





دانشگاه بلوچستان

تحصیلات تکمیلی

پایان نامه دکتری در رشته مهندسی شیمی

عنوان:

شبیه سازی تماس دهنده های غشائی الیاف توخالی گاز- مایع

اساتید راهنما:

دکتر حسین آتشی

دکتر مرتضی زیو دار

استاد مشاور:

دکتر سید محمود موسوی

تحقیق و نگارش:

مجید مهدویان

شهریور ۱۳۹۰

بسمه تعالی

این پایان نامه با عنوان شبیه سازی تماس دهنده های غشائی گاز- مایع قسمتی از برنامه آموزشی دوره دکتری مهندسی شیمی توسط دانشجو مجید مهدویان تحت راهنمایی استاد پایان نامه دکتر حسین آتشی تهیه شده است. استفاده از مطالب آن به منظور اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیستان و بلوچستان مجاز می باشد.

(نام و امضاء دانشجو)

این پایان نامه ۲۴ واحد درسی شناخته می شود و در تاریخ توسط هیئت داوران بررسی و درجه به آن تعلق گرفت.

نام و نام خانوادگی	امضاء	تاریخ
استاد راهنما:	دکتر حسین آتشی	
استاد راهنما:	دکتر مرتضی زیو دار	
استاد مشاور:	دکتر سید محمود موسوی	
داور ۱:	دکتر حسن پهلوان زاده	
داور ۲:	دکتر عبد الصمد زرین قلم	
داور ۳:	دکتر فرشاد فرشچی تبریزی	
داور ۴:	دکتر داود محبی کلهری	
نماینده تحصیلات تکمیلی:	دکتر محمد حسین شفیعی	



تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب مجید مهدویان تأیید می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان‌نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان می‌باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: مجید مهدویان

امضاء

تقدیم به:

روح پدرمهربان ،

مادر فداکار و

همسر دلسوزم

و استاد فرهیخته

مرحوم پروفیسور محمد خشنودی

سپاسگزاری

سپاس پروردگار جهانیان که هر چه داریم همه لطف اوست. بار الها غیر رحمت و مهربانی تو در زندگی به یاد ندارم و جز غفلت و ناسپاسی و کوتاهی پیش نفرستاده ام. حقیقت زندگی انسان بندگی توست و بدون تو همه چیز هیچ است. خداوندا تنها تورا می پرستیم و تنها از تو یاری می جوییم. ما را به راه راست هدایت فرما. راه آنان که گرامی شان داشته ای نه راه مغضوبان و نه راه گمراهان.

از تمامی معلمان، دبیران و استادان و افرادی که در رسیدن من به این مرحله زحمت کشیده اند به ویژه اساتید راهنمای پایان نامه جناب آقای دکتر آتشی و جناب آقای دکتر مرتضی زیودار ، و استاد مشاور جناب آقای دکتر سید محمود موسوی که همواره از راهنمایی های آنها بهره مند بوده ام، صمیمانه تشکر می کنم. همچنین از زحمات خانواده به خصوص مادر و همسرم که همیشه با حمایت های خود زمینه ساز موفقیت های من بوده اند قدردانی می نمایم.

