

# شناسایی، ساخت و ارزیابی غشاء مورد استفاده در سامانه شبنم خورشیدی

حمیرا شریعت پناهی<sup>۱\*</sup>، فرح سرابی<sup>۲</sup>، محمد میرعلی<sup>۲</sup>، رادا زراسوند اسدی<sup>۳</sup> و مرجان یوسفی<sup>۲</sup>

۱- پژوهشکده حفاظت صنعتی، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

۲- پژوهشکده توسعه فناوری‌های شیمیایی، پلیمری و پتروشیمی، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

۳- پژوهشکده محیط زیست و بیوتکنولوژی، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۳/۱/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۳/۹/۲۲

## چکیده

تکنولوژی شبنم خورشیدی روشی برای تصفیه آب‌های شور آلوده به مواد نفتی با بهره‌گیری از انرژی تجدیدپذیر خورشیدی می‌باشد. غشاء به کار رفته در این سامانه، غیر متخلخل و آب دوست بوده و به علت ویژگی عدم تخلخل، مانع نفوذ نمک در خلل و فرج غشاء و جرم گرفتگی آن می‌گردد. در پژوهش حاضر ساخت غشاء مورد استفاده در این سامانه و ارزیابی آن مد نظر قرار گرفته است. به این منظور غشاء ساخت شرکت Akzo Nobel در سیستم پایلوت شبنم خورشیدی مستقر در پالایشگاه گاز سرخون که توسط پژوهشکده محیط زیست پژوهشگاه صنعت نفت طراحی و برپا شده، به عنوان مرجع در نظر گرفته شد. پس از شناسایی غشاء، ماده اولیه آن تهیه و غشاء به روش دمش فیلم تهیه گردید. سپس خواص فیزیکی، مکانیکی و عبورپذیری در برابر بخار غشاء تهیه شده مورد ارزیابی قرار گرفت. نهایتاً آنالیز آب عبوری از غشاء برای آب دریا و پساب نمکی نفتی پالایشگاه گاز سرخون بررسی و نتایج با سیستم بدون غشاء مقایسه گردید. بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی، بیان‌گر مقاومت کششی، ضربه‌ای و ازدیاد طولی بالای غشاء است. نتایج بالای نفوذپذیری این غشاء در برابر بخار آب در مقایسه با غشاءهای متخلخل، بیان‌گر کارایی بالای این غشاء جهت کاربرد در سامانه تراوش تبخیری است. با توجه به ویژگی‌های سیستم شبنم خورشیدی، می‌توان از آن به عنوان یک گزینه مناسب برای تصفیه آب سازند حاصل از استخراج نفت در مناطق جنوبی کشور استفاده نمود.

کلمات کلیدی: غشاءهای غیرمتخلخل، تصفیه پساب نفتی، سامانه شبنم خورشیدی، کوبلی اتر آمید، دستگاه دمش فیلم

## مقدمه

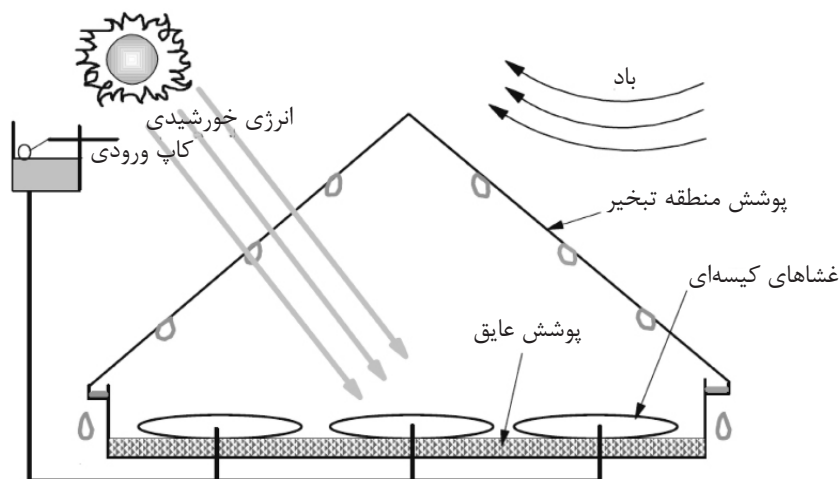
تکنولوژی شبنم خورشیدی تکنولوژی نوینی است که می‌توان توسط آن آب‌های شور و آلوده به هیدروکربن‌های تولید شده در میادین نفتی که حاوی ناخالصی‌های فلزی و نمک‌های معدنی هستند را با کمک انرژی پاک و قابل تجدید، تصفیه نمود. برخلاف تکنیک‌های معمول شیرین‌سازی آب که از غشاء‌های متخلخل استفاده می‌شود، در فرآیند شبنم خورشیدی غشاء غیر متخلخل آب دوست به کار می‌رود که بر مبنای مکانیسم تراوش تبخیری عمل می‌نماید. در سیستم تراوش تبخیری نیروی محرکه تصفیه، نفوذپذیری و فعالیت شیمیایی محلول می‌باشد. اما در غشاء‌های معمول دیگر مانند نانو، اولترا یا میکرو فیلتراسیون، نیروی محرکه اختلاف فشار است. از آنجایی که غشاء مورد استفاده در سیستم شبنم خورشیدی غیر متخلخل و فشرده است، نفوذ نمک در خلل و فرج و جرم گرفتگی غشاء اتفاق نمی‌افتد. این موضوع می‌تواند باعث کاهش شدید فشار عبوری از غشاء و در نتیجه تغییر کیفیت و کمیت آب تولیدی گردد. در مواردی که گرفتگی شدید رخ می‌دهد، لازم است از مواد شیمیایی به منظور تمیز کردن غشاء استفاده کرد و یا نهایتاً غشاء را تعویض نمود که این امر موجب افزایش هزینه‌های عملیاتی می‌شود. به دلیل عدم وجود منافذ در غشاء‌های غیر متخلخل، گرفتگی غشاء اتفاق نمی‌افتد. بنابراین، نیازی به پیش تصفیه آب یا پساب نمی‌باشد و از این طریق در هزینه‌های کل صرفه‌جویی می‌شود. با توجه به این مزیت می‌توان به عنوان خوراک ورودی از انواع آب‌های شور و حتی آب‌های شور آلوده به مواد نفتی استفاده نمود (تا ۸۰ mg/lit مواد نفتی). علاوه بر بحث گرفتگی غشاء، مقایسه اولترافیلتراسیون غشایی با تراوش تبخیری به کمک غشاء‌های متخلخل، نشان می‌دهد که این سیستم بر خلاف تراوش تبخیری در جداسازی ترکیبات با وزن ملکولی کمتر ۱۵۰ دالتون کارایی ندارد. علاوه

