

اثر پارامترهای مختلف بر توان جذبی ژئولیت طبیعی کلینوپتیلولیت برای حذف گاز دی‌اکسید نیتروژن

نبی‌اله منصوری¹؛ محمدرضا مسعودی‌نژاد^{2*}؛ حسن اصیلان³؛ آزاده مفرشی¹

چکیده

زمینه: دی‌اکسید ازت NO₂ گازی سمی است که تهدیدی برای سلامتی انسان و محیط زیست به حساب می‌آید و حذف آن از محیط کار و زندگی ضروری است.

روش‌ها: در این تحقیق ژئولیت طبیعی و ایرانی کلینوپتیلولیت برای حذف گاز NO₂ مورد آزمایش قرار گرفت. این ژئولیت بعد از خرد کردن به دو اندازه 1 و 2 میلی‌متر در دماهای 380-420°C به مدت 20 دقیقه فعال‌سازی گردید. گاز NO₂ از واکنش مس با اسید نیتریک، حاصل و برای تهیه غلظت‌های مختلف با مقدار کافی هوا مخلوط گردید. برای انجام این بررسی یک ست آزمایشگاهی تهیه شد که در آن گاز NO₂ با غلظت‌های 20، 30 و 45ppm از میان بستر جاذب ژئولیت عبور داده و پارامترهای مختلف مؤثر بر جذب NO₂ شامل غلظت، ارتفاع، قطر بستر، دانه‌بندی و دمای فعال‌سازی ژئولیت بررسی گردید.

یافته‌ها: توان جذبی این ژئولیت برای گاز NO₂ در شرایط مختلف از حداقل 0/35 درصد وزنی برای دانه‌بندی 2mm و غلظت 20ppm گاز تا 1/5 درصد وزنی برای ژئولیت با دانه‌بندی 1mm و غلظت 45ppm متغیر است. دمای فعال‌سازی 420°C به مدت 20 دقیقه، بهترین نتیجه را برای حذف گاز NO₂ نشان داد. توان جذبی ژئولیت در دانه‌بندی 1mm بیشتر از 2mm بود.

نتیجه‌گیری: کاهش پارامترهایی مانند قطر و ارتفاع بستر، توان جذبی ژئولیت را کاهش، ولی افزایش غلظت گاز عبوری آنرا افزایش داد. با شرایط فعلی، استفاده از این ژئولیت در ماسک‌های تنفسی توصیه نمی‌شود.

کلیدواژه‌ها: دی‌اکسید نیتروژن، ژئولیت کلینوپتیلولیت، جذب سطحی، دانه‌بندی، ظرفیت جذب

«دریافت: 1388/8/11 پذیرش: 1388/12/18»

1. گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی، واحد علوم و تحقیقات تهران

2. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران

3. گروه بهداشت حرفه‌ای، دانشکده پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

*عهده‌دار مکاتبات: تهران، اوین، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده بهداشت، تلفن: 021-22432040-41

Email: massoudi@sbm.ac.ir

مقدمه

را کم‌تر جذب می‌کند، باعث تولید رنگ خاص می‌گردد. به همین علت این گاز به‌طور مؤثری دید را در شهرها کاهش می‌دهد، به‌طوری‌که اگر غلظت NO₂ به حدود 0/25ppm برسد، قابلیت دید به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. به علاوه بوی تند، زننده و اسیدمانند آن در غلظت 1-3ppm قابل تشخیص است. آستانه بوی آن 0/12-0/22 ppm بوده، غیر قابل اشتعال و شدیداً خفقتان‌آور است (2 و 3).

دی‌اکسید نیتروژن در تشکیل بسیاری از آلاینده‌ها

اکسیدهای نیتروژن، اثرات زیان‌آوری بر روی سلامت انسان و سایر موجودات می‌گذارند و باعث خوردگی اجسام می‌گردند. در میان اکسیدهای نیتروژن، دی‌اکسید نیتروژن (NO₂) و مونوکسید نیتروژن (NO) از نظر آلودگی هوا اهمیت بیشتری دارند (1).

NO₂ گازی است به رنگ قرمز- قهوه‌ای، زیرا تمام طیف اشعه خورشید از ماوراء بنفش تا اشعه قابل رؤیت را جذب می‌نماید، ولی چون اشعه مرئی با طول موج بالا

