

حذف کلرید از محلول‌های آبی با جاذب خاکستر سبوس برنج

اصلاح شده با نقره

الهام اسراری*، دانشیار بخش مهندسی عمران دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

اسما نظری، کارشناس ارشد شیمی تجزیه، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

E-mail*: e_asrari@pnu.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۳/۱/۱۵ - پذیرش: ۱۳۹۳/۵/۲۳

چکیده

در پژوهش حاضر حذف کلرید آب توسط جاذب خاکستر سبوس برنج پوشیده شده با نقره بررسی گردید. پارامترهای مهم بر کارایی فرایند جذب سطحی، تعیین ایزوترم جذب مناسب و پارامترهای سینتیکی فرایند جذب کلرید بر روی جاذب مورد بررسی قرار گرفت. خاکستر سبوس برنج از سوزاندن سبوس برنج در کوره الکتریکی به دست آمد. خاکستر به دست آمده با نقره پوشانده و ویژگی‌های آن با پراش سنج اشعه ایکس (XRD) و طیف سنجی مادون قرمز (IR) بررسی شد. میزان درصد جذب کلرید آب توسط این جاذب محاسبه و تاثیر پارامترهای مختلف نظیر اثر pH ، مقدار جاذب، مدت زمان تماس و اثر غلظت اولیه محلول کلرید بر میزان جذب کلرید بررسی و بهینه گردید. با توجه به نتایج، ۹۷/۴۵٪ ماکزیمم درصد حذف کلرید، در pH بهینه ۴، مقدار بهینه ۰/۷ گرم از جاذب، محلول ۳۰ میلی گرم بر لیتر کلرید و مدت زمان تماس ۳۰ دقیقه به دست آمد. همچنین نتایج مطالعات سینتیکی و ایزوترمیک نشان داد که فرایند جذب کلرید توسط جاذب مورد مطالعه از ایزوترم فرندلیج با ضریب همبستگی ۰/۹۷ و سینتیک جذب مرتبه دوم با ضریب همبستگی ۰/۹۹ تبعیت می کند. نتایج به خوبی نشان داد که خاکستر سبوس برنج پوشیده شده با نقره می تواند جاذبی موثر و کارآمد در زمینه تصفیه آب های آلوده به یون کلرید باشد.

واژه‌های کلیدی: حذف کلرید، خاکستر سبوس برنج، محلول آبی، ایزوترم جذب.

۱- مقدمه

قابل تشخیصی به آب می دهد. این شوری بستگی به ترکیبات شیمیایی آب دارد. اگر کاتیون سدیم همراه با غلظت کلر ۲۵۰ میلی گرم بر لیتر باشد، مزه شور احساس می شود [۱]. پس برای بالا بردن کیفیت آب آشامیدنی در مناطق آب شور، نیاز به نمک زدایی و حذف یون کلرید (عامل اصلی شوری آب) است. نمک زدایی عبارت است از زدودن نمک اضافی آب شور یا بد مزه که آب به گونه ای به آب شیرین برگردانده می شود که جهت مصرف یا آبیاری مناسب شود. هدف از نمک زدایی آب

نگرانی های اساسی در مورد آب آشامیدنی مربوط به ناخالصی های موجود در آب است که شامل مواد معلق، گازها، نمک های محلول و میکروب ها می باشند. معمولاً نمک های محلول در آب به صورت کاتیون و آنیون هستند، کاتیون ها مثل کلسیم، منیزیم، منگنز و غیره و آنیون ها مثل کلراید، بی کربنات، کربنات و هیدروکسید و غیره است. کلراید به شکل یون کلرید (Cl^-) یکی از آنیون های معدنی اصلی موجود در آب و فاضلاب می باشد. کلرید در مجاورت کاتیون سدیم طعم شوری

