

بررسی رفتار جذب یون‌های مس از محلول پساب‌های صنعتی توسط پودر چوب ذرت

ساره وفاخواه^{*}، محمد ابراهیم بحرالعلوم^۲، رضا بازرگان لاری^۳ و محسن سعیدی‌خانی^۱

چکیده

هدف از این پژوهش بررسی اثر پارامتر pH اولیه محلول، اندازه ذرات جاذب و مدت زمان تماس ماده جاذب بر میزان جذب یون‌های فلزی مس از محلول سولفات مس به وسیله پودر چوب ذرت طبیعی می‌باشد. ریخت شناسی سطح جاذب پیش و پس از جذب به وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مطالعه گردید. سطح متخلخل و لوله ای شکل چوب ذرت نشان دهنده قابلیت آن در جذب یون‌های فلزی موجود در محلول است. جهت بررسی میزان جذب تعادلی از مدل لانگمویر و مدل فرندلیچ استفاده شد. میزان q_{max} بدست آمده نشان داد که با افزایش pH اولیه محلول و کاهش اندازه ذرات جاذب، جذب یون مس به میزان بیش‌تری رخ می‌دهد. هم‌چنین، نتایج نشان داد که از دیگر پارامترهای موثر بر میزان جذب، زمان تماس محلول شامل یون‌های فلزی مس با ذرات پودر چوب ذرت می‌باشد، به گونه‌ای که بیش‌ترین میزان جذب در بیست دقیقه نخست بوده و پس از آن روند جذب چندان رو به افزایش نیست و پس از گذشت مدت زمان ۲ ساعت به مقدار ثابتی رسید.

واژه‌های کلیدی: چوب ذرت طبیعی، جذب، حذف یون مس.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مواد، دانشکده مهندسی دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

۲- استاد بخش مهندسی مواد، دانشکده مهندسی دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

۳- استادیار بخش مهندسی مواد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، مرودشت، ایران.

*- نویسنده مسئول مقاله: vafakhah.sareh@gmail.com

پیشگفتار

روند رو به رشد صنعتی شدن در جهان منجر به تولید حجم زیادی از پساب‌های حاوی مواد سمی از جمله یون‌های فلزات سنگین شده است. حضور یون‌های فلزی در پساب‌ها و آب‌های سطحی یکی از نگرانی‌های مهم در سلامت بشر و محیط زیست است. کاربرد زیاد فلزات و مواد شیمیایی در پروسه‌های صنعتی باعث تولید فضلاب‌هایی با درصد‌های بالایی از یون‌های فلزی می‌شود. همچنین، استخراج معادن و عملیات استخراجی متالورژیکی نیز ضایعات سمی زیادی را در فاز مایع به محیط زیست تحمیل می‌کنند که در نتیجه، توجه به حذف مواد آلوده کننده از پساب‌ها، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده است [۱].

مس و نمک‌های آن به گونه‌ای گسترده در صنایع شیمیایی همچون قارچ‌کش‌های کشاورزی، حمام‌های آبکاری الکتریکی و غیره استفاده می‌شود. یون مس همچون دیگر فلزات سنگین سمی می‌باشد و یکی از مواد آلاینده موجود در غذاهایی از جمله قارچ، شکلات، صدف و جگر است. غلظت بیش از حد مجاز یون مس در بدن انسان منجر به بیماری‌های معده و روده می‌شود [۱].

روش‌های زیادی برای بازیابی پساب‌های صنعتی در مقالات بیان شده است. روش‌های معمول برای حذف فلزات از پساب‌ها شامل رسوب دهی شیمیایی^۱، تبادل یون^۲، جذب به وسیله کربن فعال شده، پروسه‌های الکترولیتی و غیره است [۲]. بر اساس گزارش‌ها، کاربرد این روش‌ها به دلیل هزینه زیاد و بازده کم محدود است [۳، ۴]. جذب و تبادل یونی روش‌هایی موثر برای حذف فلزات سنگین از پساب‌هاست. استفاده از کربن فعال شده و رزین‌های پلیمری نیز به دلیل قدرت جذب بالا و توانایی تعویض یونی خوبشان متداول است، ولی از سوی دیگر، هزینه سرمایه‌گذاری و بازیافت آن‌ها بسیار بالاست [۲].

پروسه جذب شامل حضور جامدی جذب است که به وسیله نیروهای فیزیکی، تعویض یونی و پیوندهای شیمیایی مولکول‌ها را به هم پیوند می‌دهد. جذب باید به مقدار زیاد در دسترس، به راحتی قابل بازیافت و ارزان

باشد و همچنین، قدرت جذب بالایی داشته باشد. جذب بیولوژیکی یکی از فرایندهای نسبتاً نوین برای حذف آلودگی‌های محلول‌های آبی است. این روش مزیت‌های بسیاری نظیر هزینه کم و بازده بالا دارد. با استفاده از این شیوه می‌توان مقدار یون‌های فلزات سنگین را تا غلظت‌های بسیار پایینی کاهش داد [۳].

