

ساخت غشای آمیزه آگارز / پلی‌وینیل الکل برای جداسازی تراوش تبخیری آب / اتانول

لاله رجبی، امید بختیاری*⁺، زهره جعفری

گروه مهندسی شیمی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

چکیده: آب‌زدایی الکل‌ها با روش‌های گوناگونی به ویژه تراوش تبخیری انجام شده است. غشاهای پلیمری آب‌دوست زیادی ساخته و برای آب‌زدایی الکل‌ها به کار برده شده‌اند. پلی‌وینیل الکل یکی از مهمترین غشاهای پلیمری در این زمینه است. در این پژوهش اصلاح این غشا با استفاده از روش آمیختن به منظور دست یافتن به پارامترهای جداسازی بالاتر بررسی شد. غشای آمیزه پلی‌وینیل الکل (PVA) / آگارز (Aga) ساخته و برای جداسازی محلول آب / اتانول با استفاده از تراوش تبخیری استفاده شد. ساختار غشاها با استفاده از آنالیزهای SEM و زاویه تماس بررسی شد. دما و فشار به ترتیب در 30°C و 830 mbar - ثابت نگه داشته شد و تأثیر ترکیب درصد خوراک و نسبت آمیختن بر پارامترهای جداسازی مورد مطالعه قرار گرفت. نتیجه‌ها نشان داد که غشاها کارکرد جداسازی خوبی برای مخلوط آب / اتانول دارند. بالاترین گزینش‌گری با مقدار بی نهایت و شار $0.243\text{ kg/m}^2\text{h}$ برای غشای ۵۰٪ وزنی Aga در جداسازی مخلوط ۳۰٪ وزنی اتانول به دست آمد. ولی در آب‌زدایی خوراک الکل با ۷۰٪ وزنی اتانول و با استفاده از غشای ۶۰٪ وزنی Aga، مقدارهای گزینش‌گری و شار به ترتیب بی نهایت و $0.838\text{ kg/m}^2\text{h}$ به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: تراوش تبخیری، غشاهای آمیزه، جداسازی آب/اتانول، آگارز، پلی وینیل الکل.

KEYWORDS: Pervaporation, Blended membranes, Separation of water / ethanol, Agarose, Polyvinyl alcohol.

مقدمه

از الکل‌ها در صنایع مهم‌ترین کاربرد را دارد، که دلیل آن، مصرف بالای الکل‌ها به ویژه اتانول و ایزو پروپانول در صنایع پزشکی، صنایع شیمیایی و بیودارویی است که با خلوص بسیار بالا مورد نیاز هستند. فرایند تقطیر روش مرسوم و سنتی برای آب‌زدایی از الکل‌ها است که این فرایند به واسطه مصرف انرژی بالا، آثار زیان‌بار زیست محیطی و فرایند به نسبت پیچیده عملیاتی، فرایندی مقرون به صرفه نیست. ولی از سوی دیگر فرایند تراوش تبخیری یک فرایند ایمن، دوست‌دار زیست بوم و از لحاظ مصرف انرژی بسیار اقتصادی است. عملیات

فرایندهای غشایی یکی از فرایندهای پرکاربرد و گسترده صنعتی است. تراوش تبخیری یکی از انواع فرایندهای غشایی کارآمد است که به منظور جداسازی مایعات امتزاج‌پذیر استفاده می‌شود [۱]. در فرایند تراوش تبخیری یک جزء به صورت گزینش‌گرانه از جریان مایع خوراک با استفاده از غشا جدا می‌شود [۲]. تراوش تبخیری در سه زمینه کاربرد دارد: جداسازی آب از حلال‌های آلی [۳]، جداسازی محلول‌های آلی - آلی [۲] و جداسازی سازنده‌های آلی از محلول آبی رقیق [۴]. که از این میان آب‌زدایی از حلال‌های آلی به ویژه آب‌زدایی

* عهده دار مکاتبات

+E-mail: obakhtiari@razi.ac.ir

تهیه شده، نفوذپذیری غشای PVA و گزینش‌گری غشای سلولز استات را بهبود دادند. با افزایش مقدار سلولز استات در غشا شار تراوشی به شدت افزایش یافت، در حالی که از ضریب جداسازی کاسته شد. در ۷۵٪ بارگذاری سلولز استات، ضریب جداسازی ۲۱/۵ و شار تراوشی $1/479 \text{ kg/m}^2\text{h}$ به دست آمد [۱۵].