چکیده

تماس دهنده های غشائی تجهیزاتی هستند که بدون نیاز به تماس مستقیم فاز ها و اختلاط آنها در یکدیگر امکان انتقال جرم را فراهم می آورند. در این سیستم ها از یک غشاء متخلخل به عنوان حایل بین دو فاز استفاده می شود و فازهای گاز و مایع جاذب در دو سمت غشاء جریان می یابند. در این مطالعه اعمال و حل یک مدل انتقال جرم محاسباتی به منظور شبیه سازی جذب در تماس دهنده غشایی برای جداسازی CO_2 و H_2S انجام شده است. این مدل جذب غشائی قادر به محاسبه شار انتقال جرم و همچنین توزیع غلظت اجزاء می باشد. نفوذ شعاعی و محوری درون فیبر ، غشاء و سمت پوسته تماس دهنده محاسبه و بررسی شده است. اثر شرایط عملیاتی مثل سرعت مایع، سرعت گاز، دما و فشار تحلیل شده است و نحوه توزیع غلظت درون فیبر ، غشاء و سمت پوسته بررسی شده است. علاوه بر این مقایسه کامل ۴ حلال فیزیکی متانول، پلی پروپیلن، π -متیل پیرولیدن و آب برای حالت جذب فیزیکی دی اکسید کربن از مخلوط CO_2/CH_4 توسط تماس دهنده های غشائی مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین بررسی کارائی حلال متانول در جذب همزمان CO_2 و H_2S از مخلوط آنها با متان انجام شده است. از داده های تجربی جذب فیزیکی اجزاء خالص گزارش شده در مراجع، به منظور آزمون درستی حل مدل استفاده شده است. نتایج نشان می دهند که مدل با مطابقت مناسبی قادر به پیش بینی انتقال جرم و هیدرودینامیک تماس دهنده های غشائی می باشد. مشاهده گردید که عمق رسوخ در جهت شعاعی در جاذب با توجه به ضریب نفوذ، سرعت جاذب و شعاع فیبر تغییر می کند. از بررسی ماهیت جریان در منافذ غشاء متخلخل مشخص شئ که هر دو نوع جریان ویسکوز و نودسن نقش دارند. علاوه بر این ضریب توزیع مهمترین پارامتر در جذب فیزیکی دی اکسید کربن در جاذب های آلی می باشد. نرخ نسبی جذب دی اکسید کربن در متانول در محدوده $2/2$ تا $4/6$ برابر مقدار آن در آب می باشد و با افزایش سرعت جاذب یا کاهش سرعت گاز درصد حذف افزایش می یابد. همچنین مشخص گردید که جاذب متانول را می توان در جداسازی CO_2 و H_2S نیز مورد استفاده قرار داد. از نتایج شبیه سازی اثبات می شود که توزیع غلظت CO_2 و H_2S در جریان گاز به صورت قالبی می باشد در حالیکه در فاز مایع شیددا متاثر از غلظت فصل مشترک و ضریب نفوذ است. علاوه بر این در فشارهای عملیاتی بالای ۱۰ اتمسفر حتی در دبی های متانول پایین درصد حذف برای H_2S تقریباً کامل است. در صورتیکه مقدار آن در فشار اتمسفری حدود ۳۰٪ است. همچنین درصد جداسازی با افزایش دما کاهش می یابد و این کاهش برای H_2S شدید تر است. علاوه بر این مشخص گردید که در طراحی و کاربرد تماس دهنده های غشائی با حلال متانول دبی های بالا موثر تر هستند و حلال NMP در فشار های بالا موثر تر است.

کلمات کلیدی: انتقال جرم محاسباتی ، تماس دهنده های غشائی، جداسازی CO_2 و H_2S ، حلال فیزیکی آلی،

متانول

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: مقدمه
۲	۱-۱- تکنولوژی جداسازی غشائی
۳	۲-۱- حوزه و اهداف تحقیق
۵	فصل دوم: مروری بر تاریخچه و پژوهش های انجام شده
۶	۱-۲- بررسی منابع
۱۸	۲-۲- کار فعلی
۲۰	فصل سوم: مبانی تماس دهنده های غشائی
۲۱	۱-۳- مقدمه
۲۲	۲-۳- غشاهای مورد استفاده در تماس دهنده های غشائی
۲۴	۳-۳- حالت خشک و تر شده غشاء و فشار رسوخ
۲۷	۴-۳- ضریب های انتقال جرم در تماس دهنده های غشائی
۳۳	۵-۳- مزایا و معایب تماس دهنده های غشائی
۳۴	۶-۳- کاربردهای مهم تماس دهنده های غشایی
۳۵	۷-۳- استفاده از تماس دهنده های غشائی در تصفیه جریان های گازی
۳۶	فصل چهارم: مدل سازی و شبیه سازی
۳۷	۱-۴- مقدمه
۳۷	۲-۴- توصیف مسأله (شرح موضوع)
۴۰	۳-۴- موازنه مواد
۴۲	۱-۳-۴- معادلات انتقال در فاز مایع
۴۳	۲-۳-۴- معادلات انتقال در غشاء
۴۸	۳-۳-۴- معادلات انتقال در فاز گاز
۵۳	۴-۴- روش حل معادلات سیستم به روش عددی و استخراج داده های لازم
۵۸	فصل پنجم: نتایج و بحث
۵۹	۱-۵- اعتبار سنجی مدل
۶۰	۲-۵- بررسی رژیم جریان در غشاء فیبر تو خالی پلی تترا فلورو اتیلن
۶۴	۳-۵- جذب فیزیکی همزمان CO_2 و H_2S در آب
۷۰	۴-۵- جذب فیزیکی CO_2 در حلال های فیزیکی آلی
۸۱	۵-۵- جذب فیزیکی همزمان CO_2 و H_2S در متانول
۹۰	۶-۵- تعیین دبی بهینه جاذب در جذب فیزیکی تماس دهنده های غشائی فیبر تو خالی
۹۴	فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۹۹	مراجع
۱۰۵	پیوست الف: ساخت پایلوت تماس دهنده غشائی
۱۰۶	۱- طرح و مشخصات سیستم جداسازی غشایی

