

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



شهرودشگاه پلیمر و تروشمی ایران

پژوهشکده علوم

طراحی و ساخت غشا نانوفیلتراسیون بر پایه پلی اترسولفون / پلی دی متیل
سیلوکسان برای جداسازی اتانول از آب به روش تراوش تبخیری

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی صنایع پلیمر

مینا جعفری نسب

استاد راهنما

دکتر جلال برزین

دکتر حمید مؤبدی

استاد مشاور

دکتر حمیدرضا مرتهب

باسپاس از اساتید گرانقدر

جناب آقای دکتر جلال برزین، جناب آقای دکتر حمید مؤبدی و جناب آقای دکتر حمید رضا مرتب
که با بزرگواری مراد سایه لطف و حکمت خود قرار دادند.
افتخار شاکردی شان، همواره مایه مباهت من است.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع
این پایان نامه (رساله) متعلق به پژوهشگاه
پلیمر و پتروشیمی ایران می باشد.

تقدیم به مادر مهربان و پدر عزیزم

دریایی از مهر و آسمانی از محبت

که حضور کرامی شان شواک امید و روشنگر تاریکی هاست...

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست مطالب	هشت
چکیده	۱
فصل اول	
مقدمه	۲
فصل دوم: تئوری	
۱-۲- فرایندهای جداسازی	۵
۱-۱-۲- فیلتراسیون‌های مرسوم	۵
۲-۱-۲- فیلتراسیون‌های غشایی	۶
۲-۲- مزایای فرایندهای غشایی	۷
۳-۲- محدودیت‌های فرایندهای غشایی	۸
۴-۲- فرایندهای جداسازی غشایی	۹
۱-۴-۲- فرایندهای غشایی با نیرو محرکه اختلاف فشار	۱۰
۲-۴-۲- فرایندهای غشایی با نیرو محرکه اختلاف پتانسیل الکتریکی	۱۱
۳-۴-۲- فرایندهای غشایی با نیرو محرکه اختلاف دما	۱۲
۴-۴-۲- فرایندهای غشایی با نیرو محرکه اختلاف غلظت	۱۳
۵-۲- جنس غشا	۱۵
۶-۲- مورفولوژی غشا	۱۵
۱-۶-۲- غشاهای متراکم پلیمری	۱۵
۲-۶-۲- غشاهای متخلخل پلیمری	۱۷
۷-۲- ساخت غشاهای کامپوزیت	۲۴
۸-۲- تراوش تبخیری	۲۵
۱-۸-۲- تاریخچه	۳۱
۲-۸-۲- اصول فرآیند تراوش تبخیری	۳۳
۳-۸-۲- تئوری حاکم بر انتقال جرم در فرآیند تراوش تبخیری	۳۴
۴-۸-۲- مدل حلالیت - نفوذ	۳۵
۵-۸-۲- مزایای فرآیند تراوش تبخیری در صنعت	۴۱

- ۶-۸-۲- کاربرد فرآیند تراوش تبخیری..... ۴۲
- ۷-۸-۲- نیرو محرکه سامانه تراوش تبخیری..... ۴۵
- ۸-۸-۲- عوامل مؤثر بر کارایی غشا در فرآیند تراوش تبخیری..... ۴۵
- ۹-۸-۲- انتخاب غشای مناسب فرآیند تراوش تبخیری..... ۵۰

فصل سوم: تجربی

- ۱-۳- مواد و تجهیزات مورد استفاده در تهیه آزمایشگاهی پایه‌های PES و ارزیابی آن‌ها..... ۵۳
- ۱-۱-۳- مواد اولیه مورد نیاز..... ۵۳
- ۲-۱-۳- تجهیزات مورد استفاده در ساخت غشای متخلخل زیر لایه بر پایه PES..... ۵۷
- ۳-۱-۳- ساخت غشای متخلخل زیر لایه بر پایه PES..... ۵۸
- ۴-۱-۳- اندازه‌گیری تخلخل غشاهای پایه..... ۵۹
- ۵-۱-۳- بررسی آب‌دوستی غشاهای پایه با آزمون زاویه تماس آب..... ۶۰
- ۶-۱-۳- ارزیابی عملکردی غشاهای PES با استفاده از تست اولترافیلتراسیون..... ۶۱
- ۲-۳- مواد و تجهیزات مورد استفاده در تهیه غشاهای تک لایه PDMS و ارزیابی آن‌ها..... ۶۵
- ۱-۲-۳- مواد مورد نیاز..... ۶۵
- ۲-۲-۳- ساخت غشای PDMS..... ۶۸
- ۳-۲-۳- ساخت غشای کامپوزیت PDMS/PES..... ۶۹
- ۴-۲-۳- تجهیزات و آزمون‌های مورد استفاده برای ارزیابی عملکردی غشای کامپوزیت..... ۷۱
- ۵-۲-۳- معرفی عوامل مهم در ارزیابی عملکرد تراوش تبخیری..... ۷۷
- ۳-۳- آزمون میکروسکوپ الکترونی..... ۸۰
- ۴-۳- آزمون میکروسکوپی با نیروی اتمی..... ۸۰
- ۵-۳- متوسط ابعاد حفره‌ها و چگونگی پخش آنها..... ۸۱