در این پژوهش غشای آمیزه PVA / Aga ساخته و برای جداسازی آب از مخلوط آب / اتانول با فرایند تراوش تبخیری استفاده شد. یکی از روش‌های اصلاح غشاها، آمیختن پلیمرها است که به منظور تهیه غشا با ویژگی‌های بهتر به کار می‌رود. این روش به منظور بهبود غشاهای تراوش تبخیری و جداسازی مخلوط‌های مایع نیز استفاده شده است. شار و گزینش‌گری بالا، در بررسی کارکرد غشا در تراوش تبخیری پارامترهای دلخواه هستند. در اغلب موارد بین شار و گزینش‌گری غشاهای پلیمری، رابطه وارونی دیده می‌شود، به طوری که افزایش یک پارامتر با کاهش پارامتر دیگر همراه است. بنابراین برای جداسازی دلخواه و قابل پذیرش، یافتن کارکرد و شرایط بهینه، بسیار دارای اهمیت است. آمیختن پلیمرها می‌تواند منجر به تهیه غشاهای پلیمری جدید با ویژگی‌های بهینه شود. پلیمرهای ترکیب شونده می‌توانند پلیمر یک غشا با شار بالا و پلیمر غشای دیگر با گزینش‌گری بالا باشند به‌طور معمول ویژگی‌های غشای به دست آمده از آمیختن، بین ویژگی‌های دو پلیمر ترکیب شونده است و به نسبت آمیختن وابسته است. با تغییر نسبت آمیختن می‌توان ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی و ویژگی‌های نفوذ را تغییر داد. در این پژوهش تلاش شده است تا با ترکیب آگارز^۱ که گزینش‌گری بالا و پلی وینیل الکل که شار بالاتری دارد به غشای آمیزه دلخواهی با ویژگی‌های بهینه و قابل پذیرشی دست یافت. ویژگی‌های تراوش تبخیری غشاهای آمیزه حاصل برای مخلوط مایع اتانول / آب به دست آمده است.

بخش تجربی

مواد آزمایشگاهی

پلی وینیل الکل با درصد خلوص ۹۸٪، وزن مولکولی 72000 g/mol ، درجه هیدرولیز ۹۸٪، از شرکت Aldrich آمریکا، آگارز از شرکت MERK آلمان و اتانول ۹۶٪ از شرکت رازی و آب مقطر در آزمایشگاه تهیه شدند.

ساخت غشا

برای ساخت غشاهای آمیزه PVA / Aga، نخست محلول‌های

جداسازی ساده و سادگی دست‌یابی به کلیه فازهای جدا شده نیز از جمله برتری‌های مهم این فرایند غشایی می‌باشد [۵]. در این فرایند هنگام تماس یک مخلوط مایع با غشا، یکی از اجزا که سریع‌تر در غشا نفوذ می‌کند منتقل می‌شود. جزء نفوذپذیرتر در قسمت تراوش یافته و آن جزء که تراوش پذیری کم‌تری دارد در خوراک تغلیظ می‌شود [۶]. جریان تراوش یافته به‌صورت بخار از طرف دیگر غشا خارج می‌شود. انتقال از عرض غشا توسط اختلاف بین فشار بخار خوراک و جریان تراوش یافته ممکن می‌شود [۷]. در تراوش تبخیری به کمک غشاهای غیرمتخلخل، مکانیسم انتقال جرم با نظریه انحلال-نفوذ تعیین می‌شود [۸]. طبق این نظریه غشای تراوش تبخیری باید پارامتر حلالیتی نزدیک به پارامتر حلالیت جزء تراوش کننده داشته باشد. به همین دلیل جذب جزء تراوش کننده در غشا بالاست. طبق این نظریه، جذب گزینش‌گرانه غشاهای پلیمری برای آب‌زدایی از مخلوط‌ها یک مفهوم رایج است [۹]. در پژوهش انجام شده در زمینه آب‌زدایی الکل‌ها، پلیمرهای آبدوست بسیاری مانند پلی‌وینیل الکل^۱، کیتوسان، سدیم آلژینات، پلی‌اکریلیک اسید و پلی‌اتیلن آمین مطالعه شده‌اند [۱۳-۱۰، ۳]. در بسیاری از موردها نیز از ترکیب پلیمرهای امتزاج پذیر به منظور بهبود ویژگی‌های غشاها استفاده شده است و غشاهای خالص اصلاح شده‌اند. چنان‌چای^۲ و همکاران پلیمرهای کیتوسان و هیدروکسی اتیل سلولز را آمیختند و غشای نوینی را تهیه کردند. با افزایش مقدار هیدروکسی اتیل سلولز در غشا، انعطاف‌پذیری غشا، آبدوستی و شار عبوری از غشا نیز افزایش یافت. ولی با افزایش حجم آزاد بین زنجیره‌های پلیمری، گزینش‌گری غشا کاهش یافت [۱۴]. راثو^۳ و همکاران با استفاده از پلیمرهای کیتوسان و PVA، غشای آمیزه نوینی را تهیه کردند و در آب‌زدایی ایزوپروپانول مورد استفاده قرار دادند. غشاهای تهیه شده کارکرد جداسازی بهتری را نسبت به غشاهای خالص نشان دادند و غشای دارای ۲۰٪ وزنی PVA، بهترین غشای آمیزه‌ی کیتوسان و PVA برای آب‌زدایی ایزوپروپانول بود. ضریب جداسازی و تراوش پذیری بهترین غشا به ترتیب ۱۷۹۹۱ و $0/113 \text{ kg/m}^2\text{h}$ محاسبه شد که نسبت به غشای کیتوسان به ترتیب ۳/۵ و ۱/۲ برابر و نسبت به PVA خالص به ترتیب ۲۳۳ و ۱/۲ برابر شد [۱۰]. ژانگ^۴ و همکاران نیز با آمیختن پلیمرهای سلولز استات و پلی‌وینیل الکل غشای آمیزه‌ای را تهیه کردند و در آب‌زدایی از اتانول مورد استفاده قرار دادند. غشاهای

