

مقایسه توانایی جاذب‌های طبیعی خاکاره و خاکستر در حذف سرب

حمیدرضا بابایی زارچ^۱، حسین گنجی‌دوست^{۲*}، بیتا آیتی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران (محیط زیست)- دانشگاه تربیت مدرس- تهران

۲- استاد مهندسی عمران (محیط زیست)- دانشگاه تربیت مدرس- تهران

۳- دانشیار مهندسی عمران (محیط زیست)- دانشگاه تربیت مدرس- تهران

h-ganji@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۴/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۲/۰۹

چکیده- در این پژوهش، جذب کاتیون سرب از محلول‌های آبی به‌وسیله‌ی دو جاذب خاکاره و خاکستر تحت شرایط ناپیوسته و پیوسته بررسی شد. در آزمایش‌های ناپیوسته، pH بهینه، ۵ و زمان تعادل، ۲ ساعت تخمین شد. نتایج آزمایش‌های ناپیوسته با هر دو جاذب از ایزوترم لانگمایر پیروی می‌کرد. در آزمایش‌های پیوسته با استفاده از ستون جذب و جریان رو به بالا با دبی ۰/۳ لیتر بر دقیقه و زمان بهره‌برداری ۳۶۰ دقیقه، جاذب‌ها به صورت ترکیبی با سه نسبت متفاوت بررسی شد. طبق آزمایش‌ها، راندمان جذب با گذشت نیمی از زمان، روند صعودی را از دست می‌داد. همچنین نسبت بهینه خاکستر به خاکاره با مصرف خاکستر کمینه، برای سرب با غلظت اولیه ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر برابر با ۱ به ۶ و برای غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر برابر با ۱ به ۴ بود و به طور کلی با افزایش غلظت اولیه سرب، نسبت خاکستر در جاذب ترکیبی بهینه، افزایش می‌یافت. در هر دو سامانه، قدرت جذب سرب به‌وسیله‌ی جاذب خاکستر بیشتر از قدرت جذب به‌وسیله‌ی خاکاره بود. طبق نتایج، راندمان حذف سرب با جاذبه‌های ترکیبی، بیش از ۹۸ درصد در آزمایش‌های ستونی و در آزمایش‌های ناپیوسته به ترتیب ۷۶ و ۹۸ درصد به‌وسیله‌ی خاکاره و خاکستر به‌دست آمد.

واژگان کلیدی: جذب سطحی، سرب، ایزوترم، پیوسته، ناپیوسته

۱- مقدمه

نمی‌توانند از طریق واکنش‌های شیمیایی یا فرایندهای بیولوژیکی تجزیه شوند بلکه ترکیبات آن‌ها تغییر می‌یابد و همچنان در محیط باقی می‌مانند که در نهایت باعث افزایش در زنجیره غذایی و تجمع در بدن موجودات زنده می‌شود. سرب، فلز سنگینی است که در صنایع مختلف کاربرد دارد و باعث بروز بیماری‌هایی همچون کم‌خونی، اختلال در سیستم اعصاب، درد ناحیه شکم، اختلال در ساخت

حفظ محیط زیست از آلودگی‌هایی که به وسیله صنعت و فناوری نوین ایجاد می‌شود، یکی از نگرانی‌های امروزی محققان و صاحبان صنایع است. در این میان، مشکلات ناشی از فلزات سنگین اهمیت ویژه‌ای دارد که دلیل آن سمیت این عناصر حتی در غلظت‌های بسیار پایین برای سامانه‌های زنده است. فلزات مانند آلاینده‌های آلی

گلوبول‌های قرمز، آسید کلوی، اختلال در سیستم تولید مثل و افزایش فشار خون در انسان می‌شود [۱]. از روش‌های متداول حذف فلزات سنگین از محیط آبی می‌توان به فرایندهای جذب سطحی، اسمز معکوس، تبخیر [۲]، اکسیداسیون و احیاء، تبادل یونی و استخراج با حلال [۳] و حذف بیولوژیکی به وسیله میکروارگانیسم‌ها اشاره کرد [۴]. روش‌های گفته‌شده، بیشتر هزینه راه‌اندازی اولیه یا عملیاتی بالا دارند. یکی از روش‌های مورد توجه در چند سال نزدیک، جذب سطحی به‌وسیله جاذب‌های ارزان‌قیمت طبیعی است که به عنوان یک روش اقتصادی استفاده می‌شود. از مزایای این روش، امکان جذب انتخابی، امکان احیاء و بازیابی فلزات، بالا بودن نسبی سرعت فرایند و عدم تولیدنشدن لجن است [۵، ۶، ۷]. با توجه به گستردگی مطالعات در زمینه جذب با استفاده از جاذبه‌های طبیعی، در ادامه توضیح کوتاهی از تحقیقات مهم و جدید آمده است.

