FANPAYA
Knowledge Based Company
(PUBLISHERS)

Journal of Environmental Sciences Studies (JESS)
Volume 10, Number 3, Autumn, (2025)

Journal Homepage: www.jess.ir
Print ISSN: 2588-6851 Online ISSN: 2645-520X

Study on adsorption performance of different adsorbents in CO_2/N_2 separation

Behnam Rezazadeh[1]: Amin alamdari*[2]

1. PhD. Student of Chemical Engineering, Faculty of chemical Engineering, sahand University of Technology, Tabriz, Iran
*2. Assistant Professor, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, Urmia University, Urmia, Iran

*Email Address:a.alamdari@urmia.ac.ir

Article Info

Article Type:
Research Paper

Article History:

Received Date:
2025/06/04
Revised Date:
2025/07/18
Accepted Date:
2025/08/27
Published Date:
2025/09/30

Keywords:
Adsorption,
Nitrogen,
Carbon oxide,
Ideal Adsorption Solution Theory (IAST).

ABSTRACT

There are diverse adsorbents have different capacities with various ideal selectivitys for CO_2/N_2 separation. Among the different adsorbents, a comprehensive comparison should be made to find the more appropriate adsorbent for a desired process. In this paper, equilibrium adsorbed amount and selectivity of adsorbents are investigated using the Ideal Adsorption Solution Theory (IAST) to determine suitable adsorbents for CO_2/N_2 separation. Model (IAST) was used to compare the adsorbents in different pressures (1 - 100 kpa) and in gas compositions **(**50 – 50) also, at pressure 100 kpa was used. The results revealed that Activated - Zeolite adsorbent at 298K have higher equilibrium adsorption selectivities. Among them, KIT - 6 has the highest capacity. The results showed that the adsorbent Zeolite 13X has lower selectivity and lower adsorption capacity than other adsorbents. Finally, a novel trade-off plot of adsorbed amount versus selectivity was constructed as guide for researcher's applications.

Cite this article: Behnam Rezazadeh: Amin alamdari (2025). Study on adsorption performance of different adsorbents in carbon dioxide /nitrogen separation , journal of Environmental Sciences Studies, 10(3), Pages 10575-10582 .

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

CO_2 emission from fossil fuel combustion is considered as one of the main issues of environmental problems and global warming have actuated the re searches on CO_2 separation from flue gas. However, various methods have been used to removing CO_2 from natural gas and flue gas, among which the adsorption is considered as a more cost - effective technical solution, along with low energy consumption, simple design, environmental efficient method. On the other hand, there is no simple comparison between the performance of the absorbents. in this regard, a method it can be used to select an appropriate adsorbent with high selectivity and selectivity, coupled with the effect of operating conditions on performance, the ideal adsorption solution theory (IAST). Theory IAST is one of the most reliable methods for predicting adsorption equilibrium of gas mixtures, which is often used to predict the equilibrium of mixture of gas mixture and only uses pure component absorption. for CO_2/N_2 separation, various adsorbents were reported .in this research, CO_2/N_2 adsorbents were compared with the calculations of two - component mixture adsorption by use IAST under pressure of 1 - 100 kpa .at the end, a new commercial design of the adsorption values as a simple guide for researchers for industrial applications for the selection of high - performance adsorbents for the separation of CO_2/N_2 has been prepared.

Theory and modeling: IAST method

one of the most popular methods is this method is one of the most widely used models to predict the balance in multicomponent mixtures. the advantages of this method are high speed, simple calculations, thermodynamic stability, and the ability to use all existing equilibrium isotherms. This theory assumes that the adsorbed mixture is an ideal solution, where there is no interaction between the components present in the adsorption phase. This theory is based on thermodynamic solutions which is independent of the real adsorption model. Different versions of this theory have been proposed that are continued by prausnitz that are extended for fast systems and other versions such as vermeilen have been developed and developed by Luan which can be used to improve the speed of calculations in this research, by using ideal adsorption solution and related MATLAB program, two - component mixture adsorption modeling was investigated. Variations in selectivity versus pressure changes as well as the difference between the absorbents in the selectivity and the total uptake for different adsorbents were introduced. for the two - component adsorption calculations, the adsorption data of pure component is required.