- ۲ - خرید تجهیزات و مواد
 ۱۰۹
 ۳- معرفی طرحهای پژوهشی قابل انجام با پایلوت
 ۱۱۳

فهرست جدول ها

صفحه	عنوان جدول
۲۹	جدول ۱-۳: ضریب های کلی انتقال جرم برای تماس دهنده های غشائی
۵۵	جدول ۱-۴: پارامترهای استفاده شده در محاسبات برای سیستم
۶۵	جدول ۱-۵: مشخصات مدول مربوط شبیه سازی جذب فیزیکی
۱۱۱	جدول A-۱: مشخصات مدول فیبر توخالی ساخته شده
۱۱۲	جدول A-۲: هزینه تجهیزات

فهرست شکل ها

صفحه	عنوان
۱۴	شکل ۱-۲: غشاء ترکیبی آب دوست و آب گریز
۲۲	شکل ۱-۳: غشای ریز منفذ فیبر توخالی در یک تماس دهنده غشایی
۲۳	شکل ۲-۳: فضای فصل مشترک بین یک فاز گازی غیر قطبی و یک فاز قطبی در یک غشاء آبگریز
۲۵	شکل ۳-۳: حالت خشک و تر شده غشاء
۲۶	شکل ۴-۳: نمایش زاویه تماس
۲۷	شکل ۵-۳: غشاء ترکیبی دارای یک لایه نازک متراکم پوشیده شده بر روی سطح میکرو متخلخل
۲۸	شکل ۶-۳: مقاومت های انتقال جرم در تماس دهنده های غشائی
۳۸	شکل ۱-۴: تماس دهنده غشائی فیبر تو خالی با جریان متقابل
۳۸	شکل ۲-۴: پروفایل غلظت و مقاومت های موجود به دلیل انتقال جرم اجزاء
۴۱	شکل ۳-۴: بخشی از تماس دهنده غشائی با غشاء فیبر توخالی
۵۴	شکل ۴-۴: دامنه محاسباتی و نمایش مش بندی
۵۷	شکل ۵-۴: یک نمونه حل معادلات و توزیع غلظت در فاز گاز، غشاء و مایع
۵۹	شکل ۱-۵: مقایسه مدل با داده های تجربی درصد جداسازی CO_2 $GFR = 200 \text{ ml/min}$

- شکل ۵-۲: مقایسه مدل با داده های گزارش شده درصد جداسازی و غلظت خروجی H_2S ۶۰
- شکل ۵-۳: مقدار مقاومت نفوذ توده گاز و نفوذ نودسن در غشاء ۶۱
- شکل ۵-۴: نتایج مربوط به ضرایب نفوذ در منافذ غشاء ۶۲
- شکل ۵-۵: مقدار مقاومت های موجود در غشاء در مقایسه با مقاومت کل غشاء ۶۳
- شکل ۵-۶: تصویر SEM از یک غشاء و نمایش منافذ آن ۶۴
- شکل ۵-۷: نحوه توزیع غلظت CO_2 در سرعت گاز 3 m/s و سرعت مایع 0.1 m/s ،
 $(C_{0\text{ CO}_2} = C_{0\text{ H}_2\text{S}} = 4\text{ mol/m}^3)$ ۶۶
- شکل ۵-۸: نحوه توزیع غلظت H_2S در سرعت گاز 3 m/s و سرعت مایع 0.1 m/s ،
 $(C_{0\text{ CO}_2} = C_{0\text{ H}_2\text{S}} = 4\text{ mol/m}^3)$ ۶۷
- شکل ۵-۹: تغییرات غلظت در امتداد طول بدون بعد مدول در فاز گاز ($r/R_3=0$) و فاز مایع ($T=298\text{ K}$ ، 0.1 m/s و سرعت گاز 3 m/s) ۶۸
- شکل ۵-۱۰: اثر دما بر پروفیل شعاعی غلظت CO_2 و H_2S در فاز مایع جاذب برای سرعت گاز 3 m/s و سرعت مایع 0.1 m/s ، $z/L=0.5$ ۶۹
- شکل ۵-۱۱: مقایسه پروفیل شعاعی غلظت برای حلال های فیزیکی مورد بررسی (PC, NMP, MeOH, H₂O) در سرعت گاز 3 m/s و سرعت مایع 0.5 m/s ، $z/L=0.5$ و $T=298\text{ K}$ ، $C_0=8\text{ mol/m}^3$ ۷۰
- شکل ۵-۱۲: مقایسه پروفیل غلظت CO_2 در فاز مایع برای حلال های فیزیکی مورد بررسی (PC, NMP, MeOH, H₂O) در سرعت گاز 3 m/s و سرعت مایع 0.5 m/s و $T=298\text{ K}$ و $C_0=8\text{ mol/m}^3$ در امداد طولی غشاء. شکل ۶-۱۲-الف : $z/L=0.9$ ، شکل ۶-۱۲-ب : $z/L=0.5$ ، شکل ۶-۱۲-ج : $z/L=0.1$ ۷۳
- شکل ۵-۱۳: تغییرات غلظت CO_2 در امتداد طول بدون بعد مدول در فاز گاز ($r/R_3=0$) برای حلال های فیزیکی مورد بررسی در سرعت گاز 3 m/s و سرعت جاذب 0.2 m/s ، $T=298\text{ K}$ ، $C_{0\text{ CO}_2} = 8\text{ mol/m}^3$ ، ۷۴
- شکل ۵-۱۴: اثر سرعت جاذب متانول در پروفیل غلظت طولی در سرعت گاز 3 m/s ، $T=298\text{ K}$ ، $C_{0\text{ CO}_2} = 8\text{ mol/m}^3$ ، ۷۵
- شکل ۵-۱۵: اثر سرعت جریان گاز در پروفیل غلظت طولی در سرعت جاذب متانول 0.2 m/s ، $C_{0\text{ CO}_2} = 8\text{ mol/m}^3$ ، $T=298\text{ K}$ ۷۵
- شکل ۵-۱۶: مقایسه درصد جداسازی CO_2 با تغییر سرعت جاذب های مختلف (متانول ، اب، پروپیلن کربنات و n-متیل-۲-پیرولیدین) در سرعت گاز 0.8 m/s و با غلظت اولیه 8 mol/m^3 ۷۷
- شکل ۵-۱۷: مقایسه درصد جداسازی CO_2 با تغییر سرعت گاز و با غلظت اولیه 8 mol/m^3 ۷۸