این واقعیت است که خاکستر سبوس برنج قابلیت بالایی (۹۸٪) در جذب فنل در مقایسه با سبوس برنج (۴۴٪) دارد، لذا خاکستر سبوس برنج می‌تواند به عنوان یک جاذب کارآمد و ارزان قیمت برای حذف آلاینده های آلی همچون فنل در صنعت آب و فاضلاب به کار رود [۸]. در سال ۲۰۰۸، جذب تعادلی کروم شش ظرفیتی از محلول آبی را با استفاده از سبوس برنج به صورت ناپیوسته مطالعه گردید. اهداف اصلی این مطالعه شامل بررسی جذب کروم از محلول آبی توسط سبوس برنج، مطالعه اثر پارامترهای مهم مانند pH، زمان تماس و غلظت اولیه کروم بر کارایی فرایند جذب و تعیین ایزوترم جذب مناسب و پارامترهای سینتیکی فرایند جذب کروم بر روی سبوس برنج بوده است. نتایج حاصل حاکی از آن است که جذب کروم توسط سبوس برنج پس از ۱۲۰ دقیقه به حالت تعادل می‌رسد و پس از این زمان تغییرات نامحسوسی در بازدهی حذف کروم مشاهده می‌شود. در pH های پایین‌تر، میزان جذب کروم بیشتر می‌شود و حداکثر درصد حذف کروم (۹۹.۸٪) در pH برابر با دو برای غلظت اولیه کروم پنج میلی‌گرم بر لیتر به دست آمد. نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد که جذب کروم توسط سبوس برنج از ایزوترم فرندلیچ و مدل مرتبه اول تطابق دارد. [۹]. در سال ۲۰۰۵ کامدا و همکارانش به بررسی حذف کلرید از محلول‌های مختلف (NaCl، AlCl_3 ، MgCl_2 ، CaCl_2 و NH_4Cl) با استفاده از اکسید آلومینیوم-منیزیم ($\text{MgO} \cdot 0.80\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 1.10$) پرداختند. میزان حذف کلرید بیش از ۹۵٪ و میزان حذف از محلول‌های NaCl و CaCl_2 کمی پایین‌تر، به ترتیب حدود ۸۰ و ۹۰٪ بود. این نتایج نشان می‌دهد که هم مقدار جاذب اضافه شده به محلول کلرید و هم طبیعت کاتیون‌های محلول، در راندمان حذف کلرید محلول موثر است [۱۰]. در سال ۲۰۱۰ طلایی و همکاران به بررسی حذف یون کلرید از آب به کمک روش الکتروشیمیایی پرداختند. هدف از تحقیق بررسی حذف کلرید به کمک روش الکترولیز می‌باشد. همچنین برای

جداسازی تمام نمک‌های محلول در آب و تهیه آب خالص می‌باشد [۲]. استفاده از خاکستر پوسته برنج، یکی از ضایعات کشاورزی، به عنوان یک جاذب برای جذب سرب و جیوه از محلول آبی مورد مطالعه و ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاکستر سبوس برنج و خصوصیات جذب یون‌های فلزی بر روی آن، صورت گرفته است. نتایج نشان داد که حذف یون سرب و روی به خوبی صورت گرفته و جذب از معادله فرندلیچ و سینتیک درجه دوم پیروی می‌کند [۳ و ۴]. مطالعات سینتیکی و ایزوترمیک، برای بررسی جذب رنگ سبز درخشان (BG) از محلول آبی با استفاده از خاکستر پوسته برنج انجام گرفته است. نتایج حاکی از تبعیت حذف از معادله لانگمویر و سینتیک درجه دوم می‌باشد [۵]. رفتار جذب یون‌های روی و سرب در پساب کارخانه لبنی دایتی بر روی سبوس برنج برای کشف پتانسیل سبوس برنج در تصفیه پساب‌ها و استفاده از خاکستر سبوس برنج پوشیده شده با نانوکامپوزیت‌های پلی پیرول و پلی آنیلین به حذف COD، رنگ، آنیون‌ها و فلزات سنگین از فاضلاب نساجی پنبه مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که سبوس برنج به عنوان یک جاذب موثر و کارآمد عمل می‌کند. سینتیک درجه دو و معادله لانگمویر به خوبی با نحوه جذب تطابق دارند [۶ و ۷]. در سال ۲۰۰۶ برای حذف فنل در محیط‌های آبی از مواد زاید کشاورزی (سبوس برنج و خاکستر آن) به عنوان یک جاذب ارزان قیمت، جدید، قابل دسترسی استفاده گردید. در این مطالعه توصیفی-تحلیلی، مطالعات ایزوترم و سینتیک واکنش بر اساس تغییرات شرایط مختلف حاکم بر فرآیند مانند زمان تماس، غلظت اولیه فنل، مقدار جذب و pH محیط آب انجام شده است. یافته‌های این مطالعه نشان داد که pH یک فاکتور مهم در جذب فنل است و جذب فنل با افزایش pH کاهش می‌یابد. نتایج مطالعات ایزوترم جذب حاکی از این بود که الگوی جذب در هر دو جاذب به نحو بهتری از مدل فرندلیچ پیروی می‌کند. در مجموع نتایج بررسی گویای

