

مقایسه پوسته‌ی شلتوک و کربن فعال در حذف کادمیوم با غلظت کم از محیط آبی

زمان شامحمدی حیدری^{1*}

تاریخ دریافت: 1391/2/16 تاریخ پذیرش: 1391/10/24

چکیده

در این تحقیق، از جاذبه‌های پوسته‌ی شلتوک و کربن فعال برای حذف یون کادمیوم از محیط آبی استفاده شد. کلیه آزمایشها در $pH = 6$ انجام گرفت. بررسی زمان تعادل در غلظتهای مختلف نشان داد که با کاهش غلظت اولیه‌ی محلول، زمان تعادل برای هر دو جاذب کاهش یافته و همگرا می شود. در این حالت، زمان تعادل کربن فعال و پوسته‌ی شلتوک به ترتیب برابر 45 و 60 دقیقه به دست آمد. همچنین، با افزایش غلظت اولیه‌ی از 50 میلی گرم به 500 میلی گرم بر لیتر، زمانهای تعادل کاهش یافته و با هم برابر می شوند. در این حالت، زمان تعادل کربن فعال و پوسته‌ی شلتوک با هم برابر و مقدار آن 60 دقیقه به دست آمد. بیشترین زمان تعادل برای جاذبه‌های کربن فعال و پوسته‌ی شلتوک به ترتیب برابر با 120 و 90 دقیقه حاصل شد. بیشترین زمان تعادل برای هر دو جاذب مربوط به غلظت 50 میلی گرم بر لیتر بود. بررسی بازدهی جذب در غلظتهای مختلف نشان داد که با کاهش غلظت اولیه‌ی محلول، بازدهی جذب برای هر دو جاذب افزایش یافته و به هم نزدیک می شوند. بیشترین بازدهی جذب برای پوسته‌ی شلتوک و کربن فعال در غلظت اولیه‌ی 1 میلی گرم بر لیتر به دست آمد. در این تحقیق، شبیه‌های جذب جنبشی نیز مورد مطالعه قرار گرفت و شبیه‌ها و همکاران داده‌ها را بهتر توصیف کرد. همچنین، برازش شبیه‌های همدمای جذب لانگمویر و فرونیدلش بر داده‌های جذب نشان داد که شبیه فرونیدلش داده‌های آزمایش را بهتر توصیف می کند.

واژه‌های کلیدی: پوسته‌ی شلتوک، کربن فعال، زمان تعادل، بازدهی جذب

¹ - دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه زابل

* - نویسنده مسئول: Zaman241@gmail.com

مقدمه

در سالهای اخیر مطالعات زیادی در مورد جاذبهای ارزان قیمت به عنوان جایگزین کربن فعال صورت گرفته است، ولی کربن فعال، به دلیل، ساختار متخلخل با سطح ویژه‌ی زیاد و درجه‌ی خلوص بالای آن، همچنان به عنوان مهمترین و رایجترین جاذب در واپایش آلودگی‌های زیست محیطی به کار می‌رود (شامحمدی حیدری و خواجه، 1389). در سال 1984 سازمان بهداشت جهانی (WHO)² بیشترین غلظت کادمیوم را در آب آشامیدنی 0/005 میلی گرم بر لیتر پیشنهاد کرد (توکلی و طباطبایی، 1387). با توجه به اثرات زیانبار، و همچنین خاصیت تجمعی این فلز در بدن، و نیز عدم تجزیه‌ی زیستی آن، حذف آن از پسابها امری ضروری است.

روشهای گوناگونی برای تصفیه فاضلابهای صنعتی پیشنهاد شده اند: ترسیب شیمیایی، تصفیه‌ی غشایی، تبادل یونی و جذب به‌وسیله‌ی کربن فعال برخی از روشهای معمول در صنعت می باشند (دین و همکاران، 1972؛ اسدی، 1381). در سال 1883 میلادی در آمریکا، از کربن فعال برای تصفیه فاضلابها استفاده گردید. همچنین کربن فعال به صورت گرد³ در سال 1920 در شیکاگو برای واپایش بوی ناشی از کلروفلن استفاده شد. با این حال، هزینه‌ی بالای تهیه‌ی کربن فعال، استفاده از سایر جاذبهای ارزان قیمت ولی قابل دسترس را در سالهای اخیر مطرح کرده است. جاذبهای دیگر، اگر چه قابلیت کربن فعال را در جذب آلاینده‌ها ندارند ولی هزینه‌ی تهیه‌ی آنها باعث رویکرد دانشمندان به استفاده از این مواد شده است (کومار، 2006؛ پروین پور، 1380). مطالعات مربوط به جذب فلزات سنگین با استفاده از بقایای گیاهی عمدتاً از دهه‌های 80-1970 میلادی شروع شد (جمالی ارمندی، 1387).