فصل چهارم: نتایج و بحث

- ۱-۴- ارزیابی غشاهای پایه PES..... ۸۵
- ۱-۱-۴- ارزیابی مورفولوژی غشاهای PES توسط تصاویر حاصل از SEM..... ۸۵
- ۲-۱-۴- بررسی مورفولوژی سطح غشا با استفاده از تصاویر حاصل از AFM..... ۸۶
- ۳-۱-۴- بررسی آب‌دوستی غشاهای پایه با آزمون تعیین زاویه تماس آب..... ۸۹
- ۴-۱-۴- محاسبه تخلخل غشای پایه..... ۹۰
- ۵-۱-۴- ارزیابی عملکردی غشاهای PES با استفاده از تست اولترافیلتراسیون آب خالص..... ۹۱

۹۲	.....PDMS/PES کامپوزیت	۲-۴- ارزیابی ساختاری غشاهای کامپوزیت
۹۲	.....FTIR	۲-۴-۱- بررسی ایجاد پیوند عرضی غشاهای پلی‌دی‌متیل‌سیلوکسان توسط طیف‌سنجی
۹۴	.....SEM	۲-۴-۲- بررسی مورفولوژی غشاهای کامپوزیت توسط تصاویر
۹۵	.....AFM	۲-۴-۳- بررسی مورفولوژی سطح غشاهای کامپوزیت توسط تصویربرداری
۱۰۰	.....AFM	۲-۴-۴- محاسبه متوسط ابعاد حفره‌ها و گستره پخش ابعاد حفره با استفاده از تصاویر
۱۱۱	.....آب / اتانول	۴-۳- ارزیابی عملکرد غشاهای کامپوزیت PDMS/PES در سیستم تراوش تبخیری برای جداسازی
۱۱۱	.....	۴-۳-۱- پارامترهای عملیاتی مؤثر در سیستم تراوش تبخیری
۱۲۱	.....	۴-۳-۲- بررسی کارایی غشاهای کامپوزیت PDMS با پایه‌های مختلف در سیستم تراوش تبخیری
۱۲۲	.....	۴-۳-۳- بررسی کارایی غشاهای کامپوزیت همراه با فیلر آب‌گریز در لایه فعال و پایه‌های ثابت در سیستم تراوش تبخیری
۱۲۵	.....PDMS/PES.PVP	۴-۳-۴- بررسی اثر ویسکوزیته PDMS بر کارایی غشای کامپوزیت

فصل پنجم: نتیجه‌گیری

۱۲۸	.....	۵-۱- نتیجه‌گیری
۱۳۰	.....	۵-۲- پیشنهادات
۱۳۲	.....	مراجع

فهرست اشکال

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۶	شکل ۱-۲- تصویری از یک فرآیند غشایی.....
۷	شکل ۲-۲- تقسیم‌بندی فرآیندهای غشایی بر اساس اندازه ذرات جداشونده.....
۱۲	شکل ۳-۲- غشاهای تبادل یونی مورد استفاده در فرآیند الکترودیالیز.....
۱۴	شکل ۴-۲- شمای ساده‌ای از فرآیند تراوش تبخیری.....
۱۶	شکل ۵-۲- غشای متراکم متقارن.....
۱۶	شکل ۶-۲- غشای کامپوزیت.....
۱۷	شکل ۷-۲- ساختار غشا نامتقارن.....
۱۸	شکل ۸-۲- عملکرد غشا متقارن (A) و نامتقارن (B).....
۲۳	شکل ۹-۲- شمایی از ساخت غشای الیاف توخالی با روش خشک-تریسی.....
۲۷	شکل ۱۰-۲- فرآیند تراوش تبخیری.....
۳۰	شکل ۱۱-۲- شمایی از فرآیند ترکیبی تقطیر/ تراوش تبخیری برای جداسازی مخلوط آزنوتروپ.....
۳۰	شکل ۱۲-۲- شمایی از فرآیند ترکیبی تخمیر/ تراوش تبخیری برای جداسازی اتانول.....
۳۲	شکل ۱۳-۲- تاریخچه فرآیند تراوش تبخیری.....
۳۴	شکل ۱۴-۲- شمایی از سه مرحله انتقال جرم داخل غشا.....
۴۶	شکل ۱۵-۲- تأثیر فشار بر تراوش تبخیری برای مخلوط اتانول/ بنزن.....
۴۶	شکل ۱۶-۲- رابطه کلی فلاکس و انتخاب‌پذیری با تغییر دما برای مخلوط بنزن/ سیکلوهگزان.....
۴۷	شکل ۱۷-۲- تأثیر غلظت خوراک بر جداسازی آلی- آلی بنزن/ سیکلوهگزان.....
۴۸	شکل ۱۸-۲- نواحی ایجاد شده در غشای پلیمری تحت جدایش خوراک مایع.....
۴۹	شکل ۱۹-۲- واحد غشایی همراه با ایجاد تلاطم در خوراک در تماس با غشا.....
۵۱	شکل ۲۰-۲- پارامتر حلالیت غشا PPO که در دو بعد $\delta_p - \delta_H$ رسم شده است.....
۵۲	شکل ۲۱-۲- نمایش پارامتر حلالیت با استفاده از بردار.....
۵۴	شکل ۱-۳- پولک‌های پلی اترسولفون.....
۵۶	شکل ۲-۳- آروزیل.....
۵۷	شکل ۳-۳- تصویر فیلم کش استفاده شده در پروژه.....
۵۹	شکل ۴-۳- شماتیک فرآیند انعقاد.....
۶۰	شکل ۵-۳- زاویه تماس یک نمونه مایع با سطح.....
۶۲	شکل ۶-۳- شمایی از سل در حالت باز به همراه غشا.....

