



جذب استرانسیم توسط MCM-41 عامل دار شده با گروه آمینوسیلان

حسین فقیهیان*، شیمیا نصری، سمیرا خونساری

گروه شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرضا، صندوق پستی: ۳۱۱-۸۶۱۴۵، شهرضا - ایران

چکیده: در این کار تحقیقاتی، ابتدا غربال مولکولی MCM-41 سنتز و توسط روش های XRD، FT-IR، TG و BET شناسایی شد. سپس توانایی آن در جذب کاتیون Sr^{2+} مورد بررسی قرار گرفت. به منظور افزایش ظرفیت جذب این ترکیب، از ۳-آمینو پروپیل تری متوکسی سیلان به عنوان اصلاح کننده ی سطح استفاده شد. جذب اصلاح شده (NH_2 -MCM-41)، نیز توسط روش های ذکر شده شناسایی و به منظور بررسی میزان جذب کاتیون Sr^{2+} از محلول های آبی، همراه با بررسی میزان اثر پارامترهای مؤثر بر جذب از جمله pH محلول، زمان تماس، غلظت کاتیون فلزی و درجه حرارت، مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاکی از آن است که جذب کاتیون Sr^{2+} بر روی سطح جاذب، با افزایش pH، افزایش می یابد و بیشینه جذب برابر 6.0 mg/g به دست آمد.

واژه های کلیدی: غربال مولکولی MCM-41، کاتیون Sr^{2+} ، ظرفیت جذب، جذب اصلاح شده ی NH_2 -MCM-41، آمینوسیلان

Adsorption of Sr^{2+} by MCM-41 Functionalized by Aminosilane Group

H. Faghihian*, Sh. Nasri, S. Khansari

Department of Chemistry, Azad University of Shahreza, P.O.Box: 86145-311, Shahreza – Iran

Abstract: In this research, MCM-41 molecular sieve was synthesized, and was characterized by XRD, FT-IR, TG and BET techniques. The ability of the adsorbent towards Sr^{2+} was then investigated. In order to increase the adsorption capacity of the molecular sieve, the sample was modified by 3-amino propyltrimethoxysilane. The modified MCM-41 was used for the Sr^{2+} removal at different experimental conditions. The effect of different parameters including pH of the solution, contact time, initial concentration of Sr^{2+} and temperature were also studied. We concluded that the adsorption of Sr^{2+} increases as the initial pH of the solution increases. The maximum adsorption capacity of 6.0 mg/g obtained.

Keywords: Molecular Sieve MCM-41, Sr^{2+} , Adsorption Capacity NH_2 -MCM-41

*email: faghihian@iaush.ui.ac.ir



۱- مقدمه

به موضوع تولید پس ماند‌های هسته‌ای که از زمان کشف مواد پرتوزا مورد نظر بوده است پس از کشف شکافت هسته‌ای توجه ویژه‌ای مبذول گردید، زیرا کلیه‌ی رآکتورهای شکافت، ایزوتوپ‌های پرتوزا تولید می‌کنند. تابش بسیاری از ایزوتوپ‌ها برای حیات جانداران خطرناک است. ^{90}Sr یکی از این محصولات شکافت با بازده ۶٪ است. ^{90}Sr در استخوان تجمع یافته و به مدت ۳۰ سال در بدن باقی مانده و با خون ترکیب می‌شود. یکی از اثرات سمی آن، که در بمباران جنگ جهانی دوم بررسی شده است این است که تومورهای پرتقالی رنگی تشکیل می‌دهد که باعث سرطان خون می‌شود. این تومورها از ذرات بتای گسیل شده در فرایند فروپاشی ^{90}Sr به ^{90}Y ناشی می‌شوند [۱ و ۲]. بنابراین مسئله‌ی جداسازی و انبار نمودن و دفن ایمن این ترکیبات با زیاد شدن تعداد رآکتورها سال به سال مباحث گسترده‌تری را در بر می‌گیرد. روش‌های زیادی برای جداسازی و حذف فلزات سنگین سمی و پرتوزا از پساب وجود دارد که از آن میان می‌توان به روش تبادل یون، رسوب‌گیری، تبخیر، استخراج با حلال و روش جذب سطحی اشاره کرد [۳]. روش جذب سطحی به علت ارزان بودن جاذب‌ها، در دسترس بودن انواع مختلف آن‌ها و کاربرد در تمامی غلظت‌ها روشی ساده و قابل توجه است [۴]. MCM-41 ترکیب معروف سیلیکاتی میان حفره است که به علت دارا بودن مساحت سطح و حجم زیاد حفره‌ها و منافذ قابل کنترل در مقیاس ۲ تا ۱۰ نانومتر با ساختار هگزاگونال به عنوان جاذب پیشنهاد می‌شود [۵]. اصلاح گروه‌های عاملی سیلانول MCM-41 با گروه‌های عاملی آمین منجر به تشکیل جاذبی با ظرفیت جذب بالا می‌شود [۶]. در این کار تحقیقاتی، NH₂-MCM-41 سنتز شده و به عنوان جاذبی برای جذب کاتیون‌های Sr²⁺ مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱ مواد شیمیایی و دستگاه