ال سید در pH بهینه ۴/۱ تا ۵/۱ و زمان تعادل ۲ ساعت، بیشینه میزان حذف ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر سرب را ۸۷ درصد به‌وسیله شلتوک برنج و ۹۵ درصد به‌وسیله خاکستر آن گزارش کرد [۸]. انیس احمد و همکاران در مطالعه حذف سرب از محلول آبی به وسیله خاکاره در مدت زمان تعادل ۶۰ دقیقه، pH بهینه ۷ و میزان جاذب ۰/۲۵ تا ۲ گرم بر لیتر به ترتیب به حذف ۹۰/۴ تا ۹۳/۹ درصد سرب دست یافتند [۹]. لی و همکاران، حذف سرب از فاضلاب با استفاده از ساقه تنباکو را با pH بهینه ۵ و سه غلظت ۱۰، ۳۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر با زمان ماند ۱۲۰ دقیقه در آزمایش‌های ناپیوسته بررسی کردند که به ترتیب به حذف ۹۲/۱۰، ۹۴/۳۷ و ۹۰/۴۳ درصد فلز سرب دست یافتند [۱۰]. در بررسی حذف سرب از فاضلاب صنایع رنگ به‌وسیله خاکستر در شرایط ناپیوسته با غلظت سرب ۵/۴ میلی‌گرم

بر لیتر، ۵/۵pH و زمان تماس ۱۸۰ دقیقه، بیشینه میزان حذف، ۹۶/۱ درصد به دست آمد [۱۱]. در تحقیقات سابرینا و همکاران، حذف فلز سرب از فاضلاب با استفاده از زائادات چای به عنوان یک جاذب ارزان‌قیمت بررسی شد که pH بهینه در بازه‌ی ۵ تا ۶ تعیین شد و ۹۶/۴ درصد از آن حذف شد. همچنین مواد زائد گیاه قهوه در همین شرایط، ۱۰/۵ درصد از سرب را حذف کرد. انجام آزمایش‌ها در ۶۰ دقیقه و به صورت ناپیوسته انجام شد [۱۲]. یاسمین و همکاران، حذف سرب از محلول آبی با استفاده از خاکاره در سامانه ناپیوسته را در زمان تماس ۲۴۰ دقیقه بررسی کردند که در غلظت اولیه ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، میزان حذف حدود ۷۳ درصد بوده است [۱۳]. حذف سرب از محلول آبی با کربن فعال به‌دست‌آمده از الیاف نیشکر و خاکاره، در سال ۲۰۰۶ به‌وسیله‌ی گیرالدو و همکارانش انجام شد. میزان جذب سرب در pH بهینه ۵ به ترتیب معادل ۶ و ۳/۶ میلی‌گرم سرب بر گرم جاذب در غلظت ۱۲۰ و ۵ میلی‌گرم بر لیتر به دست آمد [۱۴]. سینگ و همکاران، حذف سرب از فاضلاب با استفاده از کربن فعال در pH= ۶/۵ را به صورت ناپیوسته در غلظت‌های ۲۰، ۱۰ و ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر و زمان تماس ۴۰ دقیقه بررسی کردند و به حذف حدود ۹۷ درصد دست یافتند [۱۵].

در این پژوهش، ظرفیت جذب سطحی سرب در محیط آبی روی خاکستر و خاکاره به صورت جداگانه در آزمایش‌های ناپیوسته انجام و آثار غلظت اولیه یون فلزی، میزان جاذب و pH بر میزان جذب، بررسی شده و با استفاده از مدل‌های ایزوترم لانگمایر، فرنلچ، تمکین، خطی و دابینین-رادشکویچ (D-R)، در دمای ثابت (۲۶-۲۴ درجه سلسیوس) ارزیابی شدند. دو جاذب بالا به صورت جداگانه و ترکیبی در آزمایش‌های پیوسته نیز برای بهینه‌سازی میزان جذب به‌کار گرفته شدند.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- آزمایش‌های ناپیوسته

در مرحله اول، ابتدا محلول حاوی یون سرب با غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر تهیه شده و آزمایش‌های ناپیوسته در چند مرحله جداگانه انجام شد و غلظت‌های باقی‌مانده به وسیله دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند. ابتدا pH بهینه برای حذف یون سرب در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و pHهای ۴، ۵، ۵/۵ و ۶ آزمایش شد؛ سپس آزمایش‌های ناپیوسته در زمان‌های ۵، ۲۰، ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ دقیقه برای غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر برای به دست آوردن زمان تعادل انجام شد. در ادامه، اثر غلظت ماده جذب‌شونده بر میزان جذب، در میزان جاذب‌های ۱۰ و ۲۰ گرم بر لیتر و غلظت‌های ۲۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سرب بررسی شد. در نهایت نیز اثر میزان جاذب بر جذب در غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر با میزان جاذب‌های مختلف در زمان تعادل به دست‌آمده در مرحله قبل، بررسی شد.

برای انجام آزمایش‌ها، محلول حاوی سرب در ارلن‌های ۱۰۰ میلی‌لیتری ریخته و pH هر یک با اسیدنیتریک تنظیم شد. همه نمونه‌ها روی دستگاه لرزاننده با دور ۱۲۰ rpm قرار گرفت و بعد از گذشت زمان تعادل به دست‌آمده برای ارزیابی از دستگاه جذب اتمی استفاده شد.

۲-۲- آزمایش‌های پیوسته

آزمایش‌ها برای هر دو جاذب، به موازات هم در ستون پلکسی گلاس با قطر داخلی ۹۰ میلی‌متر، طول مفید ۸۰ سانتی‌متر، دبی رو به بالای ۰/۳ لیتر بر دقیقه و در زمان‌های ۰، ۵، ۲۰، ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ دقیقه انجام شد (زمان صفر، زمانی است که اولین مقدار محلول پس از پر شدن ستون، از ستون خارج می‌شود).

