# Archive of SID



# بررسی مقدار جذب کاتیون<sup>+</sup>Na به وسیلهی سامانههای ناهمگن جدید بر پایهی کالیکس آرنهای پایدار شده بر روی سطح سیلیکاژل

ماندانا صابر تهرانی\*

استادیار شیمی آلی، دانشکده شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران

دریافت: فروردین ۱۳۹۱، بازنگری: خرداد ۱۳۹۱، پذیرش: خرداد ۱۳۹۱

چکیده: در این پژوهش، ابتدا لایهای از کلروسولفونیل کالیکس [۴] آرن به طریق شیمیایی بر روی سیلیکاژل، پایدار و با روشهای تجزیه عنصری، SEM و بررسی جذب– واجذب گاز N<sub>2</sub> شناسایی شد. نتیجهها حاکی از آن است که کلروسولفونیل کالیکس [۴] آرن به طریق شیمیایی بر روی سطح سیلیکاژل پایدار شده است. هم چنین بررسیها نشان داد که این سامانه ناهمگن جدید سنتز شده، در کنار کاربردهای گوناگون، قابلیت جذب بالایی نسبت به یونهای فلزی تک ظرفیتی به ویژه +Na دارد. از اینرو، میتوان از آن به عنوان یک واکنشگر یون دوست در بسیاری از فرایندهای شیمیایی استفاده کرد.

واژههای کلیدی: کلروسولفونیل کالیکس [۴] آرن، سامانههای ناهمگن، جذب سدیم

### مقدمه

سنتز سامانههای ناهمگن به دلیل اهمیتی که در صنایع و فناوریهای در حال پیشرفت دارند، مورد توجه پژوهشگران هستند [1]. این سامانهها به طور گستردهای به عنوان واکنشگرهای دوستدار محیط زیست در سنتز مواد شیمیایی پذیرفته شده اند زیرا استفاده از این سامانهها مزایایی چون جداسازی آسان ر از مخلوط واکنش، گزینش پذیری بیشتر، بازیابی و استفادهی مجدد را به همراه دارد. امروزه کالیکس آرنها به عنوان گروه جدیدی از ماکروسیکلها به دلیل حفرهی داخل ساختارشان میتوانند گیرندههای سنتزی مناسبی جهت درگیر کردن یونهای متفاوت و مولکولهای خنثی باشند.

پایداری شیمیایی کالیکس [n] آرن ها و مشتقات آن ها بر سطح

مواد حفرهدار از قبیل سیلیکا، گروه جدیدی از سامانههای ناهمگن را تولید می کنند به گونهای که می توانند به عنوان کاتالیست [۲ و ۳] جاذب [۴ تا ۸]، جداسازی [۹ تا ۲۰] و حسگر [۲۱ تا ۲۴] و نیز در جداسازی [۹ تا ۲۰] و ساخت حسگرها [۲۱ تا ۲۴] مورد استفاده قرار گیرند.

در این پژوهش برای نخستین بار کلروسولفونیل کالیکس آرن با استفاده از پیوندهای کوالانسی بر روی سطح سیلیکاژل پایدار شد. با توجه به ساختار این سامانه ناهمگن جدید سنتز شده (CSC[4]A-SiO<sub>2</sub>) میتوان از آن به عنوان کاتالیست اسیدی در بسیاری از واکنشها و سنتزهای ترکیبهای آلی و همچنین بهعنوان واکنشگر یون دوست استفاده نمود (شکل ۱).

پس از شناسایی ساختاری  $CSC[4]A-SiO_2$  با روشهای

msabertehrani@gmail.com ، جهدهدار مكاتبات SID.ir

تجزیه عنصری، SEM و بررسی جذب– واجذب گاز N<sub>2</sub> (روش BET)، قابلیت جذب این ترکیب نسبت به یونهای سدیم مورد بررسی قرار گرفت. از نمودار همدماهای جذب لانگمویر و فرندلیش جهت بررسی دادههای تجربی مربوط به همدماهای جذب استفاده شد.



