



دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

دانشکده مهندسی شیمی

عنوان :

ارائه یک مدل انتقال جدید برای جداسازی غشائی گازها با

استفاده از پلیمرهای شیشه‌ای

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

استاد راهنما :

دکتر علی اصغر قریشی

استاد مشاور:

دکتر قاسم نجف پور

دانشجو :

حسن اسدی

تیر ۱۳۹۱

این پایان نامه را

به پدر و مادر عزیزم که در طول تمامی سال های تحصیل مشوقم بوده اند

و همچنین

همسر مهربانم که صبورانه مرا در انجام این پروژه یاری نموده، تقدیم می نمایم.

از جناب آقای دکتر قریشی

بواسطه تمامی کمک‌های بی‌شائبه و راهنمایی‌های دلسوزانه ایشان جهت انجام هرچه بهتر این پروژه، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

چکیده

در جداسازی مخلوط‌های گازی با استفاده از فرایند غشائی تراوش گاز، غشاءهای پلیمری شیشه‌ای مناسب‌تر از دیگر غشاءها هستند. این مناسب بودن ناشی از گزینش‌پذیری بر اساس نرخ نفوذ و پایداری شیمیائی می‌باشد. تعیین تراوائی اجزای یک مخلوط چند جزئی از میان غشاء و گزینش‌پذیری به دلیل برهمکنش‌های سینتیکی و ترمودینامیکی پیچیده می‌گردد. از میان مدل‌های مرسوم، مدل انتقال دو جذبی برای مدلسازی انتقال گازها از میان غشاءهای پلیمری شیشه‌ای کاربرد بیشتری دارد. با این وجود ناکارآمدی این مدل در پیش‌بینی تراوائی و گزینش‌پذیری اجزا در بسیاری از موارد به اثبات رسیده است. در این تحقیق یک مدل فیزیکی جدید بر اساس فرمولاسیون استفان ماکسول برای جداسازی توسعه داده شده است که در آن برهمکنش‌های سینتیکی و ترمودینامیکی با بهره‌گیری از مدل انحلال دوجذبی هنری لانگمیر و نفوذ چندجزئی استفان ماکسول به‌خوبی توصیف گردیده است. داده‌های مربوط به جذب و تراوائی اجزای خالص از مراجع استخراج گردید. پارامترهای مدل دو جذبی و نیز ضرایب نفوذ مربوط به اجزای خالص از برازش غیرخطی داده‌های جذب و تراوائی آنها بدست آمده و در مدل توسعه یافته جهت توصیف ماتریس ترمودینامیکی و نفوذ چندجزئی مورد استفاده قرار گرفت. امتحان مدل در مورد جداسازی دی‌اکسیدکربن از متان والفین‌ها از پارافین‌ها، توافق بسیار خوبی بین مقادیر گزینش-پذیری پیش‌بینی شده به وسیله مدل و داده‌های تجربی را نشان داده است. این مسئله بیانگر این نکته است که این مدل می‌تواند پیش‌بینی‌های معتبری را حتی در فشارهای بالا ارائه دهد.

فهرست مطالب

فصل اول	۱
آشنایی با انواع فرآیندهای جداسازی بوسیله غشاء و مکانیسم انتقال.....	۱
۱-۱- مقدمه.....	۲
۱-۲- انواع غشاءها.....	۵
۱-۳- پایداری حرارتی غشاءها.....	۵
۱-۴- پایداری شیمیایی غشاءها.....	۵
۱-۵- پایداری مکانیکی غشاءها.....	۶
۱-۶- مدولها و کاربرد صنعتی غشاءها.....	۶
۱-۷- معیارهای انتخاب مواد و نوع غشاء.....	۸
۱-۸- انواع فرآیندهای جداسازی گازها بوسیله غشاءها.....	۱۱
۱-۸-۱- جداسازیهای گاز طبیعی.....	۱۱
۱-۸-۱-۱- حذف CO ₂ از گاز طبیعی.....	۱۲
۱-۸-۱-۲- حذف H ₂ O از گاز طبیعی.....	۱۲
۱-۸-۱-۳- حذف نیتروژن از گاز طبیعی.....	۱۳
۱-۸-۲- جداسازی بخار/ گاز.....	۱۳
۱-۸-۳- جداسازی بخار/ بخار.....	۱۳
۱-۹- نحوه جذب و نفوذ اجزاء و تاثیر شرایط بر آنها.....	۱۴
۱-۹-۱- جذب.....	۱۴
۱-۹-۱-۱- مدل‌های جذب ارائه شده.....	۱۴
۱-۹-۱-۲- تاثیر فشار بر روی جذب.....	۱۷
۱-۹-۱-۳- تأثیر دما بر روی جذب.....	۱۹
۱-۹-۲- نفوذ.....	۲۰
۱-۹-۲-۱- تأثیر دما بر روی نفوذ.....	۲۱