(10). از جمله ویژگی زئولیت‌ها، کریستالی و بلوری بودن آن‌ها است. زئولیت‌ها در هر سه جهت فضا با هم پیوند دارند و یک ساختار سه بعدی را به وجود می‌آورند که مقاومت فیزیکی و شیمیایی خاصی به آن‌ها می‌دهد (11). تحقیقات مختلف نشان داده است که زئولیت‌ها برای جذب انواع مختلف مولکول‌های قطبی و غیرقطبی مانند CO_2 ، SO_2 ، NO_2 ، NO ، H_2S ، NH_3 و هیدروکربن‌های آروماتیک، الکل‌ها، کتون‌ها و مولکول‌های مشابه دیگر مناسب است. جذب سطحی، تعویض یونی و رفتار کاتالیستی از زئولیت‌های مختلف، مواد جالب توجهی می‌سازد که در صنایع مختلف، کاربرد زیادی پیدا کرده‌اند (10). علاوه بر زئولیت‌های مصنوعی که سال‌هاست به‌عنوان جاذب آلاینده‌های آب و هوا مورد استفاده قرار می‌گیرند، زئولیت‌های طبیعی و معدنی نیز به‌عنوان جاذب در تکنولوژی امروزی برای استخراج و حذف آلاینده‌ها از هوا و جریان‌های آب شناخته شده‌اند (12). از این رو پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر پارامترهای مختلف بر توان جذب زئولیت طبیعی کلینوپتیلولیت برای حذف گاز دی‌اکسید نیتروژن انجام شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه یک تحقیق توصیفی-کاربردی است. زئولیت طبیعی کلینوپتیلولیت به‌دلیل فراوانی ذخایر طبیعی آن در ایران، ارزان‌قیمت بودن، داشتن قدرت تعویض یونی مناسب و پایداری نسبتاً بالای آن در برابر شرایط مختلف طبیعی، انتخاب و توانایی آن در حذف گاز NO_2 در دو اندازه 2 و 1 میلی‌متر تحت تأثیر پارامترهای مختلف از قبیل دما، غلظت گاز NO_2 ، ارتفاع و قطر بستر زئولیت مورد بررسی قرار گرفت. در این بررسی گاز NO_2 از تأثیر اسید نیتریک بر فلز مس به‌دست آمد و پس از جمع‌آوری درون کیسه‌های پلاستیکی از جنس پلی‌پروپیلن، برای رسیدن به غلظت‌های مورد نظر با مقدار اضافی هوا رقیق شد و

از جمله مه دود فتوشیمیایی، PAN (پراکسی استیل نترات) و باران‌های اسیدی شرکت داشته و از این طریق بر روی سلامتی انسان و سایر موجودات زنده اثرات سویی برجای می‌گذارد. تماس افراد با گاز NO_2 در غلظت 200-50 ppm باعث التهاب حاد مجاری هوایی کوچک شده و در مدت‌زمان بین 3-5 هفته منجر به مرگ فرد می‌شود (4). این گاز از منابع مختلف و متنوع از جمله آگروز وسایط نقلیه موتوری و دودکش منابع احتراقی ثابت مانند بویلرهای صنعتی، نیروگاه‌ها و کارخانجات مواد شیمیایی تولید می‌شود (5).

استاندارد اولیه و ثانویه متوسط غلظت سالیانه آن در هوای آزاد در ایران 0/05 ppm یا $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ است (6). استاندارد آن برای محیط‌های شغلی در ایران برای میزان تماس 8 ساعت در روز 5 ppm اعلام شده است (7) که با مقدار توصیه‌شده توسط انجمن دولتی متخصصین بهداشت صنعتی آمریکا که از مراجع معتبر استانداردهای شغلی در جهان به‌شمار می‌رود مطابقت دارد (8).

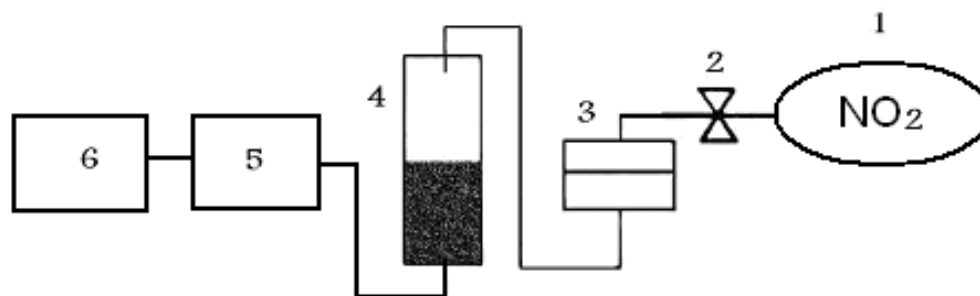
روش‌های چهارگانه حذف اکسیدهای نیتروژن از سوخت‌های گازی شامل: جذب سطحی، جذب در محلول، احتراق کاتالیستی و واکنش‌های فاز بخار است. در این میان جذب سطحی از ظرفیت بالایی برخوردار است ولی برای جریان‌های گاز بسیار پرهزینه است. در این روش از ترکیبات و جاذب‌های مختلف زیادی مانند سیلیکاژل، رزین‌ها، اکسیدهای فلزی و کربن فعال استفاده می‌شود (1). امروزه نوع دیگری از روش‌های تصفیه پیشرفته مانند استفاده از جاذب‌های جامد نظیر زئولیت‌ها توجه بسیاری از دانشمندان را به خود جلب نموده است. این مواد، توانایی خیلی خوبی در تکنولوژی تفکیک گاز دارند. منابع فراوان زئولیت طبیعی در ایران می‌تواند نقش بزرگی را در توسعه این تکنولوژی ایفا نماید (9). زئولیت‌ها گروهی از کریستال‌های معدنی هستند که شامل هیدرات سیلیکات آلومنیوم قلیایی‌اند و عناصر خاکی قلیایی محسوب می‌شوند. فرمول این کریستال معدنی به‌صورت کلی $\text{Mx}/\text{n}[(\text{AlO}_2)_x (\text{SiO}_2)_y] \cdot \text{H}_2\text{O}$ است

فیلتر ممبران عبور داده شد (شکل 1). به منظور افزایش دقت در انجام مراحل آزمایش برای کلیه شرایط، هر آزمایش سه بار تکرار گردید.