 $\mathrm{CSC}[4]\mathrm{A} ext{-}\mathrm{SiO}_2$  شکل ۱ ساختار  $^2$ 

**بخش تجربی** مواد و روش ها

سیلیکاژل ۶۰ با مساحت سطح ویژه m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup> و اندازه ذرات Fluka مش به عنوان بسترتهیه شده از شرکت Fluka، تتراکلروسولفونیل کالیکس [۴] آرن، سولفوریک اسید ۹۸٪ تهیه شده از شرکت مرک، نیتریک اسید ۶۵٪ تهیه شده از شرکت مرک، شده از شرکت مرک، نیتریک اسید ۵۹٪ تهیه شده از شرکت مرک، کلرومتان، دی اتیل اتر و نرمال هگزان که تمام حلالها پیش از استفاده، تقطیر و خشک شدند.

به علت حساس بودن واکنش ها، تمام لوازم شیشهای قبل از استفاده با استفاه از شعله خشک و پس از سرد شدن در دسیکاتور، تحت گاز نیتروژن قرار داده می شوند. برای بررسی میزان جذب ترکیب سنتز شده، از محلول سدیم کلراید با غلظتهای متفاوت استفاده شد.

*پایداری شیمیایی کلروسولفونیل کالیکس [۴] آرن بر روی سطح سیلیکاژل فعال سازی سیلیکاژل* ۴۰ میلی لیتر سولفوریک اسید ۹۸٪ به همراه ۱۰ میلیلیتر

نیتریک اسید ۶۵٪ را در یک بالن مجهز به مبرد بازروانی ریخته و مقدار ۱۸۵ گرم سیلیکاژل به آن افزوده شد. پس از ۲۴ ساعت، این مخلوط به مدت ۸ ساعت بازروانی شد. سپس مخلوط با سینترگلس صاف شده و پودر بسیار ریز و سفید رنگ سیلیکاژل با آب یون زدایی شده تا خنثی شدن کامل شستشو داده شد. سپس سیلیکاژل به دفعات با استون، متانول و دی کلرومتان شسته شده و در آون در دمای ۳۰۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲ ساعت خشک شد.

# سنتز تتراکلروسولفونیل کالیکس [۴] آرن پایدار شده بر روی سطح سیلیکاژل فعال شده (<sub>2</sub>-CSC[4]A-SiO)

در یک بالن ته گرد ۱۰۰ میلی لیتری که مجهز به سامانه بازروانی و یک لوله جهت هدایت کردن گاز HCl آزاد شده در حین واکنش به داخل محلول نقره نیترات است، مقدار ۵۰ میلی لیتر زایلن خشک، ۱٬۴۵ گرم سیلیکاژل فعال شده و ۱ گرم كلروسولفونيل كاليكس [۴] آرن سنتز شده از مرحله ي قبل ريخته شد. این مخلوط در حالی که پیوسته همزده می شد، تحت گاز نیتروژن در دمای ۱۴۰ درجه سانتی گراد به مدت ۷۲ ساعت بازروانی شد. به منظور جلوگیری از خرد شدن ذرات سیلیکاژل و در نتيجه تغيير مساحت سطح ويژه ذرات سيليكاژل در طول واكنش، جهت هم زدن از همزن مغناطیسی استفاده نشد، بلکه همزدن از طریق ایجاد حبابهای گاز نیتروژن در سطح مخلوط انجام شد. پس از اتمام زمان بازروانی، مخلوط واکنش با سینتر گلس (با تخلخل ۳) صاف شد و مادهی جامد به دست آمده به ترتیب با ۱۰ میلی لیتر دی کلرومتان، ۱۰ میلی لیتر دی اتیل اتر، ۱۰ میلی لیتر متانول و ۱۰ میلی لیتر استون شسته شد. کلروسولفونیل کالیکس [۴] آرنهای واکنش نداده و محبوس شده در داخل حفرههای سیلیکاژل با استفاده از سامانه سوکسله به مدت ۱۲ ساعت با استون استخراج شدند.

روش های شناسایی

تجزیه ساختاری  $CSC[4]A-SiO_2$  با فنهای متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. مساحت سطح ویژه، حجم حفره قطر

ir نشریه پژوهشهای کاربردی در شیمی (JARC)

میدهد که ترکیب آلی بر روی سیلیکاژل پایدار شده است. این نتیجهها با نتیجههای به دست آمده از مقالات مشابه قابل مقایسه است [۲۹، ۲۹]. در شکل ۲ نمودارهای مربوط به جذب – واجذب نیتروژن و نمودار توزیع اندازهی حفرهها به روش BJH برای سیلیکاژل و CSC[4]A-SiO\_2 نشان داده شده است. در اثر پیوند شیمیایی گروه آلی بر روی سطح سیلیکاژل، قطر حفرهها کوچکتر شده و منحنی توزیع یهن تری به دست میآید.