(۱) Poly Vinyl Alcohol

(۳) Rao

(۵) Agarose

(۲) Chanapai

(۴) Zhang

جدول ۱- مشخصات محلول‌های مورد استفاده جهت ساخت غشاها.

| نسبت آمیختن Aga / PVA | محلول Aga | محلول PVA | آگارز در غشا |
|-----------------------|------------------|-----------|--------------|
| | غلظت (درصد وزنی) | | |
| ۳/۷ | ۱/۵ | ۱/۵ | ۳۰ |
| ۲/۳ | ۱/۵ | ۱/۵ | ۴۰ |
| ۱ | ۱/۵ | ۱/۵ | ۵۰ |
| ۳/۲ | ۱/۵ | ۱/۵ | ۶۰ |
| ۷/۳ | ۱/۵ | ۱/۵ | ۷۰ |
| ۴ | ۱/۵ | ۱/۵ | ۸۰ |

و در تماس با خوراک قرار گرفت. در این پژوهش محلول اتانول ۷۰ و ۳۰٪ وزنی به عنوان خوراک استفاده شد. خوراک با پمپ به مدول و روی سطح فوقانی غشا پمپ شد. دبی حجمی عبوری از غشا، با استفاده از یک جریان انشعابی، در ۰/۵ لیتر بر دقیقه ثابت نگه داشته شد. سطح تماس مؤثر غشا که در تماس با خوراک قرار گرفت، $9/61 \text{ cm}^2$ بود. پس از تماس خوراک با غشا و تراوش جز تراوش کننده از غشا جریان بازمانده به مخزن خوراک بازگشته و جریان تراوش یافته در تله سرد جمع آوری و به مایع تبدیل شد. فشار نیز در بخش فشار پایین غشا با استفاده از پمپ خلا تأمین شد. پس از طی شدن زمان فرایند، مقدار جرم تراوش یافته از غشا به وسیله توزین تله سرد، پیش و پس از انجام آزمایش محاسبه شد. در ادامه، کارکرد غشاهای تراوش تبخیری با استفاده از دو پارامتر شار عبوری از غشا و گزینش‌گری تعیین می‌شود. شار^۱ عبوری از غشا (J) با واحد $\text{kg/m}^2\text{h}$ با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$J = \frac{m}{A \cdot t} \quad (1)$$

در این رابطه m جرم تراوش یافته، (m^2) A سطح مؤثر غشا و t زمان آزمایش می‌باشد. غلظت اتانول موجود در جریان تراوش یافته توسط دستگاه انکسارسنج^۲ و با استفاده از ضرایب شکست تعیین شد. گزینش‌گری^۳ (α)، دیگر پارامتر تعیین کننده کارکرد غشا است که با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$\alpha = \left(\frac{X}{1-X} \right) / \left(\frac{Y}{1-Y} \right) \quad (2)$$

که در آن، X و Y به ترتیب نشان دهنده غلظت اتانول در

خالص PVA و Aga تهیه شدند. برای تهیه محلول PVA، مقدار مورد نظر از این پلیمر در مقدار آب مقطر مورد نیاز حمام با دمای $100 - 90^\circ \text{C}$ قرار داده شد تا حل شود و پس از رسیدن به تعادل، PVA به آهستگی و همزمان با همزدن به آن افزوده شد. همزدن محلول به مدت ۲ h به آهستگی انجام شد. پس از آن محلول برای خارج شدن حباب‌های هوای موجود در آن، به مدت ۲۴ h در دمای اتاق قرار داده شد. مقدار لازم از پودر Aga در آب با دمای نزدیک به نقطه جوش حل شد و محلول خالص Aga نیز تهیه شد. سپس دو محلول با نسبت‌های مورد نظر مخلوط شدند و محلول حاصل برای مدت ۲۴ h و در دمایی بالاتر از دمای ژل شدن آگارز، به آهستگی هم‌زده شد. در گام بعدی، حجم معینی از محلول در پتری دیش ریخته و به مدت ۴۰ min و در دمای 30°C در گرم‌کن قرار داده شد. پس از ۴۰ min ژل به دست آمده، از گرم‌کن خارج و از پتری دیش جدا شد و روی کاغذ صافی قرار داده شد و لایه کاغذ صافی دیگری روی ژل گذاشته شد. سپس کاغذ صافی‌های دارای ژل به مدت ۲۴ h در آون قرار داده شد. پس از ۲۴ h کاغذ صافی‌های دارای غشای خشک شده از گرم‌کن بیرون آورده شد و به منظور جدا کردن غشا از کاغذ صافی، در آب قرار داده شد. ضخامت میانگین غشاهای ساخته شده، برابر $38 \mu\text{m}$ اندازه‌گیری شد. در جدول (۱) مشخصات محلول‌های مورد استفاده در ساخت غشاهای گوناگون آورده شده است.