شکل ۳-۷-نمایی از سل در حالت بسته	۶۲
شکل ۳-۸-نمایی شماتیک از مجموعه کامل تست غشا	۶۳
شکل ۳-۹-نمایی از مجموعه کامل تست غشا	۶۳
شکل ۳-۱۰-ساختار شیمیایی TEOS	۶۶
شکل ۳-۱۱-ساختار شیمیایی DBTL	۶۶
شکل ۳-۱۲-سیستم تراوش تبخیری مورد استفاده	۷۱
شکل ۳-۱۳-سل خوراک	۷۲
شکل ۳-۱۴-مدول غشا	۷۳
شکل ۳-۱۵-(۱) تله بخار و (۲) فلاسک نیتروژن مایع	۷۴
شکل ۳-۱۶-پمپ خالص	۷۶
شکل ۳-۱۷-دستگاه دانسیته متر	۷۶
شکل ۳-۱۸-تصویری شماتیک از پروفایل در نواحی مختلف سطح غشا	۸۳
شکل ۴-۱-تصاویر SEM غشاهای پایه	۸۷
شکل ۴-۲-تصاویر سه بعدی AFM غشاهای پایه	۸۸
شکل ۴-۳-پارامتر زبری متوسط غشاهای پایه	۸۹
شکل ۴-۴-زاویه تماس آب (θ) با غشاهای پایه	۹۰
شکل ۴-۵-شار آب خالص عبوری از غشاهای پایه در تست اولترافیلتراسیون	۹۱
شکل ۴-۶-مکانیسم واکنش پیوند عرضی غشای پلی دی متیل سیلوکسان	۹۲
شکل ۴-۷-اطلاعات FTIR غشا PDMS قبل (a) و بعد (b) از واکنش پیوند عرضی	۹۳
شکل ۴-۸-تصویر SEM (۱) غشای PDMS.Lv/PES.PVP (۲) PDMS/PES.PVP	۹۴
شکل ۴-۹-تصاویر سه بعدی غشاهای کامپوزیت با پایه های مختلف	۹۶
شکل ۴-۱۰-محل اتصال دو لایه ی غشای کامپوزیت	۹۷
شکل ۴-۱۱-تصویر سه بعدی غشاهای (۱) PDMS/PES.PVP (۲) PDMS.Lv /PES.PVP	۹۸
شکل ۴-۱۲-تصاویر سه بعدی غشاهای کامپوزیت حاوی فیبر آب گریز	۹۹
شکل ۴-۱۳-زبری متوسط غشاهای کامپوزیت با در صد فیبر SiO_2 مختلف در لایه PDMS	۱۰۰
شکل ۴-۱۴- نمودار توزیع لگاریتم نرمال- احتمال سایز حفرات غشاهای پایه، اندازه گیری شده از تصاویر AFM	۱۰۲
شکل ۴-۱۵- نمودار توزیع لگاریتم نرمال- احتمال سایز حفرات غشاهای کامپوزیت با پایه های متفاوت	۱۰۳
شکل ۴-۱۶- نمودار توزیع لگاریتم نرمال- احتمال سایز حفرات غشاهای کامپوزیت با وسکوزیته متفاوت لایه PDMS	۱۰۴
شکل ۴-۱۷- نمودار توزیع لگاریتم نرمال- احتمال سایز حفرات غشاهای کامپوزیت با درصدهای مختلف فیبر در لایه PDMS	۱۰۵

- شکل ۴-۱۸- منحنی‌های تابع توزیع احتمال برای غشاهای پایه..... ۱۰۷
- شکل ۴-۱۹- منحنی‌های تابع توزیع احتمال برای غشاهای کامپوزیت با پایه‌های متفاوت..... ۱۰۸
- شکل ۴-۲۰- منحنی‌های تابع توزیع احتمال برای غشاهای کامپوزیت با وسکوزیته متفاوت لایه PDMS..... ۱۰۹
- شکل ۴-۲۱- منحنی‌های تابع توزیع احتمال برای غشاهای کامپوزیت با درصد‌های مختلف فیلر در لایه PDMS..... ۱۱۰
- شکل ۴-۲۲- تأثیر غلظت خوراک بر فاکتور جداسازی..... ۱۱۲
- شکل ۴-۲۳- تأثیر غلظت خوراک بر شار کلی..... ۱۱۲
- شکل ۴-۲۴- تأثیر غلظت خوراک بر شار اتانول..... ۱۱۳
- شکل ۴-۲۵- تأثیر غلظت خوراک بر شار آب..... ۱۱۳
- شکل ۴-۲۶- اثر افزایش غلظت اتانول بر تورم غشای PDMS..... ۱۱۴
- شکل ۴-۲۷- تغییر در غلظت اتانول در محصول تراوش شده با تغییر غلظت اتانول در خوراک..... ۱۱۵
- شکل ۴-۲۸- اثر دما روی فاکتور جداسازی..... ۱۱۵
- شکل ۴-۲۹- اثر دما روی شار کلی..... ۱۱۷
- شکل ۴-۳۰- اثر دما روی شار اتانول..... ۱۱۷
- شکل ۴-۳۱- اثر دما روی شار آب..... ۱۱۸
- شکل ۴-۳۲- منحنی آرنیوس شار اتانول، آب و شار کلی بر حسب معکوس دمای مطلق..... ۱۱۹
- شکل ۴-۳۳- تغییر آب‌دوستی و آب‌گریزی سطح مواد با تغییر زبری سطح (r)..... ۱۲۱
- شکل ۴-۳۴- اثر افزایش فیلر آب‌گریز در لایه فعال غشای کامپوزیت روی فاکتور جداسازی..... ۱۲۲
- شکل ۴-۳۵- اثر افزایش فیلر آب‌گریز در لایه فعال غشای کامپوزیت روی شار کل سیستم..... ۱۲۳
- شکل ۴-۳۶- اثر افزایش فیلر آب‌گریز در لایه فعال غشای کامپوزیت روی شار اتانول..... ۱۲۳
- شکل ۴-۳۷- اثر افزایش فیلر آب‌گریز در لایه فعال غشای کامپوزیت روی شار آب..... ۱۲۴
- شکل ۴-۳۸- فاکتور جداسازی غشاهای کامپوزیت با تفاوت در ویسکوزیته لایه فعال..... ۱۲۵
- شکل ۴-۳۹- شار کلی غشاهای کامپوزیت با تفاوت در ویسکوزیته لایه فعال..... ۱۲۶
- شکل ۴-۴۰- شار اتانول غشاهای کامپوزیت با تفاوت در ویسکوزیته لایه فعال..... ۱۲۶
- شکل ۴-۴۱- شار آب غشاهای کامپوزیت با تفاوت در ویسکوزیته لایه فعال..... ۱۲۷