یافته‌ها

آنالیز زئولیت کلینوپتیلولیت با روش تفرق اشعه x (جدول 1) نشان داده که سیلیس با 64/4 درصد بیشترین ماده تشکیل‌دهنده آن می‌باشد. سایر اکسیدهای فلزی در رده‌های بسیار پایین‌تر قرار دارند. وجود اکسیدهای مضاعف آهن و آلومینیوم و حتی منیزیم در زئولیت‌های طبیعی، یکی از عوامل تعیین‌کننده توان جذب سطحی محسوب می‌گردد (9). البته فعال‌سازی در درجه حرارت بالا که موجب افزایش خلل و فرج زئولیت می‌گردد نیز بر افزایش توان جذبی آن‌ها مؤثر است. در بحث جاذب‌های سطحی، اصولاً استفاده از مواد شیمیایی برای بهبود فعال‌سازی، اهمیت به‌سزایی دارد البته در این تحقیق با توجه به این‌که استفاده از این زئولیت برای حذف NO₂ برای اولین بار انجام می‌گیرد و تأثیر همه پارامترها نامشخص است، از مواد شیمیایی برای بهبود فعال‌سازی استفاده نگردید.

غلظت آن توسط دستگاه گازمتر سنجش گردید. رطوبت هوا قبل از ورود به کیسه پلاستیکی توسط یک بستر حاوی سیلیکاژل حذف گردید. سنگ زئولیت که از معادن طبیعی آن تهیه شد پس از خرد کردن، توسط الک‌های مناسب در دو اندازه 1 و 2 میلی‌متر تهیه و در کوره الکتریکی با 4 دمای مختلف 380، 400، 420 و 440 درجه سانتی‌گراد به مدت 20 دقیقه فعال گردید (9). زئولیت‌های فعال‌شده در ستون‌های شیشه‌ای به قطر 2 و 2/5 سانتی‌متر قرار داده شد. ارتفاع زئولیت 1/5 و 3 سانتی‌متر انتخاب گردید و گاز NO₂ با غلظت‌های 20، 30 و 45ppm در جریان ثابت 0/9 لیتر بر دقیقه از آن عبور داده شد. دبی گاز ورودی به سیستم از طریق یک شیر سوزنی تنظیم گردید. علت انتخاب جریان 0/9 لیتر بر دقیقه نیز ثابت بودن میزان مکش گازسنج مورد استفاده برای سنجش غلظت NO₂ با فلوی یاد شده بود. غلظت گاز NO₂ در ورودی سیستم ثابت انتخاب گردید و غلظت آن پس از عبور از بستر زئولیت، توسط یک گازسنج pollytector G750 مجهز به سنسور الکتروشیمیایی NO₂ با دقت اندازه‌گیری ±0/01 ppm به صورت پیوسته و بر حسب زمان اندازه‌گیری گردید. هوای حاوی گاز NO₂ به‌منظور حذف ذرات معلق از یک



شکل 1- طرح شماتیک آزمایش توان جذبی بستر ثابت زئولیت طبیعی کلینوپتیلولیت برای جذب NO₂

اجزای سیستم شامل: 1- مخزن گاز NO₂ 2- شیر سوزنی تنظیم جریان 3- فیلتر هوا 4- بستر جاذب 5- پمپ مکند 6- گازسنج NO₂

نمودارها بدون شیب کاهشی و به صورت افقی حرکت می‌کند، بدین معنی که غلظت NO₂ در هوای خروجی صفر بوده و تمام آن توسط زئولیت جذب می‌شد. سپس در نقطه شکست، توان جذبی شکسته شده و مقدار کمی گاز NO₂ از بستر زئولیت خارج می‌گردید. در نقطه شکست، توان جذبی زئولیت از غلظت NO₂ کم‌تر می‌شود. پس از آن و با گذشت زمان بیشتر، بخش بیشتری از ظرفیت زئولیت توسط NO₂ اشغال شده و میزان خروج گاز NO₂ افزایش می‌یافت که موجب شیب نزولی نمودار توان جذبی می‌گردد. سرانجام نقطه اشباع کامل فرا می‌رسید که در آن زمان، توان جذبی صفر شده و غلظت NO₂ خروجی با غلظت آن در هوای ورودی برابر می‌شد و دیگر هیچ جذبی صورت نمی‌گرفت.

