

مدل‌سازی و بهینه‌سازی حذف مس از آب به‌وسیله میوه چنار با استفاده از روش طراحی آزمایش

رضوان خواجه کاظمی^۱، رضا علیزاده^{۲*} و محمدرضا رضایی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد محیط زیست، دانشگاه بیرجند، خراسان جنوبی، ایران

۲- استادیار گروه محیط زیست، مرکز علوم و فناوری پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی، کرمان، ایران

۳- استادیار گروه محیط زیست، دانشگاه بیرجند، خراسان جنوبی، ایران

دریافت: آذر ۱۳۹۱، بازنگری: بهمن ۱۳۹۱، پذیرش: اسفند ۱۳۹۱

چکیده: هدف از این مطالعه بررسی جذب مس و سرب از آب با استفاده از میوه چنار به‌عنوان یک جاذب ارزان قیمت است. در این مطالعه مقادیر متغیرهای pH، مقدار جاذب، زمان جذب و اندازه ذرات با روش طراحی آزمایش، بهینه شدند. به این منظور تعداد ۳۰ آزمایش با روش Box-Behnken طراحی شد و در هر آزمایش پودر میوه چنار در محلول حاوی فلز مس و سرب قرار داده شد و میزان جذب مس و سرب در محلول مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. نتیجه‌های به‌دست آمده نشان داد که تأثیر pH و مقدار جاذب بیشتر از سایر متغیرهاست. در این مطالعه مقدار pH برابر ۷٫۵، مقدار جاذب ۵٫۱ mg/L، زمان تماس ۱۲۰ دقیقه و اندازه ذرات ۱۵۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر به‌عنوان مقادیرهای بهینه انتخاب شدند. بازده حذف برای مس ۹۵ درصد و برای سرب ۹۲ درصد به‌دست آمد. این پژوهش نشان داد که میوه چنار برای جذب مس و سرب از محلول‌های آبی می‌تواند جاذب مناسبی باشد.

واژه‌های کلیدی: جاذب زیستی، جذب سطحی، سرب، مس، میوه چنار

مقدمه

توجه به موارد فوق و به دلیل مصارف فراوان مس و سرب در دنیای امروز و لذا وجود آلودگی‌های اجتناب‌ناپذیر ناشی از آن در منابع آب و فاضلاب‌های صنعتی، اندیشیدن تدابیری جهت حذف مس و سرب محلول در آب ضروری است [۳]. روش‌های متنوع فیلتراسیون، اسمز معکوس، اکسایش شیمیایی، کربن فعال، تصفیه الکتروشیمیایی و روش‌های دیگر برای حذف فلزات سنگین از خروجی پساب صنایع استفاده می‌شود [۴]. اما این روش‌ها زمانی که غلظت فلزات کم باشد، ناکارآمد و گران قیمت هستند و ممکن است پسماند ثانویه‌ای تولید کنند که تصفیه آن مشکل باشد. بنابراین، یافتن فناوری‌های نوین و یا مواد جدیدی برای حذف فلزات سنگین از پساب‌ها ضروری است [۵]. جذب، یک فرایند

آلودگی آب به دلیل تخلیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی، وجود فلزات سنگین سمی و مدیریت نامناسب زباله‌ها، سلامت بشر را به گونه‌ای خطرناک تحت تأثیر قرار می‌دهد. متداول‌ترین فلزات یافت شده در فاضلاب‌ها سرب، مس، کادمیم، کروم و نیکل هستند [۱]. در این میان فلز سرب از نظر انتشار، گسترده‌ترین عنصر سنگین و سمی در محیط زیست است که به ویژه از زمان مصرف آن در بنزین، از پراکنش وسیعی در سطح جهان برخوردار شده است. افزون بر آن، مقادیرهای زیادی پساب حاوی سرب، توسط صنایعی از قبیل باتری‌سازی، رنگ کاری، ساخت تسلیحات، شیشه‌سازی، صنعت چاپ و... ایجاد می‌شود [۲]. با

درصد برای یون نیکل (Ni^{2+})، ۵۸٫۴ درصد برای یون روی (Zn^{2+}) و ۴۱٫۵ درصد برای یون سرب (Pb^{2+}) است [۱۲]. Junior و همکارانش [۲۰۰۷] در مطالعه‌ای نشان دادند که باگاس نیشکر اصلاح شده با بی‌کربنات سدیم فلورات می‌تواند جاذب مناسبی برای مس، سرب و کادمیم باشد براساس این نتیجه‌ها مقدار جذب برای مس، سرب و کادمیم به ترتیب به میزان ۱۱۴، ۱۹۶ و ۱۸۹ میلی‌گرم بر گرم به دست آمد [۱۳]. Zhu و همکارانش [۲۰۰۸] از بنتونیت برای جذب سرب استفاده کردند و در غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به مقدار ۹۸ درصد جذب سرب دست یافتند. میزان pH بهینه برای این جاذب ۵٫۵ به دست آمد. این جاذب از نمودار هم‌دمای لانگمیر و فروندلیچ پیروی می‌کرد [۱۴].

