



دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی شیمی

(بدون گرایش)

مدل سازی جذب آمونیاک از جریان پرج واحدهای تولید آمونیاک در آب،

به وسیله ی تماس دهنده های غشائی الیاف توخالی

به کوشش

محمد رضا کرمی

اساتید راهنما:

دکتر پیمان کشاورز

دکتر محمد خرم

دی ۱۳۹۱

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

به نام خدا

## اظهارنامه

اینجانب محمد رضا کرمی (۸۹۰۷۶۸) دانشجوی رشته‌ی مهندسی شیمی (بدون گرایش) دانشکده‌ی مهندسی شیمی، نفت و گاز اظهار می‌کنم که این پایان نامه حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کرده‌ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته‌ام. همچنین اظهار می‌کنم که تحقیق و موضوع پایان نامه‌ام تکراری نیست و تعهد می‌نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننموده و یا در اختیار غیر قرار ندهم. کلیه حقوق این اثر مطابق با آیین‌نامه مالکیت فکری و معنوی متعلق به محقق و دانشگاه شیراز است.

نام و نام خانوادگی: محمد رضا کرمی

تاریخ و امضا:

بناام خدا

مدل‌سازی جذب آمونیاك از جریان پرج واحدهای تولید آمونیاك در آب،  
به‌وسیله‌ی تماس‌دهنده‌های غشائی الیاف توخالی

به كوشش

محمد رضا كرمی

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 پایان نامه، با درجه‌ی: عالی

دکتر پیمان کشاورز، استادیار دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز (رئیس کمیته).....

دکتر محمد خرم، دانشیار دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز.....

دکتر غلامرضا کریمی، دانشیار دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز.....

دکتر شادی حسن آجیلی، استادیار دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز.....

دی ۱۳۹۱

تقدیرم به مادر دل‌وز و پدر هم‌بازم؛

که رنج و مشقت این دنیا را برای خویش خواستند و آسایش را برای من...

و تقدیرم به خواهران عزیزم که فداکاری‌هایشان هرگز از یاد من بیرون نخواهد رفت.

## سپاسگزاری

اکنون که به یاری خداوند متعال این رساله به پایان رسیده است بر خود لازم می‌دانم از تلاشهای بی‌کران استاد گرامی جناب آقای دکتر پیمان کشاورز که راهنمایی‌های بی‌دریغ و مشفقانه ایشان در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، همواره راهگشای بنده بوده، سپاسگزاری نمایم. از درگاه خداوند کریم برای ایشان و خانواده محترمشان آرزوی سلامتی و موفقیت دارم. همچنین از زحمات و راهنمایی‌های استاد عزیز دکتر محمد خرم تشکر می‌نمایم و سلامتی و شادی ایشان را از درگاه خداوند بزرگ خواستارم. همچنین از زحمات اساتید ارجمند جناب آقای دکتر غلامرضا کریمی و سرکار خانم دکتر شادی حسن آجیلی که زحمت مشاوره‌ی این پایان‌نامه بر عهده ایشان بوده است کمال تشکر را دارم. در پایان از همکاری کلیه اساتید و دوستانی که مرا در این راه یاری کرده‌اند، تشکر می‌نمایم.

