

## کاربرد غشاء مایع در فرآیندهای جداسازی

طاهره کاغذچی\*؛ مریم تخت روانچی؛ علی اکبر حیدری

دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

علی کارگری

دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه خواجه نصیر طوسی

### چکیده

سیستم‌های جداسازی غشایی به عنوان ابزاری با قابلیت بالا که توانایی جداسازی یک جزء را به صورت گزینش‌پذیر دارند، مورد توجه محققین قرار گرفته است. این روش جداسازی در زمینه‌های مختلف مهندسی از جمله مهندسی شیمی کاربرد دارد. در مقاله‌ی حاضر، کاربرد سیستم‌های غشایی برای جداسازی یون‌های ید، کروم و طلا که به لحاظ زیست محیطی حائز اهمیت هستند و نیز جداسازی دی اکسید کربن و مخلوط هیدروکربن‌های اولفینی-پارافینی که از نظر صنعتی اهمیت دارند، مرور شده است.

حقوق ناشر محفوظ است.

### مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله :

دریافت ۳۰ تیر ۱۳۸۷

دریافت پس از اصلاحات ۲۰ شهریور ۱۳۸۷

پذیرش نهایی ۱۴ آذر ۱۳۸۷

کلمات کلیدی :

غشاء مایع

ید

کروم

طلا

دی اکسید کربن

اولفین - پارافین

\* عهده دار مکاتبات

## ۱- مقدمه

ت- در مقایسه با دیگر روش‌های متداول جداسازی، غشاءها ساده هستند؛ کارکردن با آنها آسان و نگهداری آنها راحت است.

ث- فرآیندهای غشایی در فشار اتمسفری قابل انجام هستند و در مواردی چون کاربردهای پزشکی و غذایی که با مواد حساس به دما روبرو هستیم، استفاده از غشاء بسیار کاربردی است.

ج- سیستم‌های غشایی کوچک هستند و هزینه‌ی ثابت پایین دارند.

وضعیت فرآیندهای غشایی به لحاظ میزان توسعه یافتگی در جدول (۱) آورده شده است.

اولین کاربرد فرآیندهای غشایی برای جداسازی گاز در سال ۱۹۸۰ و با غشاء Monsanto Prism<sup>®</sup> برای جداسازی هیدروژن بوده است. بعد از آن Dow سیستم‌هایی را برای جداسازی نیتروژن از هوا و Cynara and Separex سیستم‌هایی را برای جداسازی دی‌اکسید کربن از گاز طبیعی تولید کردند. از دیگر کاربردهای فرآیند غشایی در جداسازی گاز می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد [۹-۱۳]:

الف- جداسازی مخلوط‌های اولفینی-پارافینی

ب- جداسازی هلیوم-نیتروژن و اکسیژن از هوا

پ- جداسازی متان-دی‌اکسید کربن و متان-سولفید هیدروژن

ت- جداسازی گازهای اسیدی مثل CO<sub>2</sub> و H<sub>2</sub>S از گاز طبیعی

ث- جداسازی دی‌اکسید کربن، دی‌اکسید گوگرد و NOx از گازهای خروجی واحدهای پتروشیمی

ج- جداسازی هیدروژن از نیتروژن، آرگون و متان در واحدهای آمونیاک

در جدول (۲) تعدادی از تولیدکنندگان تجاری غشاء برای این فرآیندها فهرست شده‌اند.

همچنین برای جداسازی کاتیون‌ها (مانند طلا، ید کاتیون، مس، جیوه، نیکل، کادمیوم، روی و سرب)، آنیون‌ها (مانند نیترات و کرومات) و برای حذف فنل از پساب می‌توان از فرآیندهای غشایی استفاده کرد.

با پیشرفت علم و تکنولوژی و نیاز روزافزون به محیط زیستی عاری از هرگونه آلودگی، سیستم‌های جداسازی با پیشرفت‌های چشم‌گیری روبرو بوده‌اند. یکی از بزرگ‌ترین اهداف در طراحی این سیستم‌ها، بازدهی بالا، انتخاب‌گری و مصرف انرژی کم بوده است. در این راستا، سیستم‌های غشایی که دارای این مزایا هستند به وجود آمده و دستخوش تحولات بزرگی شده‌اند [۱-۴].

شروع مطالعه در زمینه‌ی غشاء و فرآیندهای غشایی به قرن هجدهم برمی‌گردد. به عنوان مثال، در سال ۱۷۴۸، Abbe' Nolet از واژه‌ی "اسمز" برای تراوش آب از درون دیافراگم استفاده کرد. در قرن نوزدهم و ابتدای قرن بیستم، غشاء کاربرد صنعتی یا تجاری نداشت و فقط در مقیاس آزمایشگاهی از آن استفاده می‌شد. در اواخر جنگ جهانی دوم، از غشاء برای تصفیه‌ی آب آشامیدنی استفاده می‌شد. یکی از مهم‌ترین مشکلات تجاری شدن غشاءها در آن زمان قیمت بالای آنها بود. اولین کاربرد صنعتی غشاء در سال ۱۹۶۰ بود که از غشاءهای Loeb-Sourirajan به عنوان غشاءهای اسمز معکوس استفاده می‌شد. یکی دیگر از کاربردهای صنعتی غشاءها برای فرآیندهای جداسازی پزشکی بود. در سال ۱۹۴۵، اولین کلیه‌ی مصنوعی در هلند ساخته شد و حدود ۲۰ سال بعد این غشاءها نیز به کاربرد صنعتی رسیدند. در سال ۱۹۸۰، فرآیندهای غشایی میکروفیلتراسیون، اولترافیلتراسیون، اسمز معکوس و الکترودیالیز به صورت صنعتی در جهان توسعه یافتند [۵]. امروزه در صنعت برای جداسازی بسیاری از مخلوط‌ها از تکنولوژی‌های غشایی استفاده می‌شود. فرآیندهای غشایی در مقایسه با دیگر روش‌های متداول جداسازی از بسیاری جهات ارجح هستند [۶، ۷] که عبارتند از:

الف- با توجه به این که در فرآیند غشایی جداسازی بدون تغییر فاز انجام می‌شود، این فرآیند به لحاظ میزان مصرف انرژی صرفه‌جویی بیشتری دارد.

ب- فرآیندهای غشایی تمیز و با محیط زیست سازگار هستند.

پ- به کمک غشاء می‌توان یک جزء با ارزش و به مقدار کم را بدون صرف هزینه‌ی اضافی جداسازی کرد.

- در مقاله مروری حاضر کاربردهای غشاهای جداسازی یون طلا  
 جداسازی‌های ذیل بررسی شده است:  
 الف- جداسازی یون ید  
 ب- جداسازی یون کروم  
 پ- جداسازی یون طلا  
 ت- جداسازی دی اکسید کربن  
 ث- جداسازی مخلوط اولفین-پارافین

جدول (۱): وضعیت فرآیندهای غشایی [۸]

وضعیت	فرآیند	طبقه‌بندی
واحدهای عملیاتی به خوبی نصب شده‌اند و مشکلی گزارش نشده است	میکروفیلتراسیون، اولترافیلتراسیون، اسمز معکوس، الکترودیالیز	توسعه یافته‌اند
تعدادی واحد نصب شده است و به لحاظ بازار و کاربرد در حال توسعه است	جداسازی گاز، تراوش تبخیری	در حال توسعه هستند
مشکلات فرآیندی در حال بررسی و حل هستند	انتقال تسهیل یافته، دیالیز فشاری	توسعه خواهند یافت

جدول (۲): تولید کنندگان غشاهای تجاری جداسازی گاز [۱۴]

تولید کننده غشاء	کاربرد	مخلوط گاز
A/G Technology, Permea (Air Products), Generon (Messer), IMS (Praxair), Medal (DuPont, Air Liquide), Aquilo (Parker Hannifin), Ube	- تولید نیتروژن - غنی سازی اکسیژن	اکسیژن/نیتروژن
Air Products, Air Liquide, Praxair	- بازیابی هیدروژن پالایشگاهی	هیدروژن/هیدروکربن
Air Products, Air Liquide, Praxair	- تنظیم نسبت هیدروژن به مونوکسید کربن در گاز سنتز	هیدروژن/مونوکسید کربن
Air Products, Air Liquide, Praxair	- گازهای خروجی واحد آمونیاک	هیدروژن/نیتروژن
Kvaerner (Grace Membrane System), Air Products, Ube	- تصفیه‌ی گازهای اسیدی - بازیابی نفت	دی‌اکسید کربن/هیدروکربن
Kvaerner (Grace Membrane System), Air Products, Ube	- تصفیه‌ی گازهای ترش	سولفید هیدروژن/هیدروکربن
Kvaerner, Air Products	- آب‌گیری گاز طبیعی	آب/هیدروکربن
Air Products, Ube	- آب‌گیری هوا	آب/هوا
MTR, GMT, NKK	- کنترل آلودگی - بازیابی هیدروکربن	هیدروکربن/هوا
MTR, GMT, SIHI	- بازیابی حلال آلی - بازیابی منومر	هیدروکربن از جریان‌های فرآیندی

جداسازی رخ می‌دهد. وقتی از یک حامل در غشاء مایع استفاده شده باشد به آن غشاء انتقال تسهیل یافته<sup>۲</sup> گویند. وجود حامل، تراوش جزء مورد نظر را بهبود می‌بخشد. غشاهای مایع را می‌توان به سه دسته کلی طبقه‌بندی کرد (شکل (۱)) [۱۵]، [۱۶].

- الف- غشاء مایع توده‌ای (BLM<sup>۳</sup>)  
 ب- غشاء مایع امولسیون (ELM<sup>۴</sup>)  
 پ- غشاء مایع تقویت شده (SLM<sup>۵</sup>)

<sup>۲</sup> Facilitated Transport Membrane

<sup>۳</sup> Bulk Liquid Membrane

<sup>۴</sup> Emulsion Liquid Membrane

<sup>۵</sup> Supported Liquid Membrane

## ۲- مواد، روش و مراحل تحقیق

در سال‌های اخیر، غشاهای روش‌های جداسازی غشایی رشد چشم‌گیری داشته‌اند و به نظر می‌رسد فرآیندهای غشایی بتوانند به عنوان جایگزینی برای جداسازی‌های صنعتی ارائه شوند. یکی از انواع غشاهای مایع (LM<sup>۱</sup>) هستند.