بخش تجربی

آماده کردن جاذب

جاذب مورد استفاده در این پژوهش میوه چنار بود که پس از جمع آوری، به وسیله آب مقطر دو بار شستشو داده شد این کار جهت زدودن آلودگی‌ها و افزایش سایت‌های جذب صورت گرفت. سپس به مدت ۷۲ ساعت درون آون در دمای ۸۰ درجه سلسیوس خشک و پس از خشک شدن با آسیاب برقی خرد و به ذرات ریز تبدیل شد. میوه چنار آماده شده و آسیاب شده به وسیله الک‌هایی به سه گروه دسته بندی شد، < ۱۲۰، ۲۵۰-۱۵۰ و < ۳۰۰ mm. تمامی مواد شیمیایی استفاده شده در این پژوهش از شرکت مرک آلمان خریداری شد. جهت تهیه محلول‌های حاوی سرب و مس از نمک‌های فلزی $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ و CuSO_4 با درجه خلوص ۹۹ درصد استفاده شده است. برای تنظیم pH، محلول‌های HCl و NaOH مورد استفاده قرار گرفتند.

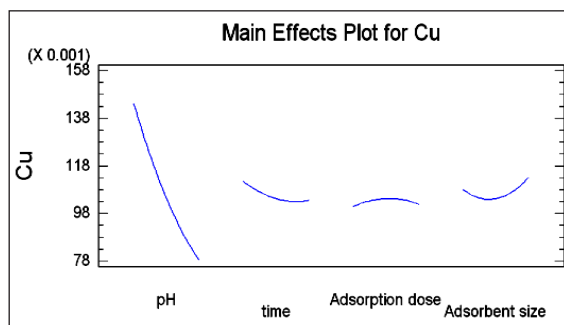
دستگاه‌ها و تجهیزات

- دستگاه pH متر Metroh مدل 691 ساخت سوئیس.
- ترازوی الکترونیکی And مدل GF-600 ساخت ژاپن (دقت اندازه‌گیری تا سه رقم اعشار بر حسب گرم).
- شیکر Werke مدل KS-501 (دور rpm تا ۳۰۰) ساخت آلمان.

بسیار مؤثر و دارای کاربردهای متنوعی است و امروزه به‌عنوان یک روش اقتصادی و کارا برای حذف فلزات سنگین از محلول آبی به حساب می‌آید [۶]. عمومی‌ترین جاذب مورد استفاده کربن فعال است که برای کاربردهای متفاوتی استفاده می‌شود از طرفی کربن فعال ماده‌ای گران است و هزینه‌های تصفیه را بالا می‌برد. بنابراین، نیاز به جاذب‌های جای‌گزین کم هزینه و ارزان منجر به پژوهش‌های گسترده در این زمینه شده است. هم‌چنین با افزایش آگاهی‌های زیست محیطی و سیاست‌های گرفته شده توسط دولت‌ها، تأکید بر توسعه روش‌های جدید زیست محیطی جهت آلودگی زدایی آب‌ها با استفاده از مواد و روش‌های کم هزینه گسترش یافته است. مواد طبیعی شامل فراورده‌های جانبی و مواد زاید به‌دست آمده از فعالیت‌های کشاورزی را می‌توان به‌عنوان جاذب‌های ارزان به حساب آورد، زیرا این مواد در طبیعت به وفور یافت می‌شوند و به فرایند و پردازش کمی نیاز دارند. هم‌چنین می‌توان به صورت مستقیم و یا بعد از فعال‌سازی و افزایش ظرفیت جذب آن‌ها را به کار برد [۷ تا ۹]. پژوهش‌هایی درباره حذف فلزات سنگین مس و سرب از آب به وسیله جاذب‌های زیستی صورت گرفته است. Grimm و همکارانش [۲۰۰۸] مقدار جذب مس را با استفاده از جاذب‌های خاک اره، جلبک دریایی و خزه (پیش تصفیه) در غلظت ۵ میلی‌گرم مس و در حضور ۲٫۵ گرم جاذب در حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر، در مدت ۳۶۰ دقیقه، pH برابر ۵٫۵ و دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار دادند و بازده حذف سه جاذب به ترتیب ۸۶، ۹۷، ۹۵ درصد به دست آمد [۱۰]. Li و همکارانش [۲۰۰۶] بر روی قدرت جذب پوست بادام زمینی در حذف مس، سرب و کروم کار کردند. نتیجه‌های این پژوهش نشان داد که پوست بادام زمینی جاذب مناسبی برای حذف فلزات مس، سرب و کروم از محیط آبی است هم‌چنین در صورت استفاده از سولفوریک اسید برای اصلاح این جاذب می‌توان نتیجه‌های مطلوب‌تری به دست آورد [۱۱].

