

کارایی راکتورهای غشایی در فرآیندهای ایزومریزاسیون

محبوبه اجتماعی^۱، نازنین چرچی^۲، اکرم توکلی^۳، علی اکبر بابالو^{۴*}، بهروز بیاتی^۵
 ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند
 ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند
 ۳- دانشیار دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند
 ۴- استاد دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند
 ۵- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند
 دریافت: ۹۱/۵/۲۸ پذیرش: ۹۱/۸/۱۳

چکیده

امروزه فرآیند ایزومریزاسیون نقش بسیار مهمی را در صنایع مختلف برای تولید محصولات ارزشمند بازی می کند. این واکنش ها تعادلی بوده و به دلیل محدودیت های ترمودینامیکی رسیدن به میزان تبدیلی فراتر از تبدیل تعادلی به همراه انتخاب پذیری بالا در راکتورهای معمولی امری دست نیافتنی است. از اینرو جهت افزایش راندمان این فرآیند، استفاده از فناوری های نوین از قبیل فناوری راکتورهای غشایی ضرورتی اجتناب ناپذیر است. در این مقاله بر اساس نتایج کارهای تحقیقاتی ارائه شده، به بررسی فرآیند ایزومریزاسیون هیدروکربن های خطی و حلقوی در راکتورهای غشایی و مقایسه عملکرد این نوع راکتورها با راکتورهای کاتالیستی متداول که از غشاهای ژئولیتی MFI و کاتالیست ژئولیتی بهره گرفته اند، پرداخته شده است. نتایج بررسی های به عمل آمده نشان داد که در این راکتورها بکارگیری غشا نقش موثری در افزایش سرعت واکنش، انتخاب پذیری، کنترل بهتر فرآیند، مصرف انرژی کمتر و افزایش راندمان نهایی فرآیند دارد.

واژگان کلیدی: ایزومریزاسیون، راکتور غشایی، عدد اکتان، انتخاب پذیری

مقدمه

رد^۱ پایین، که ناشی از حضور ترکیبات آلی فرار^۲ می باشد، توصیه می شود [۱]. استفاده از افزودنی هایی بر پایه ترکیبات سرب دار و ترکیباتی شامل اکسیژن مانند MTBE^۳ و ETBE^۴ جهت بهبود عدد اکتان بنزین، با توجه به اثر زیانبار آنها بر محیط زیست و سلامت انسان ممنوع شده است [۲]. آروماتیک هایی مانند بنزن عدد اکتان بالایی داشته ولی از دیدگاه محیط زیستی باید محتوی آنها را در بنزین کاهش داد. یک راه کاهش مقدار بنزن در بنزین

تأمین نیاز به فرآورده های نفتی در سال های اخیر به موضوع مهمی تبدیل شده و هر ساله بر اهمیت آن افزوده می شود. با توجه به عدد اکتان پایین نفتای سبک حاصل از فرآیند تقطیر نفت خام، استفاده از این ترکیبات به عنوان یکی از اجزای اصلی بنزین، در حال کاهش است. بر اساس مسائل زیست محیطی جهانی، استفاده از بنزین با محتوی سولفور و همچنین فشار بخار

*a.babaluo@sut.ac.ir
 1. Reid vapor pressure
 2. Volatile Organic Compounds

3. Methyl TersioButhyl Ether
 4. Ethyl TersioButhyl Ether

فرآیندهای مرسوم جداسازی، تلاش‌های گسترده‌ای برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی انجام گرفته است. راکتور غشایی از جمله فناوری‌های نوینی است که با ترکیب دو واحد راکتور شیمیایی و جداسازی غشایی در یک واحد، شامل فرآیندهایی فشرده با هزینه‌های اصلی کم می‌باشد. با ترکیب این دو واحد در یک راکتور غشایی، سرمایه‌گذاری اولیه کاهش می‌یابد و می‌تواند به بازده بیشتر، انتخاب‌پذیری بالاتر، کنترل بهتر فرآیند و مصرف انرژی کمتر دست یافت [۲].

بنابراین با توجه به اهمیت فرآیند ایزومریزاسیون ترکیبات خطی و حلقوی و نقشی که راکتورهای غشایی در این فرآیندها می‌توانند داشته باشند، در ادامه به بررسی راکتورهای غشایی، انواع آن و عملکرد راکتورهای غشایی در فرآیندهای ایزومریزاسیون در مقایسه با راکتورهای کاتالیستی مرسوم پرداخته شده است.

راکتورهای غشایی

تعریف و تاریخچه راکتورهای غشایی

راکتور غشایی واحدی است که در آن فرآیند غشایی با واکنش کاتالیستی ترکیب شده و واکنش شیمیایی و فرآیند جداسازی همزمان اتفاق می‌افتند. در این نوع راکتورها غشا علاوه بر انجام فرآیند جداسازی باعث بهبود انتخاب‌پذیری و بازده فرآیند نیز می‌شود [۶].

در اوایل راکتورهای غشایی به صورت ترکیب سری دو واحد راکتور و جداکننده غشایی مورد استفاده قرار می‌گرفت. در اصل مفهوم این راکتورها که ترکیب دو فرآیند مختلف در یک واحد است، در شکل ۱ نشان داده شده است.

