



دانشکده فنی و مهندسی
پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی شیمی

شبیه سازی و تهیه غشای کامپوزیتی نانو اکسید روی

– پلی آمید جهت خالص سازی الکل نوع دوم

پژوهشگر
محمد مدملی

استاد راهنما
دکتر صادق مرادی

استاد مشاور
دکتر اعظم مرجانی
دکتر محمود سلیمی

تابستان ۱۳۹۲

بسم الله الرحمن الرحيم

شبيه سازی و تهيه غشای کامپوزیتی نانو اکسید روی - پلی آمید جهت
خالص سازی الکل نوع دوم

توسط:

محمد مدملی

پایان نامه

ارائه شده به مدیریت تحصیلات تکمیلی به عنوان بخشی از فعالیت های تحصیلی لازم برای اخذ
درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی شیمی

از

دانشگاه اراک

اراک-ایران

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی

دکتر صادق مرادی (استاد راهنما)
دکتر ابوالفضل براتی (داور)
دکتر اعظم مرجانی (استاد مشاور)
دکتر محمود سلیمی (استاد مشاور)

استادیار
دانشیار
استادیار
استادیار

تابستان ۱۳۹۲

تشکر و قدردانی

از همکاری صمیمانه جناب آقای **دکتر صادق مرادی** در تمام مراحل انجام این پژوهش،
قدردانی می نمایم. هم چنین از راهنمایی های آموزنده و صمیمانه سرکار خانم **دکتر اعظم
مرجانی** و آقای **دکتر محمود سلیمی**، نهایت تشکر را دارم.

از اساتید عزیز و بزرگوارم **دکتر میری** و **دکتر براتی** کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از دوستانم محمد رضانیا، حامد مراد نژاد و محمد محمدی که در این پایان نامه مرا یاری
رساندند کمال تشکر را دارم.

در پایان از **خانواده ام** به خاطر تمام زحماتی که برایم کشیده اند تشکر می کنم.

تقدیم

:

بہترین نم

مادر م

چکیده

امروزه اکثر فرایندهای جداسازی در مقیاس صنعتی بر اساس روشهای مصرف انرژی از جمله تقطیر، تبخیر و تبلور می‌باشند. جداسازی‌های غشایی در بین تمامی فرایندهای جداسازی موجود، به دلیل مصرف انرژی پایین، دستگاه‌هایی با حجم کم، تنوع در ساخت مدول‌ها و... از امتیاز بیشتری برخوردارند. روش مورد استفاده در این پروژه برای خالص سازی الکل نوع دوم (۲-پروپانول)، فرایند تراوش تبخیری می‌باشد. این روش، یکی از انواع فرایندهای جداسازی غشایی است که کاربردهای گسترده‌ای همچون آب‌زدایی و جداسازی مخلوط‌های آلی دارد. مزیت عمده‌ی این روش استفاده‌ی آن برای سیستم‌های دارای نقطه‌ی آزن‌تروپ می‌باشد، جایی که روش تقطیر سنتی قادر به جداسازی آنها نمی‌باشد.

در این پروژه، ابتدا غشای پلی آمید ساخته شده است و سپس متغیرهای دمای عملیاتی، غلظت خوراک ورودی و دبی بررسی و پروفایل‌های غلظت و سرعت در بخش‌های مختلف مدول ترسیم شدند. نتایج نشان داد که افزایش دما شار عبوری را افزایش و ضریب جداسازی را کاهش می‌دهد. هم چنین افزایش غلظت ورودی و دبی ورودی خوراک، تاثیر مستقیم روی هر دو پارامتر مذکور داشت. نهایتاً به منظور بهبود نتایج جداسازی، از نانو اکسید روی در ساخت ماتریس غشا استفاده شد. درصد‌های مختلفی از نانو اکسید روی مورد تست قرار گرفت که بهترین نتایج در ۰/۷ درصد وزنی از پلیمر به دست آمد و میزان جداسازی را تا حد قابل قبولی افزایش داد. به منظور اطمینان از نتایج تجربی، شبیه سازی این فرایند توسط نرم افزار کامسول انجام شد و تغییرات دبی و غلظت در نواحی مختلف از غشا و خوراک بررسی شدند. نتایج شبیه سازی برای مقادیر شار عبوری با نتایج تجربی در تطابق خوبی بودند.