برای تعیین میزان جاذب ترکیبی بهینه، ۳ مورد ترکیبی از دو جاذب بالا مطالعه شد. هنگام جریان یافتن محلول در ستون، ذرات سرب با برخورد و نفوذ در حفره‌های جاذب، از محلول حذف می‌شدند. بر اساس دبی ۰/۳ لیتر بر دقیقه و مدت زمان بهره‌برداری ۳۶۰ دقیقه، بیشینه آب عبوری، ۱۰۸ لیتر به دست آمد و بنابراین محلول‌هایی با حجم ۱۵۰ لیتر و با غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از سرب ساخته شد. برای ساخت محلول‌های گفته‌شده در حجم ۱۵۰ لیتر به ترتیب ۱۲ و ۲۴ گرم پودر نترات سرب در حجم محلول حل و pH فاضلاب به وسیله اسیدنیتریک تنظیم و در زمان‌های یادشده از خروجی پایلوت نمونه‌برداری انجام شد.

۲-۳- دستگاه‌ها و مواد مورد استفاده

دستگاه‌های استفاده‌شده برای انجام آزمایش‌ها شامل جذب اتمی Varian-AA240، pH متر Metrohm-691، ترازو با دقت یک میلی‌گرم Metler-PJ300 و میز لرزاننده بود. مواد استفاده‌شده عبارت بودند از جاذب‌های خاکاره و خاکستر (از سوزاندن مواد زائد درخت تاغ موجود در بیابان‌های استان یزد در محفظه سرباز تهیه شدند)، نترات سرب، اسید نیتریک و هیدروکسید سدیم (برای تنظیم pH) و آب (آب دو بار تقطیر برای انجام آزمایش‌های ناپیوسته و آب شهری برای انجام آزمایش‌های پیوسته). نکته مهم این است که همه‌ی آزمایش‌ها بر اساس روش کار استاندارد آب و فاضلاب و با سه بار تکرار انجام شد [۱۶].

۳- بحث و نتایج

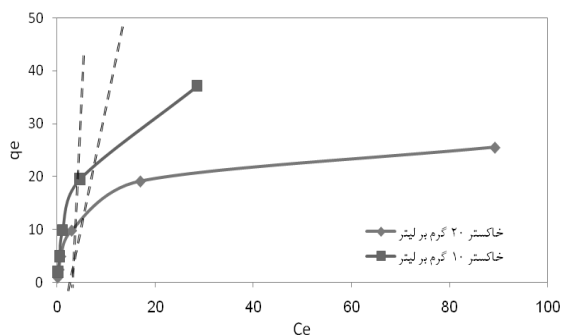
۳-۱- تعیین pH بهینه

نتایج اثر pH در حذف سرب به وسیله‌ی دو جاذب در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سرب در شکل ۱ نشان داده شده است.

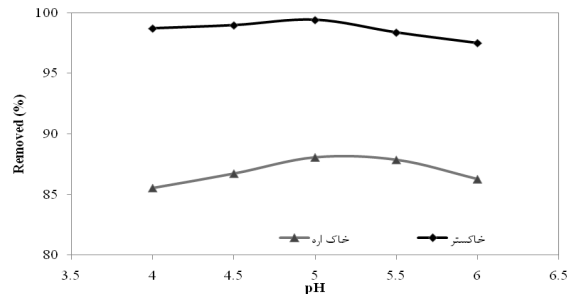
همان گونه که در نمودار مشاهده می‌شود جذب در دو مرحله انجام شده است. مرحله اول که مرحله جذب سریع روی سطح جاذب است و مرحله دوم که مرحله آهسته انتقال جرم داخلی است. در حالت اول، بیشتر محل‌های جاذب خالی است و عمل جذب به سرعت انجام می‌شود ولی با گذشت زمان و پر شدن تدریجی محل‌ها، نفوذ یون فلزی از بین یون‌های جذب‌شده و اتصال به سطح‌های خالی، باعث کندتر شدن فرایند جذب می‌شود. با افزایش غلظت یون فلزی، میزان جذب افزایش می‌یابد و در نهایت با اشباع شدن جاذب، میزان جذب به مقدار ثابتی می‌رسد و بعد از آن، افزایش غلظت تأثیری بر میزان جذب نخواهد داشت و در غلظت‌های پایین فلزی، نسبت مول‌های اولیه حل‌شونده به مساحت سطح جاذب کم است و میزان جذب، وابستگی چندانی به غلظت اولیه ماده جذب‌شونده ندارد [۱۷].

۳-۳- بررسی نحوه پیروی نتایج با مدل‌های ایزوترم جذب سطحی

شکل‌های ۳ و ۴، به ترتیب نتایج میزان جذب سرب بر روی خاکاره و خاکستر را بر اساس تغییرات میزان ماده جذب‌شونده و دو میزان از جاذب، به صورت یک تابع غیرخطی نمایش می‌دهند.



شکل (۳) نمودار میزان سرب جذب‌شده در غلظت‌های مختلف به‌وسیله خاکاره

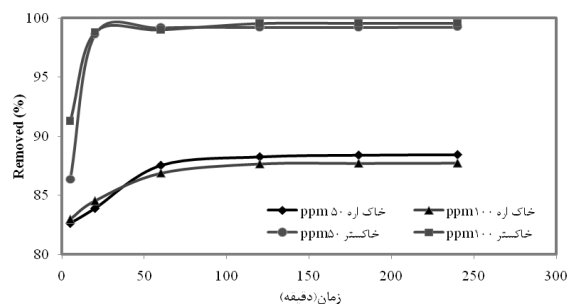


شکل (۱) نمودار تعیین pH بهینه (غلظت ۱۰۰ mg/L سرب)

بر پایه‌ی نتایج به‌دست‌آمده، بیشترین میزان حذف سرب (۹۹/۴ درصد به‌وسیله‌ی خاکستر و ۸۰ درصد به‌وسیله‌ی خاکاره) برای هر دو جاذب در pH=۵ رخ داده که در ادامه آزمایش‌ها به عنوان pH بهینه، استفاده شد.