پوسته‌ی چلتوک یکی از مهمترین پسماندهای کشاورزی، است که از استحصال برنج از شلتوک در کارخانه‌های برنجکوبی به دست می‌آید. تولید سالانه‌ی پوسته شلتوک در جهان حدود 100 میلیون تن، و در ایران در حدود 0/45 میلیون تن می‌باشد (شامحمدی حیدری و خواجه، 1389). مقادیر زیادی از این پوسته‌ی شلتوک در محل سوزانده می‌شود که باعث آلودگی هوا می‌گردد. پوسته‌ی شلتوک، به دلیل دارا بودن رشته‌ی فراوان، پروتئین، سلولس و گروههای تابعی خاص، فرایند جذب را به صورت مطلوبی امکان پذیر می‌نماید (هان و همکاران، 2005). همچنین، پوسته‌ی شلتوک به دلیل ساختار دانه‌ای، غیر قابل حل در آب می‌باشد. استحکام شیمیایی و دوام مکانیکی بالایی دارد (المز، 1988). بنابراین، استفاده از پوسته‌ی شلتوک به عنوان یک جاذب، نه تنها کم هزینه‌ی و سهل الوصول خواهد بود بلکه باعث کاهش آلودگیهای محیط زیست نیز می‌شود (توکلی و طباطبایی، 1378). فراوانی و خصوصیات پوسته‌ی شلتوک در سال 1975 مورد مطالعه واقع شد و از آن به بعد به عنوان یک جاذب در حذف فلزات سنگین مورد استفاده قرار گرفت (گریست، 1975).

ورما و رهال (1994) جذب یونهای مس (II) را از محلولهای آبی به‌وسیله‌ی پوسته‌ی شلتوک مورد مطالعه قرار دادند. این تحقیق آنها اثر مثبت افزایش pH و افزایش غلظت یون فلز را در افزایش جذب نشان داد. مونتانه‌ر و همکاران (2005)، از پوسته‌ی شلتوک به عنوان یک جاذب طبیعی برای حذف فلزات سنگین استفاده کردند. فلزات سنگین مورد مطالعه در این تحقیق، شامل (II) Pb، (II) Cd، (II) Cu و (II) Zn بودند. محوی و همکاران (2004)، با بررسی توان پوسته‌ی شلتوک و زغال آن در حذف فلز از محیط آبی، گزارش کردند که در هر دو جاذب با افزایش جرم جاذب، بازده‌ی جذب فزونی می‌یابد. همچنین، با کاهش غلظت اولیه‌ی فنل نیز بازده‌ی جذب در هر دو جاذب افزایش پیدا می‌کند. عبدالغنی و همکاران

2. World Health Organization

3. Powdered activated carbon

غلظت 1 میلی گرم بر لیتر به هر یک از ارلنها اضافه شد و pH آن روی 5 تنظیم گردید (عبدالغنی و همکاران، 2007؛ هان و همکاران، 2005). محلولها روی لرزاننده گذاشته شدند و سرعت آن برای 180 دور بر دقیقه برای زمانهای 5، 10، 30، 45، 60، 70، 75، 90، 105، 120، 180 و 240 دقیقه تنظیم گردید. بعد از سپری شدن زمانهای اشاره شده، نمونه ها به ترتیب از روی تکان دهنده برداشته شد، با استفاده از قیف شیشه ای و کاغذ صافی، محلول تصفیه گردید و با استفاده از دستگاه جذب اتمی (نمونه‌ی AA 220 ساخت شرکت Varian استرالیا) مقدار کادمیوم باقی مانده در محلول اندازه گیری شد. این کار برای غلظتهای 10، 20، 50، 100، 200 و 500 میلی گرم بر لیتر انجام گرفت. همچنین، این روش برای جذب کربن فعال نیز تکرار گردید. گفتنی است که در کلیه‌ی آزمایشها pH محلول با استفاده از اسید نیتریک و سود سوز آور برابر با 5 تنظیم گردید و pH محلول در هر مرحله با کاربرد دستگاه pH متر (نمونه‌ی PTR 79) اندازه گیری شد. کلیه آزمایشها در دمای اتاق انجام گردید.

شبهه‌های جذب جنبشی، لاگرگرن (1898) و هو و همکاران (1996) بر نتایج حاصل از آزمایش برازش داده شدند.

آزمایشهای جذب همدم

تعداد 9 ارلن را کاملاً شسته و داخل هر یک 100 میلی لیتر محلول کادمیوم با غلظت 1 میلی گرم بر لیتر ریخته شد. سپس 9 مقدار مختلف (0/1، 0/2، 0/4، 0/5، 0/6، 0/7، 0/9، 1 و 1/2 گرم) از جذب پوسته‌ی شلتوک را به ترتیب داخل ارلنها ریخته و هر یک روی 5 تنظیم گردید. سپس نمونه ها بر روی تکان دهنده گذاشته شدند و پس از سپری شدن زمان معین (زمان تعادل به دست آمده از آزمایشهای جذب جنبشی)، نمونه ها از روی تکان دهنده برداشته و تصفیه شدند سپس مقدار کادمیوم باقی مانده در محلول تعیین گردید. همچنین، کلیه‌ی مراحل برای جذب کربن فعال نیز تکرار شد.

(2007)، از پوسته‌ی شلتوک، چوب ذرت و خاک اره به عنوان جاذبهایی برای حذف کادمیوم از محلول آبی استفاده کردند. شامحمدی و معاضد (1387)، از پوسته‌ی شلتوک اصلاح شده به وسیله‌ی محلول سدیم بی کربنات به عنوان یک جاذب برای حذف کادمیم از محلول آبی استفاده کردند. هدف از این تحقیق بررسی امکان استفاده از پوسته‌ی شلتوک به جای جاذب کربن فعال برای جذب یون کادمیوم از محلول آبی در غلظتهای کم می باشد.