مفهوم راکتور غشایی اولین بار در سال ۱۹۵۰ مطرح شد. میشاییل پیشنهاد کرد با استفاده از غشایی که توانایی عبور انتخاب‌پذیر یکی از محصولات واکنش را داشته باشد، می‌توان به درصد تبدیل قابل ملاحظه‌ای در واکنش‌های دارای محدودیت ترمودینامیکی دست یافت. در طی سی سال اخیر، با پیشرفت‌های صورت گرفته در زمینه غشاهای غیرآلی و توسعه سیستم‌های غشایی مقاوم در دماهای بالا، پیشرفت‌های زیادی در زمینه تحقیق و توسعه این راکتورها حاصل شده است [۷ و ۸]. راکتورهای

با حفظ عدد اکتان آن، تبدیل بنزن به متیل سیکلوپنتان تحت فرآیند هیدروایزومریزاسیون می‌باشد [۳]. آلکانهای شاخه‌دار به خاطر ساختار فضایی خاص‌شان، عدد اکتان بالاتری نسبت به ایزومرهای خطی داشته و از اینرو استفاده از این ترکیبات به عنوان مهمترین اجزاء سوخت موتور ماشین در حال افزایش است [۱].

با توجه به محدودیت‌های موجود و اقدامات متقابل در این راستا، که کاهش مقدار بنزین و نیز عدد اکتان بنزین مصرفی را به دنبال خواهد داشت، فرآیند ایزومریزاسیون ترکیبات خطی به عنوان گزینه مناسب در راستای بهبود عدد اکتان بنزین مطرح می‌شود [۱]. بنابراین ایزومریزاسیون ساختاری نرمال پارافین‌ها و تبدیل آنها به هیدروکربن‌های شاخه‌دار از مهم‌ترین فناوری‌های در حال رشد، جهت بهبود عدد اکتان بنزین می‌باشد.

پارازایلن، اورتوزایلن و متازایلن سه ایزومر ترکیب حلقوی زایلن می‌باشند که از میان این سه ایزومر، تولید و بازیابی پارازایلن در مقیاس صنعتی با هدف تولید استر گام مهمی در صنایع پتروشیمی می‌باشد. یکی از روش‌های تولید پارازایلن، جداسازی آن از سایر ایزومرهای زایلن (که طی واکنش ریفورمینگ نفتای سبک مخلوط این ایزومرها تشکیل می‌شود) می‌باشد. با توجه به نزدیک بودن دمای جوش این ترکیبات، فناوری‌های رایج (جذب سطحی انتخابی، کریستالیزاسیون و تکنیک‌های کروماتوگرافی) هزینه‌بر بوده و نیاز به توسعه این تکنولوژی‌ها و بهره‌مندی از فناوری‌های کارآمدتر و با مصرف انرژی پایین می‌باشد. از اینرو طی چند سال اخیر فناوری غشایی جهت جداسازی این ترکیبات مورد توجه قرار گرفته است. از دیگر روش‌های تولید پارازایلن تبدیل متازایلن و اورتوزایلن به پارازایلن تحت واکنش ایزومریزاسیون می‌باشد [۴ و ۵].

چنانچه گفته شد فرآیند ایزومریزاسیون ترکیبات خطی و حلقوی از جمله فرآیندهای صنعتی مهم، مطرح می‌باشند. واکنش‌های ایزومریزاسیون تعادلی بوده، از اینرو این فرآیند به دلیل محدودیت‌های ترمودینامیکی به‌طور کامل انجام‌پذیر نبوده و جهت افزایش راندمان فرآیند، نیاز به فرآیندهای جداسازی همزمان خواهیم داشت. با توجه به مصرف زیاد انرژی در



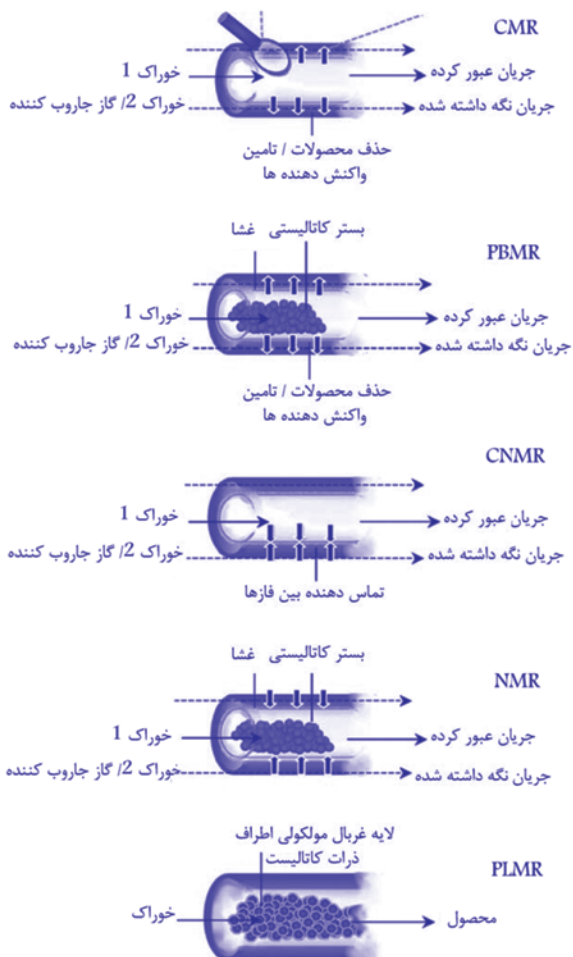
شکل ۱: راکتورهای غشایی (الف) اولیه، (ب) مرسوم [۶]