جاذب‌های بیولوژیکی آزمایش شده را می‌توان به چند دسته تقسیم نمود: باکتری‌ها مانند باسیل‌های سابتیلیز^۳، قارچ‌ها، مخمرها، جلبک‌ها، ضایعات صنعتی مثل ضایعات زیست توده‌ای ناشی از صنایع غذایی و تخمیری، ضایعات کشاورزی نظیر مغز ذرت و دیگر مواد پلی ساکارییدی [۴]. بحرالعلوم و صالحی [۵] از هیدروکسی آپاتیت برای جذب یون مس استفاده کرده‌اند. همچنین، بازرگان و همکاران [۶] نیز از کامپوزیت کایتوسن-هیدروکسی آپاتیت برای جذب یون مس از پساب‌های صنعتی استفاده کرده‌اند. برخی از مواد بیولوژیکی گیاهی نیز برای این منظور مورد استفاده قرار گرفته است. یکی از مواد بیولوژیکی گیاهی می‌تواند چوب ذرت باشد. تقریباً ۱۸ کیلوگرم چوب ذرت از ۱۰۰ کیلوگرم ذرت بدست می‌آید. این موضوع منجر به تولید بالای چوب ذرت به عنوان یک محصول فرعی یا ته مانده سلولزی در صنعت کشاورزی می‌شود [۷].

جذب بیولوژیکی فلزات بستگی به اجزای تشکیل دهنده موجود در دیواره جاذب، بویژه درون دیواره سلول و ساختار فضایی دیواره سلول دارد. برای مثال، در ساختار سطحی باکتری‌ها گروه‌های اسیدی پپتیدوگلیکان^۴ و غیره مهم‌ترین اجزاء شیمیایی بشمار می‌روند. در بیش‌تر مواد بیولوژیکی دیگر نیز گروه‌های پروتئینی، نقشی مهم در جذب فلزات دارند. برخی دیگر از گروه‌های موثر نظیر کربوکسیل^۵ نیز در فرآیند جذب یون‌های فلزی تاکنون شناخته شده‌اند [۴].

لیگنین به عنوان یک جزء ساختاری مهم در جاذب‌های بیولوژیکی می‌باشد. این زمینه شامل گروه‌های اساسی نظیر هیدروکسیل، متوکسیل و کربونیل می‌باشد که به تک مولکول لیگنین خاصیت قطبی بسیار قوی ارائه

³- Bacillus Subtillis

⁴- Peptidoglycan

⁵-Carboxyl

¹- Chemical Precipitation

²- Ion Exchange

مواد و روش‌ها

بمنظور تشخیص pH محلول‌های مورد نظر و هم‌چنین، تنظیم pH های دلخواه از pH متر مدل Metrohm استفاده شد. کالیبراسیون دستگاه با محلول‌های استاندارد با pH های مشخص ۴ و ۷ انجام گردید. جهت هم زدن محلول‌های تهیه شده از دستگاه همزن مغناطیسی مدل alfa D500 استفاده شد. این دستگاه قابلیت تنظیم توأم سرعت چرخش، زمان و دما را دارد. هم‌چنین، سطح طبیعی چوب ذرت به عنوان یک سطح متخلخل با کارایی موثر در فرآیند جذب با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی^۶ (SEM) مدل S-360 Cambridge بررسی شد. پس از فرایند جذب نیز، سطح چوب ذرت به وسیله SEM مورد مطالعه قرار گرفت. غلظت فلز سنگین مس پیش از انجام آزمایش و پس از فرایند جذب به وسیله چوب ذرت با استفاده از دستگاه جذب اتمی^۷ (AA) مدل A800 مطالعه گردید. با داشتن غلظت اولیه و غلظت نهایی فلز موجود در محلول، مقدار جذب اندازه‌گیری شد.

جهت تهیه محلول حاوی یون فلز سنگین مس از نمک سولفات مس بدون آب (CuSO₄) استفاده شد. غلظت‌های ۳، ۵ و ۶ میلی مولار از محلول سولفات مس تهیه گردید. جهت تنظیم pH محلول‌ها از HCl و NaOH با غلظت ۱ مولار استفاده شد. ماده جاذب در این پژوهش چوب ذرت بود که از مزارع کاشت ذرت تهیه گردید. ابتدا دانه‌های ذرت از سطح چوب جدا شده و پس از برش چوب تا حد ممکن، آسیاب شدند. سپس پودرها با آب مقطر شستشو و به مدت ۷۲ ساعت در معرض هوا قرار داده شدند. سپس پودر چوب ذرت با سه اندازه الک با مش‌های به ترتیب ۱۶، ۵۰ و ۱۲۰ به سه اندازه میانگین تقسیم شد: ۱- ۱/۱۹ میلی‌متر، ۲- ۰/۷۴۰ میلی‌متر و ۳- ۰/۲۱۱ میلی‌متر که دو اندازه ۰/۷۴۰ میلی‌متر و ۰/۲۱۱ میلی‌متر مورد بررسی قرار گرفت.

می‌کند [۳]. از آن جایی که لیگنین نقشی مهم در فرایند جذب داراست، بنابراین، برخی از پژوهشگران رفتار جذب یون‌های فلزی به وسیله این جزء را مورد مطالعه قرار داده‌اند. کمیر^۱ و کلایدسدل^۲ [۸] متوجه توانایی بالای لیگنین در پیوند دهی با فلزات شدند و رفتار جذب یون‌های مس را مطالعه کردند. الیاف نارگیل کربونیزه شده نیز به عنوان جاذب یون‌های فلزی سمی از پساب‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. جذب یون دو ظرفیتی مس از پساب‌های صنایع پوشش دهی به وسیله پوسته بادام زمینی نیز مطالعه شده است. نسر^۳ و مکدونالد^۴ [۹] مطالعات خود را در زمینه استوکیومتری گروه‌های متصل به لیگنین برای حذف یون آلومینیوم و آهن در pH های پایین و جذب مس در pH حدود ۵/۵ انجام دادند [۳].

