Archive of SID

سنتز غشای زئولیتی ZSM-5 با استفاده از روش‌های دانه‌گذاری متفاوت و مقایسه این غشاها در جداسازی ایزومرهای زایلن

مصطفی وفایی*+، محمدعلی موسویان
تهران، دانشگاه تهران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشکده مهندسی شمیی

اکبر ملک‌پور، سید جواد احمدی
تهران، سازمان انرژی اتمی ایران، آزمایشگاه جابربن حیان

چکیده: *در فرایند سنتز غشاء زئولیتی یکی از مهمترین مراحل، بذردار کردن پایه به منظور نشاندن لایه زئولیتی روی آن است که به طور معمول به وسیله سه روش مالشی، غوطه وری و الکتروفورز انجام می‌پذیرد. در این پژوهش برای بررسی و مقایسه این روش‌ها، پایه‌های آلفا آلومینا با دو روش مالشی و غوطه وری در سوسپانسیون دانه نشانی شده و سپس با استفاده از روش هیدروترمال و در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به منظور تهیه غشاء زئولیتی تحت عملیات حرارتی قرار گرفتند و سرانجام تأثیر این سه روش بر روی عملکرد غشا با استفاده از تراوش تبخیری ایزومرهای زایلن بررسی شد. به این دلیل از ایزومرهای زایلن برای ارزیابی عملکردی غشاهای سنتزی استفاده شد که اندازه منافذ غشای زئولیتی ZSM-5 (با قطری در حدود ۰/۵۴nm) با قطرهای سنتیکی مولکول های زایلن که برای پارازایلن برابر ۰/۵۸nm و برای متازایلن و اورتوزایلن برابر با ۰/۶۸nm است یکسان و مشابه می‌باشد. پارازایلن به علت اندازه مولکولی کوچکتر نسبت به دو ایزومر دیگر و در حد اندازه منافذ غشاء می‌تواند به راحتی در منافذ زئولیت جذب سطحی شده و نفوذ نماید و این خود می‌تواند مقیاس مناسبی برای ارزیابی سنتز انجام گرفته محسوب شود. بنا بر نتیجه‌های به‌دست آمده، غشائی که از روش غوطه‌وری برای دانه گذاری پایه آن استفاده شد با داشتن ضریب جداسازی ۲/۶۶ بهترین عملکرد را نسبت به دو غشاء دیگر از خود نشان داد.*

واژه‌های کلیدی: *دانه‌نشانی، غشای زئولیتی ZSM-5، جداسازی ایزومرهای زایلن.*

KEY WORDS: *Seeling, ZSM-5 zeolite membrane, Separation of xylene isomers.*

مقدمه

غشاهای زئولیتی برخلاف غشای غربال مولکولی سیلیکا از یک ساختار بلوری منظم با منافذ یکسان و یک شکل تشکیل یافته‌اند. افزون بر این، غشاهای زئولیتی دارای مزایای هم‌چون مقاومت مکانیکی و شیمیایی بالا، پایداری حرارتی زیاد و هم‌چنین انتخاب‌پذیری مناسب نسبت به غشاهای پلیمری هستند که سبب شده تا از این نوع غشاها در فرایندهای مهمی مانند جداسازی در دماهای بالا

*عهده دار مکاتبات
+E-mail: mostafa.vafa@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

و همچنین به عنوان کاتالیست استفاده شود [۱]. در این بین غشاهای زئولیتی MFI (شامل سیلیکالیت و ZSM-5) به‌دلیل اندازه منافذشان، گزینه‌ی مناسبی برای جداسازی مولکول‌های آلی بسیار مهم در صنعت هم‌چون ایزومرهای زایلن محسوب می‌شوند. متاسفانه در ایران تاکنون در این مورد، پژوهش مناسبی صورت نگرفته است. به همین دلیل در این کار سعی شده است پژوهش‌های مناسبی در این زمینه که به نسبت دانش نوپایی محسوب می‌شود انجام بگیرد.

سنتز غشاهای زئولیتی به ویژه غشاهای زئولیتی MFI در چند سال اخیر رشد چشم‌گیری داشته است که عمده‌ی این موردها شامل تبلور یک لایه‌ی پیوسته زئولیت از داخل محلول دارای SiO_2، Al_2O_3، Na_2O و به‌طور معمول قالب آلی، روی پایه متخلخل تحت با یک واکنش هیدروترمال بوده است [۵].

به‌طور کلی غشاها باید افزون بر داشتن میزان عبور بالا دارای انتخاب‌پذیری مناسبی نیز باشند که این ویژگی‌ها مستلزم این است که فیلم زئولیتی سنتز شده بر روی غشا در حد امکان نازک و بدون هرگونه ترک ساختاری باشد. این لایه زئولیتی برای اینکه از استحکام مکانیکی مناسبی نیز برخوردار باشد نیازمند پایه‌ای با کمترین مقاومت در برابر انتقال جرم است تا غشا روی آن نشانده شود. برای داشتن غشایی با ویژگی‌های ذکر شده، تلاش‌های فراوانی صورت گرفته و روش‌های متفاوتی ابداع شده است که روش تبلور دانه‌های زئولیتی در شرایط هیدروترمال، متداول‌ترین این روش‌ها محسوب می‌شود.