## چکیده

### مدل‌سازی جذب آمونیاک از جریان پرچ واحدهای تولید آمونیاک در آب، به‌وسیله‌ی تماس‌دهنده‌های غشائی الیاف توخالی

#### به کوشش

#### محمد رضا کرمی

در این کار برای توصیف جداسازی آمونیاک از گاز پرچ واحدهای تولید آمونیاک با استفاده از تماس‌دهنده‌های غشائی الیاف توخالی، یک مدل ریاضی توسعه داده شده است. وابستگی ضریب نفوذ آمونیاک در آب به غلظت؛ معادله انتقال جرم حاکم در فاز مایع را غیر خطی می‌کند. به علت انحلال بالای آمونیاک در آب، از یک معادله حالت به جای قانون هنری که در تحقیقات گذشته به کار رفته، استفاده شده است. یک روش عددی برای حل هم‌زمان معادلات خطی و غیر خطی درون فازهای مایع، غشاء و گاز به کار گرفته شده است. با توجه به موجود نبودن داده‌های آزمایشگاهی جذب آمونیاک در آب توسط تماس‌دهنده‌های غشائی الیاف توخالی، برای صحت-سنجی روش مدل‌سازی از داده‌های آزمایشگاهی جذب دی‌اکسید کربن در آب استفاده شده است. تصاویر گرفته شده با میکروسکوپ الکترونی نشان می‌دهد که آمونیاک باعث بوجود آمدن ترک‌های ریزی در سطح الیاف غشائی می‌شود؛ که می‌تواند شاهدهی برای ترشدهی جزئی غشاء در کاربردهای طولانی مدت باشد. به هر حال نتایج مدل نشان می‌دهد که پدیده ی ترشوندگی غشاء اثر قابل توجهی بر جذب آمونیاک ندارد، که علت آن حلالیت بالای آمونیاک در آب و پایین بودن مقاومت در برابر انتقال جرم در فاز مایع می‌باشد. نتایج هم-چنین نشان می‌دهد که سرعت مایع بر خلاف سرعت گاز اثر مهمی بر شار جذب آمونیاک ندارد.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: مقدمه
۱	۱-۱- کلیات
۴	۲-۱- هدف تحقیق
۴	۳-۱- ضرورت انجام تحقیق
۴	۱-۳-۱- جنبه زیست محیطی
۴	۲-۳-۱- جنبه اقتصادی
۵	فصل دوم: مبانی نظری پروژه
۵	۱-۲- تولید آمونیاک
۸	۲-۲- گاز پرچ (Purge Gas)
۱۰	۳-۲- فناوری غشائی
۱۲	۱-۳-۲- کاربرد غشاءها
۱۴	۲-۳-۲- انواع غشاءها
۱۸	۳-۳-۲- مزایای تماس دهنده‌های غشائی الیاف توخالی
۲۱	۴-۲- حلالیت آمونیاک در آب
۲۳	فصل سوم: مروری بر تحقیقات گذشته
۲۶	فصل چهارم: روش تحقیق (مدل سازی و روش حل معادلات)
۲۶	۱-۴- بسط مدل
۲۷	۲-۴- انتقال جرم در فاز مایع



۳۱	..... انتقال جرم در فاز گاز
۳۴	..... انتقال جرم در فاز غشاء
۳۶	..... ۱-۴-۴- بررسی پدیده‌ی ترشوندگی غشاء و اثرات آن بر فرآیند جذب
۳۷	..... ۵-۴- روش حل عددی
۴۰	..... فصل پنجم: نتایج
۴۰	..... ۱-۵- صحت‌سنجی روش مدل‌سازی
۴۳	..... ۲-۵- بررسی اهمیت نفوذ محوری
۴۵	..... ۳-۵- تأثیر سرعت گاز بر شار جذب و درصد بازیابی آمونیاک
۴۷	..... ۴-۵- تأثیر سرعت مایع بر شار جذب و درصد بازیابی آمونیاک
۴۹	..... ۵-۵- آزمون SEM
۵۲	..... ۶-۵- اثر پدیده ترشوندگی بر جذب آمونیاک
۵۲	..... ۱-۶-۵- مقیاس بزرگ
۵۴	..... ۲-۶-۵- مقیاس کوچک
۶۰	..... ۷-۵- پروفایل غلظت آمونیاک در فاز گاز و مایع
۶۰	..... ۱-۷-۵- راستای شعاعی
۶۲	..... ۲-۷-۵- راستای محوری
۶۷	..... فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها
۶۹	..... - فهرست منابع

## فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲: ترکیب تقریبی گاز پرج یک واحد تولید آمونیاک (مجتمع پتروشیمی رازی) [۷]	۱۰
جدول ۲-۲: روند پیشرفت فناوری غشاء [۱۲]	۱۱
جدول ۳-۲: مقایسه مدول‌های مختلف با یکدیگر [۱۶]	۱۴
جدول ۴-۲: سطح تماس در تماس‌دهنده‌های مختلف [۱۸]	۱۹
جدول ۵-۲: حلالیت آمونیاک در آب در دماها و فشار بخارهای مختلف [۲۱]	۲۲
جدول ۱-۴: ضرائب معادله ویلسون برای سیستم آب و آمونیاک [۳۸]	۲۹
جدول ۲-۴: ضریب نفوذ آمونیاک در آب [۲۱ و ۳۹]	۳۲
جدول ۱-۵: خواص فیزیکی و انتقالی	۴۰
جدول ۲-۵: مشخصات مدول‌های غشائی الیاف توخالی مورد استفاده	۴۱

## فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۸	شکل ۱-۲: طرح رآکتور تولید آمونیاک و جریان گاز پرج
۱۲	شکل ۲-۲: روند تکامل سیستم‌های غشائی جداسازی گاز [۱۲]
۱۴	شکل ۳-۲: غشای صفحه مسطح نامتقارن یا فیلم نازک کامپوزیتی [۱۶]
۱۵	شکل ۴-۲: غشای لوله ای [۱۶]
۱۵	شکل ۵-۲: غشای الیاف توخالی [۱۶]
۱۵	شکل ۶-۲: غشای یک پارچه [۱۶]
۱۶	شکل ۷-۲: مدول غشائی حلزونی [۱۷]
۱۶	شکل ۸-۲: مدول غشائی صفحه و قاب [۱۶]
۱۷	شکل ۹-۲: مدول غشائی یک پارچه [۱۶]
۱۷	شکل ۱۰-۲: مدول غشائی لوله ای [۱۶]
۱۸	شکل ۱۱-۲: مدول غشائی الیاف توخالی [۱۶]
۲۷	شکل ۱-۴: نواحی انتقال جرم اطراف یک لیف
۳۰	شکل ۲-۴: رابطه غلظت آمونیاک در سطح تماس مایع و گاز
۳۱	شکل ۳-۴: طرحی از جریان مایع و گاز در یک لیف
	شکل ۴-۴: حالت‌های مختلف غشاء: الف) حالت ترننده، ب) حالت ترشدگی جزئی،
۳۵	ج) حالت کاملاً ترشده
۳۶	شکل ۵-۴: منافذ غشای ترننده و با ترشدگی جزئی
۳۹	شکل ۶-۴: الگوریتم حل برنامه

- شکل ۵-۱: تأثیر سرعت مایع بر غلظت CO<sub>2</sub> در مایع خروجی از تماس‌دهنده تحت شرایط غشای ترننده و ترشده. (گاز ورودی: CO<sub>2</sub> خالص با سرعت ۰/۱۲۸۴ متر بر ثانیه، مایع ورودی: آب خالص، مدول ۱) ..... ۴۲
- شکل ۵-۲: تأثیر سرعت مایع بر شار جذب CO<sub>2</sub> تحت شرایط غشای ترننده. (گاز ورودی: CO<sub>2</sub> خالص با سرعت ۰/۰۳ متر بر ثانیه، مایع ورودی: آب خالص، مدول ۲) . ۴۳
- شکل ۵-۳: بررسی تأثیر نفوذ محوری بر میزان شار جذب آمونیاک ..... ۴۴
- شکل ۵-۴: تغییرات شار مولی جذب و درصد بازیابی آمونیاک با سرعت گاز تحت شرایط غشای ترننده. الف: مدول ۱، ب: مدول ۲. (گاز ورودی: گاز پرچ (جدول ۱)، مایع ورودی: آب خالص با سرعت ۰/۱۵ متر بر ثانیه) ..... ۴۶
- شکل ۵-۵: تغییرات شار مولی جذب و درصد بازیابی آمونیاک با سرعت مایع تحت شرایط غشای ترننده. الف: مدول ۱، ب: مدول ۲. (گاز ورودی: گاز پرچ (جدول ۱) با سرعت ۰/۲ متر بر ثانیه، مایع ورودی: آب خالص) ..... ۴۸
- شکل ۵-۶: تصویر SEM غشای الیاف توخالی پلی‌پروپیلنی (غشای خشک) ..... ۵۰
- شکل ۵-۷: تصویر SEM غشای الیاف توخالی پلی‌پروپیلنی در تماس با آب خالص ..... ۵۰
- شکل ۵-۸: تصویر SEM غشای الیاف توخالی پلی‌پروپیلنی در تماس با محلول ۱۵٪ آمونیاک در آب ..... ۵۱
- شکل ۵-۹: تصویر SEM غشای الیاف توخالی پلی‌پروپیلنی در تماس با محلول ۲۵٪ آمونیاک در آب ..... ۵۱
- شکل ۵-۱۰: تأثیر درصد ترشدگی غشاء بر شار مولی جذب آمونیاک، الف) مدول ۱، ب) مدول ۲ ..... ۵۳
- شکل ۵-۱۱: تأثیر درصد ترشدگی غشاء بر شار مولی جذب آمونیاک، مدول ۱. (سرعت مایع: ۰/۲۵ متر بر ثانیه، سرعت گاز: الف) ۰/۴۵ ب) ۰/۶۵ ج) ۱ د) ۱/۴ متر