غشایی اولین بار در واکنش‌های تعادلی که با خارج کردن پیوسته محصولات، واکنش به سمت تولید بیشتر محصولات سوق داده می‌شود، مورد استفاده قرار گرفتند. واکنش‌های دهیدروژناسیون و استری کردن از جمله این نوع واکنش‌ها بوده‌اند [۶].

انواع راکتورهای غشایی

راکتورهای غشایی بر اساس نقش غشا و موقعیت آن در راکتور، در ۶ دسته به شرح زیر دسته‌بندی شده‌اند:

در راکتورهای غشایی کاتالیستی (CMR) غشا هم نقش کاتالیستی داشته و به عنوان یک لایه انتخابگر نیز عمل می‌کند. غشاهای مورد استفاده یا بطور ذاتی خاصیت کاتالیستی دارند (مانند زئولیت‌ها یا غشای فلزی ...) یا به روش تبادل یونی یا تلقیح فعال شده‌اند. در راکتورهای غشایی موسوم به راکتورهای غشایی غیر انتخابگر (NMR) هدف از بکاربردن غشا محیطی برای نگهداری کاتالیست بوده و غشای مورد استفاده نه خاصیت کاتالیستی داشته و نه به عنوان یک لایه انتخابگر عمل می‌کند. در راکتورهای غشایی از نوع CNMR، غشا خاصیت کاتالیستی داشته و صرفاً جهت فراهم کردن سطح اکتیو استفاده می‌شود و نقش غشایی ندارد. راکتورهای غشایی بستر پر شده (PBMR) بیشترین مورد استفاده را دارند و غشای مورد استفاده می‌تواند خاصیت غشایی داشته و به عنوان یک لایه انتخابگر عمل کند و یا نقش غشایی نداشته باشد. در این راکتورها محیط واکنش با ذرات کاتالیستی واقع در فضای داخلی یا خارجی غشا فراهم می‌شود. در صورت استفاده از غشاهایی با خاصیت کاتالیستی و بدون نقش غشایی، راکتورهای غشایی کاتالیستی با بستر پر شده



شکل ۲: پیکربندی‌های مختلف راکتورهای غشایی [۶]

ایزومریزاسیون همراه با جریان برگشتی از نرمال پنتان و نرمال هگزان با هدف تبدیل کامل پارافین‌های خطی موجود در خوراک طراحی شده‌اند. در این فرآیندها از ستون‌های تقطیر (DIH و DIP) و یا غربال‌های مولکولی جهت جداسازی ترکیبات خطی از ترکیبات شاخه‌دار استفاده می‌شود [۱۰]. طرح‌های مختلف این فرآیند بر این اساس در شکل ۳ آورده شده است. ایزومریزاسیون بدون جریان برگشتی با توجه به حداقل هزینه سرمایه‌گذاری، به لحاظ اقتصادی جز طرح‌های کارا محسوب می‌شود. در یک سری از فرآیندها بطور همزمان از DIP و DIH استفاده می‌شود [۹].