منحنیهای جذب – واجذب نیتروژن، در هر دو حالت، همدما جذب نوع IV را نشان میدهند. این نوع همدما بهطور معمول دارای یک حلقهی پسماند است. به این معنی که وجود پسماند در شاخهی واجذب نشان دهندهی وجود حفرههای مزو حفره است [۳۰، ۳۱].

تجزيه CHNOS

درصد کربن، گوگرد و هیدروژن در ترکیب CSC[4]A-SiO<sub>2</sub>با تجزیه عنصری به دست آمد.

با توجه به درصد کربن، از معادلهی زیر برای محاسبهی پوشش سطح و یا مقدار بارگیری استفاده شد.

$$\begin{split} SurfaceCoverage_{(\mu \text{ mol}_{m^2})} &= \frac{\% \text{ C} \times 10^6}{1200 \text{ nA}} \\ \text{SurfaceCoverage}_{(\mu \text{ mol}_{m^2})} &= \frac{1}{1200 \text{ nA}} \\ \text{Solutions} \\ \text{S$$

جدول ۲ نتيجه تجزيه CHNOS

تركيب	رى	يه عنصر	تجز	مقدار بارگیری شده
	%С	%Н	%S	(µmol/g)
C3A[4]A-3102	۳٫۱۱	۰٫۴۵	۱,۱۵	٩٢،٨٢

همان طور که در جدول مشاهده می شود با توجه به درصد کربن به دست آمده از تجزیه عنصری، مقدار <sup>--</sup>θ۲٬۸۲ μmol.g (-/۲۱۹ μmol.m<sup>-2</sup>) از CSC[4]A بر روی سطح سیلیکاژل میانگین حفرهها و بررسی جذب – واجذب گاز نیتروژن در دستگاه (QuantaChrome) NOVA1200) در دمای ۱۹۶ – درجه سانتی گراد انجام شد. نمونهها به مدت ۲ ساعت در خلا و دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد گاززدایی می شدند و سپس با عبور گاز نیتروژن در دمای نیتروژن مایع بررسی روی نمونهها انجام می شد. با استفاده از تجزیه عنصری CHNOS درصد کربن و گوگرد در ترکیب با دستگاه Thom درصد کربن و گوگرد ElementarAnalysensystem مدل سطح نمونهها با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی مدل سطح نمونهها با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی مدل VegaTESCAN

هم چنین به منظور بررسی قابلیت جذب کاتیونهای سدیم به وسیلهی 2SC[4]A-SiO از اسپکتروسکوپی جذب اتمی با اسپکتوفوتومتر جذب اتمی VARIAN مدل AA-240 در طول موج ۵۸۹ نانومتر استفاده شد.

### نتيجهها و بحث

جذب– واجذب گاز نیتروژن

پیوند شیمیایی گروههای آلی و معدنی بر روس سطح بسترهای جامد منجر به کاهش مساحت سطح بستر می شود [۲۵ تا ۲۹]. مساحت سطح ویژه، قطر میانگین حفرهها و حجم کل حفرههای سیلیکاژل قبل و پس از پایدار شدن A[4]CSC روی آن با استفاده از روش BET اندازه گیری و نتیجههای مربوط در جدول ۱ آورده شده است.

	مساحت	ين حفره	حجم	
ترکیب	سطح ويژه	(n	حفره	
	(m²/g)	BET	BJH	(m³/g)
silica gel	422,28	۶,۷۲	9,74	• /Y )
CSA[4]A-bonded silica gel	۳۸۲٬۷۸	8,8F	۴٫۸۲	•,8٣

جدول ۱ ویژگیهای فیزیکی نمونهها

همان طور که در جدول مشاهده می شود کاهش مساحت همان طور که در جدول مشاهده می شود کاهش مساحت سطح، قطر حفره و حجم حفره ها از ۶٫۲۴ m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup> و ۶٫۲۴ m<sup>3</sup>.g<sup>-1</sup> و ۰٫۷۱ m<sup>3</sup>.g<sup>-1</sup> نشان



شکل ۲ نتیجههای بهدست آمده از نتیجه تجزیه جذب – واجذب نیتروژن و نمودار توزیع اندازهی حفرهها به روش BJH برای سیلیکاژل و CSC[4]A-SiO<sub>2</sub> و

پوشش داده شده است. هم چنین درصد گوگرد محاسبه شده با میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) تجزیه عنصری نشان میدهد که هر مول کالیکس [۴] أرن دارای ترشیوبوتیل با گروههای SO<sub>2</sub>Cl را تایید میکند.