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- آماده سازی سبوس برنج

ابتدا سبوس برنج در کوره الکتریکی به خاکستر تبدیل و با هیدروکلریک اسید رقیق و چندین بار با آب مقطر یون زدایی شده، شسته و در آن ۱۰۰ درجه سانتی گراد، خشک شد. در حالی که ۱۰۰ میلی لیتر محلول نمک نقره ۰/۲ مولار، هم زده می‌شد، به طور آهسته ۲۰ گرم از خاکستر سبوس برنج آماده، به آن اضافه شد. در نهایت، هیدروکسید سدیم ۱ مولار بصورت قطره‌ای به محلول حاوی جاذب افزوده شد. سدیم هیدروکسید با نیترات نقره واکنش می‌دهد و مخلوط دوغابی شامل هیدروکسید نقره که بصورت رسوب روی سطح خاکستر می‌نشیند و نمک سدیم است. هیدروکسید نقره پوشیده شده روی سطح جاذب بعد از گذشت مدتی به نقره اکسید می‌شود. دوغاب حاصل را در صافی خلا ریخته و چندین بار با آب مقطر یون‌زدایی شده شستشو داده تا نمک سدیم شسته و حذف گردد. جاذب در آن ۱۱۰ درجه سانتی گراد به مدت ۳-۴ ساعت خشک شد. بعد از آماده سازی جاذب، با انجام آزمایشات، میزان درصد کلرید جذب شده توسط جاذب از طریق جذب سطحی، محاسبه و پارامترهای مؤثر بر حذف کلر آب آشامیدنی توسط جاذب بررسی و بهینه شد.

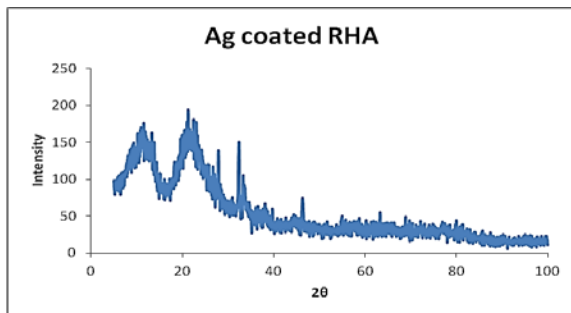
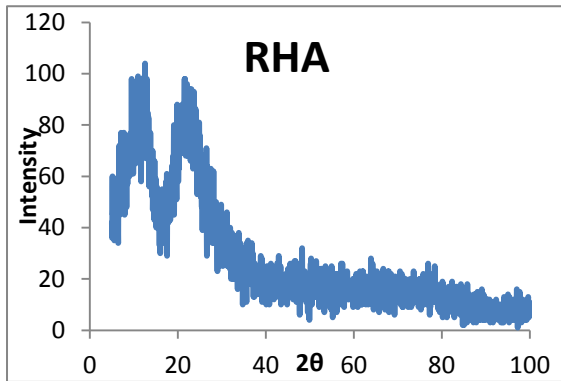
۲-۲- بررسی خصوصیات جاذب

برای بهینه شدن عملکرد جاذب مورد نظر در جذب کلرید، خاکستر سبوس برنج با نقره پوشش داده شد. برای ارزیابی تاثیر کارآمدی فرایند پوشش‌دهی نقره روی جاذب و توان جذب یون کلرید، در غلظت‌های متفاوت کلرید، یکبار از جاذب خاکستر سبوس برنج پوشش داده شده با نقره و یکبار از جاذب خاکستر سبوس برنج بدون پوشش‌دهی استفاده شد، تا درصد جذب کلرید با هر دو مقایسه شود. نتایج به‌دست آمده در جدول (۱) نشان داد که جاذب خاکستر سبوس برنج پوشش داده شده با نقره به دلیل افزایش سطح گیراندازی یون‌های کلرید محلول

تعیین شرایط بهینه به کارگیری این روش برخی پارامترهای مؤثر بر آن مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که بهترین pH جهت این فرایند هفت بود. در این مطالعه مشخص شد که الکتروود مس بهترین راندمان را ایجاد می‌کند. با این روش و در شرایط بهینه امکان حذف ۸۷ در صد یون کلرید از محیط وجود دارد [۱۱]. در سال ۲۰۱۱ توسط جویلما و همکاران، مطالعه ظرفیت جذب نمک توسط مواد زیستی، مانند دانه چندین گونه‌های گیاهی مختلف از مناطق نیمه خشک و استفاده از آنها در نمک زدایی از آب لب شور در مقادیر کوچک، برای تولید آب آشامیدنی برای مصارف خانگی انجام گردید. ظرفیت جذب نمک با ده ماده بیولوژیکی مختلف مورد آزمایش قرار گرفت. شوری آب قبل و بعد از تماس با مواد بیولوژیکی اندازه گیری می‌شد. مشخص شد که فرایند جذب با مدل لانگمویر تطابق دارد. بیشترین ظرفیت جذب کلرید سدیم توسط مواد، در دماهای ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه سانتی گراد، ۵۲.۶، ۱۶۵ و ۲۵۰ میلی گرم بر گرم برآورد شد [۱۲]. میرزایی و همکاران در سال ۲۰۱۳، حذف یون‌های کلرید کلسیم، منیزیم و بی کربنات از آب شور توسط جاذب معدنی اصلاح شده را بررسی کردند. هدف از این تحقیق کاهش شوری آب شور توسط بنتونیت به عنوان یک جاذب معدنی بود. این جاذب در حالات معمولی، اصلاح شده اسیدی و اصلاح شده بازی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داده است که بیشترین جذب منیزیم (۹۳/۷)، کلر (۱/۴) و بی‌کربنات (۸۱/۳) در صد از آب شور توسط بنتونیت اصلاح شده بازی حاصل شد. در حالی که به دلیل وجود کلسیم در ساختار بنتونیت در هیچیک از حالات معمولی جذب کلسیم صورت نپذیرفت [۱۳].