شایان گفتن است که درصورت به‌کارگیری روش هیدروترمال، به ناچار برای بستن تمام ترک‌های موجود باید حداقل چندین بار این عمل روی غشا انجام شود که درنتیجه باعث افزایش ضخامت لایه زئولیتی و کاهش چشم‌گیر میزان عبور خواهد شد. برای حل این مسأله می‌توان دمای سنتز را به تدریج افزایش داد تا بتوان با یک بار انجام فرایند تبلور، لایه‌های زئولیتی بیشتری را روی پایه نشاند [۹].

گرد و غبار و همچنین بلورهای احتمالی موجود در محلول سنتز اولیه می‌توانند تأثیری منفی در رشد لایه زئولیتی از خود بر جای بگذارند. بنابراین، با کاهش این عامل‌ها، به ویژه در طول عملیات دانه‌گذاری می‌توان به داشتن غشایی هرچه بهتر و نازک‌تر کمک کرد [۶].

ترک‌ها و نقص‌هایی که ممکن است بعد از عملیات سنتز، هم‌چنان در غشاء وجود داشته باشد، باید به وسیله‌ی اصلاحات بعدی که روی غشاء اعمال می‌شود پوشانده شود. به‌کارگیری پوششی که جریان عبوری از ترک‌ها را کاهش دهد و هم‌چنین بستن انتخابی ترک‌ها، از مهم‌ترین این روشهاست. این درحالی است که به دلیل کاهش سطح مؤثر غشاء، میزان عبور کاهش خواهد یافت. مشخص است که در صورت داشتن غشایی عاری از ترک، دیگر نیازی به فرایند اصلاح غشا نخواهد بود [۱۰].

در سال‌های اخیر پژوهشگران زیادی درمورد جداسازی ایزومرهای زایلن با استفاده از غشاء گزارش‌هایی ارایه داده‌اند که نتیجه‌های آنها با یکدیگر مطابقت ندارد. *ساکای* و *همکارانش* تراوش تبخیری پارازایلن و متازایلن را در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد بررسی کرده و ضریب جداسازی برابر یک را برای آزمایش‌های خود به دست آوردند. (ضریب جداسازی یک بدین معنی است که پارازایلن و متازایلن با میزان عبور یکسانی از غشاء عبور کرده و در نتیجه هیچ‌گونه جداسازی انجام نگرفته است) [۲]. *واکنر* تراوش تبخیری هم مولارِ دوجزئی پارازایلن ـ اورتوزایلن و پارازایلن ـ متازایلن را در گستره دمایی ۷۵ ـ ۲۶ درجه سانتی‌گراد بررسی کرد. او جداسازی خاصی را مشاهده نکرد و دلیل این امر را مربوط به انبساط گرمایی نامناسب بین پایه آلومینا و غشاء زئولیتی در طول عمل کلسینه‌کردن و در نتیجه ایجاد نقص در هنگام حذف قالب عنوان کرد [۳]. نتیجه‌هایی که از آزمایش‌های *ون‌هوی* و *همکارانش* به دست امد بسیار موفقیت‌آمیز بود چراکه او توانست به ضریب جداسازی پارا / اورتوزایلن برابر ۲۴ تراوش تبخیری ایزومرهای زایلن در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد دست پیدا کند. این درحالی بود که تا آن زمان کسی نتوانسته بود که برای آزمایش‌های تراوش تبخیری ایزومرهای زایلن به چنین ضریب جداسازی بالایی نایل شود [۴].