- در سرعت مایع جاذب 0.5 m/s
- ۷۹ شکل ۵-۱۸: تاثیر محل و جهت فازهای گاز و مایع جاذب در حالت همسو غیر همسو (گاز درون فیبر یا مایع جاذب درون جاذب) روی بازده جداسازی دی اکسید کربن به صورت تابعی از سرعت حلال متانول در سرعت گاز 3 m/s ، $T=298 \text{ K}$ ، $C_{0 \text{ CO}_2} = 8 \text{ mol/m}^3$
- ۸۰ شکل ۵-۱۹: اثر فشار جریان گاز در پروفیل غلظت طولی در سرعت جاذب 3 m/s و سرعت جاذب 2 m/s ، $T=298 \text{ K}$ ، $C_{0 \text{ CO}_2} = 8 \text{ mol/m}^3$
- ۸۲ شکل ۵-۲۰: نحوه توزیع غلظت CO_2 در سرعت گاز 3 m/s و سرعت جاذب متانول 0.1 m/s و $z/L=0.5$
- ۸۲ شکل ۵-۲۱: نحوه توزیع غلظت H_2S در سرعت گاز 3 m/s و سرعت جاذب متانول 0.1 m/s و $z/L=0.5$
- ۸۳ شکل ۵-۲۲: پروفیل غلظت CO_2 و H_2S در فاز مایع (سمت لوله) در سرعت گاز 3 m/s و سرعت مایع 0.1 m/s در امتداد طول غشاء ($z/L=0.1, 0.5, 0.9$) و $C_{0 \text{ CO}_2} = C_{0 \text{ H}_2\text{S}} = 4 \text{ mol/m}^3$
- ۸۴ شکل ۵-۲۳: اثر سرعت متانول بر پروفیل شعاعی غلظت CO_2 و H_2S در فاز مایع جاذب (سمت درون فیبر) در سرعت گاز 3 m/s و $z/L=0.5$
- ۸۵ شکل ۵-۲۴: اثر دما در غلظت خروجی فاز گاز در سرعت گاز 3 m/s و سرعت متانول 1 m/s ، $C_{0 \text{ CO}_2} = C_{0 \text{ H}_2\text{S}} = 4 \text{ mol/m}^3$ ، $T=298 \text{ K}$
- ۸۶ شکل ۵-۲۵: مقایسه درصد جداسازی CO_2 و H_2S با تغییر سرعت جاذب متانول در سرعت گاز 3 m/s و با غلظت اولیه اجزاء $T=298 \text{ K}$ ، 4 mol/m^3
- ۸۷ شکل ۵-۲۶: مقایسه درصد جداسازی CO_2 و H_2S با تغییر سرعت گاز و با غلظت اولیه اجزاء 4 mol/m^3 در سرعت مایع جاذب 0.5 m/s
- ۸۸ شکل ۵-۲۷: اثر فشار گاز بر درصد جداسازی CO_2 و H_2S در سرعت گاز 3 m/s و سرعت جاذب 0.1 m/s ، $T=298 \text{ K}$ ، $C_{0 \text{ CO}_2} = C_{0 \text{ H}_2\text{S}} = 4 \text{ mol/m}^3$
- ۸۹ شکل ۵-۲۸: اثر طول مدول در غلظت خروجی CO_2 و H_2S در سرعت گاز 3 m/s و سرعت مایع (متانول) 1 m/s
- ۹۰ شکل ۵-۲۹: اثر تعداد فیبر بر پروفیل سرعت در پوسته در سرعت گاز 2 m/s
- ۹۳ شکل ۵-۳۰: تعیین دبی بهینه در جذب فیزیکی
- ۱۰۸ شکل A-۱: شمای پایلوت تماس دهنده غشائی
- ۱۱۰ شکل A-۲: لوله غشایی از جنس PTFE بکارگیری شده در مدول غشایی
- ۱۱۱ شکل A-۳: عملیات نصب غشاء در مدول آزمایشگاهی ساخته شده
- ۱۱۴ شکل A-۴- نمای کلی از پایلوت غشایی