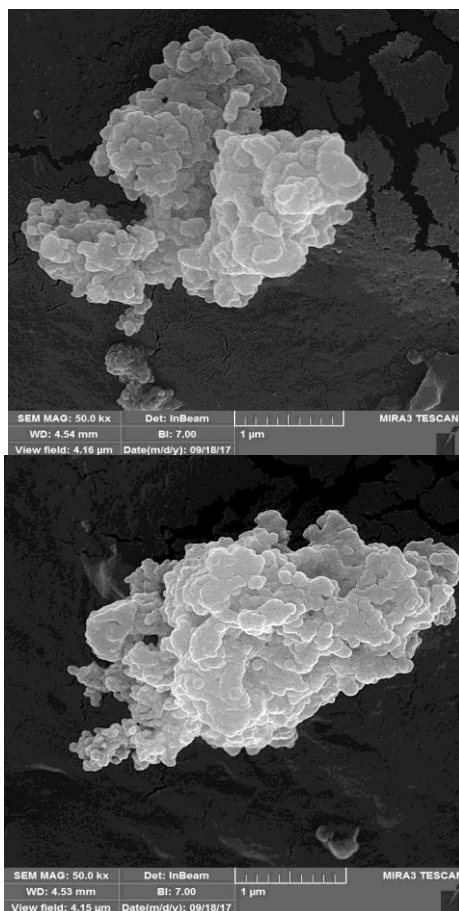
دستگاه آزمایشگاهی تراوش تبخیری

این پژوهش با استفاده از دستگاه تراوش تبخیری ساخته شده در مقیاس آزمایشگاهی انجام شده است. مهم‌ترین بخش‌های این دستگاه در شکل (۱) نشان داده شده است. غشا در مدول غشایی

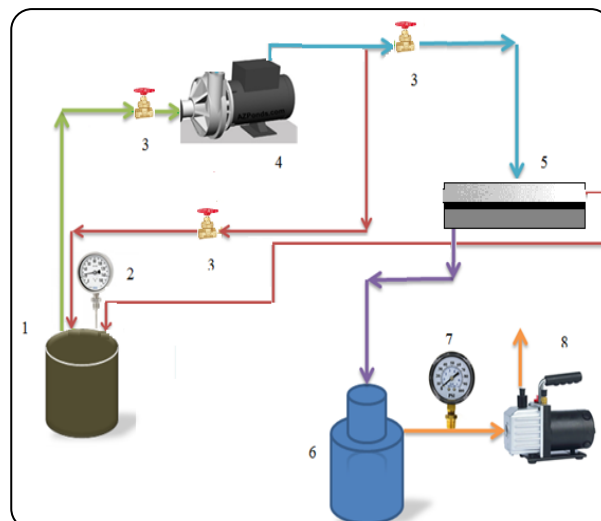
(۱) Flux

(۲) Selectivity

(۲) Refractometer



شکل ۲- تصویرهای SEM غشای آمیزه ۶۰٪ وزنی آگارز.



شکل ۱- نمای سامانه تراوش تبخیری مورد استفاده در آزمایشگاه. ۱- مخزن خوراک، ۲ و ۷- فشارسنج، ۳- شیر، ۴- پمپ خوراک، ۵- مدول غشا، ۶- مخزن N₂ و تله سرد و ۸- پمپ خلا.

جریان تراوش یافته و خوراک است. پارامتر دیگر در تعیین کارکرد غشاها، شاخص جداسازی تراوش تبخیری^(۱) (PSI) با واحد kg/m²h است که با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$PSI = J(\alpha_{pervap} - 1) \quad (3)$$

شایان ذکر است که هر یک از آزمایش‌ها حداقل دو بار تکرار شد تا از درستی نتیجه‌های آن‌ها اطمینان به دست آید.

آزمایش تورم سنجی غشا

به منظور تعیین تورم غشاها، نخست غشاها به صورت کامل در دمای اتاق خشک و وزن شدند. سپس در محلول آب/اتانول غوطه ور شدند. پس از ۲۴ h غشاها از محلول خارج و برای جداکردن حلال باقیمانده در کاغذ صافی قرار داده و سپس وزن شدند. درجه تورم غشاها از رابطه‌ی (۴) محاسبه می‌شود:

$$S (\%) = \frac{W_s - W_d}{W_d} \times 100 \quad (4)$$

که در آن W_d وزن غشای خشک پیش از غوطه وری و W_s وزن غشای متورم شده است.

نتیجه‌ها و بحث

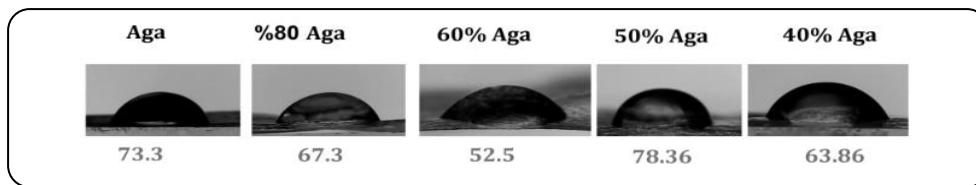
بررسی ساختار غشا

شکل ۲ نشان دهنده تصویرهای SEM سطح غشاهای ترکیبی ساخته شده در این پژوهش می‌باشد. تصویرها، نشان دهنده ساختار به نسبت متراکم غشاهای آمیزه هستند نتیجه‌های مربوط به ارزیابی کارکرد جداسازی غشاها (بخش بعدی) نیز متراکم و بی‌کاستی بودن ساختار غشاها را تأیید می‌کنند.