۳-۲- تعیین زمان تعادل با غلظت ثابت از جاذب

طبق نتایج به‌دست‌آمده (شکل ۲)، از زمان ۱۲۰ دقیقه به بعد، افزایش میزان جذب در هر دو غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سرب و برای هر دو جاذب خاکستر و خاکاره نرخ تقریباً ثابتی پیدا کرد و بعد از گذشت این زمان، تغییرات محسوسی در میزان جذب مشاهده نشد. بنابراین زمان ۱۲۰ دقیقه به عنوان زمان تعادل در نظر گرفته شد. زمان تعادل بر این اساس انتخاب شد که میزان جذب ماده جذب‌شونده روی جاذب بعد از این زمان، بیشترین حالت، یک درصد میزان جذب در طول فرایند جذب باشد.



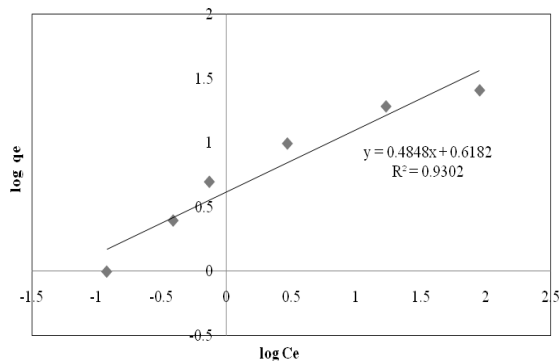
شکل (۲) نمودار میزان جذب سرب در زمان‌های مختلف به‌وسیله‌ی دو جاذب

در روابط بالا:

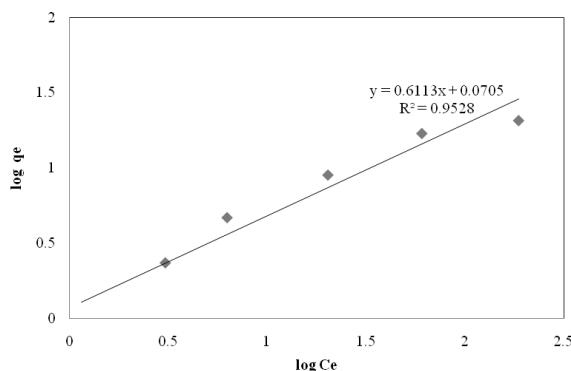
q : مقدار ماده جذب شده در واحد جرم جاذب (mg/g) است.
 C : غلظت ماده جذب‌شونده در فاز مایع پس از رسیدن به حالت تعادل (mg/L) است.

q_m : ظرفیت جذب ماده جاذب بر واحد جرم (mg/g) است.
 K_f, A, K, B, n : ثابت‌هایی است که برای هر سامانه خاص با آزمایش تعیین می‌گردند. ϵ پتانسیل پلانی است که بصورت $\epsilon = RT \ln(1 + 1/C_e)$ تعریف می‌شوند که R ثابت گازها و T دما بر حسب درجه کلوین است.

در شکل‌های ۵ تا ۸، چهار مدل ایزوترم جذب سطحی بالا برای خاکاره و خاکستر در میزان ۲۰ گرم بر لیتر جاذب‌ها ارائه شده است.

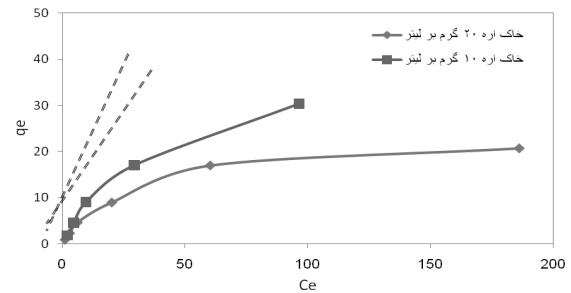


الف) خاکاره



ب) خاکستر

شکل (۵) نمودار مدل ایزوترم فرنلیدج برای



شکل (۷) نمودار میزان سرب جذب‌شده در غلظت‌های مختلف به‌وسیله‌ی خاکستر

بدیهی است با افزایش جاذب به میزان دو برابر نواحی و منافذ سطح که توانایی جذب را دارند، دو برابر شده و انتظار می‌رود که در فرایند، جذب میزان حذف سرب نیز دو برابر شود. اما نتایج خلاف این مورد را نشان می‌دهد؛ به این خاطر که هنگام فرایند جذب با بالا رفتن میزان جاذب، مقداری از جاذب‌ها به هم چسبیده و تعدادی از منافذ مسدود شده و توانایی جذب خود را از دست می‌دهند ولی میزان جذب نسبت به حالت اول بیشتر شده است.