فهرست جدول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲- پدیده‌های انتقال فرآیندهای جداسازی	۹
جدول ۲-۲- تقسیم بندی فرایندهای غشایی بر اساس نیرو محرکه	۱۰
جدول ۲-۳- مقایسه هزینه آب زدایی مخلوط اتانول (۹۴٪) به روش تقطیر آزنوتروپی و روش تراوش تبخیری	۲۸
جدول ۲-۴- پارامتر حلالیت هانسن مواد مختلف	۵۲
جدول ۳-۱- مشخصات غشاهای پایه	۵۹
جدول ۴-۱- تخلخل غشاهای پایه	۹۰
جدول ۴-۲- زبری متوسط غشاهای کامپوزیت با پایه‌های مختلف	۹۷
جدول ۴-۳- متوسط سایز حفره و انحراف معیار برای غشاهای مختلف	۱۰۶
جدول ۴-۴- انرژی اکتیواسیون تراوش اجزا از میان غشای PDMS/PES.PVP و اندازه مولکول اجزا	۱۲۰
جدول ۴-۵- مشخصات و عملکرد غشاهای کامپوزیت PDMS با پایه‌های مختلف	۱۲۱

چکیده

تراوش تبخیری یکی از مهم ترین و مشکل ترین فرآیندهای جداسازی غشایی است که در آن غلظت کم ماده مورد نظر همراه با انجام یک تغییر فاز از محلول خوراک جدا می گردد. استفاده از غشاهای نانوفیلتراسیون به دلیل خصوصیات ویژه در جداسازی محلولهای آب/ اتانول شامل شار بالا، نفوذپذیری و استحکام مناسب غشاء در مقابل خلاء موجود در سیستم گزینه مناسبی جهت سیستم تراوش تبخیری می باشد.

هدف از این پروژه طراحی و ساخت غشاهای کامپوزیت بر پایه ی پلی اترسولفون/ پلی دی متیل سیلوکسان برای جداسازی اتانول از آب به روش تراوش تبخیری است که بدین منظور ابتدا چند ساختار مختلف از PES و افزودنی های مختلف (PEG, PVP, NaCl, SiO₂) ساخته شد و پس از آزمایش اولترافیلتراسیون برای تعیین فلاکس آب خالص و آزمایش هایی از قبیل تعیین تخلخل، آب دوستی و تعیین ساختار غشا با استفاده از تصاویر SEM و AFM، بهترین نتایج به غشای PES.PVP تعلق گرفت و این غشا به عنوان زیر لایه اصلی انتخاب گردید.

سپس ساخت غشای PDMS به عنوان لایه فعال غشای کامپوزیت، بهینه شده و ساختارهای مختلفی از ۲ نوع PDMS با ویسکوزیته متفاوت و PDMS با درصد های مختلفی از فیلر SiO₂ آب گریز ساخته شدند. در این مرحله نیز با استفاده از تصاویر SEM و AFM بررسی ساختار سطح غشا انجام شده و میزان زبری سطح نیز محاسبه شد. همچنین متوسط ابعاد حفره ها و توزیع ابعاد حفره ها توسط نتایج حاصل از AFM و با استفاده از نرم افزارهای ریاضی تعیین و نمودار آنها ترسیم شد. نتایج حاصل حاکی از توفیق پروژه در ساخت غشاهایی با ابعاد نانو (غشای نانوفیلتراسیون) می باشد.

نهایتاً کارایی غشاهای کامپوزیت طراحی شده، توسط فرآیند تراوش تبخیری به منظور جداسازی اتانول از آب مورد ارزیابی قرار گرفت. در بررسی اثر پارامتر عملیاتی غلظت خوراک، افزایش شار کلی تراوش، شار اتانول و شار آب و کاهش فاکتور جداسازی در برابر افزایش غلظت اتانول در خوراک مشاهده شد. همچنین نتایج آزمایش ها نشان داد که افزایش پارامتر عملیاتی دما باعث بهبود عملکرد غشا می شود به نحوی که افزایش دمای خوراک موجب افزایش همزمان انتخاب پذیری و شار تراوش می گردد. علاوه بر این مشاهده شد که شار تراوش طبق رابطه آرنیوس با دما ارتباط دارد و از این رابطه، انرژی اکتیواسیون تراوش تبخیری برای اتانول ۳۷/۶۶ KJ/mol و برای آب ۳۲/۸۱ KJ/mol بدست آمد. که در مقایسه با کارهای مشابه نشان می دهد که فرآیند انرژی کمتری را صرف نموده است.