Results and discussion

by changing the operating pressure in the range of 1 - 100 kPa for the gas mixture (50 - 50) CO_2/N_2, different adsorbents were investigated. The results show that by increasing the pressure on the adsorbent type, the amount of carbon dioxide adsorbed increases with further increase or is not significantly changed. Also, it is shown that the effect of increasing pressure leads to an increase in absorption rate. Also, for the activated carbon - AQSOA FAM Z02 - KIT-6 a adsorbent, a very little change in the absorption rate is created. Also, by increasing the selectivity of MIL 100 (Fe) - Activated carbon/zeolit, as expected, we see more selectivity at low temperatures the selectivity of adsorbent is more than other adsorbents. In this absorber, the selectivity is increased by increasing the selectivity, the adsorbent has a selectivity at 303 k and the adsorbent KIT-6 the most has the total uptake. On the other hand, MOF-505@GO adsorbent has less selectivity and less adsorption capacity than other adsorbents. however, the choice of the absorber should be based on economic calculations.

Conclusion

the performance of different adsorbents was investigated for CO_2/N_2 separation using the idea of al adsorption solution. all of the studied adsorbents include zeolite, MOF and activated carbons to CO_2. Among all the adsorbents MIL-100(Fe) and Activated carbon/zeolite and activated/zeolite adsorbents have selectivity to CO_2/N_2, respectively. among the selected adsorbents, the highest CO_2absorption belongs to KIT-6 the obtained diagram of co2 absorption in the presence of CO_2 selectivity for different adsorbents is prepared which is a suitable guide for selecting appropriate adsorbent for industrial applications of these adsorbents.

مجله مطالعات علوم محیط زیست
جلد ۱۰، شماره ۳
Journal Homepage:www.jess.ir
شاپای چاپی: 2588-6851 شاپای الکترونیکی: 2645-520X

FANPAYA
Knowledge Based Company
(PUBLISHERS)

مقایسه جذب سطحی تعادلی جاذب‌های مختلف در جداسازی CO_2 /N_2

بهنام رضازاده[۱]، امین علمداری[۲*]

۱- دانشجوی دکتری مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند

*۲-استادیار مهندسی شیمی، دانشکده فنی، دانشگاه ارومیه

*ایمیل نویسنده مسئول:a.alamdari@urmia.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله علمی پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۴/۰۳/۱۴
تاریخ بازنگری:
۱۴۰۴/۰۴/۲۷
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۴/۰۶/۰۵
تاریخ انتشار:
۱۴۰۴/۰۷/۰۸

کلید واژه ها:
جذب سطحی،
نیتروژن،
دی اکسید کربن،
تئوری محلول جذب ایده‌آل (IAST)

چکیده

جاذب‌های مختلفی برای جداسازی گازهای نیتروژن و دی اکسید کربن با ظرفیت جذب و انتخاب‌گری متفاوت وجود دارند. در بین جاذب‌های مختلف، باید مقایسه جامعی جهت انتخاب جاذب مناسب برای یک فرایند مطلوب صورت گیرد. در این مقاله، مقدار جذب تعادلی و انتخاب‌پذیری جاذب‌های مختلف با استفاده از تئوری محلول جذب ایده‌آل (IAST) برای تعیین جاذب مناسب برای جداسازی گازهای نیتروژن و دی اکسید کربن بررسی شده است. مدل IAST برای مقایسه جاذب‌ها در فشارهای مختلف (۱ تا ۱۰۰ کیلو پاسکال) و در ترکیب درصد ۵۰-۵۰ مخلوط گاز CO_2/N_2 جهت مقایسه جاذب‌های مختلف در فشار کل۱۰۰ کیلو پاسکال استفاده شده است. نتایج نشان داد، جاذب کربن فعال/زئولیت در دمای ۲۹۸ کلوین بیشترین میزان انتخاب‌پذیری و جاذب KIT-6 بیشترین میزان جذب کل را دارد. بررسی‌ها نشان داد، جاذب Zeolite 13X انتخاب‌پذیری و ظرفیت جذب کمتری نسبت به دیگر جاذب‌ها دارد. در انتها نمودار جدید trade - off، بر اساس میزان جذب در برابر انتخاب‌پذیری جاذب‌های مختلف جهت راهنمایی محقیق برای استفاده درکاربردهای صنعتی تهیه شد.