مواد و روشها

تهیه‌ی جاذب

پوسته‌ی شلتوک خام از کارگاه برنجکوبی محلی تهیه‌ی شد و با استفاده از الکهای شماره 30 و 40، اندازه های بین 425 تا 600 میکرون (متوسط هندسی قطر ذرات 510 میکرون) برای آزمایش انتخاب گردیدند. ذرات شلتوک با آب فراوان و سپس با استفاده از مواد پاک کننده چربی به خوبی شسته شد و در کوره با دمای 90 درجه‌ی سانتیگراد به مدت 3 ساعت خشک گردید. در این تحقیق از کربن فعال دانه‌ای (GAC)⁴، که ماده‌ی خام آن چوب می باشد، استفاده شد. اندازه ذرات جاذب کربن حدود 1/5 میلی متر بود.

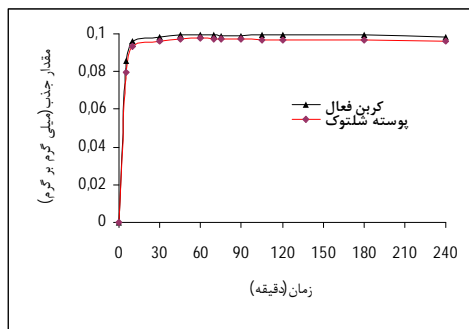
تهیه‌ی محلول یون فلزی

محلول خالص یون کادمیوم (1000 میلی گرم بر لیتر) مورد استفاده در این مطالعه به وسیله‌ی اختلاط نمک نترات کادمیوم (ساخت کارخانه Merk آلمان) با آب مقطر تهیه‌ی گردید. برای تهیه‌ی محلولهای کادمیوم با غلظتهای مختلف از دستورالعمل معیار آزمایشگاه آب و فاضلاب استفاده شد.

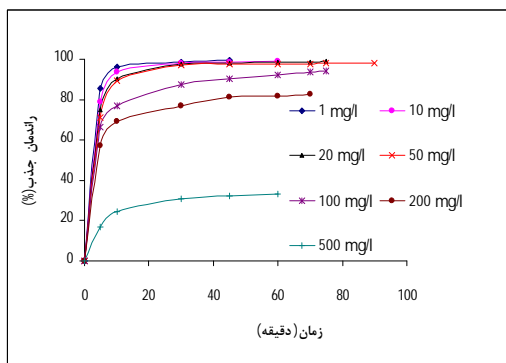
آزمایشهای جذب جنبشی

برای آزمایشهای جذب، تعداد 12 ارلن 250 میلی لیتری انتخاب، آن‌گاه مقدار 1 گرم از جاذب پوسته‌ی شلتوک توزین، و داخل هر یک از ارلنها ریخته شد. سپس 100 میلی لیتر محلول کادمیوم با

⁴ granular activated carbon



شکل 1- تأثیر زمان تماس بر بازدهی جذب کادمیوم به وسیله‌ی پوسته‌ی شلتوک و کربن فعال.



شکل 2- تأثیر زمان تماس و غلظت اولیه‌ی کادمیوم بر بازدهی جذب پوسته‌ی شلتوک.

اثر زمان تماس و غلظت اولیه‌ی کادمیوم بر بازدهی جذب

شکل‌های (2) و (3) به ترتیب تأثیر زمان تماس و غلظت اولیه‌ی را بر بازدهی جذب کادمیوم به وسیله‌ی پوسته‌ی شلتوک و کربن فعال نشان می‌دهند. همان گونه که مشاهده می‌شود، با افزایش زمان تماس، بازدهی جذب کادمیوم در هر دو جاذب افزایش می‌یابد. زمان تعادل در غلظت‌های 1، 10، 20، 50، 100، 200 و 500 میلی گرم بر لیتر، به ترتیب برای جاذب پوسته‌ی شلتوک 60، 90، 105، 120، 90، 75 و 60 دقیقه، و برای جاذب کربن فعال 45، 60، 75، 90، 75 و 70 و 60 دقیقه به دست می‌آید. بعد از رسیدن به تعادل، مقدار یون کادمیوم جذب شده با گذشت زمان

دو شبیه لانگمویر (1916) و فرونی‌دلیش (1906) بر داده‌های حاصل از آزمایش‌های جذب هم‌دما برازش داده شدند.