اندازه ذرات و رخت دانههای سیلیکاژل قبل و پس از پایدار ۴ مول گوگرد است که این موضوع جایگزین شدن چهار گروه شدن با میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد مطالعه قرار گرفت ( شکل۳).

JARC) نشریه پژوهش های کاربردی در شیمی (JARC)

## Archive of SID ماندانا صابر تهرانی



شکل ۳ تصویرهای SEM سیلیکاژل و CSC[4]A-SiO

همان طور که دیده می شود سطح دانه های سیلیکاژل پس از پایدار شدن ماکروملکول بر آن ها کمی تغییر کرده است و دانه های ریزتری نیز بر روی آن ها مشاهده می شود. این تغییر را می توان به پایدار A[4]CSC نسبت داد.

بررسی خواص یون دوستی <sub>2</sub>CSC[4]A-SiO نسبت به کاتیون سدیم به وسیلهی اسپکتروسکوپی جذب اتمی

پس از تعیین منحنی کالیبراسیون برای یونهای سدیم، مقدار ۵۰ میلیگرم CSC[4]A-SiO<sub>2</sub> به ۱۰ میلیلیتر از محلولهای آبی یونهای سدیم تازه تهیه شده با غلظتهایی در گسترهی ۵۰ تا ۴۰۰ میلی گرم بر لیتر در دمای ۲۸۷ کلوین افزوده شد. سوسپانسیون به مدت ۱ ساعت سونیکیت شده و پس از یک

ساعت مادهی جامد با سینترگلس جدا شد. در جدول ۳ و شکل ۴ نتیجههای مربوط به اسپکتروسکوپی جذب اتمی نشان داده شده است.

	محلولهای آبی								
	ە تىە	غلظت	غلظت	د. صد	ظرفيت				
مر ببد آزمایش	تر <u>ب</u> آذمایش	اوليه <sup>+</sup> Na	پايانى ⁺Na	حذب	جذب				
	, <b>(</b> ,,,,,,,, .	(ppm)	(ppm)	÷	(mg/g)				
	١	۵۰	۱ V/Y ۱	۶۴٬۵۸	۶,۴۵				
	٢	1	٣۶/٩٣	۶۳,۰۷	17/77				
	٣	7	٨١٬٠٩	۵۹٫۴۵	۲۳٬۷۸				
	۴	٣٠٠	۱۵۵٫۴۸	۴۸,۱۷	۲۸٬۹۰				
	۵	4	۲۱۸٬۸۴	۴۵٫۲۹	366,58				

از	سديم	يون	حذف	در	CSC[	4]A-	SiO <sub>2</sub>	توانايى	بررسى	٣	ندول
----	------	-----	-----	----	------	------	------------------	---------	-------	---	------

SID.ir نشریه پژوهش های کاربردی در شیمی (JARC)



شکل ۴ اثر غلظت اولیهی یون سدیم در جذب آن با CSC[4]A-SiO<sub>2</sub> ،

درصد جذب<sup>(۱)</sup> یون های سدیم از رابطهی زیر به دست آمد:

% جذب 
$$\frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100$$

 $mg.l^{-1}$  که در آن C غلظت اولیهی سدیم در محلول برحسب mg.1<sup>-1</sup> قبل از جذب و  $C_{t}$  غلظت پایانی سدیم در محلول برحسب یس از جذب است. ظرفیت جذب<sup>(۲)</sup> نیز از رابطهی زیر به دست آمد:

$$q_{\rm e} = \frac{(C_i - C_e) V}{m}$$

که در آن  $q_{i}$  ظرفیت جذب برحسب  $C_{i}$  ،mg.g و  $C_{i}$  به ترتیب غلظتهای اولیه و در حال تعادل یونهای سدیم در محلول برحسب ml و m مقدار جاذب V ،mg.l<sup>-1</sup> برحسب ا برحسب mg است. نتیجهها نشان داد که درصد جذب با افزایش غلظت يون سديم كاهش مي يابد.