در ارزیابی کارایی غشاهای کامپوزیت با پایه های مختلف در سیستم تراوش تبخیری، به علت ثابت بودن سطح، فاکتور جداسازی غشاها تفاوت چشمگیری با یکدیگر نداشتند اما غشای PDMS/PES.PEG بالاترین میزان شار تراوش را از خود عبور داد.

در بین غشاهای کامپوزیت حاوی فیلر آب گریز SiO₂ که در سیستم تراوش تبخیری مورد سنجش قرار گرفت، غشای حاوی ۵ درصد فیلر توانست بالاترین فاکتور جداسازی را از خود نشان دهد.

بررسی تأثیر ویسکوزیته PDMS نشان داد که هرچه ویسکوزیته کمتر باشد، غشای کامپوزیت حاصل کارایی بالاتری در تراوش تبخیری نشان خواهد داد.

فصل اول :

مقدمه

از گذشته‌های دور مردمان به طرق گوناگون با فرآیندهای جداسازی برخورد داشته‌اند و از این علم، در صنایع مختلف بهره‌جسته‌اند. اصولاً جداسازی براساس وجود تفاوت بین اجزاء مختلف صورت می‌پذیرد. این تفاوت امکان دارد براساس ساختار فیزیکی و یا براساس طبیعت شیمیائی اجزاء مانند تفاوت در جرم، دانسیته، ابعاد، شکل، فشار بخار، سرعت نفوذ، تفاوت در حلالیت و یا خصوصیات جذب باشد که در یک فرآیند جداسازی از این خصوصیات توأمآ و یا به طور مجزا می‌توان استفاده نمود. به طور کلی فرآیندهای جداسازی به سه دسته کلی جداسازی توسط انتقال جرم بین فازها، جداسازی توسط برهم‌کنش شیمیائی و جداسازی توسط انتقال جرم از درون یک فاز تقسیم می‌گردند.

فرآیندهای جداسازی غشائی از مهمترین فرآیندهای جداسازی از نوع انتقال جرم در درون یک فاز بوده که برای انجام این فرآیندها نیازی به صرف انرژی زیاد حرارتی و یا استفاده از مواد شیمیائی که عموماً مورد نیاز فرآیندهای جداسازی می‌باشد، وجود ندارد. در این فرآیندها غشا به عنوان لایه‌ای نازک که می‌تواند اجزاء یک سیال را به طور انتخابی از آن جدا نماید و به عبارتی دیگر، به عنوان فاز سومی که انتقال جرم بین فازها را کنترل می‌نماید، جدا سازی اجزاء موجود در سیال را امکان‌پذیر می‌نماید. بر اساس نیروی محرکه فرآیند و اندازه اجزاء جداشونده، فرآیندهای مختلف غشائی تعریف می‌گردند.

کاربرد اصلی غشاها در زمینه جداسازی، بازیافت و خالص سازی می‌باشد، اگرچه کاربردهای مهم دیگری نیز در زمینه‌های خاص مانند راکتورها (پیل‌های الکتروشیمیایی و راکتورهای غشایی)، نیروگاه‌ها (باتری‌ها،

پیل‌های سوختی) و حسگرها دارند. غشاها در زمینه جداسازی کاربردهای گسترده‌ای در جداسازی گازها، اسمز معکوس، اولترافیلتراسیون، تراوش تبخیری و دیالیز دارند.

در فرآیند جداسازی گاز، دو طرف غشا (سمت خوراک و نفوذ کننده) شامل یک گاز یا بخار می‌باشد. در این فرآیند غشایی، نرخ نفوذ بخار با اختلاف فشار جزئی در طول غشا برابر می‌باشد.

اسمز معکوس، عموماً در محلول‌هایی که حاوی یک حل شونده با وزن مولکولی کم می‌باشند (اغلب نمک)، استفاده می‌شوند. این فرآیند همچنین برای محلول‌هایی که شامل مقادیر بسیار کمی حل شونده آلی هستند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. فرآیند مذکور شامل کاربرد فشار در مخلوط‌های مایع، به عنوان نیروی محرکه می‌باشد.

تراوش تبخیری یک فرآیند غشایی است که در آن، سمت خوراک یک مایع است و سمت نفوذ کننده به علت به کار گرفتن فشاری بسیار کم، بخار می‌باشد.

دیالیز یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های غشایی است که اصلی‌ترین کاربرد آن انجام عملیات همودیالیز بیماران کلیوی می‌باشد. در این فرآیند، خون بیمار کلیوی که به طور طبیعی، توسط کلیه قادر به دفع مواد زائد از خود نمی‌باشد توسط محیط غشا تصفیه و مواد زائدی چون اوره، اسید اوریک، کراتینین و آب اضافه از آن دفع می‌گردد. این فرآیند بر اساس تفاوت ابعاد ذرات و با نیروی محرکه اختلاف غلظت بین محیط خون و محلول دیالیز کننده انجام می‌شود.