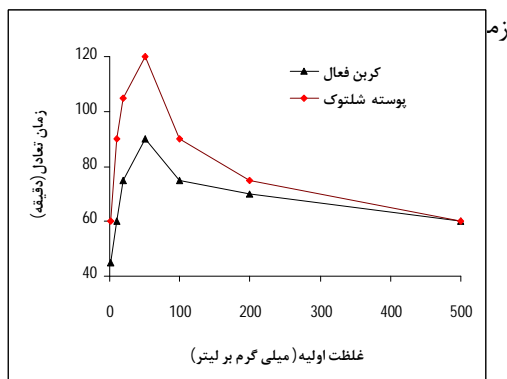
نتایج و بحث

نتایج آزمایش‌های جذب

تأثیر زمان تماس بر بازدهی جذب

شکل (1) تغییرات بازدهی جذب کادمیوم را نسبت به زمان در غلظت 1 میلی گرم بر لیتر برای جاذب‌های پوسته‌ی شلتوک و کربن فعال نشان می‌دهد. همان گونه که مشاهده می‌شود، با افزایش زمان تماس، بازدهی جذب کادمیوم در هر دو جاذب افزایش می‌یابد. بیشترین درصد حذف کادمیوم به ترتیب برای جاذب‌های پوسته‌ی شلتوک و کربن فعال بعد از 60 و 45 دقیقه به دست می‌آید، که بازدهی برابر 98 و 99/7 درصد داشتند. در تمامی زمان‌ها بازدهی جذب کادمیوم به وسیله‌ی کربن فعال بیشتر از پوسته‌ی شلتوک است. در زمان‌های اولیه‌ی، اختلاف بازدهی جذب بین این دو جاذب بیشتر مشهود است، بطوری که در 5 دقیقه‌ی اول اختلاف بازدهی جذب بین دو جاذب 5/54 درصد می‌باشد (بازدهی جذب به ترتیب برای جاذب‌های پوسته‌ی شلتوک و کربن فعال، 79/82 و 85/36 درصد می‌باشد) و پس از گذشتن 10 دقیقه، این اختلاف به 2/46 می‌رسد (بازدهی جذب به ترتیب برای جاذب‌های پوسته‌ی شلتوک و کربن فعال، 93/48 و 95/94 درصد می‌باشد) و نشان دهنده این است که در غلظت‌های کم، در ابتدای فرایند، جذب یون‌های کادمیوم به وسیله‌ی کربن فعال سریعتر از جاذب پوسته‌ی شلتوک می‌باشد.

غلظت‌های کم، مقدار یونهای فلزی موجود در محلول کم است، این مقدار محدود یون در مدت زمان کمی جذب خلل و فرج جاذب می‌شود. از این رو، با کاهش غلظت اولیه‌ی کادمیوم، زمان به تعادل رسیدن نیز کاهش می‌یابد. در این حالت (در غلظت‌های کم)، عامل تعیین کننده زمان تعادل ظرفیت جاذب می‌باشد. همچنین، از شکل (4) نتیجه می‌شود که با کاهش غلظت محلول از 50 میلی گرم به 1 میلی گرم بر لیتر، اختلاف زمان تعادل بین پوسته‌ی شلتوک و کربن فعال از 30 دقیقه به 15 دقیقه می‌رسد، که نشان می‌دهد با کاهش غلظت محلول کادمیوم، زمان تعادل جذب به‌وسیله‌ی پوسته‌ی شلتوک و کربن فعال به هم نزدیک گردیده و همگرا می‌شوند. همان گونه که ذکر شد، در غلظت‌های کم، عامل تعیین کننده‌ی زمان تعادل، غلظت محلول می‌باشد، و ظرفیت جاذب نقش چندانی در تعیین



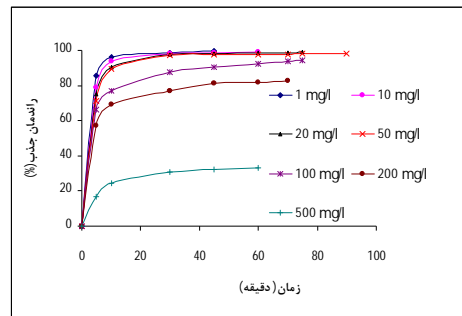
شکل 4- اثر غلظت اولیه‌ی کادمیوم بر زمان تعادل.

بنابراین، با کاهش غلظت محلول از 50 میلی گرم بر لیتر به 1 میلی گرم بر لیتر، اختلاف بین جاذب قوی (کربن فعال) و جاذب ضعیف (پوسته‌ی شلتوک) از بین می‌رود، و زمان تعادل برای هر دو جاذب به هم نزدیک می‌شود.

تأثیر غلظت اولیه‌ی بر بازده جذب

شکل (5)، تغییرات بازده جذب کادمیوم (بازده‌ی جذب در زمان تعادل) در غلظت‌های مختلف، به‌وسیله‌ی جاذب پوسته‌ی شلتوک و کربن فعال را نشان می‌دهد.

تغییر نمی‌کند. همچنین، مشاهده می‌شود که با کاهش غلظت محلول از 500 میلی گرم بر لیتر به 1 میلی گرم بر لیتر، بازده‌ی جذب برای هر دو جاذب افزایش می‌یابد.



شکل 3- تأثیر زمان تماس و غلظت اولیه‌ی کادمیوم بر بازده‌ی جذب کربن فعال.