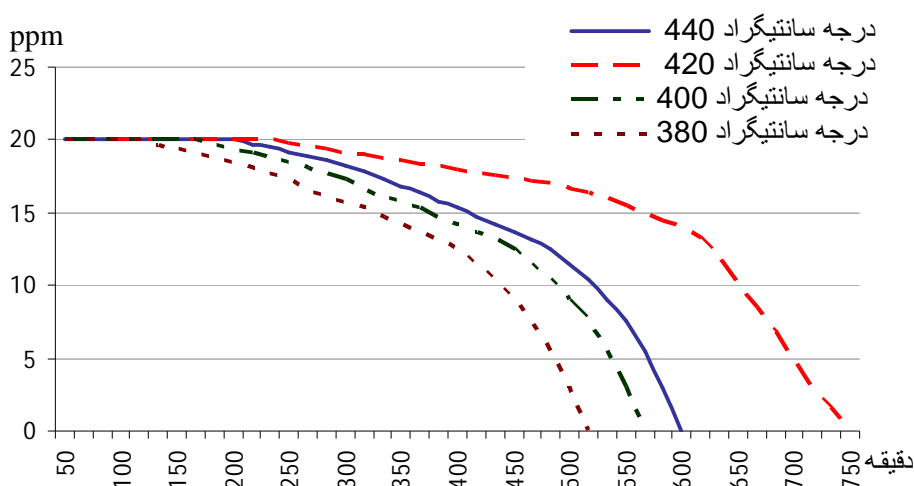
نمودار 1 نتایج آزمایش تأثیر 4 دمای فعال‌سازی را در محدوده 380-440°C به مدت 20 دقیقه نشان می‌دهد. همان‌طور که از نمودارهای مذکور کاملاً مشخص است، بهترین دمای فعال‌سازی 420°C است. با توجه به نتیجه مذکور برای سایر آزمایشات، تنها از دمای فعال‌سازی 420°C استفاده گردید.

جدول 1- ترکیب شیمیایی نمونه زئولیت کلینوپتیلولیت به روش

اشعه X

ترکیبات	مقدار عنصر در زئولیت (%)
SiO ₂	64/4
Al ₂ O ₃	12/80
K ₂ O	2/64
CaO	2/37
Fe ₂ O ₃	1/31
MgO	1/15
Na ₂ O	1/13
TiO ₂	0/31
P ₂ O ₅	0/12
LoI	13/47

آزمایشات بسیار متنوع و متعددی در این تحقیق انجام شد که نتایج موارد با اهمیت‌تر به صورت نمودارهای مقایسه‌ای تهیه گردید. در این نمودارها توان جذبی زئولیت کلینوپتیلولیت بر حسب زمان نشان داده شده است. براساس این آزمایشات در ابتدا توان جذبی، حداکثر بوده و برای غلظت‌های پایین‌تر، مدتی این



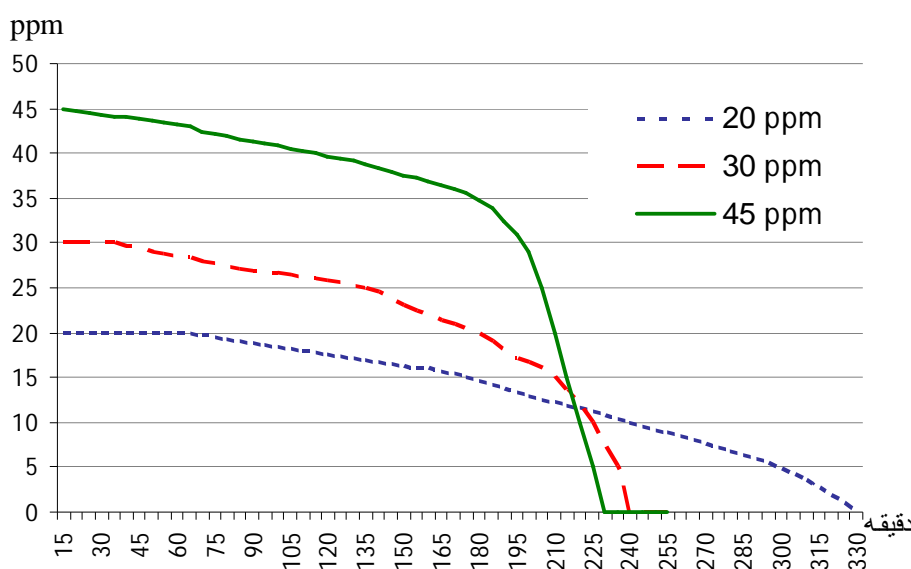
نمودار 1- نمودار توان جذبی زئولیت کلینوپتیلولیت فعال‌شده در 4 دما از 380-440°C به مدت 20 دقیقه با دانه‌بندی 1mm، در بستری به ارتفاع 3cm و قطر 2/5cm برای گاز NO₂ بر حسب زمان