معمولاً مقدار ماده جذب‌شده در واحد جرم جاذب را به‌صورت تابعی از غلظت تعادلی جزء جذب‌شونده در فاز محلول و در دمایی ثابت بیان می‌کنند و به همین خاطر به آن ایزوترم جذب سطحی می‌گویند [۱۸]. مدل‌های جذب سطحی می‌توانند برای تعیین همبستگی داده‌های تجربی مشاهده‌شده و تعیین پارامترهای مدل، به‌کار روند که چهار نمونه مطالعه شده در این پژوهش ارائه شده است [۱۹، ۲۰]:

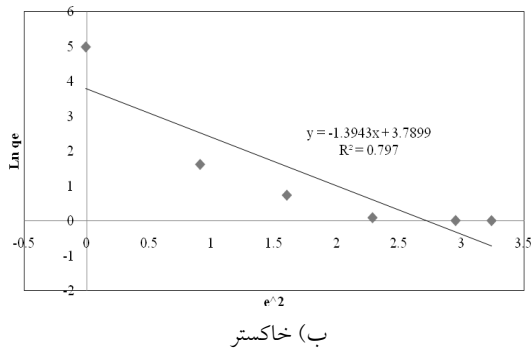
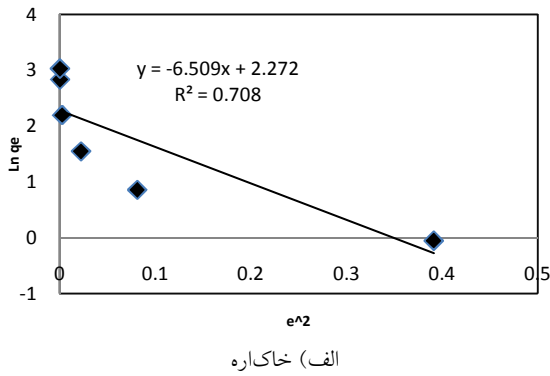
$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad \text{یا} \quad q = K_f C_e^{\frac{1}{n}} \quad \text{ایزوترم فرنلیدج}$$

$$q = \frac{aC}{1 + aC} \quad \text{ایزوترم لانگمایر}$$

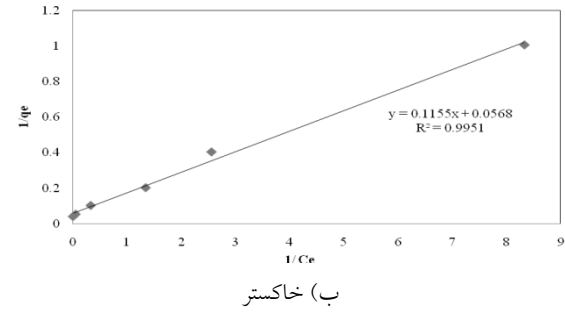
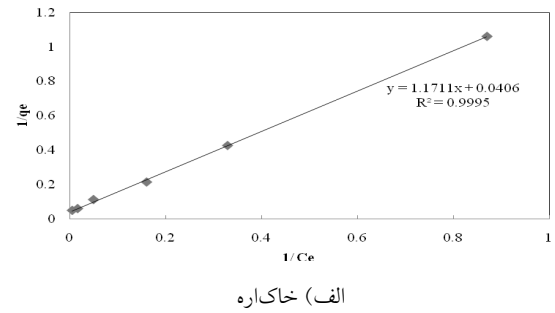
$$q_e = B \ln A + B \ln C_e \quad \text{ایزوترم تمکین}^1$$

$$\ln q_e = \ln q_m + K\epsilon^2 \quad \text{ایزوترم دابینین رادشکویچ}^2$$

1- Temkin
 2- Dabinin Radshkevich



شکل (۸) نمودار مدل ایزوترم داینین- رادشکویچ

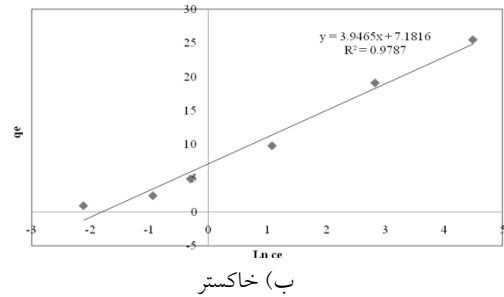
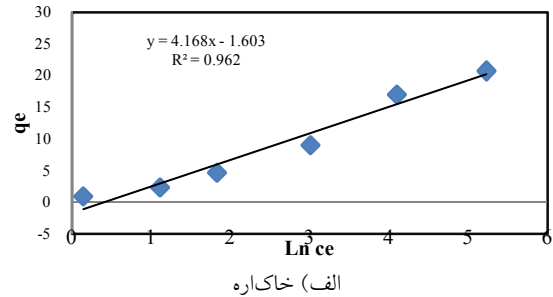


شکل (۶) نمودار مدل ایزوترم لانگمایر

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، فرایند جذب با هر دو جاذب خاکستر و خاکاره از مدل جذب سطحی لانگمایر به خوبی پیروی کرده و با مدل‌های دیگر تطابق خوبی ندارد. بنابراین مدل جذب سطحی، فرایند مدل لانگمایر خواهد بود.

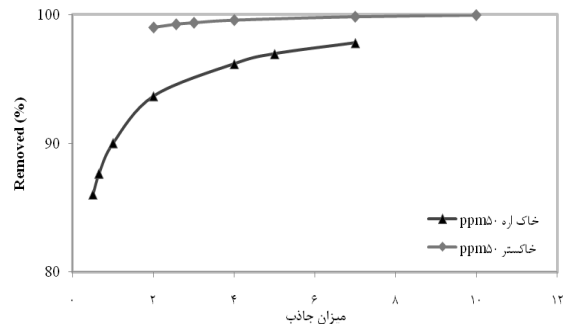
۳-۴- تعیین میزان بهینه جاذب

در مرحله نهایی پژوهش، محلول با غلظت ثابتی از یون سرب (۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) و میزان متفاوتی از جاذب در زمان تعادل بررسی شد. بنابراین مقدار جاذب ۰/۵، ۰/۶۵، ۱، ۲، ۴، ۵ و ۷ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر برای خاکاره و مقدار جاذب ۲، ۲/۵۶، ۳، ۴، ۷ و ۱۰ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر برای خاکستر، تهیه و در زمان تعادل، آزمایش شد. در شکل ۹، اثر میزان جاذب به میزان درصد حذف سرب در غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر به وسیله‌ی خاکاره و خاکستر نشان داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، افزایش میزان خاکستر تأثیر چندانی بر راندمان حذف سرب ندارد اما درباره‌ی خاکاره، افزایش مقدار جاذب، نقش مهمی در میزان حذف دارد.