افزون بر این موارد، پژوهش‌هایی نیز منحصراً در زمینه چوب ذرت بر حذف یون‌های گوناگون انجام گرفته است. وان^۵ و همکارانش [۱۰] چوب ذرت را با اسید فسفریک و اسید سیتریک اکسید نمودند و سپس آزمایش‌های خود را بر یون‌های Ni²⁺، Cd²⁺ و Pb²⁺ انجام دادند. بر اساس گزارش آنان قدرت تعویض یونی چوب ذرت اکسید شده بسته به نوع اسید استفاده شده و یون موجود در محلول متفاوت خواهد بود.

بررسی رفتار جذب یون‌های فلزات سنگین به وسیله جاذب‌های طبیعی از اهمیتی ویژه برخوردار است. زیرا استفاده از جاذب‌های بیولوژیکی زمانی کاربردی می‌شود که نیاز به کم‌ترین آماده سازی اولیه وجود داشته باشد. بنابراین، در این پژوهش تأثیر pH اولیه محلول، زمان تماس و هم‌چنین، اندازه ذرات جاذب بر بازده جذب یون فلز مس دو ظرفیتی به وسیله چوب ذرت طبیعی، بررسی شده است. هم‌چنین، ریخت شناسی سطح جاذب پیش و پس از فرایند جذب بمنظور مشاهده تأثیر سطح در جذب مطالعه گردید.

¹- Camire

²- Clydesdale

³- Nasr

⁴- MacDonald

⁵- Vaughan

⁶ - Scanning Electron Microscope

⁷ - Atomic Absorption

آزمایش‌های جذب

بمنظور محاسبه مقدار یون مس دو ظرفیتی جذب شده به وسیله چوب ذرت از رابطه (۱) استفاده می‌شود [۱۱].

$$q_e = (C_0 - C_e) * \frac{V}{M} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه (۱)، C_0 غلظت اولیه یون فلز سنگین و C_e غلظت پس از رسیدن به حالت تعادل بر حسب mmol/Lit است. V و M به ترتیب نشان دهنده حجم محلول و جرم ماده جاذب است. پارامتر q_e میزان ظرفیت جذب بر حسب میلی مول بر واحد جرم جاذب بر حسب گرم mmol/g را نشان می‌دهد.

از آنجایی که پودر چوب ذرت بسیار سبک بوده و دارای حجم زیادی است، مقدار ۴۰ گرم بر لیتر از چوب ذرت درون محلول حاوی یون مس با غلظت‌های اولیه ۳، ۵ و ۶ میلی مولار برای اندازه دانه های گوناگون ۰/۷۴ میلی متر و ۰/۲۱۱ میلی‌متر از جاذب، ریخته شد. pH های بکار رفته، pH طبیعی ۴/۵ و pH تنظیم شده ۲/۶ بود. از آزمایش‌ها در مقادیر بالاتر pH به دلیل رسوب فوری هیدروکسید مس آبی رنگ، چشم پوشی شد [۱].

۱۰۰ میلی‌لیتر از هرکدام از محلول‌های مورد نظر درون بشر ریخته شد. یک آهنربای مغناطیسی جهت هم زدن محلول، درون بشر قرار داده و سطح بشر بمنظور کمینه کردن تبخیر و به اطراف پاشیده شدن محلول، به وسیله پارافیلیم پوشانده شد. سپس بشر روی گرم‌کن مغناطیسی با دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. مقدار چرخش ۲۲۰ دور بر دقیقه (rpm) تنظیم گردید. مدت زمان هم خوردن محلول‌ها بمنظور ایجاد تعادل، ۱۲۰ دقیقه در نظر گرفته شد. پس از پایان فرآیند جذب، محلول‌ها از کاغذ صافی گذرانده تا جاذب‌ها از محلول جدا شوند و غلظت یون مس باقی مانده درون آن‌ها به وسیله دستگاه جذب اتمی اندازه گیری شد.

هم‌چنین، بمنظور بررسی اثر زمان تماس بر مقدار جذب، تعداد ۱۱ نمونه با غلظت ۳ میلی مولار و pH=۴/۵ طی مدت زمان ۵ تا ۱۲۰ دقیقه مورد آزمایش قرار گرفت.

مدل‌های هم دمای تعادلی

مدل‌های زیادی وجود دارد که می‌توانند رابطه بین جذب و غلظت باقی مانده جذب شونده در محلول را بیان کنند. معمول‌ترین این مدل‌ها، مدل لانگمویر^۱ و فرنرندلیچ^۲ می‌باشد.

مدل لانگمویر

مدل لانگمویر یکی از مهم‌ترین مدل‌های جذب یک لایه‌ای می‌باشد، که بر پایه تعداد ثابت مکان‌های جذب، بنا شده است و هر مکان نیز قابلیت دریافت یک مولکول جذب شونده را دارا می‌باشد. شرایط تمامی مکان‌ها یکسان است و هیچ برخوردی مابین مولکول‌های جذب شونده وجود ندارد [۱۲].

رابطه مدل لانگمویر به صورت زیر می‌باشد [۱۲]:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m b} + \frac{1}{q_m} C_e \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن q_m بیشینه ظرفیت جذب mmol/g و b ثابت جذب لانگمویر می‌باشد. برای محاسبه این دو پارامتر کافی است که نمودار C_e/q_e را بر حسب C_e رسم نمود.

مدل فرنرندلیچ

یکی دیگر از مدل‌های جذب هم دما، مدل فرنرندلیچ است که به صورت زیر بیان می‌شود [۱۱]:

$$q_e = K_f C_e \frac{1}{e^n} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن K و n ثوابت فرنرندلیچ می‌باشد. رابطه فرنرندلیچ یک معادله تجربی است. این مدل توانایی نهایی جذب ماده جاذب را نشان نمی‌دهد و بنابراین، برای بازه غلظت‌های نهایی پایین تا متوسط کاربرد دارد. این مدل را می‌توان به راحتی از راه رسم فرم لگاریتمی به صورت خطی بیان کرد.