۲۱	۱۰-۱- مدل‌های انتقال.....
۲۱	۱-۱۰-۱- روش انتقال دوجذبی.....
۲۳	۱۰-۲- قانون فیک تعمیم‌یافته.....
۲۵	۱۰-۳- روش ترمودینامیک برگشت‌ناپذیر.....
۲۶	۱۱-۱- اهداف و ساختار پایان نامه.....
۲۸	فصل دوم:.....
۲۸	نگاهی بر مطالعات انجام شده بر روی پلیمرهای شیشه‌ای.....
۲۹	۱-۳- مقدمه.....
۲۹	۲-۳- مطالعات تجربی.....
۴۰	فصل سوم:.....
۴۰	مدلسازی فرآیند انتقال.....
۴۱	۳-۱- مقدمه.....
۴۲	۳-۲- فرمولاسیون استفان ماکسول.....
۴۸	۳-۲-۱- تعیین غلظت اجزاء در غشاء.....
۴۸	۳-۲-۱-۱- تبدیل فشار به فوگاسیته.....
۴۹	۳-۲-۱-۲- بررسی مدل جذب.....
۵۰	۳-۲-۲- تعیین عناصر ماتریس سینتیکی.....
۵۰	۳-۲-۲-۱- تعیین ضرائب نفوذ.....
۵۲	۳-۲-۳- تعیین عناصر ماتریس ترمودینامیکی.....
۵۶	فصل چهارم:.....
۵۶	بررسی عملکرد فرمولاسیون استفان ماکسول و مدل انتقال دو جذبی.....
۵۷	۴-۱- مقدمه.....
۵۸	بخش اول:.....
۵۸	جداسازی دی‌اکسید کربن از گاز طبیعی.....
۵۹	۴-۲- سیستم مورد مطالعه.....

۵۹	۳-۴- استخراج داده ها و برازش.....
۵۹	۴-۴- مدل سازی فرآیند انتقال مخلوط از غشاء.....
۵۹	۴-۴-۱- تبدیل فشار به فوگاسیته:.....
۶۱	۴-۴-۲- تعیین پارامترهای مدل جذب.....
۶۳	۴-۴-۳- تعیین ضرائب نفوذ.....
۶۶	۴-۴-۴- محاسبه ماتریس ترمودینامیکی.....
۶۸	۴-۴-۵- محاسبه ماتریس سینتیکی.....
۷۰	۴-۵- تعیین شارها و انتخاب پذیری.....
۷۳	بخش دوم:.....
۷۳	جداسازی اولفین ها از پارافین ها.....
۷۴	۴-۶- سیستم مورد مطالعه.....
۷۴	۴-۷- استخراج داده ها و برازش.....
۷۴	۴-۸- فرآیند انتقال مخلوط از غشاء.....
۷۴	۴-۸-۱- تبدیل فشار به فوگاسیته.....
۷۷	۴-۸-۲- تعیین پارامترهای مدل جذب.....
۸۰	۴-۸-۳- تعیین ضرائب نفوذ.....
۸۵	۴-۸-۴- محاسبه ماتریس ترمودینامیکی.....
۸۷	۴-۸-۵- محاسبه ماتریس سینتیکی.....
۹۰	۴-۹- تعیین شارها و انتخاب پذیری.....
۹۵	مقایسه بین مدل انتقال دو جذبی و مدل توسعه یافته.....
۹۵	۴-۱۰- تعیین تراوایی اجزاء مخلوط در غشاء.....
۹۶	۴-۱۱- تعیین انتخاب پذیری.....
۹۸	فصل پنجم:.....
۹۸	نتایج و پیشنهادات.....