- ۵۶ ..... بر ثانیه) (.....
- شکل ۵-۱۲: تأثیر درصد ترشدگی غشاء بر شار مولی جذب آمونیاک، مدول ۲. (سرعت مایع: ۰/۲۵ متر بر ثانیه، سرعت گاز: الف) ۰/۰۵ ب) ۰/۱ ج) ۰/۱۵ د) ۰/۲۵
- ۵۸ ..... (متر بر ثانیه) (.....
- شکل ۵-۱۳: تغییرات درصد ترشدگی بهینه با سرعت گاز، مدول ۱ ..... ۵۹
- شکل ۵-۱۴: تغییرات درصد ترشدگی بهینه با سرعت گاز، مدول ۲ ..... ۶۰
- شکل ۵-۱۵: پروفایل غلظت در راستای شعاعی در فاز گاز، مدول ۱، سرعت گاز: ۰/۲۵ متر بر ثانیه، سرعت مایع: ۰/۲۵ متر بر ثانیه ..... ۶۱
- شکل ۵-۱۶: پروفایل غلظت در راستای شعاعی در فاز مایع، مدول ۱، سرعت گاز: ۰/۲۵ متر بر ثانیه، سرعت مایع: ۰/۲۵ متر بر ثانیه ..... ۶۲
- شکل ۵-۱۷: پروفایل غلظت در راستای محوری در فاز گاز، مدول ۲، سرعت گاز: ۰/۵ متر بر ثانیه، سرعت مایع: ۰/۲ متر بر ثانیه ..... ۶۳
- شکل ۵-۱۸: پروفایل غلظت در راستای محوری در فاز گاز، مدول ۱، سرعت گاز: ۰/۵ متر بر ثانیه، سرعت مایع: ۰/۲ متر بر ثانیه ..... ۶۴
- شکل ۵-۱۹: پروفایل ۳ بعدی غلظت درون فاز مایع، مدول ۲، حالت ترنشده، سرعت گاز: ۰/۵ متر بر ثانیه، سرعت مایع: ۰/۲ متر بر ثانیه ..... ۶۶
- شکل ۵-۲۰: پروفایل ۳ بعدی غلظت درون فاز مایع، مدول ۲، حالت کاملاً ترشده، سرعت گاز: ۰/۵ متر بر ثانیه، سرعت مایع: ۰/۲ متر بر ثانیه ..... ۶۶

## فهرست نشانه‌های اختصاری

C	غلظت ( $\text{mol m}^{-3}$ )
dp	قطر منافذ غشاء (m)
D	ضریب نفوذ ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ )
$D_{ik}$	ضریب نفوذ نودسن ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ )
H	ثابت Henry (بدون بعد)
J	شار مولی ( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )
$K_b$	ثابت یونیزاسیون بازی
L	طول مدول (m)
M	جرم مولکولی ( $\text{gr mol}^{-1}$ )
P	فشار (kPa)
Q	دبی حجمی ( $\text{cc min}^{-1}$ )
r	محور شعاعی (m)
R	ثابت عمومی گازها ( $\text{j mol}^{-1} \text{K}^{-1}$ )
$R_i$	شعاع داخلی الیاف (m)
$R_o$	شعاع خارجی الیاف (m)
$R_w$	شعاع سطح تماس گاز - مایع (m)
T	دما (K)
U	سرعت مایع ( $\text{m s}^{-1}$ )
v	سرعت گاز ( $\text{m s}^{-1}$ )

X	جزء ترشده غشاء (بدون بعد)
$x_i$	ترکیب درصد جزء $i$ در فاز مایع (بدون بعد)
$y_i$	ترکیب درصد جزء $i$ در فاز گاز (بدون بعد)
$z$	راستای محوری (m)
$\delta$	ضخامت غشاء (m)
$\varepsilon$	خلل و فرج غشاء (بدون بعد)
$\gamma$	ضریب فعالیت (بدون بعد)
$\theta$	تخلخل تماس دهنده (بدون بعد)
$\tau$	ضریب پیچیدگی منافذ غشاء (بدون بعد)
$\Lambda$	Wilson ضریب

#### زیر نویس

متوسط	av
مؤثر	e
گاز	g, G
جزء نفوذ کننده	i
ورودی	in
جزء نفوذ کننده	j
مایع	L
غشاء	m
بهینه	opt
منفذ	p