¹ -Langmuir

² -Freundlich

نتایج و بحث در نتایج

مطالعات SEM

ریخت شناسی سطحی چوب ذرت پیش و پس از فرآیند جذب در شکل ۱ و شکل ۲ آورده شده است. واضح است که سطح جاذب دارای تخلخل و فرورفتگی‌های بسیار می‌باشد که دلیلی بر قابلیت جذب یون‌های فلزی به وسیله این جاذب بیولوژیکی است. ساختار متخلخل و لوله‌ای شکل چوب ذرت پیش از جذب با حرف (a) در شکل ۱ مشخص گردیده است. از مقایسه مکان‌های مشخص شده به وسیله حرف (b) در شکل ۲ با مکان‌های (a) در شکل ۱، سطح به نسبت صاف‌تر چوب ذرت پس از جذب مشخص گردید. تفاوت ایجاد شده پس از فرآیند جذب در تصویر SEM مورد نظر شاهدهی بر یون‌های فلزی جذب شده بر سطح جاذب می‌باشد، چرا که یون‌های فلزی در اثر پیوستن به سطوح متخلخل جاذب، حفره‌ها را پر کرده و سطح صاف‌تری به جا می‌گذارند.

جذب یون مس توسط چوب ذرت

با توجه به مقادیر C_e و Q_e به دست آمده از رابطه (۱)، شکل ۳ و ۴ ترسیم شد. سپس با استفاده از انطباق رابطه (۲) با شکل ۳ و شکل ۴، مقادیر بیشینه جذب (Q_{max}) و ثابت لانگمویر (b) برای اندازه دانه‌های ۰/۷۴۰ میلی متر و ۰/۲۱۱ میلی متر و pH های ۴/۵ و ۲/۶ به همراه مقادیر R^2 (ضریب همبستگی)^۱ مربوطه بدست آمد و در جدول ۱ گزارش گردید. هم‌چنین، با استفاده از انطباق خطی داده‌های تجربی بر رابطه لگاریتمی فرندلیچ (شکل ۵ و شکل ۶)، ثوابت فرندلیچ K_F و b_F بدست آمد و در جدول ۲ گزارش شد.

شکل ۳ و شکل ۴ نشان دهنده مدل هم دمای لانگمویر و شکل ۵ و شکل ۶ نشان دهنده مدل فرندلیچ برای جذب یون مس به وسیله چوب ذرت در pH ها و اندازه دانه‌های گوناگون است. هرچه قدر مقدار R^2 به یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده آن است که داده‌های آزمایشگاهی انطباقی بهتر با مدل مورد نظر دارند. با مقایسه مقدار R^2 در دو مدل ارائه شده، مقدار بیش‌تر R^2

در مدل لانگمویر (۰/۹۷۲ < ۰/۹۷۰) دلیلی بر انطباق بهتر این مدل نسبت به مدل فرندلیچ بر داده های بدست آمده می‌باشد.

اثر pH محلول بر بازده جذب یون مس توسط چوب ذرت

با توجه به مقادیر Q_{max} گزارش شده در جدول ۱ برای pH های متفاوت در دو اندازه دانه مورد نظر، واضح است که با افزایش pH، بازده جذب افزایش می‌یابد. همان‌گونه که در جدول ۱ دیده می‌شود، در اندازه دانه ۰/۷۴ میلی‌متر با کاهش مقدار pH از ۴/۵ به ۲/۶ مقدار Q_{max} از عدد ۰/۲۱ میلی مول بر گرم به ۰/۱۲۵ میلی مول بر گرم کاهش می‌یابد. هم‌چنین، در اندازه دانه ۰/۲۱۱ میلی‌متری ذرات جاذب، در اثر کاهش pH از ۴/۵ به ۲/۶ مقدار Q_{max} از ۰/۲۳۷ میلی مول بر گرم به ۰/۱۲۱ میلی مول بر گرم کاسته می‌شود. در بحث‌های مربوط به تأثیر pH در جذب، پارامتر pH_{pzc} مطرح می‌شود. pH_{pzc} مقداری است که در آن سطح ماده خنثی می‌باشد و برای هر ماده مقدار مشخصی دارد. بر اساس گزارش‌های لیوا-راموس^۳ و همکاران [۲] مقدار pH_{pzc} برای چوب ذرت عدد ۶ می‌باشد. در $pH_{pzc} > pH$ سطح جاذب مثبت بوده و هم‌چنین، غالب یون‌های فلزی هم به صورت کاتیون (M^{2+}) می‌باشند، در نتیجه، جذب به صورت رقابت H^+ و M^{2+} هست. بنابراین، هرچقدر pH کم‌تر شود اثر رقابتی یون H^+ برای جذب به سطح جاذب بیش‌تر شده و بازده جذب پایین می‌آید.