تترا اتیل ارتو سیلیکات، ستیل تری متیل آمونیم برمید، آمونیم هیدروکسید، تولوئن، اتانول، سدیم هیدروکسید، ۳-آمینو پروپیل تری متوکسی سیلان، استرانسیم نترات و پتاسیم کلرید از شرکت

مرک تهیه شده‌اند. pH اولیه‌ی محلول‌های کاتیون استرانسیم با استفاده از سدیم هیدروکسید ۱ مولار و هیدروکلریدریک اسید ۱ مولار و با pH متر مدل ۳۵۰۵ ساخت شرکت جان‌وی^(۱) در مقادیر معین تنظیم شد.

محلول‌های استاندارد کاتیون استرانسیم با رقیق‌سازی محلول ۱۰۰۰ میلی‌گرم برلیتر در آب یون‌زدایی شده تهیه شد. قابل ذکر است که این محلول‌های استاندارد و هم‌چنین محلول‌های مورد آزمایش باید دارای مقدار یکسانی از KCl به عنوان بافر یونش باشد. اندازه‌گیری غلظت کاتیون استرانسیم، با استفاده از دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی Perkin Elmer A Analyst300 صورت گرفت.

۲-۲ تهیه‌ی جاذب

به منظور تهیه‌ی جاذب MCM-41، ۴ گرم ستیل تری متیل آمونیم برمید (CTAB) در یک لیتر از محلول ۱/۱ مولار آمونیم هیدروکسید حل شد. محلول حاصل پس از افزودن ۱۶ میلی‌لیتر تترا اتیل اورتو سیلیکات به آن به مدت ده دقیقه هم زده شد. به منظور تشکیل ساختار بلورین، مخلوط به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط نگه داشته شد. سپس محصول حاصل پس از فیلتر و شسته شدن خشک گردید و به منظور جدا نمودن مولکول‌های آلی قالب‌دهنده (CTA⁺)، عمل کلسینه شدن در دمای ۸۲۳K و به مدت ۲۴ ساعت انجام شد [۷].

برای تهیه‌ی جاذب NH₂-MCM-41، ۲٫۵۰ گرم از جاذب MCM-41 پیش از این سنتز شده با ۱۷ میلی‌لیتر ۳-آمینو پروپیل تری متوکسی سیلان در ۲۵۰ میلی‌لیتر تولوئن خشک، به مدت ۱۸ ساعت رفلاکس گردید. محصول حاصل، پس از فیلتر شدن، توسط تولوئن شسته شده و به مدت ۲۴ ساعت درون آون خشک گردید که در نهایت به صورت پودر به منظور جذب کاتیون‌های سنگین مورد استفاده قرار گرفت [۸].

۲-۳ شناسایی نمونه‌ها

الگوی پراش پرتو ایکس منبع مس دستگاه پراش سنج پرتو ایکس D8 ADVANCE ساخت شرکت بروکر با خط طیفی K α با طول موج ۱٫۵۴۰۶ آنگسترم، برای جاذب‌های قبل و بعد از عمل اصلاح ثبت گردید.



تهیه و با ۰/۰۱ گرم جاذب در تماس قرار داده شد. محتویات ظرف در دستگاه تکاننده به مدت ۱۲ ساعت و در دمای محیط هم زده شد. سپس فاز محلول از فاز جامد جدا و غلظت یون فلزی در محلول به روش طیفسنجی جذب اتمی اندازه گیری شد.

۴-۴-۲ بررسی اثر دما بر میزان جذب

به منظور بررسی این عامل، میزان جذب کاتیون در دماهای ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درجه سانتی گراد و تحت شرایط بهینه اندازه گیری شد. تنظیم درجه حرارت توسط حمام آب انجام گرفت.

برای اندازه گیری ظرفیت تعادلی جذب جاذب از رابطه ی زیر استفاده شد

$$q = (C_i - C_e) \frac{V}{m} \quad (1)$$

که در آن، q مقدار گونه ی جذب شده بر روی جاذب (mg/g)، C_i غلظت اولیه ی آن (mg/L)، C_e مقدار تعادلی آن (mg/L)، V حجم محلول حاوی آن (L) و m مقدار ماده ی جاذب (g) می باشد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱ الگوی پراش پرتو ایکس

