

بررسی حذف فلزات سرب و مس از پساب شبیه‌سازی شده کارخانه مس سونگون با استفاده از جاذب هماتیت

صیام نوبری^۱، احمد خدادادی دربان^{۲*}، احمد جمشیدی زنجانی^۳

۱- کارشناسی ارشد، مهندسی معدن، گرایش محیط زیست، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۲- استاد، گروه فرآوری مواد معدنی، عضو پژوهشکده محیط زیست، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۳- استادیار، گروه فرآوری مواد معدنی، عضو پژوهشکده محیط‌زیست، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

(دریافت ۱۳۹۷/۰۹/۲۱، پذیرش ۱۳۹۸/۰۲/۰۸)

چکیده

روش‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی برای حذف فلزات سمی و سنگین از پساب وجود دارد. حذف فلزات با استفاده از فرآیند جذب از جمله روش‌های نسبتاً ارزان قیمت با راندمان حذف بالا محسوب می‌شود که در سالیان اخیر با استفاده از جاذب‌های متنوع مورد توجه محققان بوده است. در این تحقیق امکان‌پذیری حذف و کاهش غلظت فلزات سرب و مس از پساب شبیه‌سازی شده کارخانه فرآوری مس سونگون به روش جذب مورد بررسی قرار گرفت. همچنین تاثیر پارامترهایی مانند pH، میزان جاذب، میزان جذب‌شونده و زمان بر روی فرآیند جذب مورد مطالعه قرار گرفت. در مطالعه حاضر هماتیت به عنوان جاذب با استفاده از روش رسوب‌دهی شیمیایی سولفات آهن تهیه شد. ویژگی‌های جاذب تشکیل داده شده با استفاده از آنالیز XRD تعیین شد. جاذب تهیه شده برای حذف دو عنصر سرب و مس در پساب شبیه‌سازی شده حاوی عناصر سرب و مس و در انتها روی پساب واقعی کارخانه مس سونگون مورد سنجش قرار گرفت. نتایج حذف عناصر سرب و مس از محلول آبی نشان داد که حذف بهینه این عناصر در pH حدود ۶ انجام می‌شود. بازدهی حذف دو عنصر سرب و مس تا غلظت ۱۰۰ ppm در حضور جاذب هماتیت به ترتیب به ۹۴ و ۹۰ درصد رسید. همچنین در مطالعات سینتیکی مشخص شد که حذف دو آلاینده سرب و مس با جاذب هماتیت از مدل سینتیکی شبه مرتبه دوم تبعیت می‌کند. مطالعات ایزوترمی هم بیانگر آن بود که فرآیند حذف دو عنصر سرب و مس با استفاده از هماتیت با مدل لانگمویر مطابقت دارد.

کلمات کلیدی

جذب سطحی، فلزات سنگین، هماتیت، مس، سرب.

۱- مقدمه

فعالیت‌های معدنکاری تاثیر عمده‌ای بر کیفیت آب‌های سطحی مانند رودخانه، آب شرب و چراگاه‌ها دارد. این تاثیرات عموماً ناشی از وجود غلظت بالای فلزات سنگین، اسیدی شدن آب و وجود ذرات جامد معلق است. تاثیر وجود آلاینده‌های فلزی در پساب تنها بر زمین‌های اطراف معدن تاثیر نمی‌گذارد، بلکه بسیار گسترده و گاه چندین کیلومتر دورتر از معدن نیز ممکن است منجر به آلودگی منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی و همچنین آلودگی خاک شود، بنابراین باید نقش فعالیت‌های معدنکاری در آلوده کردن منابع آب را جدی تلقی کرد و نسبت به منابع آلوده‌کننده آب توجه خاص داشت. فلزات سنگین به دلیل سمی بودن و زیست ناسازگاری در آب ممکن است سبب بروز مشکلات جدی زیست‌محیطی و بهداشتی شود. این فلزات با ایجاد ترکیب‌های متعدد موجب بهم خوردن تعادل در بدن موجودات زنده به ویژه انسان می‌شود. تماس با فلزات سنگین سبب اختلالات عصبی، پیری سلولی، نارسایی کبدی و کلیوی و سرطان می‌شود و طیف گسترده‌ای از عوارض و اختلالات را به وجود می‌آورد که به عوامل مختلفی از جمله نوع فلز بستگی دارد [۲، ۱]. رها و پخش شدن مواد سمی در محیط زیست ممکن است اثر نامطلوبی بر انسان و سایر موجودات زنده بگذارد، بنابراین حذف یا کاهش غلظت فلزات سنگین در پساب‌های خروجی به حد استانداردهای زیست‌محیطی، پیش از تخلیه پساب معادن به محیط زیست امری بسیار مهم است [۳، ۱]. روش‌های مختلفی از جمله تبادل یون [۵، ۴]، اسمز معکوس [۶]، الکترودیالیز [۷]، روش‌های غشایی [۸]، روش‌های زیستی [۹] و جذب سطحی [۱۰، ۲] برای حذف فلزات از پساب‌ها به کار گرفته شده‌اند. در میان روش‌های مختلف، جذب سطحی به دلیل هزینه اولیه پایین، طراحی ساده، کارایی و عملیات آسان، روشی مناسب برای حذف فلزات سنگین از محیط آبی محسوب می‌شود [۱۲، ۱۱]. جاذب‌های مختلف از جمله رس، زئولیت‌ها، قسمت‌های خشک گیاه، توده زباله‌های کشاورزی، بیوپلیمرها، اکسیدهای فلزی، میکروارگانیس‌ها، لجن فاضلاب، خاکستر و کربن فعال برای حذف فلزات سنگین مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۱۴، ۱۳]. روش جذب با اکسیدهای آهن به منزله روش اقتصادی و موثر با پتانسیل بالای حذف و بازیافت فلزات از پساب شناخته شده است [۱۳]. از جمله اکسیدهای آهن که به دلیل دارا بودن ویژگی‌هایی مانند سطح مخصوص می‌تواند در فرآیند جذب

آلاینده‌ها در محیط آبی مورد استفاده قرار گیرد، هماتیت است. پساب کارخانه فرآوری معدن مس سونگون به علت داشتن فلزات سنگین از جمله مس و سرب پیامدهای مخربی را برای محیط اطراف خود به همراه دارد. مجتمع مس سونگون در استان آذربایجان شرقی، در ۱۲۵ کیلومتری شمال شرقی تبریز و در فاصله ۷۳ کیلومتری شمال غرب شهرستان اهر و در ۲۵ کیلومتری منطقه کوهستانی شمال شهرستان ورزقان واقع شده است. موقعیت جغرافیای سد باطله زرنکاب (مخزن اصلی) کارخانه مس سونگون، در جنوب شرق معدن مس سونگون قرار دارد. این محدوده در منطقه کوهستانی قرار دارد که از جنوب به دشت اهر و ورزقان و از شمال به ارتفاعات ارسباران و دشت مغان محدود می‌شود. نوع سد باطله خاکی با هسته رسی به ارتفاع ۱۰ متر و طول تاج ۷۰ متر احداث شده است. به دلیل قرارگیری سد باطله معدن مس سونگون در بالادست زمین‌های کشاورزی و روستاها و همچنین به عنوان یکی از سرشاخه‌های سد ستارخان اهر، تهدیدهای زیست‌محیطی در مقایسه با سدهای آبی و معدنی به مراتب بیشتر است، بنابراین هرگونه نشت از سد، حتی در مقادیر ناچیز به دلیل ماهیت باطله ذخیره شده در مخزن سد، خطرات جدی محیط زیستی را به دنبال خواهد داشت. تاثیرات منفی زیست‌محیطی معدن و به ویژه کارخانه فرآوری این مجتمع بر رودخانه‌ها و جنگل‌های ارسباران که در مجاورت معدن قرار گرفته‌اند و به عنوان زیست کره زنده در فهرست‌های جهانی ثبت شده است، واضح و آشکار است. خنثی‌سازی و تصفیه این پساب، نه تنها موجب کاهش اثرات منفی و مخرب آن می‌شود، بلکه می‌توان با بازیابی آب موجود در پساب و بازگشت مجدد آن به چرخه کارخانه، دوباره از آن بهره برد.