بخش تجربی

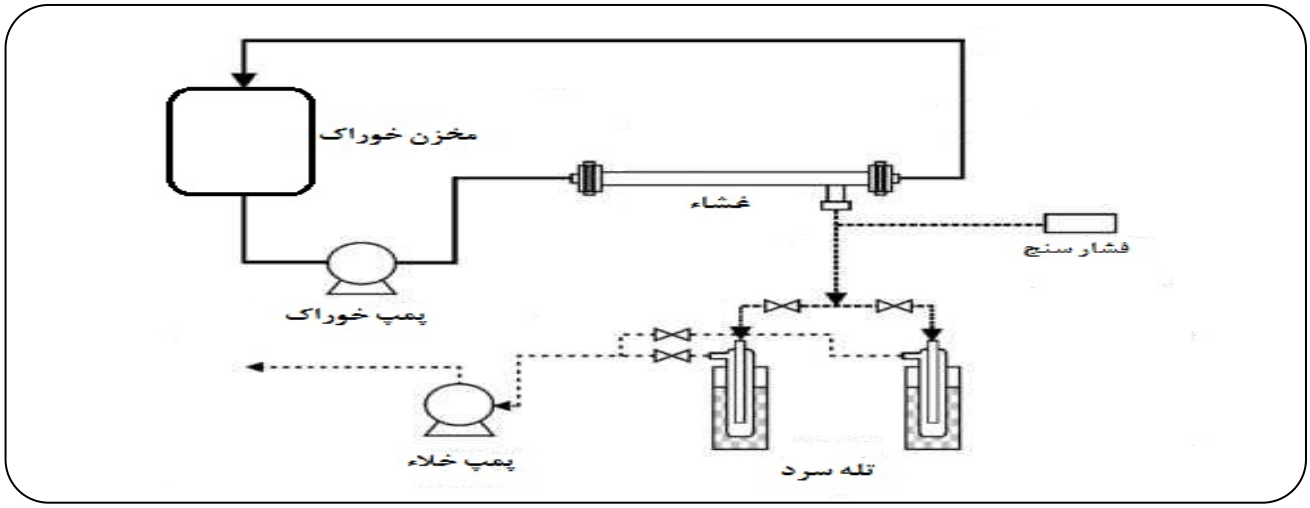
تهیه غشا

پس از اطمینان از عدم وجود ترک در پایه‌های آلفا ـ آلومینا (تخلخل ۴۲ درصد، متوسط اندازه‌ی حفره‌ها ۲۸۰ نانومتر و دارای ابعادی معادل قطر mm ۲۰ و ضخامت mm ۱٫۲، ساخت پژوهشگاه مواد و انرژی ایران)، ابتدا پایه‌ها با آب مقطر شسته و سپس به مدت یک ساعت در آب جوش قرار داده شد تا از خروج کامل ذره‌ها از منافذ آنها اطمینان حاصل شود. پس از این مرحله، پایه در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد.

پس از اینکه پایه‌ها آماده شدند، نوبت به دانه‌نشانی بلورهای زئولیت روی آنها می‌رسد. در این پژوهش، برای دانه‌نشانی

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱ـ نمایی از تجهیزات برای فرایند تراوش تبخیری.

پایه‌ها، از روش مالشی یکبار با پورد ZSM-5 کلسینه نشده (غشای ۱) و یکبار با پودر ZSM-5 کلسینه شده (غشای ۲) و همچنین روش دوغابی (غشای ۳) استفاده شد. در روش مالشی، ابتدا پودر بسیار نرمی از زئولیت ZSM-5 (کلسینه شده و کلسینه نشده) تهیه شد، سپس این پودر به منظور ایجاد نقاط فعال در پایه به آرامی روی آن مالیده شد. این درحالی است که در روش دوغابی، ابتدا دوغابی از پودر زئولیت کلسینه شده در آب با غلظت مشخص ساخته شده وا سپس درون ظرف‌های پلی اتیلنی ریخته می‌شود و به مدت یک روز در دمای اتاق قرار داده می‌شوند تا ذره‌ها درشت‌تر آنها ته‌نشین شده و تعلیقی از ذره‌های ریز زئولیت در آب، در قسمت بالای ظرف ایجاد شود. به منظور دانه‌نشانی، پایه‌ها به صورت عمودی در قسمت بالای ظرف فرو برده شده و پس از چند ثانیه با سرعت بسیار کم به‌منظور جلوگیری از کنده‌نشدن دانه‌ها از سطح، از آن بیرون آورده می‌شوند، در ادامه پایه‌ها به مدت یک روز در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک می‌شوند [۱۱]. در ادامه، ابتدا پایه دانه‌نشانی شده به صورت عمودی درون ظرف تفلونی قرار داده شدند و سپس ژل سنتز نهایی با درصد مولی H_2O :۷۴/۸ Al_2O_3 :۰/۹۵ Na_2O :۳/۲۵ SiO_2 :۱۹/۵ TPAOH ۱/۵ با احتیاط و به آرامی داخل ظرف ریخته شد. درب ظرف محکم بسته شد و درون اتوکلاو آب‌بندی شده جای گرفته و اتوکلاو برای انجام عمل تبلور به مدت ۳۵ ساعت در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد درون آون قرار داده شد. پس از اتمام عمل تبلور، اتوکلاو از داخل آون خارج شده و ظرف تفلونی حاوی غشا به سرعت سرد شد. غشا از داخل ظرف تفلونی خارج شد و با آب مقطر شستشو شد. غشای به دست آمده به مدت یک روز در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شد و پس از آن به منظور سوزاندن قالب آلی و باز کردن منافذ آنها، در کوره ابتدا با شدت ۱ درجه بر دقیقه، گرم شد تا به دمای ۵۳۰ درجه سانتی‌گراد رسید، سپس به مدت ۳ ساعت در این دما نگه‌داشته شده و پس از آن با شدت سرمایش ۱ درجه بر دقیقه تا دمای محیط سرد شد. شایان گفتن است که چون ضریب‌های انبساط حرارتی لایه زئولیتی و پایه متفاوت است به منظور جلوگیری از ترک خودن غشا طی فرایند کلسینه شدن از برنامه‌ی دمایی به شرح بالا استفاده شد [۱۲].