کلمات کلیدی: غشای پلی آمید، نانو اکسید روی، الکل نوع دوم، ۲-پروپانول، تراوش

تبخیری، شبیه سازی

فهرست مطالب

۱	فصل اول.....	۱
۱	مقدمه.....	۱
۲	۱.۱ مقدمه.....	۲
۴	۲.۱ پیشینه تحقیق.....	۴
۸	۳.۱ فرایندهای غشایی.....	۸
۱۰	۱.۳.۱ میکرو فیلتراسیون.....	۱۰
۱۱	۲.۳.۱ اولترا فیلتراسیون.....	۱۱
۱۲	۳.۳.۱ نانو فیلتراسیون.....	۱۲
۱۳	۴.۳.۱ اسمز معکوس.....	۱۳
۱۴	۵.۳.۱ جداسازی گاز.....	۱۴
۱۵	۶.۳.۱ دیالیز.....	۱۵
۱۶	۷.۳.۱ تراوش تبخیری.....	۱۶
۱۶	۱.۷.۳.۱ ویژگیهای عملیاتی.....	۱۶
۱۷	۴.۱ تعریف غشا.....	۱۷
۱۸	۱.۴.۱ ویژگیهای غشا.....	۱۸
۱۹	۵.۱ تقسیم بندی غشاها.....	۱۹
۱۹	۱.۵.۱ تقسیم بندی بر اساس نیروی محرکه.....	۱۹
۲۰	۲.۵.۱ تقسیم بندی بر اساس جنس غشا.....	۲۰
۲۰	۱.۲.۵.۱ غشاهای پلیمری.....	۲۰
۲۱	۲.۲.۵.۱ غشاهای سرامیکی.....	۲۱
۲۳	۳.۲.۵.۱ غشاهای فلزی.....	۲۳
۲۴	۴.۲.۵.۱ غشاهای مایع.....	۲۴
۲۴	۳.۵.۱ تقسیم بندی بر اساس ساختمان و ساختار غشا.....	۲۴
۲۶	۴.۵.۱ تقسیم بندی بر اساس شکل هندسی غشا.....	۲۶
۲۷	۶.۱ مدولها.....	۲۷
۲۸	۱.۶.۱ مدول مارپیچی.....	۲۸
۲۹	۲.۶.۱ مدول لوله ای.....	۲۹
۳۰	۳.۶.۱ مدول صفحه و قاب.....	۳۰
۳۱	۴.۶.۱ مدول الیافی.....	۳۱
۳۲	۵.۶.۱ مدول سرامیکی.....	۳۲
۳۲	۷.۱ روشهای ساخت غشاهای پلیمری.....	۳۲
۳۲	۱.۷.۱ روش کششی.....	۳۲
۳۳	۲.۷.۱ روش پختن.....	۳۳
۳۳	۳.۷.۱ روش حک اثر.....	۳۳

۳۴	..... ۴.۷.۱ روش تبدیل (جدایی) فاز
۳۵	..... ۸.۱ غشاهای متراکم پلیمری
۳۵	..... ۱.۸.۱ روشهای تهیه غشاهای پلیمری متراکم
۳۵	..... ۱.۱.۸.۱ روش محلول
۳۵	..... ۲.۱.۸.۱ روش مذاب
۳۶	..... ۳.۱.۸.۱ روش پلیمریزاسیون
۳۶	..... ۹.۱ فاکتورهای موثر بر عملکرد غشا
۳۶	..... ۱.۹.۱ ترکیب و غلظت خوراک
۳۸	..... ۲.۹.۱ فشار خوراک و جزء نفونکرده
۳۸	..... ۳.۹.۱ دما
۳۹	..... ۴.۹.۱ پلیاریزاسیون غلظتی
۴۰	..... ۱۰.۱ بررسی مدل انحلال - نفوذ در تراوش تبخیری
۴۳	..... ۱.۱۰.۱ اثبات مدل انحلال- نفوذ
۴۶	..... ۱۱.۱ نانو اکسید روی

۴۸ فصل دوم

۴۸	..... شبیه سازی
۴۹	..... ۱.۲ مقدمه
۵۰	..... ۲.۲ مدل سازی
۵۱	..... ۳.۲ معادلات حاکم
۵۲	..... ۱.۳.۲ معادلات مربوط به فاز خوراک
۵۴	..... ۲.۳.۲ معادلات مربوط به غشا

