

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده‌ی مهندسی شیمی، نفت و گاز

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد در رشته‌ی مهندسی گاز

**بررسی آزمایشگاهی و مدلسازی تراوایی گاز در غشای نانو
کامپوزیتی پلی یورتان بر پایه استر**

توسط

محمد امین خادمی (۸۹۰۷۶۱)

اساتید راهنما

دکتر شادی حسن آجیلی

دکتر پیمان کشاورز

بهمن ۱۳۹۱

به نام خدا

بررسی آزمایشگاهی و مدلسازی تراوایی گاز در غشای نانو کامپوزیتی پلی یورتان بر پایه استر

به کوشش
محمد امین خادمی

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه شیراز به عنوان بخشی
از فعالیت‌های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته‌ی:

مهندسی شیمی بدون گرایش

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی کمیته ی پایان نامه، با درجه‌ی: عالی

دکتر شادی حسن آجیلی، استادیار دانشکده‌ی مهندسی شیمی، نفت و گاز
دکتر پیمان کشاورز، استادیار دانشکده‌ی مهندسی شیمی، نفت و گاز
دکتر داریوش مولا، استادیار دانشکده‌ی مهندسی شیمی، نفت و گاز
دکتر سونا رئیسی، دانشیار دانشکده‌ی مهندسی شیمی، نفت و گاز

بهمن ۱۳۹۱

به نام خدا

اظهار نامه

اینجانب محمد امین خادمی دانشجوی رشته مهندسی شیمی بدون گرایش دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز اظهار می نمایم که این پایان نامه حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کرده ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته ام. همچنین اظهار می نمایم که تحقیق و موضوع پایان نامه ام تکراری نیست و تعهد می نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاورد های آن را منتشر ننموده و یا در اختیار غیر قرار ندهم. کلیه حقوق این اثر مطابق با آیین نامه مالکیت فکری و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.

نام و نام خانوادگی: محمد امین خادمی

تاریخ و امضا: ۹۱/۱۱/۲۸

سیاسگزاری

سیاس بی کران پروردگار یکتا را که هستی مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونمان شد و به همنشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزیمان ساخت. لازم می دانم از زحمات اساتید ارجمند دکتر حسن آجیلی، دکتر پیمان کشاورز که راهنمایی های ایشان همواره گره گشای راهم بوده سپاسگذاری نمایم. همچنین از زحمات اساتید ارجمند دکتر رئیسی و دکتر مولا که زحمت مشاوره این پژوهش بر عهده ایشان بوده است کمال تشکر را دارم. همچنین از خانم خسروانی، خانم کیانی، آقای محمود بهمنی، صاحب مقصودلو باباخانی، کیومرث بدر و یحیی بلوچی که مرا در انجام این پروژه یاری کرده اند سپاسگزاری می نمایم. و در آخر از خانواده عزیزم تشکر می نمایم که همواره دعای خیرشان مشایعت کننده را هم بودند.

چکیده

بررسی آزمایشگاهی و مدلسازی تراوایی گاز در غشای نانو کامپوزیتی پلی یورتان بر پایه استر