شکل (۷) نمودار مدل ایزوترم تمکین

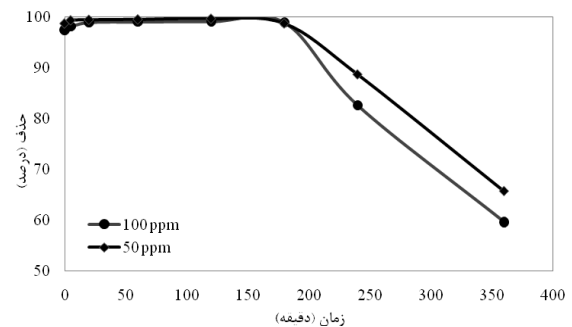
خاکستر توانایی خوبی در میزان حذف سرب دارند اما مطابق شکل ۱۰، خاکاره بعد از گذشت حدود نیمی از زمان فرایند، ظرفیت جذب را به سرعت از دست داده و راندمان مرتباً کاهش پیدا می‌کند. در شکل ۱۱، خاکستر تا انتهای فرایند جذب، ظرفیت جذب خود را به خوبی نگه داشته اما در ابتدای شروع فرایند به نسبت خاکاره، جذب کمتری دارد.



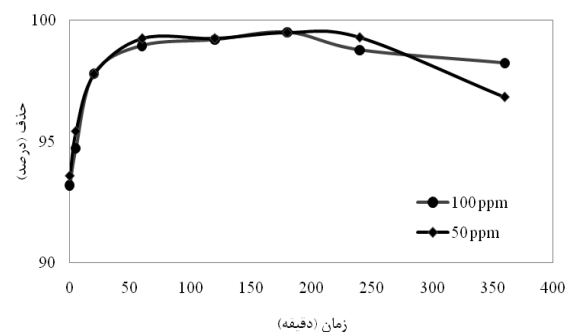
شکل (۹) نمودار میزان جذب سرب بر اساس میزان جاذب

۳-۵- نتایج آزمایش‌های پیوسته

شکل‌های ۱۰ و ۱۱، به ترتیب میزان جذب سرب به وسیله‌ی جاذب خاکاره و خاکستر را در سامانه‌ی پیوسته نسبت به زمان سپری‌شده را نشان می‌دهند.



شکل (۱۰) نمودار میزان جذب سرب به وسیله‌ی جاذب خاکاره در سامانه‌ی پیوسته



شکل (۱۱) نمودار میزان جذب سرب به وسیله‌ی جاذب خاکستر در سامانه‌ی پیوسته

۳-۶- تعیین ترکیب مناسب مخلوط جاذب‌ها

از آن‌جا که هزینه تهیه و تولید خاکستر از خاکاره بیشتر است، در ادامه سعی شد تا جاذب ترکیبی با نسبت بهینه خاکستر به خاکاره تهیه شود تا افزون بر صرفه‌جویی در هزینه تهیه جاذب، میزان جذب در طول زمان فرایند بیشتر شود. بنابراین از چندین نسبت حجمی خاکستر به خاکاره به عنوان جاذب استفاده شد که همگرایی بسیار سریعی ایجاد کرد. با توجه به این که پیش از این پژوهش، مطالعه زیادی در فرایند جذب ترکیبی انجام نشده بود، اولین نسبت ترکیبی جاذب‌ها به صورت حدسی، تعیین و تصمیم بر این شد که اگر با توجه به غلظت اولیه یون سرب، در زمان بهره‌برداری، راندمان حذف کاهش چشم‌گیری یافت، میزان جاذب خاکستر در ترکیب، افزایش و در غیر این صورت، کاهش داده شود تا میزان مصرف آن به کمینه رسیده و به عنوان نسبت بهینه در نظر گرفته شود (از رابطه نصف کردن بازه‌ها در هر مرحله استفاده شد).

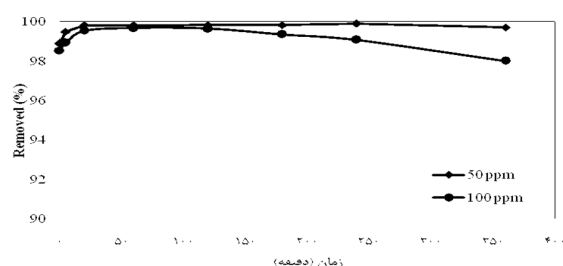
طبق نتایج قبل، با توجه به این که خاکاره در شروع فرایند، جذب خوبی داشت، آن را در پایین ستون و خاکستر برای نگه‌داری میزان جذب بیشینه، تا پایان زمان فرایند، روی خاکاره و بالای ستون ریخته شد که نتایج آن در شکل‌های ۱۲ تا ۱۴ ارائه شده است.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، جاذب‌های خاکاره و