بر این استفاده از تشعشع خورشیدی به منظور گرم کردن و تبخیر آب خوراک در سیستم شبنم خورشیدی باعث کاهش انرژی لازم برای فرآیند تبخیردر مقایسه با سایر روش‌ها می‌گردد. [۱-۴]. غشاء غیر متخلخل آب دوست علاوه بر این که اجازه عبور آب بدون رسوب گذاری را می‌دهد، می‌تواند با قدرت انتخاب بالا، مانع عبور ترکیبات هیدروکربنی به ویژه ترکیبات سنگین آن گردد. به همین دلیل کلیه مواد متشکله غیر فرار در جدار داخلی غشاء باقی مانده و آب محصول از کیفیتی بالا برخوردار است. از ویژگی‌های این سامانه در مقایسه با تکنیکی مانند اسمز معکوس می‌توان به خلوص بالای آب حاصل، به کارگیری منبع تجدیدپذیر انرژی خورشیدی، عدم وابستگی درصد خلوص محصول به میزان آلودگی خوراک، توانایی حذف یون‌هایی مثل برم، فلئور، آرسنیک، سلنیم و آلومینیم از آب و امکان حذف آلودگی‌های بیولوژیکی اشاره نمود [۵-۱۱].

در سیستم شبنم خورشیدی لوله‌ها و یا تشکچه‌هایی ساخته شده از غشاء، درون یک محفظه شفاف که از همه طرف (به منظور جلوگیری از خروج بخار آب به اتمسفر و خاک) بسته شده، قرار می‌گیرند. لوله‌ها توسط آب خوراک پر شده و نور خورشید با عبور از پوشش شفاف محفظه به سطح خارجی لوله‌ها برخورد می‌کند. جذب انرژی خورشید توسط سطح سیاه لوله یا کیسه‌های غشاء، موجب افزایش دمای آب خوراک گردیده و بخار آب تولید شده پس از برخورد به سطح داخلی محفظه به مایع تبدیل می‌شود. مایعی که روی سطح داخلی محفظه شفاف تشکیل می‌شود، به کانال‌های جمع آوری محصول هدایت شده و به مخزن ذخیره منتقل می‌گردد. مواد حل شده در آب خوراک از قبیل نمک‌ها و فلزات سنگین در محلول باقی مانده و به تدریج غلظت آب درون غشاء افزایش می‌یابد. این فرآیند تا تغلیظ محلول، نزدیک به نقطه اشباع ترکیباتی مانند سولفات باریم و کلسیم ادامه می‌یابد. معمولا

صورت شماتیک در شکل ۱ و تصویر واقعی سامانه نصب شده در شکل ۲ ارائه گردیده است.

تخلیه لوله‌ها زمانی انجام می‌شود که ۹۰٪ از حجم اولیه خوراک کاهش یافته باشد. مراحل فوق به



شکل ۱- طرح شماتیکی از جزئیات تکنولوژی شبنم خورشیدی



شکل ۲- تصویر واقعی سامانه نمک‌زادایی شبنم خورشیدی

تترامتیلن اکساید (PTMEO) و بخش سخت نیز پلی آمید 6 (PA6) و یا پلی آمید 12 (PA12) می‌باشد [۹].

### روش کار

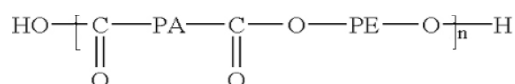
#### شناسایی و ارزیابی نمونه غشاء خارجی

نمونه غشاء خارجی، نمونه‌ای است که شرکت Solar Dew از آن در سیستم پایلوت شبنم خورشیدی مستقر در پالایشگاه گاز سرخون به منظور تصفیه پساب این پالایشگاه طی پروژه‌ای تحت سرپرستی پژوهشکده محیط زیست پژوهشگاه صنعت نفت استفاده نموده است. این نمونه توسط شرکت Akzo Nobel ساخته شده است.