..... ۱-۵ خلاصه نتایج

۹۹

۱۰۱ ۲-۵- پیشنهادات

۱۰۲ پیوست (الف):

۱۰۲ منابع و مراجع

۱۰۶ پیوست (ب):

۱۰۶ علائم و نشانه‌ها

فهرست اشکال

- شکل (۱-۱): یک نمونه مدول غشاء..... ۶
- شکل (۱-۲): تاثیر فشار اجزاء بر جذب ۱۸
- شکل (۱-۲): نمودار تراوایی CO_2 در 6FDA-TMPDA بعنوان تابعی از $1/T$ ۳۰
- شکل (۲-۲): تراوایی N_2 از میان غشاء 6FDA-TMPDA و همچنین نرخ تراوایی CO_2 به N_2 ۳۱
- شکل (۳-۲): نمودارهای جذب و دفع CO_2 و CH_4 در غشاءهای ضخیمی از ODPA-PEI(-P₁, -P₂, -P₃) ۳۳
- شکل (۴-۲): نمودارهای جذب و دفع CO_2 در غشاءهای نازکی از ODPA-PEI(-P₁, -P₂, -P₃) ۳۴
- شکل (۵-۲): گزینش پذیری CO_2/CH_4 در ODPA-PEI(-P₁, -P₂, -P₃) ۳۵
- شکل (۶-۲): ایزوترم جذب بخار بر اساس مدل CDMS ۳۸
- شکل (۷-۲): ایزوترم جذب بخار بر اساس مدل GAB ۳۸
- شکل (۸-۲): ایزوترم جذب بخار بر اساس مدل ENSIC ۳۸
- شکل (۹-۲): جذب بخار متانول در سلول استات ۳۹
- شکل (۱-۳): کنترل والیوم برای مشتق گیری روابط استفان ماکسول ۴۳
- شکل (۱-۴): مقایسه مقادیر فوگاسیته و فشار CH_4 ۶۰
- شکل (۲-۴): مقایسه مقادیر فوگاسیته و فشار CO_2 ۶۱
- شکل (۳-۴): منحنی جذب CH_4 در حالت خالص ۶۲
- شکل (۴-۴): منحنی جذب CO_2 در حالت خالص ۶۲
- شکل (۵-۴): ضرایب نفوذ فیک CH_4 ۶۴
- شکل (۶-۴): ضرایب نفوذ فیک CO_2 ۶۴
- شکل (۷-۴): مقایسه ضرایب نفوذ فیک و استفان ماکسول CH_4 ۶۵

- شکل (۴-۸): مقایسه ضرائب نفوذ فیک و استفان ماکسول CO_2 ۶۵
- شکل (۴-۹): برهم کنش ترمودینامیکی CH_4 ۶۷
- شکل (۴-۱۰): برهم کنش ترمودینامیکی CO_2 ۶۷
- شکل (۴-۱۱): برهم کنش سینتیکی CH_4 ۶۹
- شکل (۴-۱۲): برهم کنش سینتیکی CO_2 ۶۹
- شکل (۴-۱۳): مقایسه شار CH_4 با در نظر گرفتن سه حالت برهم کنش ۷۱
- شکل (۴-۱۴): مقایسه شار CO_2 با در نظر گرفتن سه حالت برهم کنش ۷۱
- شکل (۴-۱۵): مقایسه میان مقادیر پیش بینی شده و آزمایشگاهی گزینش پذیری CH_4/CO_2 ۷۲
- شکل (۴-۱۶): مقایسه مقادیر فوگاسیته و فشار C_3H_8 ۷۵
- شکل (۴-۱۷): مقایسه مقادیر فوگاسیته و فشار C_3H_6 ۷۶
- شکل (۴-۱۸): مقایسه مقادیر فوگاسیته و فشار C_2H_6 ۷۶
- شکل (۴-۱۹): مقایسه مقادیر فوگاسیته و فشار C_2H_4 ۷۷
- شکل (۴-۲۰): منحنی جذب C_3H_8 در حالت خالص ۷۸
- شکل (۴-۲۱): منحنی جذب C_3H_6 در حالت خالص ۷۸
- شکل (۴-۲۲): منحنی جذب C_2H_6 در حالت خالص ۷۹
- شکل (۴-۲۳): منحنی جذب C_2H_4 در حالت خالص ۷۹
- شکل (۴-۲۴): ضرایب نفوذ فیک C_3H_8 ۸۱
- شکل (۴-۲۵): ضرایب نفوذ فیک C_3H_6 ۸۱
- شکل (۴-۲۶): ضرایب نفوذ فیک C_2H_6 ۸۲
- شکل (۴-۲۷): ضرایب نفوذ فیک C_2H_4 ۸۲
- شکل (۴-۲۸): مقایسه ضرائب نفوذ فیک و استفان ماکسول C_3H_8 ۸۳