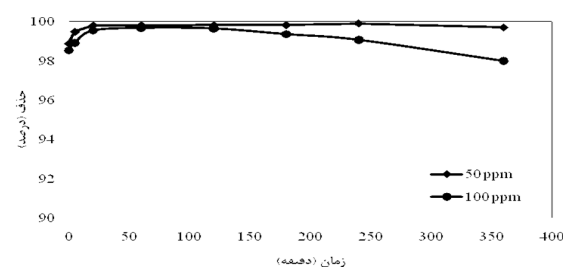
همانگونه که مشاهده می‌شود، نسبت بهینه خاکستر به خاکاره با کمینه مصرف خاکستر برای حذف سرب با غلظت اولیه ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر، ۱ به ۶ و برای غلظت اولیه ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، ۱ به ۴ است. همچنین شکل ۱۴ نشان می‌دهد با این که نسبت ۱ به ۶ نسبت بهینه در غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر است اما در این نسبت، خاکستر به کار برده شده به دلیل بالا بودن غلظت و کم بودن میزان خاکستر، ظرفیت جذب خود را از دست داده و قادر به نگه داشتن فرایند با میزان بیشینه جذب نیست.

۴- جمع‌بندی

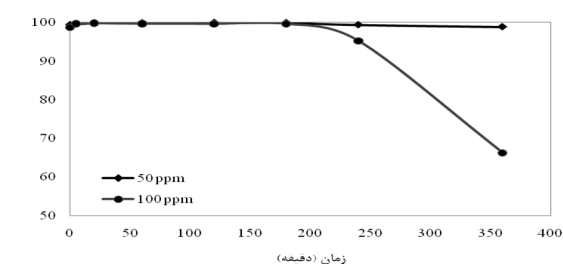
در جدول ۱، نتایج مشابه به دست آمده از این پژوهش با تحقیقات دیگر تحت شرایط ناپیوسته، ارائه شده است که بیانگر توانایی جاذب‌های خاکاره و خاکستر برای حذف سرب است. ضمن این که جاذب ترکیبی نیز نتایج خوبی داشته است.



شکل (۱۲) نمودار میزان جذب سرب به وسیله‌ی جاذب ترکیبی با نسبت ۱ به ۳ خاکستر به خاکاره



شکل (۱۳) نمودار میزان جذب سرب به وسیله‌ی جاذب ترکیبی با نسبت ۱ به ۴ خاکستر به خاکاره



شکل ۱۴- نمودار میزان جذب سرب به وسیله‌ی جاذب ترکیبی با نسبت ۱ به ۶ خاکستر به خاکاره

جدول (۱) مقایسه نتایج به دست آمده با تحقیقات مشابه

| مرجع | راندمان حذف (درصد) | زمان تعادل (دقیقه) | pH | غلظت سرب (mg/L) | جاذب |
|-----------|----------------------|--------------------|-----|-----------------|-----------------------|
| [۹] | ۹۰/۴ تا ۹۳/۹ | ۶۰ | ۷ | | خاکاره |
| [۱۰] | ۹۰/۴۳ و ۹۲/۱۰، ۹۴/۳۷ | ۱۲۰ | ۵ | ۵۰، ۳۰، ۱۰ | ساقه تنباکو |
| [۱۱] | ۹۶/۱ | ۱۸۰ | ۵/۵ | ۵/۴ | خاکستر |
| [۱۲] | ۹۶/۴ | ۶۰ | ۵/۶ | ۱۰۰ | مواد زاید چای |
| [۱۳] | ۷۳ | ۲۴۰ | | ۱۰۰ | خاکاره |
| [۱۵] | ۹۷ | ۴۰ | ۶/۵ | ۴۰ و ۲۰، ۱۰ | کربن فعال |
| این پژوهش | ۷۶ | ۱۲۰ | ۵ | ۱۰۰ و ۵۰ | خاکاره |
| | ۹۸ | ۱۲۰ | ۵ | | خاکستر |
| | بیش از ۹۸ | ۱۲۰ | ۵ | | ترکیب خاکاره و خاکستر |