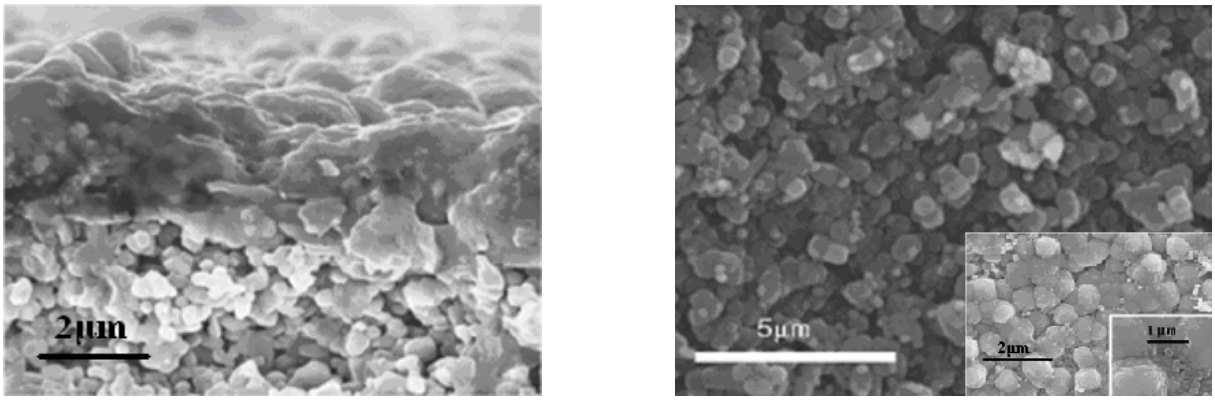
انجام فرایند تراوش تبخیری

شکل ۱ نمایی از تجیهیزات را به منظور انجام فرایند تراوش تبخیری نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود این تجهیزات شامل مخزن خوراک، پمپ خوراک، مدول غشایی، جریان سنج، دستگاه سرماساز و پمپ خلاء است که به وسیله‌ی لوله‌های پلی آمیدی قادر به تحمل دما تا ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد، به همدیگر متصل هستند.

روش انجام آزمایش نیز بدین‌صورت بود که ابتدا غشا ZSM-5 سنتز شده، در داخل مدول غشایی قرار داده شد و با استفاده از رینگ‌های دیسکی شکل آب‌بندی شد. سپس محلول موجود در مخزن خوراک به مدت حدود یک ساعت به وسیله‌ی پمپ، در شرایط عملیاتی دما و شدت جریان ثابت برای رسیدن به حالت یکنواخت، درون سامانه به گردش درآمد. پس از گذشت این مدت،

www.SID.ir

Archive of SID



(ب) (الف)

شکل ۲ـ تصویر SEM غشای تهیه شده در این تحقیق الف) تصویر از بالا، ب) نمای کناری

ارلن خلاء در سامانه‌ی سرماساز قرار داده شد و اتصالات مربوط به آنها به وسیله‌ی لوله‌های پلاستیکی برقرار شد. در ادامه پمپ خلاء به کار افتاده و در مدت زمان و دمای معین، کمترین خلاء مورد نیاز را که در حدود ۱/۵ میلی بار است تأمین کرد. پس از این مدت پمپ خلاء خاموش شده و مقدار ماده‌ی تراوش شده در ارلن به منظور به‌دست آوردن میزان عبور به دقت توزین و غلظت مواد موجود در آنها با دستگاه کروماتوگرافی گاز (GC) تعیین شد [۱].

میزان عبوری از غشاء با استفاده از معادله (۱) محاسبه می‌شود.

$$\text{شار عبوری} = \frac{\text{مقدار ماده‌ی تراوش شده (kg)}}{\text{سطح غشا (m}^2\text{)} \times \text{زمان (h)}} \qquad (۱)$$

به‌منظور به‌دست آوردن ضریب جداسازی غشا در نفوذهای دوگانه و سه گانه (ضریب جداسازی واقعی) از معادله (۲) استفاده می‌شود

$$\alpha = \left(\frac{y_i / y_j}{x_i / x_j} \right) \qquad (۲)$$

که در آن y درصد وزنی ماده مورد نظر در فراورده‌ی عبوری از غشا و x درصد وزنی ماده مورد نظر در خوراک است. درحالی که در نفوذهای تک جزئی، ضریب جداسازی ایده آل غشاء از نسبت میزان عبور ایزومرهای خالص به دست خواهد آمد [۱۳].

نتیجه‌ها و بحث

ارزیابی غشا زئولیتی ساخته شده

کلیه غشاهای زئولیتی ساخته شده می‌بایست در ابتدا به‌وسیله روش‌های همچون XRD و SEM مورد ارزیابی ساختاری و عملکردی قرار گیرند تا افزون بر اطمینان از تشکیل لایه زئولیتی ZSM-5 و همچنین عدم وجود ترک روی پایه، ریز ساختار و مورفولوژی لایه زئولیتی نیز مشخص شود. شکل ۲ نشان‌دهنده تصویر SEM گرفته شده از غشایی است که در پایان آزمایش‌ها دارای بهترین عملکرد نسبت به دو غشای دیگر بود (غشاء ۳).

در این پژوهش همان‌طور که در شکل ۳ نیز دیده می‌شود با انجام پراش سنجی پرتو X روی هر سه غشاء و مقایسه آن با نمونه استاندارد از سنتز لایه متبلور شده زئولیت ZSM-5 روی پایه اطمینان حاصل شد.