در این میان فرآیند تراوش تبخیری به علت تغییر فازی که در آن رخ می‌دهد از سایر روش‌های جداسازی غشایی متفاوت‌تر به نظر می‌رسد. مزیت این روش نسبت به سایر روش‌های غشایی علاوه بر هزینه‌های پایین فرآیند، آن است که مخلوط‌های مایع را بر اساس اندازه ذرات جدا نمی‌کند، بلکه جداسازی به علت تفاوت در حلالیت اجزا تشکیل دهنده خوراک صورت می‌گیرد.

سیستم‌های جداسازی غشایی از مهم‌ترین ابزارهای بهینه‌سازی تولید و جداسازی الکل حاصل از فرایندهای مختلف از جمله تخمیر زیستی^۱، جهت استفاده در مصارف پزشکی و تولید سوخت‌های زیستی است. علاوه بر امکان افزایش میزان تولید اتانول، دستیابی به خلوص بالا (بیش از ۹۹٪) و قابلیت استخراج همزمان اتانول تولید شده در فرآیندهای ترکیبی از مزایای استفاده از فرآیندهای غشایی در این تکنولوژی می‌باشد. تراوش تبخیری غشایی نوید بخش‌ترین فرآیند موجود جهت بهینه‌سازی و جداسازی پیوسته اتانول به شمار می‌رود. استفاده از غشاها نانوفیلتر به دلیل خصوصیات ویژه در جداسازی محلول‌های آب/ اتانول شامل

¹ Biological Fermentation

شار بالا، نفوذپذیری و استحکام مناسب غشا (در مقابل حلال موجود در سیستم)، گزینه مناسبی جهت استفاده در سیستم تراوش تبخیری است.

در این پروژه غشای کامپوزیت دو لایه پلی اترسولفون / پلی دی متیل سیلوکسان جهت جداسازی آب / اتانول ساخته شد. برای هر لایه جهت بهبود کارایی غشا طراحی خاصی صورت گرفت و از افزودنی های آلی و غیر آلی آب دوست و یا آب گریز به تناسب ویژگی مورد نظر استفاده شد. موارد ذیل در پروژه مورد بررسی قرار می گیرد:

در فصل دوم، پس از ذکر مقدماتی بر فرآیندهای جداسازی، مخصوصاً فرآیندهای جداسازی غشائی، مزایا و محدودیت های این فرآیند پرداخته می شود. سپس به ساختارهای مختلف غشا و روش های تهیه آنها اشاره شده و در ادامه، روش جدایش فازی پدیده انعقاد به عنوان پدیده اصلی ساخت غشا از محلول های پلی اترسولفون معرفی می گردد. همچنین عوامل موثر بر کارایی و ساختار غشاها معرفی می شوند. همچنین فرآیند تراوش تبخیری و جزئیات آن بررسی می شود. در ادامه مروری بر فعالیت های مرتبط انجام شده با این پروژه صورت گرفته است. در انتهای فصل نیز مروری بر اهداف و فعالیت های انجام شده در این پروژه خواهیم داشت.

در فصل سوم، مشخصات پلیمر و انواع افزودنی های آلی و غیر آلی بکار برده شده در ساخت غشاها، آزمون های انجام شده و مشخصات تجهیزات set up تراوش تبخیری ارائه می گردد.

در فصل چهارم، ابتدا به ارزیابی کارایی غشای کامپوزیت ساخته شده در فرآیند تراوش تبخیری پرداخته و سپس به منظور بررسی ساختار غشاها، تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) ارائه می شود و مورد بحث قرار می گیرد. همچنین برای بررسی بیشتر ساختار غشا تصویربرداری با میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) انجام پذیرفته و نتایج آزمون AFM مورد بحث قرار می گیرد. در ادامه متوسط ابعاد حفره ها و توزیع سایز حفرات محاسبه، ارائه و بررسی می گردد.

به منظور بررسی آبدوستی غشاها نتایج آزمون زاویه تماس با آب ارائه و بررسی می شود. نتایج آزمون های اولترافیلتراسیون آب خالص روی غشاها در صفحه ای ذکر گردیده و بررسی می شود.

در فصل پنجم به ذکر جمع بندی و نتیجه گیری کلی اختصاص دارد. پس از آن پیشنهادات به منظور ادامه تحقیقات و مراجع استفاده شده ارائه می گردد.

فصل دوم:

تئوری

۲-۱- فرایندهای جداسازی

طبق یک دسته‌بندی اولیه، فرایندهای جداسازی بر اساس فازی که مواد جدا شونده در آن قرار دارند به جداسازی مایع-مایع و جداسازی جامد-مایع تقسیم‌بندی می‌شوند [۱]. یک دسته از فرایندهای جداسازی جامد-مایع فرایندهای فیلتراسیون می‌باشند که جهت جداسازی اجزاء مختلف از درون مایعات به طور گسترده در صنایع و آزمایشگاهها، مورد استفاده قرار می‌گیرند. این فرایندها به دو گروه عمده فیلتراسیون‌های مرسوم و فیلتراسیون‌های غشائی تقسیم می‌گردند [۲].