- شکل (۴-۲۹): مقایسه ضرائب نفوذ فیک و استفان ماکسول C_3H_6 ۸۳
- شکل (۴-۳۰): مقایسه ضرائب نفوذ فیک و استفان ماکسول C_2H_6 ۸۴
- شکل (۴-۳۱): مقایسه ضرائب نفوذ فیک و استفان ماکسول C_2H_4 ۸۴
- شکل (۴-۳۲): برهم کنش ترمودینامیکی C_3H_8 ۸۵
- شکل (۴-۳۳): برهم کنش ترمودینامیکی C_3H_6 ۸۶
- شکل (۴-۳۴): برهم کنش ترمودینامیکی C_2H_6 ۸۶
- شکل (۴-۳۵): برهم کنش ترمودینامیکی C_2H_4 ۸۷
- شکل (۴-۳۶): برهم کنش سینتیکی C_3H_8 ۸۸
- شکل (۴-۳۷): برهم کنش سینتیکی C_3H_6 ۸۸
- شکل (۴-۳۸): برهم کنش سینتیکی C_2H_6 ۸۹
- شکل (۴-۳۹): برهم کنش سینتیکی C_2H_4 ۸۹
- شکل (۴-۴۰): مقایسه شار C_3H_8 با در نظر گرفتن سه حالت برهم کنش ۹۰
- شکل (۴-۴۱): مقایسه شار C_3H_6 با در نظر گرفتن سه حالت برهم کنش ۹۱
- شکل (۴-۴۲): مقایسه شار C_2H_6 با در نظر گرفتن سه حالت برهم کنش ۹۱
- شکل (۴-۴۳): مقایسه شار C_2H_4 با در نظر گرفتن سه حالت برهم کنش ۹۲
- شکل (۴-۴۴): مقایسه میان مقادیر پیش بینی شده و آزمایشگاهی گزینش پذیری سیستم C_3H_8 و C_3H_6 ۹۳
- شکل (۴-۴۵): مقایسه میان مقادیر پیش بینی شده و آزمایشگاهی گزینش پذیری سیستم C_2H_4 و C_2H_6 ۹۳
- شکل (۴-۴۶): مقایسه میان مقادیر گزینش پذیری پیش بینی شده توسط دو مدل توسعه یافته و دوجذبی و مقادیر آزمایشگاهی سیستم C_3H_8 و C_3H_6 ۹۶
- شکل (۴-۴۷): مقایسه میان مقادیر پیش بینی شده و آزمایشگاهی گزینش پذیری سیستم C_2H_4 و C_2H_6 ۹۷

فهرست جداول

- جدول (۱-۱) : قابلیت رسوخ برای گازهای مختلف از غشاء PDMS..... ۱۰
- جدول (۱-۲): رسوخ CO_2 ، N_2 ، NO و CO در Matimid ، Polysulfone و 6FDA-TMPDA..... ۳۲
- جدول (۱-۴): خواص فیزیکی CO_2 و CH_4 ۶۰
- جدول (۲-۴): پارامترهای مدل هنری لانگمیر CO_2 و CH_4 ۶۱
- جدول (۳-۴): پارامترهای وابسته به تابع ضریب نفوذ فیک CO_2 و CH_4 ۶۳
- جدول (۴-۴): خواص ترمودینامیکی اجزاء C_3H_6 و C_2H_6 و C_2H_4 و C_3H_8 ۷۵
- جدول (۵-۴): پارامترهای مدل هنری لانگمیر..... ۷۷
- جدول (۶-۴): پارامترهای وابسته به تابع ضریب نفوذ فیک..... ۸۰
- جدول (۷-۴) : پارامترهای مدل تراوش دو جذبی..... ۹۵