تاکنون از هماتیت کمتر به عنوان جاذب برای حذف آلاینده‌های فلزی از پساب استفاده شده است، بنابراین در تحقیق حاضر حذف فلزات سنگین مس و سرب به روش جذب سطحی و با استفاده از جاذب هماتیت (به دلیل دارا بودن سطح مخصوص بالا و تبادل پروتون مستقیم در سطح) به عنوان یکی از اکسیدهای آهن از پساب شبیه‌سازی شده در آزمایشگاه و پساب واقعی از سد باطله مس سونگون مطالعه خواهد شد. به دلیل وجود خطای دستگاه آزمایشگاه در حدود یک میلی‌گرم بر لیتر برای به دست آوردن نتایج دقیق، مطالعات بهینه‌سازی شرایط آزمایش بر روی پساب شبیه‌سازی شده انجام شده است. در این مطالعه ضمن شناسایی پساب و جاذب مورد

استفاده، پارامترهای موثر در فرآیند جذب نیز مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

۲-۱-۱- پساب های مورد استفاده

در ابتدا برای بررسی‌های اولیه، نمونه پساب خروجی کارخانه فرآوری مس سونگون (ورودی به سد باطله) تهیه شد، سپس با توجه به شناسایی ویژگی‌های پساب واقعی، نمونه پساب شبیه‌سازی شده به صورت مصنوعی با غلظت‌های مطابق روش شرح داده شده در بند ۲-۳، در آزمایشگاه تهیه و در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به اثر جذبی رقابتی و وجود یون‌های مزاحم بر فرآیند جذب، در پساب شبیه‌سازی شده تنها فلزات مس و سرب مد نظر قرار گرفت. بر اساس نتایج آنالیز ICP غلظت عناصر موجود در پساب کارخانه مس سونگون بر حسب میلی‌گرم بر لیتر در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: غلظت برخی از فلزات سنگین در پساب کارخانه فرآوری سونگون و غلظت مجاز آن‌ها در آب آشامیدنی و خروجی فاضلاب‌ها (میلی‌گرم / لیتر)

ردیف	فلز سنگین	غلظت فلز سنگین	غلظت مجاز در پساب و فاضلاب‌ها [۱۵]	غلظت مجاز در آب شرب [۱۵]
۱	کادمیم	<۰٫۰۵	۱	۰٫۰۰۳
۲	آرسینیک	<۰٫۰۵	۰٫۱	۰٫۰۱
۳	کروم (VI)	۰٫۳۴	۰٫۵	۰٫۰۵
۴	سرب	۰٫۲۷	۰٫۱	۰٫۰۱
۵	مس	۴۴٫۴۸	۱	۰٫۱
۶	نیکل	۰٫۸۸	۲	۰٫۰۲
۷	نقره	<۰٫۰۵	۱	۰٫۰۵
۸	روی	۳٫۰۴	۲	۰٫۲

۲-۱-۲- مواد شیمیایی

در این تحقیق از هماتیت سنتز شده در آزمایشگاه به عنوان جاذب و برای ساخت جاذب‌ها و همچنین آزمایشات مورد نیاز از ترکیباتی مانند HCl ، H_2SO_4 ، H_2O_2 ، $NaOH$ ، Fe_2SO_4 استفاده شده است.

همه مواد برای اطمینان از محصولات مرک تهیه شده است.

۲-۲- روش‌ها

۲-۲-۱- شناسایی نمونه

برای آنالیز پساب‌ها، تعیین میزان فلزات سنگین و نیز آزمایش محلول‌ها پس از اعمال جاذب برای جذب از روش ICP با دستگاه ICP ساخت شرکت واریان ایتالیا مدل Liberty برای آنالیز و تعیین ترکیب فازی جاذب تهیه شده با دستگاه XRD مدل XPert MPD، شرکت فیلیپس در دانشگاه تربیت مدرس انجام شد.

۲-۲-۲- سنتز جاذب هماتیت

برای سنتز جاذب هماتیت ابتدا ۱۰/۶ گرم نمک سولفات آهن در یک ارلن ۲۵۰ سی‌سی حاوی ۱۰۰ سی‌سی آب دیونیزه شده که pH آن روی ۴ تنظیم شده بود، اضافه و در مرحله بعد برای بالا بردن Eh محلول از H_2O_2 استفاده شد. در این مرحله H_2O_2 به صورت قطره قطره به محلول اضافه و Eh محلول روی ۷۰۰ میلی‌ولت پتانسیل استاندارد تنظیم شد. این محلول در دستگاه انکوباتور (شیکر) در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت در ۱۷۰ دور بر دقیقه همزده و شرایط تشکیل آن فراهم شد. در مرحله آخر هم محلول فوق با استفاده از دستگاه فیلتر خلا از کاغذ صافی رد شده و رسوبات تشکیل شده جدا شد. در نهایت هم کیک حاصل در دستگاه خشک‌کن در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گرد به مدت ۱۲ ساعت خشک شد. رسوب خشک شده حاصل در دمای ۵۵۰ سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت در کوره قرار داده شد. در مرحله آخر ماده حاصل در پودرکن به مدت ۳۰ دقیقه پودر شد. بخشی از نمونه به اندازه ریز و یکنواخت تبدیل شده و بعد نمونه برای ارسال به آنالیز XRD آماده شد. به دلیل آن که بار سطحی هماتیت به pH محلول وابسته است، می‌تواند علاوه بر مشارکت در جذب فیزیکی، از طریق تبادل یون نیز امکان حذف آلاینده‌ها در محلول را میسر سازد.

۲-۲-۳- تهیه پساب شبیه‌سازی شده

به دلیل وجود یون‌های مختف و مزاحم در پساب واقعی و همچنین پدیده جذب رقابتی، در گام اول سعی شد پساب شبیه‌سازی شده مورد استفاده در فرآیند جذب قرار گیرد. با

برای فرآیند از ۱ تا ۲۴۰ دقیقه گرفته شد. در زمان‌های ۵، ۱۰، ۳۰، ۶۰، ۱۲۰ و ۲۴۰ دقیقه نمونه برداری از پساب انجام شد. برای به دست آوردن میزان جذب و بازدهی حذف فلزات سرب و مس از پساب، غلظت فلزات یاد شده در محلول پس از انجام فیلتراسیون و سانتریفیوژ نمونه اندازه گیری شد. میزان جذب بعد از pH و زمان تماس باید مورد بررسی قرار گیرد. در این قسمت نیز محلول‌ها با غلظت و شرایط به دست آمده از مراحل قبلی آماده شد. محدوده میزان جذب برای جذب مس، سرب با جذب هماتیت در حدود ۱ تا ۸ گرم بر لیتر بوده است. اثر غلظت اولیه ماده جذب شونده نیز در زمان تماس، میزان جذب و pH بهینه بررسی شد. محدوده غلظت نیز بین ۱۰ تا ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر برای مس انتخاب شد. آزمایش‌ها با تکرار و نتایج آن‌ها برای عدم بروز اشتباه با یکدیگر مقایسه شد.

بازدهی جداسازی برای این سری از آزمایش‌ها از رابطه ۱ به دست آمد.

$$\% \text{ Removal} = \frac{(C_i - C_f)}{C_i} \times 100 \quad (1)$$

که در آن:

C_i : غلظت اولیه (ppm)

C_f : غلظت نهایی مواد جذب شده (ppm) است.

q_i (mg/g) نیز از رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$q_i = (C_i - C_f) \times \frac{V}{M} \quad (2)$$

که در آن:

C_i : غلظت اولیه (ppm)

C_f : غلظت در زمان تماس (ppm)

V : حجم محلول (میلی لیتر)

M : جرم جذب (g) است.

ظرفیت جذب در حالت تعادلی (q_e) نیز از معادله ۳ محاسبه می‌شود.

$$q_e = (C_i - C_e) \times \frac{V}{M} \quad (3)$$

که در آن:

C_i : غلظت اولیه (ppm)

C_e : غلظت در حالت تعادل (ppm)

V : حجم محلول (میلی لیتر)

M : جرم جذب (g) است.

توجه به آنالیز پساب کارخانه فرآوری مس سونگون، فلزات مس و سرب به دلیل غلظت و سمیت قابل توجه برای ساخت پساب شبیه سازی شده انتخاب شد. برای تهیه محلول مس در غلظت‌های مختلف، ابتدا با استفاده از نمک سولفات مس (II)، با فرمول شیمیایی ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)، یک محلول با غلظت ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر تهیه شد، سپس محلول‌های با غلظت‌های مختلف با استفاده از این محلول، با رقیق سازی تهیه شد. برای تهیه سرب هم از روش بالا استفاده شد. محلول اولیه سرب با غلظت اولیه ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر با استفاده از نمک نیترات سرب با فرمول شیمیایی ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) تهیه شد. برای تنظیم pH محلول نیز از اسید کلریدریک (HCl) و سود (NaOH) استفاده شد.