طیف های XRD نمونه های MCM-41 مرجع (a)، MCM-41 سنتز شده (b) و NH₂-MCM-41 (c)، در شکل ۱ نشان داده شده است. الگوی پراش پرتو ایکس نمونه ی MCM-41، یک خط طیفی قوی در صفحه ی (۱۰۰) در 2θ برابر ۲٫۵ و دو خط طیفی ضعیف تر در صفحات (۱۱۰) و (۲۰۰) از خود نشان می دهد. که مشخصه ی وجود ساختار میان حفره ای هگزاگونالی می باشد. پس از تثبیت ۳- آمینوپروپیل تری متوکسی سیلان بر بستر میان حفره ای MCM-41 الگوی پراش و در نتیجه تقارن هگزاگونالی کاملاً حفظ می شود. از سوی دیگر، قله های براگ، کمی به سمت زاویه های بالاتر جابه جا می شود و علاوه بر پهن شدن، شدت آن ها کاهش می یابد که این موارد در مورد پیک قوی (۱۰۰) به وضوح قابل مشاهده است. انحراف، پهن شدگی و کاهش شدت، شواهدی برای تثبیت ۳- آمینوپروپیل تری متوکسی سیلان بر بستر میان حفره ای و در داخل حفره ها و کانال های آن می باشد [۹].

برای تهیه ی طیف های تبدیل فوریه ی زیر قرمز^(۲) از دستگاه Impact-400 D ساخت شرکت نیکولت^(۳) استفاده شد. برای این منظور هر نمونه به نسبت مناسب با پودر KBr مخلوط و بعد از آسیاب کردن و تهیه ی قرص، طیف زیر قرمز نمونه ها در ناحیه ی ۴۰۰ تا ۴۰۰۰ cm⁻¹ تهیه گردید.

به منظور ثبت منحنی های گرماگرانی سنجی جاذب های سنتز شده از دستگاه تجزیه ی گرمایی TA400 ساخت شرکت متلر استفاده شد. تمام این بررسی های گرماگرانی سنجی در محیط بی اثر گاز نیتروژن، در بازه ی دمایی ۰ تا ۹۰۰ درجه ی سانتی گراد و با سرعت گرمادهی ۲۵ درجه سانتی گراد در دقیقه انجام شد. از روش BET و دستگاه Monosorb surface area analyze برای اندازه گیری سطح ویژه ی جاذب های قبل و بعد از عمل اصلاح استفاده شد.

۴-۲ بررسی میزان کاتیون استرانسیم

۴-۲-۱ بررسی اثر pH بر روی میزان جذب

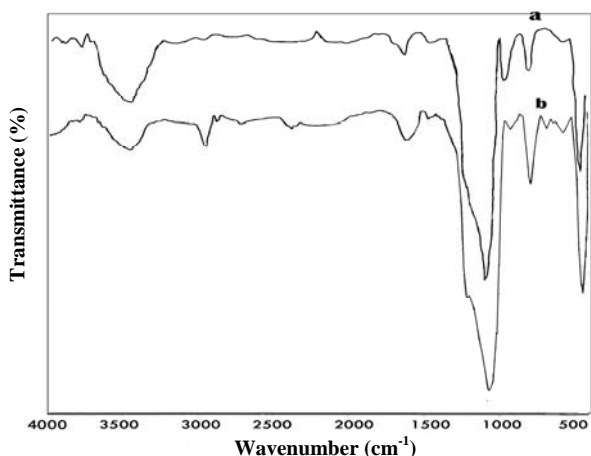
به منظور بررسی اثر pH بر روی میزان جذب کاتیون استرانسیم توسط جاذب NH₂-MCM-41، محلول هایی با غلظت ۱۲۰ میلی گرم بر لیتر کاتیون استرانسیم و با pH های مختلف تهیه و در داخل بطری های پلی اتیلنی در تماس با ۰/۰۱ گرم جاذب و در دستگاه تکاننده و در دمای محیط قرار داده شد. بعد از گذشت ۲۴ ساعت بطری ها از دستگاه خارج و پس از جداسازی فاز محلول از فاز جامد، غلظت یون فلزی در محلول با استفاده از روش طیفسنجی جذب اتمی اندازه گیری شد.

۴-۲-۲ بررسی اثر زمان تماس بر میزان جذب

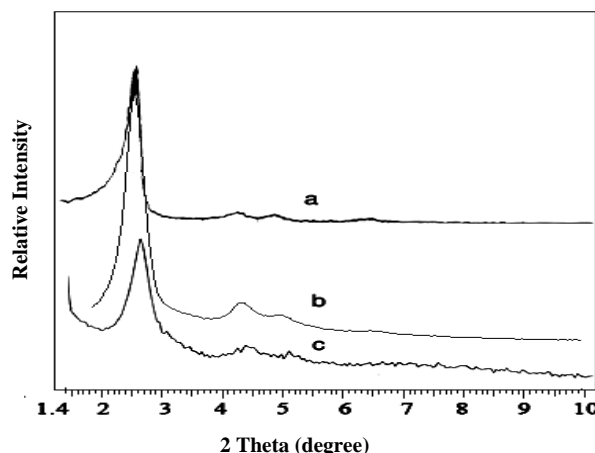
برای بررسی تأثیر زمان تماس محلول کاتیون استرانسیم بر میزان جذب و تعیین مدت زمان بهینه، ابتدا محلول هایی با غلظت ۱۲۰ میلی گرم بر لیتر و در pH بهینه تهیه، و مقدار ۰/۰۱ گرم از جاذب اضافه گردید. آن گاه محتویات ظرف در دستگاه تکاننده و در دمای محیط و در بازه ی زمانی ۲ تا ۴۸ ساعت قرار داده شد. پس از گذشت زمان مشخص، مراحل اندازه گیری انجام گردید.