در این نوع غشاء از یک مایع به عنوان غشاء استفاده می‌شود. غشاء مایع یا فیلم مایع دو فاز را از یکدیگر جدا می‌کند و به علت اختلاف در حلالیت و نفوذ در فیلم مایع،

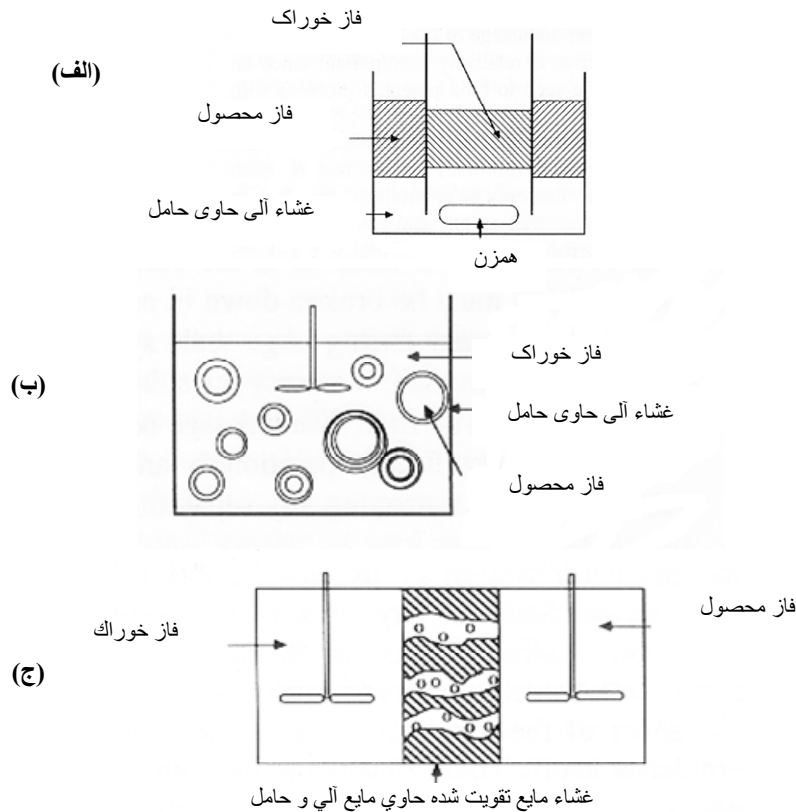
<sup>۱</sup> Liquid membrane

دو مرحله دانست. همان‌طور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، در این نوع غشاء فاز خوراک و فاز محصول به صورت مجزا از هم نگه داشته می‌شوند و غشاء مایع با هر دو فاز در تماس است و انتقال جرم جزء مورد نظر را بین دو فاز انجام می‌دهد [۸].

تنوع در اشکال، گوناگونی مواد حامل برای کاربردهای مختلف، سادگی در ساخت و عدم مشکلات انسجام مکانیکی از مزایای سیستم‌های غشاء مایع می‌باشد.

## ۱-۲- جداسازی به کمک غشاء مایع توده‌ای

غشاء مایع توده‌ای را می‌توان نوعی استخراج مایع در



شکل (۱): طرحی از غشاءهای مایع، (الف) غشاء مایع توده‌ای، (ب) غشاء مایع امولسیون، (ج) غشاء مایع تقویت شده [۱۵]

تتراپتید تیتانیوم به عنوان کاتالیست در تولید پلیمرهایی چون لاستیک و پلی‌بوتادین استفاده می‌شود. همچنین ید آزاد کاتالیست تولید تیوفنل‌ها است. برای بازیافت ید از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود که عبارتند از:

الف- بازیافت ید از جلبک

ب- بازیافت ید از شورابه‌های چاه‌های نفتی به کمک گاز فشار بالا

پ- بازیافت ید از شورابه‌ها به وسیله‌ی دمیدن هوا

ت- بازیافت ید از شورابه‌ها به کمک حلال‌های آلی و حلال‌های خطی آلکیل بنزن و حلال‌های آب‌گریز

در این بخش جداسازی یون‌های ید و کروم با استفاده از غشاء مایع توده‌ای بررسی شده است. این جداسازی به لحاظ زیست محیطی حائز اهمیت است.

## ۱-۱-۲- جداسازی ید

اهمیت ید به دلیل استفاده از آن در رژیم غذایی، کاتالیست‌ها، صنایع دارویی، تجهیزات عکاسی، ضد عفونی‌کننده‌های صنعتی و بهداشتی، پایدار کننده‌ها و نمک‌های یددار می‌باشد. از ید به عنوان کاتالیست در بسیاری از واکنش‌ها استفاده می‌شود. به عنوان مثال از

غشاءهای مایع توده‌ای در جذب کروم مورد استفاده قرار می‌گیرند. در حال حاضر، استخراج یون کروم (VI) از محلول کرومات پتاسیم با pH اسیدی توسط یک غشاء مایع توده‌ای تشکیل شده از نفت سفید به عنوان حلال، آلکوات به عنوان حامل و دودکانول به عنوان عامل جلوگیری از ژله‌ای شدن سطح مشترک فاز آلی با فاز آبی بررسی شده است. در فاز محصول از سود به عنوان عامل عاری‌ساز استفاده شده است [۱۸].

