



واحد بین الملل

دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی شیمی - فرآوری گاز

مدل سازی جذب بخارات آب از گاز طبیعی توسط تماس  
دهنده های غشائی با حلال تری اتیلن گلیکول

نگارش

مصطفی آریان

اساتید راهنما

دکتر پیمان کشاورز

دکتر سید شهاب الدین آیت اللهی

شهریور ۱۳۹۱



صلى الله عليه وسلم

به نام خدا

اظهار نامه

اینجانب مصطفی آریان (۸۸۸۸۶۷) دانشجوی رشته مهندسی شیمی گرایش مهندسی گاز دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز واحد بین الملل 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 دستاوردهای 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: مصطفی آریان

تاریخ و امضاء:

به نام خدا

مدل سازی جذب بخارات آب از گاز طبیعی توسط تماس دهنده های  
غشائی با حلال تری اتیلن گلیکول

به کوشش  
مصطفی آریان

پایان نامه  
ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه شیراز به عنوان بخشی از  
فعالیت های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته:  
مهندسی شیمی

از دانشگاه شیراز

واحد بین الملل - قشم

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه ، با درجه : عالی

دکتر پیمان کشاورز، استادیار دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز (رئیس کمیته).....  
دکتر سید شهاب الدین آیت اللهی، استاد دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز.....  
دکتر داریوش مولا، استاد دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز.....  
دکتر شادی حسن آجیلی، استادیار دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز.....

تقديم به

«الهي چون تو حاضري چه جويم، و چون تو ناظري چه گويم.  
خداوندا، تا کنون به ناداني امر تو مي ترسيدم و اينك به دانائي لير خود  
مي ترسم.»

(استاد حسن مزاده آملی)

«تقديم به مروح بن مرگوار آيت الله العظمی سيد عبدالعلي آيت اللهی  
، عالم عامل، حکيم و فيلسوف، عارف بالله، هنرمند چيره دست،  
شاعر خوش ذوق، امام جمعه محبوب لامرستان بن مرگ.  
بامر پروردگارا، مروحش مرا گرامي و او مرا با ابرار همنشين بدار.»

## سیاسگزاری

اکنون که به یاری پروردگار بی همتا این پژوهش به پایان رسیده است، لازم می دانم از زحمات جناب دکتر پیمان کشاورز و دکتر سید شهاب الدین آیت اللهی به خاطر حمایت های بی دریغشان در راهنمایی و هدایت رساله و همچنین دکتر داریوش مولا و دکتر شادی حسن آجیلی به جهت حضورشان در جلسه دفاع از پیشنهاد رساله و جلسه دفاع از پایان نامه، ارائه نقطه نظرات مفید و ویرایش دقیق پایان نامه کمال تشکر را ابراز نمایم. از خانواده عزیزم تشکر می نمایم که دو سال دوری و سختی این کار را تحمل نمودند و با دعای خیرشان پیوسته مشایعت کننده راهم بودند و تمام کسانی که به نحوی در انجام این پایان نامه تاثیرگذار بودند ولی نامی از آنها برده نشده است.