۴-۲-۳ بررسی اثر غلظت بر میزان جذب

برای بررسی اثر غلظت محلول کاتیون استرانسیم بر میزان جذب، تحت شرایط بهینه (از نظر pH و زمان تماس)، محلول هایی از کاتیون مورد نظر در محدوده ی غلظتی ۱۰ تا ۱۴۰ میلی گرم بر لیتر



شکل ۲- طیف تبدیل فوریه‌ی زیر قرمز نمونه‌های MCM-41 قبل از اصلاح سطح (a) و بعد از اصلاح سطح (b).



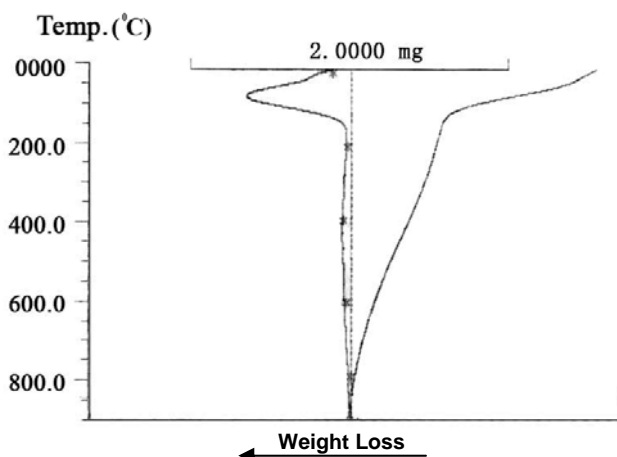
شکل ۱- الگوی پراش پرتو ایکس MCM-41 مرجع (a)، MCM-41 سنتز شده (b)، NH₂-MCM-41 (c).

۳-۲ طیف زیر قرمز

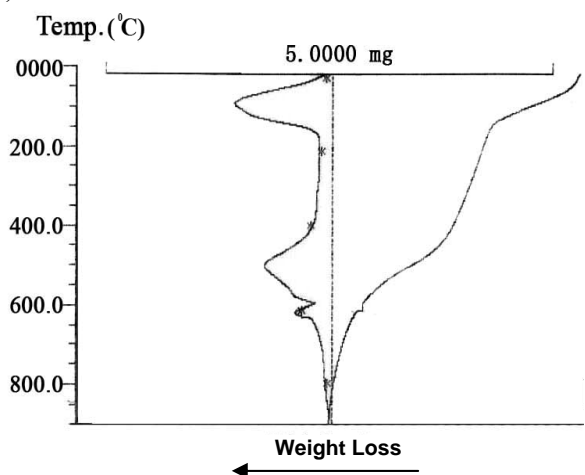
در طیف تبدیل فوریه‌ی زیر قرمز (FT-IR) نمونه‌ی MCM-41 (شکل ۲a) باند پهن و گسترده در ناحیه‌ی ۳۲۰۰ تا 3600 cm^{-1} مربوط به ارتعاشات کششی پیوندهای هیدروژنی گروه‌های Si-OH می‌باشد. برای ارتعاشات Si-O-Si در ناحیه‌ی 1093 cm^{-1} کشش نامتقارن، در ناحیه‌ی 810 cm^{-1} کشش متقارن، و در ناحیه‌ی 467 cm^{-1} ارتعاشات خمشی دیده می‌شود. طیف تبدیل فوریه‌ی زیر قرمز (FT-IR) نمونه‌ی NH₂-MCM-41 در شکل ۲b نشان داده شده است. قله‌ی پهن در ناحیه‌ی ۱۵۹۸ تا 1650 cm^{-1} مربوط به ارتعاشات خمشی گروه NH است. کشش NH در ناحیه‌ی ۳۳۰۰ تا 3600 cm^{-1} و کشش CN در ناحیه‌ی ۱۰۳۰ تا 1230 cm^{-1} با باند پهن گروه سیلانول و ارتعاشات Si-O-Si هم‌پوشان شده‌اند [۳ و ۱۰].

۳-۳ منحنی گرماگرانی سنجی

منحنی‌های گرماگرانی سنجی نمونه‌ی MCM-41 (a) و شکل اصلاح شده‌ی آن (b)، در شکل ۳ نشان داده شده‌اند. کاهش وزنی که در محدوده دمایی تا ۲۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد اتفاق می‌افتد، ناشی از حذف مولکول‌های آب جذب سطحی شده توسط جاذب می‌باشد. از مقایسه‌ی منحنی نمونه‌ی MCM-41 قبل و بعد از اصلاح شدن با ۳-آمینو پروپیل تری متوکسی سیلان ملاحظه می‌شود که منحنی گرماگرانی سنجی نمونه‌ی اصلاح شده دارای قله‌ی معرف کاهش وزن دیگری در محدوده‌ی دمایی ۴۰۰ تا ۶۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد است که به حذف گروه‌های عاملی NH₂ از سیستم نسبت داده می‌شود.