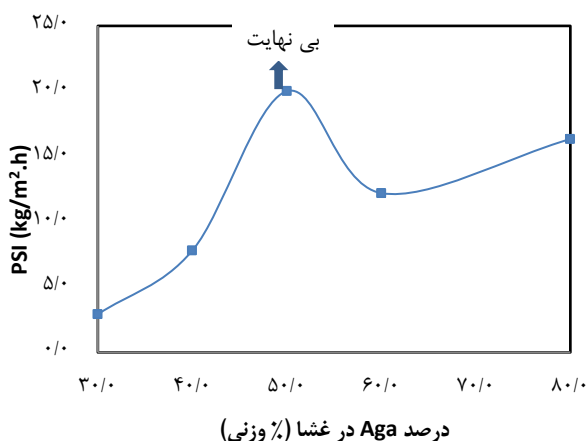
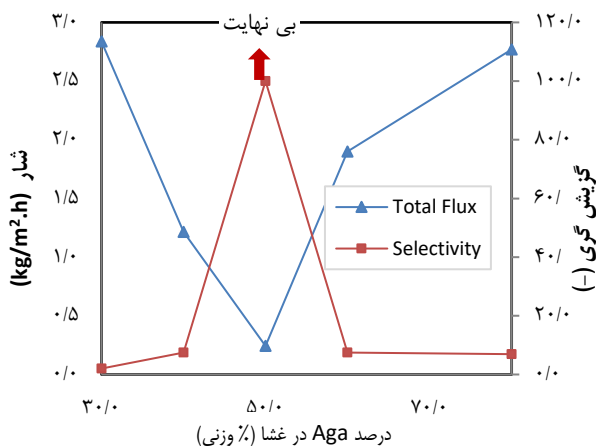
بررسی زاویه تماس غشاها با آب

زاویه‌های تماس غشاهای آمیزه‌ی PVA / Aga با نسبت‌های ترکیبی متفاوت در شکل (۳) نمایش داده شده است. همان گونه که در شکل (۳) دیده می‌شود در غشاهای آمیزه، غشای ۵۰٪ وزنی آگارز بیش‌ترین زاویه تماس و غشای ۶۰٪ وزنی آگارز کم‌ترین زاویه تماس را دارد. بنابراین، غشای ۵۰٪ وزنی آب‌گریزترین و غشای ۶۰٪ وزنی آب‌دوست‌ترین غشای آمیزه ساخته شده می‌باشد.

(۱) Pervaporation Separation Index



شکل ۳- زوایای تماس غشاهای آمیزه PVA / Aga با آب.



شکل ۴- اثر درصد آگارز موجود در غشای آمیزه بر الف) شار و گزینش‌گری و ب) غشاهای PVA / Aga در جداسازی خوراک ۷۰٪ وزنی آب، در دمای خوراک ۳۰ °C و فشار خلا ۸۳۰ mbar.

فضای خالی موجود بین زنجیره‌های پلیمری شوند، در نتیجه غشایی به دست می‌آید که از عبور مولکول‌های اتانول که از مولکول‌های آب بزرگ‌تر هستند، از غشا جلوگیری کرده و منجر به گزینش‌گری بسیار بالا می‌شود. در پاسخ به این سوال که چرا این گزینش‌گری بسیار بالا در نسبت برابر از پلیمرها در ترکیب رخ می‌دهد، می‌توان گفت در نسبت پلیمر برابر، تعداد پیوندهای هیدروژنی بیش‌تری تشکیل می‌شود و غشا متراکم‌تر شده و منجر به گزینش‌گری بسیار بالا و شار کم‌تر شده است.

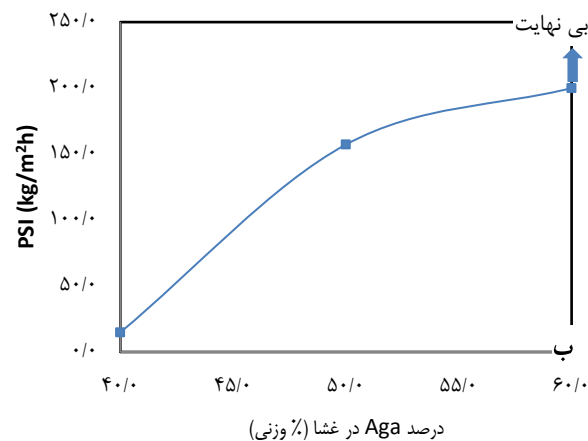
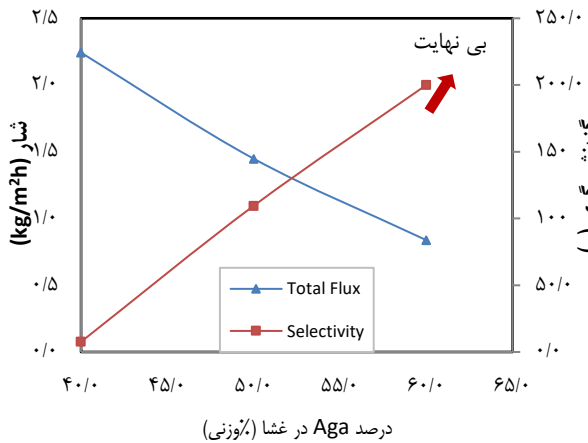
نتیجه‌های آزمایش تورم سنجی غشا

با توجه به کارکرد مناسب غشای ۶۰٪ وزنی Aga، تورم این غشا در محلول‌های ۲۰ و ۳۰٪ آب به ترتیب برابر ۳۸/۴۶ و ۴۲/۰۷٪ اندازه‌گیری شد. مقالده^۱ و همکاران [۱۶] تورم غشاهای PVA خالص را در این محلول‌ها به ترتیب برابر ۸۰ و ۱۳۹٪ گزارش کرده‌اند. همان گونه که دیده می‌شود، با افزایش آگارز به ساختار غشا، تورم غشا کاهش یافته و پیش‌بینی می‌شود که کارکرد آن پایدار باشد.