همان‌گونه که اشاره شد، غشاء مورد استفاده در این سامانه یک غشاء پلیمری غیر متخلخل است که از دو بخش آب دوست و آب گریز تشکیل شده است. بخش هیدروفیل، اجازه نفوذ آب را از بدنه غشا داده و مانع عبور ترکیبات آلی و ناخالصی‌ها می‌گردد. این نوع غشاها عموماً بلاک کopolymerهایی از پلی‌اترها و پلی‌آمیدها هستند. پلی‌اتر بلاک پلی آمید (PEBA) که از واکنش تراکمی یک دای کربوکسیلیک پلی آمید و یک اتر دای ال به دست می‌آید، از دو بخش سخت و نرم تشکیل شده است که به طور یک در میان در زنجیر قرار گرفته‌اند. بخش نرم معمولاً پلی اتیلن اکساید (PEO) یا پلی

زیر را برای مواد متشکله نشان می‌دهد.

پایه پلیمری:  $2 \pm 91/4\%$ ، دوده:  $2 \pm 2/9\%$ ، روغن و نرم‌کننده:  $1 \pm 3/7\%$ ، پرکننده و یا خاکستر:  $1/6\%$ . نتایج درصد C، H، N و O برای نمونه غشاء در جدول ۱ ارائه شده است. ساختار کوپلیمر پلی اتر پلی آمید به صورت زیر می‌باشد.



که در آن PA می‌تواند بلاک پلی آمید ۶ و یا پلی آمید ۱۲ و PE بلاک پلی تترا متیلن اکساید (PTMO) و یا پلی اتیلن اکساید (PEO) باشد.

با توجه به نتایج کالریمتری روبشی تفاضلی، جزء PA در این نمونه PA6 تشخیص داده شد، هر چند تنها با اتکاء به نتایج حاصل از آزمایشات نمی‌توان نوع پلی اتر را به دقت شناسایی نمود. بررسی‌های کتابخانه‌ای نشان می‌دهد برای اینکه غشاء پلی اتر پلی آمید، قابلیت عبوردهی بخار آب داشته باشد، لازم است به علت قطبیت، از جزء پلی اتیلن اکساید استفاده گردد. میزان عبوردهی بخار غشاء وقتی دارای ساختار PEO باشد، نسبت به PTMO بسیار بالاتر است. بنابراین با فرض ساختار زیر و با استفاده از نتایج جدول ۱، محاسبات برای یافتن نسبت PA به PE در ساختار کوپلیمر انجام گرفت

به منظور بررسی امکان بومی‌سازی فناوری ساخت غشاء این سامانه، شناسایی و ساخت آن در دستور کار قرار گرفت. به گفته شرکت مذکور، غشاء مورد استفاده از نوع غشاءهای غیر متخلخل پلیمری با قابلیت عبور بخار آب است. به منظور شناسایی و آنالیز نمونه غشاء، اندازه‌گیری درصد C، H، N و O، طیف سنجی مادون قرمز، گراویمتری حرارتی<sup>۱</sup> و نیز کالریمتری روبشی تفاضلی<sup>۲</sup> روی نمونه انجام شد.

طیف مادون قرمز گرفته شده از غشاء، قله‌هایی در  $3120 \text{ cm}^{-1}$  و  $2953 \text{ cm}^{-1}$  نشان می‌دهد که می‌تواند مربوط به کشش باند N-H برای ناپلون باشد. قله  $1615 \text{ cm}^{-1}$  نیز مربوط به گروه C=O است. گروه‌های C-O-C در محدود  $1000 \text{ cm}^{-1}$  تا  $1300 \text{ cm}^{-1}$  قابل شناسایی است که بیان‌گر وجود این گروه‌ها در ساختار غشاء می‌باشد.

طیف کالریمتری روبشی تفاضلی نمونه غشاء توسط دستگاه DSC7 ساخت شرکت Perkin Elmer و با شدت حرارت‌دهی  $30^\circ\text{C}/\text{min}$  و در محدود دمایی  $50^\circ\text{C}$  تا  $300^\circ\text{C}$  تهیه شد. طیف مربوطه یک قله گرماگیر در حدود  $205^\circ\text{C}$  نشان می‌دهد که می‌تواند بیان‌گر نقطه ذوب جزء پلی آمیدی غشاء باشد. با توجه به این مقدار به نظر می‌رسد جزء پلی آمیدی موجود در ساختار این کوپلیمر، پلی آمید 6 (PA6) می‌باشد. لازم به ذکر است که با توجه به اینکه نقطه ذوب جزء پلی اتری زیر دمای اتاق است، این قله در طیف مذکور قابل مشاهده نیست.

نتایج گراویمتری حرارتی این نمونه غشاء، درصدهای

جدول ۱- نتایج درصد C، H، N و O برای نمونه غشاء خارجی

نام عنصر	درصد جرمی
N	۵/۴
C	۶۵/۷
H	۹/۸
O	۱۹/۱

1- Thermal Gravimetry Analysis (TGA)

2- Differential Scanning Calorimetry (DSC)

تنفس کننده PEBAX را تشکیل می دهند. ضمن مطالعه مشخصات گریدهای مختلف PEBAX و مکاتبات متعدد با شرکت Arkema، گریدهای فیلم تنفس کننده این مواد به عنوان گزینه مناسب برای ساخت غشاء غیر متخلخل تنفس کننده شناخته شد. شرکت Arkema چهارگانه زیر را به عنوان فیلم های تنفس کننده معرفی نموده است:

SA01 MX1205 یا SN01-

SA01 MV1041 یا SN01-

SA01 MV3000 یا SN01-

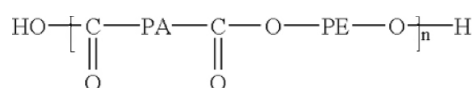
SA01 MV1074 یا SN01-

نماد SA01 بیان گر وجود مواد افزودنی مورد نیاز برای گریدهای پزشکی و SN01 نشان دهنده وجود مواد پایدار کننده در برابر اشعه ماوراء بنفش در فرمولاسیون ماده است.