در مطالعه حاضر، حذف کلرید آب، توسط جاذب خاکستر سبوس برنج پوشیده شده با نقره، از طریق فرایند جذب سطحی که علاوه بر کارایی بالا نسبت به روش‌های پرهزینه و غیر اقتصادی دیگر، ساده و از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه است، بررسی شده است.

و بی شکل خاکستر سبوس برنج پوشش داده شده با نقره است.



شکل ۱. طیف XRD جاذب خاکستر سبوس برنج و جاذب خاکستر سبوس برنج پوشش داده شده با نقره

همچنین می‌توان اندازه ذرات جاذب را با توجه به بیشترین شدت پیک سطح (۱۴۹)، با استفاده از فرمول دبای شرر^۱ محاسبه کرد [۱۴]:

$$d_{RX} = k\lambda / \beta \cos \theta$$

که k ضریب تصحیح، λ مربوط به طول موج کاتد مس است، β مربوط به FWHM شدیدترین پیک سطح و θ مربوط به زاویه براگ است. اندازه ۴۵/۵ نانو متر بدست آمده برای جاذب تأییدی بر نانو ذره بودن جاذب است.

۲-۴- طیف سنجی مادون قرمز (IR)

یکی از تکنیک‌های حساس و متداول برای تشخیص گروه‌های عاملی موجود در ساختار و سطح کربن فعال تکنیک IR می‌باشد. به این منظور و برای تشخیص گروه‌های عاملی موجود در سطح، جاذب مورد بررسی

توسط نقره پوشش داده شده روی بستر، جاذبی مناسب‌تر با کارایی بیشتر نسبت به نوع پوشش نداده شده است. منظور فراهم آوردن شواهد بیشتر برای فرایند پوشش دهی جاذب و اتصال نقره از پرتو سنج اشعه ایکس (XRD) و طیف سنجی مادون قرمز (IR) برای جاذب پوشش داده شده و همچنین خاکستر بدون پوشش استفاده شد.

جدول ۱. مقایسه درصد جذب کلرید جاذب خاکستر سبوس برنج، قبل و بعد از پوشش دهی با نقره

محل کلرید	درصد جذب (%) با جاذب پوشش داده شده	درصد جذب (%) با جاذب بدون پوشش
۱۰	۸۵/۸۰	۵۵/۸۲
۲۰	۸۸/۳۰	۵۹/۱۶
۳۰	۸۹/۳۶	۶۰/۷۳
۴۰	۸۸/۴۷	۵۹/۹۰
۵۰	۸۸/۴۰	۵۹/۴۹
۶۰	۸۷/۱۰	۵۸/۲۵

۲-۳- پراش سنجی X (XRD)

روش پراش پرتو ایکس از آن جهت که روش مستقیمی برای تعیین نوع فازها و ساختار بلورین مواد است، بسیار اهمیت دارد. در واقع، پیشرفت هفتاد سال اخیر شناسایی فازی، کانی شناسی و کریستالوگرافی، در گرو کشف روش پراش پرتو ایکس بوده است. شکل (۱) طیف XRD مربوط به هر دو جاذب را نشان می‌دهد. مقایسه طیف‌های مربوط به خاکستر سبوس برنج قبل و بعد از پوشش دهی با نقره نشان می‌دهد که یون‌های Ag به خوبی سطح خاکستر سبوس برنج را پوشانیده است. با استفاده از نرم افزار X-pert و الگوی پیک Ag، پیک‌های مربوط به Ag پوشش داده شده روی سطح جاذب خاکستر سبوس برنج در زاویه‌های پراش ۳۲/۰۵، ۲۷/۷۰، ۳۳/۱۵، ۴۶/۱۵ و ۳۷/۹۰ مشخص شد که به ترتیب با شدت ۱۴۹، ۱۰۱، ۷۷، ۵۷ و ۵۴ از سطح پراش مطابق است. مشاهده نشدن پیک واضح از Ag پوشش داده شده روی خاکستر سبوس برنج، تأییدی بر ساختار غیر متبلور

۳-۲- بررسی اثر pH بر روی میزان حذف کلرید آب چندین محلول ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر کلرید تهیه و pH آنها در گستره pH بین ۲ تا ۱۰ تنظیم شد. با افزودن مقدار ۰/۵ گرم جاذب، به مدت ۴۰ دقیقه به هم زده شد. سپس، محلول‌ها، صاف و بعد از افزودن شناساگر سدیم کرومات، با محلول نیترات نقره تیترو شدند. با توجه به اندازه گیری‌های غلظت یون کلرید و محاسبات در صد جذب مشخص شد که در pH های بالا درصد جذب روندی رو به کاهش دارد پس pH مناسب برای حذف یون کلرید در محدوده اسیدی و $pH = 4$ بهینه به دست آمد (جدول ۳).