بررسی اثر ترکیب درصد پلیمر در غشای آمیزه در جداسازی خوراک ۷۰٪ وزنی

تغییرهای شار عبوری و گزینش‌گری بر حسب ترکیب درصد Aga موجود در غشای آمیزه در شکل (۴-الف) نشان داده شده است. همان گونه که انتظار می‌رود در صورت اختلاط کامل، با آمیختن پلیمر آگارز که گزینش‌گری بسیار بالا و شار اندکی دارد، با پلیمر پلی وینیل الکل که شار بالاتر و گزینش‌گری پایین‌تری از آگارز دارد، غشایی با ویژگی‌های بهبود یافته برای جداسازی مواد با گروه‌های عاملی هیدروکسیل به دست می‌آید. همان گونه که در شکل (۴-الف) مشاهده می‌شود، افزایش آگارز در ترکیب این پلیمرها، تا درصد بهینه‌ای از این پلیمر منجر به افزایش گزینش‌گری و کاهش شار می‌شود. این نقطه بهینه که بیشینه گزینش‌گری را با مقدار بی‌نهایت نشان می‌دهد در جداسازی خوراک ۷۰٪ وزنی آب، در ترکیب درصد ۵۰٪ وزنی از آگارز رخ می‌دهد. در نقطه‌ی یاد شده مقدار شار $0.243 \text{ kg/m}^2\text{h}$ محاسبه شد. در ترکیب درصدهای بالاتر از ۵۰٪ وزنی آگارز، این روند معکوس می‌شود و کاهش گزینش‌گری و افزایش شار رخ می‌دهد. در تحلیل مقدار بالای گزینش‌گری در این غشا می‌توان گفت ایجاد پیوندهای هیدروژنی قوی باعث ترکیب کامل پلیمرها و اثرگذاری کامل آن‌ها بر خواص یکدیگر شده است. از یک سو پیوندهای هیدروژنی تشکیل شده منجر به ایجاد ساختار منظم و متراکمی شده‌اند که توانسته‌اند منجر به عبور مولکول‌های آب شوند و از سوی دیگر پیوندهای هیدروژنی قوی بین دو پلیمر می‌توانند به عنوان پیوندهای عرضی عمل کرده و منجر به متراکم‌تر شدن ساختار غشا و کاهش

(۱) Magalad



شکل ۵- اثر درصد آگارز موجود در غشای آمیزه بر الف) شار و گزینش‌گری و ب) PSI غشاهای PVA / Aga در خوراک ۳۰٪ وزنی آب، در دمای ۳۰ °C و فشار خلا ۸۳۰ mbar-.

جدول (۲) نشان می‌دهد غشاهای تهیه شده در این پژوهش نسبت به سایر غشاهای کارکرد بهتری دارند. گزینش‌گری بسیار بالا و شار قابل پذیرش غشاهای ساخته شده در این پژوهش، نسبت به سایر غشاهای نشان‌دهنده پتانسیل بالای این غشاهای در جداسازی آب/اتانول می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، جداسازی آب از مخلوط آب / اتانول با استفاده از غشاهای آمیزه PVA / Aga و فرایند تراوش تبخیری مورد آزمایش قرار گرفت. غشاهای آمیزه با نسبت پلیمرهای متفاوت در جداسازی خوراک ۳۰ و ۷۰٪ وزنی آب بررسی شدند. نتیجه‌ها نشان داد در ترکیب درصد پایین‌تر آب در خوراک، غشاهای دارای مقدار آگارز بیش‌تر کارکرد بهتری دارند. در جداسازی مخلوط ۷۰٪ وزنی آب، شار و گزینش‌گری غشای آمیزه ۵۰٪ وزنی آگارز، به ترتیب ۰/۲۴۳ kg/m²h و بی‌نهایت و در جداسازی خوراک دارای ۳۰٪ وزنی آب، شار

اثر درصد آگارز بر پارامتر PSI غشای آمیزه، در شکل (۴ - ب) نمایش داده شده است. همانطور که در شکل دیده می‌شود، افزایش مقدار آگارز موجود در غشا تا ۵۰٪ وزنی، باعث افزایش شدید PSI می‌شود که دلیل آن، افزایش شدید گزینش‌گری و کاهش شار می‌باشد. این روند با توجه به تعریف پارامتر PSI قابل توجه است. افزایش گزینش‌گری نسبت به کاهش شار شدیدتر بوده و سرانجام منجر به افزایش پارامتر PSI می‌شود. بیشینه مقدار این پارامتر، در ترکیب درصد ۵۰٪ وزنی محاسبه شده است. با افزایش ترکیب درصد آگارز در محدوده ۵۰ - ۶۰٪ وزنی، روند تغییرات PSI نزولی شده که علت آن کاهش بسیار زیاد گزینش‌گری و افزایش اندک شار نسبت به آن، می‌باشد. در رقابت شار و گزینش‌گری در اثرگذاری بر PSI، کاهش گزینش‌گری شدیدتر بوده و منجر به کاهش PSI می‌شود. در ترکیب درصدهای بالاتر، روند به حالت صعودی بازگشته و افزایش PSI به دلیل افزایش بیش‌تر شار و کاهش کم‌تر گزینش‌گری رخ می‌دهد.