۲-۱-۱- فیلتراسیون‌های مرسوم

این فرایندها عموماً برای جداسازی ذرات جامد از خوراک مایع و یا جداسازی ذرات مایع و جامد از خوراک گاز مورد مصرف واقع می‌شوند. جداسازی از طریق عبور خوراک از یک لایه متخلخل که عمدتاً کاغذ، پارچه، پلیمر و یا بسترهای جامد فشرده می‌باشند، انجام می‌پذیرد. از جمله خواص عمومی این لایه‌ها، مقاومت شیمیائی، استحکام مکانیکی مناسب و برهم کنش کم بستر با ذرات جامد می‌باشد. در این گونه فرایندها عموماً ذرات جامد قابلیت عبور از بستر را نداشته و به فاز عبور کرده از بستر، فیلتر شده گویند. این فرایندها به دو دسته عمده تقسیم می‌گردند.

الف) فیلتراسیون سطحی

یک فرایند غربالی می‌باشد که در آن مایعی همراه ذرات جامد به سمت بستر ارسال می‌گردد. مایع از بستر عبور نموده، ولی ذرات جامد در سطح بستر باقی می‌مانند و با مرور زمان، احتمال ایجاد لایه‌ای از ذرات بر

روی بستر وجود دارد. تا زمانی که لایه مذکور تخلخل لازم جهت عبور مایع را داشته باشد فیلتراسیون قابل انجام خواهد بود اما به مرور زمان جریان مایع عبوری در واحد زمان کاهش می‌یابد [۳].

(ب) فیلتراسیون عمقی

در این حالت مایع از بستر عبور کرده و ذرات جامد در عمق بستر باقی می‌مانند. به مرور زمان که ذرات جامد در بستر زیادتر شوند، جهت عبور بهتر جریان باید فشار عملیاتی را افزایش داد.

۲-۱-۲- فیلتراسیون غشایی

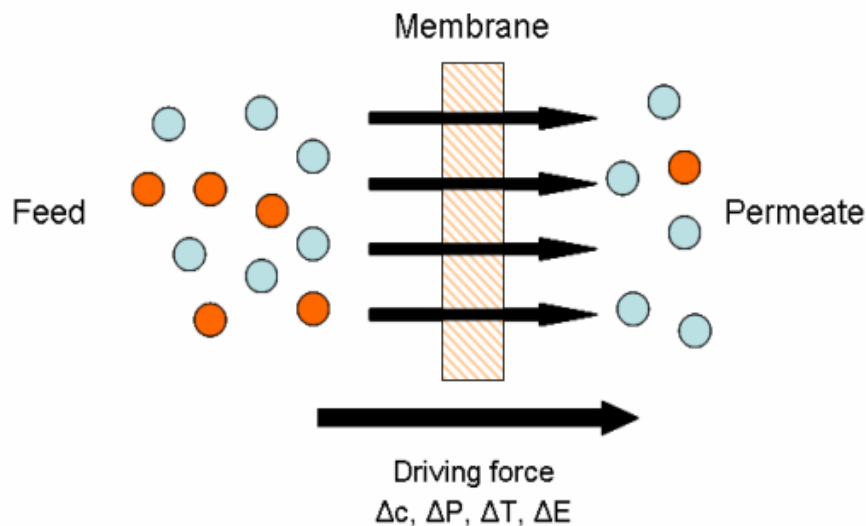
غشا می‌تواند به سه صورت تعریف شود:

۱- یک فاز میانی که دو فاز را از هم جدا کرده یا به عنوان یک مانع فعال یا غیر فعال در برابر عبور مواد بین فازها عمل می‌کند.

۲- به عنوان فاز سوم، انتقال جرم ذرات را کنترل می‌کند.

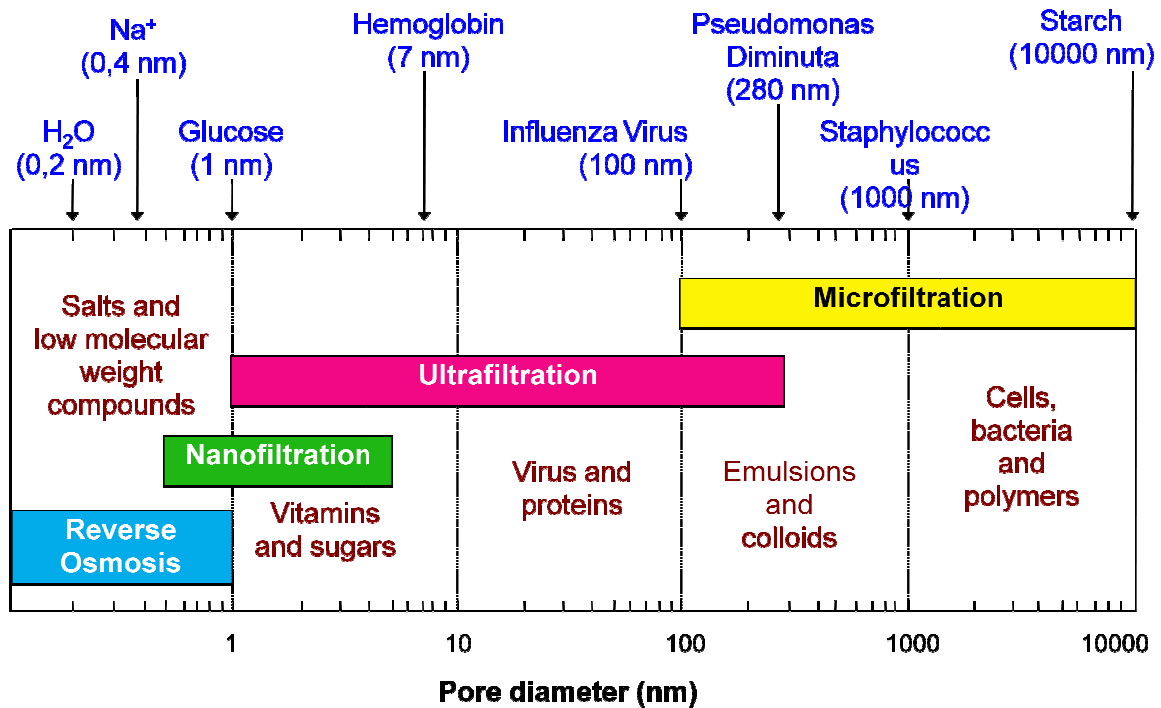
۳- لایه ای که نوعی از ذرات می‌توانند سریع تر از بقیه از آن عبور کنند.