نمودار 2 توان جذبی ژئولیت را برای جذب گاز NO₂ با سه غلظت 20، 30 و 45 ppm با دانه بندی 1mm، در بستری به ارتفاع 3cm و قطر 2/5cm بر حسب زمان نشان می دهد. این مقدار ژئولیت، گاز NO₂ را با غلظت 20 ppm برای مدت 4 ساعت به طور کامل جذب می کرد و نقطه شکست برای این غلظت در زمان حدود 240 دقیقه رخ می دهد ولی برای غلظت 30ppm، این نقطه در زمان حدود 150 دقیقه بود. درحالی که برای غلظت

نمودار 3- نمودار توان جذبی ژئولیت کلینوپتیلولیت با دانه بندی 2mm، در بستری به ارتفاع 3cm و قطر 2/5cm برای گاز NO₂ با سه غلظت 20، 30 و 45 ppm، در بستری به ارتفاع 3cm و قطر 2/5cm بر حسب زمان نشان می دهد. این مقدار ژئولیت، گاز NO₂ را با غلظت 20 ppm برای مدت 4 ساعت به طور کامل جذب می کرد و نقطه شکست برای این غلظت در زمان حدود 240 دقیقه رخ می دهد ولی برای غلظت 30ppm، این نقطه در زمان حدود 150 دقیقه بود. درحالی که برای غلظت



نمودار 2- نمودار توان جذبی ژئولیت کلینوپتیلولیت با دانه بندی 1mm، در بستری به ارتفاع 3cm و قطر 2/5cm برای گاز NO₂ با سه غلظت 20، 30 و 45 ppm بر حسب زمان

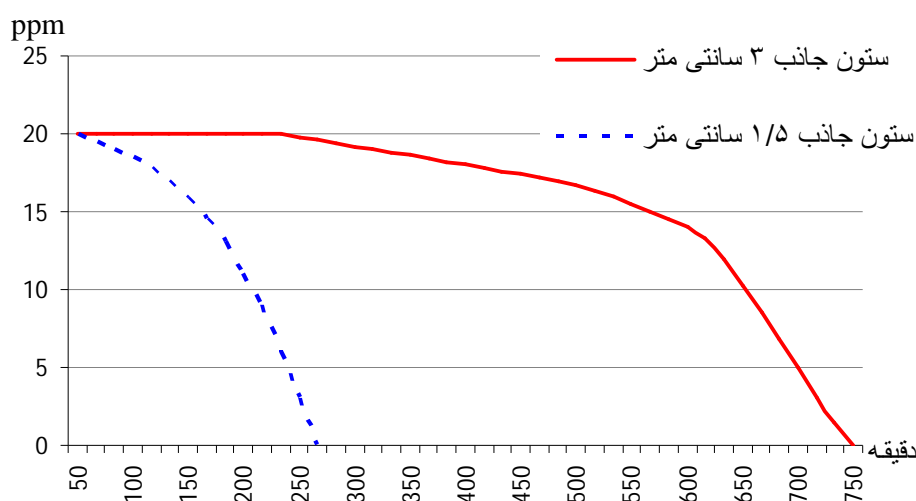


نمودار 3- نمودار توان جذبی ژئولیت کلینوپتیلولیت با دانه بندی 2mm، در بستری به ارتفاع 3cm و قطر 2/5cm برای گاز NO₂ با سه غلظت 20، 30 و 45 ppm بر حسب زمان

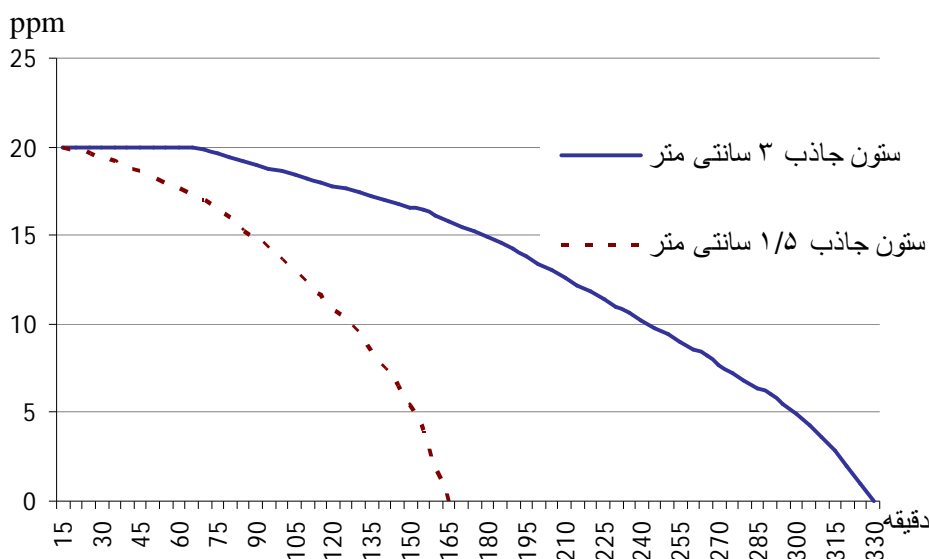
نمودار 4 و 5 نیز اثر تغییر ارتفاع ستون جاذب از 3 سانتی‌متر به نصف آن را برای جاذب با دو دانه‌بندی 1 و 2 میلی‌متر به ترتیب نشان می‌دهد. در هر دو نمودار، کاهش ارتفاع ستون جاذب موجب کاهش توان جذب آن شد. این مطلب در تغییر قطر ستون جاذب نیز در نمودار 6 به اثبات رسیده است.