به کوشش

محمد امین خادمی

رفتار انتقالی گازهای دی اکسید کربن و متان در غشاهای ماتریس مخلوط که شامل نانو ذرات متفاوت از سیلیکا، ارائه شده است. سیلیکای اصلاح نشده و اصلاح شده تجاری (با اکتیل سیلان و پلی دی متیل سیلکون) به عنوان پرکننده های غشاء استفاده شده است. غشاءهای نانو کامپوزیت PU همراه با پرکننده های ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی با روش اختلاط محلول آماده شده است. ویژگی های ساختاری غشاءها با SEM، FTIR، XRD و DSC برای نشان دادن فعل و انفعالات بین PU و نانوذره ها و تغییرات ایجاد شده در فاز PU در حضور سیلیکا مورد مطالعه قرار گرفته است. سیلیکاهای اصلاح شده همراه با زنجیره های طولانی آبدوست، میزان گلوخه شدن نانوذره ها را کاهش و توزیع در غشای ماتریس مخلوط بهبود می بخشند. به علاوه، نانوذره های سیلیکا در داخل ماتریس PU، فاکتورهای جداسازی و نفوذپذیری CO₂ افزایش می دهند. سیلیکا پوشش زنجیره ی را از هم جدا می کند و حجم آزاد متحرک را برای بهبود نفوذپذیری CO₂ افزایش می دهد. علاوه بر این، سیلیکا جذب سطحی CO₂ را درون ماتریس غشاء برای افزایش دادن انتخاب پذیری CO₂/CH₄ صرف نظر از نوع سیلیکا، افزایش می دهد. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که در بین نانو ذره های سیلیکا و شکل اصلاح شده آن عملکرد مناسبی برای جداسازی CO₂/CH₄ نشان می دهد. در این مطالعه آزمایشگاهی، یک مدل جدید برای پیش بینی توانایی نفوذ گاز در غشاءهای PU/Silica با در نظر گرفتن ذرات پرکننده در ماتریس بعلاوه حفره های موجود در لایه سطح مشترک نانو و ماتریس پلیمری پیشنهاد شده است. نتایج نشان می دهند که مدل ارائه شده در این تحقیق، علاوه بر نشان دادن روش مناسب برای پیش بینی داده ها، پیش بینی نزدیکتری از داده های آزمایشگاهی، نسبت به مدل ماکسول که روش کاملا متفاوتی را داشته است، نشان می دهد.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل اول: مقدمه
۳	۱-۱- جداسازی گاز.....
۵	۱-۱-۱- جداسازی دی‌اکسیدکربن از متان.....
۷	۲-۱- فرایند غشایی.....
۹	۳-۱- تعریف غشا ۱.....
۱۰	۱-۳-۱- جنس غشا.....
۱۰	۲-۳-۱- انتخاب پلیمر برای ساخت غشا.....
۱۱	۴-۱- سازوکار عبور در غشاهای پلیمری.....
۱۳	۵-۱- غشاهای پلیمری مورد استفاده در جداسازی گازها.....
۱۸	۶-۱- پلی یورتان.....
۲۰	۱-۶-۱- مواد خام مورد استفاده در سنتز پلی یورتان.....
۲۲	۲-۶-۱- انتخاب پلی یورتان به عنوان غشا.....
۲۳	۷-۱- غشاهای نانوکامپوزیت.....
۲۵	۱-۷-۱- ساختمان غشاهای نانوکامپوزیت.....
۲۵	۱-۸-۱- مواد مورد استفاده در ساخت غشاهای نانو کامپوزیتی.....
۲۶	۲-۸-۱- مورفولوژی حد واسط آلی و معدنی.....
۲۸	۹-۱- اثر نانو ذره بر عملکرد غشاء.....
۳۰	۱۰-۱- مدل سازی.....
۳۲	۱-۱۰-۱- بررسی تراوایی گازها از داخل پلیمرها بوسیله روابط ریاضی.....

۱-۱۰-۲- سازوکار انتقال ماده نفوذ کننده در داخل فیلم پلیمرهای متراکم از دیدگاه مولکولی	۳۳
۱-۱۰-۳- مدل های نفوذ برای غشاهای نانو کامپوزیتی متشکل از ذرات متخلخل.....	۳۵
۱-۱۰-۴- نقایص مدل های نفوذ در غشای نانو کامپوزیتی	۳۹
۱-۱۱-۱- مروری بر پژوهش‌های انجام شده در زمینه جداسازی گاز	۴۳
۱-۱۱-۱- پژوهش‌های انجام شده در زمینه غشاهای نانو کامپوزیتی	۴۶
۱-۱۱-۲- نتیجه‌گیری.....	۴۶
۱-۱۱-۳- هدف از پژوهش حاضر	۵۵

فصل دوم: مواد و آزمایش ها

۱-۲- مواد اولیه	۵۷
۲-۲- ساخت غشا	۵۹
۳-۲- آزمون تراوایی	۶۲
۴-۲- روش انجام آزمایش	۶۳
۵-۲- ارزیابی پلیمرهای سنتزی و غشاهای ساخته شده	۶۴
۲-۵-۱- طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR).....	۶۵
۲-۵-۲- پراکنش اشعه ایکس زاویه باز (WAXD).....	۶۵
۲-۵-۳- روش پویش دیفرانسیلی گرماسنجی (DSC).....	۶۵
۲-۵-۴- تصویر برداری با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM).....	۶۵

