قدرت بازیابی جاذب مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج تجربی به وضوح نشان دادند که با افزایش غلظت جاذب ظرفیت جذب یون ها به شدت کاهش می یابد. همچنین مقدار pH بهینه بدست آمده از نتایج برای جذب یون ها توسط بیوجاذب ۵ بدست آمد. آنالیزهایی نظیر FT-IR، XRD، SEM، مطالعات سینتیکی و ترمودینامیکی و ایزو ترم های لنگمویر و فرنرندلیچ جذب سطحی یون ها توسط جاذب ها را به وضوح تایید کردند که جذب به صورت خودبخودی و سطحی صورت گرفته است. ویژگی دیگر این جاذب این است که سرعت

جذب آلاینده در آن بالاست. بطوریکه فرآیند جذب سطحی فلز پس از حدود ۳۰ دقیقه به تعادل میرسد. از طرفی با مغناطیسی نمودن جاذب امکان جدا نمودن آن از فاز مایع پس از عمل جذب آلاینده بسیار آسان بوده و با استفاده از یک آهنربا این کار انجام میگردد. بنابراین با استفاده از کلالة ذرت جاذبی ارزان قیمت و کارا با قابلیت مغناطیسی قابل تهیه است. جاذب کلالة ذرت در این پژوهش با عملکردهای مشابه جاذب نسبتاً بهتری نسبت به گزارشاتی است که تاکنون انجام شده اند.

سپاسگذاری

این طرح با حمایت های مادی و معنوی معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان انجام شده است. لذا بدین وسیله مراتب قدردانی و سپاسگزاری خود را اعلام مینماییم.