جدول 2 نیز خلاصه محاسبات توان جذب زئولیت را برای گاز NO₂ بر حسب درصد وزنی آن نشان می‌دهد.

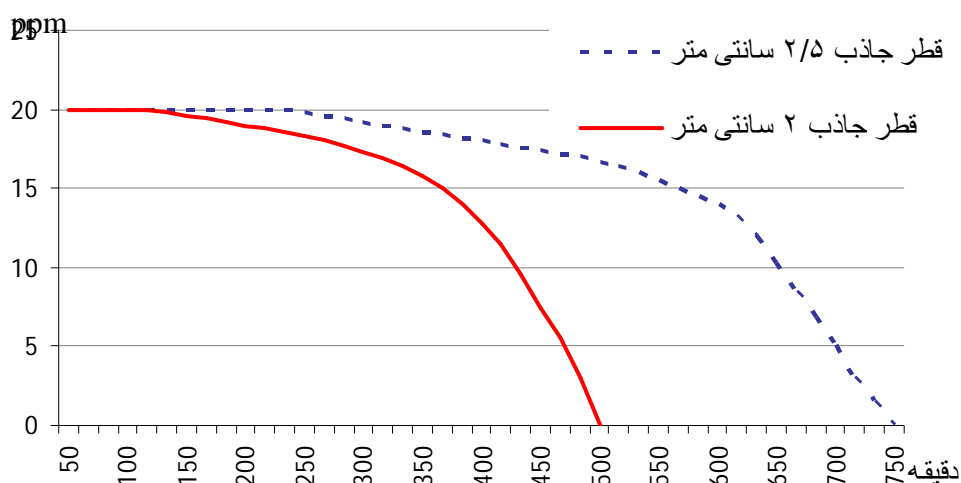
نتیجه کاملاً متفاوت بود. علی‌رغم آن‌که مقدار کلی زئولیت تغییری نکرد ولی زمان فرا رسیدن نقطه شکست در غلظت 20ppm به حدود 60 دقیقه کاهش یافت. این زمان در مورد غلظت 30ppm حدود 30 دقیقه بود و طبیعتاً برای غلظت 45ppm کماکان این زمان صفر بود. زمان اشباع نیز الگوی تقریباً مشابهی داشت. برای غلظت 20ppm زمان اشباع به کم‌تر از یک سوم آن برای دانه‌بندی 1mm کاهش نشان داد و برای غلظت‌های 30 و 45ppm نیز وضعیت مشابهی مشاهده شد.



نمودار 4- نمودار مقایسه‌ای توان جذب گاز NO₂ با غلظت 20ppm توسط زئولیت کلینوپتیلولیت با دانه‌بندی 1mm و ارتفاع ستون جاذب 1/5 و 3 سانتی‌متر با قطر 2/5 سانتی‌متر



نمودار 5- نمودار مقایسه‌ای توان جذب گاز NO₂ با غلظت 20ppm توسط زئولیت کلینوپتیلولیت با دانه‌بندی 2mm و ارتفاع ستون جاذب 1/5 و 3 سانتی‌متر با قطر 2/5 سانتی‌متر



نمودار 6- نمودار مقایسه‌ای توان جذب‌ی گاز NO₂ با غلظت 20ppm توسط زئولیت کلینوپتیلولیت با دانه‌بندی 1mm و قطر 2 و 2/5 سانتی‌متر با ارتفاع ستون جذب 3 سانتی‌متر

کردن ذرات زئولیت، توان جذب‌ی آن‌ها را تقریباً 3 برابر کرده است. مسلماً علت این امر افزایش سطح تماس زئولیت با کاهش قطر دانه‌های آن می‌باشد. گرچه امکان تأثیر بهتر دما در زئولیت‌های ریزتر منتفی نیست.

همان‌طوری که از نمودار 2 استنباط می‌گردد توان جذب‌ی زئولیت یادشده نشان داد برای غلظت 20ppm تا حدود 600 دقیقه یعنی 10 ساعت تنها کم‌تر از 5ppm از آلودگی را عبور می‌دهد و بیش از 15ppm آن‌را جذب می‌نماید. بنابراین می‌توان با شبیه‌سازی این شرایط برای مقیاس‌های بزرگتر و حذف NO₂ از جریان‌های خروجی از صنعت، در مدت یک شیفت 8 ساعته از این زئولیت‌ها استفاده نمود. همچنین مقایسه سطح مقطع بستر زئولیت با قطر 2/5 سانتی‌متر و سطح مقطع فیلترهای بزرگ شیمیایی ماسک‌های تنفسی تمام صورت با قطر حدود 11 سانتی‌متر نشان می‌دهد که سطح مقطع عبور هوا در این فیلترها حدود 20 برابر بستر زئولیت در این آزمایش است و این بدین معنی است که در صورت استفاده از این زئولیت در ماسک‌های مذکور، عبور 18 لیتر در دقیقه را با همین شرایط تأمین می‌کند و این میزان تقریباً برابر حجم هوای تنفسی یک فرد نرمال برای انجام کار سبک تا متوسط است. یعنی شرایطی که تقریباً بیش از 95