بررسی اثر زمان بر شار عبوری

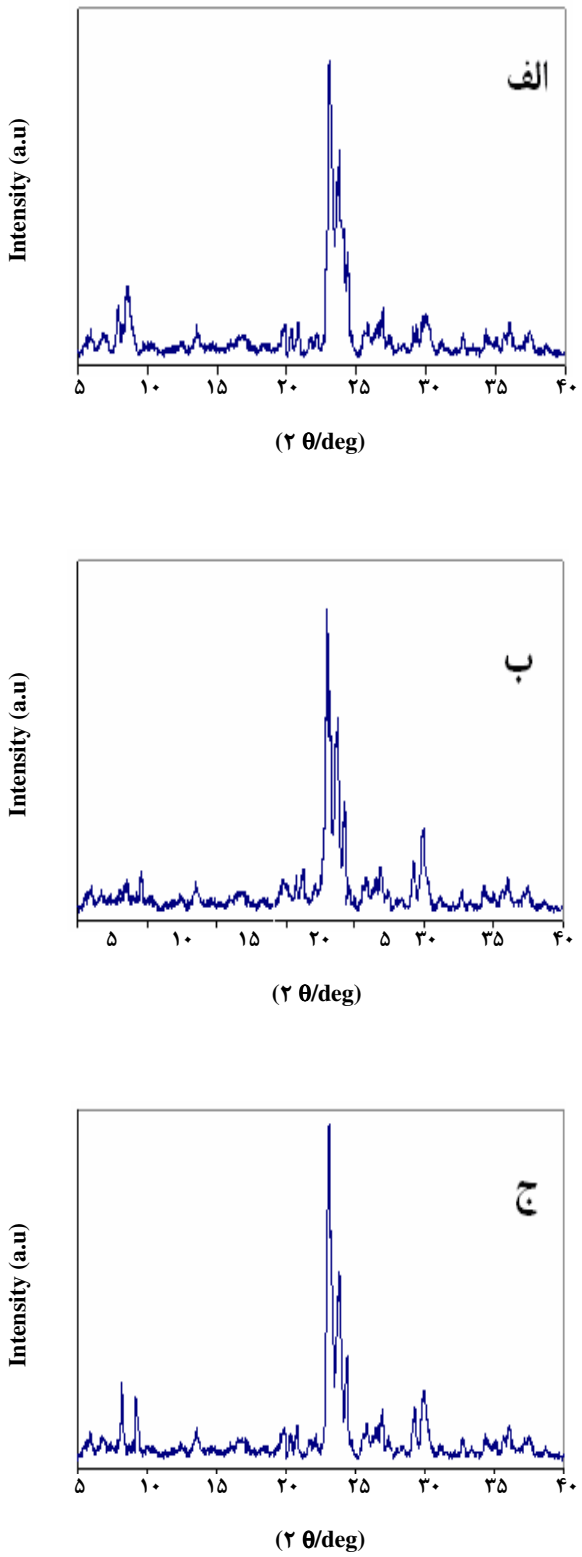
برای بررسی اثر زمان از آزمایش‌های تراوش تبخیری نفوذهای تک‌جزئی پارازایلن، متا زایلن و اورتوزایلن با زمان‌های متفاوت کمک گرفته شد و آزمایش‌ها در زمان‌های ۱، ۲، ۳/۵ و ۴/۵ ساعت انجام گرفت. با توجه به شکل ۴ و بنابر نتیجه‌های به دست آمده می‌توان چنین نتیجه گرفت که با گذشت زمان میزان شار عبوری به دلیل بسته شدن احتمالی بعضی منافذ به وسیله مولکول‌های عبور یافته از غشاء کاهش یافته است.

بررسی اثر نوع خوراک بر شار عبوری

با توجه به شکل ۴ افزون بر بررسی اثر زمان بر شار عبوری می‌توان به بررسی میزان شار عبوری از ایزومرهای زایلن در آزمایش‌های تک جزئی پرداخت. شکل ۵ نیز گویای میزان شار عبوری مخلوط سه جزئی ایزومرهای زایلن است که می‌توان با توجه به این شکل، اثر نوع خوراک بر روی شار عبوری را نیز

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳ـ پراش سنجی پرتو X روی پودر زئولیت ZSM-5 الف) غشای ۱، ب) غشای ۲، ج) غشای ۳.

درمورد مخلوط ایزومرها تحلیل نمود. همان‌طور که دیده می‌شود برای هر سه غشاء میزان عبور پارازایلن نسبت به دو ایزومر دیگر به مراتب بیشتر بوده و این بدان معنی است که پارازایلن به دلیل داشتن قطر سنتیکی کوچکتر از دو ایزومر دیگر و در حد منافذ غشاء توانسته بیشتر از دو ایزومر دیگر از منافذ عبور کرده و درنتیجه میزان عبور بیشتری از خود نشان دهد.

افزون براین، میزان شار عبوری پارازایلنِ دو غشای ۱ و ۲ با وجود اینکه از روش مشابه‌ای برای ساخت آنها استفاده شده متفاوت است. دلیل این امر نیز می‌تواند تشکیل حفره‌های بین مولکولی بیشتر درمورد غشای ۱ به علت استفاده از پودر زئولیت ZSM-5 کلسینه شده باشد. البته باید توجه داشت که تأثیر استفاده از پودر زئولیت کلسینه شده در افزایش شار عبوری در حد تأثیری که استفاده از روش دوغابی در سنتز غشاء می‌تواند برروی افزایش شار عبوری بگذارد نیست. در روش دوغابی به دلیل اینکه در ابتدا و در هنگام دانه‌گذاری، بذرهای اولیه به صورت کاملاً یکنواختی روی پایه شکل گرفته‌اند در نتیجه در زمان سنتز غشاء نیز بلورهای ZSM-5 به صورت یکنواخت‌تری روی این بذرها نشانده شده و حفره‌های بین مولکولی منظم‌تری تشکیل خواهد یافت.