فصل سوم: مدل سازی

۱-۳- بررسی اثر دما با رابطه آرنیوس بر روی تراوایی گاز در غشای نانو کامپوزیت.....	۶۸
۲-۳- مدل ماکسول اصلاح شده	۶۹
۳-۳- محاسبه خطای مدل	۷۱

فصل چهارم: تحلیل نتایج

۱-۴- ارزیابی غشاهای خالص و نانو کامپوزیتی پلی یورتان/سیلیکا.....	۷۴
--	----

۲-۴- بررسی خواص فیزیکی شیمیایی غشاهای خالص و نانوکامپوزیتی پلی یورتان/سیلیکا ..	۷۴
۴-۲-۱- مطالعه طیفسنجی انتقال فوریه مادون قرمز	۷۴
۴-۲-۲- مطالعه پویش دیفرانسیلی گرما	۷۷
۴-۲-۳- مطالعه ساختار غشا توسط روش پراکنش اشعه ایکس زاویه باز	۷۹
۴-۲-۴- مطالعه مشخصات ساختاری غشاها با استفاده از آزمایش پویش الکترونی میکروسکوپی	۸۱
۴-۳- تراوایی گازهای دی اکسید کربن و متان و بررسی اثرات نانوذرات سیلیکا	۸۴
۴-۳-۱- اثرات فشار بر تراوایی گازهای خاص از میان پلی یورتان و نانو ساختار های پلی یورتان	۸۵
۴-۳-۲- اثرات فشار بر ضریب ایده ال جداسازی برای گازهای خالص از میان پلی یورتان و نانو ساختار های پلی یورتان	۹۰
۴-۳-۳- اثرات دما بر تراوایی و ضریب ایده ال جداسازی گازهای خاص از میان پلی یورتان و نانو ساختار های پلی یورتان	۹۱
۴-۳-۴- بررسی منحنی رابسون با داده های آزمایشگاهی	۹۲
۴-۴- بررسی و تحلیل مدل ارائه شده با داده های آزمایشگاهی	۹۳

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه گیری	۹۸
۵-۲- پیشنهادات	۹۸
فهرست منابع	۱۰۰

فهرست جدول ها

عنوان	صفحه
جدول (۱-۱)- تراوایی ها و گزینش پذیری های ایده آل گازهای خالص پلیمرهای سیلیکونی.....	۱۴
جدول (۲-۱)- اثر وزن مولکولی بالا و پایین بر خواص برخی از پلیمرها.....	۱۶
جدول (۳-۱)- گروه های قطبی مسئول در جاذبه بین مولکولی.....	۱۷
جدول (۴-۱)- گروه های دهنده و پذیرنده پیوند هیدروژنی.....	۱۸
جدول (۵-۱)- تراوایی و گزینش پذیری ایده آل غشاهای نانوکامپوزیتی پلی ایمید.....	۴۹
جدول (۶-۱)- گزینش پذیری ایده آل غشاهای پلی سولفون و نانوکامپوزیتی بر پایه MCM-41	
اصلاح.....	۵۱
جدول (۷-۱)- ساختار و ترکیب درصد نانو سیلیکا در ساختار غشاهای نانوکامپوزیتی TSPU/SiO ₂	۵۲
جدول (۱-۲)- مشخصات نانو ذرات و گازهای مورد استفاده.....	۶۰
جدول (۱-۴)- خلاصه نتایج آزمایش پویش دیفرانسیلی گرماسنجی و دمای نقطه شیشه.....	۷۸
جدول (۲-۴)- خلاصه نتایج آزمایش پراکنش اشعه ایکس زاویه باز برای نمونه های پلی یورتان.....	۸۱
جدول (۳-۴)- تراوایی و ضریب جداسازی ایده آل برای همه پلیمرهای مورد بررسی قرار گرفته در همه فشارها.....	۸۹
جدول (۴-۴)- ضریب نفوذ گاز در غشاء.....	۹۰
جدول (۵-۴)- ضریب حلالیت گاز در غشاء.....	۹۰
جدول (۶-۴)- تراوایی و ضریب جداسازی ایده آل برای همه پلیمرهای مورد بررسی قرار گرفته در همه دماها.....	۹۲
جدول (۷-۴)- داده های انرژی فعالسازی ظاهری و P ₀ برای گاز CO ₂	۹۳
جدول (۸-۴)- داده های انرژی فعالسازی ظاهری و P ₀ برای گاز CH ₄	۹۳
جدول (۹-۴)- داده های بدست آمده از مدل ارائه شده برای گاز CO ₂ و خطای داده ها.....	۹۴