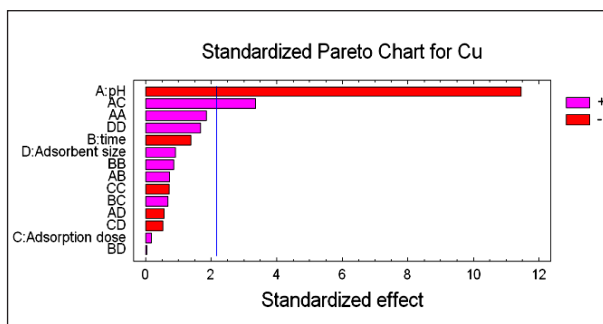
Oboh و Aluyor [۲۰۰۸] از برگ زیتون به‌عنوان جاذب برای حذف یون‌های فلزی استفاده کردند که نتیجه‌های به دست آمده، نشان دهنده حذف ۷۶٫۸ درصد برای یون مس (Cu^{2+})، ۷۶٫۵

نتیجه‌های زیر را در برداشت. شکل ۱ تأثیر فاکتورهای اولیه را بر جذب مس نشان می‌دهد. طبق نمودار زیر نشان داده شد که در این پژوهش کلیه متغیرهای در نظر گرفته شده اعم از pH، زمان تماس، مقدار جاذب و اندازه ذرات جاذب دارای نقطه بهینه در دامنه انتخاب شده هستند. بنابراین، این موضوع واضح است که دامنه‌ها به درستی انتخاب شده‌اند.



شکل ۱ نمودار تأثیر فاکتورهای اولیه بر جذب مس

نمودار پارتو بیان کننده تأثیر عامل‌ها بر فرایند جذب است. بر اساس شکل ۲ از بین عامل‌های مورد آزمایش pH از مهم‌ترین و با اهمیت‌ترین عامل‌ها در جذب مس به شمار می‌آید و میزان اهمیت زمان، اندازه ذرات جاذب و مقدار جاذب کمتر بوده است. همچنین نشان می‌دهد، عامل pH و زمان، اثر کاهنده بر غلظت مس دارند و اندازه ذرات جاذب و مقدار جاذب اثر مثبت بر فرایند جذب دارد. در این نمودار نیز مشاهده می‌شود برهم‌کنش pH و مقدار جاذب در این آزمایش‌ها با اهمیت بوده و دارای اثر مثبت بر جذب بوده است.



شکل ۲ نمودار پارتو

- دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی varian مدل AA220 ساخت کشور استرالیا.

- آسیاب برقی Moulinex ساخت کشور آلمان.

آزمایش‌های جذب

به منظور بهینه‌سازی فرایند جذب، چهار عامل در سه سطح به وسیله روش‌های طراحی آزمایش و با روش Box- Behnken مورد ارزیابی قرار گرفتند. سهولت در استفاده از روش مذکور و امکان بررسی برهم‌کنش عامل‌ها، دلیل استفاده از این روش است. برای این منظور، ۳۰ آزمایش طراحی شد که در جدول ۱ آورده شده‌اند و عامل‌های pH، زمان تماس، مقدار جاذب و اندازه ذرات جاذب بهینه شدند. مقدرهای ۰٫۲، ۵٫۱ و ۱۰ mg/l از پودر میوه چنار به عنوان جاذب در نظر قرار گرفته شد. سپس محلول حاوی فلزات سنگین سرب و مس با نمک فلزی CuSO_4 و $\text{Pb(NO}_3)_2$ و غلظت ۵۰ mg/l ساخته شد. مقادیر تعیین شده از جاذب به لوله‌های حاوی ۴۰ ml از محلول یون‌های فلزی افزوده شد، در تمامی آزمایش‌ها، ترکیب محلول و جاذب روی دستگاه لرزاننده با دور ۱۵۰ دور در دقیقه هم زده شد. در این آزمایش‌های pH به میزان ۲، ۵ و ۸ در نظر گرفته شد که با استفاده از نیتریک اسید و سدیم هیدروکسید تنظیم شد و با دستگاه pH متر اندازه‌گیری‌ها صورت گرفت. مدت زمان‌های تعیین شده در این پژوهش ۱۰، ۹۵ و ۱۸۰ دقیقه بود که بعد از سپری شدن مدت زمان لازم، محلول مورد نظر از کاغذ صافی گذرانده شد و جهت تعیین میزان فلز به دستگاه اسپکتروفتومتر جذب اتمی تزریق شد.