۵۵ فصل سوم

۵۵	..... مواد و آزمون ها
۵۶	..... ۱.۳ مقدمه
۵۶	..... ۲.۳ مواد اولیه مورد استفاده
۵۶	..... ۱.۲.۳ پلیمر
۵۸	..... ۲.۲.۳ حلال پلیمر
۵۹	..... ۳.۲.۳ خوراک
۵۹	..... ۴.۲.۳ نانو اکسید روی
۶۰	..... ۳.۳ تجهیزات آزمایشگاهی
۶۰	..... ۱.۳.۳ ویژگی های خوراک و دستگاه
۶۱	..... ۲.۳.۳ روش ساخت فیلم
۶۱	..... ۳.۳.۳ دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی

۶۴	..... ۴.۳.۳ دستگاه گاز کروماتوگرافی
۶۷	..... ۱.۴ مقدمه
۶۷	..... ۲.۴ پارامترهای موثر در آزمایشات تراوش تبخیری
۶۸	..... ۳.۴ مکانیسم و تعاریف موجود در تراوش تبخیری
۷۰	..... ۴.۴ نتایج حاصل از آزمایشات تراوش تبخیری
۷۰	..... ۱.۴.۴ مقایسه بین نتایج تجربی و شبیه سازی برای مقادیر شار عبوری کل
	..... ۲.۴.۴ اثر غلظت ورودی ۲-پروپانول خوراک بر غلظت خروجی، ضریب جداسازی و شاخص
۷۱	..... جداسازی
۷۳	..... ۳.۴.۴ اثر غلظت ورودی خوراک بر شار عبوری ۲-پروپانول و آب
۷۵	..... ۴.۴.۴ اثر افزایش دما بر شار عبوری کل و ضریب جداسازی
۷۷	..... ۱.۴.۴.۴ اثر دما بر روی شار عبوری ۲-پروپانول و آب
۷۸	..... ۵.۴.۴ اثر دبی ورودی خوراک
۷۸	..... ۱.۵.۴.۴ اثر دبی بر روی شار عبوری کل
۸۰	..... ۲.۵.۴.۴ اثر افزایش دبی بر روی ضریب جداسازی
۸۲	..... ۶.۴.۴ اثر افزودن نانو اکسید روی در ساخت غشا بر میزان جداسازی
۸۴	..... ۷.۴.۴ اثر زمان انجام فرآیند بر شار
۸۴	..... ۸.۴.۴ اثر درصد وزنی پلیمر بر میزان جداسازی
۸۵	..... ۵.۵.۴.۴ عکسبرداری میکروسکوپ الکترونی روبشی
۸۷	..... ۶.۴ نتایج شبیه سازی

۹۷..... فصل پنجم

۹۷	..... نتیجه گیری و پیشنهادات
۹۸	..... ۱.۵ نتیجه گیری
۹۸	..... ۱.۱.۵ میزان درصد وزنی پلیمر در ساخت غشا
۹۸	..... ۲.۱.۵ اثر غلظت اولیه خوراک بر غلظت نهایی
۹۹	..... ۳.۱.۵ تاثیر دما بر شار عبوری و ضریب جداسازی
۹۹	..... ۴.۱.۵ اثر افزایش دبی در عبور دهی و ضریب جداسازی
۹۹	..... ۵.۱.۵ افزودن نانو اکسید روی به ماتریس غشا
۱۰۰	..... ۲.۵ پیشنهادات

۱۰۱..... مراجع

فهرست جدول‌ها

- جدول (۱-۱) دسته بندی غشایی بر اساس نیروی محرکه ۹
- جدول (۱-۳) مشخصات پلیمر ۵۷
- جدول (۲-۳) مشخصات حلال ۵۸
- جدول (۳-۳) مشخصات ۲-پروپانول ۵۹
- جدول (۴-۳) مشخصات نانو اکسید روی (ZnO) ۵۹
- جدول (۱-۴) مقایسه بین نتایج تجربی و شبیه سازی برای مقادیر شار عبوری در دمای 21°C و دبی ۱ (لیتر/دقیقه) ۷۰
- جدول (۲-۴) مقادیر غلظت خروجی، ضریب جداسازی و شاخص جداسازی در غلظتهای متفاوت ورودی در دمای 21°C و دبی ۱ لیتر ۷۲
- جدول (۳-۴) مقادیر شار عبوری ۲-پروپانول و آب در غلظت های ۲۰ تا ۹۰ (درصد وزنی) خوراک در دمای 21°C و دبی ۱ (لیتر/دقیقه) ۷۴
- جدول (۴-۴) مقایسه بین داده های شبیه سازی با نتایج تجربی برای مقادیر شار عبوری کل ۷۶
- جدول (۵-۴) مقادیر شار عبوری ۲-پروپانول و آب در دماهای ۲۱، ۳۵ و ۴۵ درجه سانتی گراد در غلظت خوراک ۵۰ (درصد وزنی) و دبی ۱ (لیتر/دقیقه) ۷۷
- جدول (۶-۴) مقادیر شار عبوری کل در دبی های ۰.۲۵، ۰.۵۰ و ۱.۰۰ (لیتر/دقیقه) ۷۹
- جدول (۷-۴) مقادیر ضریب جداسازی و شار عبوری در اثر تغییرات دبی ورودی خوراک در غلظت ۵۰ (درصد وزنی خوراک) و دمای 21°C ۸۱
- جدول (۸-۴) مقادیر تجربی غلظت ۲-پروپانول خروجی، شار عبوری کل و ضریب جداسازی در اثر افزودن نانو اکسید روی با درصدهای مختلف و غلظت ۵۰ (درصد وزنی) خوراک در دمای 21°C ۸۲