فهرست علائم

متوسط کل سطح مقطع سلول ها شامل فیبر، m^2	$A_{av-cell}$
سطح مقطع سلول شامل فیبر، m^2	A_{cell}
سطح مقطع فیبر، m^2	A_{fiber}
سطح مقطع ورود گاز، m^2	A_g
سطح انتقال جرم، m^2	A_s
غلظت، $mol.m^{-3}$	C
غلظت اولیه، $mol.m^{-3}$	C_0
غلظت هر جزء در فاز گاز یا غشاء یا مایع جاذب، $mol.m^{-3}$	$C_{i-phase}$
غلظت اولیه هر جزء در فاز گاز یا غشاء یا مایع جاذب، $mol.m^{-3}$	$C_{0i-phase}$
ضریب نفوذ، $m^2.s^{-1}$	D
ضریب نفوذ نودسن، $m^2.s^{-1}$	D_K
ضریب نفوذ هر جزء در فاز گاز یا غشاء یا مایع جاذب، $m^2.s^{-1}$	$D_{i-phase}$
قطر فیبر، m	d
حالت تعادل	e
تابع احتمال	f
دبی جریان گاز $ml.min^{-1}$	GFR
فاکتور افزایش	E
ضریب هنری	H
شار جزء i ، $mol.m^{-2}.s$	J_i
ضریب کلی انتقال جرم، $m.s^{-1}$	K
ضریب منفرد انتقال جرم در فاز گاز یا غشاء یا مایع جاذب- ثابت سرعت	k
طول فیبر، m	L
دبی جریان مایع $ml.min^{-1}$	LFR
طول مشخصه	l
ضریب توزیع جزء i در مایع جاذب، $liquid\ mol.gas\ mol^{-1}$	m_i
وزن مولکولی، $Kg.Kgmol^{-1}$	M_w
تعداد فیبرها در مدول، -	n
فشار، KPa	P
دبی، $m^3.sec^{-1}$	Q
جهت شعاعی، m یا شعاع منافذ	r
شعاع داخلی فیبر، m	r_1
شعاع خارجی فیبر، m	r_2

شعاع سطح ازاد مدل هپل ، m	r_3
شعاع مدول، m	r_4
سرعت واکنش ، $\text{mol.m}^{-3} . \text{s}^{-1}$	R
سرعت واکنش جزء i در فاز مایع یا غشاء ، $\text{mol.m}^{-3} . \text{s}^{-1}$	Ri-phase
عدد رینولدز	Re
عدد اشمیت	Sc
عدد شرود	Sh
دما ، K	T
سرعت محوری، m.s^{-1}	V
سرعت محوری جزء i در لوله یا پوسته، m.s^{-1}	Vi-phase
سرعت محوری در پوسته، m.s^{-1}	Vshell
متوسط سرعت محوری در پوسته، m.s^{-1}	Vavg-shell
سرعت محوری در لوله، m.s^{-1}	Vtube
متوسط سرعت محوری در لوله، m.s^{-1}	Vavg-tube
جهت محوری، m	z
پیچ و خم غشاء	
دانسیته حجمی پر شده مدول	
چگالی سیال ، Kg.m^{-3}	ρ
ویسکوزیته سیال ، $\text{Kg.m}^{-1} . \text{s}^{-1}$	μ
ویسکوزیته سیال ، $\text{m}^2 . \text{s}^{-1}$	ν
ثابت	α
ثابت	β
ضخامت غشاء، m	δ
حجم مولی در نقطه جوش طبیعی $\text{m}^3 . \text{mol}^{-1}$	