نتیجه‌ها و بحث

برای طراحی آزمایش‌های این پژوهش از نرم افزار Box- Behnken استفاده شد، این نرم افزار آزمایش‌ها را طراحی می‌کند و بر اساس جدول تجزیه واریانس ANOVA نمودار تأثیر فاکتورهای اولیه، پارتو، پاسخ سطح و برهم‌کنش عامل‌ها را رسم می‌کند. در این پژوهش جذب مس و سرب به شکل هم‌زمان به وسیله جاذب میوه چنار صورت گرفت و بهینه‌سازی شرایط

جدول ۱ شرایط، ویژگی و بازده آزمایش‌ها بر روی جاذب

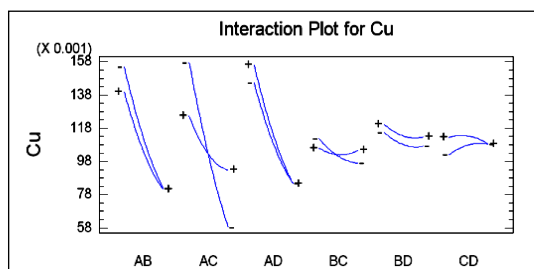
شماره	بازده %Cu	بازده %Pb	Cu (ppm)	Pb (ppm)	اندازه ذرات	مقدار جاذب	زمان	pH
۱	۸۶٫۶	۹۲٫۲	۶۶	۳٫۹	۲	۵٫۱	۹۵	۵
۲	۸۸٫۶	۹۰٫۶	۵۷	۴٫۵	۲	۵٫۱	۱۸۰	۸
۳	۸۷٫۴	۸۵٫۸	۶۱	۷٫۱	۲	۵٫۱	۱۰	۸
۴	۷۷٫۴	۴۷٫۵	۱۱٫۳	۲۶٫۲	۲	۵٫۱	۱۰	۲
۵	۸۵٫۴	۹۳٫۳	۷٫۳	۳٫۴	۱	۱۰٫۰	۹۵	۵
۶	۸۳٫۳	۵۹٫۵	۸٫۳	۲۰٫۲	۳	۰٫۲	۹۵	۵
۷	۸۴٫۷	۶۲٫۹	۷٫۷	۱۸٫۵	۱	۰٫۲	۹۵	۵
۸	۸۵٫۶	۹۱٫۶	۷٫۲	۴٫۲	۳	۱۰٫۰	۹۵	۵
۹	۸۰٫۸	۵۳٫۶	۹٫۶	۲۳٫۲	۲	۵٫۱	۱۸۰	۲
۱۰	۸۵٫۹	۹۱٫۷	۷٫۰	۴٫۱	۲	۵٫۱	۹۵	۵
۱۱	۸۵٫۲	۹۱٫۳	۷٫۴	۴٫۳	۲	۱۰٫۰	۱۰	۵
۱۲	۸۸٫۰	۹۲٫۲	۶٫۰	۳٫۹	۱	۵٫۱	۹۵	۸
۱۳	۸۲٫۹	۵۶٫۶	۸٫۵	۲۱٫۷	۲	۰٫۲	۱۰	۵
۱۴	۸۵٫۵	۶۵٫۲	۷٫۲	۱۷٫۴	۲	۰٫۲	۱۸۰	۵
۱۵	۸۷٫۰	۸۹٫۷	۶٫۵	۵٫۲	۳	۵٫۱	۹۵	۸
۱۶	۸۵٫۷	۹۱٫۳	۷٫۱	۴٫۳	۲	۵٫۱	۹۵	۵
۱۷	۸۹٫۷	۴۲٫۳	۱۰٫۳	۲۸٫۸	۱	۵٫۱	۹۵	۲
۱۸	۸۴٫۸	۹۱٫۴	۷٫۶	۴٫۳	۲	۵٫۱	۹۵	۵
۱۹	۸۵٫۸	۹۲٫۸	۷٫۱	۳٫۶	۲	۱۰٫۰	۱۸۰	۵
۲۰	۷۶٫۶	۴۵٫۸	۱۱٫۷	۲۷٫۱	۳	۵٫۱	۹۵	۲
۲۱	۷۸٫۶	۴۶٫۰	۱۰٫۷	۲۷٫۰	۲	۰٫۲	۹۵	۲
۲۲	۸۰٫۶	۵۸٫۱	۹٫۷	۲۱٫۰	۲	۱۰٫۰	۹۵	۲
۲۳	۸۵٫۰	۸۶٫۴	۷٫۵	۶٫۸	۳	۵٫۱	۱۰	۵
۲۴	۸۵٫۲	۹۱٫۴	۷٫۴	۴٫۳	۲	۵٫۱	۹۵	۵
۲۵	۸۴٫۹	۹۱٫۱	۷٫۵	۴٫۴	۱	۵٫۱	۱۰	۵
۲۶	۸۵٫۰	۹۰٫۴	۷٫۵	۴٫۸	۳	۵٫۱	۱۸۰	۵
۲۷	۸۵٫۰	۹۰٫۳	۷٫۵	۴٫۹	۱	۵٫۱	۱۸۰	۵
۲۸	۸۵٫۰	۹۰٫۲	۷٫۵	۴٫۹	۲	۵٫۱	۹۵	۵
۲۹	۸۷٫۶	۸۹٫۴	۶٫۲	۵٫۳	۲	۱۰٫۰	۹۵	۸
۳۰	۹۵٫۷	۹۲٫۸	۲٫۱	۳٫۹	۲	۰٫۲	۹۵	۸