فهرست شکل‌ها

- شکل (۱-۱) فرایند جداسازی میکرو فیلتراسیون ۱۰
- شکل (۲-۱) فرایند جداسازی اولترا فیلتراسیون ۱۱
- شکل (۳-۱) فرایند جداسازی نانو فیلتراسیون ۱۲
- شکل (۴-۱) فرایند جداسازی اسمز معکوس ۱۳
- شکل (۵-۱) فرایند جداسازی گازی ۱۵
- شکل (۶-۱) عملیات سلول غشایی در فرایند تراوش تبخیری ۱۷
- شکل (۷-۱) غشای پلیمری ۲۱
- شکل (۸-۱) غشای سرامیکی ۲۲
- شکل (۹-۱) غشای فلزی ۲۳
- شکل (۱۰-۱) ساختار غشاهای متقارن و نامتقارن ۲۶
- شکل (۱۱-۱) نمایی از یک مدول مارپیچی ۲۸
- شکل (۱۲-۱) مدول لوله ای ۲۹
- شکل (۱۳-۱) مدول صفحه و قاب ۳۰
- شکل (۱۴-۱) مدول الیافی ۳۱
- شکل (۱۵-۱) نانوذرات اکسید روی ۴۷
- شکل (۱-۲) مدل سلول غشایی ۵۰
- شکل (۱-۳) دستگاه تراوش تبخیری ۶۰
- شکل (۲-۳) شماتیک میکروسکوپ الکترونی روبشی ۶۳
- شکل (۳-۳) (الف) میکروسکوپ الکترونی روبشی، (ب) دستگاه روکش کننده طلا ۶۳
- شکل (۱-۴) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح غشای پلی آمید بدون نانو اکسید روی ۸۵
- شکل (۲-۴) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح غشای پلی آمید با نانو اکسید روی ۰/۵ درصد ۸۵
- شکل (۳-۴) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح با غشای با نانو اکسید روی ۰/۶ درصد ۸۶
- شکل (۴-۴) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح غشای با نانو اکسید روی ۰/۷ درصد ۸۶
- شکل (۵-۴) نمایش میدان سرعت در سمت خوراک ۸۷
- شکل (۶-۴) توزیع غلظت ۲-پروپانول در خوراک (C/C.) و غشا (Cm/C.) ۸۸
- شکل (۷-۴) توزیع شار کلی در مدول در غلظت ۵۰ درصد وزنی خوراک ۹۶