## چکیده

### مدل سازی جذب بخارات آب از گاز طبیعی توسط تماس دهنده های غشائی با حلال تری اتیلن گلیکول

به کوشش

مصطفی آریان

هدف از انجام این پروژه جداسازی بخارات آب از گاز طبیعی به کمک حلال تری اتیلن گلیکول با بکارگیری تماس دهنده های غشائی می باشد. از آنجا که الیاف تو خالی غشائی لوله ای شکل در مقایسه با غشاهای صفحه ای نسبت سطح به حجم بالاتری دارند و دارای راندمان بالاتری می باشند، لذا در این مدل سازی از این نوع غشاء استفاده شده است. وجود بخارات آب به همراه گاز طبیعی در اثر نوسانات فشار و کاهش دمای عملیاتی ممکن است به آب، یخ و یا هیدرات تبدیل شود و این ممکن است باعث کاهش جریان گاز، افزایش افت فشار و حتی گاهی بسته شدن خطوط لوله و شیرها گردد. در حضور آب، ترکیبات اسیدی مانند سولفید هیدروژن و دی اکسید کربن می توانند باعث تشدید خوردگی خطوط لوله و تجهیزات شوند. آب گیری به وسیله غشاء در مقایسه با سایر روش های متداول مانند جذب شیمیایی، جذب سطحی و ... از مزایای فراوانی برخوردار است. مدل سازی های انجام شده بر مبنای حل معادلات بقاء برای جزء منتقل شونده در تماس دهنده غشائی می باشد. در ابتدا مدل سازی برای فرآیند جداسازی  $CO_2$  از مخلوط گاز  $CO_2/N_2$  به نسبت (۲۰:۸۰) با حلال آب در تماس دهنده های غشائی در یک مدول ۱۱۰۰ الیافی انجام گرفت. نتایج مدل سازی با داده های آزمایشگاهی بدست آمده از مراجع مقایسه شدند تا دقت مدل سازی بررسی شود، مقادیر محاسبه شده برای درصد جداسازی  $CO_2$ ، مقدار انحراف متوسط ۵ درصد را با مقادیر آزمایشگاهی نشان می دهد. سپس بدون تغییر در شرایط مدل سازی مخلوط گاز  $CH_4/H_2O$  به نسبت (۹۸:۲) و حلال تری اتیلن گلیکول (TEG) به ترتیب جایگزین مخلوط گاز  $CO_2/N_2$  و حلال آب در تماس دهنده های غشائی شدند. در نهایت نتایج بدست آمده از مدل سازی نشان داد که بخارات آب کاملاً جذب حلال تری اتیلن گلیکول می گردد و حالت NON-WETTING, WETTING غشاء تاثیری روی جذب بخارات آب نمی گذارد.



## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	<b>فصل اول: مقدمات و تعاریف</b>
۲	۱-۱- مقدمه
۳	۲-۱- تعریف غشاء
۳	۳-۱- طبقه بندی غشاها
۵	۴-۱- ساختار و مورفولوژی غشاها
۵	۵-۱- ماژول و انواع آن
۶	۶-۱- مشخصات ماژول ها
۶	۱-۶-۱- ماژول های قاب و صفحه
۷	۲-۶-۱- ماژول های حلزونی
۷	۳-۶-۱- ماژول های تیوبی
۸	۴-۶-۱- ماژول های موئین
۸	۵-۶-۱- ماژول های الیف تو خالی
۹	۷-۱- مقایسه ساختار ماژول ها
۱۱	<b>فصل دوم: مروری بر تاریخچه پیدایش غشاء</b>
۱۲	۱-۲- مقدمه
۱۳	۲-۲- نگاهی به تاریخچه غشاء
۱۵	<b>فصل سوم: معرفی روش های پالایش گاز طبیعی</b>
۱۶	۱-۳- مقدمه
۱۸	۲-۳- پردازش (پالایش) گاز طبیعی

۱۸	۳-۳- رطوبت زدایی
۱۸	۴-۳- روش های اصلی رطوبت زدایی از گاز طبیعی
۲۰	۳-۴-۱- رطوبت زدایی با محلول گلیکول
۲۱	۳-۴-۱-۱- مکانیسم رطوبت زدایی به کمک محلول گلیکول
۲۲	۳-۴-۱-۲- احیای مجدد محلول گلیکول
۲۲	۳-۴-۲- رطوبت زدایی با ماده خشک کننده جامد
۲۳	۳-۴-۱-۲- مکانیسم رطوبت زدایی به کمک ماده خشک کننده جامد
۲۳	۳-۴-۳- رطوبت زدایی با غشاء
	۳-۴-۱-۳- مکانیسم رطوبت زدایی به کمک الیاف تو خالی تماس دهنده
۲۴	غشائی با محلول تری اتیلن گلیکول