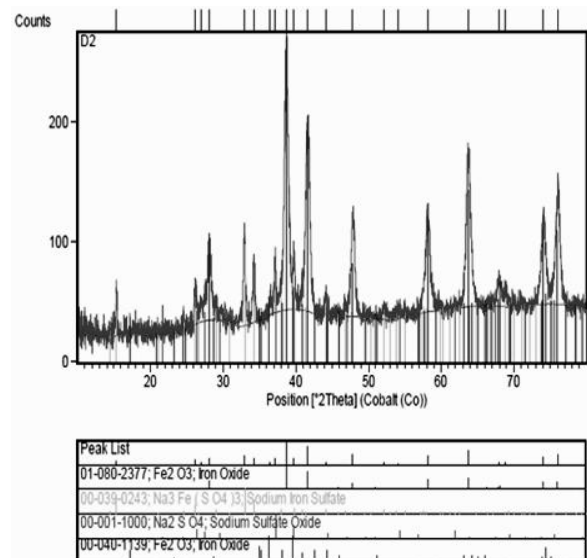
۲-۲-۴- آزمایش‌های جذب

آزمایش‌های جذب با استفاده از دستگاه انکوباتور با ۱۷۰ دور بر دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد و به صورت ناپیوسته انجام شد. غلظت‌های مورد نیاز از محلول‌های سرب و مس با رقیق کردن محلول اصلی به دست آورده شد. حجم تمامی محلول‌های استفاده شده ۵۰ میلی لیتر بود و بعد از انجام هر آزمایش با عمل فیلتراسیون محلول، جذب موجود جدا شده و نمونه برای آنالیز آماده شد. برای به دست آوردن شرایط بهینه در فرآیندهای جذب ابتدا باید pH بهینه معین شود. برای تعیین pH بهینه در فرآیندهای جذب سرب و مس بر روی جذب هماتیت، ۰٫۲ گرم از جذب جداگانه در ۵۰ میلی لیتر حجم محلول با غلظت آلاینده ۱۰ ppm اضافه شد. زمان واکنش نیز برای فرآیند جذب ۲ ساعت در نظر گرفته شد. محدوده عملیاتی pH برای جذب مس و سرب بر روی جذب هماتیت بین ۲ تا ۸ و دمای آزمایش نیز ۲۵ درجه سانتی گراد بوده است. در این بخش فقط بررسی اثر pH اولیه فرآیند جذب مهم بوده است و در طول آزمایش عملی برای ثابت نگه داشتن pH انجام نگرفت. میزان pH در ابتدا در میزان تنظیم شده و بعد از تنظیم pH محلول از آن در فرآیند جذب استفاده شد. pH در فرآیند بعد از اضافه کردن جذب کنترل شد. بعد از به دست آوردن pH بهینه، مهم ترین پارامتری که باید میزان بهینه آن تعیین شود، زمان تماس است. برای تعیین زمان بهینه (زمان تعادل)، ۰٫۲ گرم از جذب در ۵۰ میلی لیتر محلول با غلظت ۱۰ ppm اضافه شد. محدوده pH‌های محلول مقدار بهینه به دست آمده در مرحله قبلی بود. محدوده زمان تماس

۳- نتایج و بحث

۳-۱- پراش اشعه ایکس

پراش اشعه ایکس یک روش غیرتخریبی با چندین روش است که اطلاعات جامعی را درباره ترکیبات شیمیایی و ساختار کریستالی مواد طبیعی و صنعتی ارائه می‌دهد. در این تحقیق از آنالیز XRD برای شناسایی جاذب تولید شده و نیز تعیین فاز مواد اولیه تولید شده استفاده شد. الگوی پراش اشعه ایکس از هماتیت تهیه شده به روش رسوب شیمیایی است که در شکل ۱ ارائه شده است.



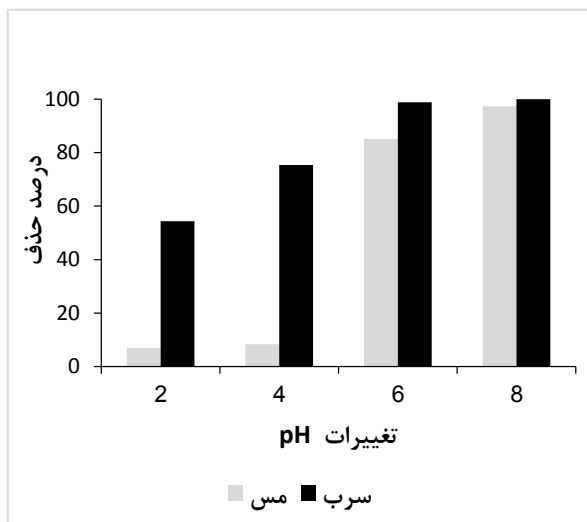
شکل ۱: نتایج آنالیز XRD برای جاذب هماتیت

پیک‌ها با پیک‌های مطالعات قبلی که در رابطه با هماتیت انجام شده است، تطابق دارد [۱۶]. همچنین وجود پیک‌های با نوسان کوتاه‌تر به عنوان ناخالصی هم مشاهده شد. در این شکل یکسری پیک‌های ثانویه وجود دارد که احتمالاً به دلیل فازهای آمورف تشکیل شده است. پیک‌های تشکیل شده گرایش زیادی به بلندترین پیک یعنی هماتیت دارند.

۳-۲- اثر pH

pH محلول یکی از مهم‌ترین عوامل موثر در فرآیند جذب است. pH معمولاً از سه روش تغییر بار سطحی جاذب، درجه یونیزاسیون و تغییر در ماهیت ماده جذب‌شونده در طول فرآیند جذب موثر است [۱۴، ۱۳]. اثر pH بر روی راندمان

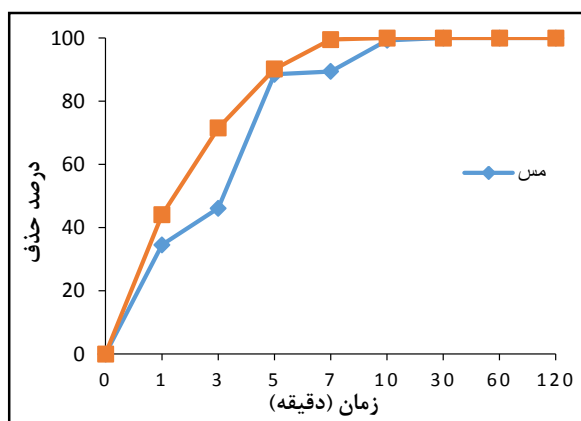
حذف سرب و مس با جاذب هماتیت در شکل ۲ نمایش داده شده است. شرایط آزمایش برای سرب، در غلظت اولیه سرب ۲۰/۵۲ ppm، زمان تماس ۱۲۰ دقیقه و دمای محیط ثابت ۲۵ درجه سانتی‌گراد در حجم محلول ۵۰ سی‌سی انتخاب شد. همچنین، شرایط آزمایش عنصر مس هم در غلظت اولیه مس ۲۰/۷۹ ppm، زمان تماس ۱۲۰ دقیقه، دمای محیط ۲۵ درجه سانتی‌گراد و محدوده pH بین ۲ تا ۸ انتخاب شد. در این pH بالای ۶، سرب به شکل هیدروکسید آن است و در این pH سرب رسوب می‌کند [۳]. بنابراین از pH > ۶ برای بررسی اثر pH بر روی سرب استفاده نشد. مطابق شکل ۲ هر چند که عمل حذف در pH برابر ۸ بیشتر است اما به علت رسوب سرب در این pH، میزان pH بهینه سرب در این مطالعه در حدود ۶ در نظر گرفته شد. برای عنصر مس هم طبق مشاهده در شکل، درصد حذف در pH برابر ۸ بیشتر است اما در این pH طبق مطالعات گذشته و تست‌های کنترلی بدون جاذب که در pH های ۶ و ۸ انجام شد، نشان داد که در pH حدود ۸، ۲۳ درصد حذف به صورت رسوب بوده و در واقع راندمان جذب با جاذب در pH حدود ۶ بیشترین است و در pH بالا درصد بالایی از حذف ناشی از عمل ترسیب خود عنصر است. بدین ترتیب pH حدود ۶ به عنوان pH بهینه برای مراحل بعدی جذب انتخاب شد.



شکل ۲: اثر pH بر روی جذب سرب و مس با جاذب هماتیت

۳-۳- اثر زمان بر روی میزان حذف با جاذب

همان‌طور که در شکل ۳ قابل مشاهده است بعد از گذشت حدود ۱۰ دقیقه راندمان جذب سرب به حداکثر خود رسیده و برای آلاینده مس هم بعد از گذشت ۱۶ دقیقه راندمان جذب به حداکثر خود رسیده است. این زمان‌ها برای آزمایش‌های بعدی جذب سرب و مس بر روی جاذب هماتیت به عنوان زمان بهینه واکنش انتخاب شد.



شکل ۳: اثر زمان بر روی جذب سرب و مس با جاذب هماتیت

۳-۴- بررسی سینتیک جذب

بسیاری از پدیده‌های جذب با جاذب‌های مختلف به زمان وابسته است. برای درک سینتیک واکنش و پیش‌بینی وضعیت جذب با زمان، اطلاع از سینتیک این فرآیندها بسیار مهم است. چندین مدل سینتیکی برای عمل جذب در فرآیندهای ناپیوسته به کار می‌رود. در این زمینه معادله‌های سینتیکی شبه مرتبه اول، شبه مرتبه دوم و نفوذ درون ذره‌ای است. البته در معادله شبه مرتبه اول و دوم فرض بر آن است که تفاوت بین q_e و qt نیروی اصلی بر روی عمل جذب است که میزان جذب نیز متناسب با این نیرو است [۱۳]. هر دوی این معادلات به صورت وسیعی برای بررسی داده‌های تجربی حاصل از جذب رنگ، آنیون‌ها و فلزات از محلول آبی بر روی جاذب‌های مختلف به کار می‌رود.