جدول (۴-۱۰) - داده های بدست آمده از مدل ارائه شده برای گاز CH₄ و خطای داده ها ۹۴

فهرست شکل ها

عنوان	صفحه
شکل (۱-۱) - طرح شماتیکی از چگونگی عملکرد غشا.....	۱۰
شکل (۲-۱) - مراحل مختلف سازوکار انحلال - نفوذ.....	۱۲
شکل (۳-۱) - اندازه و میعان پذیری (نقطه جوش) نسبی اجزاء اصلی تشکیل دهنده گاز طبیعی.	
شکل (۴-۱) - واکنش تک مرحله ای در سنتز پلی یورتان.....	۱۲
شکل (۵-۱) - سنتز پلی یورتان از طریق واکنش دو مرحله ای.....	۱۹
شکل (۶-۱) - ساختار دی ایزوسیانات های آلیفاتیک و آروماتیک مورد استفاده در سنتز پلی یورتان.....	۲۰
شکل (۷-۱) - منحنی رابسون برای غشاهای مختلف برای جداسازی.....	۲۱
شکل (۸-۱) - انواع مختلف غشاهای نانوکامپوزیت، (a) گروه اول و (b) گروه دوم.....	۲۴
شکل (۹-۱) - نحوه آماده سازی ماتریس مخلوط پلیمری.....	۲۵
شکل (۱۰-۱) - شماتیکی از یک ماتریس مخلوط ایده آل.....	۲۶
شکل (۱۱-۱) - نحوه تشکیل حفره ها را در لایه سخت پلیمری و در حد واسط ذره با پلیمر... شکل (۱۲-۱) - ساختار شیمیایی گروه هیدروکسیل سطحی و پیوند هیدروژنی با گروه سولفون یا اتر.....	۲۹ ۳۰
شکل (۱۳-۱) - تصویر شماتیکی از انتقال ماده نفوذ کننده در پلیمر.....	۳۱
شکل (۱۴-۱) - نحوه قرار گیری زنجیره های پلیمر قبل از نفوذ، در حین نفوذ و بعد از نفوذ.... شکل (۱۵-۱) - شبیه سازی کامپیوتری جابجایی یک مولکول اکسیژن در PPO به صورت تابعی از زمان.....	۳۶ ۳۷
شکل (۱۶-۱) - شبیه سازی کامپیوتری یک مولکول نیتروژن در PPO به صورت تابعی از زمان.....	۳۷
شکل (۱۷-۱) - حد واسطه بین ضریب نفوذ و عکس FFV در تعدادی از پلی سولفون ها.....	۳۹