اثر اندازه ذرات جاذب بر بازده جذب یون مس به وسیله چوب ذرت

مقادیر Q_{max} برای دو اندازه ۰/۷۴ و ۰/۲۱۱ میلی‌متر نشان دهنده اثر مثبت کاهش اندازه بر بازده جذب است. کاهش اندازه ذرات منجر به افزایش سطح موثر جاذب و افزایش شانس جذب در سطح خارجی ذرات جاذب خواهد شد. افزون بر افزایش احتمال جذب در سطح خارجی ذرات، در نتیجه، کاهش اندازه احتمال نفوذ یون‌های فلزی از سطح خارجی به حفرات درونی بیش‌تر می‌شود از

²- Point of Zero Charge

³- Leyva-Ramos

¹- Correlation coefficient

جاذب بیولوژیکی ارزان قیمت و در دسترس چوب ذرت برای حذف یون فلز سنگین مس از پساب‌های صنعتی بوده است. با توجه به تخلخل بسیار ساختار چوب ذرت که توسط SEM مشاهده گردید، انتظار می‌رفت که جاذب مورد استفاده بازده مناسبی در جذب یون مس داشته باشد. نتایج سینتیک جذبی بدست آمده این انتظار را برآورده کرده و هدف از بکارگیری این جاذب محقق گردید. در مورد چوب ذرت، تأثیر پارامترهای اندازه دانه‌های جاذب، pH محلول حاوی مس و زمان تماس جاذب و ماده جذب شونده تحت بررسی قرار گرفت. بیشینه بازده جذب در اندازه دانه‌ی ۰/۲۱۱ میلی‌متر و $pH=4/5$ حاصل شد. این میزان برابر با ۰/۲۳۷ میلی‌مول یون مس بر گرم ماده جاذب بدست آمد. فرآیند جذب به وسیله دو مدل لانگمویر و فرندلیچ بررسی شد و با توجه به مقادیر R^2 بدست آمده مشخص گردید که مدل لانگمویر هم‌خوانی بهتری با داده‌های تجربی بدست آمده دارد. همچنین، تأثیر مدت زمان تماس چوب ذرت و محلول حاوی مس بررسی شد. در ابتدای فرآیند جذب، نرخ جذب زیاد بوده، اما با گذشت زمان و کم‌تر شدن مکان‌های فعال در جذب، نرخ جذب کاسته می‌شود و در نهایت، پس از گذشت ۱۲۰ دقیقه تغییر چندانی در غلظت مس باقی مانده در محلول مشاهده نگردید.

سپاسگزاری

از جناب آقای دکتر زارع، مسئول محترم آزمایشگاه جذب دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت جهت همکاری در استفاده از دستگاه جذب اتمی و انجام آزمون‌های مربوطه سپاسگزاری می‌شود.

سوی دیگر، مقاومت نفوذ برای انتقال جرم در ذرات کوچک‌تر کم‌تر است. تأثیر منفی فاکتورهای متفاوت نظیر طول مسیر نفوذ، مقاومت انتقال جرم و انسداد برخی از مسیرهای نفوذ، در اندازه‌های بزرگ‌تر منجر به بلا استفاده ماندن سطوح داخلی ذرات در جذب شده و باعث کاهش بازده جذب می‌شود.

اثر مدت زمان تماس جاذب و ماده‌ی جذب شونده بر

بازده جذب یون مس به وسیله چوب ذرت

بر اساس جدول ۳ بمنظور بررسی اثر زمان تماس بر میزان جذب، تعداد ۱۱ نمونه با غلظت ۳ میلی‌مولار و $pH=4/5$ طی مدت زمان ۵ تا ۱۲۰ دقیقه مورد آزمایش قرار گرفت و مقدار جذب یون مس در زمان مربوطه (q_t) بر اساس رابطه (۱) اندازه‌گیری شد. با توجه به شکل ۷ مشاهده می‌شود که در ابتدا نرخ جذب زیاد بوده، اما با گذشت زمان، بویژه پس از بیست دقیقه ابتدایی، نرخ جذب کاسته می‌شود. دلیل این امر، حضور مکان‌های فعال زیاد در سطوح جاذب در ابتدای فرآیند جذب می‌باشد که پس از حدود بیست دقیقه تقریباً به مرز اشباع نزدیک می‌شوند و نرخ جذب کاسته می‌شود. زمان تعادل با تغییر نوع جاذب و خصوصیات جذبی مربوط به آن متغیر است. با توجه به شکل ۷ مشاهده می‌گردد که پس از طی مدت زمان ۲ ساعت، شیب نمودار به صفر نزدیک می‌شود بنابراین، زمان تعادل برای جذب یون مس به وسیله چوب ذرت تقریباً برابر با ۲ ساعت می‌تواند در نظر گرفته شود.

نتیجه‌گیری

هدف از انجام این پژوهش، بررسی بازده جذب و بهینه سازی شرایط حاکم بر فرآیند جذب بمنظور استفاده از

References

- 1- M. Nasiruddin Khan, and M. Farooq Wahab, "Characterization of Chemically Modified Corncobs and Its Application in the Removal of Metal Ions from Aqueous Solution.", Hazardous Materials, Vol. 141, pp. 237-244, 2007.
- 2- R. Leyva-Ramos, L.A. Bernal-Jacome, and I. Acosta-Rodriguez, "Adsorption of

Cadmium(II) from Aqueous Solution on Natural and Oxidized Corncob.", Separation and Purification Technology, Vol. 45, pp. 41-49, 2005.

- 3- A. Demirbas, "Heavy Metal Adsorption Onto Agro-Based Waste Materials A Review.", Hazardous Materials, Vol. 157, pp. 220-229, 2008.