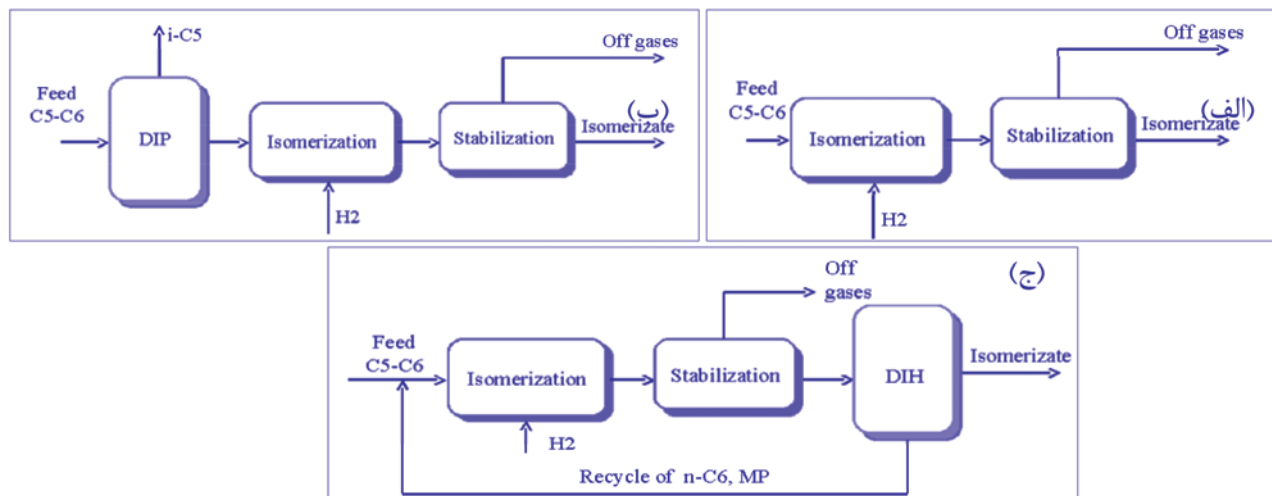
یکی از فرآیندهای صنعتی ایزومریزاسیون با جریان برگشتی، فرآیند ایزومریزاسیون کلی^۱ می‌باشد. این فرآیند ترکیبی از فرآیند هایزومر^۲ شرکت شل^۳ و فرآیند ایزوسیو^۴ شرکت یونیون کرباید^۵ بوده که هیدروایزومریزاسیون مخلوط در دمای ۲۵۰ و در فشار ۳۰-۱۰ bar هیدروژن بر روی کاتالیست Pt/HMOR انجام می‌گیرد. در فرآیند ایزوسیو نیز نرمال پارافین‌ها با جذب روی CaA، طی مکانیسم جذب در فشار نوسانی^۶ از نرمال پارافین‌ها جدا شده و با جریان برگشتی به راکتور برگردانده می‌شوند. با

(PBNCMR) را خواهیم داشت. در نوع دیگری از این راکتورها که اخیراً مورد توجه قرار گرفته‌اند، یک لایه انتخاب‌پذیر اطراف ذرات کاتالیستی احاطه شده است. این نوع راکتورها موسوم به راکتورهای PLMR می‌باشند. در شکل ۲ به طور نمایشی انواع راکتورهای غشایی آورده شده است [۶].

مقایسه عملکرد راکتور غشایی و راکتور کاتالیستی متداول

ایزومریزاسیون ترکیبات خطی

خوراک واحدهای صنعتی ایزومریزاسیون مخلوطی از هیدروکربن‌های شاخه‌دار و خطی می‌باشد. از آنجایی که حضور ترکیبات شاخه‌دار مساله محدودیت تعادل ترمودینامیکی این واکنش را تشدید می‌کند، با جداسازی هیدروکربن‌های خطی از هیدروکربن‌های شاخه‌دار می‌توان از اثر نامطلوب این ترکیبات بر جابه‌جایی تعادل کم کرد و میزان تبدیل را بهبود بخشید. از اینرو جهت افزایش راندمان، این فرآیندها شامل بخش جداسازی و واکنش هستند. فرآیندهای ایزومریزاسیون برمبنای استفاده از واحدهای جداسازی ایزوپنتان (DIP) و ایزوهگزان (DIH) و جریان برگشتی قابل تفکیک می‌باشند [۹ و ۱۰]. فرآیندهای

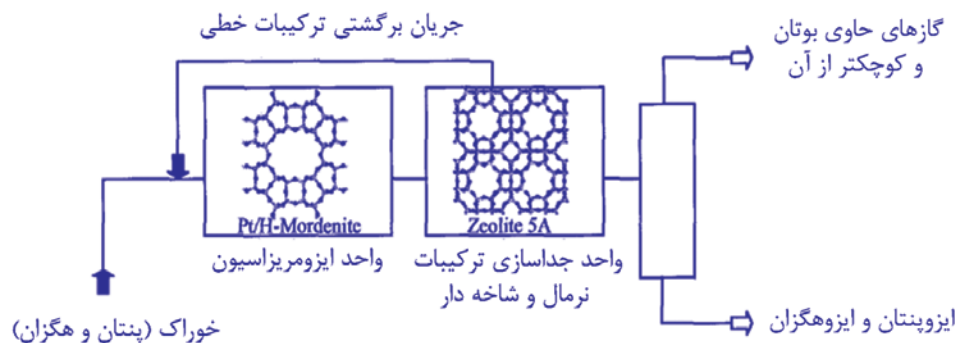


شکل ۳: دیاگرام فرآیندهای ایزومریزاسیون (الف) با جریان تک‌گذر، (ب) به همراه واحد جداسازی ایزوپنتان،

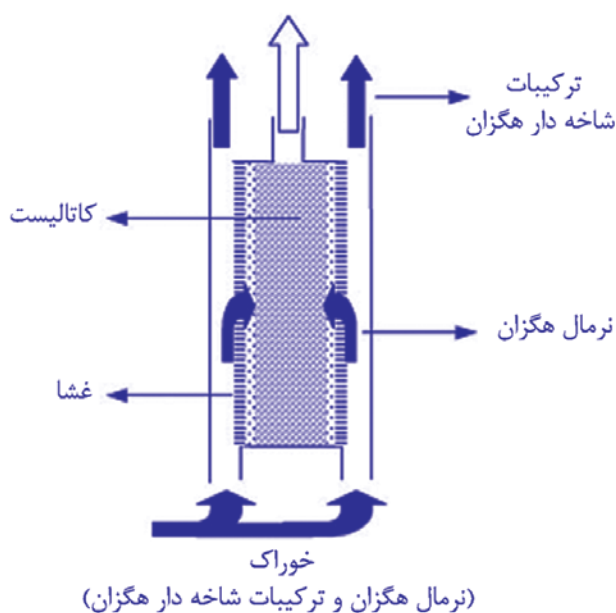
(ج) به همراه واحد جداسازی ایزوهگزان [۱۰]