۳-۴-۱- معادله شبه مرتبه اول

معادله شبه مرتبه اول در رابطه ۴ ارائه شده است.

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - K_1 t \quad (4)$$

که در آن:

q_e : میزان جذب فلز در زمان t (میلی‌گرم بر گرم)

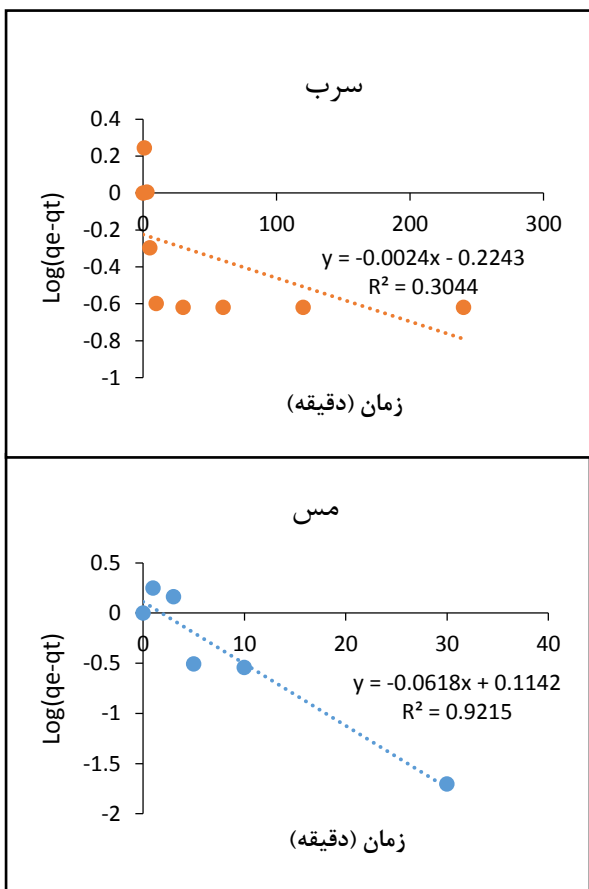
q_t : میزان جذب فلز در زمان تعادل (میلی‌گرم بر گرم)

K_1 : ثابت سرعت واکنش درجه اول (لیتر/ دقیقه) [۱۱]

است.

در این رابطه نیز با رسم $\ln\left(\frac{q_e}{q_e - q_t}\right)$ بر اساس t می‌توان

ثابت این رابطه را به دست آورد (شکل ۴).



شکل ۴: معادله خطی شده شبه مرتبه اول برای حذف سرب و مس بر روی جاذب

طبق یافته‌های شکل ۴ ثابت معادله شبه مرتبه اول برای

جذب سرب بر روی جاذب هماتیت $K_1 = 0.0024$ و ضریب

همبستگی برای این نمودار $R^2 = 0.30$ است و ثابت معادله شبه

مرتبه اول برای جذب مس روی جاذب هماتیت $K_1 = 0.0618$

و ضریب همبستگی برای مس روی جاذب در معادله

شبه مرتبه اول برابر با $R^2 = 0.92$ است.

۳-۴-۲- معادله شبه مرتبه دوم

و مس با جاذب هماتیت به خوبی با معادله شبه مرتبه دوم تطبیق دارد و می‌توان گفت که فرآیندهای جذب با معادله شبه مرتبه دوم کنترل می‌شود.

در رابطه ۵ معادله شبه مرتبه دوم ارایه شده است.

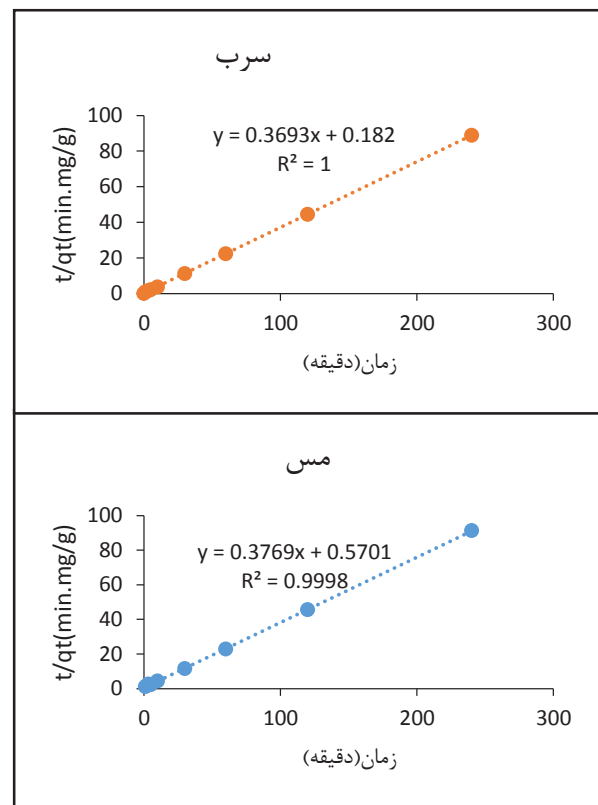
$$\frac{1}{q_e - q_t} = \frac{1}{q_e} + K_2 t \quad (5)$$

۳-۴-۳- مدل نفوذ درون ذره‌ای

در صورت وقوع پدیده نفوذ، اولین مرحله شامل نفوذ ماده جذب‌شونده از محلول به سطح خارجی جاذب است. نفوذ در منافذ جاذب دومین مرحله است که اگر این مرحله کنترل‌کننده باشد، می‌توان با استفاده از معادله نفوذ درون ذره‌ای این موضوع را مورد بررسی قرار داد [۱۸، ۱۷]. مرحله سوم نیز در سطح جاذب است که به طور کلی مرحله سوم این موضوع را بیان می‌کند که تعادل نهایی بر اساس غلظت بسیار پایین ماده جذب‌شونده در محلول و کم شدن سایت‌های فعال در جاذب برای عمل جذب اتفاق می‌افتد [۱۹]. نمودار مدل درون ذره‌ای بر حسب مقادیر qt در مقابل $t^{0.5}$ برای فلزات سرب و مس بر روی جاذب هماتیت رسم و در شکل ۶ ارایه شده است. مقدار ثابت این معادله K_1 را می‌توان با محاسبه شیب این خط به دست آورد. از آنجایی که آهنگ واکنش جذب تند است. از مدل نفوذ درون ذره‌ای برای بررسی مکانیزم جذب استفاده شده است. آهنگ کلی جذب از میزان نفوذ درون ذره و میزان نفوذ بر سطح ذره به دست می‌آید. مدل نفوذ درون ذره‌ای و بر-موریس برای تعیین مراحل جذب و آهنگ میزان نفوذ درون ذره‌ای استفاده می‌شود. بر اساس مدل نفوذ درون ذره‌ای، چنانچه جذب درون ذره‌ای باشد، فرآیند جذب شامل دو مرحله اول یعنی کنار زدن لایه روی جاذب و رسیدن بر روی سطح جاذب و نفوذ مولکول درون منافذ است [۱۹].

در این حالت نمودار qt نسبت به $t^{0.5}$ بهتر است، خطی باشد [۱۷]. نمودار چند خطی داده شده از جذب سرب و مس بر روی جاذب هماتیت اشاره به این دارد که فرآیند جذب در دو مرحله انجام می‌شود. بخش اول خطی نشان‌دهنده مرحله جذب تدریجی یا نفوذ درون ذره‌ای است و بخش دوم تعادل نهایی است. ثابت آهنگ نفوذ درون ذره‌ای از شیب نمودار خطی بخش دوم به دست می‌آید. مقدار C در بخش دوم اطلاعاتی در مورد ضخامت لایه مرزی را مهیا می‌کند. نتایج برازش مدل نفوذ درون ذره‌ای در جدول ۲ ارایه شده است.

معادله خطی شده مرتبه دوم نیز با رسم $(\frac{1}{q_e - q_t} - \frac{1}{q_e})$ بر اساس تغییرات زمان رسم خواهد شد [۱۱]. سپس با استفاده از شیب خط، q_e و بعد از آن با محاسبه عرض از مبدا این خط و داشتن q_e به راحتی می‌توان ثابت این معادله را به دست آورد (شکل ۵).