- شکل (۱-۱۸) - روند افزایشی کارهای صورت گرفته در زمینه جداسازی CO₂/CH₄ از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۴..... ۴۶
- شکل (۱-۱۹) - (a) رشته های مختلف توسعه یافته و (b) جداسازی گازهای مختلف همان طور که اختراعات نشان داده است..... ۴۶
- شکل (۱-۲۰) - تراوایی N₂، CH₄ و CO₂ در غشاهای PBI خالص و نانوکامپوزیتی PBI/SiO₂ بر حسب درصد وزنی سیلیکا در پلیمر ۴۸
- شکل (۱-۲۱) - گزینش پذیری CO₂/N₂ و CO₂/CH₄ در غشاهای PBI خالص و نانوکامپوزیتی PBI/SiO₂ بر حسب درصد وزنی سیلیکا در پلیمر ۴۸
- شکل (۱-۲۲) - حد واسطه بین تراوایی CO₂ و گزینش پذیری CO₂/CH₄ برای غشاهای خالص پلی سولفون و نانوکامپوزیتی پلی سولفون/سیلیکا نسبت به خط رابسون ۵۱
- شکل (۱-۲۳) - منحنی های DSC غشاهای TSPU خالص و نانوکامپوزیتی TSPU/SiO₂: TSPU0 (A)، TSPU1 (B)، TSPU2 (C) و TSPU3 (D) ۵۳
- شکل (۱-۲۴) - طیف های XRD غشاهای TSPU خالص و نانوکامپوزیتی TSPU/SiO₂ در دمای اتاق، TSPU0 (A)، TSPU1 (B)، TSPU2 (C) و TSPU (D) ۵۴
- شکل (۱-۲۵) - تراوایی بخار آب در غشاهای نانوکامپوزیتی TSPU0 و TSPU/SiO₂ به صورت تابعی از دما ۵۵
- شکل (۲-۱) - ساختار پلی یورتان و گروه های عاملی آن ۶۰
- شکل (۲-۲) - ساختار شیمیایی و شماتیکی از نانو ذرات در سطح غشا که بترتیب ۱، ۲ و ۳ silica pure، Silica - OS و Silica - PDMS ۶۱
- شکل (۲-۳) - شمای کلی دستگاه تراوایی ۶۱
- شکل (۲-۴) - شمای عملکرد سلول تراوایی ۶۲
- شکل (۳-۱) - نمای از فازهای تشکیل دهنده غشای پلیمری نانو کامپوزیت ۶۹
- شکل (۴-۱) - طیف سنجی انتقال فوریه مادون قرمز پلی یورتان/سیلیکا خالص ۷۵
- شکل (۴-۲) - طیف سنجی انتقال فوریه مادون قرمز پلی یورتان/سیلیکا اکتیل سیلان ۷۶
- شکل (۴-۳) - طیف سنجی انتقال فوریه مادون قرمز پلی یورتان/سیلیکا اکتیل سیلان پلی دی متیل سیلوکسان ۷۶
- شکل (۴-۴) - نتایج آزمایش های پویش دیفرانسیلی گرماسنجی بر روی پلی یورتان استری و پلی یورتان /سیلیکا خالص ۷۷
- شکل (۴-۵) - نتایج آزمایش های پویش دیفرانسیلی گرماسنجی بر روی پلی یورتان استری و پلی یورتان /سیلیکا+اکتیل سیلان ۷۷
- شکل (۴-۶) - نتایج آزمایش های پویش دیفرانسیلی گرماسنجی بر روی پلی یورتان استری و پلی یورتان /سیلیکا+ پلی دی متیل سیلوکسان ۷۸

- شکل (۷-۴) - نتایج آزمون پراکنش اشعه ایکس زاویه باز برای نمونه های پلی یورتان استری+سیلیکای خالص ۸۰
- شکل (۷-۴) - نتایج آزمون پراکنش اشعه ایکس زاویه باز برای نمونه های پلی یورتان استری / سیلیکا+اکتیل سیلان ۸۰
- شکل (۹-۴) - نتایج آزمون پراکنش اشعه ی ایکس زاویه باز برای نمونه های پلی یورتان /سیلیکا+ پلی دی متیل سیلوکسان ۸۱
- شکل (۱۰-۴) - نتایج آزمون عکس برداری پویش الکترونی میکروسکوپی برای پلی یورتان های استری/سیلیکا (۱) ۵٪ نانو ذره (۲) ۱۰٪ نانو ذره (۳) ۱۵٪ نانو ذره ۸۲
- شکل (۱۱-۴) - نتایج آزمون عکس برداری پویش الکترونی میکروسکوپی برای پلی یورتان های اتری/سیلیکا+اکتیل سیلان (۱) ۵٪ نانو ذره (۲) ۱۰٪ نانو ذره (۳) ۱۵٪ نانو ذره ۸۳
- شکل (۱۲-۴) - نتایج آزمون عکس برداری پویش الکترونی میکروسکوپی برای پلی یورتان های اتری/سیلیکا+ پلی دی متیل سیلوکسان (۱) ۵٪ نانو ذره (۲) ۱۰٪ نانو ذره (۳) ۱۵٪ نانو ذره ۸۴
- شکل (۱۳-۴) - تراوایی گازهای متان و دی اکسید کربن برای فشارها و درصد نانو ذرات مختلف برای پلی یورتان استری/سیلیکا خالص ۸۵
- شکل (۱۴-۴) - تراوایی گازهای متان و دی اکسید کربن برای فشارها و درصد نانو ذرات متفاوت برای پلی یورتان / سیلیکا+اکتیل سیلان ۸۶
- شکل (۱۵-۴) - تراوایی گازهای متان و دی اکسید کربن برای فشارها و درصد نانو ذرات متفاوت برای پلی یورتان / سیلیکا+ پلی دی متیل سیلوکسان ۸۶
- شکل (۱۶-۴) - تاثیر فشار بر تراوایی پلیمر پلی یورتان / سیلیکا خالص برای دو گاز متان و دی اکسید کربن ۸۷
- شکل (۱۷-۴) - تاثیر فشار بر تراوایی پلیمر پلی یورتان / سیلیکا+اکتیل سیلان برای دو گاز متان و دی اکسید کربن ۸۸
- شکل (۱۸-۴) - تاثیر فشار بر تراوایی پلیمر پلی یورتان / سیلیکا+ پلی دی متیل سیلوکسان برای دو گاز متان و دی اکسید کربن ۸۸
- شکل (۱۹-۴) - مقایسه منحنی رابسون با داده های آزمایشگاهی ۹۲
- شکل (۲۰-۴) - مقایسه داده های آزمایشگاهی تراوایی با درصد نانو ذره سیلیکای خالص با مدل ارائه شده برای گاز CO₂ ۹۵
- شکل (۲۰-۴) - مقایسه داده های آزمایشگاهی تراوایی با درصد نانو ذره OS با مدل ارائه شده برای گاز CO₂ ۹۵
- شکل (۲۱-۴) - مقایسه داده های آزمایشگاهی تراوایی با درصد نانو ذره PDMS با مدل ارائه شده برای گاز CO₂ ۹۶