فهرست نمودارها

- نمودار (۱-۱) اثر غلظت خوراک بر جداسازی تراوش تبخیری آلی-آلی برای مخلوط بنزن/سیکلو هگزان ... ۳۷
- نمودار (۲-۱) اثر فشار بر فرآیند تراوش تبخیری (در مخلوط اتانول / بنزن)..... ۳۸
- نمودار (۳-۱) روند کلی شار و ضریب جداسازی مخلوط بنزن/ سیکلو هگزان با تغییر دما..... ۳۹
- نمودار (۴-۱) اندازه گیری روزنبام و کاتن از گرادیانهای غلظت آب در یک غشای سلولز استات محدود شده تحت فشارهای عملیاتی ۶۸ و ۱۳۶ اتمسفر ۴۴
- نمودار (۵-۱) شار نرمال هگزان درون یک غشای لاستیکی به صورت تابعی از اختلاف غلظت هگزان در غشا ۴۵
- نمودار (۱-۴) مقایسه ی بین نتایج تجربی با شبیه سازی برای مقادیر شار عبوری در دمای ۲۱ °C و دبی ۱ (لیتر/دقیقه) ۷۱
- نمودار (۲-۴) تاثیر میزان غلظت ۲- پروپانول ورودی بر روی شار عبوری و ضریب جداسازی در دمای °C ۲۱ ۷۳
- نمودار (۳-۴) اثر افزایش غلظت ۲- پروپانول خوراک بر روی شار عبوری ۲- پروپانول و آب در دمای °C ۲۱ و دبی ۱ (لیتر/دقیقه) ۷۵
- نمودار (۴-۴) تاثیر دمای محلول خوراک روی عملکرد شار عبوری کل و ضریب جداسازی در غلظت ۵۰ درصد وزنی خوراک و دبی ۱ (لیتر/دقیقه) ۷۶
- نمودار (۵-۴) اثر دما بر روی شار عبوری ۲- پروپانول و آب در اثر افزایش دما در غلظت ۵۰ درصد وزنی خوراک و دبی ۱ (لیتر/دقیقه)..... ۷۸
- نمودار (۶-۴) اثر افزایش دبی ورودی خوراک بر شار عبوری کل در دمای °C ۲۱ ۷۹
- نمودار (۷-۴) مقایسه اثر دبی بر روی شار عبوری در دو حالت تجربی و شبیه سازی در غلظت ۳۰ (درصد وزنی) و دمای °C ۲۱..... ۸۰
- نمودار (۸-۴) تاثیر دبی خوراک بر روی ضریب جداسازی و شار عبوری کل در غلظت ۵۰ درصد وزنی و دمای °C ۲۱ ۸۱
- نمودار (۹-۴) تاثیر درصد وزنی نانو اکسید روی بر روی شار عبوری کل و ضریب جداسازی در دمای °C ۲۱ و دبی ورودی ۱ (لیتر/دقیقه) ۸۳
- نمودار (۱۰-۴) توزیع غلظت محوری در سمت خوراک ۸۹
- نمودار (۱۱-۴) توزیع غلظت محوری در سمت غشا..... ۹۰

- نمودار (۴-۱۲) پروفایل سرعت محوری در سمت خوراک ۹۱
- نمودار (۴-۱۳) تغییرات غلظت شعاعی در سمت خوراک در $y = L/۳$ ۹۲
- نمودار (۴-۱۴) تغییرات غلظت شعاعی در سمت خوراک در $y = L/۲$ ۹۳
- نمودار (۴-۱۵) تغییرات غلظت شعاعی در سمت خوراک در $y=L$ ۹۳
- نمودار (۴-۱۶) تغییرات غلظت محوری در سمت غشا ۹۴
- نمودار (۴-۱۷) تغییرات غلظت شعاعی در سمت غشا ۹۵

فصل اول

مقدمه

۱.۱. مقدمه

غشا یک لایه نازک است با سطح متخلخل که مواد موجود در محلول را به طور انتخابی از همدیگر جدا می کند. غشاها از جنس‌های مختلفی مثل پلیمرهای آلی، مواد معدنی، فلزات، سرامیک و یا حتی مایعات ساخته می شوند. وجود نیروی محرکه (فشار، غلظت، پتانسیل الکتریکی و غیره) نقش اصلی را در انجام عمل جداسازی در فرایندهای غشایی بازی می کند. فرایندهای جداسازی تکنولوژی غشایی دارای کاربردهای مختلفی هستند. جداسازیها می توانند بر اساس ابعاد و اندازه ذرات و یا بر اساس طبیعت الکتریکی مواد صورت گیرند. فرایندهای غشایی در صنایع غذایی، صنایع شیمیایی و تصفیه پسابها کاربرد گسترده‌ای دارند [۱]. در صنایع شیمیایی، فرایندهای جداسازی به اندازه واکنشهای شیمیایی دارای اهمیت هستند، چرا که برای دستیابی به خلوص بالا در مواد تولید شده و جدا کردن آنها از محصولات جانبی، احتیاج به خالص سازی و جداسازی محصولات می باشد. با تغییر نوع سنتز غشاها می توان آنها را در جداسازیهای مختلف به کار برد. کارایی غشاها به نفوذ پذیری غشا و نیروی محرکه جهت جداسازی، وابسته است [۲].