همان طور که در شکل ۴ مشاهده می شود درصد جذب با افزایش غلظت اولیهی یون سدیم کاهش می یابد. در حالی که درصد جذب كاهش مى يابد، ظرفيت جذب CSC[4]A-SiO با افزایش غلظت اولیهی یون <sup>+</sup>Na افزایش می یابد. از آنجایی که غلظت اولیه، نیروی محرکهای برای غلبه بر پدیدهی انتقال جرم یونهای <sup>+</sup>Na بین فازهای مایع و جامد است از اینرو، افزایش غلظت اولیهی یونهای سدیم میتواند ظرفیت جذب را افزایش دهد. در غلظتهای پایین، همهی یون های فلزی موجود در محلول

با مکانهای فعال موجود برهم کنش میدهند و بنابراین، درصد جذب بیشتر از مقدار آن در غلظتهای بالاتر یونهای فلزی است. زيرا در غلظتهاي بالاتر، به علت اشباع شدن مكانهاي فعال، درصد جذب کاهش می یابد [۳۲]. به هر حال نتیجهها نشان می دهد که واکنش پذیری زیاد CSC[4]A-SiO در واکنش های کاهش کتونها به الکلهای مربوط در حضور <sub>۸</sub>NaBH ناشی از توانایی بالای این ترکیب در جذب یونهای سدیم موجود در محیط است.

### نمودارهای همدماهای جذب(۲)

به منظور بررسی دادههای تجربی مربوط به همدماهای جذب، از مدل های متفاوتی استفاده می شود. هم دماهای لانگمیر و فرندلیش متداول ترین الگوها هستند. در پروژهی حاضر جهت بررسی ارتباط بین مقدار یون سدیم جذب شده و غلظت تعادلی آن در محلول از هر دو مدل استفاده شده است.

نمودار همدمای لانگمیر با فرض جذب تک لایه مولکولی از رابطهی زیر پیروی میکند:  $\frac{C_e}{a_o} = \left(\frac{1}{a_o b}\right) + \left(\frac{C_e}{a_o}\right)$ 

در این معادله  $q_{a}$  غلظت تعادلی در محلول (mg.l<sup>-1</sup>)،  $q_{b}$  ظرفیت  $(mg.l^{-1}) b$  و  $(mg.g^{-1}) q_0$  و  $(mg.g^{-1})$  و  $(mg.g^{-1})$ اعداد ثابتی هستند که به ترتیب مربوط به ظرفیت جذب و انرژی جذب هستند.

3. Sorption isotherms

JARC) نشریه پژوهش های کاربردی در شیمی (JARC)

1. Sorption percentage

رسم منحنی  $(C_e \ / \ q_0)$  بر حسب  $C_e$  خط مستقیمی میدهد که مقادیر  $q_0$  و b از روی شیب و عرض از مبدا آن خط محاسبه میشوند ( شکل۵).



نتیجهها در جدول ۴ نشان داده شده است. به کارگیری همدمای لانگمیر، جذب تک لایه یون +Na بر روی کاتالیست را تایید میکند [۳۳].

به منظور بررسی مطلوب و یا نامطلوب بودن فرایند جذب ابتدا باید مقدار  $R_L^*$  که فاکتور جداسازی و مقدار ثابت بدون پس است را براساس رابطهی زیر بهدست آورد:

$$R_L = \frac{1}{1+b \ C_0}$$

در این معادله b ثابت لانگمیر بر حسب  $mg.l^{-1}$  است. همان طور که در جدول P دیده می شود مقدار  $R_L = 0.77$  است و این نشان دهنده ی مطلوب بودن شکل هم دما است.

از الگوی همدمای فرندلیش نیز بهمنظور بررسی جذب یون <sup>+</sup>Na استفاده شد. همدمای فرندلیش از معادلهی زیر پیروی می کند.

$$\ln q_e = \ln K_f + \left(\frac{1}{n}\right) \ln C_e$$

در این معادله  $K_r$  و n ثابتهای هم دمای جذب فرندلیش هستند که به ترتیب نشان دهنده ی ظرفیت و شدت جذب هستند.  $K_r$  و n به ترتیب از روی عرض از مبدا و شیب منحنی  $\ln q_e$  اب دست می آیند ( شکل ۶).