## ۲-۲- جداسازی به کمک غشاء مایع امولسیون

در اواخر دهه ۶۰ و اوایل دهه ۷۰، Li و همکارانش این نوع از غشاء مایع را ابداع کردند [۸]. در این حالت، امولسیون پایدار شده با ماده‌ی فعال کننده‌ی سطح، دو فاز خوراک و محصول را از یکدیگر جدا کرده است. یون‌های فلزی از فاز خوراک به درون امولسیون استخراج می‌شوند. وقتی مقدار کافی از یون فلزی استخراج شد، قطره‌های امولسیون از خوراک جدا می‌شود و امولسیون شکسته می‌شود تا محصول تغلیظ شده و فاز آلی حاوی حامل آزاد شود. فاز حامل با سرریز کردن<sup>۱</sup> از محصول جدا و به سیستم برگردانده می‌شود. در ادامه جداسازی یون طلا با استفاده از غشاء مایع امولسیونی بررسی خواهد شد.

### ۲-۲-۱- جداسازی طلا

طلا یکی از با ارزش ترین فلزات در طبیعت می‌باشد و فرآیندهای مربوط به آن نیز همواره مورد توجه بشر بوده است. روش متداول استخراج طلا از سنگ معدن آن شامل خردایش، فلوتاسیون، انحلال در محلول قلیایی سیانوری و در نهایت جذب بر روی کربن فعال شده و به دنبال آن شستشوی کربن فعال شده با اسید کلریدریک می‌باشد. یک سیکل جذب بر روی کربن فعال شده معمولاً ۲۴ ساعت طول می‌کشد [۱۹].

در یک کار قابل تامل و با استفاده از تکنولوژی غشاء مایع امولسیونی، استخراج یون طلای سه ظرفیتی از محلول آبی اسیدی، توسط مکانیزم تسهیل نوع دوم، انجام گرفته است. در این بررسی اثرات مستقیم و متقابل پارامترهای فرآیندی همچون دور هم‌زن، pH فاز خوراک، غلظت حمل کننده و غلظت فاز گیرنده مورد بررسی قرار

برای جداسازی و بازیافت ید، می‌توان از روش جداسازی غشایی نیز استفاده کرد که اخیراً مورد توجه محققین قرار گرفته است. در کار حاضر نیز جداسازی ید به روش غشاء مایع توده‌ای بررسی شده است. از نفت سفید به عنوان حلال ید استفاده شده است. ید فاز فرستنده، نفت سفید فاز انتقال دهنده و سولفیت سدیم قلیایی فاز گیرنده است.

با انجام آزمایش‌های گوناگون و تغییر پارامترهای استخراج نظیر pH، حجم نفت، غلظت فاز گیرنده و غلظت فاز فرستنده، بهترین میزان استخراج در شرایط عملیاتی زیر حاصل شده است [۱۷]:

الف- براساس مقدار جذب در فاز گیرنده: pH ۴/۵، حجم نفت: ۴ لیتر، غلظت سود: ۲ درصد حجمی، غلظت ید: ۱۰ گرم در لیتر، مدت زمان = ۷۲ ساعت. در این شرایط میزان استخراج ۸۱/۸۶ درصد ید جذب شده بوده است.

ب- براساس مقدار جذب در فاز آلی pH ۴/۵، حجم نفت: ۱۰ لیتر، غلظت سود ۲ درصد حجمی، غلظت ید: ۰/۲ گرم در لیتر، مدت زمان: ۲۸/۵ ساعت. در این شرایط میزان استخراج ۹۹/۷۶ درصد ید جذب شده بوده است. همچنین، تحلیل آزمایش نشان داده است که:

الف- در میزان جذب ید در فاز گیرنده، غلظت سود بیش‌ترین سهم (۶۹/۷۵ درصد)، غلظت خوراک (۱۰/۵۷ درصد) و حجم نفت کم‌ترین تاثیر را دارد.

ب- در میزان جذب ید در فاز آلی، غلظت سود بیش‌ترین سهم (۶۹/۷۶ درصد)، غلظت خوراک (۱۶/۵۱ درصد) و حجم نفت کم‌ترین تاثیر را دارد.

لازم به ذکر است که سیستم جداسازی غشاء مایع توده‌ای قادر است ید را از محلول‌های بسیار غلیظ تا غلظت ۱۰۰۰۰ ppm نیز جداسازی و استخراج نماید.

### ۲-۱-۲- جداسازی کروم

کروم که در طبیعت عمدتاً به صورت دو یون Cr(VI) و Cr(III) یافت می‌شود یکی از آلاینده‌هایی است که با پیشرفت تکنولوژی و ایجاد کارخانه‌هایی چون فولادسازی، رنگ‌سازی و چرم‌سازی به مقادیر زیاد وارد طبیعت می‌شود. کروم (III) به میزان بسیار کم سمی نمی‌باشد ولی کروم (VI) بسیار سرطان‌زا است و سمیت بالای آن باعث شده است که تلاش‌های بسیاری برای اندازه‌گیری میزان آن در پساب‌ها صورت گیرد. اولترافیلتراسیون، رزین‌های تبادل یون، غشاءهای مایع تقویت شده و

<sup>1</sup> Decantation

و اتیلن حذف شود. متداولترین روش برای حذف و جداسازی دی اکسید کربن به وسیله جذب در محلول‌های آمینی در دستگاه‌های معمول است. برج‌های آکنده، برج‌های سینی‌دار و برج‌های پاشنده معمولاً در فرآیندهای جذب دی اکسید کربن استفاده می‌شوند. هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت و هزینه‌های عملیاتی زیاد، پراکندگی فازی و سطح محدود انتقال جرم از جمله نواقص این دستگاه‌ها می‌باشند [۲۷-۳۰].