از بین این سه تعریف سوم جامعتر است و تطابق بیشتری با مفهوم جداسازی نسبی ذرات دارد. طبق این تعریف غشا فازی میانی است که اجزای مختلف با شدت تراوش پذیری متفاوت از آن عبور می‌کنند [۴]. شکل ۱-۲ تصویری از یک فرآیند غشایی را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲. تصویری از یک فرآیند غشایی [۱]

همان گونه که مشاهده می شود، بعضی از اجزاء توانائی عبور از غشاء را دارند و بعضی قابلیت عبور را ندارند، به همین جهت فرایندهای غشائی بر اساس ابعاد موادی که از یکدیگر جدا می شوند، طبقه بندی می گردند. شکل ۲-۲ محدوده فرایندهای غشائی بر اساس ابعاد ذرات را نشان میدهد [۱].



شکل ۲-۲- تقسیم بندی فرآیندهای غشایی بر اساس اندازه ذرات جداشونده [۱]

۲-۲- مزایای فرآیندهای غشائی [۵-۶]

از مزایای مهم فرآیندهای غشایی می توان موارد ذیل را نام برد:

- (۱) این فرآیندها قابلیت جداسازی و تغلیظ خوراک را در محدوده وسیعی از ذرات با جنس و ابعاد مختلف در صنایع گوناگون دارا می باشند.
- (۲) عموماً تغییر فازی در خوراک و محصول صورت نمی پذیرد.
- (۳) برای انجام این فرآیندها صرف انرژی زیادی لازم نیست.
- (۴) برای جداسازی در دمای اتاق و یا دماهای پایین با مشکلی مواجه نبوده و بنابراین برای جداسازی مواد حساس به دما مانند صنایع داروئی، غذایی و بیوتکنولوژیکی کاربرد دارند.

- (۵) با انجام این فرآیندها در مقیاس آزمایشگاهی، توسعه دادن فرآیند به مقیاس صنعتی^۱، نسبتاً ساده می‌باشد.
- (۶) برای نصب دستگاههای این فرآیندها، حجم زیادی در نظر گرفته نمی‌شود. به عبارتی سطح زیادی از غشا، در حجم کمی قابل استفاده می‌باشد.
- (۷) غشاها و محفظه‌های نگهداری آنها، به اشکال و ابعاد مختلفی قابل تهیه می‌باشند. بنابراین با اکثر محدودیت‌ها، قابلیت سازگار شدن را دارند.
- (۸) از آنجا که ضخامت غشاها بسیار کم می‌باشد، انتقال جرم در آن با سرعت انجام پذیرفته و نسبت به فرآیندهای دیگر جداسازی، از سرعت و کارایی خوبی برخوردار می‌باشند.
- (۹) جداسازی ذرات از محلول‌های بسیار رقیق کاملاً مقدور می‌باشد.
- (۱۰) این فرآیندها قابل ترکیب با دیگر فرآیندهای جداسازی بوده و باعث افزایش کارایی جداسازی می‌گردند.
- (۱۱) تعدادی از فرآیندهای جداسازی، فقط توسط غشا امکان پذیر می‌باشند [۵-۶].

۲-۳- محدودیت‌های فرآیندهای غشایی

علی‌رغم مزایای قابل توجهی که کاربرد این تکنولوژی نسبت به سایر روش‌های جداسازی دارد، فرآیندهای غشایی عمدتاً با مشکلاتی نیز مواجه هستند که کاربرد صنعتی آنها را در برخی از موارد محدود می‌کند. در این قسمت مهم‌ترین محدودیت‌های این فرآیندها به اختصار معرفی می‌شوند [۵].

(۱) پلاریزاسیون غلظتی، عبور مواد از میان غشا باعث ایجاد یک اختلاف غلظت در سمت خوراک و در نزدیکی سطح غشا می‌گردد. به این صورت که تراکم مولکول‌های نگه داشته شده در سمت غشا زیاد شده و این امر باعث می‌شود که میزان تراوش از غشا و در نتیجه کارایی غشا کاهش یابد.

(۲) گرفتگی غشا، در پلاریزاسیون غلظتی، مولکول‌های نگه داشته شده روی سطح غشا رسوب می‌کنند و یا جذب آن می‌شوند و بدین ترتیب با مرور زمان میزان تراوش سیال از غشا به طور چشمگیری کاهش می‌یابد. در واقع گرفتگی غشا زمانی اتفاق می‌افتد که مولکول‌های جریان خوراک باعث مسدود شدن راه عبور شوند. بنابراین فرآیندهای پاک‌سازی یا تعویض غشا باید صورت پذیرد.

¹ Scale-Up