تعدادی از کاربردهای فرایندهای غشایی عبارتند از: تغلیظ محصولات، حذف باکتریها و ویروسها، حذف چربیها، پروتئینها و اسیدها، نمک زدایی، یون زدایی، خالص سازی و شفاف سازی آبهای مختلف است. انواع متفاوتی از غشاها در شکلها و ساختارهای مختلف جهت جداسازیهای مختلف استفاده می شوند که بر اساس ابعاد ذرات، ساختار غشا و شکل آنها طبقه بندی می شوند [۱].

الکل نوع دوم (۲- پروپانول) با نام های ایزوپروپانول و ایزوپروپیل الکل شناخته شده است که یک ترکیب شیمیایی با فرمول مولکولی C_3H_8O است. این ترکیب شیمیایی بی رنگ، قابل اشتعال با بوی قوی است. این ساده ترین مثال از یک الکل ثانویه، که در آن کربن الکل به دو کربن دیگر متصل می باشد. ۲- پروپانول قابل حل در آب، سایر الکلها، اتر و کلروفرم است و همچنین در اتیل سلولز، پلی وینیل بوتیرال و بسیاری از روغن ها، آلكالوئیدها و رزین های طبیعی قابل حل است و در نمک ها نامحلول است. دارای طعمی کمی تلخ است و برای نوشیدن مناسب نیست [۳].

اکثریت قریب به اتفاق از این الکل به عنوان حلال، برای پوشش و یا برای فرایندهای صنعتی استفاده می شود. ۲- پروپانول به ویژه برای برنامه های کاربردی دارویی محبوب است [۴].

شش فرایند مهم غشایی شامل ۱- میکروفیلتراسیون^۱، ۲- اولترافیلتراسیون^۲، ۳- اسمز معکوس^۳، ۴- الکترودیالیز^۴، ۵- جداسازی گاز^۵ و ۶- تراوش تبخیری^۶ در زمینه‌هایی چون خالص سازی آب، فرایندهای شیمیایی و غذایی، پزشکی و جداسازی های زیستی مورد استفاده قرار می-گیرند [۵].

^۱ Micro filtration

^۲ Ultra filtration

^۳ Reverse osmosis

^۴ Electrodialysis

^۵ Gas separation

^۶ Pervaporation

۲.۱. پیشینه تحقیق

در سال ۱۹۹۴ دی . بیومل^۱ و همکارانش مدل "جابجایی- نفوذ" را برای محاسبه‌ی گرادیان فشار در فاز بخار تا ناحیه پایین دست غشا به کار بردند. آنها عقیده داشتند که از تاثیر فشار پایین دست در جداسازی اجزای آلی در غشاهای آلی دوست، خصوصا در دماهای پایین نمی توان صرف نظر کرد. آنها معادله‌ی جابجایی نفوذ را با یک رابطه برای انتقال جرم درون غشا همراه با نیرو محرکه‌ای که دلالت بر اختلاف فوگاسیته دارد، ترکیب کردند. فشار جزئی و شار عبوری از غشا ابتدا توسط یک جزء خالص و سپس از میان مخلوط دو تایی آب/ اتانول توسط غشای پلی دی متیل-سیلوکسان روی یک مقیاس نیمه صنعتی توانست مدل را به خوبی پیش بینی نماید[۶].

در سال ۱۹۹۷ رابرت هوانگ^۲ و همکارش به بررسی سه نوع متفاوت از غشاهای ترکیبی بر پایه ی کیتوسان و پلی آکرلیک اسید برای جداسازی مخلوط آب/اتانول به روش تراوش تبخیری پرداختند. آنها پی بردند که تمام غشاهای ساخته شده به شدت آب گزین هستند. وابستگی دمایی، روی نفوذگزینی برای محلولهای خوراکی با درصد بالا از آب (بیشتر از ۳۰٪) غیر عادی بود به طوری که هر دو پارامتر شار و ضریب جداسازی با افزایش دما افزایش یافتند. این پدیده از جنبه ی انرژی فعال سازی توصیف شد، به این ترتیب که سهم جذب سطحی روی انرژی فعال سازی نفوذ، زمانی که برهم کنش های قوی در سیستم غشایی تراوش تبخیری رخ می دهد، نباید نادیده گرفته شود [۷].

^۱ D. Beaumelle

^۲ Robert Y.M. Huang

در سال ۱۹۹۹ رارن لی کویر^۱ و همکارانش دو نوع از غشاهای پلی آمید آروماتیکی را برای جداسازی آب و الکل توسط روش تراوش تبخیری به کار بردند و مشاهده کردند که آرامید های (آروماتیک آمیدها) نوع H نسبت به نوع F ضریب جداسازی بالاتری دارند [۸].