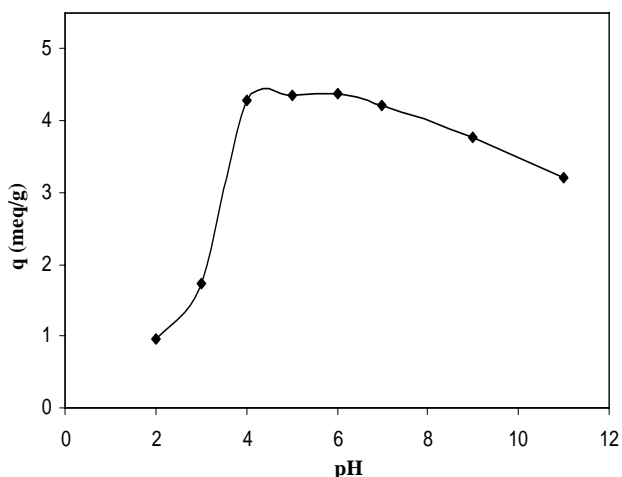


(a)

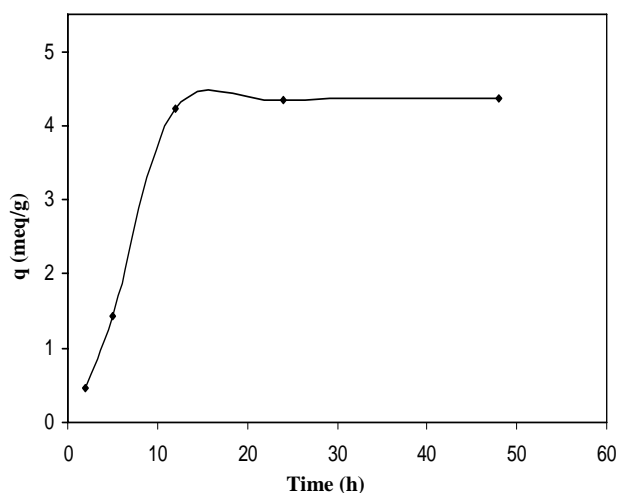


(b)

شکل ۳- منحنی‌های گرماگرانی سنجی و گرماگرانی تفاضلی (TG/DTG) نمونه‌های MCM-41 قبل از اصلاح سطح (a) و بعد از اصلاح سطح (b).



شکل ۴- تأثیر تغییرات pH بر میزان جذب Sr^{2+} بر روی NH_2 -MCM-41.



شکل ۵- میلی‌اکی‌والان Sr^{2+} جذب شده به وسیله NH_2 -MCM-41 به صورت تابعی از زمان.

۳-۵-۳ اثر غلظت

تأثیر غلظت اولیه محلول بر میلی‌اکی‌والان Sr^{2+} جذب شده در شکل ۶ دیده می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش غلظت Sr^{2+} ، میلی‌اکی‌والان Sr^{2+} جذب شده افزایش یافته است که این به دلیل افزایش تعداد کاتیون‌ها در محلول‌های غلیظ‌تر و در نتیجه افزایش برخوردهای مؤثر Sr^{2+} با جایگاه‌های NH_2 موجود در سطح جاذب می‌باشد. از غلظت ۱۲۰ میلی‌گرم بر لیتر به بعد، میزان Sr^{2+} جذب شده در حد مشخصی ثابت باقی‌مانده است.

۳-۴ نتایج اندازه‌گیری سطح ویژه نمونه‌ها (BET)

با به کارگیری معادله BET و روش جذب-وا جذب نیتروژن، مساحت سطح ویژه نمونه‌ها قبل از اصلاح سطح و بعد از آن اندازه‌گیری شد. مساحت سطح ویژه $MCM-41$ قبل از اصلاح سطح $961 m^2/g$ بود که بعد از اصلاح سطح به $198 m^2/g$ کاهش یافت. همان‌طور که مشاهده می‌شود نمونه‌ی اولیه‌ی $MCM-41$ قبل از اصلاح با گروه‌های عاملی دارای مساحت سطح بالایی است. کاهش مساحت سطح ویژه بعد از اصلاح سطح را می‌توان به قرار گرفتن گروه‌های NH_2 در منافذ سطح نمونه‌ها نسبت داد.