ناشر: انتشارات فن پایا

DOI:10.22034/jess.2025.496880.2382

۱- مقدمه

شرایط زیست محیطی کره زمین با انتشار بیش از اندازه گاز دی اکسیدکربن و دیگر گازهای گلخانه‌ای در حال تغییر می‌باشد. به‌طوری‌که با افزایش قابل توجه تولید گازهای گلخانه‌ای و ورود به محیط زیست، باعث ایجاد مشکلات زیست محیطی همچون افزایش دما، آسیب دیدن لایه ازون و دیگر عوامل مخرب زیست محیطی می‌شود (Gomes et al, 2002). جهت کاهش اثرات مخرب محیط زیستی‌گازهای گلخانه‌ای، باید از وارد شدن گازهای گلخانه‌ای که یکی از مهم‌ترین این گازها دی اکسیدکربن (CO_2) می‌باشد، به اتمسفر جلوگیری کرد (Pellerano et al, 2009). فرآیندهای مختلفی برای حذف دی اکسیدکربن وجود دارد که شامل جذب با محلول آمین، جداسازی غشایی و جذب سطحی با انواع مختلف جاذب‌ها می‌باشند (Chang et al. ; 2004 To et al, 2016). در میان روش‌های مختلف برای جداسازی دی اکسید کربن CO_2، جذب سطحی دارای مزایای سرمایه گذاری اولیه اندک، راندمان جذب بالا، عملکرد ساده، روش‌های احیا آسان برای جاذب‌ها، مصرف کم انرژی و سازگاری بیشتر با محیط زیست است (Hansen et al.; 1988 Li et al, 2016). جاذب‌هایی که تاکنون برای جذب CO_2 مورد بررسی قرار گرفته، مشخص شده است که عملکرد موثر جذب این گاز به ترکیبی از نفوذ و گزینش پذیری جذب بستگی دارد بنابراین، یک جاذب مناسب شامل میکرو حفرات زیاد با اندازه منافذ مناسب میکروحفره با قطرکمتر از (۰/۷نانومتر) برای جذب بالای CO_2 و همچنین وجود منافذ بزرگتر، برای افزایش نفوذ CO_2 مناسب است(Sakuth et al. ; 1998 Cessford et al, 2012). از طرفی مقایسه ساده‌ای بین عملکرد این جاذب‌ها وجود ندارد. در این راستا، روشی که می‌تواند برای انتخاب جاذب مناسب با میزان انتخاب‌پذیری و جذب بالا همراه با تأثیر شرایط عملیاتی بر عملکرد مورد استفاده قرار گیرد، تئوری محلول جذب ایده‌ال (IAST) می‌باشد (Myers et al.; 1965 Huwae et al, 2024). IAST یکی از مطمئن‌ترین روش‌ها برای پیش بینی تعادل جذب مخلوط گازها می‌باشد که اغلب برای پیش بینی تعادل جذب مخلوط گاز استفاده می‌شود و فقط ازهمدماهای جذب جزء خالص استفاده می‌کند. برای جداسازی CO_2/N_2، جاذب‌های مختلفی گزارش شده است که در جدول (۱) نشان داده شده است. در این پژوهش، جاذب‌های CO_2/N_2 با محاسبات جذب مخلوط دو جزئی با استفاده از تئوری IAST در شرایط فشارهای۱ تا ۱۰۰ کیلو پاسکال مقایسه شده‌اند. در انتها، یک طرح تجاری جدید از مقادیر جذب شده در برابر انتخاب‌پذیری به عنوان یک راهنمای ساده برای محققان جهت کاربردهای صنعتی برای انتخاب جاذب‌های با کارایی بالا برای جداسازی CO_2/N_2تهیه شده است.

۲- تئوری و مدل سازی روش IAST

با توجه به اینکه اندازه‌گیری داده‌های تعادل مخلوط چند جزئی در دما، فشار و ترکیبات مختلف یک فرایند دشوار است، مدل‌های مختلفی برای تخمین جذب تعادلی مخلوط چند جزئی با استفاده از داده‌های همدما ارائه شده است. یکی از معروف‌ترین روش‌ها IAST می‌باشد (Keshavarz et al, 2021) که این روش یکی از پرکاربردترین مدل‌ها برای پیش بینی تعادل در مخلوط چند جزئی است. از مزایای این روش می‌توان به سرعت بالا، محاسبات ساده، پایداری ترمودینامیکی و توانایی استفاده از همه همدماهای تعادل موجود اشاره کرد. این تئوری، فرض می‌کند که مخلوط جذب شده یک راه حل ایده‌آل است که در آن هیچ تعاملی بین اجزای موجود در مرحله جذب وجود ندارد(Zagho et al, 2021). تئوری IAST براساس محلول‌های ترمودینامیکی می‌باشد که مستقل از مدل واقعی جذب سطحی است. نسخه‌های مختلفی از این تئوری ارائه شده است که توسط مایرز و پرازنیتز[1]که برای (Fast IAST۷) برای سیستم‌های دو جزئی ادامه یافته و نسخه‌های دیگری مثل ورمویلن[2]شروع و توسط لوان[3]توسعه یافته که برای بهبود سرعت محاسبات می باشد (Aghel et al.; 2022 Boonchuay et al, 2022).در این پژوهش، با استفاده از تئوری IAST و برنامه نویسی متلب مربوطه به مدلسازی جذب مخلوط دو جزئی پرداخته شده است. تغییرات انتخاب پذیری در مقابل تغییرات فشار و نیز مقایسه‌ای بین جاذب‌ها در انتخاب‌پذیری و میزان جذب کل برای جاذب‌های مختلف معرفی شده است. برای محاسبات مخلوط دو جزئی جذب سطحی، نیاز به داده‌های همدمای جذب سطحی جزء خالص می‌باشد. داده‌های یاد شده از مقالات مربوطه استخراج و در جدول (۱) برای نیتروژن و کربن دی‌اکسید گزارش شده است. همدماهای تعادلی مورد استفاده، همدمای لانگمویر معادله (۱)، همدمای تاد معادله (۲) و همدمای سیپس معادله (۳) است. لازم به ذکر است مقدار جذب در واحد جرم جاذب (q)، ضریب میل(b)، پارامتر ناهمگنی(n -t) و فشار تعادلی(p) می‌باشد.