جدول 2- توان جذب‌ی زئولیت کلینوپتیلولیت برای گاز NO₂ برحسب درصد وزنی زئولیت با غلظت‌های مختلف و دانه‌بندی 1 و 2 میلی‌متر

غلظت NO ₂	20 (ppm)	30 (ppm)	45 (ppm)
دانه‌بندی 1mm	1/12	1/2	1/5
دانه‌بندی 2mm	0/35	0/50	0/83

بحث

نتایج آزمایش اثر دمای فعال‌سازی زئولیت، دمای بهینه را 420°C نشان داد و دماهای بالاتر را تأیید نکرد. به نظر می‌رسد دمای بالاتر موجب تغییر برخی ساختارهای شیمیایی و فیزیکی زئولیت می‌گردد به طوری که این تغییرات بر ظرفیت جذب سطحی آن اثر منفی می‌گذارد. همچنین بررسی اثر دانه‌بندی زئولیت در توان جذب‌ی آن (مقایسه نمودارهای 2 و 3) نشان داد که توان جذب‌ی آن با کاهش سایز ذرات زئولیت افزایش می‌یابد. البته در این تحقیق تنها 2 سایز دانه‌بندی 1 و 2 میلی‌متر بررسی شد ولی همین آزمایش به روشنی تأثیر این پارامتر را به خوبی نشان می‌دهد. در مجموع می‌توان گفت توان جذب‌ی دانه‌بندی 2mm به حدود 30 درصد مقدار مربوط به دانه‌بندی 1mm کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر نصف

بررسی روابط مذکور در تغییر قطر بستر جاذب با دانه‌بندی 1mm نتایج جالبی را در نمودار 6 نشان داد. محاسبه حجم هندسی نشان داد که کاهش قطر بستر از 2/5 به 2 سانتی‌متر، موجب کاهش حجم کل جاذب از $14/72 \text{ cm}^3$ به $9/42 \text{ cm}^3$ می‌شود. میزان این کاهش 36 درصد برآورد گردید. این میزان کاهش در حجم جاذب نیز موجب کاهش زمان نقطه شکست به حدود 2 ساعت یعنی نصف زمان قبلی شد. کاهش زمان نقطه اشباع تقریباً با میزان کاهش حجم جاذب (36%) برابر بود زیرا از 750 دقیقه به حدود 500 دقیقه رسید که تقریباً همان میزان کاهش را نشان می‌دهد.

در خصوص توان جذبی این ژئولیت باید گفت که گرچه این نتایج ظرفیت بسیار بالایی را در قیاس با جاذب پرمصرفی مانند کربن اکتیو نشان نداده است ولی در قیاس با مطالعات دیگری که بوکر و همکارانش (13) در استرالیا بر روی توان جذبی این ژئولیت برای حذف آمونیاک در فاضلاب انجام دادند و توان جذبی آنرا 4/5 میلی‌گرم برای هر گرم جاذب (معادل 0/45% وزنی) به‌دست آوردند، اعداد قابل توجهی را نشان می‌دهد. مطالعات مازیکن و همکارانش (14) در اوکراین نیز از توان جذبی این ژئولیت برای 2/25 میلی‌گرم بر لیتر هیدروکربن‌های سبک در فاضلاب خبر می‌دهد که باز هم نتایج حاصله در این تحقیق، توان جذبی بالاتر را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

کاهش پارامترهایی مانند قطر و ارتفاع بستر ژئولیت، توان جذبی آن را کاهش ولی افزایش غلظت گاز عبوری آنرا افزایش داد. در مجموع در قیاس با جاذب‌های رایج در فیلترهای شیمیایی مانند کربن اکتیو، این جاذب سنگین‌تر و دارای ظرفیت پایین‌تری است و با شرایط فعلی در این تحقیق، برای این منظور توصیه نمی‌شود. ولی با ریزتر کردن دانه‌بندی، پودرکردن و سپس گرانول‌سازی آن و تأثیر دادن برخی مواد شیمیایی برای

درصد پرسنل شاغل در صنایع را در بر می‌گیرد. از این بحث می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از فیلترهای حاوی ژئولیت یادشده در ماسک‌های تنفسی فردی می‌تواند تا مدت 240 دقیقه به‌طور کامل یک فرد را در مقابل 20ppm گاز NO₂ حفاظت نماید. البته چون ارتفاع بستر ژئولیت در این آزمایش 3 سانتی‌متر بوده است ولی در فیلترهای شیمیایی معمولاً حدود 2 برابر این مقدار است لذا می‌توان انتظار داشت که این حفاظت برای مدت بیشتر و تقریباً یک شیفت کامل 8 ساعته و حتی در مقابل غلظت‌های بالاتر نیز قابل استفاده باشد.