زیر نویس ها

CO_2 یا H_2S موجود در فاز گاز ، غشاء یا مایع	i
جزء	A
فاز غشاء در فضای محاسباتی مدل	Mem or m
بخش تر نشده فاز غشاء در فضای محاسباتی مدل	drymem
بخش تر شده فاز غشاء در فضای محاسباتی مدل	wetmem
فاز خارج فیبر در فضای محاسباتی مدل	shell
گاز	g

مایع	L
مایع جاذب	solvent
فاز داخل فیبر در فضای محاسباتی مدل	tube
فاز آبی	aq
فاز آلی	Org or O
مقاومت خارجی شامل غشاء و فاز گاز	ex
ورودی	in
خروجی	out
گاز	gas
مایع	liq

فصل اول

مقدمه

۱-۱- تکنولوژی جداسازی غشائی

در طول نیم قرن گذشته، تکنولوژی جداسازی غشائی در طیف وسیعی از کاربردها بکار برده شده است. غشاء می تواند به عنوان حائل نازک بطور انتخابی، نفوذ اجزاء شیمیایی که با آن در تماس هستند را تعدیل می کند و انتخابگری یک غشاء بر نفوذ نسبی اجزاء مختلف متکی است. با توسعه غشاءهای مرکب، جداسازی گازی مبتنی بر غشاء به عنوان کاربرد غشائی صنعتی مهمی در دهه ۱۹۸۰ ظاهر شد. سرمایه گذاری کم، آسانی عملیات، مصرف انرژی کم، اندازه و وزن مناسب، راه اندازی و انعطاف پذیری بالای فرایند و دلایل دیگر باعث شده است که فرآیند جداسازی غشایی گازها قابل رقابت با دیگر فرآیندهای جداسازی باشند. پیشرفت در رفع معایب فنی این فرآیند و بویژه ساخت غشاءهای مناسب باعث شده است که این فرآیند هر روز کاربرد بیشتری پیدا نماید.

گاز های حاصله از فرآیندهای انجام شده در کارخانجات صنعتی ممکن است حاوی ذرات سمی و آلوده کننده مثل گازهای اسیدی و ترکیبات $VOSs$ ، SO_x ، NH_3 و Hg باشد که هر کدام از این مواد تاثیرات مخربی بر محیط زیست ایجاد می کنند. به عنوان مثال CO_2 عامل اصلی به وقوع پیوستن پدیده گلخانه ای (گرم شدن دمای کره زمین) می باشد و یا ترکیبات $VOSs$ سبب واکنش های فتوشیمیایی در اتمسفر می شوند و گازهای SO_x ، NH_3 ، H_2S بسیار سمی هستند [۱]. فرآیندهایی که منظور به منظور تصفیه و پالایش مخلوط های گازی به کار می روند، از تکنیک های فیزیکی ساده تا فرآیندهای چند مرحله ای هیبریدی پیچیده تغییر می کند که عمدتاً به ماهیت و غلظت ناخالصی ها و همچنین مشخصات جریان گاز بستگی دارد.

جداسازی گازهای اسیدی (H_2S و CO_2) از اهمیت زیادی در بسیاری از حوزه های صنعتی نظیر تولید هیدروژن، تصفیه گاز طبیعی، کاهش گسیل گاز گلخانه ای و ... برخوردار است. CO_2 محتوای انرژی را کاهش داده و هر دو برای سیستم های حمل و نقل و ذخیره در حضور آب خورنده هستند. برای رسیدن به تعیین خط لوله، غلظت های CO_2 و H_2S لازم است به کمتر از ۲٪ و ۴ ppm به ترتیب کاهش بیابند [۲]. در همه این فرایندها، حذف CO_2 یا H_2S ، در حالیکه بقیه اجزاء در فشار فرایندی نگه داشته می شوند لازم است. در حال حاضر، تکنولوژی های اصلی برای حذف گاز اسیدی شامل جذب شیمیایی و یا فیزیکی، جذب سطحی فیزیکی، جداسازی غشائی است. در بین این تکنولوژی ها، شستشوی حلال شیمیایی با استفاده از الکانوآمین ها روش تجاری استاندارد برای تصفیه گاز طبیعی می باشد. کمپلکس تولید شده در اثر واکنش بین اجزاء اسیدی و محلول جاذب بسیار ناپایدار است و در مرحله احیاء به آسانی ولی با صرف حرارت شکسته و تجزیه می شود. تجهیزات جداسازی معمولی معمولاً هدف شان دستیابی به نوعی برخورد سیال - سیال می باشد که این تماس به یک مساحت

سطح بزرگ در حجم برسد و نحوه تماس منجر به ضریب انتقال جرم بالا شود. ولی در ضمن شکل برخورد سیال - سیال ماهیت تصادفی دارد.