بررسی اثر ترکیب درصد پلیمر در غشای آمیزه در جداسازی خوراک ۳۰٪ وزنی

شکل (۵) اثر ترکیب درصد آگارز را بر پارامترهای شار، گزینش‌گری و PSI غشاهای آمیزه در جداسازی خوراک ۳۰٪ وزنی آب نشان می‌دهد. در اثر کاهش مقدار آب موجود در خوراک از ۷۰ به ۳۰٪ وزنی نقطه بیشینه گزینش‌گری با مقدار بی‌نهایت، از ۵۰٪ وزنی آگارز به ۶۰٪ وزنی جابجا شد. در این غشا شار ۰/۸۳۸ kg/m²h محاسبه شد. این شار نسبت به شار غشای ۵۰٪ در جداسازی مخلوط آب / اتانول بیشتر می‌باشد که دلیل آن آب‌دوستی بیش‌تر این غشا است. می‌توان گفت کاهش مقدار آب موجود در خوراک منجر به لزوم افزایش مقدار آگارز، به عنوان پلیمر گزینش‌گرت‌تر شده است و شاید بتوان گفت در محدوده ۷۰ - ۳۰٪ وزنی آب در خوراک غشایی با ترکیب درصد آگارز در محدوده ۶۰ - ۵۰٪ وزنی می‌توانند در این دما و فشار، گزینش‌گری بی‌نهایت را با شار متوسطی نشان دهند. مقدار PSI در غشاهای آمیزه در جداسازی محلول ۳۰٪ وزنی آب، با افزایش مقدار آگارز در غشا از ۶۰ - ۴۰٪ وزنی افزایش یافته و در نهایت به مقدار بی‌نهایت در ترکیب درصد ۶۰٪ وزنی آگارز رسید که دلایل آن را می‌توان به ترتیب، افزایش زیاد گزینش‌گری در این بازه و مقدار گزینش‌گری بی‌نهایت در ترکیب درصد ۶۰٪ وزنی آگارز دانست. در جدول (۲) نتیجه‌های غشاهای تهیه شده در این پژوهش با سایر غشاهای آمیزه پایه PVA استفاده شده در جداسازی آب / اتانول مقایسه می‌شود.

جدول ۲- پارامترهای جداسازی غشاهای آمیزه PVA / Aga و تعدادی از سایر غشاهای آمیزه به کار رفته در جداسازی آب / اتانول.

| مرجع | PSI (kg/m ² h) | گزینش گری | شار (kg/m ² h) | خوراک | غشا |
|-------------|---------------------------|-----------|---------------------------|-----------------------------|------------------------|
| [۱۷] | ۱۹/۲ | ۴۸۰ | ۰/۰۴ | آب / اتانول (۱۴/۳۴ - ۸۵/۶۶) | PVA |
| [۱۸] | ۱/۴۰۹ | ۱۹/۳ | ۰/۰۷۷ | آب / اتانول (۵ - ۹۵) | CS ^۱ / PVA |
| [۱۹] | ۱۳۲/۳ | ۱۴۸ | ۰/۹ | آب / اتانول (۲۰ - ۸۰) | PAN ^۲ - PVA |
| [۱۶] | ۳۴۹/۵ | ۷۰۰ | ۰/۵ | آب / اتانول (۶/۲ - ۹۳/۸) | PVA / PVS ^۳ |
| [۲۰] | ۸/۱۹۲ | ۴۰/۲ | ۰/۲۰۹ | آب / اتانول (۸۵ - ۱۵) | PVA / CA ^۴ |
| پژوهش کنونی | بی‌نهایت | بی‌نهایت | ۰/۲۴۳ | آب / اتانول (۳۰ - ۷۰) | PVA / Aga (۵۰ Wt. %) |
| پژوهش کنونی | بی‌نهایت | بی‌نهایت | ۰/۸۳۸ | آب / اتانول (۳۰ - ۷۰) | PVA / Aga (۶۰ Wt. %) |

فهرست نمادها

| متغیر / پارامتر | نماد | یکا |
|-------------------------------|------------|-----------------------|
| شار عبوری از غشا | J | kg / m ² h |
| جرم تراوش یافته | m | g |
| مساحت غشا | A | m ² |
| زمان فرایند | t | h |
| گزینش گری | α | - |
| جزء مولی I در بخش تراوش یافته | γ_i | - |
| جزء مولی I در مخلوط خوراک | x_i | - |
| شاخص جداسازی تراوش تبخیری | PSI | kg / m ² h |