۳-۵-۴ جذب کاتیون استرانسیم بر روی NH_2 -MCM-41 و تعیین

شرایط بهینه‌ی جذب

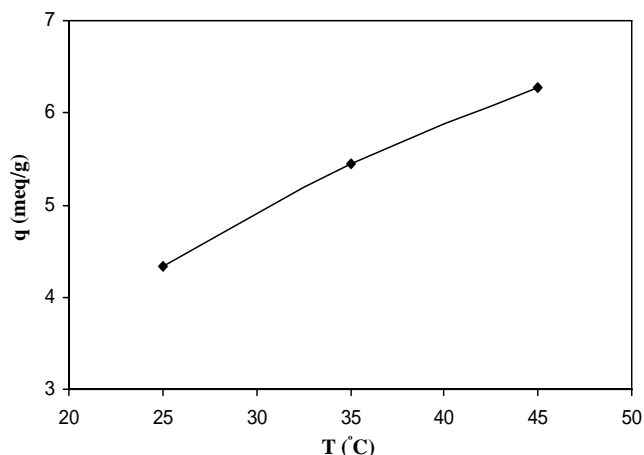
۳-۵-۱-۱ تأثیر pH

یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر فرایند جذب یون‌های فلزی سنگین pH می‌باشد. نتایج حاصل از آزمایش تأثیر تغییرات pH بر میزان جذب Sr^{2+} در شکل ۴ مشاهده می‌شود.

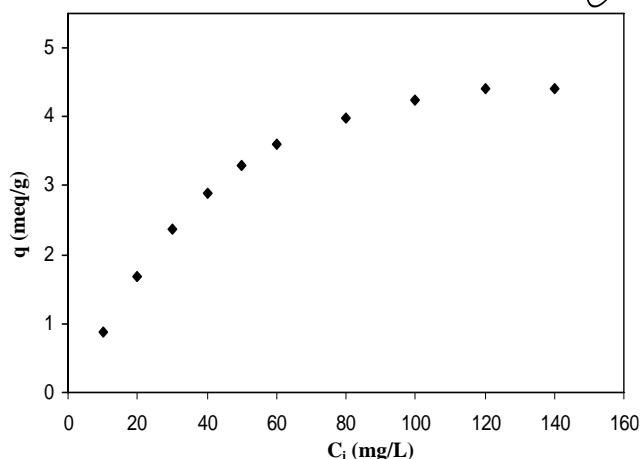
با افزایش pH اولیه‌ی محلول از ۲ تا ۶، میزان جذب Sr^{2+} افزایش می‌یابد که این افزایش را می‌توان به دلیل کاهش برهم‌کنش بین H^+ و گروه‌های NH_2 و هم‌چنین افزایش تعداد جای‌گاه‌های NH_2 دانست که منجر به افزایش برهم‌کنش الکتروستاتیک بین سطح جاذب و کاتیون Sr^{2+} می‌شود. در pH‌های قلیایی، به علت جذب یون‌های OH^- محلول بر سطح جاذب از طریق پیوند هیدروژنی با کاهش میزان جذب کاتیون Sr^{2+} طی فرایند کمپلکس شدن سطحی مواجه هستیم. لذا در ادامه‌ی تحقیق، pH بهینه برای جذب Sr^{2+} بر روی NH_2 -MCM-41 حدود ۶ انتخاب شد.

۳-۵-۲ اثر زمان تماس

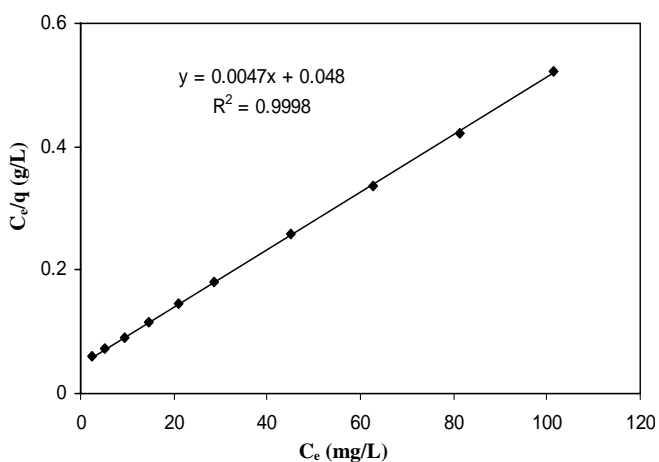
شکل ۵ میزان تأثیر زمان تماس بر میلی‌اکی‌والان Sr^{2+} جذب شده را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، در محدوده‌ی زمانی ۲ تا ۱۲ ساعت میزان جذب افزایش چشم‌گیری دارد که به دلیل افزایش احتمال برخوردهای مؤثر Sr^{2+} با جایگاه‌های NH_2 موجود در سطح جاذب NH_2 -MCM-41 می‌باشد. در زمان‌های تماس بیش از ۱۲ ساعت تفاوت قابل‌توجهی در میزان جذب مشاهده نشد که نشانه‌ی برقراری تعادل در فرایند جذب می‌باشد.