[1] Myers and Prausnitz
[2] Vermeilen
[3] Luan

$$q = q^{sat}\frac{pb}{1+pb} \quad (۱)$$

$$q = q\ \frac{bp}{(1+(bp)^t)^t} \quad (۲)$$

$$q = q^{sat}\frac{bp^{\frac{1}{n}}}{1+bp^{\frac{1}{n}}} \quad (۳)$$

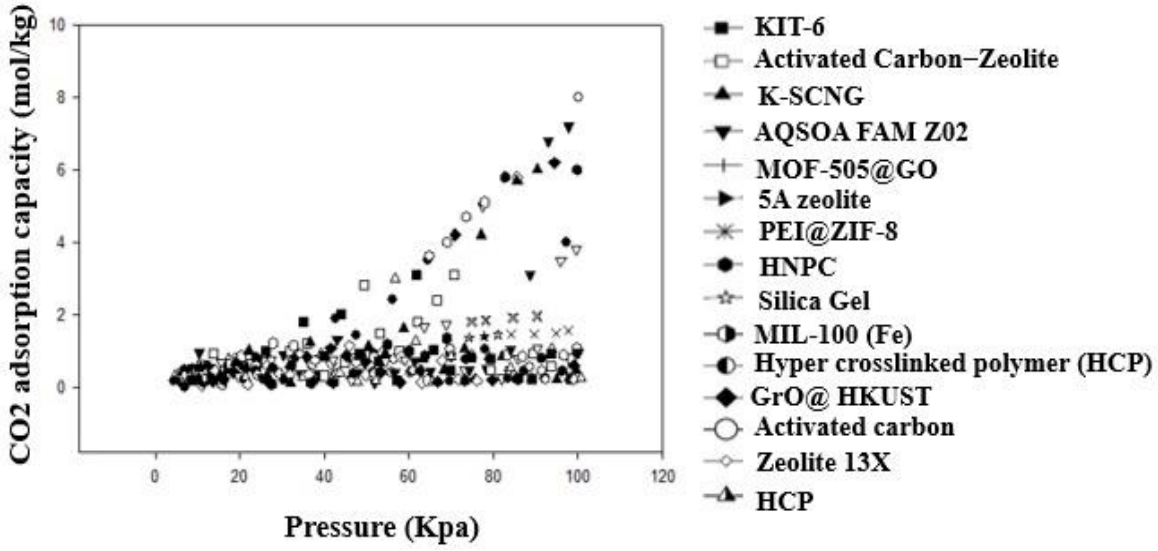
جدول ۱. پارامترهای همدمای جذب نیتروژن و دی‌اکسید کربن برای جاذب‌های مختلف