- 4- J. Wang, C. Chen, "Biosorbents for Heavy Metals Removal and Their Future.", *Biotechnology Advances*, Vol. 27, pp. 195-226, 2009.
- ۵- م.ا. بحر العلوم، ز. صالحی، "مقایسه میزان جذب فلز مس توسط هیدروکسی اپاتیت تری کلسیم فسفات با تغییر pH محیط"، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، سمنان، ۱۳۹۰.
- 6- R. Bazargan Lari, M.E. Bahrololoom, and A. Nemati, "Sorption Behavior of Zn Ions by Low Cost and Biological Natural Hydroxyapatite Chitosan Composite from Industrial Waste Water", *Food, Agriculture and Environment*, Vol. 9, pp. 892-899, 2011.
- 7- M.O. Bagby, N.M. Widstrom, *Corn: Chemistry and Technology*, p. 575, American Association of Cereal Chemists Inc., St Paul, MN, U.S.A, 1987.
- 8- A.L. Camre, F.M. Clydesdale, "Effect of pH and Heat Treatment on the Binding of Calcium, Magnesium, Zinc, Iron to Wheat Bran and Fractions of Dietary Fibers.", *Food Science*, Vol.46, pp. 548-551, 1981.
- 9- M.S. Nasr, D.G. MacDonald, "Colour Removal from Kraft Mil Caustic Extraction Effluent Using Aluminum and Iron", *Chemical Engineering*, Vol. 56, pp. 87-93, 1978.
- 10- T. Vaughan, W.S. Chung, W.E. Marshall, "Removal of Selected Metal Ions from Aqueous Solution Using Modified Corncobs", *Bioresource Technology*, Vol. 78, pp. 131-139, 2001.
- 11- S. Chen, Q. Yue, B. Gao, Q. Li, X. Xu, "Removal of Cr(VI) from Aqueous Solution Using Modified Corn Stalks : Characteristic, Equilibrium, Kinetic and Thermodynamic Study.", *Chemical Engineering*, Vol. 168, pp. 909-917, 2011.
- 12- R. Bazargan Lari, "Preparation of Chitosan from Shrimp Shell and Adsorption of Heavy Metal Ions from Aqueous Solutions by Chitosan Hydroxy Apatite", Ph. D., Thesis Shiraz University, Shiraz, Iran, 2011.

پیوست‌ها

جدول ۱- ثوابت لانگمویر برای جذب یون مس توسط دانه های چوب ذرت.

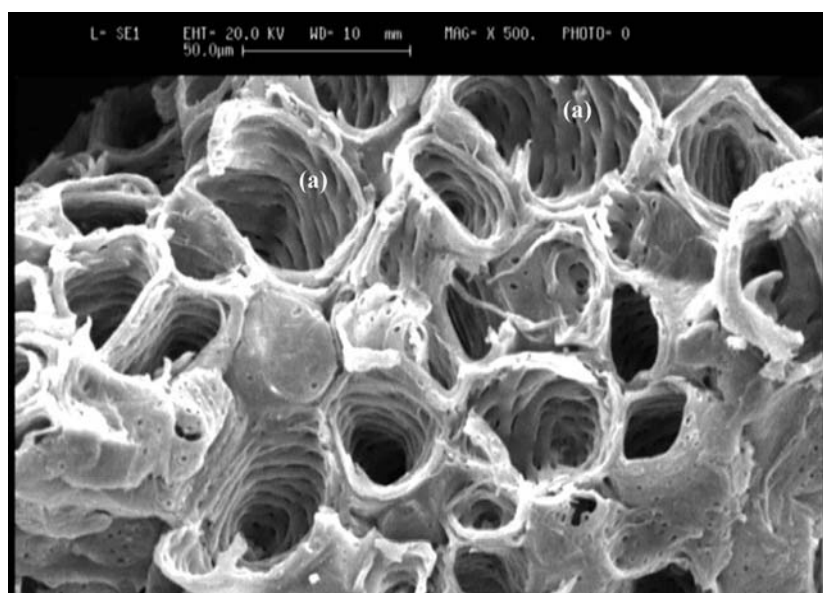
اندازه دانه (میلی متر)	pH	q_{max} (mmol/g)	b (L/mmol)	R^2
۰/۷۴۰	۴/۵	۰/۲۱۰	۰/۱۵۰	۰/۹۰۶
	۲/۶	۰/۱۲۵	۰/۱۸۰	۰/۸۳۹
۰/۲۱۱	۴/۵	۰/۲۳۷	۰/۱۳۲	۰/۹۷۲
	۲/۶	۰/۱۲۱	۰/۳۲۰	۰/۹۷۴

جدول ۲- ثوابت فرندلیچ برای جذب یون مس توسط دانه های چوب ذرت.

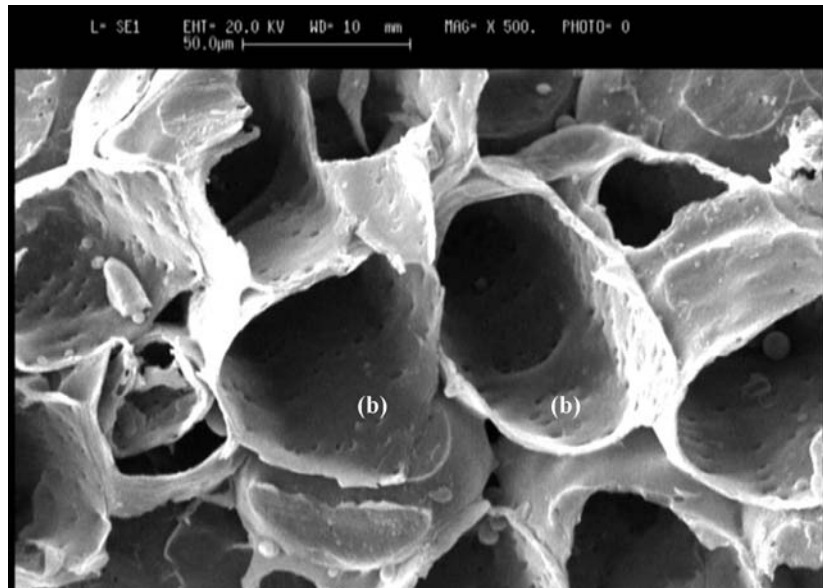
اندازه دانه (میلی متر)	pH	K_F (mmol/g)	b_F (L/g)	R^2
۰/۷۴۰	۴/۵	۰/۰۲۹	۰/۷۵۱	۰/۹۹۳
	۲/۶	۰/۰۲۱	۰/۶۷۰	۰/۹۶۹
۰/۲۱۱	۴/۵	۰/۰۲۸	۰/۷۹۸	۰/۹۹۹
	۲/۶	۰/۰۳۰	۰/۶۰۷	۰/۹۷۰