جدول ۲ دامنه بهینه‌سازی عامل‌ها و نقاط بهینه جهت جذب فلز مس و سرب را نشان می‌دهد قابل توجه است که نقاط بهینه برای هر دو فلز یکسان به دست آمد و این امکان جذب هر دو فلز را به صورت هم‌زمان آسان می‌کند.

جدول ۲ دامنه بهینه‌سازی عامل‌ها و نقاط بهینه جهت جذب مس و سرب به صورت هم‌زمان

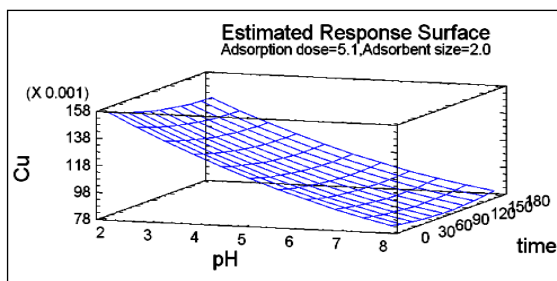
عامل‌ها	اندازه ذرات	مقدار جاذب (mg/l)	زمان تماس (min)	pH
دامنه عامل‌ها	۱-۳	۰.۲-۱۰	۱۰-۱۸۰	۲-۸
شرایط بهینه	۲	۵.۱	۱۲۰	۷.۵

همان‌طور که نشان داده شد مقدار جاذب به میزان ۵.۱ میلی‌گرم بر لیتر به دست آمد، با افزایش مقدار جاذب، سطح تماس بیشتر و شانس برخورد یون‌های محلول با ذرات جاذب افزایش می‌یابد، در نتیجه سرعت جذب افزایش و زمان تعادل کاهش می‌یابد هم‌چنین با افزایش جرم جاذب و یا کاهش غلظت محلول، تشکیل لایه مرزی اطراف جاذب که بیشتر عامل محدود کننده جذب است، رفته رفته بی اثر شده و سرعت جذب افزایش می‌یابد [۱۷]. از مقدار جاذب ۵.۱ میلی‌گرم بر لیتر به بعد بازده جذب به تقریب ثابت شد و افزایش مقدار جاذب دیگر باعث افزایش جذب نشد. اندازه ذرات نیز از دیگر عامل‌ها بود که بهینه شد. اندازه ۲ یعنی اندازه ۱۵۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر به‌عنوان اندازه بهینه انتخاب شد با توجه به اینکه هرچه ذرات ریزتر باشند نسبت سطح به جرم آن‌ها نیز بیشتر و جذب بیشتر است اما در مورد جاذب مورد نظر این چنین نیست که آن هم به احتمال به علت برهم‌کنش میان اندازه ذرات با pH و مقدار جاذب است که در شکل ۴ دیده می‌شود.