## فصل چهارم: شبیه سازی جذب دی اکسید کربن با آب در

۲۷

### تماس دهنده های غشائی

۲۸	۴-۱- مقدمه
	۴-۲- خلاصه ای از کارهای انجام شده در جداسازی دی اکسید کربن
۲۹	از مخلوط گاز با الیاف تو خالی غشائی
۳۰	۴-۳- تئوری مسئله
۳۲	۴-۴- معادلات حاکم بر جداسازی
۳۲	۴-۴-۱- انتقال جرم در فاز مایع
۳۳	۴-۴-۲- انتقال جرم در فاز گاز
۳۴	۴-۴-۳- انتقال جرم در فاز غشاء
۳۵	۴-۵- روش حل
۳۶	۴-۶- بحث و نتیجه گیری

۴۶

## فصل پنجم: مدل سازی جذب بخارات آب از گاز طبیعی

۴۷	۵-۱- مقدمه
۴۸	۵-۲- بسط مدل
۴۸	۵-۲-۱- حلالیت آب در تری اتیلن گلیکول
۴۹	۵-۲-۱-۱- تعادل آب در دو فاز مایع و گاز

صفحه

عنوان

۵۰	۵-۲-۲- محاسبه ضریب نفوذ پذیری
۵۱	۵-۳- شرایط عملیاتی و مشخصات تماس دهنده غشائی
۵۳	۵-۴- نتایج و بحث
۵۹	۵-۵- نتیجه گیری و پیشنهادات
۶۱	فهرست منابع و مآخذ

پیوست

## فهرست جدول ها

صفحه	عنوان
۲۰	جدول (۱-۳): خصوصیات گلايكول های مورد استفاده در فرایند نم زدایی گاز
۳۶	جدول (۱-۴): مشخصات تماس دهنده های غشائی الیاف تو خالی مورد استفاده در مدل سازی
۵۱	جدول (۱-۵): مقادیر پارامتر های رابطه ناکانیشی برای محاسبه ضریب نفوذ مایعات
۵۲	جدول (۲-۵): مشخصات تماس دهنده غشائی الیاف تو خالی مورد استفاده در مدل سازی

## فهرست شکل ها

صفحه	عنوان
۹	شکل (۱-۱): نمائی از ماژول و الیاف تو خالی غشائی
۱۹	شکل (۱-۳): نمائی از فرایند نم زدایی معمول با تری اتیلن گلیکول
۲۱	شکل (۲-۳): نمائی از واحد عظیم نم زدایی با محلول گلیکول در کالیفرنیا
۲۵	شکل (۳-۳): نمائی از حالت غیر تر شوندگی غشاء آب گریز بر پایه ی تماس فاز گاز و مایع
۲۵	شکل (۴-۳): نمائی از حالت تر شوندگی غشاء آب گریز بر پایه ی تماس فاز گاز و مایع
۳۰	شکل (۱-۴): شماتیکی از تماس دهنده های غشائی
۳۱	شکل (۲-۴): نواحی انتقال جرم در تماس دهنده های غشائی برای جذب دی اکسید کربن
۳۵	شکل (۳-۴): نمائی از جریان مایع و گاز در تماس دهنده های غشائی و سطح آزاد هاپل
۳۶	شکل (۴-۴): تغییرات غلظت CO <sub>2</sub> در مایع خروجی بر حسب شدت جریان مایع، Q <sub>g</sub> =75 cc/min
۳۷	شکل (۵-۴): تغییرات شار جذب CO <sub>2</sub> بر حسب سرعت مایع، U <sub>g</sub> =0.0544 m/s
۳۷	شکل (۶-۴): تغییرات غلظت CO <sub>2</sub> در مایع خروجی بر حسب شدت جریان مایع در حالت غشاء تر شده، Q <sub>g</sub> =75 cc/min
۳۸	شکل (۷-۴): تغییرات غلظت CO <sub>2</sub> در فاز گاز در در طول تماس دهنده غشائی در سرعت های مختلف مایع
۳۹	شکل (۸-۴): تغییرات غلظت H <sub>2</sub> O به صورت دو بعدی در فاز مایع
۳۹	شکل (۹-۴): تغییرات شار جذب CO <sub>2</sub> بر حسب سرعت گاز، U <sub>L</sub> =0.3 m/s