۵- مراجع

- (II) and Pb (II) ions from aqueous solutions by adsorption on sawdust of Meranti wood, *Desalination*, Vol. 250, pp. 300-310, 2009.
- [10] Li W., Zhang L., Peng J., Li N., Zhang S., Guo S.; Tobacco stems as a low cost adsorbent for the removal of Pb (II) from wastewater: Equilibrium and kinetic studies, *Industrial Crops and Products*, Vol. 28, pp. 294-302, 2008.
- [11] Malakootian M., Almasi A., Hossaini H.; Pb and Co removal from paint industries effluent using wood ash. *Journal of Environ. Sci. & Tech.*, Vol. 5, No. 2, pp. 217-222, 2008.
- [12] Sabrina K., Hasmah S.I.; Tea waste as low cost adsorbent for removal of heavy metals and turbidity from synthetic wastewater, International Conference on Environmental Research and Technology (ICERT 2008), 2008.
- [13] Yasemin B., Zeki T.; Removal of heavy metals from aqueous solution by sawdust adsorption, *Journal of Environmental Sciences*, Vol. 19, No. 60, p.166, 2007.
- [14] Giraldo L., Moreno J.C.; Pb (II) and Cr (VI) adsorption from aqueous solution on activated carbons obtained from sugar cane husk and sawdust, *Analytical and Applied Paralysis*, Vol. 81, pp. 278-284, 2008.
- [15] Singh C.K., Sahu J.N., Mahalik K.K., Mohanty C.R., Mohan B.R., Meikap B.C.; Studies on the removal of Pb (II) from wastewater by activated carbon developed from tamarind wood activated with sulphuric acid, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 53, pp. 221-228, 2007.
- [16] APHA/AWWA/WEF; Standard methods for the examination of water and wastewater, 19th Edition, Washington D.C., USA, 2005.
- [17] Amarasinghe B.M.W.P.K. and Williams R.A.; Tea waste as a low cost absorbent for the removal of Cu and Pb from wastewater, *Chem. Eng. J.*, Vol. 132, pp. 299-309, 2007.
- [18] Reynolds T.D., Richards P.A.; Unit operations & processes in environmental engineering, John Wiley & Sons Inc., New York, 1995.
- [19] Esfandbod M., Forghani A., Adhami E., Rezaei Rashti M.; Cadmium adsorption behavior of some soils from northern of Iran, 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, 1- 6 August 2010, Brisbane, Australia.
- [۱] فخری هروی، م؛ حذف فلزات سنگین از پساب‌های صنعتی به وسیله‌ی باکتری‌های احیاء‌کننده سولفات؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مهندسی عمران (محیط زیست)، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۶.
- [۲] معاف، م؛ تصفیه فیزیکی شیمیایی فاضلاب؛ سمینار کارشناسی ارشد، بهداشت محیط، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۵.
- [3] Yavada K.P., Tyagi B.S., Panday K.K., Singh V.N.; Flay ash for the treatment of Cd (II) Rich effluents, *Asian Environment*, Vol. 11, No. 4, pp. 225-234, 1989.
- [۴] تقوی، ک؛ "حذف بیولوژیکی Cr (VI) از فاضلاب‌های صنعتی به روش هوازی و بی هوازی؛ پایان‌نامه دکترای بهداشت محیط، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۴.
- [5] Naddafi K., Saeedi R., Mohebbi M.R. Bio-sorption and removal of heavy metals from water and wastewater, Sanitary Faculty, Tehran University of Medical Sciences, No. 63, November 2005.
- [۶] اسکندری، س؛ "حذف سرب از آب‌های آلوده با استفاده از جاذب‌های طبیعی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مهندسی عمران (محیط زیست)، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۶.
- [۷] بابایی، ح؛ تکنولوژی‌های حذف یا کاهش فلزات سنگین از فاضلاب؛ سمینار کارشناسی ارشد، مهندسی عمران (محیط زیست)، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۶.
- [8] El-Said A.G.; Biosorption of Pb (II) ions from aqueous solutions onto rice husk and its ash, *Journal of American Science*, Vol. 6, No. 10, pp. 143-150, 2010.
- [9] Ahmad A., Rafatullah M., Sulaiman O., Ibrahim H.M, Chii Y.Y., Siddique M.B.; Removal of Cu

- [20] Babakhouya N., H. Aksas, S. Boughrara and K. Louhab; Adsorption of Cd (II) ions from aqueous solution using mixed sorbents prepared from olive stone and date pit, *J. Applied Sci.*, Vol. 10, No. 19, pp. 2316-2321, 2010, doi: 10.3923/jas.2010.2316.2321.

Lead Removal from Wastewater by Adsorption using Ash and Sawdust

H.R. Babaei Zarch¹, H. Ganjidoust^{2*}, B. Ayati³

1- M.Sc Student of Civil & Environmental Engineering Faculty, Tarbiat Modares University

2- Professor of Civil & Environmental Engineering Faculty, Tarbiat Modares University

3- Assoc. Professor of Civil & Environmental Engineering Faculty, Tarbiat Modares University

h-ganji@modares.ac.ir

Abstract:

Water pollution due to toxic heavy metals has been a main cause of concern for the environmental engineers. Heavy metals are individual metals that negatively affect people's health. In very small amounts, many of these metals are necessary to support life. However, in larger amounts, they become toxic. Lead is one the important heavy metals that is applied in different industries such as manufacture of batteries, metal products and ammunition. Its standard limits in drinking water are 0.05 mg/L, because it affects all organs and functions of the body to varying degrees. The frequency and severity of symptoms among exposed individuals depends upon the amount of exposure. Lead entering the respiratory and digestive systems is released to the blood and distributed throughout the body. It is stored and may be released into the blood, re-exposing organ systems long after the original exposure. This is why the wastewater includes lead should be treated before discharging to the environment. Different kinds of physical, chemical and biological methods are used to remove lead. The main techniques are including precipitation, ion exchange, adsorption, membrane processing and electrolyte methods. Adsorption with many advantages is a proper method that is applied to treat heavy metal removal. In recent years, use of low cost materials as adsorbent for metal ion removal has been highlighted.

Since natural absorbents are inexpensive and may be achieved without any cost and they are usually in abundance in nature, absorption of solute ions by these materials are a proper method to eliminate heavy metals from polluted waters and industrial wastewaters.

In this study, following continuous column method, sawdust and ash, as two absorbents were used for removing lead. The experiments were carried out with the initial pH of 5 and different densities (50 and 100 ppm). In order to optimize the process of adsorption, three combined absorbents were also used which made from the above two absorbents with the ratios of 1:3, 1:4 and 1:6. Batch experiments were carried out in order to determine the parameters of adsorption. The results of sorption with sawdust have shown that Langmuir adsorption isotherm were suitable. Based on the results of the column experiments study, lead removal efficiency was more than 98 percent when combined absorbents were used. In batch experiments, the percent efficiency was 76 and 98 percent with sawdust and ash, respectively.

Keywords: sorbent, sawdust, ash, continuous