References

1. Savci, S. An agricultural pollutant: chemical fertilizer. *Int J Environ Sci Dev* 2012;3(1): 73.
2. Vardhan, KH. Kumar PS, Panda RC. A review on heavy metal pollution, toxicity and remedial measures: Current trends and future perspectives. *J Mol Liq* 2019;290: 111197.
3. Schwarzenbach, RP. Egli T, Hofstetter TB, et al. Global water pollution and human health. *Annu Rev Environ Resour* 2010;35: 109-36.
4. Moss, B. Water pollution by agriculture. *Trans R Soc B: Biol Sci* 2008;363(1491): 659-66.
5. Saxena, A. Bhardwaj M, Allen T, et al. Adsorption of heavy metals from wastewater using agricultural-industrial wastes as biosorbents. *Water Sci* 2017;31(2): 189-97.
6. Fu, Z. Xi S. The effects of heavy metals on human metabolism. *Toxicol Mech Methods* 2020;30(3): 167-76.
7. De Vries, W. Römken PF, Schütze G. Critical soil concentrations of cadmium, lead, and mercury in view of health effects on humans and animals. *Rev Environ Contam Toxicol* 2007: 91-130.
8. Joseph, L. Jun B-M, Flora JR, et al. Removal of heavy metals from water sources in the developing world using low-cost materials: A review. *Chemosphere* 2019;229: 142-59.
9. Pan, Z. An L. Removal of heavy metal from wastewater using ion exchange membranes. *Applications of ion exchange materials in the environment* 2019: 25-46.
10. Zandipak, R. Sobhanardakani S, Shirzadi A. Synthesis and application of nanocomposite $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{CTAB-SiO}_2$ as a novel adsorbent for removal of cyclophosphamide from water samples. *Separ Sci Technol* 2020;55(3): 456-70.
11. Liu, L. Guo X, Tallon R, et al. Highly porous N-doped graphene nanosheets for rapid removal of heavy metals from water by capacitive deionization. *Chem Comm* 2017;53(5): 881-4.
12. Carolin, CF. Kumar PS, Saravanan A, et al. Efficient techniques for the removal of toxic heavy metals from aquatic environment: A review. *J Env Chem Eng* 2017;5(3): 2782-99.
13. Zhu, Y. Fan W, Zhou T, Li X. Removal of chelated heavy metals from aqueous solution: A review of current methods and mechanisms. *Sci Total Environ* 2019;678: 253-66.
14. Abbas, M. Mass Transfer Processes in the Adsorption of Lead (Pb^{2+}) by Apricot Stone Activated Carbon (ASAC): Isotherms Modeling and Thermodynamic Study. *Prot Met Phys Chem Surf* 2021;57: 687-98.
15. M Abdul-Raheim, A-R. Shima M E-S, Reem K F, Manar E A-R. Low cost biosorbents based on modified starch iron oxide nanocomposites for selective removal of some heavy metals from aqueous solutions. *Adv Mater Lett* 2016;7(5): 402-9.
16. Talebzadeh, F. Zandipak R, Sobhanardakani S. CeO_2 nanoparticles supported on CuFe_2O_4 nanofibers as novel adsorbent for removal of Pb(II) , Ni(II) and V(V) ions from petrochemical wastewater. *Desalin Water Treat* 57(58): 28363-77.
17. Sobhanardakani, S. Parvizimosaed H, Olyaie E. Heavy metals removal from wastewaters using organic solid waste-rice husk. *Environ Sci Pollut Res* 2013; 20(8): 5265-71.
18. Cheraghi, M. Sobhanardakani S, Zandipak R, et al. Removal of Pb(II) from aqueous solutions using waste tea leaves. *Iran J Toxicol* 2015;9(28): 1247-53.
19. Richards, S. Dawson J, Stutter M. The potential use of natural vs commercial biosorbent material to remediate stream waters by removing heavy metal contaminants. *J Environ Manage* 2019;231: 275-81.
20. Shafiq, M. Alazba A, Amin M. Removal of heavy metals from wastewater using date palm as a biosorbent: a comparative review. *Sains Malays* 2018;47(1): 35-49.
21. Tabassum, RA. Shahid M, Niazi NK, et al. Arsenic removal from aqueous solutions and groundwater using agricultural biowastes-derived biosorbents and biochar: a column-scale investigation. *Int J Phytoremediation* 2019;21(6): 509-18.
22. Rudi, NN. Muhamad MS, Te Chuan L, et al. Evolution of adsorption process for manganese removal in water via agricultural waste adsorbents. *Heliyon* 2020;6(9): e05049.
23. Syeda, HI. Sultan I, Razavi KS, Yap P-S. Biosorption of heavy metals from aqueous solution by various chemically modified agricultural wastes: A review. *JWPE* 2022;46: 102446.
24. Sulyman, M. Namiesnik J, Gierak A. Low-cost Adsorbents Derived from Agricultural By-products/Wastes for Enhancing Contaminant Uptakes from Wastewater: A Review. *Pol J Environ Stud* 2017;26(3).
25. Rani, GU. Konreddy AK, Mishra S. Novel hybrid biosorbents of agar: Swelling behaviour, heavy metal ions and dye removal efficacies. *Int J Biol Macromol* 2018;117: 902-10.
26. Milojković, JV. Mihajlović ML, Stojanović MD, et al. Pb(II) removal from aqueous solution by *Myriophyllum spicatum* and its compost: equilibrium, kinetic and thermodynamic study. *J Chem Technol Biotechnol* 2014;89(5): 662-70.
27. Pujol, D. Liu C, Gominho J, et al. The chemical composition of exhausted coffee waste. *IInd Crops Prod* 2013;50: 423-9.
28. Lyman, DJ. Benck R, Dell S, et al. FTIR-ATR analysis of brewed coffee: effect of roasting conditions. *J Agric Food Chem* 2003;51(11): 3268-72.