1. Total Isomerization Process (TIP)
2. Hysomer
3. Shell

4. Isosiv
5. Union Carbide
6. Pressure Swing Adsorption



شکل ۴: دیاگرام فرآیند ایزومریزاسیون کلی [۸]



شکل ۵: مفهوم راکتور غشایی در ایزومریزاسیون هگزان [۱۱]

کننده با دبی 50 ml min^{-1} مورد ارزیابی قرار گرفت. شار عبوری از غشا، ضریب جداسازی و جز مولی هر جز عبوری از غشا در جدول زیر ارائه شده است. نتایج بیانگر عملکرد مناسب غشا در جداسازی و هم چنین شار عبوری اجزا خوراک می باشد. در ادامه به بررسی عملکرد غشا و کاتالیست به صورت همزمان، با حضور گاز هیدروژن به عنوان گاز جاروب کننده در شرایط مذکور، پرداخته شده است. نتایج حاصل، شامل توزیع

توجه به وجود سیکل های جذب و دفع، انجام این فرآیند بصورت پیوسته امکان پذیر نمی باشد. در صورت استفاده از غشا به عنوان فاز جداکننده می توان از این فرآیند بصورت پیوسته بهره گرفت (شکل ۴).

مالونسی و همکارانش^۱ به بررسی ایزومریزاسیون هگزان در راکتور غشایی از نوع بستر پر شده پرداخته اند. مفهوم چنین راکتورهایی به طور نمایشی در شکل ۵ آورده شده است. غشا بستر کاتالیستی را احاطه کرده و هیچ جریان برگشتی از ترکیبات تبدیل نشده وجود ندارد. خوراک فرآیند شامل نرمال هگزان و مقدار کمی ایزوهگزان می باشد. نرمال هگزان ها از غشا عبور کرده، وارد محیط واکنش می شوند. در نهایت محصولات واکنش که شامل ایزوهگزان و بخشی از نرمال هگزان های تبدیل نشده است، از سمت جریان های عبور کرده و نگه داشته شده خارج می شوند [۱۱].

آزمایشات در یک راکتور غشایی لوله ای به طول ۱۰ سانتی متر با غشای Silicalite-1 بر روی پایه فولادی ضد زنگ با لایه اکسید تیتانیوم و کاتالیست آلومینای کلر دار شده در حضور پلاتین، در دمای 120°C انجام شد. به منظور بررسی عملکرد راکتور غشایی، کار تجربی آنها شامل دو قسمت بود: ابتدا عملکرد غشا بدون حضور کاتالیست با خوراک شامل ۸۰٪ مولی نرمال هگزان و ۲۰٪ مولی متیل پنتان با دبی حجمی 0.08 ml min^{-1} در حضور گاز هلیم به عنوان گاز حامل و جاروب

جدول ۱: شار عبوری، و فاکتور جداسازی و جز مولی خوراک عبوری از غشا در 120°C [۱۱]

ترکیب	شار عبوری	انتخابگری	جز مولی خوراک عبوری از غشا
نرمال هگزان	۱,۱۴	۲۴	۰,۴۳
۳- متیل پنتان	۰/۰۱		۰,۰۲

جدول ۲: توزیع ایزومرهای هگزان و انتخاب پذیری محصولات در 120°C و تبدیل ۷۳٪ مولی [۱۱ و ۱۲]

انتخاب پذیری	توزیع ترکیبات (%)				ترکیب
	مقادیر	محصولات	جریان نفوذ کرده	خوراک	
-	۷,۷۲	۶۲,۴۲	۹۸,۹۹	۸۰	نرمال هگزان
۲۲,۰۸	۱۵,۰۰	۱۶,۰۲	-	-	۳- متیل پنتان
۴۰,۷۶	۳۷,۲۸	۳۰,۵۹	۱,۰۱	۲۰	۲- متیل پنتان
۱۴,۵۸		۱۰,۵۸	-	-	۳ و ۲ دی متیل بوتان
۲۱,۷۶	۴۰,۰۰	۱۵,۷۹	-		۲ و ۲ دی متیل بوتان
۰,۸۲	-	۰,۶	-	-	محصولات کراکینگ (<)

جدول ۳: مقادیر عدد اکتان جریانهای مختلف فرایند [۱۱]