۴ دادههای بهدست آمده از هم دمای فرندلیش نیز در جدول آمده است. با استفاده از محاسبات ریاضی نشان داده شده است که زمانی که مقدار n بین ۱ و ۱۰ قرار گیرد مطلوب بودن الگو هم دمای فرندلیش را تأیید می کند [۳۲]. از طرفی با مقایسه ی مقادیر ضریب تصحیح<sup>(۱)</sup> (R<sup>2</sup>) می توان نتیجه گرفت که هر دو الگو هم دمای با توجه به دادههای تجربی مناسب هستند. در شکل ۲ مراحل سنتز CSC[4]A-SiO<sub>2</sub> و چگونگی جذب

یون های فلزی به طور شماتیک نشان داده شده است.

جدول ۴ ثابتهای جذب لانگمیر و فرندلیش برای جذب یون ۲۰ Na<sup>+</sup> با CSC[4]A-SiO<sub>2</sub> با

لمير	همدمای لانگ	عاملهای	عاملهای همدمای فرندلیش			
$q_0(mg.g^{-1})$	$b(l.g^{-l})$	$R^2$	R <sub>L</sub>	$K_{f}(mg.g^{-1})$	n	$R^2$
۰,۰۵۶۹	۷٫۶۳	۰٬۹۷۱۵	۰,۷۲	۰,۱ <i>۰۶</i>	1/017	٠٫٩٧١٩

1. Correlation coffecients

سال ششم، شماره ۲، تابستان ۹۱

SID.ir نشتریه پژوهش های کاربردی در شیمی (JARC)



شکل ۲ مراحل سنتز  $CSC[4]A-SiO_2$ و چگونگی جذب یونهای فلزی بهطور شماتیک

نتيجه گيري

کلروسولفونیل کالیکس [۴] آرن طی یک مرحله و از طریق فرایند استری شدن بر روی سطح سیلیکاژل فعال شده پایدار شد. شناسایی ساختاری این سامانه ناهمگن جدید با استفاده از تجزیه عنصری، میکروسکوپ الکترونی روبشی و جذب – واجذب گاز میک میکروسکوپ الکترونی روبشی و جذب – واجذب گاز انجام شد. تصویرهای بهدست آمده از SEM، پیوند واحدهای کالیکس آرن بر روی سطح سیلیکاژل را به خوبی نشان داده است. اندازه گیریهای بهدست آمده از اسپکتروسکوپی جذب اتمی نشان داد که 2SA-A[4]CSC به عنوان یک سامانه ناهمگن دارای حفرهی

مناسبی جهت ایجاد برقراری پیوند با کاتیونهای تک ظرفیتی به ویژه \*Na از طریق برهم کنشهای زوج – یونی است. از اینرو، در واکنشهای یون دوست به خوبی میتوانند ایفای نقش کنند.

- مراجع
- Sheldon, R. A.; Downing, R. S.; Appl. Catal. A. Gen. 189, 163-183, 1999.
- [2] Struck, O.; Van Duynhoven, J. P. M.; Verboom, W.; Harkema, S.; Reinhoudt, D. N.; Chem. Commun. 1517-1518, 1996.
- [3] Floriani, C.; Floriani-Moro, R.; In Advances

in Organometallic Chemistry; Stone, F.G.A.; West, R.; Hill, A.F.; Academic Press: San Diego, 47, 2001.