جدول ۳- مقادیر سینتیک جذب یون مس به وسیله چوب ذرت در زمان های متفاوت.
($\text{pH}=4.5$ و غلظت ۳ میلی مولار)

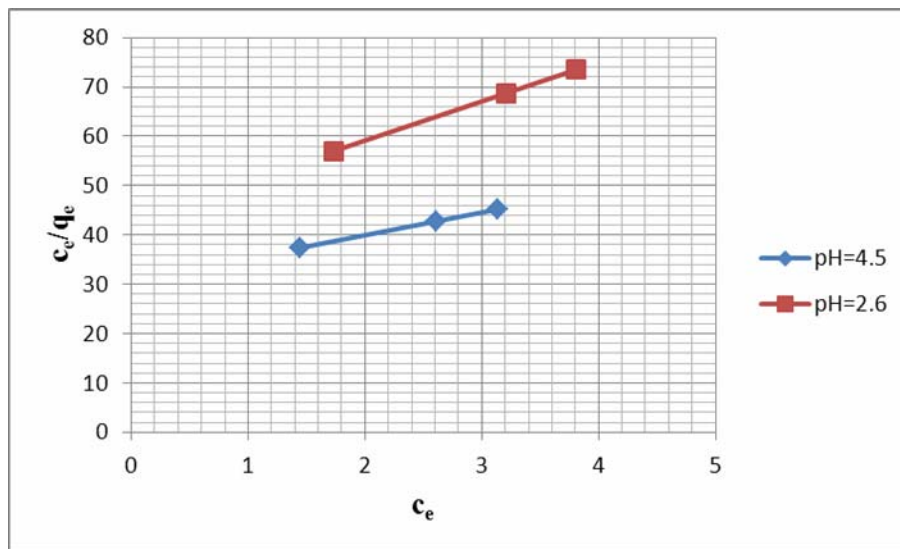
شماره نمونه	زمان (دقیقه)	q_t (mmol/g)
۱	۵	۰/۰۲۰
۲	۱۰	۰/۰۲۱
۳	۲۰	۰/۰۳۱
۴	۳۰	۰/۰۳۲
۵	۴۵	۰/۰۳۲
۶	۵۵	۰/۰۳۳
۷	۶۰	۰/۰۳۴
۸	۷۰	۰/۰۳۵
۹	۸۰	۰/۰۳۷
۱۰	۱۰۵	۰/۰۳۸
۱۱	۱۲۰	۰/۰۳۹



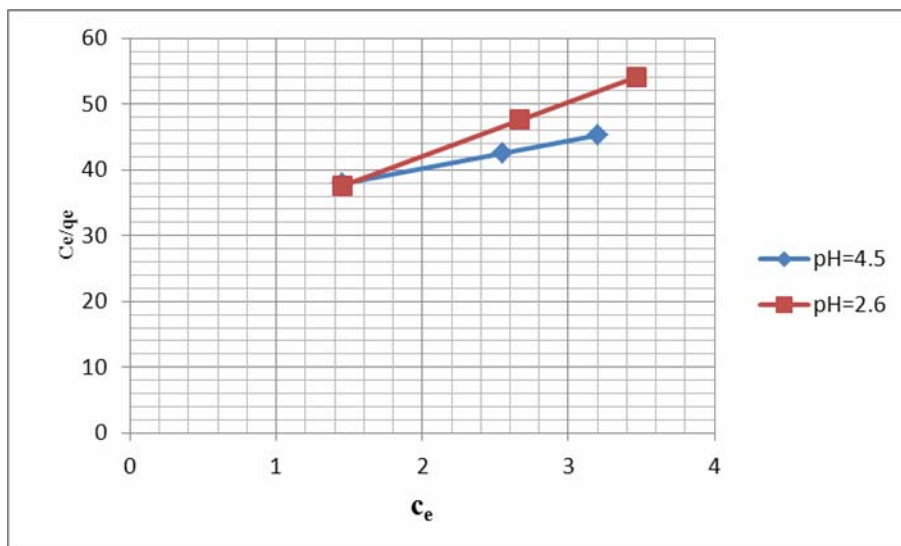
شکل ۱- تصویر SEM چوب ذرت پیش از فرآیند جذب با بزرگنمایی ۵۰۰.