در سال ۲۰۰۴ دی.جی. اوپادهیای^۲ و همکارانش، غشای پلی وینیل الکل (۰/۴ درصد وزنی) پر توسط لیتیم کلرید (۰/۲ - ۰/۰۵ درصد وزنی)، برای بررسی اثر این نمک قلیایی بر جداسازی مخلوط آب و الکل ایزو پروپیل مورد ارزیابی قرار دادند. سطح غشا را با عبور دادن از نیتروژن پلاسمای با فشار کم، اتصال عرضی کردند و عملکرد غشای اصلاح شده ، توسط فرایند تراوش تبخیری در دمای ۲۵ سانتیگراد مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند که میزان خالص سازی و شار رضایت بخش بود. خصوصیات غشای اصلاح شده را با استفاده از دستگاه‌های طیف سنجی مادون- قرمز (FT-IR) و روش دیفرانسیلی (DSC) و پراش اشعه X مورد ارزیابی قرار دادند که پس از بررسی، یک غشای نیمه بلورین رو به آمورف با اضافه کردن لیتیم کلرید به پلی وینیل الکل شناسایی شد که بر میزان جداسازی موثر بود [۹].

در سال ۲۰۰۶ شو سینگ هوانگ^۳ و همکارانش نشان دادند که غشاهای ساخته شده از پلی- آمید با وجود داشتن فاکتور ضریب جداسازی بالا برای مخلوطهای آب و الکل، به علت داشتن حجم آزاد کمتر، شار نفوذی پایینی دارند. آنها برای افزایش شار عبوری از غشاهای پلی آمید بدون تغییر در فاکتور جداسازی، دست به تغییر مورفولوژی غشا از حالت متقارن به یک حالت غیر متقارن و یا از نوع ترکیبی زدند. آنها گزارش کردند که توسعه غشاهای ترکیبی پلی آمید یکی از فاکتورهای

^۱ Kueir-Rarn Lee

^۲ D. J. Upadhyay

^۳ Shu-Hsien Huang

کلیدی موفقیت آمیز در بسیاری از جهات است [۱۰].

در سال ۲۰۰۶ میلادی اسوانگ آریاسکول^۱ و همکارانش بر روی ترکیب کیتوسان و غشاهای پلی وینیل الکل با استفاده از تراوش تبخیری برای آب‌زدایی از ایزوپروپانول کار کردند. غشاهای حاوی ۱۵ درصد وزنی کیتوسان برای یک محلول مغزی شامل ایزوپروپانول ۹۰ درصد وزنی در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد، شار نفوذی ۶۴۴ (گرم/متر مربع.ساعت) با محتوی آب تقریباً ۱۰۰ درجه سانتیگراد بود. در محلول مغزی حاوی ایزوپروپانول ۵۵ درصد که در سرمای ۶۰ درجه سانتیگراد قرار داد. شار نفوذی ۳۸۱۲ (گرم/متر مربع.ساعت) بود. در محدوده ۵۵ تا ۹۵ درصد وزنی، این غشا یک عملکرد خیلی عالی با استحکام مکانیکی خوب را نشان داد. امید است این غشاها برای استفاده در کاربردهای صنعتی توسعه پیدا کند [۱۱].

در سال ۲۰۰۸ میلادی هان^۲ و همکارانش مدل انتقال جرم در غشای پلی وینیل الکل برای مخلوط آب، ایزوپروپانول را بررسی کردند که در آن بر اساس نظریه فلوری-هالگین و قانون فایک، مدل انتقال جرم در غشای پلی وینیل الکل برای مخلوط آب و ایزوپروپانول تخمین زده شده است. پارامترهای درونی بین آب و غشای پلی وینیل الکل کمتر از مقدار بین ایزو پروپانول و غشای پلی وینیل الکل می باشد که معتبر می سازد آب به طور طبیعی جذب و حل شده است [۱۲].