شکل ۴ نمودار برهم‌کنش میان عامل‌ها

برای به‌دست آوردن نقاط بهینه جذب مس و سرب به‌وسیله میوه چنار نمودارهای پاسخ سطح مربوط به آن رسم شد. برای نمونه یکی از نمودارهای پاسخ سطح در زیر آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، میزان بهینه pH برابر با ۷.۵ به دست آمد و زمان استخراج بهینه ۱۲۰ دقیقه به‌دست آمد. هم‌چنین در این نمودار مشاهده می‌شود که با کاهش مقدار pH غلظت مس افزایش یافته و در نتیجه مقدار جذب کاهش می‌یابد. این امر به علت تغییر ساختار مس و سرب از حالت یونی به مولکولی در pH های متفاوت است. pH محلول نقش اساسی در تعیین غلظت گونه کاتیون موجود در محلول دارد. کاتیون‌ها بسته به pH به شکل‌های کاتیونی، کمپلکس‌های هیدروکسیدی و رسوب یافت می‌شوند. در pH های کم (شرایط اسیدیته محلول)، افزایش یون هیدروژن موجب رقابت بیشتر H^+ با کاتیون‌های محلول شده و H^+ به جای یون‌های فلزی جذب جاذب میوه چنار می‌شود [۱۵]. در نتیجه مقدار جذب مس و سرب کاهش پیدا می‌کند در pH های بالاتر به علت کاهش مقدار H^+ مقدار جذب یون‌های فلزی افزایش یافته و باعث افزایش مقدار جذب می‌شود [۱۶]. زمان تماس یکی از عوامل تأثیرگذار بر فرایند جذب است. میزان زمان تماس بهینه در این مطالعه ۱۲۰ دقیقه به دست آمد، افزایش زمان تماس جاذب با محلول به دلیل امکان تماس بیشتر مواد جذب شونده با جاذب، باعث افزایش مقدار جذب می‌شود. البته با افزایش بیشتر زمان تماس، مقدار جذب به تقریب ثابت باقی می‌ماند. نرخ جذب در مراحل اولیه سریع است و به تدریج با گذشت زمان کاهش یافته و پس از رسیدن به حالت تعادل به تقریب ثابت می‌شود.



شکل ۳ نمودار سطح پاسخ

فلزی (mg/l) ، q_0 ماکزیمم ظرفیت جاذب (mg/g) ، b ثابت تعادلی جذب لانگمیر (mg/g) ، K_F و $1/n$ ثابت‌های فروندلیچ و به ترتیب شاخص‌های ظرفیت و شدت جذب هستند [۱۸].

در جدول ۴ داده‌های مربوط به این معادلات آورده شده است. چهار آزمایش برای به دست آوردن نمودارهای هم‌دماها انجام شد که تمام شرایط اعم از pH، زمان تماس و اندازه ذرات جاذب یکسان در نظر گرفته شد و مقدار جاذب متغیر بود، غلظت اولیه ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر در نظر گرفته شد. جدول ۳ داده‌های مربوط به این آزمایشات را نشان می‌دهد، هم‌چنین مقادیر q_e از رابطه (۳) محاسبه می‌شود. در این رابطه V حجم محلول نمونه بر حسب لیتر است و W وزن جاذب بر حسب گرم است.

$$q = \frac{(C_0 - C_e)V}{W} \quad (3)$$

جدول ۳ آزمایش‌های مربوط به هم‌دما

مقدار جاذب (mg/L)	Ce Cu	Ce Pb	qe Cu	qe Pb
۱۰۰	۶۲	۱۷،۴	۴،۴	۳،۳
۵،۱	۱۰،۳	۶،۸	۷،۸	۸،۵
۵،۱	۱۱،۸	۷،۱	۷،۵	۸،۴
۰،۲	۲،۳	۴،۴	۲۳،۸۴	۲۲،۸۳

جدول ۴ داده‌های مربوط به معادلات لانگمیر و فروندلیچ

یون	فروندلیچ			لانگمیر		
	K_F	$1/n$	R^2	b	q_0	R^2
Cu	۱۱۲۲،۰۱	-۲،۱۸	۰،۹۱	۰،۵۴	۵،۸۸	۰،۹۷
Pb	۱۹،۱۴	-۰،۲۹	۰،۸۸	۰،۲۱	۲،۳۹	۰،۹۹

نمودار هم‌دمای جذب لانگمیر و فروندلیچ برای فلز مس به ترتیب در شکل ۵ و ۶ نشان داده می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقادیر جذب در مدل لانگمیر نسبت به مدل فروندلیچ بهتر صدق می‌کند.

در این نمودار همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شد منظور از A، B، C و D به ترتیب pH، زمان تماس، مقدار جاذب و اندازه ذرات جاذب است. بر اساس داده‌های به‌دست آمده از آزمایش‌ها رابطه عامل‌های مورد نظر بر اساس نرم افزار انتخاب شده جهت حذف فلز مس و سرب از آب به‌دست آمد.