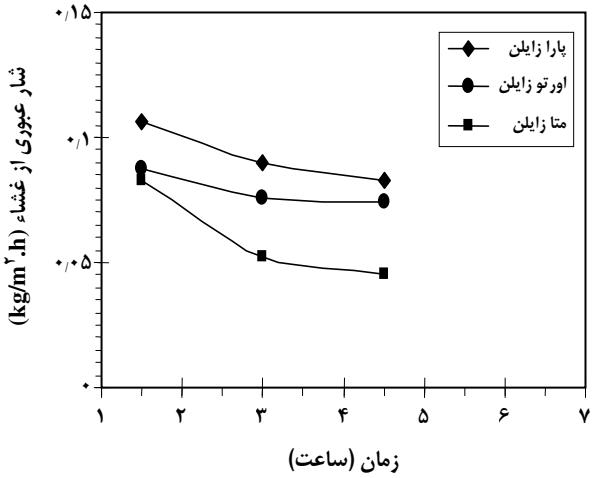
با توجه به موردهای گفته شده می‌توان چنین نتیجه‌گرفت که غشاهای ZSM-5 سنتز شده به ویژه غشایی که از روش دوغابی برای دانه‌گذاری آن استفاده شد به دلیل داشتن اندازه منافذ مناسب‌تر توانستند پارازایلن را به طور نسبی از دو ایزومر دیگر زایلن جدا نمایند. شایان گفتن است که هدف از استفاده از روش‌های متفاوت برای سنتز غشاء در این پژوهش جداسازی بهتر و بیشتر پارازایلن نسبت به دو ایزومر دیگر زایلن به علت داشتن قطر سنتیکی کمتر و همچنین کاربرد بیشتر در صنعت است.

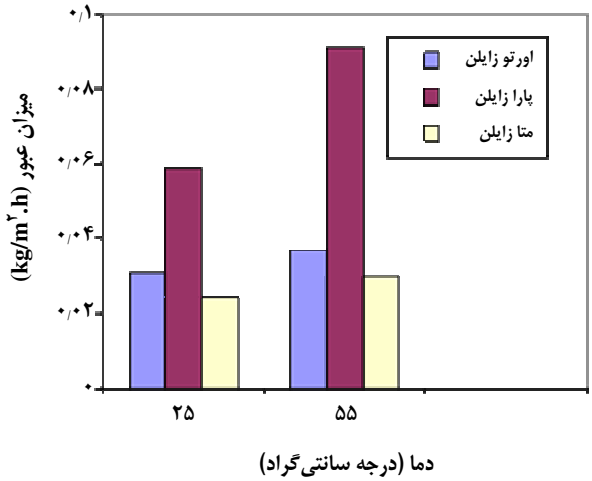
بررسی اثر دما بر شار عبوری

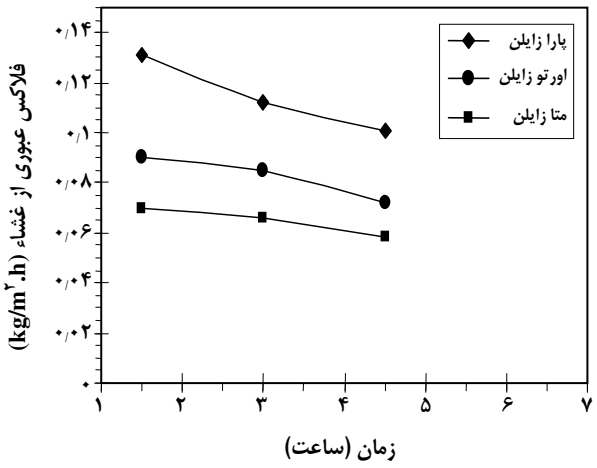
اثر دما ابتدا با انجام آزمایش‌های تراوش تبخیری مخلوط‌های تک جزئی و سپس سه جزئی پارا / اورتو / متازایلن در دو دمای گوناگون ۲۵ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد روی هر سه غشاء مورد بررسی قرار گرفت. جدول ۱ و شکل ۵ بیانگر نتیجه‌های به‌دست آمده از آزمایش ذکر شده است. با توجه به این نتیجه‌ها مشخص می‌شود که برای هر سه غشاء با افزایش دما میزان عبوریِ غشاء افزایش پیدا کرده است. هرچند که در بین ایزومرها، پارازایلن به دلیل داشتن ویژگی‌های جذب و نفوذ بهتر توانسته است با افزایش دما به مقدار بیشتری از غشاء عبور کند، درحالی که درمورد دو ایزومر دیگر افزایش محسوسی دیده نمی‌شود.