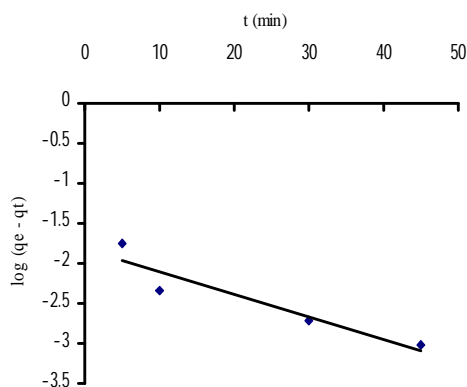
مقایسه‌ی زمان تعادل در غلظت‌های مختلف

شکل (4)، تغییرات زمان تعادل جذب کادمیوم در غلظت‌های مختلف، به‌وسیله‌ی پوسته‌ی شلتوک و کربن فعال را نشان می‌دهد. بیشترین زمان تعادل برای جاذب پوسته‌ی شلتوک (120 دقیقه) و کربن فعال (90 دقیقه) در غلظت 50 میلی گرم بر لیتر به دست آمد. با افزایش غلظت محلول از 50 میلی گرم بر لیتر به 500 میلی گرم بر لیتر، زمان تعادل فرایند جذب کاهش می‌یابد. در غلظت‌های بالا، به دلیل تجمع زیاد یونهای فلزی در اطراف جاذب، و افزایش احتمال برخورد فلز با جاذب، مدت زمان کمی طول می‌کشد که ظرفیت جاذب اشباع گشته و فرایند به تعادل برسد، بنابراین، در این حالت عامل تعیین کننده، زمان تعادل غلظت محلول می‌باشد. همچنین، مشاهده می‌شود که با کاهش غلظت محلول از 50 میلی گرم بر لیتر به 1 میلی گرم بر لیتر، زمان تعادل برای هر دو جاذب پوسته‌ی شلتوک و کربن فعال کاهش یافته و به ترتیب 60 و 45 دقیقه به دست آمد، که نشان می‌دهد با کاهش غلظت محلول کادمیوم، زمان تعادل نیز کاهش می‌یابد. با کاهش غلظت اولیه‌ی محلول انتظار می‌رود که به دلیل کاهش احتمال برخورد فلز با جاذب، زمان رسیدن به تعادل افزایش یابد، ولی با توجه به این که در

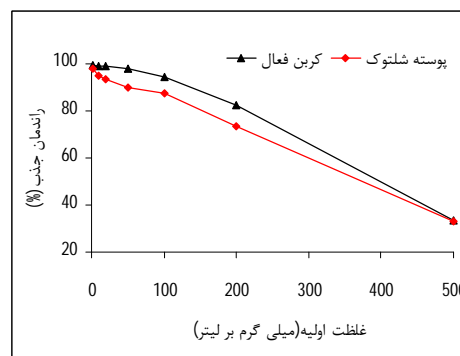
پوسته‌ی شلتوک و کربن فعال کاهش یافته و با هم همگرا می‌شوند، بطوری که در غلظت 1 میلی گرم بر لیتر اختلاف بازدهی جذب برای هر دو جاذب به کمترین مقدار خود رسیده و تقریباً برابر می‌شوند. در غلظت‌های کم، عامل محدود کننده بازدهی جذب غلظت محلول بوده و ظرفیت جذب جاذب نقش کمی را بر بازدهی جذب دارد. بنابراین، با کاهش غلظت اولیه یون فلزی، اختلاف بین بازدهی جذب جاذب کربن فعال و پوسته‌ی شلتوک از بین رفته و بازده‌های جذبشان با هم همگرا می‌شوند.

معادلات جذب جنبشی

دو شبیه لاگرگرن (1898) و هو و همکاران (1996) با داده‌های حاصل از آزمایش‌های جذب جنبشی در غلظت 1 میلی گرم بر لیتر برآزش داده شد. برای تعیین ضرایب شبیه لاگرگرن، $\text{Log}(q_e - q_t)$ در مقابل t رسم شد که برای دو جاذب پوسته‌ی شلتوک و کربن فعال در شکل‌های (6) و (7) نشان داده شده‌اند. از رسم منحنی t/q_t در مقابل t ، ضرایب شبیه هو و همکاران تعیین گردید، و برای جاذب‌های پوسته‌ی و کربن فعال در شکل‌های (8) و (9) آورده شده‌اند.



شکل 6 - برآزش شبیه لاگرگرن برای جاذب پوسته‌ی شلتوک.

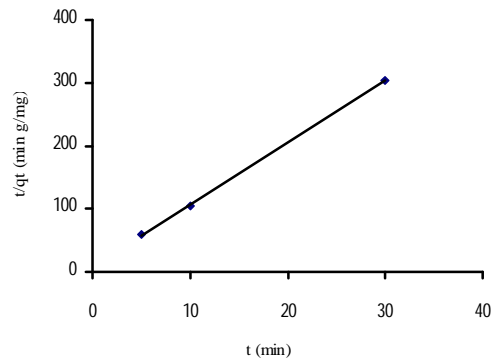


شکل 5- تغییرات بازدهی جذب در زمان تعادل با غلظت اولیه‌ی کادمیوم.