شکل ۵: رسم معادله خطی شده شبه مرتبه دوم برای حذف سرب و مس روی جاذب

ثابت معادله مرتبه دوم برای جذب سرب و مس بر روی جاذب هماتیت به ترتیب $K_2 = 0.36$ ، $K_2 = 0.37$ و ضریب همبستگی نیز برای سرب و مس به ترتیب $R^2 = 0.99$ ، $R^2 = 1$ است. طبق مدل‌های ارایه شده و داده‌های به دست آورده شده این موضوع به راحتی می‌توان دریافت که نتایج جذب سرب

میزان جاذب ۰٫۲ گرم در ۵۰ میلی‌لیتر محلول آبی به عنوان مقدار جاذب بهینه برای جاذب در آزمایشات بعدی در نظر گرفته شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود افزایش غلظت از ۱ تا ۴ گرم در لیتر تأثیر چندانی در راندمان حذف فلزات سرب و مس ندارد.



شکل ۷: اثر مقدار جاذب بر روی راندمان جذب سرب و مس با جاذب

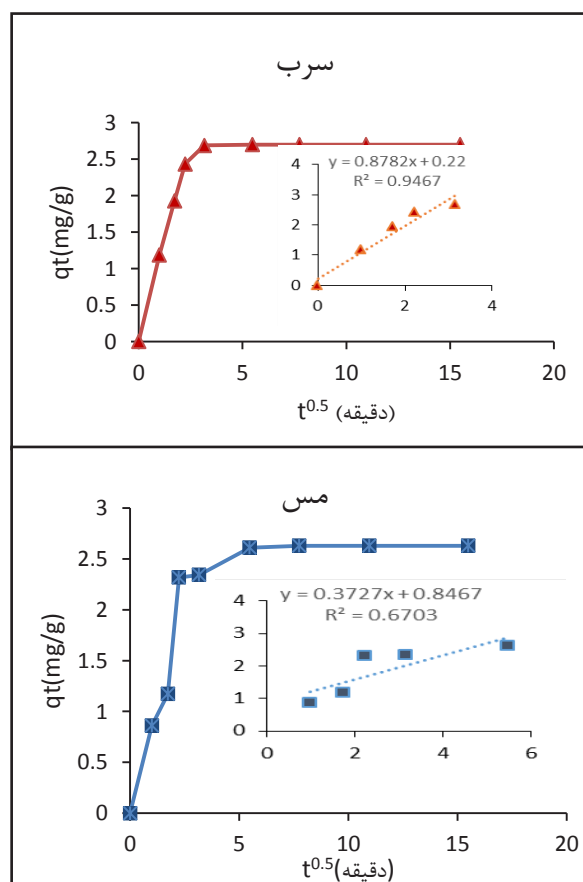
۳-۶- ایزوترم‌های جذب

ایزوترم‌ها رابطه بین غلظت ماده جذب‌شونده در محلول و میزان ماده جذب شده بر روی جاذب را در دمای ثابت نشان می‌دهند [۱۹]. در این تحقیق برای تفسیر نتایج از ایزوترم‌های لانگمویر و فرنلج استفاده شده است.

۳-۶-۱- نتایج ایزوترم لانگمویر

تئوری لانگمویر پوشش تک لایه ماده جذب‌شونده را در یک سطح جاذب هموزن تشریح می‌کند. این ایزوترم بر این فرض استوار است که عمل جذب برای هر سایت فقط یک مرتبه اتفاق می‌افتد و چنانچه عمل جذب برای یک ساختگاه رخ دهد، دیگر عمل جذب در آن اتفاق نخواهد افتاد [۱۹]. در معادله لانگمویر q_e همان ظرفیت جذب تعادلی، C_e غلظت تعادلی، q_0 بیشینه میزان جذب تک لایه‌ها است. q_0 را می‌توان ظرفیت جذب تئوری نیز نامید.

برای یافتن ثابت معادله K_L و q_{max} باید این معادله خطی‌سازی شود. با رسم C_e/q_e بر حسب C_e ، خطی به دست می‌آید که با استفاده از شیب آن q_{max} و با استفاده از عرض از



شکل ۶: رسم معادله خطی شده نفوذ درون ذره‌ای برای جذب سرب و مس روی جاذب

جدول ۲: مقادیر ثابت نفوذ درون ذره‌ای برای سرب و مس بر روی جاذب هماتیت

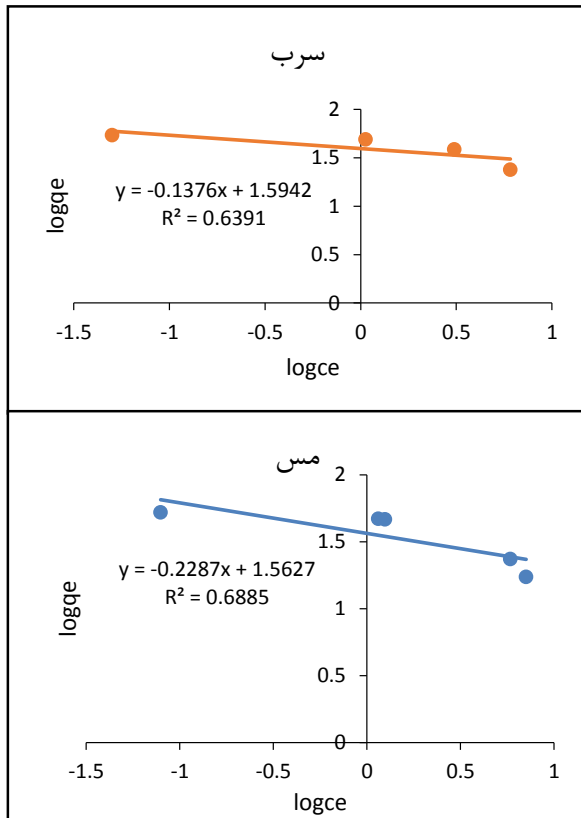
فلز	K_L ($mg \cdot gr^{-1} \cdot min^{0.5}$)	C ($mg \cdot gr^{-1}$)	R^2
مس	۰٫۳۷	۰٫۸۴	۰٫۶۷۰۳
سرب	۰٫۸۷	۰٫۲۲	۰٫۹۴۶۷

۳-۵- اثر میزان جاذب بر روی راندمان جذب

برای بررسی میزان جاذب بر روی راندمان حذف سرب و مس بر روی جاذب هماتیت مقادیر مختلف جاذب از ۰٫۰۵ تا ۰٫۲ گرم در ۵۰ میلی‌لیتر محلول آبی در غلظت اولیه ۴۷٫۷۹ ppm از سرب و ۵۰ ppm مس در pH و زمان تماس بهینه استفاده شد. نتایج در شکل ۷ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش میزان جاذب از ۰٫۰۵ تا ۰٫۲ گرم راندمان حذف افزایش یافته است. در مقدار جاذب بیش از ۰٫۲ گرم جاذب اثر چندانی بر روی راندمان حذف ندارد و بنابراین

۳-۶-۲- نتایج ایزوترم فرندلیچ

معادله فرندلیچ هم بر خلاف لانگمویر بر اساس سطح غیرهمگن یا هتروژن بنا شده است. در معادله لانگمویر فرض بر آن است که آنتالپی جذب مستقل از میزان جذب شده است ولی در ایزوترم فرندلیچ فرض می‌شود که آنتالپی جذب یک کاهش لگاریتمی با افزایش میزان سایت‌های اشغال شده دارد [۲۰]. در این مدل ثابت‌های K_f در مدل $1/n$ وجود دارد که n شاخص مطلوبیت فرآیند جذب یا شدت جذب است و K_f ظرفیت جذب جاذب است. در این مدل، مقادیر n کمتر از یک نشان دهنده‌ی جذب ضعیف و مقادیر ۱-۲ و ۲-۱۰ به ترتیب بیانگر جذب به طور متوسط مشکل و مطلوب است [۲۱].

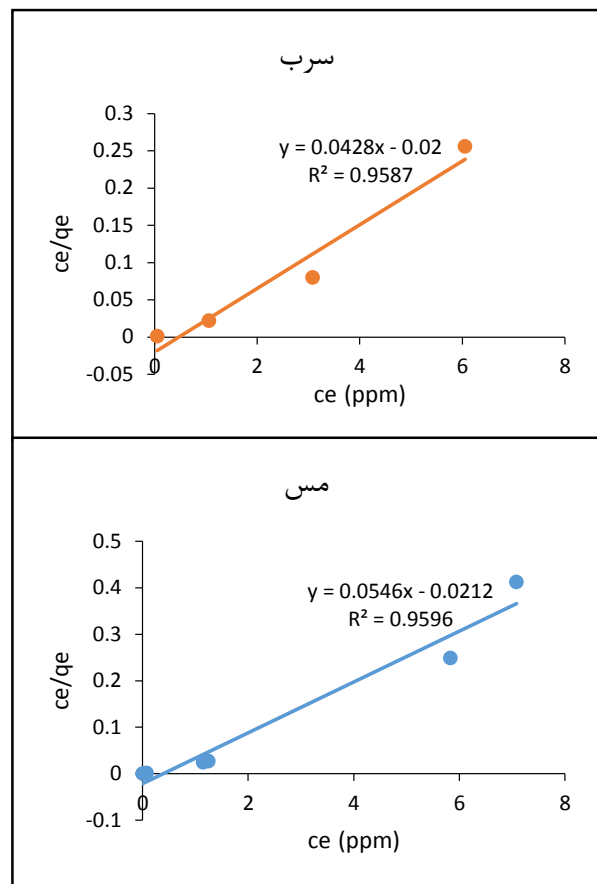


شکل ۹: نتایج ایزوترم فرندلیچ جذب سرب و مس بر روی جاذب

با محاسبه شیب خط و عرض از مبدا نمودار خطی $\text{Log } q_e$ در برابر $\text{Log } C_e$ می‌توان n و K_f را به دست آورد. نتایج برای جذب مس و سرب بر روی جاذب هماتیت در شکل ۹ آورده شده است. ثابت‌های معادله فرندلیچ، K_f و n تمام موارد

مبدا آن K_L به دست می‌آید.