29. Blázquez, G. Martín-Lara M, Dionisio-Ruiz E, et al. Evaluation and comparison of the biosorption process of copper ions onto olive stone and pine bark. *J Ind Eng Chem* 2011;17(5-6): 824-33.
30. Chen, H. Dai G, Zhao J, et al. Removal of copper (II) ions by a biosorbent—*Cinnamomum camphora* leaves powder. *J Hazard Mater* 2010;177(1-3): 228-36.
31. Tong, K. Kassim MJ, Azraa A. Adsorption of copper ion from its aqueous solution by a novel biosorbent *Uncaria gambir*: Equilibrium, kinetics, and thermodynamic studies. *J Chem Eng* 2011;170(1): 145-53.
32. Bricker, O. Some stability relations in the system Mn-O₂-H₂O at 25 and one atmosphere total pressure. *Am Mineral* 1965;50(9): 1296-354.
33. Ozsoy, HD. Kumbur H. Adsorption of Cu (II) ions on cotton boll. *J Hazard Mater* 2006;136(3): 911-6.
34. OuYang, X-k. Jin R-N, Yang L-P, et al. Partially hydrolyzed bamboo (*Phyllostachys heterocycla*) as a porous bioadsorbent for the removal of Pb (II) from aqueous mixtures. *J Agric Food Chem* 2014;62(25): 6007-15.
35. Khoramzadeh, E. Nasernejad B, Halladj R. Mercury biosorption from aqueous solutions by sugarcane bagasse. *J Taiwan Inst Chem Eng* 2013;44(2): 266-9.
36. Langmuir, I. The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. *J Am Chem Soc* 1918;40(9): 1361-403.
37. Freundlich, H. Over the adsorption in solution. *J Phys Chem* 1906;57(385471): 1100-7.
38. Iqbal, M. Saeed A, Zafar SI. FTIR spectrophotometry, kinetics and adsorption isotherms modeling, ion exchange, and EDX analysis for understanding the mechanism of Cd²⁺ and Pb²⁺ removal by mango peel waste. *J Hazard Mater* 2009;164(1): 161-71.
39. Taşar, Ş. Kaya F, Özer A. Biosorption of lead (II) ions from aqueous solution by peanut shells: equilibrium, thermodynamic and kinetic studies. *J Environ Chem Eng* 2014;2(2): 1018-26.
40. Göksungur, Y. Üren S, Güvenç U. Biosorption of cadmium and lead ions by ethanol treated waste baker's yeast biomass. *Bioresour Technol* 2005;96(1): 103-9.
41. Ibrahim, MNM. Ngah WSW, Norliyan MS, et al. A novel agricultural waste adsorbent for the removal of lead (II) ions from aqueous solutions. *J Hazard Mater* 2010;182(1): 377-85.

Efficiency Assessment of Natural Bio-adsorbent of Corn Silk for Removal of Lead Ions from Agricultural Effluents

Mitra Sharifpour¹, Mehrdad Cheraghi^{*2}, Soheil Sobhan Ardakani², Bahareh Lorestani³

¹Ph.D student, Department of Environmental, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran

² Professor, Department of Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran

³Associate professor, Department of Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran

Email: cheraghi@iauh.ac.ir

Received : 28 November 2022 , Accepted: 17 April 2023

ABSTRACT

Introduction and purpose: Nowadays, the entrance of heavy metals as inorganic pollutants into agricultural waters is one of the major concerns in all over the world. In the past few years, the adsorption of heavy metals by various categories of bio-adsorbents has been investigated via different process, including surface and chemical adsorption. In this research, corn silk has been used as an efficient bio-adsorbent for adsorption of lead ions from agricultural effluents.

Materials and methods: Firstly, corn silk prepared from the fields around Kermanshah, afterward washed with distilled water and heated in an oven for 24 hours until it dried and rubbed. The prepared sample used for the adsorption of lead metal experiments.

Findings: In higher concentration of the adsorbent, the absorption capacity of ions decreases drastically. Also, the optimal pH value for the absorption process obtained around 5. The kinetic data exhibited that the metal adsorption process followed pseudo-second-order kinetics. Furthermore, thermodynamic data revealed that the process of metal absorption is spontaneous and the absorption happened physically.

Conclusion: The results clearly showed that the corn silk as a biosorbent can be effective for the removal of lead ions from aquatic solutions compared to previous reports. We can conclude that, the efficiency of biosorbent refers to the functional groups with high absorption power such as hydroxyl. In addition, the rate of adsorption of pollutants by the corn silk is significant, so that after 30 minutes the surface adsorption process reaches equilibrium stage.

Keywords: Biosorbent, Agricultural effluent, Heavy metals, Corn silk, Adsorption