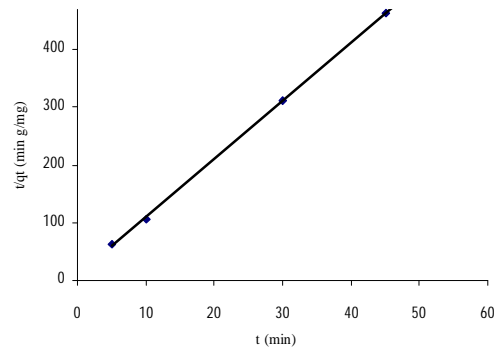
همان گونه که مشاهده می‌شود، با کاهش غلظت محلول کادمیوم از 500 میلی گرم به 1 میلی گرم بر لیتر، بازدهی جذب در جاذب‌های پوسته‌ی شلتوک و کربن فعال افزایش می‌یابد، بطوری که بیشترین بازدهی جذب به‌وسیله‌ی کربن فعال (99/7 درصد) و پوسته‌ی شلتوک (98/0 درصد) در غلظت 1 میلی گرم بر لیتر به دست آمد. با کاهش غلظت اولیه‌ی محلول مقدار یون‌های فلزی موجود در محلول کاهش می‌یابد؛ بنابراین، درصد بالایی از یونها، جذب جاذب می‌شوند. بیشترین اختلاف بازدهی جذب هر دو جاذب در غلظت 100 میلی گرم بر لیتر به دست آمد، که برابر با 11/85 درصد می‌باشد (بازدهی جذب به‌وسیله‌ی کربن فعال 94/25 درصد و به‌وسیله‌ی پوسته‌ی شلتوک 82/4 درصد می‌باشد). با کاهش غلظت محلول از 100 میلی گرم به 50 میلی گرم بر لیتر اختلاف بازدهی جذب به‌وسیله‌ی جاذب پوسته‌ی شلتوک و کربن فعال به 8/15 درصد می‌رسد. همچنین، با کاهش غلظت کادمیوم از 50 میلی گرم به 10 میلی گرم بر لیتر، اختلاف بازدهی جذب به 4/22 درصد می‌رسد، و نهایتاً با کاهش غلظت کادمیوم از 10 میلی گرم به 1 میلی گرم بر لیتر، اختلاف بازدهی جذب به 1/7 درصد کاهش می‌یابد. بنابراین، با کاهش غلظت محلول کادمیوم از 100 میلی گرم به 1 میلی گرم بر لیتر، اختلاف بازدهی جذب به‌وسیله‌ی جاذب

جدول (1) مقادیر q_e تعیین گردیده به وسیله‌ی آزمایشها ($q_{e \text{ exp}}$)، q_e محاسبه شده با کاربرد شبیه‌های لاگرگرن. و شبیه هو و همکاران ($q_{e \text{ cal}}$)، k_1 ، k_2 و ضریب همبستگی شبیه ها (R^2) را در غلظت 1 میلی گرم بر لیتر ارائه می دهد.

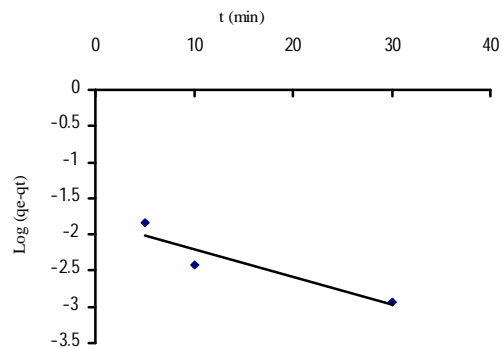
همان گونه که مشاهده می شود، برای هر دو جاذب پوسته‌ی شلتوک و کربن فعال، ضریب همبستگی شبیه هو و همکاران بزرگتر از شبیه لاگرگرن می باشد، بنابراین، می توان چنین نتیجه گرفت که شبیه هو و همکاران در مقایسه با شبیه لاگرگرن داده ها را بهتر توصیف می کند. همچنین، مشاهده می شود که مقدار q_e محاسباتی ($q_{e \text{ cal}}$) از شبیه هو و همکاران سازگاری خوبی با q_e آزمایشی ($q_{e \text{ exp}}$) دارد. مقایسه‌ی ضرایب شبیه هو و همکاران برای دو جاذب کربن فعال ($k_2 = 13/13$) و پوسته‌ی شلتوک ($k_2 = 10/91$) نشان می دهد که سرعت جذب سطحی کادمیوم بر روی جاذب کربن فعال سریعتر از جاذب پوسته‌ی شلتوک می باشد.



شکل 7 - برازش شبیه لاگرگرن برای جاذب کربن فعال.



شکل 8 - برازش شبیه هو و همکاران برای جاذب پوسته‌ی شلتوک.



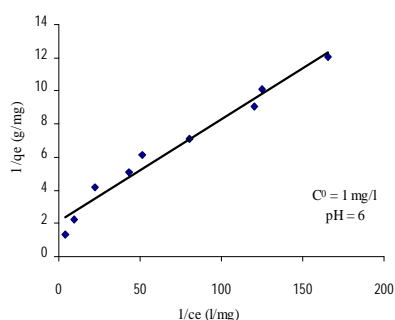
شکل 9 - برازش شبیه هو و همکاران برای جاذب کربن.

جدول 1- ثابتهای شبیه‌های جذب جنبشی کادمیوم به‌وسیله‌ی جاذبهای پوسته‌ی شلتوک و کربن فعال.