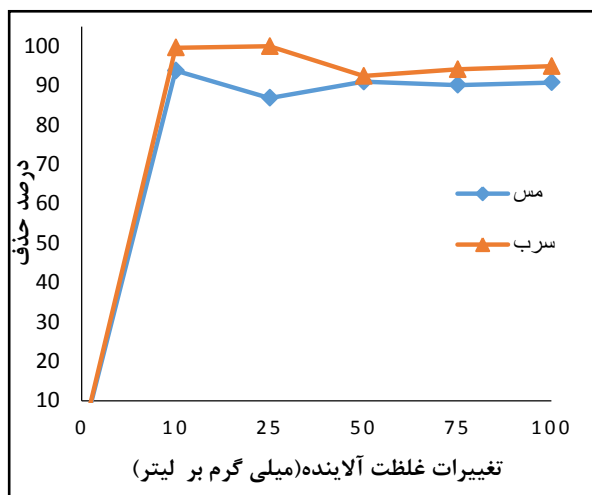
طبق نمودارهای شکل ۸ به دست آمده در این مطالعه q_{\max} به دست آمده بر اساس ایزوترم لانگمویر در دمای ۲۹۸ درجه کلوین برای آلاینده سرب بر روی جاذب هماتیت برابر ۲۳/۸۱ میلی‌گرم بر گرم و برای آلاینده مس بر روی جاذب هماتیت برابر ۱۸/۳۱ میلی‌گرم بر گرم است. مقدار ضریب همبستگی نیز برای آلاینده سرب بر روی جاذب هماتیت برابر $R^2=0.9587$ و برای آلاینده مس بر روی جاذب هماتیت $R^2=0.9596$ است.



شکل ۸: نتایج ایزوترم لانگمویر جذب سرب و مس بر روی جاذب

نتایج برای جذب مس و سرب با جاذب هماتیت در شکل ۸ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در نمودار به دست آمده در ایزوترم‌های لانگمویر شیب خط برای جذب سرب و مس بر روی جاذب مثبت است و برای هر دو جذب‌شونده بر روی جاذب در ایزوترم لانگمویر ضریب همبستگی بالاتر از ایزوترم فرندلیچ است که عملاً نشان می‌دهد که مدل ایزوترم لانگمویر برای این دو فرآیند جذب مناسب است.

غلظت‌های مختلف از محلول آبی سرب و مس تهیه و فرآیند جذب در شرایط بهینه برای هر دو آلاینده با جاذب هماتیت انجام شد. محدوده غلظت اولیه برای هر دو آلاینده سرب و مس از ۱۰ تا ۱۰۰ ppm انتخاب شد. نتایج را در نمودارهای شکل ۱۰ می‌توان مشاهده کرد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش غلظت محلول سرب و مس ظرفیت جذب افزایش یافته ولی بعد از غلظت ۵۰۰ ppm ثابت می‌شود و تغییر چندانی در آن مشاهده نمی‌شود. در توجیه این موضوع می‌توان گفت که زمانی که غلظت افزایش می‌یابد، فقدان سطح و سایت‌های فعال برای عمل جذب در غلظت‌های بالا، باعث می‌شود که جذب کمتری انجام شود و به نوعی می‌توان گفت این سطح و سایت‌ها میزان ثابتی است و زمانی که غلظت افزایش می‌یابد این سطح و سایت‌ها پر می‌شود و ظرفیت جذب افزایش می‌یابد و در نهایت افزایش غلظت بیشتر تا زمانی که سطح و سایت‌ها با ماده جذب‌شونده اشغال نشود باعث افزایش ظرفیت جذب می‌شود. دیگر افزایش غلظت تاثیری بر ظرفیت جذب ندارد.



شکل ۱۰: اثر غلظت اولیه بر ظرفیت حذف سرب و مس بر روی جاذب

موثر در عمل جذب مانند ظرفیت جذب و شدت جذب را به یکدیگر ارتباط می‌دهد و بر طبق دیاگرام‌های به دست آمده شکل ۹ در این مطالعه n به دست آمده بر اساس ایزوترم فرندلیچ در دمای ۲۹۸ درجه کلوین برای آلاینده سرب بر روی جاذب هماتیت برابر ۰٫۱۳۷۶ و برای آلاینده مس بر روی جاذب برابر ۰٫۲۲۸۷ است. مقدار ضریب همبستگی نیز برای آلاینده سرب بر روی جاذب هماتیت برابر $R^2=0.6391$ و برای آلاینده مس بر روی جاذب هماتیت $R^2=0.6885$ است. نتایج به دست آمده برای جذب مس و سرب با جاذب هماتیت در شکل ۹ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در دیاگرام به دست آمده در ایزوترم‌های فرندلیچ شیب خط برای جذب سرب و مس بر روی جاذب منفی است و برای هر دو جذب شونده بر روی جاذب ضریب همبستگی پایین‌تر و n به دست آمده نیز کمتر از یک است و این نشان‌دهنده آن است که ایزوترم برای جذب آلاینده‌ها روی جاذب‌های یاد شده مناسب نیست.

ضرایب پارامترهای مدل‌های ایزوترم لانگمویر و فرندلیچ در جدول ۳ ارائه شده است. طبق این جدول در ایزوترم فرندلیچ ضریب همبستگی (R^2) پایین‌تر از ضریب همبستگی ایزوترم لانگمویر است. ماکزیمم گنجایش جذب سرب و مس بر روی جاذب هماتیت و ثابت‌های معادله لانگمویر در این جدول آورده شده است و همچنین ظرفیت نسبی جذب (K_f) و n برای ایزوترم فرندلیچ ارائه شده است که n کمتر از یک است. طبق داده‌های به دست آمده در جدول بالا برای ایزوترم‌های لانگمویر و فرندلیچ عملاً نشان می‌دهد که معادله ایزوترم فرندلیچ برای این دو جاذب در این فرآیندها مناسب نیست و داده‌های به دست آمده حاکی از آن است که فرآیندهای جذب از مدل ایزوترمی لانگمویر تبعیت می‌کند.

۳-۷- اثر غلظت اولیه بر فرآیند جذب

برای بررسی اثر غلظت اولیه بر روی فرآیند جذب،

جدول ۳: ضرایب پارامترهای مدل ایزوترم‌های لانگمویر و فرندلیچ

ایزوترم فرندلیچ			ایزوترم لانگمویر			حذف فلز سنگین
R^2	n	k_f (mg/l)	R^2	n	q_{max} (mg/g)	
۰٫۶۳۹۱	۰٫۱۳۷۶	۱٫۳۴۰۷	۰٫۹۵۸۷	۲۳٫۸۱	۲٫۱۴	سرب
۰٫۶۸۸۵	۰٫۲۲۸۷	۱٫۲۹۹۰	۰٫۹۵۹۶	۱۸٫۳۱۹	۲٫۵۸	مس

۳-۸- بررسی جذب بر روی پساب کارخانه مس سونگون

برای حذف فلزات سنگین و سمی سرب و مس موجود در پساب کارخانه مس سونگون از شرایط بهینه به دست آورده شده در پساب شبیه‌سازی شده با استفاده از جاذب هماتیت استفاده شد. مشخصات پساب قبل از فرآیند جذب و بعد از فرآیند جذب با جاذب در قالب جدولی ارائه شده است. بر طبق جدول ۴ همان‌طور که مشاهده می‌شود این جاذب‌ها راندمان قابل قبولی در حذف سرب و مس را از خود نشان می‌دهد. بر این اساس می‌توان دریافت استفاده از جاذب اکسید آهن هماتیت می‌تواند در تصفیه پساب‌های صنعتی و معدنی حاوی آلاینده‌های فلزات سنگین موثر واقع شود.