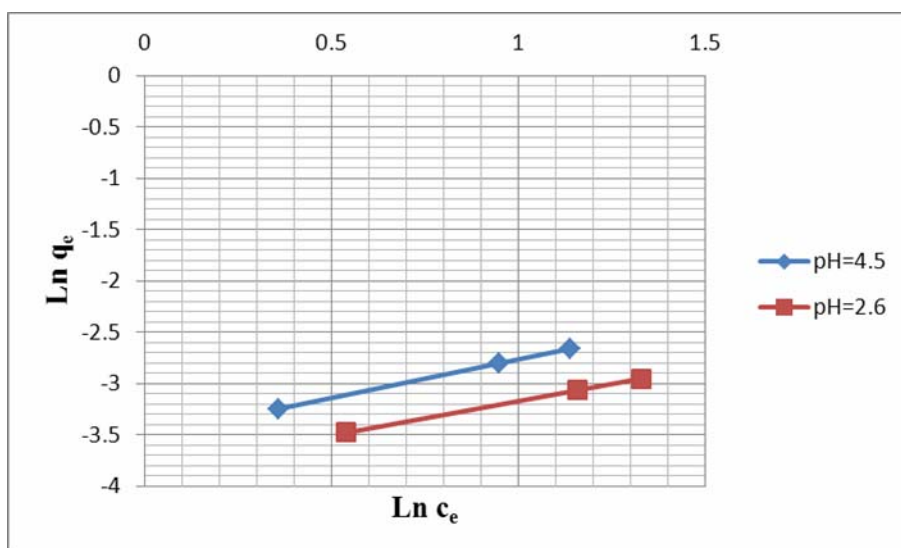
شکل ۲- تصویر SEM چوب ذرت پس از فرآیند جذب با بزرگنمایی ۵۰۰.



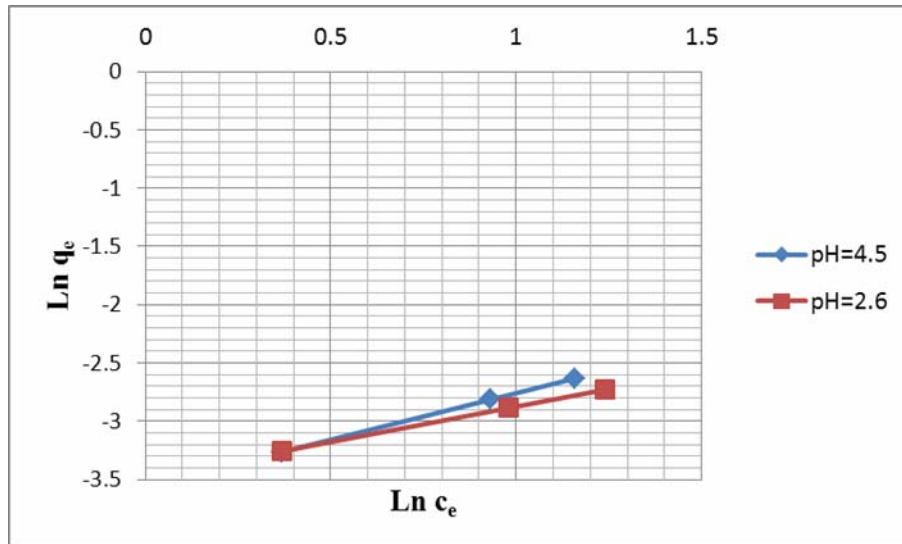
شکل ۳- مدل همدمای لانگمویر برای جذب یون مس به وسیله چوب ذرت با اندازه دانه ۰/۷۴ میلی متر.



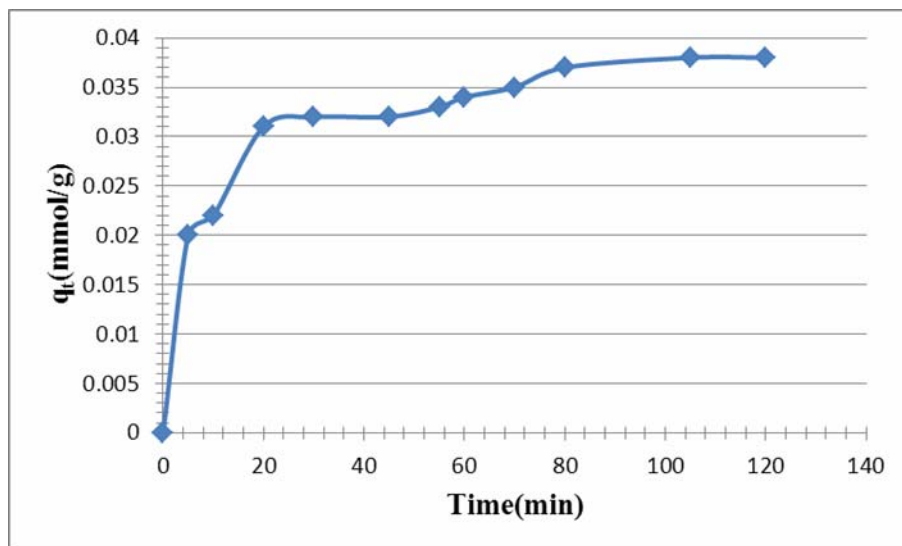
شکل ۴- مدل همدمای لانگمویر برای جذب یون مس به وسیله چوب ذرت با اندازه دانه ۰/۲۱۱ میلی متر.



شکل ۵- مدل همدمای فرنلینچ برای جذب یون مس به وسیله چوب ذرت با اندازه دانه ۰/۷۴ میلی متر.



شکل ۶- مدل همدمای فرندلیچ برای جذب یون مس توسط چوب ذرت با اندازه دانه ۰/۲۱۱ میلی متر.



شکل ۷- تأثیر زمان تماس بر میزان جذب یون مس توسط چوب ذرت با غلظت اولیه ۳ میلی مولار، $\text{pH}=4.5$ و اندازه ذرات ۰/۷۴ میلی متر.