- شکل (۴-۱۰): تغییرات غلظت CO<sub>2</sub> در فاز گاز در طول تماس دهنده های  
 ۴۰ غشائی در حالت های مختلف تر شدگی غشاء
- شکل (۴-۱۱): تغییرات شار جذب CO<sub>2</sub> بر حسب سرعت مایع در حالت های  
 ۴۱ مختلف تر شدگی غشاء،  $U_g=0.05$  m/s
- شکل (۴-۱۲): تغییرات غلظت CO<sub>2</sub> به صورت دو بعدی در فاز مایع،  
 ۴۲  $U_L=0.3$  m/s,  $U_g=0.05$  m/s
- شکل (۴-۱۳): تغییرات غلظت CO<sub>2</sub> در فاز مایع در شعاع های مختلف  
 ۴۲ بر حسب طول الیاف
- شکل (۴-۱۴): تغییرات غلظت CO<sub>2</sub> در فاز مایع در شعاع های مختلف  
 ۴۳ بر حسب طول الیاف
- شکل (۴-۱۵): تغییرات غلظت CO<sub>2</sub> به صورت دو بعدی در فاز مایع،  
 ۴۳  $U_L=0.3$  m/s,  $U_g=0.05$  m/s
- شکل (الف ۴-۱۶): تغییرات غلظت CO<sub>2</sub> در فاز مایع در شعاع های مختلف  
 ۴۴ بر حسب طول الیاف
- شکل (ب ۴-۱۶): تغییرات غلظت CO<sub>2</sub> در فاز مایع در طول های مختلف  
 ۴۴ الیاف غشایی بر حسب شعاع
- شکل (۵-۱): غلظت های تعادلی آب در دو فاز مایع و گاز  
 ۵۰
- شکل (۵-۲): تغییرات غلظت H<sub>2</sub>O در فاز گاز در طول تماس دهنده های  
 ۵۲ غشائی در حالت غشاء تر نشده،  $U_L=0.2$  m/s
- شکل (۵-۳): تغییرات شار جذب H<sub>2</sub>O بر حسب سرعت گاز در حالت  
 ۵۳ غشاء تر نشده،  $U_L=0.2$  m/s
- شکل (۵-۴): تغییرات شار جذب H<sub>2</sub>O بر حسب سرعت مایع در حالت  
 ۵۴ غشاء تر نشده،  $U_g=0.3$  m/s
- شکل (۵-۵): تغییرات شار جذب H<sub>2</sub>O در فاز گاز در طول تماس دهنده های  
 ۵۵ غشائی در حالت های مختلف تر شدگی غشاء

## عنوان

## صفحه

- شکل (۵-۶): تغییرات غلظت  $H_2O$  بر حسب سرعت گاز،  $U_L=0.2$  m/s
- شکل (۵-۷): تغییرات شار جذب  $H_2O$  بر حسب سرعت مایع در حالت های مختلف تر شدگی غشاء،  $U_g=0.3$  m/s
- شکل (۵-۸): تغییرات غلظت  $H_2O$  به صورت دو بعدی در فاز مایع

## فهرست نشانه های اختصاری

سطح مقطع الیاف غشائی	A
حجم مولی	V
غلظت	C
ضریب نفوذ	D
شار مولی	J
ضریب انتقال	K
خلل و فرج الیاف غشائی	e
طول الیاف غشائی	L
دما	T
فشار	P
ثابت عددی هنری	H
تعداد مول گازی	n
جرم مولکولی	M
ثابت جهانی گازها	R
زمان	t
نماد جهت شعاعی	r
حلالیت فیزیکی	m
نماد جهت محوری	z
دبی حجمی کل	Q
پیچ و خم	$\tau$
خلل و فرج های الیاف در یک مدول	$\varepsilon$
سرعت متوسط	U



### زیر نویس ها

متوسط	av
گاز	g
داخلی	i
بگیر	in
سطح تماس	int
مایع	L
لگاریتم	lm
خلل و فرج	p
جزء تشکیل دهنده گاز	A
خارجی	ex