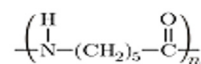
بر اساس بررسی های انجام شده و با توجه به نیاز به بلاک کوپلیمری از پلی آمید ۶ و پلی اتیلن اکساید و همچنین مقادیر عبورپذیری بخار آب، گرید MV3000 که دارای قابلیت عبوردهی بالاتر بخار آب می باشد، انتخاب گردید. با توجه به اینکه از غشاء نهایتاً در سامانه شبنم خورشیدی استفاده خواهد شد، گونه SN01 MV3000 که دارای پایدار کننده اشعه ماورابنفش است، انتخاب شد [۱۲].

### ساخت غشاء غیر متخلخل

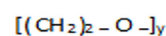
به منظور ساخت غشاء متخلخل از روش های تهیه فیلم های یکپارچه پلیمری استفاده گردید. با توجه به اینکه غشاء های مورد استفاده در سیستم شبنم خورشیدی به صورت لوله ها و یا تشکچه های بدون درز می باشند، روش دمش فیلم<sup>۲</sup> که یکی از روش های معمول تهیه فیلم های پلیمری است، برای تهیه غشاء، مورد استفاده قرار گرفت. شکل ۳ فرآیند شماتیک دستگاه دمش فیلم و شکل ۴ دستگاه آزمایشگاهی دمش فیلم مورد استفاده را نشان می دهد.



PA: PA6



PE : PEO



محاسبات با نوشتن موازنه برای هر عنصر و یافتن نسبت پارامتر n به y انجام گرفت که در نهایت و درصدهای زیر حاصل شد:

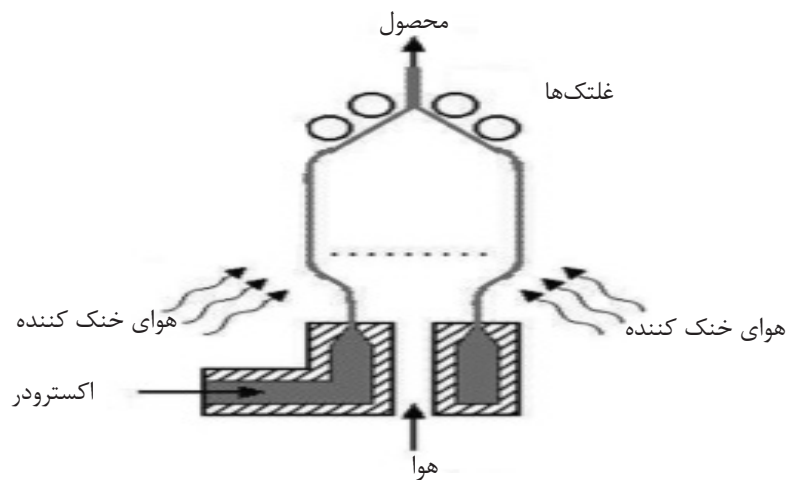
پلی آمید ۶ (PA6) برابر ۶۹٪ و پلی اتیلن اکساید (PEO) به میزان ۳۱٪

### انتخاب ماده اولیه برای ساخت غشاء غیر متخلخل تنفس کننده<sup>۱</sup>

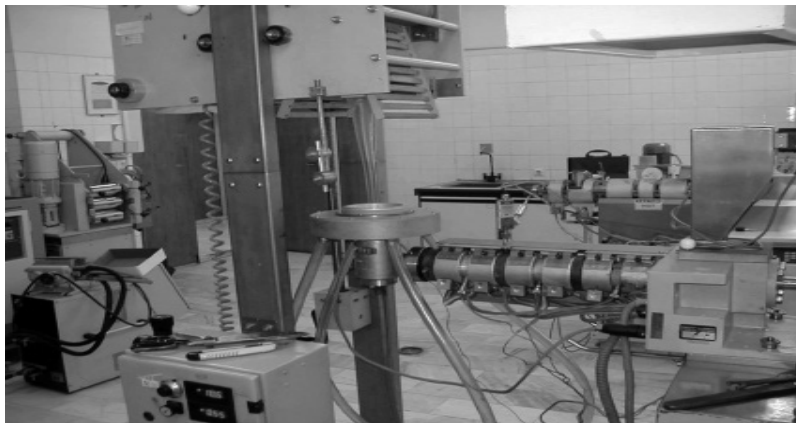
با توجه به نتایج حاصل از شناسایی و ارزیابی نمونه غشاء خارجی مورد استفاده به عنوان غشاء غیر متخلخل تنفس کننده و بررسی های کتابخانه ای، کوپلیمر بلاک پلی اتر پلی آمید، ماده مناسب برای ساخت غشاء غیر متخلخل شناخته شد. تنها شرکت سازنده این کوپلیمر شرکت ELF-Atochem و یا Arkema فرانسوی است که این ماده را با نام تجاری PEBAX به بازار عرضه می نماید. همان طور که پیشتر اشاره شده، این کوپلیمر نوعی ترموپلاستیک الاستومر است که دارای دو جزء نرم پلی اتر و جزء سخت پلی آمیدی است. وجود این دو جزء سخت و نرم که به صورت بلاک در زنجیر پلیمر قرار دارند، موجب ایجاد خاصیت ترموپلاستیک الاستومری در این ماده می شود. علاوه بر این تفاوت قطبیت بین این دو جزء می تواند به منظور کاربردهای عبور انتخابی بخارات به کار گرفته شود.