فهرست نشانه های اختصاری

q	دبی حجمی گاز عبوری
w	سرعت نهایی تراوایی
a	سطح مقطع
l	ضخامت غشاء
Δp	اختلاف فشار بین محیط و مخزن
h	ارتفاع آب درون لوله
θ	زمان تاخیر
S	حلالیت
α	ضریب جداسازی ایده آل
L_i	ضریب تناسب در ارتباط بین تغییرات پتانسیل شیمیایی و شار
γ_i	ثابت فعالیت (اکتیویته)
v_i	حجم مولی جزء i
μ_{i0}	پتانسیل شیمیایی جزء i

D_i	ضریب نفوذ
V_w	حجم واندروالس مولکول
FFV	کسر حجم آزاد
P_M	نفوذپذیری گاز موثر در غشاء
P_c	نفوذپذیری فاز پیوسته
P_d	نفوذ پذیری فاز پراکنده
ϕ_D	کسر حجمی فاز پراکنده
n	فاکتور شکل ذرات
ϕ_m	بیشترین درصد حجمی پرکننده
P_{ps}	نفوذپذیری موثر فاز شبه پراکنده
P_f	نفوذپذیری گاز در حد واسط
ϕ_s	کسر حجمی پرکننده فاز پراکنده در داخل فاز شبه پراکنده
ϕ_f	درصد حجمی حد واسط
r_d	شعاع ذرات
l_l	ضخامت حد واسط
β	فاکتور بی حرکتی
r	مجموع شعاع نانو ذره و ضخامت فضای خالی بین نانو ذره
M_A	جرم مولکولی گاز

dg

قطر مولکول گاز

فصل اول

مقدمه

تمام تلاش بشر در طول تاریخ در این راستا بوده است که به وسیله ابزارهای مختلف در جهت ایجاد یک زندگی بهتر و باکیفیت تر گام بردارد. این تلاش‌ها منوط به رشته خاصی نمی شود و در تمام زمینه‌ها و رشته‌ها به وضوح قابل مشاهده است. به همین منظور تمام تلاش‌ها در این راستا است که با سوق دادن تکنولوژی به سمت جلو به این مهم دست یابند. یکی از مهم‌ترین و به طور قطع پر مناقشه‌ترین موضوعات دنیا در یک صده اخیر موضوع انرژی و بالتبع آن موضوع نفت و گاز بوده است. تولید انرژی به وسیله نفت از اوایل قرن بیستم به طور جدی مورد اهمیت قرار گرفت اما موضوع مهم‌تری که در این حد واسطه وجود دارد موضوع هزینه زیاد آماده‌سازی آن به منظور استفاده از آن است، لذا طی چند دهه اخیر بیشتر تمرکز کشورهای دنیا به سمت ایجاد بسترهای مناسب برای تولید و مصرف گاز طبیعی بوده است. همان‌طور که از ارقام و آمار قابل مشاهده است میزان مصرف جهانی این محصول اساسی پیش بینی شده است که از میزان ۱۰۸ تریلیون فوت مکعب در سال ۲۰۰۷ به میزان ۱۵۵ تریلیون فوت مکعب در سال ۲۰۳۰ برسد. همچنین کشور ما با در اختیار داشتن تقریباً ۱۷/۵۲ درصد از ذخایر گاز دنیا و همچنین قرار گرفتن در رده سوم کشورهای تولیدکننده گاز طبیعی در سال ۲۰۰۹ می‌تواند نقش بسزایی در معادلات بین‌المللی داشته باشد [۱، ۲].