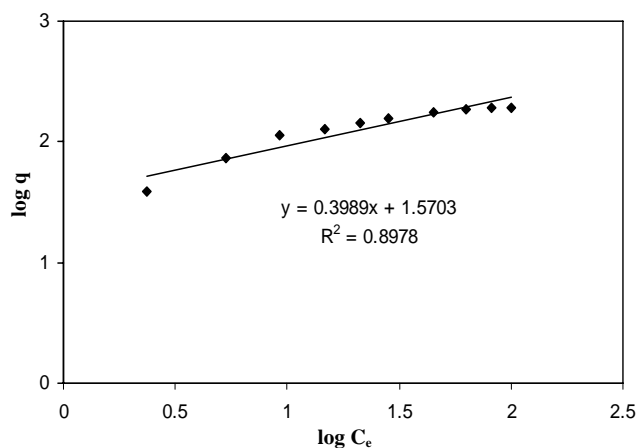
شکل ۷- تأثیر درجه حرارت بر میزان جذب Sr^{2+} بر روی $NH_2-MCM-41$.



شکل ۶- تأثیر غلظت اولیه بر میلی‌اکی‌والان Sr^{2+} جذب شده بر روی $NH_2-MCM-41$.



شکل ۸- ایزوترم لانگمویر مربوط به جذب Sr^{2+} .



شکل ۹- ایزوترم فروندلیچ مربوط به جذب Sr^{2+} .

که در آن R ثابت گازها ($8.314 \text{ Jmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$) می‌باشد. همان‌طور که معادله (۲) نشان می‌دهد، یک رابطه‌ی خطی بین $\ln K_d$ و عکس درجه حرارت وجود دارد. لذا اگر این خط مستقیم ترسیم

۳-۵-۱۴ اثر درجه حرارت

عامل دیگری که می‌تواند بر فرایند تعادلی جذب اثر بگذارد، عامل درجه حرارت محیط انجام واکنش است. به همین دلیل این پدیده در محدوده‌ی دمایی ۲۵ تا ۴۵ درجه‌ی سانتی‌گراد مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به شکل ۷، ملاحظه می‌شود که افزایش درجه حرارت بر میزان جذب Sr^{2+} اثر مستقیم دارد که این خود نشانه‌ی گرماگیر بودن فرایند جذب می‌باشد.

۳-۶ ایزوترم‌های جذب

پس از تعیین شرایط بهینه‌ی جذب، ایزوترم‌های جذب مورد بررسی قرار گرفت. از میان ایزوترم‌های مختلف، دو ایزوترم لانگمویر و فروندلیچ برای بررسی جذب سطحی فلزات سنگین در محلول‌های آبی بیش‌ترین استفاده را دارند.

بر اساس ایزوترم ترسیم شده (شکل‌های ۸ و ۹) و با توجه به مقدار ضریب همبستگی مشخص شد که جذب کاتیون استرانسیم به خوبی از مدل لانگمویر تبعیت می‌کند. در نتیجه می‌توان حدس زد که جذب از نوع شیمیایی و به صورت تک‌لایه است.

۳-۷ پارامترهای ترمودینامیکی

برای محاسبه‌ی میزان تغییرات آنتالپی (ΔH°) و تغییرات آنتروپی (ΔS°) مربوط به فرایند جذب Sr^{2+} از معادله‌ی معروف وانت‌هف استفاده شده است [۱۱]

$$\ln K_d = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{RT} \quad (2)$$

**۳-۸ نتیجه گیری**

به کمک روش‌های پراش پرتو ایکس، طیف FT-IR و نیز تحلیل گرماگرایی سنجی موفقیت سنتز نمونه‌های MCM-41 و NH₂-MCM-41 مورد تأیید قرار گرفت. میزان جذب کاتیون Sr²⁺ توسط جاذب اصلاح شده و هم‌چنین تأثیر پارامترهایی چون pH، زمان تماس، غلظت کاتیون فلزی و درجه حرارت بر میزان جذب Sr²⁺ مورد بررسی قرار گرفت و مقادیر بهینه‌ی پارامترهای مذکور تعیین شد. حداکثر میزان جذب در pH برابر ۶ به دست آمد. پارامترهای ترمودینامیکی مربوط به واکنش جذب Sr²⁺ بر روی جاذب NH₂-MCM-41 محاسبه و مشخص شد که فرایند جذب گرماگیر و خودبه‌خودی است. با بررسی ایزوترم‌های جذب از نوع لانگمویر و فروندلیچ، مشخص شد که جذب کاتیون Sr²⁺ بر روی جاذب اصلاح شده با مدل لانگمویر مطابقت دارد. به طور کلی یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که MCM-41 اصلاح شده با آمین یعنی NH₂-MCM-41 به دلیل داشتن گروه‌های عاملی آمینی، جاذبی مؤثر و کارآ برای حذف کاتیون استرانسیم از پساب‌های کارخانجات هسته‌ای می‌باشد.