Reference	n, t	Isotherm	b (kpa^{-1})		q^{sat} (mmol/g)		T(K)	Adsorbent
			Co_2	N_2	Co_2	N_2		
Rostami et al	۰,۴۷	Toth	۰,۰۰۱۸	۰,۰۰۰۴	۱,۳۲	۰,۴۴	۳۰۳	Activated Carbon–Zeolite
Qasem et al	۱	Langmuir	۰,۰۱۳	۰,۰۱	۳,۲۴	۳,۲۱	۳۲۴	Zeolite 13X
Wu et al	1	Langmuir	۰,۰۰۱۸	۰۰۴۵,۰	۳	۲,۱	۲۹۸	HCP
Zhang et al	۰,۸	Toth	۰,۰۰۲۲	0.0025	۱,۳	۱,۲	313	Activated carbon
Charalambous et al	۰,۶۲	Toth	۰,۰۱۰۶	0.۰ ۰۰۱۴	۶,۰۶	۶,۰۶	۲۹۸	AQSOA FAM Z02
Ning et al	۱	Langmuir	۰,۰۰۰۳	۰,۰۰۵۱	۵,۲۵	۲,۲	۲۹۸	K-SCNG
Mendes et al	۰,۶۲	Toth	۰,۰۰۱۲	۰,۰۰۳۳	۵,۱۱	۵,۴۲	305	5A zeolite
Xian et al	۱	Langmuir	۰,۰۰۵۲	۰,۰۰۰۴	۳,۲	۲	۳۰۳	PEI@ZIF-8
Chen et al	۱	Langmuir	۰,۰۰۰۵۱	۰,۰۰۲۶	۵,۳	۳,۲	298	MOF-505@GO
Goyal et al	۱	Langmuir	۰,۰۰۴۱	0.۰۰۲۰۵	۶,۱	۳۲,۲	۳۰۵	Silica Gel
Xian et al	۱	Langmuir	۰,۰۰۰۶	0.۰۰۲۱	۷	۳	۲۹۸	MIL-100 (Fe)
Xu et al	۱	Langmuir	۰,۰۰۱۲	0.۰۰۷۲	۶,۵۵	۴,۱۶	298	Hyper crosslinked polymer (HCP)
Moradi et al	۰,۵۶	Sips	۰,۰۰۵۶	0.۰۰۶۳	۱۶,۴	۰,۰۰۱۵	۳۰۵	GrO@HKUST
Ramezanipour et al	۱	Langmuir	۰,۰۰۲۹	0.۰۱۰۲۰	۶,۲	۳,۱۸	۳۰۵	HNPC
Rupak et al	۰,۷۵	Sips	۰,۰۰۷۶	۰,۰۰۱۵	۵,۱	۲,۸	۲۹۸	KIT-6

۳- نتایج

- **تاثیر فشار بر میزان جذب**

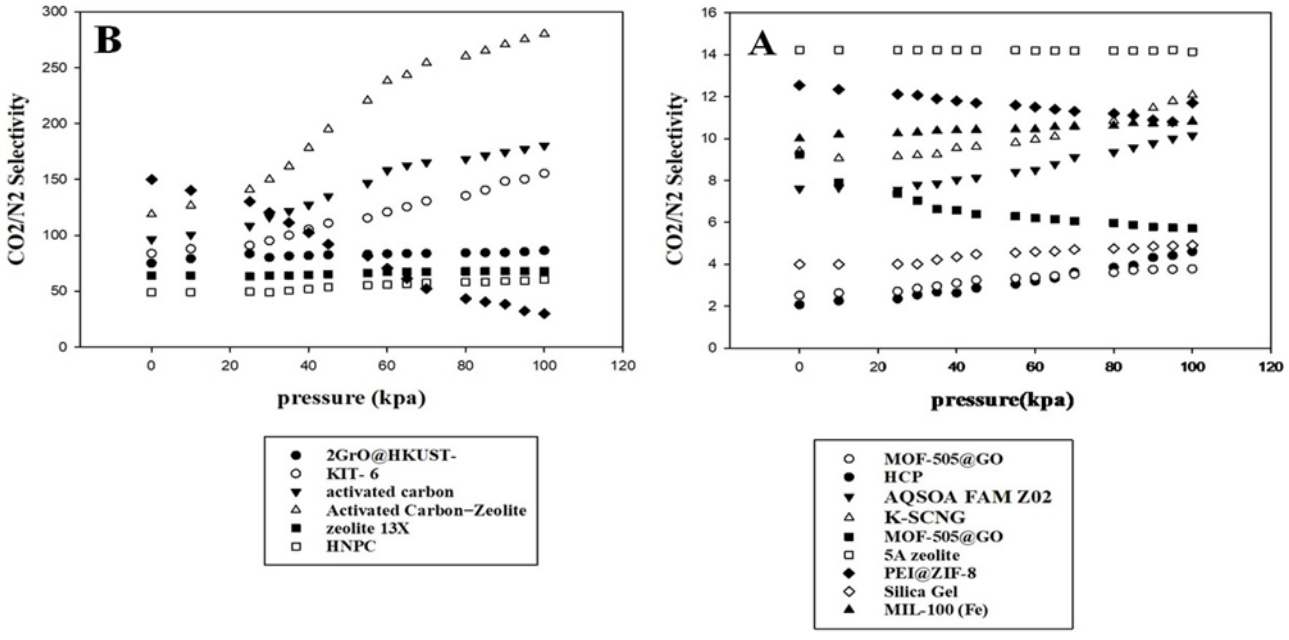
با توجه به شکل (۱)، با تغییر فشار عملیاتی در محدوده ۱۰۰-۱ کیلوپاسکال برای مخلوط گازی (CO_2/N_2 (۵۰-۵۰، میزان جذب جاذب‌های مختلف بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد، با افزایش فشار بسته به نوع جاذب میزان جذب دی اکسید کربن افزایش با شدت بیشتر افزایش می‌یابد و یا به طور قابل توجه تغییر نمی‌کند. به‌طوریکه در جاذب‌های activated carbon - AQSOA FAM Z02 - KIT-6 افزایش فشار منجر به افزایش قابل توجه میزان جذب می‌شود. همچنین برای جاذب‌های GrO@HKUST - 5A zeolite تغییر بسیار کمی در میزان جذب ایجاد می‌شود.