ماهیت بخش پلی اتری که می تواند پلی اتیلن اکساید (PEO) و یا پلی تترا اتیلن اکساید (PTMO) باشد، بیشترین تاثیر را روی خاصیت آب دوستی، میزان تنفس کنندگی<sup>۲</sup> و قابلیت عبوردهی بخار آب دارد. با توجه به بالاتر بودن قطبیت PEO نسبت به PTMO در کوپلیمرهای حاوی PEO، قابلیت عبوردهی بخار آب، بالاتر است و گروه های آب دوست و

1. Breathable  
2. Breathability  
3. Blown Film



شکل ۳- شماتیک دستگاه دمش فیلم



شکل ۴- دستگاه دمش فیلم آزمایشگاهی مورد استفاده

تشکیل فیلم از مرکز لوله، هوا تزریق شده و آن را به صورت حباب شکل داده و خنک می‌کند. تنظیم شدت دمش هوا از پارامترهای فرآیندی مهم و موثر بر ضخامت و یکنواختی فیلم تشکیل شده است. در صورت کم بودن شدت دمش، حباب زمانی طولانی در حالت مذاب باقی مانده و فیلمی غیر یکنواخت حاصل می‌شود. در صورت شدید بودن دمش هوا، در صورتی که ویسکوزیته مذاب پلیمر کم باشد، امکان پاره شدن حباب وجود دارد.

سرعت پیچ و سرعت کشش نیز روی ضخامت فیلم و جهت‌گیری زنجیره‌ها و در نتیجه کریستالیزاسیون و خواص فیلم تأثیر دارند. افزایش سرعت پیچ در

در این روش ابتدا آمیزه پلیمری در یک کیف تغذیه ریخته شده و وارد قسمت اصلی دستگاه (پیچ) که دارای سه ناحیه تغذیه، انتقال و سنجش می‌باشد، می‌گردد. در ناحیه تغذیه مواد دانه‌ای جامد به جلو رانده شده و در ناحیه انتقال، ذوب می‌شوند. در ناحیه سنجش، موادی که کاملاً ذوب شده‌اند، آماده شکل‌گیری شده و پس از عبور از کانال‌های مارپیچ وارد قسمت استوانه‌ای شکل‌دهنده می‌شود و در نهایت به شکل لوله توخالی از دستگاه خارج می‌گردد. لوله خارج شده از دای به صورت دستی به قسمت کشش که از دو غلتک که در خلاف جهت یکدیگر چرخش می‌کنند، هدایت می‌شود. برای

MV3000 با ضخامت‌های تقریباً مشابه را نشان می‌دهد. میزان عبور بخار برای غشاء تهیه شده با چند ضخامت مختلف اندازه‌گیری گردید.

در شکل ۷ میزان عبوردهی بخار اندازه‌گیری شده بر حسب ضخامت برای غشاء تهیه شده PEBAX MV3000 رسم شده است. در این شکل مقادیر بخار عبوری برای غشاء میکرو متخلخل پلی تترا فلورواتیلن (PTFE)، غشاء میکرو متخلخل پلی الفینی [۱۳ و ۱۴] و هم چنین نمونه غشاء خارجی (AKZO) با ضخامت ۲۵ mm مقایسه شده است. به خوبی مشاهده می‌شود که غشاءهای غیر متخلخل از نفوذپذیرترین غشاءهای میکرو متخلخل، قابلیت عبوردهی بالاتری دارند و برای عبوردهی بخار مناسب‌تر می‌باشند. هنگامی که این پارامتر در کنار عدم تخلخل که مشکلات ایجاد رسوب و پرشدن خلل و فرج را حذف می‌نماید، در نظر گرفته شود، جذابیت این نسل از غشاءهای غیر متخلخل تنفس‌کننده بیش از پیش آشکار می‌گردد.

### سیستم ارزیابی آب خروجی از غشاء

با توجه به اینکه غشاء می‌تواند اجزاء یک سیال را به‌طور انتخابی جدا کند، لازم است آزمایشاتی پیش و پس از پدیده تراوش تبخیری جهت ارزیابی غشاء انجام پذیرد. به منظور آنالیز و ارزیابی کیفیت آب خروجی از غشاء، سیستمی مورد نیاز است که بتوان به کمک آن، آب خروجی از غشاء را جمع‌آوری نمود. با توجه به اینکه برپایی سیستم شبنم خورشیدی در مقیاس آزمایشگاهی میسر نبود، سیستم حرارتی مطابق شکل ۸ طراحی و ساخته شد. در این سامانه آب دریا و یا پساب، درون ظرف شیشه‌ای بزرگ استوانه‌ای شکل ریخته می‌شود. سپس روی این ظرف، کاملاً با غشاء پوشانده شده و اطراف غشاء به منظور جلوگیری از خروج بخار از سایر مسیرها با چسب به ظرف محکم متصل می‌گردد.

سرعت کشش و نسبت دمش ثابت، باعث ضخیم‌تر شدن فیلم می‌گردد. همچنین افزایش سرعت کشش در سرعت تولید و نسبت دمش ثابت، باعث نازک‌تر شدن فیلم می‌شود.