### نمادهای یونانی

بتا	$\beta$
لاندا	$\lambda$
گاما	$\gamma$
اتا	$\eta$

# فصل اول

مقدمات و تعاریف

## ۱-۱- مقدمه

جداسازی گازها توسط فرایندهای غشائی به سرعت در حال رشد می‌باشد و امروزه غشاهای گازی در کاربردهای متنوعی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این طیف وسیع دال بر فواید و منافع فراوان این تکنولوژی می‌باشد. فناوری جداسازی غشائی از مزایایی مانند مصرف کمتر انرژی و هزینه سرمایه‌گذاری پائین‌تر نسبت به روش‌های معمول جداسازی برخوردار است. علاوه بر این، جداسازی غشائی فرایندی نسبتاً ساده است و به تجهیزات کم حجم تری نیاز دارد. همچنین فرایندهای جداسازی توسط غشاها بسته به نوع جداسازی مورد نظر، انواع متنوعی دارند اما در همه آنها وجه مشترک، وجود غشائی است که عامل جلوگیری از مخلوط شدن دو فاز با یکدیگر است. انواع این فرایندها عبارتند از:

۱- فرایندهای گاز - گاز: فرایند تراوش گاز

۲- فرایندهای مایع - گاز: تراوش تبخیری

۳- فرایندهای مایع - مایع: دیالیز، الکترودیالیز، اسمز معکوس، نانوفیلتراسیون، اولترافیلتراسیون و میکروفیلتراسیون

توجهی که در دهه‌های اخیر به صرفه‌جویی در میزان مصرف انرژی صنایع معطوف شده، در مهندسی شیمی نیز جایگاه ویژه‌ای یافته است. در فرایندهای جداسازی، این انگیزه در طراحی فرایندها تقویت شده است که تا حد امکان از تشکیل فاز دوم در جداسازی اجتناب شود تا به این صورت در مصرف انرژی تا حد امکان، صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای به عمل آید. بدین ترتیب توجه به گروهی از فرایندها معطوف گردیده که جداسازی را بدون تغییر فاز انجام می‌دهند.

## ۱-۲- تعریف غشاء

غشاء عبارتست از یک ناحیه غیرپیوسته که بین دو فاز قرار داده می شود [۱]. و در این ناحیه انتقال جرم انتخاب پذیر اتفاق می افتد که این انتقال بواسطه اختلاف در خواص فیزیکی و شیمیایی بین دو فاز است که غشاء بین آنها قرار گرفته است [۲]. در برخی منابع هم غشاء را یک ساختار دارای خلل و فرج میکرونی می دانند که به عنوان یک فیلتر با راندمان بالا در ابعاد مولکولی عمل می کند و به یون ها، مولکول های حلال و سایر مولکول های کوچک اجازه عبور می دهد [۳].

ویژگی مهم غشاء گزینش پذیری<sup>۱</sup> آن است یعنی غشاء به یکی از اجزای مخلوط اجازه عبور می دهد و از گذشتن سایر اجزاء از غشاء جلوگیری می نماید. مهمترین نیرو محرکه ای که باعث این جداسازی می شود اختلاف پتانسیل شیمیایی است. برخی دیگر از نیرو محرکه ها عبارتند از: اختلاف فشار، وجود گرادیان غلظت و اختلاف پتانسیل الکتریکی

## ۱-۳- طبقه بندی غشاها

غشاها را از دیدگاه های مختلف می توان تقسیم بندی کرد. از نظر طبیعت غشاها می توان آنها را به دو بخش تقسیم کرد:

(۱) غشاهای طبیعی

(۲) غشاهای مصنوعی

غشاهای طبیعی غشاهایی هستند که در طبیعت وجود دارند، مانند سلول بدن موجودات زنده. غشاهای مصنوعی غشاهایی هستند که به روش های مصنوعی ساخته می شوند و به دو گروه تقسیم می گردند:

---

1-Selectivity