با توجه به ذکر اهمیت استحصال گاز طبیعی از منابع گازهای زیرزمینی مسئله مهم‌تر دیگری که در این حد واسطه مطرح می‌شود ایجاد عملیات مناسب بر روی گاز استحصال شده به منظور مصرف در داخل مرزهای کشورمان و صادرات آن به فرامرزها می‌باشد. گاز طبیعی علاوه بر هیدروکربن‌های موجود در آن شامل گازها و ترکیبات دیگر نیز می‌باشد که برای به مصرف رسیدن در صنایع پایین دستی باعث ایجاد خطرهای زیاد و یا تولید محصولات کم کیفیت می‌کند لذا ضرورت جداسازی و خالص سازی این گازها اهمیت خود را نشان می‌دهد. بدون شک دو نمونه مهم از این گازها، کربن دی‌اکسید و هیدروژن سولفید^۱ می‌باشند که همواره به همراه هیدروکربن‌ها از میدان‌های گازی خارج می‌شوند. جداسازی این گازها شامل مراحل در فرآیند جداسازی می‌باشند که به مجموعه این عملیات شیرین سازی گاز طبیعی^۲

^۱ H₂S

^۲ Natural Gas Sweetening

گویند.

هر روشی دارای مزایا و معایب خاصی می باشد این قاعده در مورد فرآیندهای جداسازی و روش های مورد استفاده در آن نیز وجود دارد. به طور مثال یکی از روش های مورد استفاده جداسازی توسط انتقال جرم بین فازها می باشد. در این روش حداقل دو فاز وجود دارد که فاز دوم با استفاده از انتقال حرارت و یا اعمال کار جدا می شود. در این روش یک فاز به عنوان حلال یا جاذب در کنار فاز اصلی قرار می گیرد و موجب تشکیل فاز دوم می شود. فرآیندهایی نظیر تقطیر، تبخیر، جذب، استخراج مایع-مایع و تبلور بر مبنای این روش انجام می گیرند. نقص روش های فوق بابت مصرف انرژی زیاد به منظور جداسازی است. اما در روش دیگری که در سال های اخیر مطرح شده است جداسازی عملیات انتقال جرم با ایجاد مانع درون یکی از فازها است. اساس انتقال جرم در این روش به دلیل تفاوت سرعت انتقال جرم در طول این مانع می باشد. فیلتراسیون و فرآیند غشایی از این دسته از روش های جداسازی به حساب می آیند.

۱-۱- جداسازی گازها

جداسازی گاز از طریق غشاها به عنوان یک واحد عملیاتی مهم با مزیت های خاصی نسبت به روش های جداسازی مرسوم نظیر تقطیر برودتی^۱ و جذب^۲ ظهور کرد. سال های گذشته، فناوری بر پایه غشا به طور چشمگیری در رشد مرزهای پژوهشی جدید نظیر حذف دی-اکسیدکربن، که به عنوان یک وسیله مؤثر و کارآمد برای تصفیه گاز طبیعی به کار می رود، مشارکت داشته است. اگر چه با وجود تعداد زیادی از کاربردهای بالقوه برای جداسازی گاز با استفاده از غشاهای پلیمری، تنها بخشی از آنها در عمل پذیرفته شده اند. کاربرد بالقوه هر غشای پلیمری برای جداسازی به عملکرد (قابلیت عبوردهی) غشا و خلوص محصول به دست آمده بستگی دارد. این به این معناست که هم ضریب تراوایی و هم گزینش پذیری جریان تراوش یافته از غشا، باید تا حد امکان بالا باشد. پیشرفت در مطالعه جداسازی گاز با استفاده از غشاها به میزان زیادی شتاب گرفته و این روش به عنوان یک روش با دوام تجاری در سال ۱۹۸۰ به واسطه توسعه و بهبود خواص پلیمرهای سنتزی جدید مطرح شده است. از اینرو حرکت در جهت بهبود فرایندهای تشکیل غشا، ساختارهای فیزیکی و شیمیایی و پیکربندی-های ماژولار متفاوت برای کاربردهای نهایی خاص، به طور پیوسته صورت گرفته است. به منظور تضمین عملکرد یک غشا، مشخصه های علمی^۳ باید در نظر گرفته شود. این مشخصه ها عبارتند از:

¹ Cryogenic Distillation

² Adsorption

³ Scientific Factors

(۱) فرایندپذیری مواد جدید، با خواص انتقالی ذاتی و استحکام مکانیکی مناسب تحت شرایط گرمایی و مخلوط خوراک خاص (با به کارگیری ابزارهای شیمی سنتزی برای کنترل روابط مابین ساختار و خواص).

(۲) استفاده از ترمودینامیک، سینتیک‌های انتقال جرم و علم سطح برای کنترل ریخت-شناسی‌های پیچیده مورد نیاز برای یک استفاده مؤثر و کارآمد از مواد پیشرفته در غشاهای کامپوزیتی و نامتقارن^۱.

(۳) حصول یک بینش به رفتار غشاها نسبت به مخلوط‌های خوراک متفاوت و تحت شرایط عملیاتی واقعی، با به کارگیری تکنیک‌های تحلیلی.

بنابراین، بهبود تراوایی گاز و گزینش‌پذیری غشاهای پلیمری تلاش تعداد بسیاری از گروه‌های علمی سراسر جهان، از بخش‌های صنعتی تا آزمایشگاه‌های دانشگاهی را به خود جلب کرده است. به هر حال، برای بهبود خواص غشا و کنترل خواص جداسازی آن، یک فهم خوب از حد واسطه بین خواص پلیمرها و رفتار انتقال گاز آنها ضروری است. نتایج پژوهش‌های صورت گرفته نشان داده است که اصلاحات ساختاری، که منجر به افزایش تراوایی پلیمر می‌شود، معمولاً باعث یک کاهش در گزینش‌پذیری و برعکس می‌شود. این حد واسطه در مقالات منتشر شده پیشین، اصطلاحاً حد واسطه جایگزینی^۲ توصیف شده است.

گسترش دامنه کاربردی غشاهای پلیمری هدف پژوهشگران معاصر در توسعه دانش غشا می‌باشد که از طریق حد واسطه جایگزینی می‌توان این هدف را پیگیری نمود. برای مثال حذف دی‌اکسیدکربن و یا سولفید هیدروژن می‌تواند از طریق آمین‌ها، کربنات کلسیم گرم یا غشاها صورت گیرد. انتخاب یک نوع فناوری یا ترکیبی از فناوری‌ها به نیازهای عمل‌آورنده گاز^۳ بستگی دارد. در طول تاریخ، CO₂ با استفاده از حلال‌های پایه آمینی حذف شده است. این سامانه‌ها ولو اینکه به طور گسترده استفاده می‌شود، می‌تواند مشکلات عملی را به واسطه چالش‌های مطرح در حفظ حلال تمیز و عملیاتی، در مدت محدودیت‌های فرایندی سامانه، مطرح کند. سامانه‌های غشایی به طور گسترده برای حذف CO₂ استفاده شده‌اند، و در شرایط فرایندی مشخص می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

یک چالش در سامانه‌های غشایی از دیدگاه اقتصادی رسیدن به حداقل سطح مجاز CO₂ مشخص شده برای خطوط لوله می‌باشد که در ایالات متحده کمتر از ۲ درصد مولی است. به همین دلیل، بعضی اوقات سامانه‌های غشایی با فرایندهای دیگر توأم می‌شود.

در سال‌های اخیر، تلاش‌ها و موفقیت‌های علمی در سنتز مواد نانوساختاری متنوع افق جدیدی را برای توسعه مواد پیشرفته با خواص جدید یا ارتقا یافته فراهم کرده است. نانوکامپوزیت‌ها روند جاری در توسعه مواد نانوساختار جدید را نشان می‌دهد. آنها می‌توانند به صورت ترکیبی

¹ Asymmetric and Composite Membranes

² Trade-Off Relationship

³ Gas Processor