اکثر دستگاه‌های موجود دمش فیلم، برای تهیه فیلم از پلیمرهایی مانند پلی پروپیلن و پلی اتیلن طراحی شده‌اند. این نوع پلیمرها در حالت مذاب رفتار ویسکوز از خود نشان می‌دهند، اما کوپلیمر مورد استفاده برای تهیه غشاء دارای رفتار ویسکوالاستیک با خاصیت الاستیسیته بالاست که مشکلاتی را در تنظیم صفحات و یکنواختی فیلم ایجاد می‌کند. پس از بررسی‌های انجام شده و تغییر شرایط فرآیندی برای تولید فیلم مناسب، شرایط زیر به عنوان بهترین حالت در فرآیند تولید فیلم غشاء به کار رفت:

درجه حرارت سه ناحیه پیچ: ۱۷۰، ۱۸۰ و ۱۹۰ °C

سرعت چرخش پیچ: ۳۰ rpm

سرعت کشش غلتک اول: ۸ rpm

سرعت کشش غلتک دوم: ۳ rpm

### بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی غشاء تهیه شده

خواص اندازه‌گیری شده نمونه غشاء ساخته شده در جدول ۲ ارائه شده است.

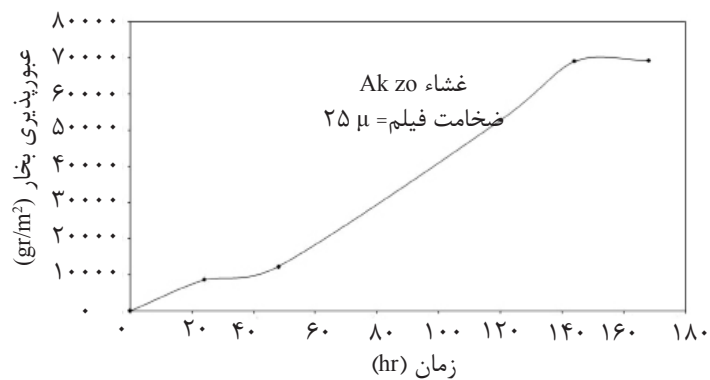
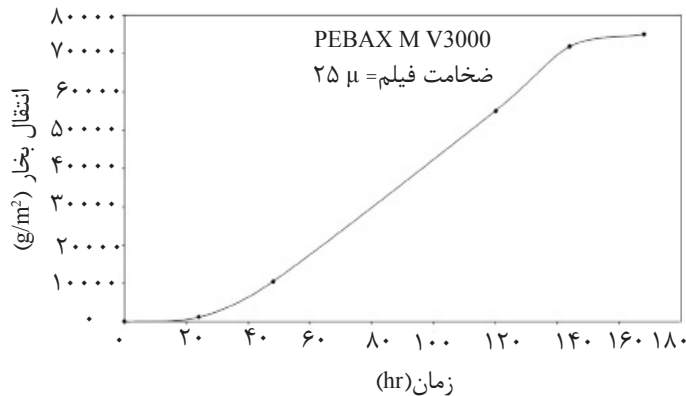
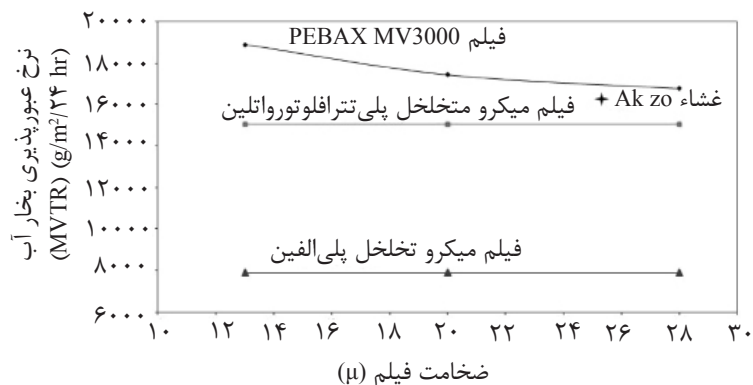
### ارزیابی میزان نفوذپذیری بخار آب از غشاء تهیه شده و نمونه غشاء خارجی

به منظور بررسی میزان نفوذپذیری بخار آب طبق استاندارد ASTM E96 BW ارزیابی در دمای ۳۸ °C به شکل وارونه در حالتی که غشاء و آب با هم در تماس هستند، انجام می‌گیرد. برای این منظور، آب به درون ظرف‌های مخصوص آزمایش ریخته شد و غشاء روی سطح این ظروف متصل شده و ضخامت متوسط فیلم در هر مورد گزارش می‌گردد.

شکل‌های ۵ و ۶ به ترتیب میزان عبور بخار بر حسب تغییرات زمان برای نمونه غشاء خارجی ساخت شرکت AKZO و غشاء تهیه شده PEBAX

جدول ۲ - خواص غشاء ساخته شده

مقدار	واحد اندازه گیری	خواص
۱/۰۲	$g/cm^3$	دانسیته
۱۵۵	$^{\circ}C$	نقطه ذوب
۲۵	MPa	مقاومت کششی
۴۹۲	%	ازدیاد طولی
۳۱۰	MPa	جدول کششی
۲۴	$kg \cdot cm$	مقاومت در برابر ضربه فیلم
۳۵	Shore D	سختی

شکل ۵ - میزان عبور بخار ( $g/m^2$ ) بر حسب تغییرات زمان برای نمونه غشاء خارجی ساخت شرکت AKZOشکل ۶ - میزان عبور بخار ( $g/m^2$ ) بر حسب تغییرات زمان برای غشاء ساخته شده

شکل ۷ - میزان عبورپذیری بخار بر حسب ضخامت برای غشاء تهیه شده PEBAX MV3000، غشاء میکرو متخلخل پلی تترافلورواتیلین و غشاء میکرو متخلخل پلی الفینی





شکل ۸- سیستم ارزیابی آب خروجی از غشاء

میزان مواد نفتی جدول ۳ نتایج آنالیز آب دریا و آب دریای عبوری از غشاء را نشان می‌دهد. مقایسه نتایج، حاکی از کاهش شدید هدایت الکتریکی در آب عبوری از غشاء است که بیان‌گر کاهش یون‌های محلول در آب می‌باشد.