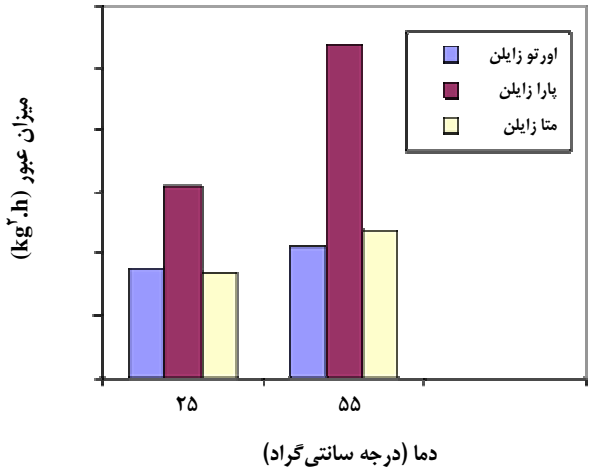
www.SID.ir

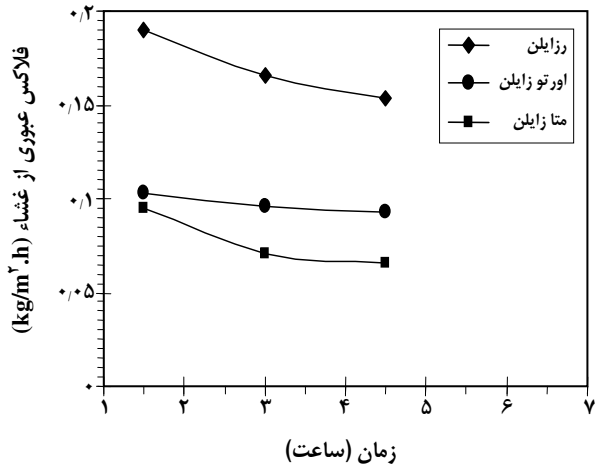
Archive of SID

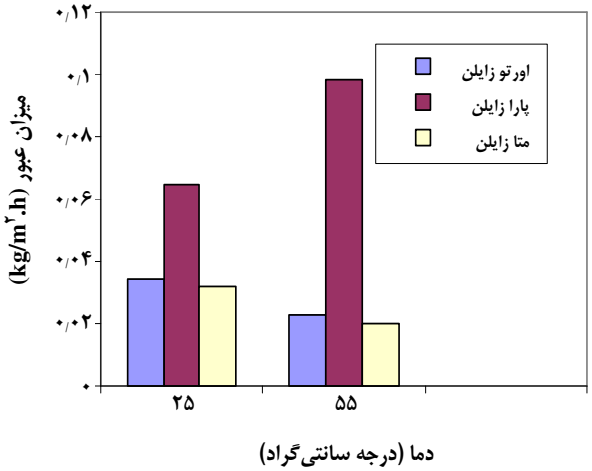












شکل ۴ـ نمودار تغییر شار عبور ایزومرهای زایلن برحسب زمان الف) غشای ۱، ب) غشای ۲، ج) غشای ۳.

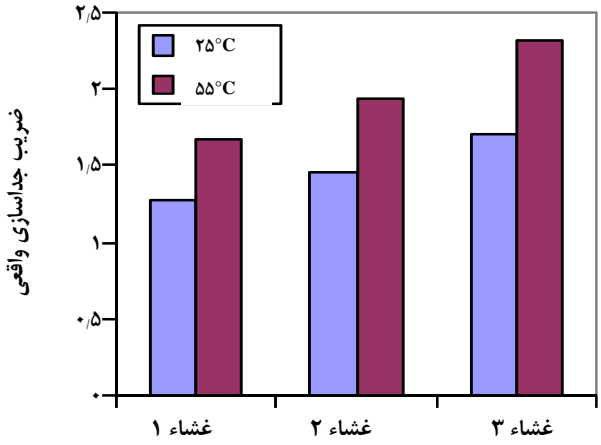
شکل ۵ ـ بررسی اثر دما روی میزان عبوری غشا در نفوذهای سه جزیی الف) غشای ۱، ب) غشای ۲، ج) غشای ۳.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱ـ بررسی اثر دما بر روی ضریب‌های جداسازی ایده‌آل و میزان شار عبوری غشاء در نفوذهای تک جزیی.

نوع غشا	دما (°C)	میزان عبور ($kg^2.h$)			ضریب جداسازی ایده‌آل	
		پارا زایلن	اورتو زایلن	متا زایلن	پارا / اورتو زایلن	پارا / متا زایلن
غشاء ۱	۲۵	۰/۱۰۶۳	۰/۰۸۷۶	۰/۰۸۳۶	۱/۲۱۳	۱/۲۷۱
	۵۵	۰/۱۹۷۳	۰/۰۹۵۳	۰/۱۰۲۶	۲/۰۷	۱/۹۲
غشاء ۲	۲۵	۰/۱۳۱۲	۰/۰۹۰۵	۰/۰۶۹۹۷	۱/۴۴۹	۱/۸۷۵
	۵۵	۰/۲۹۵۴	۰/۱۰۴۶	۰/۱۱۵۶	۲/۸۲۴	۲/۵۵
غشاء ۳	۲۵	۰/۱۸۹۷	۰/۱۰۲۷	۰/۰۹۹۵	۱/۸۴۷	۱/۹۰۶
	۵۵	۰/۳۵۹۵	۰/۱۱۵۶	۰/۱۱۲۳	۳/۱	۳/۲



شکل ۶ ـ بررسی اثر دما روی ضریب‌های جداسازی غشا در نفوذهای دو جزئی پارا / اورتوزایلن.

بررسی اثر دما بر روی ضریب جداسازی

جذب سطحی، نفوذ از حفره‌های بین مولکولی غشاء و سرانجام دفع مواد نفوذ شده، مکانیسم عبور از غشاء را می‌تواند نقش کنترل کننده انتقال جرم را در عبور مواد از غشاء بازی کنند.

انتقال جرم ایزومرهای زایلن به وسیله غشاء به دلیل داشتن گرمای جذب به نسبت یکسانی برای هر سه ایزومر به‌طور عمده به وسیله مرحله نفوذ کنترل می‌شود و هرکدام از ایزومرها بسته به ویژگی‌های نفوذ و همچنین اندازه مولکولی شان می‌توانند به مقدارهای متفاوتی از غشائ عبور کنند. همان‌طور که از شکل ۶ دیده می‌شود با افزایش دما پارازایلن به دلیل داشتن قطر سنتیکی کمتر و همچنین ویژگی‌های نفوذی بهتر توانسته است میزان عبور بیشتری نسبت به دو ایزومر دیگر از خود نشان داده و به همین دلیل ضریب جداسازی آن افزایش پیدا کرده است.