اخیراً غشاءها به عنوان یک جایگزین مناسب برای فرآیندهای جداسازی متداول مورد توجه قرار گرفته‌اند [۲۱]. فرآیندهای بر مبنای غشاءهای پلیمری به دلیل مدولار بودن، هزینه پائین نگهداری و عملیات و همچنین مصرف پائین انرژی مورد توجه بوده و تجاری شده‌اند. غشاءهای پلیمری تجاری شده موجود شاری در محدوده‌ی  $1 \text{ Barrer}^{1}$  -۴۵۰-۵ و گزینش‌پذیری‌های پائینی برای دی اکسید کربن نسبت به نیتروژن در حدود ۴۰-۱۰ را دارا هستند [۳۲]. اگر اجزاء گازی مورد نظر در یک مخلوط گازی، حلالیت و نفوذپذیری مشابهی در غشاء پلیمری داشته باشند به گزینش‌پذیری‌های کم منتج می‌شود. غشاءهای انتقال تسهیل یافته این مشکل را برطرف کرده‌اند. اگر حامل مایع به صورت برگشت پذیر با جزء گازی مورد نظر واکنش دهد، گزینش‌پذیری و شدت جریان جرمی بالا می‌تواند با این‌گونه غشاءها نائل شود. بنابراین غشاءهای مایع پتانسیل بسیار خوبی برای کاربردهای صنعتی را دارا هستند [۳۳]. در مقاله حاضر جداسازی و حذف گزینشی دی اکسیدکربن از مخلوط‌های گازی به وسیله غشاءهای انتقال تسهیل یافته که با استفاده از آمین‌ها فعال شده‌اند، مرور شده و کارائی این نوع سیستم‌های غشائی در جداسازی موثر دی اکسید کربن از هیدروژن مقایسه گردیده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که غشاء فعال شده با آمینی که گرانیوی کم‌تری دارد یا دارای ثابت تعادل متوسطی از واکنش دی اکسید کربن با آمین است، عملکرد بهتری از نقطه نظر گزینش‌پذیری و شدت جذب داراست. در میان غشاءهای مطالعه شده، غشاء  $\text{EDAH}^+$  با فاکتور جداسازی ۱۴۰۰۰ و شدت نفوذ حدود  $3 \text{ cm}^3(\text{STP})/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{cmHg}$  (برای فشار جزئی کم (۱ درصد مولی از  $\text{CO}_2$  در خوراک) و شدت نفوذ حدود  $4 \times 10^{-5} \text{ cm}^3(\text{STP})/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{cmHg}$  و فاکتور جداسازی ۱۸۴۰

گرفت. سرعت استخراج زیاد باعث می‌شود که غلظت خوراک اولیه را بتوان بالا در نظر گرفت. در این تجربه خوراک حاوی ۱۱۰ ppm یون طلا در مدت کم‌تر از ۲۰ دقیقه به طور کامل عاری از یون طلا می‌شود (خارج از حد تشخیص سیستم جذب اتمی). بررسی‌های انجام شده نشان داد که موثرترین پارامتر در این استخراج اسیدپتیه فاز خوراک با سهم حدود ۶۵٪ در پاسخ نهایی سیستم می‌باشد [۲۰-۲۶].

### ۳-۲- جداسازی به کمک غشاء مایع تقویت شده

در غشاء مایع تقویت شده یک جامد متخلخل، که فیلم مایع حاوی حامل درون حفرات آن ساکن نگه داشته شده است، بین دو فاز خوراک و محصول قرار می‌گیرد. مکانیزم جداسازی در این نوع از غشاء بدین صورت است که جزء مورد نظر در سمت خوراک با حامل واکنش می‌دهد و سپس در غشاء نفوذ می‌کند؛ جزء مذکور در سمت محصول آزاد می‌شود و حامل آزاد شده به سمت خوراک برمی‌گردد. بدین ترتیب، حامل مانند ابزاری برای انتقال گزینش‌پذیر یک جزء از سمت خوراک به سمت محصول عمل می‌کند. با توجه به این‌که در این فرآیند از حامل گزینش‌پذیر استفاده می‌شود، می‌توان به گزینش‌پذیری‌های بسیار بالا در غشاء دست یافت [۱۵]. در این بخش جداسازی دی اکسید کربن و جداسازی مخلوط هیدروکربن‌های اولفینی-پارافینی به کمک غشاء مایع تقویت شده بررسی می‌شود. این جداسازی‌ها در صنعت پتروشیمی بسیار حائز اهمیت می‌باشند.