جدول ۳. مقادیر بهینه بدست آمده برای هر یک از پارامترهای مؤثر بر درصد حذف کلرید آب

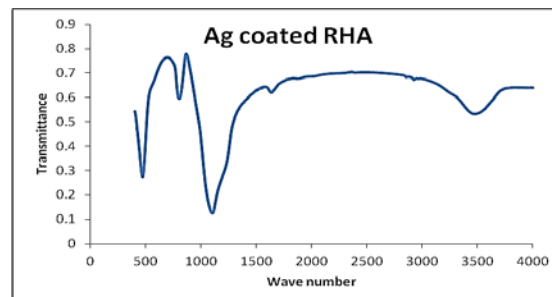
غلظت اولیه کلرید محلول	مدت زمان تماس	مقدار جاذب	pH
۳۰ میلی‌گرم بر لیتر	۳۰ دقیقه	۰/۷ گرم	۴

۳-۳- بررسی اثر مقدار جاذب بر روی حذف کلرید آب به ۶ بشر حاوی محلول ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر کلرید، در $pH = 4$ ، مقادیر متفاوتی از جاذب (گستره بین ۱-۰/۱ g) افزوده و به مدت ۴۰ دقیقه هم زده شد. در نهایت مقدار درصد جذب کلرید محاسبه گردید. با توجه به غلظت‌های به دست آمده از یون کلرید باقیمانده، مشخص شد که میزان درصد جذب جاذب با زیاد شدن مقدار جاذب افزایش می‌یابد. یعنی با افزایش مقدار جاذب، سایت‌های بیشتری برای جذب یون کلرید وجود خواهد داشت تا جایی که با تشکیل یک لایه از یون کلرید روی جاذب، در صد جذب ثابت می‌شود و مقدار ۰/۷ گرم جاذب، مقدار بهینه معرفی شد (جدول ۳).

۳-۴- بررسی اثر مدت زمان تماس بر روی حذف کلرید آب

چندین محلول ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر کلرید تهیه شد و در

قرار گرفت. شکل (۲) نشان‌دهنده گروه‌های مختلف موجود در جاذب خاکستر سبوس برنج پوشش داده شده با نقره است.



شکل ۲. طیف IR مربوط به خاکستر سبوس برنج پوشیده شده با نقره

۳- نتایج و بحث

۳-۱- اثر غلظت اولیه نقره بر پوشش دهی نقره روی سطح جاذب

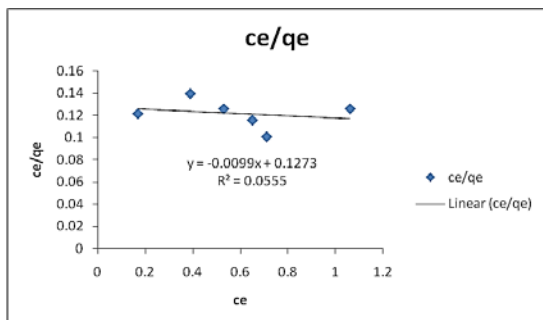
برای بررسی نقش و تأثیر غلظت اولیه نیترات نقره در فرآیند پوشش دهی و اثر متوالی آن، از غلظت‌های متغیر نیترات نقره (گستره ۰/۵-۰/۱ مولار) استفاده شد. با انجام محاسبات لازم، نتایج بدست آمده نشان می‌دهد با افزایش غلظت‌های نیترات نقره ابتدایی، مقدار نقره روی سطح جاذب افزایش و در نتیجه افزایش گنجایش حذف کلرید توسط جاذب می‌گردد. البته پس از یک مقدار بهینه، افزایش در غلظت نیترات نقره موجب سختی فرآیند پوشش دهی می‌شود. پس غلظت نمک نقره ابتدایی در ۰/۴ مولار بهینه شد که این مقدار باعث افزایش گنجایش حذف کلرید همراه با فرآیند پوشش دهی آسان است. نتایج در جدول (۲) قابل مشاهده است.