در سال ۲۰۱۲ مونا ایروانی نیا^۳ و همکارانش جداسازی مخلوط تولوئن/نرمال هپتان را از طریق تراوش تبخیری توسط غشاهای ترکیبی بررسی کردند. تاثیر شرایط عملیاتی نظیر دمای خوراک، ترکیب خوراک و فشار پایین دست، روی عملکرد غشا بررسی شد. نتایج آزمایشهای آنها در ترکیب درصدی متفاوت خوراک (۴۰٪-۱۰٪ وزنی)، دماهای عملیاتی (۲۵-۸۵ درجه سلسیوس)، و

^۱ A. Svang-Ariyaskul

^۲ Meng Han

^۳ Mona Iravaninia

فشارهای پایین دست (۳۲-۲ میلی بار)، به دست آمد. آنها پی بردند که گزینش پذیری غشا برای تولوئن بزرگتر از نرمال هپتان می باشد. طبق نتایج آنها افزایش غلظت تولوئن در خوراک و افزایش دمای عملیاتی، میزان تورم غشا را بهبود و میزان جنبش زنجیره ی پلیمری را افزایش می دهد. با افزایش در غلظت و دمای خوراک، میزان شار عبوری بیشتر و نفوذ گزینی کم شد. طبق گزارش آنها کاهش فشار هم نتیجه ای مشابه افزایش دما به همراه داشت [۱۳].

هم اکنون ۱۶ واحد برای آب زدایی از ۲ - پروپانول و ۲۲ واحد صنعتی برای آب زدایی از اتانول (اولین کاربرد صنعتی تراوش تبخیری)، ۱۲ واحد برای تصفیه حلالهای آلی در صنعت در حال کار است. آب زدایی از سوخته های خطرناک نظیر هیدرازین، ان و ان دی متیل هیدرازین نامتقارن^۱ و منومتیل هیدرازین^۲ با استفاده از تراوش تبخیری به طور گسترده ای توسط سایر محققین مورد مطالعه قرار گرفته است. اخیرا غشاهای آلی دوست^۳ نسبت به غشاهای آب دوست^۴ توسعه زیادی پیدا کرده اند. پتانسیل ظاهری بسیار بالای این تکنولوژی خصوصا برای استخراج ذرات آلی، بیانگر یک حلالیت بسیار پایین در آب است. در سالهای اخیر استفاده از روش تراوش تبخیری برای جداسازی مخلوطهای آلی، نظر بسیاری از محققین را به خود جلب نموده است. این یکی از دلایلی است که چرا امروزه صنعت پتروشیمی، روش تراوش تبخیری را به عنوان یک روش حذف آروماتیکها از گازوئیل که یکی از مهمترین عواملی است که به سلامتی بشر مربوط می شود، مد نظر قرار می دهد [۱۴].

^۱ Unsymmetrical dimethylhydrazine(UDMH)

^۲ Monomethyl hydrazine (MMH)

^۳ Organophilic

^۴ Hydrophilic

۳.۱. فرایند های غشایی

بسیاری از عملیات مهندسی شیمی با مسئله تغییر غلظت در محلولها و مخلوطها سروکار دارند که این تغییرات الزاماً توسط واکنش های شیمیایی صورت نمی پذیرند. این عملیات بیشتر به جداسازی مخلوطها و به سازنده های آنها مربوط می شوند. در مورد مخلوطها این اعمال ممکن است به طرق کاملاً مکانیکی، مانند صاف کردن یک مخلوط معلق و جدا نمودن یک جزء جامد از مایع و یا جداسازی اجزاء مختلف و خرده شده ی یک مخلوط با اندازه های مختلف از طریق غربال نمودن، و یا جداسازی ذرات جامد آسیاب شده با استفاده از اختلاف جرم ویژه ی آنها صورت گیرد [۱۵].

اهمیت این عملیات کاملاً واضح بوده و ندرتاً می توان یک فرایند شیمیایی را یافت که نیاز به خالص سازی اولیه ی مواد خام و یا جداسازی نهایی محصولات از محصولات جانبی حاصله از واکنش را نداشته باشد. غالباً قسمت اعظم هزینه های مربوط به یک فرایند، صرف انجام جداسازی های وابسته می گردد. مخارج مربوط به این جداسازی ها و یا خالص سازی ها، بستگی مستقیم به نسبت غلظت نهایی به غلظت ابتدایی مواد جدا شده خواهد داشت. اگر این نسبت بزرگ باشد، قیمت تمام شده ی محصول بالاتر خواهد رفت [۱۵].

فرایند های غشایی بر اساس نیرو محرکه به کار برده شده در سیستم به انواع مختلفی تقسیم بندی می شوند. البته مکانیزم جداسازی واقعی می تواند بر اساس اندازه واقعی ذرات صورت گیرد، اما با توجه به اختلاف نیروی محرکه ، فرایند های غشایی مطابق با جدول (۱- ۱) طبقه بندی می شوند. فرایند های غشایی که نیروی محرکه ی آنها اختلاف فشار است برای جداسازی ذرات