فصل اول:

آشنایی با انواع فرآیندهای جداسازی بوسیله غشاء

و

مکانیسم انتقال

۱ - ۱ - مقدمه

روش جداسازی بوسیله غشاء روشی نوین می‌باشد که در سالهای اخیر در بسیاری از صنایع اعم از دارویی، لبنیات، نفت، گاز، پتروشیمی، بیوتکنولوژی، تصفیه آب و فاضلاب و... مورد استفاده قرار گرفته- اند و همچنین استفاده از زمینه‌های جدید مثل تقطیر غشائی، راکتورهای بیو غشایی و ... مورد توجه قرار گرفته‌اند [۳-۱]

مزایای تکنولوژی غشاء موارد زیر می‌باشند:

- مصرف انرژی پایین است.
- جداسازی می‌تواند به صورت مداوم صورت پذیرد.
- فرآیندهای غشائی می‌توانند به راحتی با دیگر فرآیندهای جداسازی ترکیب شوند.
- جداسازی می‌تواند تحت شرایط محیطی صورت پذیرد.
- خواص غشاءها متنوع هستند و می‌توانند تعدیل گردند.
- هیچ ماده اضافه شونده لازم نیست.

البته با اینکه مزایای فرآیندهای غشائی بر کسی پوشیده نیست، ولی مشکلاتی نیز بر سر این تکنولوژی وجود دارد که پلاریزاسیون غلظتی و جرم‌گیری غشاء، عمر کوتاه غشاء، مقاومت مکانیکی و حرارتی و شار پائین و... از جمله این مشکلات می‌باشند.

در اواخر دهه ۱۹۶۰ غشاهایی با شار بالا و مدول‌های غشایی با سطح ویژه زیاد جهت کاربردهایی در اسمز معکوس تولید شد. شرکت پرما^۱ از این فناوری جهت جداسازی بوسیله غشاء استفاده کرد. تولید غشاء فیبر توخالی پلی‌سولفون اولین موفقیت این شرکت، بخصوص جهت جداسازی و بازیافت هیدروژن از جریان گازی در طرحهای آمونیاک بود. در اواسط دهه ۱۹۸۰، استفاده از غشاهای سلولز استات جهت

¹ perma

حذف دی‌اکسیدکربن از گاز طبیعی مورد استفاده قرار گرفت. در همان زمان جنرون^۱ سیستم‌های غشایی را جهت جداسازی نیتروژن از هوا معرفی کرد. در سال ۱۹۹۰ شرکت پاراکس ایر^۲ و میولال^۳ پلیمرهای خاص را تولید کردند که دارای گزینش‌پذیری بالاتری نسبت به نسل اولیه بود. بطوریکه نیتروژن با خلوص ۹۹٪ تولید کند و این موضوع به لحاظ رقابت‌های اقتصادی برای انتقال نیتروژن مایع در بسیاری از سیستم‌های کوچک مورد استفاده قرار گرفت. از چند صد پلیمری که در چند سال اخیر تولید شده‌اند، فقط ۸ یا ۹ پلیمر در ساخت غشاءها جهت جداسازی گازی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

با توجه به دو معیار اساسی تراوش و گزینش‌پذیری، غشاهایی کاربردی ساخته می‌شوند. البته عوامل دیگری نیز مانند پایداری غشاء، ضخامت کم، هزینه پایین و شکلی با سطح زیاد نیز باید مورد توجه قرار گیرد. لازمه فراهم کردن میزان تراوش بالا، ضخامت کم لایه انتخابگر غشاء می‌باشد. ضخامت موثر غشاء به طور معمول کمتر از $0.5 \mu\text{m}$ و اغلب کمتر از $0.1 \mu\text{m}$ می‌باشد. غشاهای ناهمگن جهت جداسازی فازی متشکل از چند ماده است که می‌تواند قابلیت و عملکرد بالایی را داشته باشد. به این دلیل تعداد زیادی از غشاءها در ساختار چندلایه‌ای تولید می‌شوند. غشاهای ترکیبی کمتر از 1 g پلیمر انتخابگر در هر متر مربع غشاء را شامل می‌شوند و شامل دو یا تعدادی لایه از مواد مختلف می‌باشند. بطوریکه لایه محافظ از محصولات لوب‌سوریرجان^۴ می‌باشد. لایه زیری دارای تخلخل ریز در محدوده 100 تا 200 A^0 می‌باشد که محافظت از لایه انتخابگر را فراهم می‌کند و نقشی در جداسازی ندارد، اما باعث مقاومت مکانیکی و پایداری شیمیایی می‌گردد و می‌تواند از چند پلیمر با قیمت پایین‌تر ساخته شود.