جدول ۲. اثر غلظت اولیه نقره روی ظرفیت حذف کلرید آب

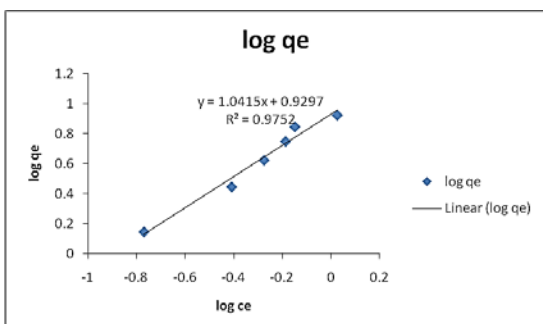
گنجایش حذف کلرید	۱/۳	۲/۶	۳/۹	۵/۳	۶/۷
وزن جاذب با پوشش نقره (g/g)	۰/۰۶	۰/۱۲	۰/۱۸	۰/۲۶	۰/۳۲
غلظت اولیه محلول نیترات نقره (M)	۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۴	۰/۵

۳-۶- ایزوترم جذب

ایزوترم‌های جذب جهت توصیف ظرفیت جذب به منظور آسان کردن ارزیابی امکان‌سنجی این فرایند برای کاربرد در نظر گرفته شده، آنالیز و طراحی سیستم جذب مفید می‌باشد [۱۸]. پس از ترسیم نمودارهای جذبی مختلف با در نظر گرفتن ضریب هم بستگی آنها می‌توان به نوع معادله حاکم جذب پی برد و اطلاعات مربوط به فرایند جذب از قبیل ثابت مربوطه و ظرفیت فاز جاذب برای جذب آنالیت را اندازه‌گیری کرد. در این تحقیق، برای تشخیص ایزوترم مناسب جذب کلرید روی جاذب خاکستر سبوس برنج پوشش داده شده با نقره، ایزوترم‌های لانگمویر، فرنلیدج و تمکین بررسی شده است. براساس نتایج حاصل از نمودار ایزوترم‌ها (شکل‌های ۳، ۴ و ۵) و مقایسه ضرایب همبستگی و ماکزیمم ظرفیت جذب آن‌ها استنباط می‌شود فرایند جذب کلرید توسط خاکستر سبوس برنج پوشیده شده، از ایزوترم فرنلیدج با ضریب همبستگی $R^2 < 0.97$ تبعیت می‌کند.



شکل ۳. نمودار لانگمویر مربوط به حذف کلرید آب توسط جاذب (زمان تماس، ۲۴ ساعت، pH= ۴، مقدار جاذب ۰/۷ گرم)



شکل ۴. نمودار فرنلیدج حذف کلرید آب توسط جاذب

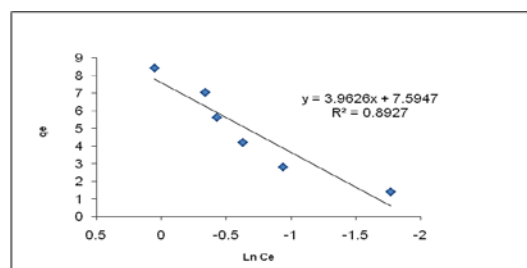
۴ pH=، به هر کدام مقدار ۰/۷ گرم جاذب افزوده شد. محتویات بشرها در زمان‌های متفاوتی (۶۰-۰ min) هم زده شد. سپس کلرید اضافی اندازه‌گیری گردید با توجه به محاسبات و نتایج مشخص شد که با افزایش مدت زمان تماس (۳۰-۰ min) درصد جذب کلرید افزایش می‌یابد. بعد از گذشت مدت زمان بهینه تماس یون‌های کلرید محلول با بستر جاذب و اشباع شدن سایت‌های جاذب از یون‌های کلرید (۳۰ min) درصد جذب، حتی با زیاد شدن مدت زمان تماس (۶۰-۳۰ min) ثابت می‌ماند (جدول ۳).

۳-۵- اثر غلظت اولیه کلرید محلول بر درصد حذف کلرید توسط جاذب مورد مطالعه

غلظت اولیه یکی دیگر از عواملی است که بر بازده جذب تاثیر گذار است. به منظور تعیین این پارامتر، غلظت‌های مختلفی از کلرید محلول (در گستره ۶۰-۱۰ میلی‌گرم بر لیتر کلرید) آماده و با تنظیم pH بهینه ۴، به همه محلول‌ها مقدار ۰/۷ گرم جاذب اضافه و مدت ۴۰ دقیقه بهم زده شد. با توجه به نتایج می‌توان استنباط کرد که در ابتدای افزایش غلظت اولیه کلرید، ظرفیت جذب افزایش و پس از رسیدن به یک مقدار خاص، به اشباع شدگی می‌رسد [۱۵]. طبق مشاهدات به نظر می‌رسد بعد از این سطح اشباع با افزایش در غلظت اولیه کلرید محلول، ظرفیت جذب و در نتیجه در صد حذف کاهش می‌یابد، زیرا با افزایش غلظت، مکان‌های موجود برای جذب بر روی سطح جاذب کمتر می‌شود [۱۶]. به‌علاوه با محدودیت ابعاد حفره‌های جاذب در غلظت‌های بالا، یون‌های کلرید روی سطح جاذب پراکنده می‌شوند و نیروهای دافعه الکتروستاتیک ایجاد شده بین بار منفی یون‌های ماده جذب شونده، باعث کاهش درصد حذف می‌گردد [۱۵ و ۱۷]. بنابراین، محلول حاوی ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر کلرید دارای درصد جذب بیشتر و به عنوان غلظت بهینه انتخاب شد.