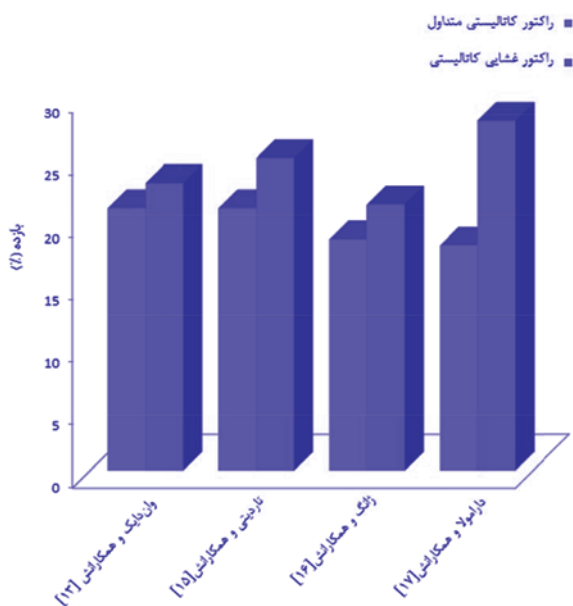
عدد اکتان	جریان
۳۵	خوراک
۲۵	عبور کرده
۳۹	نگهداشته شده
۶۷	محصولات واکنش (C_6 RON)
۴۹	محصولات واکنش + جریان نگه داشته شده (C_6 RON)
۷۸	محصولات واکنش + جریان نگه داشته شده ($i-C_6$ RON)

جریان خوراک دارد. که در فرایندهای صنعتی این افزایش معادل ۱۰ واحد گزارش شده است [۱۱].
نتایج حاصل از کار مالونسی و همکارانش اشاره به انعطاف پذیری بالای فرآیندهای هیدروایزومریزاسیون در راکتورهای غشائی دارد. میزان تبدیل بالا، انتخاب پذیری بالا نسبت به ایزومرهای دو شاخه و در نتیجه بهبود عدد اکتان محصولات نسبت به خوراک اولیه در چنین فرآیندهائی قابل دسترس است [۱۱].

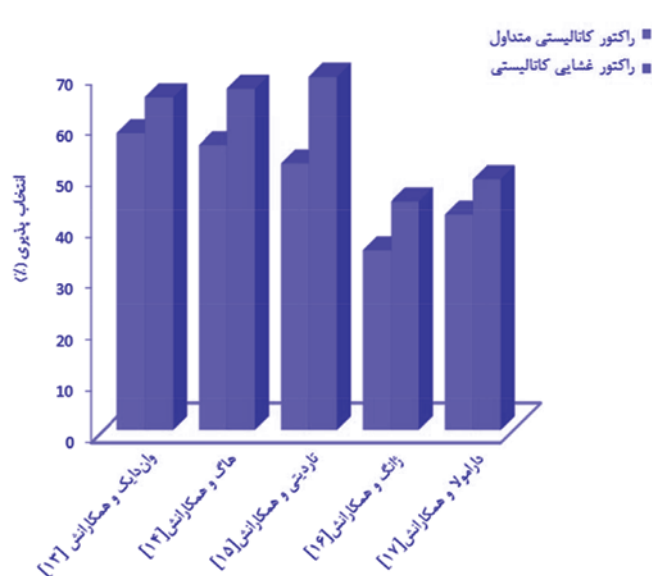
فرآیند ایزومریزاسیون ترکیبات حلقوی

محققان در زمینه جداسازی پارازیلن از سایر ایزومرهای

اجزا در جریان خوراک، جریان عبور کرده از غشا (در غیاب کاتالیست) و جریان محصولات (جریان عبوری از غشا در حضور کاتالیست) و هم چنین عدد اکتان جریانهای مختلف، در جداول ۳ و ۲ ارائه شده است. همان طور که از توزیع ایزومرهای هگزان در جریانهای مختلف مشاهده می شود (جدول ۲)، کاتالیست انتخاب پذیری بالایی نسبت به واکنش ایزومریزاسیون در مقایسه با واکنش کراکینگ نشان می دهد، بطوریکه میزان محصولات ناشی از کراکینگ کمتر از ۱٪ گزارش شده است. همچنین نتایج گزارش شده در جدول ۳ اشاره به افزایش ۱۴ واحدی عدد اکتان جریان عبوری از غشا و جریان نگه داشته شده در مقایسه با



شکل ۷: مقایسه نتایج بازده (%) پارازایلن در ایزومریزاسیون متنازایلن در راکتور غشایی کاتالیستی و راکتور کاتالیستی متداول ارائه شده در مراجع مختلف



شکل ۶: مقایسه نتایج انتخاب پذیری نسبت به پارازایلن در ایزومریزاسیون متنازایلن در راکتور غشایی کاتالیستی و راکتور کاتالیستی متداول ارائه شده در مراجع مختلف

کار تحقیقاتی دارامولا و همکارانش^۱ می‌باشد. با وجود شرایط متفاوت واکنش از جمله نوع کاتالیست و غشا، دما، سرعت فضایی، شرایط خوراک، هندسه متفاوت غشاها و ... غشاهای مورد استفاده در کارهای تحقیقاتی فوق نیز با روش‌های مختلف و بر روی پایه‌های از جنس‌های متفاوت ساخته شده‌اند. دارامولا و همکارانش غشای نانوکامپوزیتی MFI را با استفاده از روش هیدروترمال و با استفاده از مسدود کردن حفرات، سنتز و فاکتور جداسازی پارازایلن به اورتوزایلن برای این غشا <۵۰ گزارش شده است [۱۷]. فاکتور جداسازی غشاهای سیلیکالیتی مورد استفاده در کار تحقیقاتی ژانگ و همکارانش^۲ و وان دایک و همکارانش^۳ >۲۰ گزارش شده است [۱۳ و ۱۶].