نتیجه‌گیری

از نتیجه‌های آزمایش‌های این پژوهش چنین دریافت شد که نوع دانه‌گذاری غشاءها می‌تواند نقش به سزایی در ساختار و عملکرد غشای سنتز شده ایفا کند همانطور که ملاحظه شد در جداسازی ایزومرهای زایلن، غشایی که از روش دوغابی برای دانه‌گذاری آن استفاده شد با داشتن ضریب جداسازی ۲/۶۶ در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد در مقایسه با دو غشایی که از روش مالشی برای بذردار کردن آنها استفاده شد (با ضرایب جداسازی ۱/۹۵ و ۲/۴۶ به ترتیب برای غشاء ۱ و غشاء ۲ در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد) بهترین عملکرد را داشته است. افزون بر این همان‌طور که از ضریب‌های جداسازی و میزان‌های عبوری این دو غشاء دیده شد کلسینه نمودن پودر زئولیت ZSM-5 در روش مالشی در بهبود ویژگی‌های غشاء مؤثر بوده است. هرچند که عملکرد سه غشای تهیه شده در جداسازی ایزومرهای زایلن به ترتیب با همدیگر متفاوت هستند ولی با این وجود هرسه آنها توانستند به طور انتخاب‌پذیری پارازایلن را از مخلوط ایزومرهای زایلن جدا کنند و این بدان معنی است که در جداسازی ایزومرهای زایلن، غشای ZSM-5 به دلیل اندازه منافذ مناسبش می‌تواند گزینه مناسبی جهت این امر باشد. دما در این جداسازی مؤثرترین پارامتر روی نتیجه‌های به دست آمده بود چرا که با افزایش دما افزون بر افزایش میزان عبور پارازایلن ضریب جداسازی نیز افزایش یافت. این درحالی است که میزان عبور متازایلن و اورتوزایلن با افزایش دما تغییرات چندانی نکرد و به تقریب ثابت ماند. درنتیجه هرچقدر که بتوان دما را بالاتر برد میزان عبور و همچنین ضریب جداسازی بیشتر بهبود می‌یابد.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۵/۹/۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۹/۱۸

www.SID.ir

Archive of SID

مراجع

[۱] مصطفی وفایی، محمدعلی موسویان، اکبر ملک‌پور، سید جواد احمدی، تراوش تبخیری مایعات توسط غشاهای زئولیتی، *مجله علمی ترویجی مهندسی شیمی ایران*، شماره ۲۴، (۱۳۸۴).

[2] Salkai H., Tomita T., Takahashi T., P-Xylene Separation with MFI-Type Zeolite Membrane, *Separation and Purification Technology,* **25**, p. 297 (2001).

[3] Wegner K., Dong J., Lin Y., Polycrystalline MFI Zeolite Membranes: Xylene Pervaporation and Its Implication on Membranes Microstructure, *Journal of Membrane Science,* **158**, p. 17 (1999).

[4] Senhui Y., Lin Y.S., Yang W., Molecular Sieving MFI-Type Zeolite Membranes for Pervaporation Separation of Xylene Isomers, *Journal of American Chemical Society,* **126**, p. 4776 (2004).

[5] Den Exter M.J., Jansen J.C., Van De Graaf J.M., Recent Advances and New Horizons in Zeolite Science and Technology, *Studies in Surface Science and Catalysis,* **102**, p. 413 (Elsevier, Amsterdam) (1996).

[6] Hedlund J., Sterte J., Anthonis M., Bons A.J., Carstensen B., Corcoran N., Cox D., Deckman H., De Gijnsr W., Lai F., McHenry J., Mortier W., Reinoso J., Peters J., High-Flux MFI Membranes, *Microprous and Mesoporous Material,* **52**, p. 179 (2002).

[7] Hedlund J., Jareman F., Bonsb A., Anthonis M., A Masking Technique for High Qualith MFI Membranes, *Journal of Membrane Science,* **222** p. 163 (2003).

[8] Yan Y., Davis M.E., Gavalas G.R., Preparation of Zeolite ZSM-5 Membranes by In-Situ Crystallization Porous α-Alumina, *Ind. Eng. Chem. Res.,* **34**, p. 1652 (1995).

[9] Geus E.R., Exter M.J., and Bekkum H., Synthesis and Characterization of Zeolite (MFI) Membranes of Porous Ceramic Supports, *Journal of Chemical Society,* **88**, p. 3101 (1992).

[10] Bowen C.T., Noble R.D., Falconer J.L., Fundamentals and Application of Pervaporation through Zeolite Membranes, *Journal of Membrane Science*, **245**, p. 1 (2004).

[11] Dinçer E., Çulfaz a., Kalipçilar H., Effect of Seeding on the Properties of MFI Type Zeolite Membranes, *Desalination*, **200**, p. 66 (2006).

[۱۲] مصطفی وفایی، محمدعلی موسویان، اکبر ملک‌پور، سید جواد احمدی، تراوش ایزومرهای زایلن توسط غشاء زئولیتی MFI، کنگرهٔ مهندسی شیمی ایران، دانشگاه تربیت مدرس، (۱۳۸۵).

[13] Gump C.J., Tuan V.A., Noble R.D., Falconer J.L., Aromatic Permeation through Crystalline Molecular Sieve Membranes, *Industrial Engineering Chemical Research,* **40**, p. 565 (2001).

www.SID.ir