شبه لاگرگرن			شبه هو و همکاران			$q_{e \text{ exp}}$	جاذب
R^2	k_1	$q_{e \text{ cal}}$	R^2	k_2	$q_{e \text{ cal}}$		
0/8744	0/0642	0/0148	0/9998	10/856	0/0991	0/0980	پوسته‌ی شلتوک
0/8673	0/0882	0/0149	0/9998	13/13	0/101	0/0997	کربن فعال

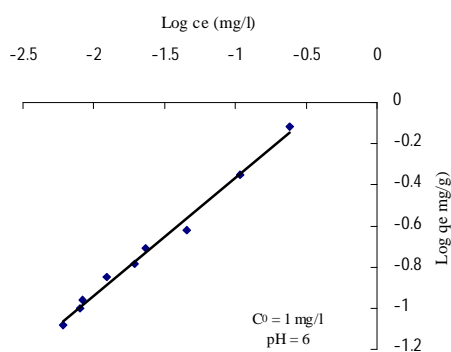
شکل 11- رسم خطی شبیه همدمای فرونیدلش جذب

کادمیوم به‌وسیله‌ی جاذب پوسته‌ی شلتوک.



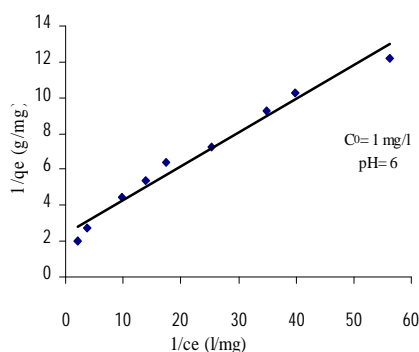
شکل 12- رسم خطی شبیه همدمای لانگمویر جذب

کادمیوم به‌وسیله‌ی جاذب کربن فعال.



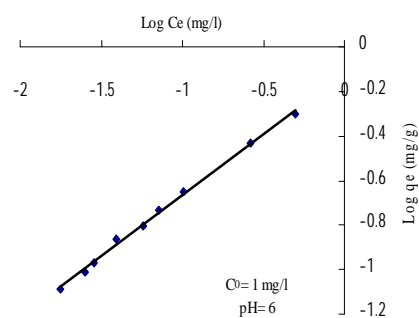
شکل 13- رسم خطی شبیه همدمای فرونیدلش

جذب کادمیوم به‌وسیله‌ی جاذب کربن فعال.



شکل 10- رسم خطی شبیه همدمای لانگمویر جذب

کادمیوم به‌وسیله‌ی جاذب پوسته‌ی شلتوک.



نتایج آزمایشهای جذب همدمای

داده های حاصل از آزمایشهای جذب همدمای به‌وسیله‌ی شبیه های همدمای لانگمویر و فرونیدلش برآزش داده شدند و ثابتهای هر شبیه و ضرایب همبستگی آنها به دست آمدند. شکلهای (10) و (11) به ترتیب رسم خطی شبیه همدمای لانگمویر و فرونیدلش را برای جاذب پوسته‌ی شلتوک، و شکلهای (12) و (13) رسم خطی شبیه همدمای لانگمویر و فرونیدلش را برای جاذب کربن فعال نشان می دهند. نتایج حاصل از برآزش شبیه‌های لانگمویر و فرونیدلش در جدول (2) آورده شده اند.

جدول 2- برازش شبیه‌های همدمای لانگمویر و فرونیدلیش برای جذب کادمیوم به‌وسیله‌ی پوسته‌ی شلتوک و کربن فعال.

شبیه همدمای لانگمویر			شبیه همدمای فرونیدلیش			جاذب
R ²	a	b	R ²	k	n	
0/9765	12/89	0/413	0/9969	0/76	1/828	پوسته‌ی شلتوک
0/971	33/99	0/476	0/9907	1/621	1/741	کربن فعال

گرم بر لیتر، زمان تعادل دو جاذب پوسته‌ی شلتوک و کربن فعال کاهش یافته و همگرا می‌شوند. همچنین، با کاهش غلظت محلول از 500 میلی گرم به 1 میلی گرم بر لیتر، بازدهی جذب به‌وسیله‌ی پوسته‌ی شلتوک و کربن فعال افزایش یافته و همگرا می‌گردند.

مقایسه ضرایب n به دست آمده از شبیه فرونیدلیش نشان داد که در غلظت‌های کم، مطلوبیت جذب پوسته‌ی شلتوک بهتر از جاذب کربن فعال می‌باشد.

با توجه به همگرایی بازدهی جذب پوسته‌ی شلتوک و کربن فعال و همچنین همگرایی زمان تعادل آنها در غلظت‌های کم، تفاوت بین جاذب قوی (کربن فعال) و جاذب ضعیف (پوسته‌ی شلتوک) تقریباً از بین رفته و می‌توان در غلظت‌های کم از جاذب پوسته‌ی شلتوک به جای جاذب کربن فعال برای حذف یون کادمیوم از محلول آبی استفاده کرد.

منابع

1. اسدی، ف 1381. حذف فلزات سنگین از فاضلابهای صنعتی به‌وسیله‌ی پوسته‌ی شلتوک برنج، خاک اره و خاک، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان. رشته خاکشناسی - 157 ص.
2. پروین پور، ا. 1380. پیش بینی رفتار جذب نمونه های کربن فعال و کربن غربال مولکولی با استفاده از شبیه های مختلف جذب، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران. رشته شیمی تجزیه 134 ص.
3. توکلی، م، م. طباطبایی. 1378. آبیاری با فاضلاب تصفیه شده. مجموعه مقالات همایش جنبه های زیست محیطی استفاده از پساب در آبیاری. دانشگاه شهید چمران اهواز 28، 26-1.