بازده جذب

رابطه زیر بازده جذب را به وسیله جاذب میوه چنار نشان می‌دهد

$$R = (C_0 - C_e)/C_0 \times 100$$

که در این رابطه C_0 و C_e به ترتیب غلظت اولیه و غلظت تعادلی یون فلزی در محلول بر حسب میلی‌گرم در لیتر و R درصد بازده جذب فلز در نقطه بهینه است. برای جاذب میوه چنار بازده جذب فلز مس ۹۵ و سرب ۹۲ درصد در نقطه بهینه به دست آمد.

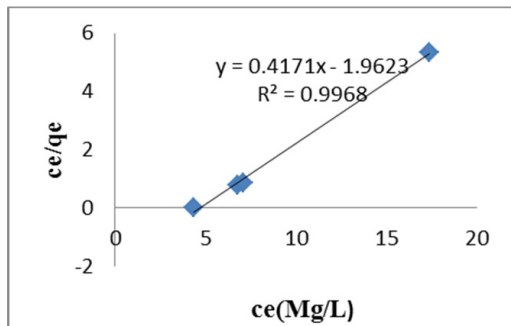
نمودار هم‌دمای جذب

جذب، نموداری است که رابطه بین مقدار جذب یک گونه شیمیایی به وسیله فاز جامد در حال تعادل را در دمای ثابت نشان می‌دهند و به‌عنوان ابزارهایی برای توصیف و پیش‌بینی میزان جذب، نوع و شدت برهمکنش جاذب و جذب شونده هستند. مدل‌های لانگمیر و فروندلیچ به منظور تعیین کمی سامانه‌های جذب سطحی تعادلی و ناهمگن به کار می‌روند. هم‌دمای جذب چند لایه برای سطوح ناهمگن با هم‌دمای فروندلیچ بیان می‌شود ولی در مدل جذب لانگمیر فرض می‌کند که جذب تک لایه‌ای است و سطح جاذب دارای مکان‌هایی با انرژی مساوی است که هر مولکول جذب شونده تنها به یک مکان اختصاص داده می‌شود. شکل عمومی هم‌دمای لانگمیر و فروندلیچ در رابطه (۱) و (۲) بیان شده است:

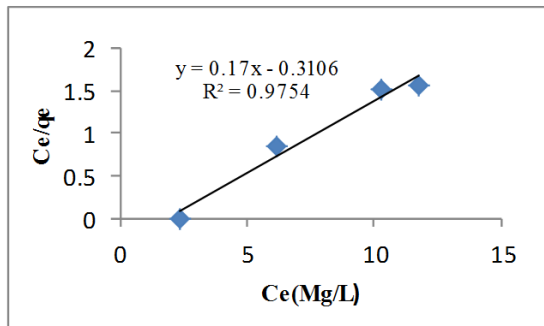
$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_0 b} + \frac{C_e}{q_0} \quad (1)$$

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2)$$

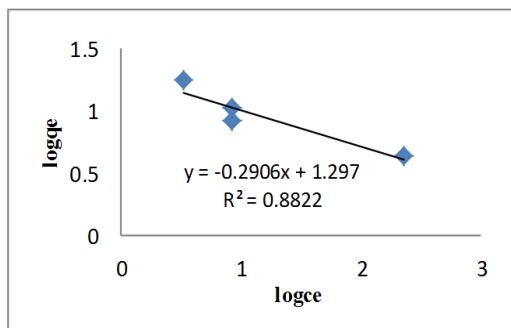
در این روابط، q_e مقدار میلی‌گرم جذب شونده به ازای واحد جرم جاذب در شرایط تعادل (mg/g) ، C_e غلظت تعادلی یون‌های



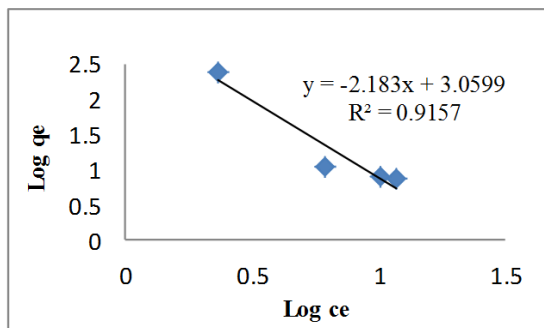
شکل ۷- نمودار هم‌دمای لانگمیر برای جذب سرب به وسیله میوه چنار