بهترین عملکرد راکتور غشایی در مقایسه با راکتور کاتالیستی، پس از نتایج مربوط به کار دارامولا و همکارانش، مربوط به کار تحقیقی تاردیتی و همکارانش^۴ می‌باشد. این گروه در کار خود از غشای ZSM-5 سنتز شده بر روی پایه فولاد ضد زنگ به روش رشد ثانویه استفاده کرده‌اند. همچنین، با استفاده از تبادل یون باریوم (Ba) به جای سدیم (Na) در ساختار

زایلن نیز به بررسی جداسازی و تولید همزمان آن در راکتورهای غشایی پرداخته‌اند. با وجود شرایط متفاوت واکنش، در کارهای تجربی انجام شده توسط محققان، می‌توان به مقایسه نتایج حاصل با استفاده از دو پارامتر انتخاب‌پذیری و همچنین بازده نسبت به محصول مطلوب پارازایلن پرداخت. در شکل ۶ نتایج حاصل از انتخاب‌پذیری بدست آمده نسبت به پارازایلن طی ایزومریزاسیون متنازایلن، در راکتورهای غشایی کاتالیستی (که کاتالیست در داخل غشا به صورت بستر ثابت پر شده است) و راکتورهای کاتالیستی متداول گزارش شده است. همانطور که در این شکل مشخص است، انتخاب‌پذیری نسبت به پارازایلن در فرایند ایزومریزاسیون در راکتور غشایی کاتالیستی بیشتر از راکتور کاتالیستی متداول است.

شکل ۷ نیز نشان می‌دهد که با استفاده از راکتور غشایی کاتالیستی در مقایسه با راکتور کاتالیستی مرسوم، به بازده بیشتری می‌توان دست یافت. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، بهترین عملکرد راکتور غشایی در مقایسه با راکتور کاتالیستی متداول، مربوط به

1. Daramola et al
2. Zhang et al

3. Van Dyk et al
4. Tarditi et al

به محدودیت تعداد مراکز کاتالیستی به میزان تبدیل و بازده پایین تری دست یافته‌اند [۱۹].

نتیجه‌گیری

راکتور غشایی از جمله فناوری‌هایی است که شامل فرآیندهایی فشرده با هزینه‌های پایین بوده و افزایش در میزان تبدیل واکنش‌های تعادلی، ایجاد محیط کنترل شده‌ای برای واکنش و صرفه‌جویی در مصرف انرژی و هزینه‌های نهایی در چنین راکتورهایی حاصل می‌شود. بررسی فرآیند ایزومریزاسیون در راکتورهای کاتالیستی متداول و راکتورهای غشایی اشاره به انعطاف‌پذیری بالای فرآیند هیدروایزومریزاسیون در راکتورهای غشایی دارد. نتایج گزارش شده در ایزومریزاسیون هگزان در راکتورهای غشایی بستر پر شده نشان می‌دهد در چنین راکتورهایی می‌توان به میزان تبدیلی نزدیک تبدیل تعادلی با انتخاب‌پذیری بالا نسبت به محصولات مطلوب رسید. مقایسه نتایج ارائه شده برای دو نوع راکتور ذکر شده در ایزومریزاسیون زایلن نیز اشاره به افزایش میزان تبدیل و بهبود انتخاب‌پذیری نسبت به پارازایلن در راکتور غشایی کاتالیستی نسبت به راکتورهای کاتالیستی مرسوم دارد.

Na-ZSM-5 عملکرد غشا را به میزان چشمگیری بهبود بخشیده‌اند. به طوری که غشای (Ba-ZSM-5/۱۰۰) عملکرد بهتری در مقایسه با غشای (Ba-ZSM-5/۴۰) دارد. در این کار تحقیقاتی فاکتور جداسازی پارازایلن به اورتوزایلن > 25 گزارش شده است [۱۵].

در کار دیگری که توسط دارامولا و همکارانش ارائه شده است، غشای MFI با روش مشابه اما روی پایه با توزیع اندازه حفرات سطحی متفاوت سنتز و ضریب جداسازی < 400 گزارش شده است. همچنین با بکارگیری این غشا در راکتور غشایی بازده تولید پارازایلن به میزان ۱۸٪ افزایش داشته است [۱۸]. لازم به ذکر است در کار قبلی این گروه افزایش برابر ۱۰٪ گزارش شده است. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت کیفیت غشای مورد استفاده تاثیر بسزایی در عملکرد غشا و راکتور غشایی دارد.