با توجه به اینکه در سیستم تراوش تبخیری دو پدیده تبخیر و نفوذ اتفاق می‌افتد، به منظور مقایسه بررسی عملکرد غشاء عمل تبخیر و کندانس بخارات حاصل از نمونه پساب پالایشگاه گاز سرخون بدون استفاده از غشاء نیز انجام پذیرفت. در جدول ۴ نتایج آنالیز پساب پالایشگاه و آب تقطیر شده در دو حالت با غشاء و بدون غشاء ارائه شده است.

با بررسی و مقایسه نتایج پساب قبل و بعد از تصفیه، میزان بازده تصفیه توسط روش فوق محاسبه گردید که نتایج آن در جدول ۵ مشاهده می‌شود.

با مقایسه نتایج به‌دست آمده از کاربرد دو روش، غشاء در کاهش هدایت الکتریکی، COD و TOC به ترتیب ۹٪، ۷٪ و ۳۶٪ موثرتر می‌باشد.

ظرف مربوطه روی یک حرارت‌دهنده برقی قرار گرفته و دما روی  $80^{\circ}\text{C}$  تنظیم می‌شود. ظرف دوکی شکل که قطر بخش پایینی آن کمی بیشتر از قطر ظرف شیشه‌ای بوده و بخش بالای آن به یک کندانسور متصل است، روی ظرف قرار می‌گیرد. بخارات خروجی از غشاء به سمت بالا هدایت شده و وارد کندانسور می‌شود. نهایتاً بخاراتی که در کندانسور به مایع تبدیل می‌شود، در ظرفی جمع‌آوری می‌گردد.

به منظور ارزیابی غشاء ساخته شده، از آب دریا که از خلیج فارس (منطقه بندرعباس) جمع‌آوری گردید و نیز نمونه‌های پساب پالایشگاه گاز سرخون استفاده شد. آزمون‌های زیر پیش و پس از عبور از غشاء روی نمونه‌های آب خام و محصول انجام پذیرفت.

- آزمایش هدایت الکتریکی جهت تعیین غلظت یا تعداد یون‌ها

- میزان اکسیژن مورد نیاز شیمیایی<sup>۱</sup> (COD) جهت تعیین میزان آلودگی

- تعیین کل کربن آلی<sup>۲</sup> (TOC)

- کل مواد هیدروکربنی<sup>۳</sup> (TPH) جهت تعیین

1. Chemical Oxygen Demand

2. Total Organic Carbon

3. Total Petroleum Hydrocarbon

جدول ۳- نتایج آنالیز آب دریا و آب دریای عبوری از غشاء

مشخصات	واحد اندازه‌گیری	آب دریا	آب عبوری از غشاء
pH	--	۸	۶/۴
هدایت الکتریکی	$\mu\text{mhos/cm}/20^\circ\text{C}$	۷۹۰۰۰	۱۷/۷
COD	mg/l as O <sub>2</sub>	۱۶	۴/۶
TOC	mg/l as C	۲/۳	۱/۲
TPH	mg/l	< ۰/۲	< ۰/۲

جدول ۴- نتایج آنالیز پساب، آب عبوری از غشاء و آب تقطیر شده بدون غشاء

مشخصات	واحد اندازه‌گیری	پساب	پساب تقطیر شده با غشاء	پساب تقطیر شده بدون غشاء
pH	--	۴/۶	۴/۵	۳/۸
هدایت الکتریکی	$\mu\text{mhos/cm}/20^\circ\text{C}$	۶۳۶۰	۶۱	۵۲۵
COD	mg/l as O <sub>2</sub>	۱۴۰۰	۱۷۶	۳۰۴
TOC	mg/l as C	۴۸۰	۸۷	۲۶۰
TPH	mg/l	۳/۴۶	< ۰/۲	< ۰/۲

جدول ۵- نتایج راندمان تصفیه با غشاء و بدون غشاء

پارامترها	واحد اندازه‌گیری	راندمان تصفیه با غشاء، %	راندمان تصفیه بدون غشاء، %
هدایت الکتریکی	ms/cm	۹۹/۰۴	۹۱/۷۵
COD	mg/l	۸۷/۴۳	۷۸/۲۹
TOC	mg/l	۸۱/۸۸	۴۵/۸۳