تغییر ارتفاع جاذب نیز با تغییر زمان ماند گاز آلاینده، در تماس با جاذب، موجب تغییر در توان جذب می‌گردد. این امر به‌خوبی در نمودارهای 4 و 5 نشان داده شده است. در این آزمایشات، کاهش ارتفاع ستون جاذب به نصف مقدار اولیه، نه‌تنها باعث کاهش توان جذبی شد، بلکه نشان داد که زمان‌های نقطه شکست و نقطه اشباع، حداقل در محدوده ارتفاع آزمایش‌شده، با ارتفاع جاذب رابطه خطی ندارند. در آزمایش اول که با جاذب با دانه‌بندی 1mm و ارتفاع 3 سانتی‌متر به انجام رسید، زمان نقطه شکست حدود 4 ساعت برآورد گردید، با نصف شدن آن، این زمان صفر می‌گردد. به‌عبارت دیگر این ارتفاع، توان جذب کامل غلظت 20ppm را به‌طور کامل ندارد و یا به تفسیر دیگر می‌توان گفت زمان ماند یا تماس گاز آلوده با جاذب، کم‌تر از آن است که جاذب بتواند همه آلودگی موجود در گاز عبوری را جذب نماید. این پدیده در هر دو آزمایش با دانه‌بندی‌های مختلف مشاهده گردید. اما مقایسه زمان نقاط اشباع در ارتفاع‌های مختلف از جاذب، کمی متفاوت است. در حالی که در جاذب با دانه‌بندی 1mm، زمان نقطه اشباع با نصف شدن ارتفاع جاذب، بیش از نصف کم شده است که این هم نشانه غیرخطی بودن رابطه توان جذبی با ارتفاع جاذب می‌باشد، ولی این زمان در جاذب با دانه‌بندی 2mm کاملاً نصف بوده که رابطه کاملاً خطی را نشان می‌دهد.

بهبود عملکرد می‌توان راندمان جذب را افزایش داد. در حال حاضر مهم‌ترین مزیت جاذب مورد مطالعه، و فور آن در معادن طبیعی، قیمت ارزان و سهولت تهیه است که نیاز به توسعه مطالعات برای بهبود کارایی آن برای استفاده به‌عنوان جاذب شیمیایی را افزایش می‌دهد.

References

1. Murathan A, Bicer A, Acilar A. Effects of various parameters on removal of NO₂ gases in fix beds by adsorption on sepiolite. *J Water, Air and Soil Pollution* 2001; 132(3-4): 365-72.
2. US Environmental Protection Agency. AIRTrends 1995 Summary, Nitrogen Dioxide (NO₂). Available at: www.epa.gov/eogapti1/module6/nitrogen/nitrogen.htm.
3. Peavy SH, Environmental engineering. Mc Grow-Hill Education 1987: 135-9.
4. Manahan E. Environmental Chemistry. 6th ed. Boca Raton. Lewis 1994: 342-5.
5. Granahan G, Murray F. Air pollution and health in rapidly developing countries. London: Sterling 2003; 58-9 .
6. Kaivani N. [Environmental Rules and Laws of IR of Iran (Persian)]. 2nd ed. Tehran: Iran Department of Environment Press 2004; 4-12.
7. Occupational and Environmental Health Center of Iranian Ministry of Health, Treatment and Medical Education. [Allowable Occupational Exposure Lemits (Persian)]. 2nd ed, Tehran: MHTME Press 2001; 122-4.
8. American Conference of Governmental Hygienists. Threshold Limit Values. Cincinnati: ACGIH press 2007; 45-47.
9. Asilian H, Mortazavi SB, Kazemian H, Phaghiehazadeh S, Shahtaheri Sj, Salem M. Removal of ammonia from air, using three Iranian natural zeolites. *Iranian J Publ Health* 2004; 33(1): 45-51.
10. Korkuna O, Leboda R, Skubiszewska J, Zie B, Vrublevs T, Gun'ko VM, et al. Strutral and physicochemical properties of natural zeolites. *Journal of Microporous and Mesoporous Materials* 2006; 87(3): 243-54.
11. Kazemian H. [Introduction to Zeolites, Misterious Minerals (Persian)]. Tehran: Zali Press 2006; 124-8.
12. Barrer RM. Zeolite and clay minerals as sorbents and molecular sieves. London: Academic Press 1979; 103-223.
13. Booker NA, Cooney LE, and Priestley AJ. Amonia removal from sewage using natural australianzeolite. *Journal of Water Science Technology* 1996; 34(9): 17-24.
14. Mazeikiene A, Rimeika M, Marina V, Oskinis V, Neringa P, Evelina B. Removal of petroleum products from water using natural sorbent zeolite. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 2005; 8(4): 187-91.