برای یک فرایند غشائی جداسازی گاز ، اقتصاد آن عمدتاً بواسطه خصوصیات انتقال غشاء یا تراوایی و انتخابگری برای یک یا چند جزء در مخلوط گازی تعیین می شود . ترجیحاً غشاءها باید انتخابگری بالا و نفوذپذیری بالا را به طور همزمان نشان دهند. برای فرایند جداسازی گاز ، غشاءها عمدتاً با ماده پلیمری تهیه می شوند(عمدتاً از استات سلولز یا پلی ایمید) ، گرچه غشاءهای غیرآلی نظیر غشاءهای سرامیکی ، شیشه ای و فلزی نیز وجود دارند [۳]. با این وجود ، غشاءهای تجاری فعلی معمولاً از توازن انتخابگری و تراوایی که از کاربرد گسترده از صنعت جلوگیری می کند رنج می برند .

بواسطه عملکرد غشایی محدود ، اخیراً فرایند غشائی کمتر از ۱٪ بازار جهانی را برای تجهیزات جداسازی گاز طبیعی در تصرف دارد که تا ۵ میلیون دلار در سال برآورد شده است [۴]. به عنوان جایگزینی برای غشاءهای معمول ، غشاءهای انتقال تسهیل شده امید بیشتری را برای خصوصیات انتقالی عالی از خود نشان داده اند. در این نوع غشاء ، حامل متحرک یا ثابت وجود دارد که می تواند بطور برگشت پذیر با مؤلفه های گازی خاص واکنش دهند. واکنش در غشاء ، مکانیسم انتقال دیگری را برای جزء گازی هدف به علاوه مکانیسم نفوذ ایجاد می کند [۵]. بنابراین ، انتخاب گری بالا و قابلیت نفوذ بالا می توانند در یک زمان بدست آیند . با این حال در مورد بعضی از اجزاء به دلیل اینکه غلظت این ترکیبات معمولاً بسیار پایین و در حدود ppm می باشد جداسازی آنها توسط غشاء امکان پذیر نمی باشد (به دلیل کم بودن غلظت نیروی محرکه بسیار ضعیف خواهد بود) ، در این حالت استفاده از تماس دهنده های غشائی نتیجه مطلوبی خواهد داد. تماس دهنده های غشایی افق جدیدی را در زمینه ترکیب فرایند های غشائی و فرایند های جذب می گشایند. آنها می توانند مساحت سطح بزرگ در حجم ایجاد کنند و شکلی غیر تصادفی از سطح مشترک سیال - سیال را به ما می دهند.

۱-۲- حوزه و اهداف تحقیق

هدف این پایان نامه شبیه سازی عملکرد تماس دهنده های غشائی به خصوص نوع مقیاس آزمایشگاهی به صورت تئوری می باشد. مدلسازی و شبیه سازی سیستم جداسازی غشایی- جذبی برای مخلوط گازی CO₂، CH₄ و H₂S که تقریباً یک مخلوط واقعی است، انجام شده است. شبیه سازی این سیستم کمک فراوانی به ساخت پایلوت آن و مقایسه داده های تجربی با تئوری می کند. تمرکز این پایان نامه بر جذب فیزیکی گاز توسط تماس دهنده های غشائی و بررسی عملکرد و پارامترهای مهم عملیاتی این فرایند می باشد. ساختار کلی این پایان نامه به صورت زیر است:

در فصل ۲ مروری بر تاریخچه و کاربرد های تماس دهنده های غشائی و بررسی کارهای انجام شده پژوهشگران تا کنون با تاکید بر تماس دهنده های گاز- مایع و جنبه های مربوط به تصفیه CO₂ و H₂S از مخلوط گازها انجام شده است.

در فصل ۳ توصیف این فن آوری و اصول عملیاتی آن همراه با توضیحاتی در مورد فرآیند انتقال جرم است. در ادامه توصیفی در مورد انواع روش های تماس ممکن و مروری بر اصطلاحات این تکنولوژی ارائه شده است. در انتها برخی کاربردهای معمول با درجه توسعه یافتگی مختلف و مزایا و معایب به صورت کلی اشاره می شود.

در فصل ۴ مدل ریاضی برای پیش بینی عملکرد انتقال جرم در تماس دهنده های غشائی پیشنهاد شده است. معادلات دیفرانسیلی جزئی برای مدل سازی تماس دهنده های غشائی بکار رفته و روش عددی برای حل آنها به کار گرفته شده است. معادلات حاکم بر مدل، فرصیات مدل پیشنهادی، هندسه مدل و شرایط مرزی و اولیه دیگر مطالب بررسی شده ی این فصل را تشکیل می دهند.