همان گونه که مشاهده می‌شود، برای هر دو جاذب پوسته‌ی شلتوک و کربن فعال، ضریب همبستگی شبیه همدمای فرونیدلیش بیشتر از شبیه لانگمویر است. از این رو با توجه به ضریب همبستگی بالا، شبیه همدمای فرونیدلیش برای پیش بینی رفتار جذب کادمیوم از محیط آبی به‌وسیله‌ی جاذب، پوسته‌ی شلتوک و کربن فعال انتخاب و معرفی می‌گردد. همچنین، با توجه به مقدار n به دست آمده از برازش شبیه فرونیدلیش بر داده های جذب می‌توان چنین نتیجه گرفت که جذب یونهای کادمیوم به‌وسیله‌ی جاذب پوسته‌ی شلتوک و کربن فعال از مطلوبیت خوبی برخوردار است. با توجه به این که ضریب n به دست آمده برای جاذب پوسته‌ی شلتوک بیشتر از کربن فعال می‌باشد، می‌توان گفت که در غلظت‌های پایین (1 میلی گرم بر لیتر) مطلوبیت جذب پوسته‌ی شلتوک کمی بیشتر از کربن فعال می‌باشد. دستاوردهای این تحقیق با نتایج گزارشهای شامحمدی حیدری و همکاران (1387) مطابقت دارند.

نتیجه گیری

زمان تعادل فرایند جذب و همچنین بازدهی جذب به عنوان فراسنجهای اقتصادی، بیشترین اهمیت را برای توسعه دانش و فن تصفیه‌ی آب بر پایه جاذبهای طبیعی دارند. غلظت محلول و ظرفیت جاذب به عنوان دو عامل تأثیرگذار زمان تعادل و بازدهی جذب می‌باشند. اگر چه به دلیل افزایش سطح ویژه، بازدهی جذب کربن فعال بیشتر از پوسته‌ی شلتوک است، ولی در غلظت‌های کم عامل تعیین کننده زمان تعادل و بازدهی جذب، غلظت محلول می‌باشد. از این رو، با کاهش غلظت محلول از 50 میلی گرم به 1 میلی

- competitive heavy metal adsorption by sphagnum moss peat. *Environ. Tech.* 17: 71- 77.
13. Kumar, U. 2006. Agricultural products and by-products as low cost adsorbent for heavy metal removal from water and wastewater: A review. *Sci. Res. Essay.* 1: 33- 37.
 14. Lagergren, S. 1898. About the theory so-called adsorption of soluble substances. *Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar.* 24(4): 1-39.
 15. Langmuir, I. 1916. The constitution and fundamental properties of solids and liquids. *J. Am. Chem. Soc.* 38: 2221-2295.
 16. Mahvi, A. H., A. Maleki, and A. Eslami. 2004. Potential of rice husk and rice husk ash for phenol removal in aqueous solution systems. *Am. J. Appl. Sci.* 1: 321- 326.
 17. Montanher, S. F., E. A. Oliveira, and M.G. Rollemberg. 2005. Removal of metal ions from aqueous solution by sorption onto rice bran. *J. Hazard. Mat. B* 117: 207- 211.
 18. Olmez, H. 1988. Utilization of agricultural and industrial wastes in production of the cement. *Ondokus Mayıs University. Publ. No.* 47.
 19. Verma, N. and S. Rehal, 1994. Bioscavenging of Cu (II) ions from aqueous solution with rice barn. *Bioresour. Tech.* Vol. 79: 277- 278.
 4. - جمالی ارمندی، ح. 1387. مقایسه فرایند حذف سرب از محلول آبی به‌وسیله‌ی پوسته‌ی شلتوک و کربن فعال، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی آب. دانشگاه زابل. 178 ص .
 5. شامحمدی حیدری، ز. و م. خواجه. 1389. اثر تغییرات جرم جاذب خاک اره بر جنبشی جذب فلز کروم در محیط آبی. *مجله محیط شناسی دانشگاه تهران*، 56: 61-68.
 6. شامحمدی حیدری، ز. و ه. معاضد. 1387. همگرایی بازده جذب کادمیوم در محیط آبی به‌وسیله‌ی پوسته‌ی شلتوک اصلاح شده، *مجله علوم، دانشگاه شهید چمران*، 20: 32-34.
 7. Abdel-Ghani, N. Hefny M, and G. El-Chaghaby. 2007. Removal of Ca (II) from aqueous solution using low cost abundantly available adsorbent. *Int. J. Environ. Sci. Tech.* 4: 67- 73.
 8. Deen, G. F. Bosqui, and H. Lanouette . 1972. Removing heavy metals from wastewater. *Environ. Sci. Tech.* 6: 777-788.
 9. Freundlich, H. M. 1906. Uber die adsorption in losungen. *Z. Phys. Chem.* 57: 385- 470.
 10. Grist, D. H. 1975. *Rice.* 5th ed, Longman, London.
 11. Han, R., J. Zhang, W. Zou, J. Shi, and H. Liu, 2005. Equilibrium bio sorption isotherm for cadmium ion on chaff of rice. *J. Hazard. Mat. B* 125: 266- 271.
 12. Ho, Y. S., D. A. Wase, and C. F. Forster. 1996. Kinetic studies of