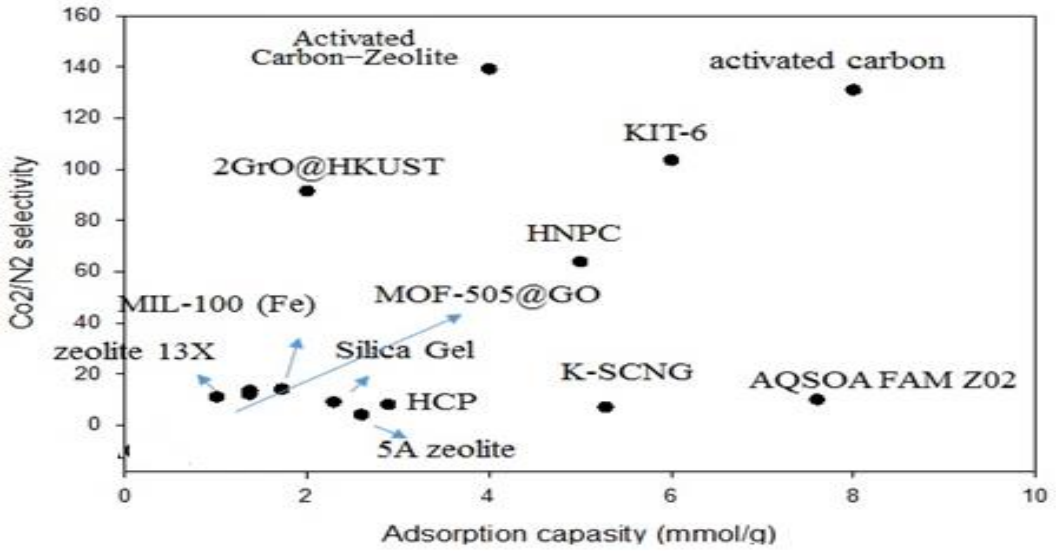
شکل ۱. میزان جذب دی‌اکسیدکربن در فشارهای مختلف CO_2/N_2 در ترکیب درصد ۵۰-۵۰.

- **انتخاب‌پذیری جاذب‌ها در فشارهای مختلف**

با توجه به شکل (۲) جاذب MOF 505@GO - PE@ZIF-8 - HNPC در دمای ۲۹۸ کلوین با افزایش فشار، انتخاب‌پذیری آن کاهش می‌یابد ولی جاذب‌های دیگر نیز با افزایش فشار، انتخاب پذیری آن‌ها تقریبا ثابت می‌ماند. همچنین با افزایش فشار انتخاب پذیری جاذب Activated carbon/zeolit - MIL 100 (Fe) افزایش می‌یابد به‌طوریکه، در دماهای پایین انتخاب‌پذیری بیشتری را شاهد هستیم. در شکل (۲) انتخاب‌پذیری جاذب Activated carbon/zeolit بیشتر از جاذب‌های دیگر می‌باشد و نیز در این جاذب با افزایش فشار انتخاب‌پذیری آن افزایش می‌یابد. با توجه به شکل (۲) جاذبActivated carbon/zeolite در دمای 303 کلوین بیشترین میزان انتخاب‌پذیری را دارد و جاذب KIT-6 بیشترین میزان کل جذب را دارا می‌باشد. از طرفی، جاذب MOF-505@GO انتخاب‌پذیری و ظرفیت جذب کمتری در مقایسه با دیگر جاذب‌ها دارد. با این وجود، انتخاب جاذب باید بر اساس محاسبات اقتصادی باشد. با توجه به نمودار شکل (۳) نتایج نشان می‌دهد، جاذب Activated carbon/zeolit می‌تواند در جذب و جداسازی CO_2 از N_2 عملکرد مطلوبی دارد. به‌طوریکه جاذب KIT-6 می‌تواند به دلیل داشتن ظرفیت جذب بالا برای خالص سازی و حذف دی اکسید کربن از نیتروژن، و انتخاب‌پذیری بیشتر مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۲. (A) انتخاب‌پذیری تعادلی در فشارهای مختلف برای انتخاب پذیری پایین. (B) انتخاب‌پذیری تعادلی در فشارهای مختلف برای انتخاب پذیری بالای CO_2/N_2 در ترکیب درصد ۵۰-۵۰.