### ۳-۲-۱- جداسازی دی اکسید کربن

جدا نمودن دی اکسید کربن از جریان‌های گازی معمولاً به خاطر افزایش ارزش حرارتی و پایین آوردن حجم گاز در سیستم انتقال و برآورده نمودن پاره‌های نیازهای ویژه برای کارخانجات پتروشیمی انجام می‌پذیرد. دی اکسیدکربن به عنوان عنصر نامطلوب در گازهای فرآیندی در بسیاری از فرآیندهای کاتالیستی، به عنوان سم کاتالیست یا عامل واکنش‌های جانبی محسوب می‌شود و واحدهای حذف آن از جمله مراحل کلیدی در اکثر واحدهای پتروشیمیایی محسوب شوند. به عنوان مثال، دی اکسید کربن باید از جریان گازهای سنتز شده در واحدهای تولید متانل، آمونیاک، اکسید اتیلن، وینیل استات، هیدروژن

<sup>1</sup> Barrer =  $10^{-10} \text{ cm}^3(\text{STP})/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{cmHg}$

<sup>2</sup> Ethylene diamine

در مقاله حاضر، بررسی جداسازی مخلوط ۲۰:۷۰ پروپیلن-پروپان در فشار ۱۲۰ kPa و با استفاده از غشاء انتقال تسهیل یافته حاوی نیترات نقره (۲۰ درصد وزنی) فاکتور جداسازی ۴۷۴ را نشان داده است.

برای فشار جزئی بالاتر (۲۰ درصد مولی از CO<sub>2</sub> در خوراک) کارایی بسیار خوبی را در جداسازی دی اکسید کربن نشان داده است.

### ۲-۳-۲- جداسازی مخلوط اولفین-پارافین

در صنعت پتروشیمی، اولفین‌هایی چون اتیلن و پروپیلن از مواد شیمیایی مهم هستند که برای تولید پلی اولفین‌هایی چون پلی اتیلن، پلی پروپیلن، استایرن، اتیل بنزن، اتیلن دی کلراید، اکریلو نیتریل و ایزوپروپانل از آن‌ها استفاده می‌شود. جریان‌های فرآیندی مختلفی حاوی هیدروکربن‌های اولفینی و پارافینی هستند مانند جریان‌های خروجی از واحد کراکینگ بخار و یا هیدورژن زدایی پارافین‌ها [۳۴-۴۱].

مرحله مهم در تولید اولفین، جداسازی آن از پارافین است. در سال‌های اخیر، از فرآیندهای گوناگونی برای این جداسازی استفاده شده است که عبارتند از تقطیر سرمایشی، تقطیر استخراجی، جذب سطحی فیزیکی یا شیمیایی و جذب گازی فیزیکی یا شیمیایی [۴۲]. این جداسازی، در حال حاضر، در صنعت به روش تقطیر سرمایشی انجام می‌شود که با توجه به دمای بسیار پایین مورد نیاز برای فرآیند و فشار بالا و فراریت نسبی پائین سازندگان، فرآیند پرهزینه‌ای است. ستون‌های تقطیر صنعتی بسیار بلند با تعداد زیاد سینی (بیش از ۲۰۰ سینی) هستند. در سال‌های اخیر، جداسازی مخلوط پروپیلن-پروپان به کمک سیستم‌های غشایی مورد توجه محققین بوده است. آن‌ها از سیستم‌های غشایی پلیمری و غشاءهای انتقال تسهیل یافته بدین منظور استفاده کرده‌اند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داده است که غشاءهای انتقال تسهیل یافته در مقایسه با غشاءهای پلیمری عملکرد بهتری در این جداسازی دارند. به عنوان مثال با استفاده از غشاء انتقال تسهیل یافته پلی اکریل آمید-نمک نقره فاکتور جداسازی ۱۷۰ بدست آمده است [۴۳].

در سال‌های ۱۹۹۷-۱۹۹۳ شرکت BP Amoco [۱۵] فرآیند با بازدهی بالا برای جداسازی اولفین‌های سبک از پارافین‌های متناظر آن با استفاده از غشاءهای انتقال تسهیل یافته به شکل فیبر توخالی و از جنس پلی پروپیلن با حفرات میکرو به همراه نیترات نقره به عنوان حامل را پیشنهاد داده است و آزمایش‌های جداسازی را در مقیاس آزمایشگاهی و پایلوت انجام دادند.

### ۳- نتیجه گیری

غشاء و فرآیندهای جداسازی غشایی به تازگی مورد توجه محققین قرار گرفته‌اند. یکی از مهم‌ترین مزایای آن‌ها سادگی فرآیند و سازگاری آن با محیط زیست است. در مقاله مروری حاضر تعدادی از فرآیندهای جداسازی غشایی از نوع ELM، BLM و SLM که به لحاظ محیط زیستی و یا صنعتی حائز اهمیت هستند، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. مشاهده می‌شود که با استفاده از روش‌های جداسازی غشایی در بسیاری از زمینه‌ها می‌توان به نتایج موفقیت آمیزی نائل آمد. پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۰ سرمایه‌گذاری در تولید غشاء و استفاده از آن در فرآیندهای جداسازی رشد چشم‌گیری داشته باشد. امر می‌تواند ناشی از تشکیل جاروسیت باشد.