جدول ۴: مشخصات پساب قبل از تصفیه و راندمان حذف بعد از تصفیه

راندمان حذف بعد از تصفیه با هماتیت (درصد)	غلظت ماده در پساب قبل از تصفیه	عنصر موجود در پساب
۸۰٫۷۴	۲۷۰ (ppb)	سرب
۹۸٫۱۰	۴۴٫۴۸ (ppm)	مس

۴- نتیجه‌گیری

شناسایی ساختار جاذب هماتیت تشکیل داده شده با دستگاه‌های XRD انجام شد. نتایج حاکی از آن بود که جاذب‌های در نظر گرفته شده با موفقیت سنتز شده است. زمان تعادل برای جذب آلاینده مس و سرب با جاذب هماتیت به ترتیب ۱۶ و ۱۰ دقیقه است. جذب سطحی یون‌های محلول سرب و مس در پساب شبیه‌سازی شده به میزان قابل توجهی به pH نهایی بستگی دارد. میزان pH بهینه برای حذف آلاینده‌های سرب و مس با جاذب سنتز شده در این مقاله محدوده pH ۵ تا ۶ است. در شرایط یکسان از لحاظ pH، غلظت اولیه یون‌های اولیه سرب و مس و غلظت و مقدار جاذب به کار رفته، درصد‌های حذف سرب و مس در مقایسه با درصد‌های حذف از پساب شبیه‌سازی شده قدری کمتر است. این امر به احتمال زیاد به دلیل وجود برخی یون‌های دیگر و پدیده جذب رقابتی در پساب واقعی است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که جذب یون‌های سرب و مس با جاذب مورد استفاده، از مدل ایزوترم لانگمویر به خوبی تبعیت می‌کند. بر این اساس احتمالاً پدیده جذب به صورت تک لایه و فیزیکی

و سطح جاذب نیز یکنواخت است. داده‌های سینتیکی فرآیند جذب یون‌های سرب و مس روی سطح جاذب هماتیت تطابق خوبی را با معادله شبه مرتبه دوم نشان داد و از معادله شبه مرتبه دوم تبعیت می‌کند. بر اساس نتایج به دست آمده و با توجه به شرایط بهینه حاصل شده برای پساب شبیه‌سازی شده، جاذب سنتز شده برای حذف سرب (راندمان حذف حدود ۸۰ درصد) و مس (راندمان حذف حدود ۹۸ درصد) از پساب واقعی نیز به کار رفت. با توجه به نتایج حاصل شده می‌توان بیان داشت استفاده از جاذب هماتیت می‌تواند به عنوان بخشی از فرآیند تصفیه پساب مس سونگون مورد استفاده و بررسی بیشتر قرار گیرد. اگرچه به دلیل پیچیدگی‌های پساب واقعی، دست یافتن به کارایی حذف قابل توجه به دلیل اثر یون‌های مزاحم نیازمند تحقیقات بیشتر است. همچنین با توجه به عیار پایین در محدوده، قاعدتاً حجم باطله و به تبع آن پساب بسیار زیاد است. با این حال نمی‌توان پساب‌ها را بدون هرگونه ملاحظه‌ای (اقدامی که در حال حاضر انجام می‌گیرد) در محیط رها کرد. برای تصفیه پساب و به طور کلی مدیریت زیست‌محیطی پساب باید پکیج جامع تصفیه با توجه به ویژگی‌های پساب کارخانه در نظر گرفت. فرآیند جذب به عنوان یک روش تصفیه تکمیلی و پیشرفته در قالب پکیج جامع تصفیه پساب کارخانه فرآوری پیشنهاد می‌شود که پس از فرآیندهای ابتدایی و مقدماتی مانند رسوب و ته‌نشینی می‌تواند در مدار قرار گیرد. از این رو در تحقیق حاضر سعی بر آن بود تا یک روش نسبتاً ارزان قیمت برای حذف آلاینده‌های فلزی مورد نظر قرار گیرد.

۵- مراجع

- [1] نصرتی، ن.؛ ۱۳۹۱؛ "جذب سطحی آنتیموان از پساب کارخانه زرشوران روی نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی پوشش داده شده بر روی کانی‌های صنعتی". پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، ص ۱۱-۱۰.
- [2] شهبازی، ا.؛ ۱۳۹۲؛ "حذف و بازبازی توریم و اورانیم از محلول‌های آبی با استفاده از نانو ذرات مغناطیسی پوشش دار". پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، ص ۱۶-۱۵.
- [3] Tan, Y., Chen, M., and Hao, Y. (2012). "High efficient removal of Pb (II) by amino-functionalized Fe3O4 magnetic nano-particles". Chemical Engineering Journal, 191: 104-111.
- [4] Chitpong, N., and Husson, S. M. (2017). "High-capacity, nanofiber-based ion-exchange membranes for the selective recovery of heavy metals from impaired

- "Isotherm and thermodynamic studies of Zn (II) adsorption on lignite and coconut shell-based activated carbon fiber". *Chemosphere*, 92(8): 1053-1061.
- [13] Xi, Y., Mallavarapu, M., and Naidu, R. (2010). "Reduction and adsorption of Pb²⁺ in aqueous solution by nano-zero-valent iron—a SEM, TEM and XPS study". *Materials Research Bulletin*, 45(10): 1361-1367.
- [14] Boparai, H. K., Joseph, M., and O'Carroll, D. M. (2011). "Kinetics and thermodynamics of cadmium ion removal by adsorption onto nano zerovalent iron particles". *Journal of Hazardous Materials*, 186(1): 458-465.
- [15] WHO, (1984). "Guidelines for drinking-water quality". Recommendations, Volume 1, Geneva: World Health Organization.
- [16] dos Santos, R., Patel, M., Cuadros, J., and Martins, Z. (2016). "Influence of mineralogy on the preservation of amino acids under simulated Mars conditions". *Icarus*, 277: 342-353.
- [17] Chingombe, P., Saha, B., and Wakeman, R. J. (2006). "Sorption of atrazine on conventional and surface modified activated carbons". *Journal of Colloid and Interface Science*, 302(2): 408-416.
- [18] Kavitha, D., and Namasivayam, C. (2007). "Experimental and kinetic studies on methylene blue adsorption by coir pith carbon". *Bioresource Technology*, 98(1): 14-21.
- [19] Barkat, M., Nibou, D., Chegrouche, S., and Mellah, A. (2009). "Kinetics and thermodynamics studies of chromium (VI) ions adsorption onto activated carbon from aqueous solutions". *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 48(1): 38-47.
- [20] Yang, C. h. (1998). "Statistical mechanical study on the Freundlich isotherm equation". *Journal of Colloid and Interface Science*, 208(2): 379-387.
- [21] Freundlich, H. M. F. (1906). "Over the Adsorption in Solution". *The Journal of Physical Chemistry*, 57: 385-471.
- waters". *Separation and Purification Technology*, 179: 94-103.
- [5] Derikvandi, H., and Nezamzadeh-Ejehieh, A. (2017). "Designing of experiments for evaluating the interactions of influencing factors on the photocatalytic activity of NiS and SnS₂: Focus on coupling, supporting and nanoparticles". *Journal of Colloid and Interface Science*, 490: 628-641.
- [6] Zhao, P., Gao, B., Yue, Q., Liu, S., and Shon, H. K. (2016). "The performance of forward osmosis in treating high-salinity wastewater containing heavy metal Ni²⁺". *Chemical Engineering Journal*, 288: 569-576.
- [7] Carolin, C. F., Kumar, P. S., Saravanan, A., Joshiba, G. J., and Naushad, M. (2017). "Efficient techniques for the removal of toxic heavy metals from aquatic environment: A review". *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(3): 2782-2799.
- [8] Thong, Z., Han, G., Cui, Y., Gao, J., Chung, T. S., Chan, S. Y., and Wei, S., (2014). "Novel nanofiltration membranes consisting of a sulfonated pentablock copolymer rejection layer for heavy metal removal". *Environmental Science & Technology*, 48(23): 13880-13887.
- [9] Oguntimein, G. B. (2015). "Biosorption of dye from textile wastewater effluent onto alkali treated dried sunflower seed hull and design of a batch adsorber". *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 3(4): 2647-2661.
- [10] Li, H., Wang, X., Cao, L., Zhang, X., and Yang, C. (2015). "Gold-recovery PVDF membrane functionalized with thiosemicarbazide". *Chemical Engineering Journal*, 280: 399-408.
- [11] Teoh, Y. P., Khan, M. A., and Choong, T. S. (2013). "Kinetic and isotherm studies for lead adsorption from aqueous phase on carbon coated monolith". *Chemical Engineering Journal*, 217: 248-255.
- [12] Shrestha, S., Son, G., Lee, S. H., and Lee, T. G. (2013).