جدول ۴. ثابت‌های سینتیکی برای مدل‌های مرتبه اول و دوم

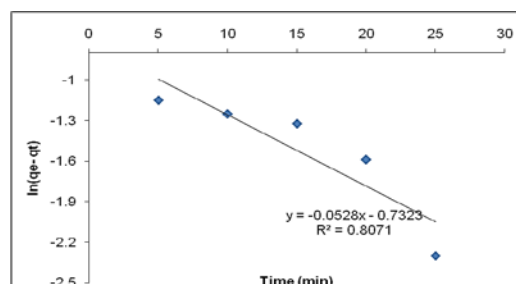
ضریب همبستگی	qe (mg/g)	ثابت سرعت تعادل	معادله
۰/۸۰	۰/۱۸	۵/۳۴	سینتیک درجه اول
۰/۹۹	۰/۵۲	۰/۲۶	سینتیک درجه دوم



شکل ۵. نمودار تمکین حذف کلرید آب توسط جاذب

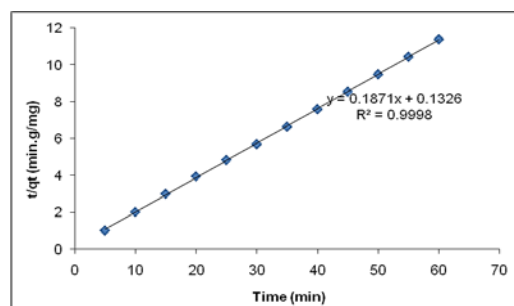
۷-۳- سینتیک جذب

از مدل‌های سینتیکی در جهت بررسی سرعت فرایند جذب و پتانسیل مرحله تعیین کننده سرعت استفاده می‌شود. در این راستا برای بررسی سرعت جذب و محاسبه ثابت‌های مربوطه از مدل‌های سینتیکی درجه اول و درجه دوم استفاده شده‌است. با رسم منحنی‌های سینتیکی مربوطه (شکل‌های ۷ و ۶) از روی ضریب هم بستگی، میزان تبعیت فرایند جذب از هر کدام از معادلات را می‌توان پیش‌بینی کرد.



نمودار ۶. سینتیک جذب درجه اول حذف کلرید آب

در شرایط بهینه



نمودار ۷. سینتیک جذب درجه دوم حذف کلرید آب

با توجه به نتایج حاصل، جذب کلرید توسط جاذب مورد مطالعه، به خوبی با مدل سینتیکی درجه دوم با ضریب همبستگی $R^2 < 0/99$ تطابق دارد (جدول ۴).

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق به حذف کلرید (عامل شوری) آب آشامیدنی، توسط جاذب خاکستر سبوس برنج پوشیده شده با نقره با بهره‌گیری از فرایند جذب سطحی پرداخته شد. با توجه به نتایج می‌توان متوجه شد که جاذب مورد مطالعه نسبت به جاذب خاکستر سبوس برنج (بدون پوشش) دارای سایت‌های فعال بیشتری برای جذب یون کلرید می‌باشد. در آزمایشات ناپیوسته انجام شده مشخص شد که میزان حذف کلرید وابسته به pH محلول بوده و طبق نتایج بالاترین میزان جذب کلرید توسط خاکستر سبوس برنج (۹۷/۴۵٪) در pH=۴ اتفاق می‌افتد که این پدیده را می‌توان چنین توجیه کرد که در pH پایین، محدوده سطح جاذب توسط مقادیر زیادی از یون‌های H+ احاطه می‌شود و در نتیجه نزدیک شدن یون‌های با منفی Cl⁻ به سمت جاذب افزایش می‌یابد. با افزایش غلظت اولیه کلرید بعد از غلظت بهینه ۳۰ میلی گرم بر لیتر، میزان جذب کاهش می‌یابد که این پدیده ناشی از کاهش مکان‌های موجود برای جذب بر روی سطح جاذب است که منجر به کاهش در صد حذف کلرید می‌شود. در مطالعه ایزوترم‌ها، طبق نتایج مشخص شد که جذب کلرید توسط خاکستر سبوس برنج پوشش داده شده با نقره، از ایزوترم فرندلیج با ضریب همبستگی ۰/۹۷ پیروی می‌کند. سینتیک جذب کلرید توسط جاذب مورد مطالعه، به خوبی با مدل درجه دوم با ضریب همبستگی ۰/۹۹ تطابق دارد.