### ۳- مراجع

- [1] J. D. Way, R. D. Noble, "Facilitated Transport", in W. S. Winston Ho, K. K. Sirkar (Eds.), "Membrane Handbook", Van Nostrand Publishing Company, New York (1992) 833-866.
- [2] R. D. Noble, C. A. Koval, "Review of Facilitated Transport Membranes", in Y. Yampolskii, I. Pinnau, B. Freeman (Eds.), "Materials Science of Membranes for Gas and Vapor Separation", John Wiley and Sons Ltd., England (2006) 411-435.
- [3] D. Bessarabov, "Membrane Gas-Separation Technology in the Petrochemical Industry", Membr. Technol., 1999 (1999) 9-13.
- [4] D. M. Ruthven, "Encyclopedia of Separation Technology", John Wiley & Sons (1997) 1-10.
- [5] P. Pandey, R. S. Chauhan, "Membrane for gas separation", Prog. Polym. Sci., 26 (2001) 853-893.
- [6] R.W. Baker, "Future directions of membrane gas separation technology", Ind. Eng. Chem. Res., 41 (2002) 1393-1411.

- by emulsion liquid membrane system", *J. Membr. Sci.*, 279 (2006) 389-393.
- [20] A. Kargari, T. Kaghazchi, M. Soleimani, "Mathematical modeling of emulsion liquid membrane pertraction of gold (III) from aqueous solutions", *J. Membr. Sci.*, 27 (2006) 380-388.
- [21] A. Kargari, T. Kaghazchi, M. Sohrabi, M. Soleimani, "Batch Extraction of Gold (III) Ions from Aqueous Solutions Using Emulsion Liquid Membrane via Facilitated Carrier Transport", *J. Membr. Sci.*, 233 (2004) 1-10
- [22] A. Kargari, T. Kaghazchi, M. Sohrabi, M. Soleimani, "Application of Experimental Design to Emulsion Liquid Membrane Pertraction of Gold (III) Ions from Aqueous Solutions", *Iranian Journal of Chemical Engineering*, 3(1) (2006) 76-90. (English version)
- [23] A. Kargari, T. Kaghazchi, M. Soleimani, "Extraction of Gold (III) Ions from Aqueous Solutions Using Polyamine Type Surfactant Liquid Membrane" *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 82 (2004) 1301-1306.
- [24] A. Kargari, T. Kaghazchi, M. Soleimani, "Mass transfer investigation of liquid membrane transport of gold (III) by methyl iso-butyl ketone mobile carrier", *Journal of Chemical Engineering & Technology*, 27 (2004) 1014-1018.
- [25] A. Kargari, T. Kaghazchi, M. Soleimani, "Role of Emulsifier in the Extraction of Gold (III) Ions from Aqueous Solutions Using Emulsion Liquid Membrane Technique", *Desalination*, 162 (2004) 237-247.
- [26] A. Kargari, T. Kaghazchi, M. Soleimani, "Application of Emulsion Liquid Membrane in the Extraction of Valuable Metals from Aqueous Solutions" *Journal of Chemical Engineering & Technology* (electronic version 2004).
- [27] W.S.W. Ho, K.K. Sirkar, "Membrane Handbook", Van Nostrand Reinhold: New York (1992) 833-850.
- [28] H. Chen, G. Obuskovic, S. Majumdar, K.K. Sirkar, "Immobilized glycerol-based liquid membranes in hollow fibers for selective CO<sub>2</sub> separation from CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub> mixtures", *J. Membr. Sci.* 183 (2001) 75-88.
- [29] M. H. Al Marzouqi, M.A. Abdulkarim, S. A. Marzouk, M. H. El-Naas, H. M. Hasanain, "Facilitated Transport of CO<sub>2</sub> through Immobilized Liquid Membrane", *Ind. Eng. Chem. Res.*, 44 (2005) 9273.
- [7] W. J. Koros, R. Mahajan, "Pushing the Limits on Possibilities for Large Scale Gas Separation: Which Strategies", *J. Memb. Sci.* 175 (2000) 181-196.
- [8] R.W. Baker, "Membrane Technology and Applications", John Wiley, England, 2<sup>nd</sup> edition (2004) 1-14.
- [9] K. Scoth, "Handbook of Industrial Membranes", Elsevier, England, 2<sup>nd</sup> edition (1999) 25 40.
- [10] G. Agam, G. Dagan, J. Gilron, V. Krakov, N. Tsesin, "Recovery of Olefins from Gasous Mixtures", WO 0117664 (200).
- [11] Y. Yoon, J. Won, Y. S. Kang, "Polymer Electrolyte Membranes Containing Silver Ion for Facilitated Olefin Transport", *Macromolecules*, 33 (2000) 3185-3186.
- [12] P. Chilukuri, K. Rademakers, K. Nymeijer, L. Ham, H. Berg, "Propylene/propane separation with a gas/liquid membrane contactor using a silver salt solution", *Ind. Eng. Chem. Res.*, 46 (2007) 8701-8709.
- [13] M. Teramoto, K. Nakai, N. Ohnishi, Q. Huang, T. Watari, H. Matsuyama, "Facilitated Transport of Carbon Dioxide through Supported Liquid Membranes of Aqueous Amine Solutions", *Ind. Eng. Chem. Res.*, 35 (1996) 538-545.
- [14] S.P. Nunes, K.V. Peinemann (eds.) "Membrane Technology in the Chemical Industry", John Wiley, England (2001) 10-20.
- [15] M. Takht Ravanchi, T. Kaghazchi, A. Kargari, "Application of Membrane Separation Processes in Petrochemical Industry: A Review", *Desalination*, 235 (2009) 199-244.
- [16] T. Kaghazchi, A. Kargari, R. Yegani, A. Zare, "Emulsion liquid membrane pertraction of L-lysine from dilute aqueous solutions by D2EHPA mobile carrier", *Desalination*, 190 (2006) 161-171.
- [17] B. Nabieyan, T. Kaghazchi, A. Kargari, A. Mahmoudian, M. Soleimani, "Bench-scale simultaneous extraction and stripping of iodine using bulk liquid membrane system", *Desalination*, 214 (2007) 167-176.
- [18] A. Baghaei, "Batch Carrier Facilitated Transport of Chromium (VI) ions using Bulk Liquid Membrane", M. Sc. Thesis, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran (2003).
- [19] A. Kargari, T. Kaghazchi, B. Mardangahi, M. Soleimani, "Experimental and modeling of selective separation of gold (III) ions from aqueous solutions