شکل ۵- نمودار هم‌دمای لانگمیر برای جذب مس به وسیله میوه چنار



شکل ۸- نمودار هم‌دمای فروندلیچ برای جذب سرب به وسیله میوه چنار



شکل ۶- نمودار هم‌دمای فروندلیچ برای جذب مس به وسیله میوه چنار

جاذب و اندازه ذرات جاذب به وسیله روش‌های طراحی آزمایش با روش Box- Behnken بهینه شدند و طبق نتیجه‌ها و نمودارهای به دست آمده عامل pH و مقدار جاذب دارای بیشترین اهمیت بوده‌اند. مقدار بهینه برای pH، زمان تماس، مقدار جاذب و اندازه ذرات به ترتیب ۷٫۵، ۱۲۰ دقیقه، ۵٫۱ میلی‌گرم بر لیتر و اندازه متوسط به دست آمد. لازم به ذکر است که مقادیر بهینه برای هر دو فلز یکسان به دست آمد و این امکان حذف هر دو فلز را به صورت همزمان آسان می‌کند. بررسی نتیجه‌ها با نمودارهای هم‌دمای جذب لانگمیر و فروندلیچ نشان داد که داده‌ها برای هر دو فلز با مدل لانگمیر تطابق بیشتری دارند و جذب بیشتر به صورت تک لایه‌ای و سطحی صورت گرفته است.

شکل ۷ و ۸ منحنی هم‌دمای لانگمیر و فروندلیچ مربوط به جذب سرب را نشان می‌دهد از مقایسه این دو شکل نشان داده می‌شود جذب سرب از میوه چنار نیز از هم‌دمای لانگمیر بیشتر پیروی می‌کند.

نتیجه گیری

امروزه بسیاری از پژوهشگران درصدد یافتن روش‌های ارزان‌تر و مناسب به منظور تصفیه آب هستند تا جای‌گزین روش‌های پرهزینه شود در پژوهش حاضر از میوه چنار، جاذب طبیعی و ارزان برای حذف مس و سرب از آب آلوده استفاده شد و نتیجه‌ها حاکی از جذب ۹۵ درصدی برای مس و ۹۲ درصدی برای سرب بود. در این پژوهش چهار متغیر هم‌چون pH، زمان تماس، مقدار

مراجع

- [1] Kietlinska, A.; “Engineered wetlands and reactive bed filters for treatment of landfill leachate”, Bsc.Thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm, 2004.
- [2] Athar, M.; Vohora, S.B.; “Heavy Metals & Environment”, Islamic Azad University of Sanandaj. 10-11, 2007.
- [3] Venkata, K.K.; Upadhyayula, I.; Science of the Total Environment. 408, 1- 13, 2009.
- [4] Febrianto, J.; Kosasih, A.N.; Sunarso, J.; Ju, Y.; Indraswati, N.; Ismadji, S.; Hazardous Materials. 162, 616-645, 2009.
- [5] Deng, L.; Su, Y.; Su, H.; Wang, X.; Zhu, X.; Hazardous Materials, 143, 220- 225, 2007.
- [6] Dabrowski, A.; Adventure Colloid Interface Science, 93,135–224, 2000.
- [7] Demirbas, A.; Hazardous Material, 109, 221–226, 2004.
- [8] Ho, Y.S.; Huang, C.T.; Huang, H.W.; Process Biochemistry, 37, 1421– 1430, 2002.
- [9] Demirbas, A.; Hazardous Material, 109, 221–226, 2004.
- [10] Grimm, A.R.; Zanzi, E.; Bjornbom, D.; Cukierman, A.; Bioresource Technology, 99, 559-565, 2008.
- [11] Li, Q.; Zhai, J.; Zhang, W.; Wang, M.; Zhou, J.; Hazardous Material, 141, 163 -167, 2006.
- [12] Oboh, O.I.; Aluyor, E.O.; Science, 14, 58-65, 2008.
- [13] Junior, O.K.; Gurgel, L.V.A.; Melo, J.; Botaro, V.; Melo, T.; Freitas, G.; Gil, L.; Bioresource Technology. 98, 1291- 1297, 2007.
- [14] Zhu, S.; Hoobo, H.; Yongjie, X.; lied Clay Science, 40, 171-178. 2008.
- [15] Deng, S.B.; Ting, Y.P.; Water Res., 39, 2167–2177, 2005.
- [16] Zhou, J.L.; Kiff, R.J.; Chem. Tech. Biotechnol, 52, 317–330, 1991.
- [17] Shamohamadi-Heidari, Z.; Moazed, H.; J. sciences, 20,158-169, 2008.
- [18] Kiran, B.; Kaushik, A.; Chem. Eng. J, 144, 391-394, 2008.