### نتیجه‌گیری

بررسی‌های انجام شده در پژوهش حاضر نشان داد که غشاء غیر متخلخل تنفس‌کننده پلیمری مورد استفاده در سیستم شبنم خورشیدی از نوع کوپلیمر بلاک پلی اتر پلی آمید بوده و می‌توان آن را از پلیمرهای تولیدی شرکت Arkema تحت نام تجاری (PEBAX) تهیه نمود. ساخت این غشاء توسط روش دمش فیلم انجام گرفت که در روش‌های صنعتی برای تولید فیلم‌هایی با حجم بالا استفاده می‌شود. بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی بیان‌گر مقاومت کششی، ضربه‌ای و ازیاد طولی بالای غشاء است که به ماهیت ترموپلاستیک الاستومری ماده اولیه نسبت داده می‌شود. این خواص برتر یکی از پارامترهای مهم برای گزینش این پلیمر در سیستم شبنم خورشیدی است. زیرا در سیستم خورشیدی، لازم است غشاء حجم زیادی از پساب را درون خود

جای داده و تنش ناشی از وزن آن را تحمل کند. هم چنین مقاومت ضربه‌ای بالا می‌تواند غشاء را در برابر تنش‌های ناگهانی محافظت کرده و از پاره شدن آن و نشست آب جلوگیری کند. نتایج بالای نفوذپذیری این غشاء در برابر بخار آب در مقایسه با غشاءهای متخلخل، بیان‌گر کارایی بالای این غشاء به منظور استفاده در سیستم تراوش تبخیری است. مقایسه نتایج به‌دست آمده از آنالیز پساب نفتی تقطیر شده توسط غشاء در مقایسه با سیستم بدون غشاء، بیان‌گر راندمان بالای تصفیه نسبت به سیستم سنتی تقطیر خورشیدی<sup>۱</sup> می‌باشد. هم چنین با توجه به مقادیر استاندارد [۱۵]، پساب تصفیه شده می‌تواند به منظور مصارف کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد، هر چند به منظور بررسی دقیق‌تر بهتر است آزمایشات تکمیلی در این زمینه صورت پذیرد.

نهایتاً مقایسه غشاء ساخته شده توسط این پروژه با نمونه غشاء خارجی که در پایلوت شب‌نم خورشیدی به کار گرفته شده [۱۶] نشان می‌دهد غشاء ساخته شده دارای راندمان بالاتری است که دلیل آن را می‌توان به درصد بالاتر فاز پلی اتری در کوپلیمر نسبت داد.

### منابع

- [1]. Sluijterman A. C. and Al-Lawati Y., "Opportunities for re-use of produced water around desert oil fields," Abu Dhabi International Conference and Exhibition, Abu Dhabi, United Arab Emirates, pp. 10-13 Oct., 2004.
  - [2]. Zwijnenberg H., Koops G. H., and Wessling M., "Solar driven membrane pervaporation for desalination processes," Journal of Membrane Science, Vol. 250, pp. 235-246, 2005.
  - [3]. Eltawil M. A., Zhengming Z., and Yuan L., "A review of renewable energy technologies integrated with desalination systems," Renewable Sustainable Energy Rev. Vol. 13 pp. 2245–2262, 2009.
  - [4]. Charcosset C. A., "A review of membrane processes and renewable energies for desalination," Desalination 245, pp. 214–231, 2009.
  - [5]. Verbeek P., Joe Straccia J., Zwijnenberg H., Solar Dew®, "The Prospect of Fresh Water in the Desert," Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference, Abu Dhabi, United Arab Emirates, pp. 13-16 Oct. 2002.
  - [6]. Hirayama A., Maegaito M., Kawaguchi M., Ishikawa A., and Sueyoshi M., "Omani oil fields produced water: treatment and utilization," SPE International Petroleum Conference and Exhibition in Mexico, SPE-74413, 2002.
  - [7]. Asadi R. Z., Suja F., Mashhoon F., and Rahimi S., "Feasibility studies for using a solar still on Sarkhon Gas Refinery wastewater recovery," Desalin. Water Treat. 30, pp. 154–160, 2011.
  - [8]. Zarasvand Asadi R., Suja F., Tarkian F., Mashhoon F., and Rahimi S., "Solar desalination of Gas refinery wastewater using membrane distillation process," Desalination, Vol. 291, 2012.
  - [9]. Providing the Key to Prosperity " www.Solardew.com.
  - [10]. Arnold R., Burnett D., and Elphick J., "Managing Water—From Waste to Resource, Oilfield Review," Vol. 16, No. 2, 2004.
  - [11]. Soteris A., Kalogirou, "Seawater desalination using renewable energy sources," Progress in Energy and Combustion Science, Vol. 31, pp. 242–28, 2005.
  - [12]. Pebax Breathable films, Arkema Compony, Products technical data sheets, Pebax website (www.pebax.com).
  - [13]. Gibson P., Rivin D., Rivin C., "Kendrick convection/diffusion test method for porous textiles," International Journal of Clothing Science and Technology, Vol. 12, No. 2, pp. 96-113, 2000.
  - [14]. Chih J., "Evaluation of polymeric membrane for gas separation poly (ether-b-amid) block copolymer by Jennifer," A M.S thesis Waterloo, ontario, Canada, 2002.
- [۱۵]. شفیع‌ی ف.، یزدان‌دوست ع.، رفیعی س.، گزارش عملکرد سازمان حفاظت محیط زیست در دولت نهم شهریور ۱۳۸۴ تا خرداد ۱۳۸۶، "مقادیر استانداردهای خروجی فاضلاب‌های صنعتی و بهداشتی"، ۱۳۸۹.
- [۱۶]. گزارش پروژه "بررسی‌های پایلوتی و امکان‌سنجی استفاده از سیستم شب‌نم خورشیدی در تصفیه پساب‌های نمکی" اجرا و تهیه: پژوهشکده حفاظت پژوهشگاه صنعت نفت، ۱۳۸۴.