¹ Generon

² Paraxair

³ Meolal

⁴ Loab-Souriragan

۱ - ۲ - انواع غشاهای

دسته‌بندی غشاهای بر اساس ماهیتشان آنها را به دو گروه غشاهای طبیعی و غشاهای سنتز شده تقسیم می‌نماید. در این پایان نامه فقط به غشاهای سنتزی بدلیل جنبه صنعتی بودن آنها پرداخته می‌شود. غشاهای سنتزی به دو گروه غشاهای آلی و غیر آلی تقسیم بندی می‌شوند.

غشاهای آلی شامل غشاهای پلیمری و غشاهای مایع می‌باشند. در مورد غشاهای پلیمری در ادامه توضیح کاملی راجع به آنها داده می‌شود، اما در مورد غشاهای سنتزی مایع شامل یک فیلم نازک مایع هستند که اجزاء مخلوط در آن حل شده و سپس توسط نفوذ منتقل می‌شوند.

غشاهای غیرآلی نیز عمدتاً شامل غشاهای سرامیکی، غشاهای فلزی و غشاهای ژئولیتی می‌باشند. غشاهای فلزی و سرامیکی اخیراً معمولاً مورد توجه قرار گرفته‌اند. غشاهای ژئولیتی نیز به تازگی توسعه یافته‌اند. این غشاهای دارای حفرات خیلی کوچک و ریز هستند و می‌توانند در فرآیندهای جداسازی گاز و تراوش تبخیری استفاده شوند [۴].

غشاهای پلیمری ممکن است حالت کشسان یا شیشه‌ای داشته باشند اما خواص این دو حالت تفاوت-های اساسی با هم دارند. دمائی که در آن پلیمر از حالت شیشه‌ای به حالت کشسان تغییر می‌یابد، به دمای گذار شیشه‌ای معروف است. مقدار این دما برای یک پلیمر به دو عامل انعطاف‌پذیری و تعامل زنجیره‌ها بستگی دارد. تحرک زنجیره‌های پلیمر در حالت شیشه‌ای بسیار محدود می‌باشد، زیرا بخش-های داخلی زنجیره نمی‌توانند آزادانه اطراف زنجیره اصلی بچرخند. با افزایش دما حرکاتی در شاخه‌های جانبی یا تعداد کمی از بخش‌های زنجیره اصلی اتفاق می‌افتد. با این حال این موارد تغییرات محدودی هستند و دانسیته پلیمر در اثر این افزایش دما، به میزان محدودی کاهش می‌یابد. اما در دمای T_g ، پلیمر از حالت شیشه‌ای به حالت کشسان تغییر حالت می‌دهد. در این دما انرژی گرمایی برای غلبه بر محدودیت گردش گروه‌های جانبی یا تعامل بین زنجیره‌ها کافی می‌باشد. در حالت کشسان بخش‌های

مختلف زنجیره با توجه به درجه تحرک بالایشان میتوانند آزادانه در طول زنجیره اصلی حرکت کنند. تغییر در رفتار فیزیکی پلیمر در رفتن از حالت شیشه‌ای به حالت کشسان غیر پیوسته می‌باشد. علاوه بر آن تمامی خواص فیزیکی پلیمر مثل حجم مخصوص، گرمای مخصوص و تراوایی و... تغییر می‌کنند [۵].