در فصل ۵ شبیه سازی جداسازی CO₂ و H₂S با جاذب های فیزیکی به عنوان مایع جاذب انجام شده است. سپس برای اثبات عملکرد تماس دهنده های غشائی در این حالت عملکرد آنها را براساس نتایج مدل سازی مقایسه کرده ایم. برای درک تأثیرات پارامترهای مختلف بر عملکرد جداسازی، پارامترهای عملیاتی بطور مستقل در روشی مرحله ای تغییر داده شده اند. علاوه براین، براساس نوع جذب روش برای جذب چند جزئی برای شبیه سازی تصفیه گاز ترش در صنعت گاز طبیعی توسعه یافته است.

در فصل ۶ نتیجه گیری کلی از تحقیق و پیشنهاداتی برای انجام پژوهش های بعدی ارائه شده است. همچنین در پیوست پایان نامه جنبه های مربوط به ساخت پایلوت تماس دهنده غشائی که به عنوان کارهای بعد از شبیه سازی پیشنهاد شده است، شرح داده شده است.

فصل دوم

مروری بر تاریخچه و پژوهش های انجام شده

تماس دهنده های غشائی گروه منحصر به فردی از روش های انتقال جرم و جدا سازی را شامل می شوند که به واسطه ی تلاش های آکادمیک رشد و توسعه یافته اند و به وسیله صنایع و حوزه های بازاریابی مختلف کاربردهای تجاری نیز یافته اند. سال ها تحقیق و مطالعات پژوهشگران روی تکنولوژی تماس دهنده غشایی باعث بدست آمدن طیف وسیعی از اطلاعات و کاربردها برای این تکنولوژی شده است. صنایعی که از مزایای این تکنولوژی سود جسته اند شامل دارو سازی، بیوتکنولوژی، نیمه رساناها و الکترونیک، صنایع غذایی و نوشیدنی، محیط زیست و دیگر فرآیندهای ویژه که کاربردهای جدیدی از این تکنولوژی در آنها استفاده شده است، می باشند. البته ذکر کردن همه کارهای انجام شده در این پایان نامه غیر ممکن است و در اینجا بخش کوچکی از کاربردهای ثبت شده و حوزه گسترش این تکنولوژی ارائه می شود و بیشتر روی موضوع این پژوهش یعنی تماس دهنده های غشائی گاز- مایع متمرکز می شویم.

نخستین کاربرد غشاء ریز منفذ به عنوان تماس دهنده غشائی گاز- مایع در اکسیژناتور خون با غشای آب گریزمسطح Gore -Tex بود [۶]. دور نمای تاریخی از روش جداسازی محلول آبی - آلی بوسیله تماس دهنده های غشایی در مراجع [۷-۹] ارائه شده است. امکان استفاده از تماس دهنده های غشائی، از اواسط دهه ۱۹۸۰ تاکنون برای حوزه های کاربردی مختلفی مثل جداسازی اتانول از مواد تخمیر [۱۰]، استخراج یونهای فلزی از ضایعات و جریان های صنعتی [۱۱، ۱۲]، بازیابی ترکیبات سولفور از فاضلاب صنایع غذایی [۱۳] و جذب گاز [۱۴-۱۶] مطالعه شده است.

کاربرد تماس دهنده های غشایی در جدا سازی مایع - مایع در دو گروه طبقه بندی می شود ۱- خارج کردن مواد نامطلوب از آب ۲- باز یافت مواد با ارزش از آب .

اکثر کارهای انجام گرفته روی تماس دهنده های غشایی مایع - گاز نیز روی دو موضوع عمده بوده است ۱- جداسازی، خالص سازی و تصفیه آب و محلول های آبی ۲- جذب اجزاء گازی از هوا یا مخلوط های گازی برای خالص سازی یا باز سازی که در ادامه به طور مجزا بحث خواهد شد.

بررسی نتایج انتقال جرم در تحقیقات اولیه برای درک این تکنولوژی بسیار موثر است که در این قسمت سعی می گردد تا حد امکان به موارد مهم اشاره گردد. امکان استفاده صنعتی از غشاءهای الیاف توخالی به عنوان تماس دهنده غشائی گاز- مایع و نخستین بررسی های کامل در مورد جذب اجزاء گازی در یک مایع جاذب بوسیله تماس دهنده غشایی توسط کی و کاسلر [۱۴، ۱۵] انجام شده است. پس از آنها، پژوهشگران بسیاری به بررسی غشاء براساس این روش جذب برای حذف انواع ماده