DOI: 10.30479/jmre.2019.9757.1205

Investigation of Lead and Copper Removal from Synthetic Sewage Sludge of Sungun Copper Plant Using Hematite Adsorbent

Nobari S.¹, Khodadadi Darban A.^{2*}, Jamshidi-Zanjani A.³

1- M.Sc Student, Dept. of Mining, Faculty of Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
siamnobary@modares.ac.ir

2- Professor, Dept. of Mining, Faculty of Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
akdarban@modares.ac.ir

3- Assistant Professor, Dept. of Mining, Faculty of Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
ajamshidi@modares.ac.ir

(Received: 12 Dec. 2018, Accepted: 28 Apr. 2019)

Abstract: There are several methods including physical, biological, and chemical procedures to remove heavy metals from water and wastewater. Adsorption is recognized as low cost and simple method with the high performance of heavy metals elimination from aqueous solution. Heavy metals removal by adsorption using iron oxides has always been a matter of interest due to the availability and low cost. In the present study, the feasibility of Pb and Cu removal from synthetic wastewater using hematite were investigated. Moreover, the effects of parameters including pH, dosage of adsorbent, dosage of contaminates, and removal time were studied. In this study, hematite was prepared using chemical precipitation method. The properties of the adsorbed compounds were determined using XRD analysis. Firstly, the adsorption process was investigated to remove lead and copper from simulated wastewater, then the attempt was to remove the mentioned metals from the original sewage sludge of Sungun factory. The optimal pH for the Pb and Cu removal was around 6. The maximum removal percent of Pb and Cu using hematite was determined as 94% and 90%, respectively. The adsorption process of Pb and Cu was in accordance with the pseudo-second order model. Further, the results revealed that the removal process of both cations were in accordance with the Langmuir isotherm model.

Keywords: Adsorption, Heavy metals, Hematite, Cu, Pb.

INTRODUCTION

Mining activities may be caused serious negative impacts on surface water quality due to release of heavy metals. Presence of heavy metals in aquatic systems could be dangerous due to their toxicity and non-biodegradability properties [1]. Thus, the removal of heavy metals from aquatic systems is considered as crucial issue. There are several methods for heavy metals removal from solution. However, adsorption is considered as one of the low cost method to eliminate heavy metals from aqueous phase [2]. Due to presence of heavy metals in Sungun copper factory wastewater, discharge of it to the environment could

have serious negative impacts on the environment. Thus, in the present study the removal of copper and lead from simulated wastewater of Sungun copper factory was studied. The hematite was selected as adsorbent due to its high capability to ion exchange.

METHODS

The hematite was synthesized using precipitation methods and characterized through the XRD pattern. Simulated wastewater contained Pb and Cu was used to removal procedure. Effect of pH, initial concentration, and contact time was studied. Moreover, isotherm and kinetics models were applied to interpret the obtained data.

FINDINGS AND ARGUMENT

Figure 1 presents the XRD patterns of synthesized hematite. It indicates that the synthesized adsorbent is hematite in accordance with the previous studies [3].

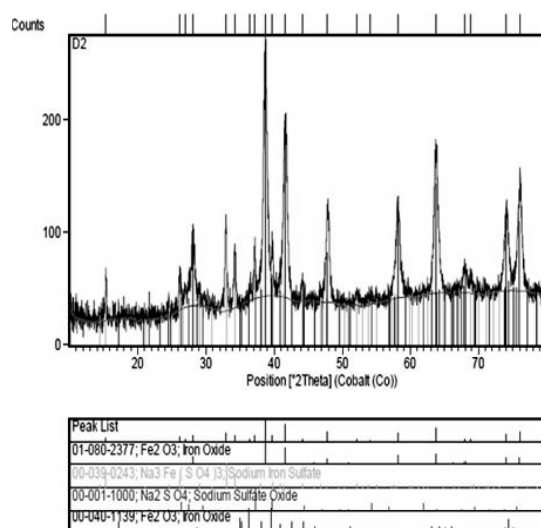


Figure 1. XRD patterns of the synthesized hematite

Based on the investigation of the effect of pH, it could be found that the optimum pH value is around 6 for the adsorption process of Pb and Cu. Moreover, results of the kinetics models revealed that the adsorption process of both Cu and Pb was in accordance with the pseudo-second order model (Figure 2).

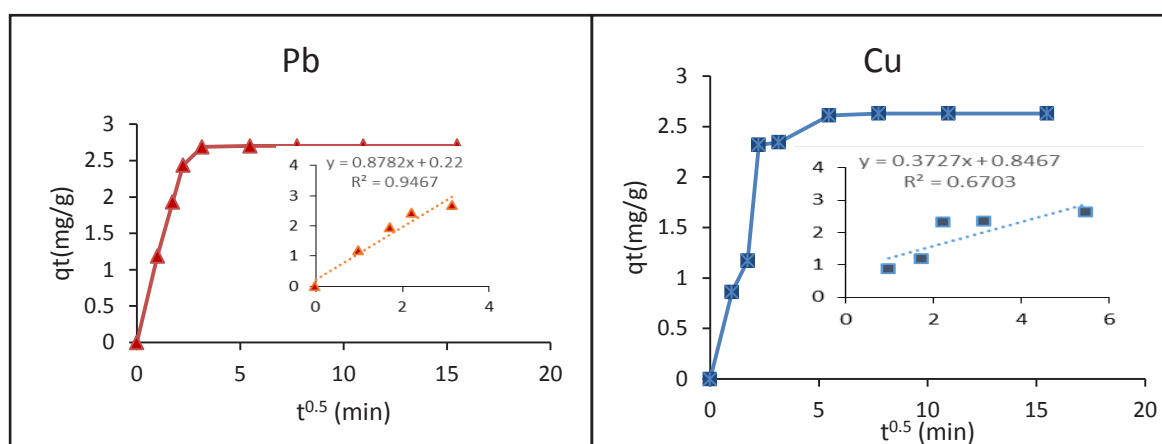


Figure 2. Kinetics model for the adsorption of Cu and Pb

Results of interparticle diffusion model revealed the multi-linearity of the adsorption process for both Cu and Pb. The first stage indicated the diffusion process and the second stage exhibited the equilibrium phase (Figure 3).

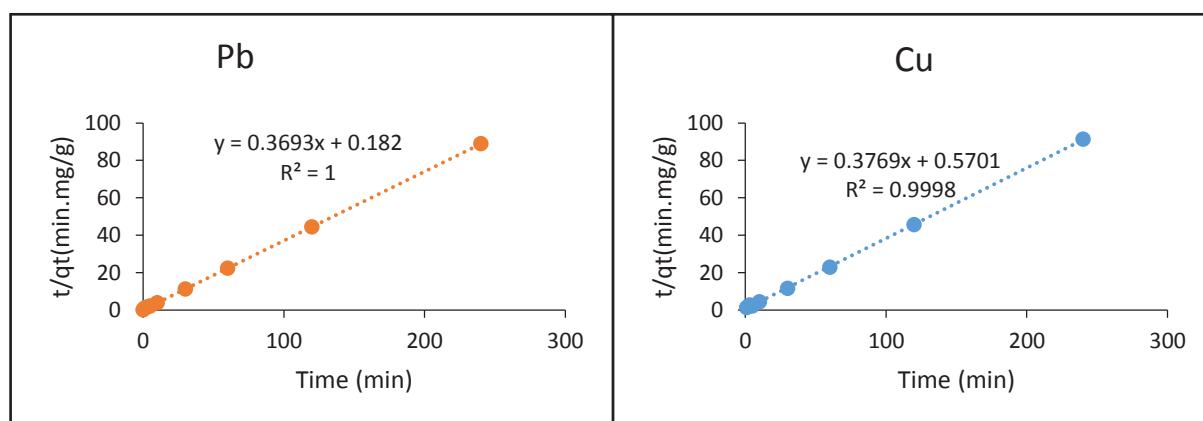


Figure 3. Interparticle diffusion model for the adsorption of Cu and Pb

Morover, results of the isotherm study indicated that the adsorption process of Cu and Pb was in accordance with the Langmuir isotherm model.

CONCLUSIONS

Results of the present study revealed that the adsorption process could be the well advanced treatment method for the removal of heavy metals from Sungun copper factory sludge. The fast removal of Cu and Pb with the high performance (more than 90%) indicated that adsorption is considered as useful tool for the remediation process.

REFERENCES

- [1] Tan, Y., Chen, M., and Hao, Y. (2012). "High efficient removal of Pb (II) by amino-functionalized Fe₃O₄ magnetic nanoparticles". *Chemical Engineering Journal*, 191: 104-111.
- [2] Chitpong, N., and Husson, S. M. (2017). "High-capacity, nanofiber-based ion-exchange membranes for the selective recovery of heavy metals from impaired waters". *Separation and Purification Technology*, 179: 94-103.
- [3] dos Santos, R., Patel, M., Cuadros, J., and Martins, Z. (2016). "Influence of mineralogy on the preservation of amino acids under simulated Mars conditions". *Icarus*, 277: 342-353.