- [4] Ludwig, R.; Fresenius, J. Anal. Chem. 367, 103-128, 2001.
- [5] Katz, A.; Coasta, P.; Lam, A.C.P.; Notestein, J.M.; J. Chem. Mater. 14, 3364-3368, 2002.
- [6] Tabakci, M.; J. Incl Phenom Macrocycl Chem. 61, 53-60, 2008.
- [7] Gubbuk, I.H.; Hatay, I.; Coskun, A.; Ersoz, M.; J. Hazardous Materials; 172, 1532-1537, 2009.
- [8] Huang, H.; Zhao, C.; Ji, Y.; Nie, R.; Zhou, P.; Zhang, H.; J. Hazardous Materials. 178, 680-685, 2010.
- [9] Arena, G.; Casnati, A.; Contino, A.; Mirone, L.; Sciotto, D.; Ungaro, R.; J. Chem. Soc. Chem. Commun. 2277, 1996.
- [10]K. Ohto, K.; Y. Tanaka, Y.; Inoue, K.; Chem. Lett. 647, 1997.
- [11]Xiao, X.Z.; Feng, Y.Q.; Da, S.L.; Zhang, Y.; Anal. Lett.; 33, 3355, 2000.
- [12]Sokolie, T.; Menyes, R.; Jira, T.; J. Chromatogr. A. 948, 309, 2002.
- [13]Sokolie, T.; Schonherr, J.; Menyes, R., Jira, T.; J. Chromatogr. A. 1021, 71, 2003.
- [14]Li, L.S.; Liu, M.; Da, S.L.; Feng, Y.Q.; Talanta. 63, 433, 2004.
- [15]Li, L.S.; Da, S.L.; Feng, Y.Q.; Liu, M.; J. Chromatogr. A. 1040, 53, 2004.
- [16]Sliwka-Kaszynska, M.; Jaszczolt, K.; Witt, D.; Rachon, J.; J. Chromatogr. A. 1055, 21, 2004.
- [17]Li, L.S.; Da, S.L.; Feng, Y.Q.; Liu, M.; Chem.J. Chin. Univ. 26, 241, 2005.
- [18]Sliwka-Kaszynska, M.; Jaszczolt, K.; Hoczyk, A.; Rachon, J. Chem. Anal. 51, 123, 2006.
- [19] Sliwka-Kaszynska, M.; Jaszczolt, K.; Kolodziejczyk, A.; Rachon, J. Talanta, 68, 1560, 2006.

- [20]Huai, Q.Y.; Zuo, Y.M.; Liq, J.; Chromatogr. Related Technol. 29, 801, 2006.
- [21][Nabok, A. V.; Hassan, Ray, A.K.; Omar, O.; Kalchenko, V.I.; Sens. Actuators B. 45, 115-121, 1997.
- [22] Yang, X.; Johnson, S.; Shi, J.; Holesinger, T.; Swanson, B.; Sens. Actuators B. 45, 87-92, 1997.
- [23]Hayashida, O.; Shimizu, C.; Fujimoto, T.; Aoyama, Y.; Chem. Lett. 13-14, 1998.
- [24]Hassan, A. K.; Ray, A. K.; Nabok, A. V.; Davis, F.; Sens. Actuators B. 77, 638-641, 2001.
- [25]Chidambaram, M.; Curulla-Ferre, D.; Singh,A. P.; Anderson, B. G.; Journal of Catalysis.220, 442–456, 2003.
- [26]Shimizu, K.; Hayashi, E.; Hatamachi, Kodama, Higuchi, T.; Satsuma, A.; Kitayama, Y.; J. Catalysis. 231, 131–138, 2005.
- [27]Mirji, S.A.; Halligudi, S.B.; Dhanashri, P.; Sawant, P.; Nalini E.; Jacob, E.; Patil, K.R.; Gaikwad, A.B.; Pradhan, S.D.; Applied Surface Science, 252, 4097–4103, 2006.
- [28]Guan a, M.; Liu a, W.; Shao b, Y.; Huang a, H.; Zhang, H.; Microporous and Mesoporous Materials, 123, 93–201, 2009.
- [29]Hogjie, W.; Jin, K.; Huijuan, L.; Jiuhui, Q.;
  J. Environmental Sciences. 21, 1473–1479, 2009.
- [30]Bond, G.C.; Heterogenous Catalysis: Principles and Applications, Oxford Science Publications, 1987.
- [31]Sing, K.S.W.; Everett, D.H.; Haul, R.A.W.; Moscow, L.; Pierotti, R.A.; Rouquerol, J. Pure. Appl. Chem. 57, 603–618, 1984.
- [32] Tikhomirova, T.I.; Fadeeva, V.I.; Kudryavtsev, G.V.; Nesterenko, P.N.; Ivanov, V.M.; Savitchev, A.T.; Smirnova, N.S.; Sorption of noble-metal ions silica with chemically bonded nitrogen-containing ligands, Talanta, 38, 267-274, 1991.

سال ششم، شماره ۲، تابستان ۹۱

SID.ir تشاریه پژوهش های کاربردی در شیمی (JARC)