ژانگ و همکارانش در کار تحقیقاتی دیگری غشاهای کاتالیستی را سنتز و عملکرد آن را در ایزومریزاسیون زایلن مورد ارزیابی قرار دادند که در این کار میزان انتخاب‌پذیری معادل ۹۲٫۱٪ گزارش شده است. در مقایسه با کار قبلی این گروه (راکتور غشایی بستر پر شده)، به دلیل تماس بیشتر بین مراکز فعال کاتالیستی و جداسازی به انتخاب‌پذیری بالاتر و با توجه

منابع

1. T. Kimura, "Development of /catalyst for isomerization of light naphtha", Catalysis Today, 81, 2003, pp. 57-63.
2. L. Gora, J. C. Jansen, "Hydroisomerization of with a zeolite membrane reactor", Journal of Catalysis, 230, 2005, pp. 269-281.
3. A. Miyaji, T. Echizen, L. Li, T. Suzuki, Y. Yoshinaga, T. Okuhara, "Selectivity and mechanism for skeletal isomerization of alkanes over typical solid acids and their Pt-promoted catalysts", Catalysis Today, 74, 2002, pp. 291-297.
4. Y.Y. Fong, A. Z. Abdullah, A. L. Ahmad, S. Bhatia, "Development of functionalized zeolite membrane and its potential role as reactor combined separator for para-xylene production from xylene isomers", Chemical Engineering Journal 139, 2008, pp. 172-193.
5. A. L. Deshayes, E. E. Miro, G. I. Horowitz, "Xylene isomerization in a membrane reactor Part II. Simulation of an industrial reactor", Chemical Engineering Journal, 122, 2006, pp. 149-157.
6. E.E. McLeary, J.C.J., F. Kapteijn, "Zeolite based films, membranes and membrane reactors: Progress and prospects". Microporous and Mesoporous Materials, 90, 2006, pp. 198-220.

7. S. Specchia, D. Fino, G. Saracco, and V. Specchia, "Structured Catalysts and Reactors", Chapter 18: Inorganic Membrane Reactors, Taylor & Francis Group, 2006.
8. E. E. Mcleary, "Perspectives on a zeolite membrane reactor for / hydroisomerization", Thesis, Delft University of Technology, on February 20, 2007.
9. Processes to improve the qualities of distillates, Volume II/Refining and Petrochemicals, «Isomerization», pp. 171-179.
10. E.A. Yasakova, A.V. Sitdikova, "Tendency of Isomerization Process Development in Russia and Foreign Countries", Oil and Gas Business, 2010, (<http://www.ogbus.ru/eng>).
11. M.L. Maloncy .L. Gora, E.E. McLeary, J.C. Jansen, Th. Maschmeyer, "Hydroisomerization of hexane within a reactor composed of a tubular silicalite-1 membrane packed with Pt-loaded chlorided alumina catalyst", Catalysis Communications, 5, 2004, pp. 297-300.
12. M.L. Malomcy, L. Gora, J.C. Jansen and Th. Maschmeyer, "Conceptual Processes for Zeolite Membrane Based Hydroisomerization of Light Alkanes", Ars Separatoria Acta, 2, 2003, pp. 18-28.
13. L.V. Dyk, L. Lorenzen, S. Miachon, J. A. Dalmon, "Xylene isomerization in an extractor type catalytic membrane reactor», Catalysis Today, 104, 2005, pp. 274–280.
14. S. Haag, M. Hanebuth, G. T.P. Mabande, A. Avhale, «On the use of a catalytic H-ZSM-5 membrane for xylene isomerization», Microporous and Mesoporous Materials, 96, 2006, pp. 168–176.
15. A.M. Tarditi, G.I. Horowitz, E.A. Lombardo, "Xylene isomerization in a ZSM-5/SS membrane reactor», Catal.Lett. 123, 2008, pp. 7–15.
16. C. Zhang, Z. Hong, X. Gu, Z. Zhong, W. Jin, N. Xu, «Silicalite-1 zeolite membrane reactor packed with HZSM-5 catalyst for meta-xylene isomerization», Ind. Eng. Chem. Res, 48, 2009, pp. 4293–4299.
17. M.O. Daramolaa, Z. Deng, M. Pera-Titus, A. Giroir-Fendler, S. Miachon, A.J. Burger, L. Lorenzen, Y. Guo, "Nanocomposite MFI–alumina membranes prepared via pore-pugging synthesis: Application as packed-bed membrane reactors for m-xylene isomerization over a Pt-HZSM-5 catalyst», Catalysis Today, 156, 2010, pp. 261–267.
18. M.O. Daramolaa, A.J. Burger, A. Giroir-Fendler, S. Miachon, L. Lorenzen, Y. Guo, «Extractor-type catalytic membrane reactor with nanocomposite MFI-aluminamembrane tube as separation unit: Prospect for ultra-pure para-Xyleneproduction from m-Xylene isomerization over Pt-HZSM-5 catalyst», Applied Catalysis A: General 386, 2010, pp. 109–115.
19. C. zhang, Z. Hong, X.Gu. W.Jin, N. Xu, "Catalytic MFI zeolite membranes supported on α -Al₂O₃ substrates form-xylene isomerization", Journal of Membrane Science, 389, 2012, pp. 451-458.