شکل۳. انتخاب پذیری دی اکسید کربن / نیتروژن در برابر میزان جذب جاذب‌های مختلف در دمای ۲۹۸ کلوین.

۴- نتیجه‌گیری

عملکرد جاذب‌های مختلف جهت جداسازی CO_2/N_2 با استفاده از نظریه محلول جذب ایده آل مورد بررسی قرار گرفت. تمامی جاذب‌های مورد مطالعه شامل زئولیت‌ها، MOF ها، و کربن‌های فعال نسبت به CO_2 انتخاب پذیر هستند. در بین تمامی جاذب‌ها MIL-100(Fe) و Activated carbon/zeolite به ترتیب بیشترین انتخاب‌پذیری را نسبت به CO_2/N_2 دارند. در میان جاذب‌های انتخابی، بیشترین میزان جذب CO_2 متعلق به KIT-6 است. نمودار به دست آمده از مقادیر جذب شده CO_2 در مقابل انتخاب پذیری CO_2 برای جاذب‌های مختلف تهیه شده است که راهنمای مناسبی جهت انتخاب جاذب مناسب برای کاربردهای صنعتی این انواع جاذب‌ها می‌باشد.

منابع

- Aghel, B., Behaein, S., & Alobaid, F. (2022). CO2 capture from biogas by biomass-based adsorbents: A review. Fuel, 328, 125276.
- Boonchuay, A., & Worathanakul, P. (2022). The diffusion behavior of CO2 adsorption from a CO2/N2 gas mixture on zeolite 5A in a fixed-bed column. Atmosphere, 13(4), 513.
- Cessford, N. F., Seaton, N. A., & Düren, T. (2012). Evaluation of ideal adsorbed solution theory as a tool for the design of metal–organic framework materials. Industrial & engineering chemistry research, 51(13), 4911-4921.
- Chang, D., Min, J., Moon, K., Park, Y. K., Jeon, J. K., & Ihm, S. K. (2004). Robust numerical simulation of pressure swing adsorption process with strong adsorbate CO2. Chemical engineering science, 59(13), 2715-2725.
- Charalambous, C., Santori, G., Vilarrasa-Garcia, E., Bastos-Neto, M., Cavalcante Jr, C. L., & Brandani, S. (2018). Pure and binary adsorption of carbon dioxide and nitrogen on AQSOA FAM Z02. Journal of Chemical & Engineering Data, 63(3), 661-670.
- Chen, Y., Lv, D., Wu, J., Xiao, J., Xi, H., Xia, Q., & Li, Z. (2017). A new MOF-505@ GO composite with high selectivity for CO2/CH4 and CO2/N2 separation. Chemical Engineering Journal, 308, 1065-1072.
- Gomes , V. G., & Yee, K. W. (2002). Pressure swing adsorption for carbon dioxide sequestration from exhaust gases. Separation and purification technology, 28(2), 161-171.
- Goyal, P., Purdue, M. J., & Farooq, S. (2019). Adsorption and diffusion of N2 and CO2 and their mixture on silica gel. Industrial & Engineering Chemistry Research, 58(42), 19611-19622.
- Hansen, J., Fung, I., Lacis, A., Rind, D., Lebedeff, S., Ruedy, R. & Stone, P. (1988). Global climate changes as forecast by Goddard Institute for Space Studies three-dimensional model. Journal of geophysical research: Atmospheres, 93(D8), 9341-9364.