- [37] R. L. Burns, W. J. Koros, "Defining the Challenges for C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>/C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> Separation Using Polymeric Membranes", *J. Membr. Sci.* 211 (2003) 299–309.
- [38] J. J. Krol, M. Boerrigter, G. H. Koops, "Polymeric Hollow Fiber Gas Separation Membranes: Preparation and the Suppression of Plasticization in Propane/Propylene Environments", *J. Membr. Sci.*, 184 (2001) 275-286.
- [39] C. Staudt-Bickel, W. J. Koros, "Olefin/Paraffin Gas Separations with 6FDA based Polyimide Membranes", *J. Membr. Sci.*, 170 (2000) 205-214.
- [40] Y. S. Kang, J. H. Kim, J. Won, H. S. Kim, "Solid State Facilitated Transport Membranes of Olefin/Paraffin and Oxygen/Nitrogen" in Y. Yampolskii, I. Pinnau, B. D. Freeman (Eds.) "Materials Science of Membranes for Gas and Vapor Separation", John Wiley (2006) 391-410.
- [41] J. H. Kim, B. R. Min, J. Won, Y. S. Kang, "Complexation Mechanism of Olefin with Silver Ions Dissolved in a Polymer Matrix and its Effect on Facilitated Olefin Transport", *Chem. Eur. J.*, 8 (2002) 650-654.
- [42] P.F. Bryan, "Removal of propylene from fuel-grade propane", *Sep. Pur. Reviews*, 33 (2004) 157-182.
- [43] L.B. Ryan, J.K. William, "Defining the challenges for C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>/C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> separation using polymeric membranes", *J. Membr. Sci.*, 211 (2003) 299-309.
- [30] L. Bao, M. C. Trachtenberg, "Facilitated transport of CO<sub>2</sub> across a liquid membrane: Comparing enzyme, amine, and alkaline", *J. Membr. Sci.*, 280 (2006) 330-334.
- [31] J.L. Lia, B.H. Chen, "Review of CO<sub>2</sub> absorption using chemical solvents in hollow fiber membrane contactors", *Sep. Purif Technol.*, 4( 2005) 109–122.
- [32] V.Y. Dindore, D.W.F. Brilman, F.H. Geuzebroek, G.F. Versteeg, "Membrane-solvent selection for CO<sub>2</sub> removal using membrane gas-liquid contactors", *Sep. Purif Technol.* 40 (2004) 133-145.
- [33] L. Bao, M.C. Trachtenberg, "Modeling CO<sub>2</sub>-facilitated transport across a diethanolamine liquid membrane", *Chem. Eng. Sci.*, 60 (2005) 6868–6875.
- [34] M. Takht Ravanchi, T. Kaghazchi, A. Kargari, "Separation of Propylene-Propane Mixture Using Immobilized Liquid Membrane via Facilitated Transport Mechanism", *Separation Science and Technology*, (2009), In Press.
- [35] M. Takht Ravanchi, T. Kaghazchi, A. Kargari, "Supported Liquid Membrane Separation of Propylene-Propane Mixtures Using a Metal Ion Carrier", *Desalination*, (2009), In Press.
- [36] M. Takht Ravanchi, T. Kaghazchi, A. Kargari, "A New Approach in Separation of Olefin-Paraffin Gas Mixtures by a Membrane System", *Amirkabir Journal of Science and Research*, 19- 68 (2008) 47-54.

## Application of Liquid Membrane in Separation Processes

**T.Kaghachi, M. Takht Ravanchi, A. Heydari Gorji**

*Chemical Engineering Department, Amirkabir University of Technology*

**A. Kargari**

*Mechanical Engineering Department, K.N. Toosi University of Technology*

---

### ARTICLE INFO

*Article history :*

Received 20 July 2008

Received in revised form 10 September 2008

Accepted 4 December 2008

*Keywords:*

Liquid Membrane

Iodine

Chrome

Gold

Carbon Dioxide

Olefin-paraffin

---

### ABSTRACT

Membrane separation systems as capable tools selectively separating a specific component have attracted the attention of many researchers. This method of separation has application in different engineering aspects such as chemical engineering. In the present paper, the application of membrane systems for the separation of iodine, chromium and gold ions which have environmental importance and for the separation of carbon dioxide and olefin-paraffin mixtures that have industrial importance has been reviewed.

All rights reserved.