۱ - ۳ - پایداری حرارتی غشاءها

مقاومترین پلیمرها را می‌توان تا دمای 400°C و برخی را حتی تا 600°C می‌توان به کار برد. معمولاً حرارت به دو صورت بر پلیمر اثر می‌گذارد. یا باعث تغییر در خواص پلیمر می‌شود و یا اینکه در ساختار جسم اثر گذار است. با افزایش دما خواص فیزیکی و شیمیایی تغییر کرده و نهایتاً ساختار جسم تغییر می‌کند. میزان چنین تغییری بستگی به نوع پلیمر دارد اما بطور تقریبی می‌توان گفت که T_g پارامتر مهمی برای پلیمرهای بی‌شکل و نقطه ذوب T_m برای پلیمرهای کریستالی می‌باشد.

سرامیک‌ها معمولاً نسبت به پلیمرها دارای پایداری حرارتی بالاتری هستند ولی معمولاً بسیاری از فرآیندهای جداسازی نیاز به دمای بالا ندارند و معمولاً دمای کمتر از 200°C کلیه حالات را می‌پوشاند. در مورد غشاءهای غیرآلی، این غشاءها دارای نقاط ذوب بسیار بالایی هستند که می‌توانند به دمای ذوب حدود 4000°C نیز برسند. مقاومت گرمائی بالای این مواد برای فرآیند جداسازی گاز در دماهای بالا مخصوصاً در ترکیب با یک ماده شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱ - ۴ - پایداری شیمیایی غشاءها

معمولاً غشاءهای غیرآلی پایداری شیمیایی بالاتری نسبت به مواد پلیمری دارند. پایداری شیمیایی پلیمرها با توجه به pH و نوع مایعات آلی محدود می‌باشد، در حالیکه مواد غیرآلی می‌توانند عموماً در هر pH و حلال آلی به کار روند. چون با توجه به جرم‌گیری بالا در این فرآیندها، سهولت تمیز کردن، فاکتور مهمی است. (جرم‌گیری غشاء منجر به کاهش شدید شار می‌گردد. لذا تمیزسازی دوره‌ای لازم است).

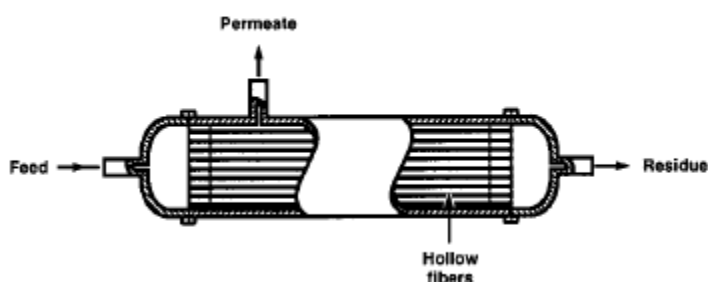
برای غشاهای غیر آلی تمام پاک‌کننده‌ها را می‌توان به کار برد. (مثل انواع اسیدهای قوی و الکل) نکته دیگر مورد ملاحظه این است که عمر غشاهای غیر آلی از غشاهای پلیمری آلی بیشتر است.

۱ - ۵ - پایداری مکانیکی غشاهای

عموماً به علت اینکه غشاهای توسط مواد نگهدارنده، محافظت می‌شوند، خواص مکانیکی در فرآیندهای غشاهایی چندان مهم نمی‌باشد. با این حال غشاهای فیبر تو خالی و موئینه خود پشتیبان هستند و لذا در این حالت خواص مکانیکی ممکن است با اهمیت باشد، مخصوصاً وقتی که در فشارهای بالا به کار برده می‌شود.

۱ - ۶ - مدول‌ها و کاربرد صنعتی غشاهای

فرآیندهای غشایی در مقیاس صنعتی عموماً مساحت زیادی نیاز دارند. کوچکترین واحد که سطح غشاء در آن چیده می‌شوند، مدول نامیده می‌شود. مدول‌ها بخش اصلی در نصب غشاهای می‌باشند. ساده‌ترین طرح آن است که در آن یک مدول منفرد استفاده شده است. شکل (۱-۱) نمایی از یک مدول را نشان می‌دهد:



شکل (۱-۱): یک نمونه مدول غشاء

جریان خوراک ورودی در یک ترکیب درصد مشخص ودبی معین وارد مدول می‌گردد. به علت اینکه غشاء قابلیت انتقال یک جزء را سریع‌تر از اجزای دیگر دارد. هم ترکیب درصد خوراک و هم دبی آن در داخل مدول به صورت تابعی از فاصله تغییر می‌کنند. با عبور از غشاء جریان خوراک ورودی به دو جریان تفکیک می‌گردد. یعنی جریان عبور کرده و جریان باقی مانده. جریان عبور کرده نسبتی از جریان خوراک است که از غشاء عبور کرده، در حالیکه جریان باقیمانده روی غشاء می‌باشد. طرحهای متعددی برای مدول‌ها متصور است ولی همه بر پایه دو نوع شکل بندی غشاء می‌باشند:

- صاف
- لوله‌ای

مدول‌های صفحه و قاب و مارپیچی جزء غشاءهای تخت می‌باشند. در حالیکه مدول‌های لوله‌ای، موئینه و فیبر توخالی بر اساس شکل لوله‌ای غشاءها می‌باشند. اختلاف بین انواع لایه‌های مدول عمدتاً از ابعاد لوله‌های استفاده شده، ناشی می‌شود. اگر غشاءهای لوله‌ای (فیبر توخالی) به صورت موازی نزدیک یکدیگر چیده شوند، سطح غشاء به ازای واحد حجم فقط تابعی از ابعاد لوله می‌باشد. با بررسی سطح غشاءها به ازای واحد حجم، تابعیت آنها از قطر لوله به طور واضح مشخص می‌گردد. اختلاف در سطح غشاءها به ازای واحد حجم برای سیستم‌های لوله‌ای و سیستم‌های فیبر توخالی بسیار زیاد می‌باشد. با این حال عموماً یک سیستم فقط شامل یک مدول منفرد نمی‌باشد، بلکه تعدادی مدول بعنوان یک سیستم با هم مرتب شده‌اند. در حقیقت هر کاربرد بر پایه ملزومات خاص خود طرح سیستم مخصوص دارد.

دو طرح سیستم پایه در این مورد وجود دارد:

سیستم‌های یک بارگذر و سیستم‌های گردشی

انتخاب شکل بندی مدول‌ها و نیز ترتیب مدول‌ها در سیستم بندرت بر پایه ملاحظات اقتصادی با به کارگیری پارامترهای مستقیم مهندسی برای دستیابی به آن صورت می‌پذیرد. برخی ملاحظاتی که مورد

توجه قرار می‌گیرند، عبارتند از نوع جداسازی، سهولت تمیز کردن، سهولت تعمیر و نگهداری، سهولت عملکرد و ...

۱ - ۷ - معیارهای انتخاب مواد و نوع غشاء

انتخابگری ایده‌آل در یک غشاء توسط نسبت ضرائب تراوایی^۱ بیان می‌شود.

$$\alpha_{12} = \frac{P_1}{P_2} \quad (1 - 1)$$

در برخی مخلوطهای چندجزئی گازی فاکتور جداسازی حقیقی برابر فاکتور جداسازی ایده‌آل نمی‌باشد و دلیل آن خاصیت پلاستیکی شدن است که در فشار جزئی بالا وقتی رسوخ‌کننده گازی میل ترکیبی بالا با پلیمر از خود نشان می‌دهد، اتفاق می‌افتد.

در اثر چنین خاصیتی عموماً تراوایی افزایش می‌یابد، ولی انتخاب‌پذیری کاهش می‌یابد. معمولاً در تحقیقات انجام شده، فشار طرف دوم غشاء را ناچیز فرض می‌کنند، ولی Mathews و همکاران [۶] وابستگی تراوایی و انتخاب‌گری به فشار پایین دست را برای پلیمر شیشه‌ای پلی‌ایمید بررسی کرده‌اند و نشان داده‌اند که انتخاب‌گری در مورد سیستم CO_2/CH_4 با افزایش فشار خروجی کاهش می‌یابد.

علاوه بر این، دو فاکتور مهم که بستگی به ساختمان پلیمر دارد عبارتند از:

- دمای تبدیل از حالت شیشه
- میزان کریستاله بودن پلیمر

دمای تبدیل شیشه‌ای معیاری تعیین‌کننده است که آیا غشاء پلیمری، کشسان است یا شیشه‌ای. مطالعات نشان می‌دهد [۷] که غشاءهای پلیمری کشسان از تراوایی بالا ولی انتخاب‌گری پائین برخوردار

¹ Permeability