- Huwae, R., Nuriyadi, M., & Tjiptadi, A. T. (2024). Equilibrium Volumetric Experiment Apparatus Review for Mixed-Gas Adsorption. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 2739, No. 1, p. 012009). IOP Publishing.
- Keshavarz, L., Ghaani, M. R., MacElroy, J. D., & English, N. J. (2021). A comprehensive review on the application of aerogels in CO2-adsorption: Materials and characterisation. Chemical Engineering Journal, 412, 128604.
- Li, J., Jia, D., Guo, Z., Liu, Y., Lyu, Y., Zhou, Y., & Wang, J. (2017). Imidazolinium based porous hypercrosslinked ionic polymers for efficient CO 2 capture and fixation with epoxides. Green Chemistry, 19(11), 2675-2686.
- Mendes, P. A., Ribeiro, A. M., Gleichmann, K., Ferreira, A. F., & Rodrigues, A. E. (2017). Separation of CO2/N2 on binderless 5A zeolite. Journal of CO2 utilization, 20, 224-233.
- Moradi, M. R., Torkashvand, A., Ramezanipour Penchah, H., & Ghaemi, A.(2023). Amine functionalized benzene based hypercrosslinked polymer as an adsorbent for CO_2/N_2 adsorption. Scientific Reports, 13(1), 9214.
- Myers, A. L., & Prausnitz, J. M. (1965). Thermodynamics of mixed-gas adsorption. AIChE journal, 11(1), 121-127.
- Ning, H., Yang, Z., Wang, D., Meng, Z., Li, Y., Ju, X., & Wang, C. (2021). Graphene-based semi-coke porous carbon with N-rich hierarchical sandwich-like structure for efficient separation of CO2/N2. Microporous and Mesoporous Materials, 311, 110700.
- Pellerano, M., Pré, P., Kacem, M., & Delebarre, A. (2009). CO2 capture by adsorption on activated carbons using pressure modulation. Energy procedia, 1(1), 647-653.
- Qasem, N. A., & Ben-Mansour, R. (2018). Adsorption breakthrough and cycling stability of carbon dioxide separation from CO2/N2/H2O mixture under ambient conditions using 13X and Mg-MOF-74. Applied energy, 230, 1093-1107.
- Ramezanipour Penchah, H., Ghanadzadeh Gilani, H., & Ghaemi, A. (2020). CO2, N2, and H2 adsorption by hyper-cross-linked polymers and their selectivity evaluation by gas–solid equilibrium. Journal of Chemical & Engineering Data, 65(10), 4905-4913.
- Rostami, M., Mofarahi, M., Karimzadeh, R., & Abedi, D. (2016). Preparation and characterization of activated carbon–zeolite composite for gas adsorption separation of CO2/N2 system. Journal of Chemical & Engineering Data, 61(7), 2638-2646.
- Rupak, K., & Kumar, G. A. (2016). Polyethylenimine Functionalized As-Synthesized KIT-6 Adsorbent for Highly CO_2/N_2 Selective Separation.
- Sakuth, M., Meyer, J., & Gmehling, J. (1998). Measurement and prediction of binary adsorption equilibria of vapors on dealuminated Y-zeolites (DAY). Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 37(4), 267-277.
- To, J. W., He, J., Mei, J., Haghpanah, R., Chen, Z., Kurosawa, T. & Bao, Z. (2016). Hierarchical N-doped carbon as CO2 adsorbent with high CO2 selectivity from rationally designed polypyrrole precursor. Journal of the American Chemical Society, 138(3), 1001-1009.
- Wu, Y., Wang, J., Muhammad, Y., Subhan, S., Zhang, Y., Ling, Y.& Zhao, Z. (2018). Pyrrolic N-enriched carbon fabricated from dopamine-melamine via fast mechanochemical copolymerization for highly selective separation of CO2 from CO2/N2. Chemical Engineering Journal, 349, 92-100.
- Xian, S., Peng, J., Zhang, Z., Xia, Q., Wang, H., & Li, Z. (2015). Highly enhanced and weakened adsorption properties of two MOFs by water vapor for separation of CO2/CH4 and CO2/N2 binary mixtures. Chemical Engineering Journal, 270, 385-392.
- Xian, S., Xu, F., Ma, C., Wu, Y., Xia, Q., Wang, H., & Li, Z. (2015). Vapor-enhanced CO2 adsorption mechanism of composite PEI@ ZIF-8 modified by polyethyleneimine for CO2/N2 separation. Chemical Engineering Journal, 280, 363-369.
- Xu, F., Yu, Y., Yan, J., Xia, Q., Wang, H., Li, J., & Li, Z. (2016). Ultrafast room temperature synthesis of GrO@ HKUST-1 composites with high CO2 adsorption capacity and CO2/N2 adsorption selectivity. Chemical engineering journal, 303, 231-237.
- Zagho, M. M., Hassan, M. K., Khraisheh, M., Al-Maadeed, M. A. A., & Nazarenko, S. (2021). A review on recent advances in CO2 separation using zeolite and zeolite-like materials as adsorbents and fillers in mixed matrix membranes (MMMs). Chemical Engineering Journal Advances, 6, 100091.
- Zhang, B., Liu, P., Huang, Z., & Liu, J. (2023). Adsorption equilibrium and diffusion of CH4, CO2, and N2 in coal-based activated carbon. ACS omega, 8(11), 10303-10313.