۵- پی‌نوشت‌ها

1. Debye-Scherrer

۶- منابع

- Venkat S. Mane, Deo Mall I., Srivastava V. Ch., (2007), "Kinetic and equilibrium isotherm studies for the adsorptive removal of Brilliant Green dye from aqueous solution by rice husk ash", *Journal of Environmental Management*. 84, 390-400.
- Asrari,E,Tavallali,H and Hagshenas,M., (2010), "Removal of Zn and Pb ions Using Rice Husk in Food Industrial Wastewater", *Journal of Applied Science Environment Management*. 14, 159-162.
- Ghorbani M., Eisazadeh H., (2013), "Removal of COD, color, anions and heavy metals from cotton textile wastewater by using polyaniline and polypyrrole nanocomposites coated on rice husk ash", *Composites Part B:Engineering*, 45,1-7.
- Tomohito Kameda, Toshiaki Yoshioka, Tatsunosuke Hoshi, Miho Uchida, Akitsugu Okuwaki, (2005) "The removal of chloride from solutions with various cations using magnesium-aluminum oxide". *Separation and Purification Technology*. 4225-29.
- Joilma da S. Menezes, Vânia P. Campos, Tadeu A. de C. Costa, (2011) " Desalination of brackish water for household drinking water consumption using typical plant seeds of semi arid regions". *Desalination*, 281, 271-277.
- M. M. Rashad . Z I. Zaki. H. El-Shall, (2009)" A novel approach for synthesis of nanocrystallin MgAlO opowders by co-precipitation method". *J mater Sci* 44 , 2992-2998.
- Kumar J., Balomajumder Ch., (2011), "Prejit Mondal.Application of Agro-Based Biomasses for Zink Removal from Wastwater-A Review", *Clean-Soil, Air, Water*, 39, 641-652.
- Yu L. J., S Shukla Sh., L Dorris K., Shukla A., Margrave J.L., (2003) "Adsorption of chromium from aqueous solutions by maple sawdust", *J. Hazard. Material*. 100, 53-63.
- Guo Y., Qi J., Yang Sh., Yu K., Wang Z., Xu H., (2002), "Adsorption of Cr(VI) on micro- and mesoporous rice husk-based active carbon. *Materials Chemistry and Physics*", 78, 132-137.
- Nadeem M., A. Mahmood, S.A. Shahid, S.S. Shah, A.M. Khalid, G. McKay, (2006), "Sorption of lead from aqueous solution by chemically modified carbon adsorbents", *J. Hazard. Material* ,138, 604-613.
- ملکی افشین، محوی امیر حسین (۱۳۸۵)، کاربرد زایدات کشاورزی در حذف فنل در محیط‌های آبی. مجله پزشکی هرمزگان.
- آرامی مختار، علوی مقدم سید محمد رضا (۱۳۸۶)، مطالعه جذب تعادلی کروم شش ظرفیتی از محلول آبی با استفاده از سبوس برنج. فصل نامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره دهم، شماره چهار، ویژه نامه زمستان ۸۷.
- طلایی امیر رضا، طلایی محمد رضا، کرم الهی الهام، باقری مرضیه (۱۳۸۹)، بررسی حذف یون کلرید از آب به کمک روش الکتروشیمیایی. سیزدهمین همایش ملی بهداشت محیط.
- میرزایی سید محمد جواد، قربانی بهزاد، معاضد هادی، عابدی کوپایی جهانگیر، صلاحی اسماعیل، پور واعظی روکرد رضا (۱۳۹۱)، حذف یون های کلسیم، منیزیم، کالر و بی کربنات از آب شور توسط جاذب معدنی اصلاح شده. ششمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست.
- Junjie et al., (2007), "Improvement of a multi-stage flash seawater desalination system for cogeneration power plants", *Desalination*. 217, 191-202.
- Wesely and Eckenfelder., (1989) " Industrial water pollution control , MC Graw Hill book company" , (2 ed) New York.
- Feng Q., Lin Q.,Gong F.,SugitaSh.,ShoyaM., (2004) "Adsorption of lead and mercury by rice husk ash".*Journal of Colloid and Interface Science*, 278, 1-8.
- Srivastava V. Ch., Deo Mall I., Mani Mishra (2006) "Characterization of mesoporous rice husk ash (RHA) and adsorption kinetics of metal ions from aqueous solution onto RHA", *Journal of Hazardous Materials*, 134, 257-267.