پی‌نوشت‌ها:

۱- Jenway

۲- FTIR: Fourier Transform Infra Red

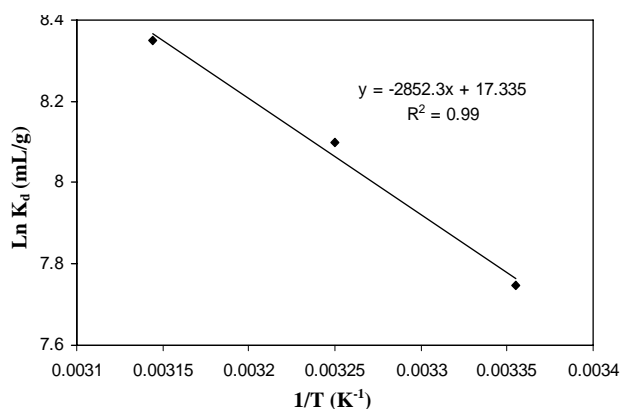
۳- Nicolet

شود، از روی ضریب زاویه و عرض از مبدا آن می‌توان به ترتیب مقادیر ΔH° و ΔS° را محاسبه کرد. در شکل ۱۰ می‌توان این خط را ملاحظه نمود. مقدار انرژی آزاد گیبس نیز از رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ \quad (۳)$$

مقادیر کمیت‌های ترمودینامیکی مربوط به واکنش جذب کاتیون استرانسیم در جدول ۱ آورده شده است.

با توجه به اطلاعات جدول ۱ ملاحظه می‌شود که مقدار ΔH° مربوط به واکنش جذب Sr²⁺ توسط نمونه‌ی اصلاح شده، مثبت و در نتیجه فرایند جذب گرماگیر است. هم‌چنین منفی بودن انرژی آزاد گیبس حاکی از آن است که فرایند جذب گونه‌ی بررسی شده، در شرایط کاری به کار گرفته شده یک فرایند خودبه‌خودی است.



شکل ۱۰- LnK_d جذب Sr²⁺ بر روی NH₂-MCM-41، به صورت تابعی از عکس دما.

جدول ۱- کمیت‌های ترمودینامیکی مربوط به جذب کاتیون استرانسیم بر روی NH₂-MCM-41

$\Delta G^{\circ\#}$ (kJ/mol)	ΔS° (J/mol K)	ΔH° (kJ/mol)	جذب‌شونده	جاذب
-۱۹٫۲۹	۱۴۴٫۲۹	۲۳٫۷۱	Sr ²⁺	NH ₂ -MCM-41

#:۲۵ °C



References:

1. A. Ramanujam, P.V. Achuthan, P.S. Dhama, R. Kannan, V. Gopalakrishnan, V.P. Kansra, R.H. Iyer, K. Balu, "Separation of carrier-free ^{90}Y from high level waste by supported liquid membrane using KSM-17," *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 247, 185-191 (2001).
2. N.N. Greenwood, A. Earnshaw, "Chemistry of elements," Pergamon Press, New York, 107-136 (1984).
3. A. Heidari, H. Younesi, Z. Mehraban, "Removal of Ni(II), Cd(II) and Pb(II) from a ternary aqueous solution by aminofunctionalized mesoporous and nano mesoporous silica," *Chem. Eng. J* 153, 70-79 (2009).
4. R. Gong, Y. Jin, J. Sun, "Preparation and utilization of rice straw bearing carboxyl groups for removal of basic dyes from aqueous solution," *Dyes Pigm.* 76, 519-524 (2008).
5. J.C. Vartuli, W.J. Roth, J.S. Beck, "Molecular sieves-science and technology," 1, 97-119 (1998).
6. F.L. Lam, X. Chen, C.M. Fong, K.L. Yeung, "Selective mesoporous adsorbents for $\text{Ag}^+/\text{Cu}^{2+}$ separation," *Chem. Commun.* 17, 2034-2036 (2008).
7. F.L. Koon, L.Y. King, M. Gordon, "Efficient approach for Cd^{2+} and Ni^{2+} removal and recovery using mesoporous adsorbent with tunable selectivity," *Environ. Sci. Technol.* 41, 3329-3334 (2007).
8. K.F. Lam, C.M. Fong, K.L. Yeung, G. Mckay, "Selective adsorption of gold from complex mixtures using mesoporous adsorbents," *Chem. Eng. J.* 145, 185-195 (2008).
9. R. Saad, S. Hamoudi, K. Belkacemi, "Adsorption of phosphate and nitrate anions on ammonium-functionalized mesoporous silicas," *J. Porous Mater.* 15, 315-323 (2008).
10. L. Bois, A. Bonhommé, A. Ribes, B. Pais, G. Raffin, F. Tessier, "Functionalized silica for heavy metal ions adsorption," *Coll. Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects.* 221, 221-230 (2003).
11. S. Gueu, B. Yao, K. Adouby, G. Ado, "Kinetics and thermodynamics study of lead adsorption on to activated carbons from coconut and seed hull of the plam tree," *Int. J. Environ. Sci. Tech.* 4, 11-17 (2007).