و گزینش گری غشای ۶۰٪ وزنی آگارز به ترتیب ۰/۸۳۸ kg/m²h و بی‌نهایت محاسبه شد. پارامترهای شار و گزینش گری نسبت به سایر غشاهای بررسی شده در این زمینه، مقدارهای قابل پذیرشی را نشان می‌دهد. این مقادیر نشان دهنده آن است که استفاده از تراوش تبخیری با استفاده از غشاهای آمیزه ساخته شده در این مقاله، روش مناسبی برای جداسازی مخلوط آب/ اتانول می‌باشد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۲۵

مراجع

- [1] Néel J., Chapter 5 Pervaporation. *Membrane Science and Technology*, 2: 143-211 (1995)
- [۲] تکبیری، م، ت. محمدی، ا. پاک، جداسازی ترکیب های گوگردی از بنزین توسط فرایند تراوش تبخیری. نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران، (۱) ۳۱: ۷۱ تا ۸۰ (۱۳۹۱)
- [3] Lee K.-R., et al., Dehydration of Ethanol/Water Mixtures by Pervaporation with Composite Membranes of Polyacrylic Acid and Plasma-Treated Polycarbonate. *Journal of Membrane Science*, 164(1): 13-23 (2000)
- [4] Torkaman R., Kazemian H., Soltanieh M., Removal of BTX Compounds from Wastewaters Using Template Free MFI Zeolitic Membrane. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering (IJCCE)*, 29(4): 91-98 (2010)
- [5] Smitha B., et al., Separation of Organic–Organic Mixtures by Pervaporation - A Review. *Journal of Membrane Science*, 241(1): 1-21 (2004)

(۱) Chitosan

(۳) Poly Vinyl Siloxane

(۲) Poly Acrylo Nitrile

(۴) Cellulose Acetate

- [6] Shao P. Huang R.Y.M., Polymeric Membrane Pervaporation. *Journal of Membrane Science*, **287(2)**: 162-179 (2007)
- [7] Baker M.I., et al., A Review of Polyvinyl Alcohol and Its Uses in Cartilage and Orthopedic Applications. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, **100B(5)**: 1451-1457 (2012)
- [8] Sharma A., et al., Pervaporation from a Dense Membrane: Roles of Permeant–Membrane Interactions, Kelvin Effect, and Membrane Swelling. *Langmuir*, **20(11)**: 4708-4714 (2004)
- [9] Bhat N.V., Wavhal D.S., Preparation of Cellulose Triacetate Pervaporation Membrane by Ammonia Plasma Treatment. *Journal of Applied Polymer Science*, **76(2)**: 258-265 (2000)
- [10] Rao K.S.V.K., et al., Blend Membranes of Chitosan and Poly(Vinyl Alcohol) in Pervaporation Dehydration of Isopropanol and Tetrahydrofuran. *Journal of Applied Polymer Science*, **103(3)**: 1918-1926 (2006)
- [11] Toti U.S., Aminabhavi T.M., Different Viscosity Grade Sodium Alginate and Modified Sodium Alginate Membranes in Pervaporation Separation of Water + Acetic Acid and Water + Isopropanol Mixtures. *Journal of Membrane Science*, **228(2)**: 199-208 (2004)
- [12] Zhang W., et al., Maleic Anhydride Surface-Modification of Crosslinked Chitosan Membrane and Its Pervaporation Performance. *Journal of Membrane Science*, **295(1)**: 130-138 (2007)
- [13] Upadhyay D.J., Bhat N.V., Pervaporation Studies of Gaseous Plasma Treated PVA Membrane. *Journal of Membrane Science*, **239(2)**: 255-263 (2004)
- [14] Marcano D.C., et al., *Improved Synthesis of Graphene Oxide*. *ACS Nano*, **4(8)**: 4806-4814 (2010)
- [15] Zhou K., et al., Pervaporation of Water–Ethanol and Methanol–MTBE Mixtures Using Poly (Vinyl Alcohol)/Cellulose Acetate Blended Membranes. *Journal of Membrane Science*, **448**: 93-101 (2013)
- [16] Magalad V.T., et al., Mixed Matrix Blend Membranes of Poly(Vinyl Alcohol)–Poly(Vinyl Pyrrolidone) Loaded with Phosphomolybdic Acid used in Pervaporation Dehydration of Ethanol. *Journal of Membrane Science*, **354(1)**: 150-161 (2010)
- [17] Kanse N.G., Dawande S.D., Separation of Ethanol/Water (Azeotropic mixture) by Pervaporation using PVA Membrane. *Materials Today: Proceedings*, **4(9)**: 10520-10523 (2017)
- [18] Dubey V., Pandey L.K., Saxena C., Pervaporative Separation of Ethanol/Water Azeotrope Using a Novel Chitosan-Impregnated Bacterial Cellulose Membrane and Chitosan–Poly(Vinyl Alcohol) Blends. *Journal of Membrane Science*, **251(1)**: 131-136 (2005)
- [19] Li B.-B., et al., Chitosan-Poly (Vinyl Alcohol)/Poly (Acrylonitrile) (CS–PVA/PAN) Composite Pervaporation Membranes for the Separation of Ethanol–Water Solutions. *Desalination*, **193(1)**: 171-181 (2006)
- [20] Sajjan A.M., et al., Development of Novel Grafted Hybrid PVA Membranes Using Glycidyltrimethylammonium Chloride for Pervaporation Separation of Water–Isopropanol Mixtures. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, **19(2)**: 427-437 (2013)