#### بالا نویس

اشباع	sat
-------	-----

## فصل اول: مقدمه

### ۱-۱- کلیات

آمونیاک برای تولید اوره، نیترات آمونیوم، اسید نیتریک، کودهای شیمیایی و به‌عنوان سیال مبرد مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ماده در مقیاس بزرگ از گاز سنتز تولید می‌شود. روش‌های امروزی تولید آمونیاک شامل سه مرحله است: سولفورزدایی از گاز طبیعی، تولید گاز سنتز از گاز طبیعی و در نهایت سنتز آمونیاک. در هنگام سنتز آمونیاک مقداری گاز پرج<sup>۱</sup>، حاوی درصدی از آمونیاک از واحد خارج می‌شود. به علت بوجود آمدن مشکلات زیست محیطی ناشی از حضور آمونیاک در محیط زیست، مقررات زیست محیطی در هر کشور پیوسته به طور سختگیرانه‌تر در حال تدوین است. به دلیل تأکید جهانی بر مسأله ی "انباشتگی مواد آلی و معدنی در آب‌های زمین"<sup>۲</sup> و با توجه به خاصیت سمی بودن آمونیاک و تأثیر آن بر حیات، کانون توجهات بر روی تخلیه آمونیاک در سفره‌های آبی به شدت متمرکز شده است. در سطوح بالای آمونیاک، اثرات سمی بودن می‌تواند مشاهده شود، که ممکن است شامل مرگ حیوانات، پرندگان، ماهی‌ها و مرگ یا کاهش نرخ رشد گیاهان باشد [۱]. از اثرات طولانی مدت نیز می‌توان به کاهش طول عمر، مشکلات باروری، کاهش باروری و تغییرات در ظاهر و یا رفتار افراد اشاره کرد. قرارگرفتن در معرض سطوح بالای آمونیاک می‌تواند باعث سوزش و سوختگی شدید بر روی پوست و در دهان، گلو، ریه‌ها و چشم‌ها شود [۲].

اکسیدهای نیتروژن در واکنش با آمونیاک، رطوبت و مواد دیگر، بخارهای اسید نیتریک و ذرات مرتبط با آن را تولید می‌کنند. این ذره‌های بسیار ریز می‌توانند در بافت‌های حساس ریه

<sup>1</sup> Purge gas

<sup>2</sup> Eutrophication



نفوذ کنند و به آن آسیب جدی برسانند و در موارد شدید باعث مرگ زودرس شوند. استنشاق برخی از این ذرات می‌تواند باعث ایجاد یا بدتر شدن بیماری‌های تنفسی مانند آمفیزم<sup>۳</sup> و برونشیت<sup>۴</sup> و همچنین تشدید بیماری‌های قلبی شود [۳].

در اثر واکنش NO<sub>x</sub> با ترکیبات آلی فرار در حضور نور خورشید ازن تشکیل می‌شود. ازن می‌تواند عوارض جانبی مانند آسیب به بافت ریه و کاهش عملکرد آن در جمعیت‌های حساس (کودکان، سالمندان و افراد مبتلا به آسم) به وجود آورد [۴].

اکسیدهای نیتروژن هم‌چنین می‌توانند با جذب نور ماوراء بنفش در لایه استراتوسفر باعث تخریب لایه ازن شوند و به صورت بالقوه حیات بر روی کره زمین را تهدید نمایند [۵]. هم‌چنین طبق پیمان کیوتو نیتروژن مونوکسید یکی از شش گاز گلخانه‌ای است که باعث گرم شدن کره زمین می‌شوند [۶]. این موارد دلایل خوبی برای اهمیت جلوگیری از تشکیل اکسیدهای نیتروژن می‌باشند.

در برخی از واحدهای تولید آمونیاک، گاز پرچ را به‌عنوان سوخت در ریفرمر اولیه<sup>۵</sup> می‌سوزانند؛ و طبق واکنش‌های (۱-۱) و (۲-۱) اکسیدهای نیتروژن (NO<sub>x</sub>) به‌وجود می‌آیند [۷].



به‌منظور استفاده از گاز پرچ به‌عنوان سوخت در ریفرمر، برای جلوگیری از تشکیل اکسیدهای نیتروژن، باید آمونیاک را از آن جداسازی نمود.

غلظت آمونیاک موجود در گاز پرچ ممکن است به ۲/۲۷٪ برسد. بنابراین در یک واحد تولید آمونیاک در طول یک سال ۱۶۰۰ تن آمونیاک سوخته می‌شود و به همین نسبت اکسید نیتروژن تولید می‌شود (مجتمع پتروشیمی رازی). صنایع شیمیایی وظیفه کاهش آلاینده‌های گلخانه‌ای را بر عهده دارند که بدین منظور باید فرآیندهای جدیدی را به‌کار گیرند. جذب آمونیاک توسط آب به‌وسیله‌ی ادوات سنتی نمی‌تواند تمام آمونیاک را جدا کند و حدود ppm ۴۰۰ از آن در گاز پرچ باقی می‌ماند [۷].

<sup>3</sup> Emphysema

<sup>4</sup> Bronchitis

<sup>5</sup> Primary reformer

در مجتمع پتروشیمی شیراز از گاز پرج در بازیافت آرگون استفاده می‌شود. بنابراین آمونیاک به وسیله‌ی آب در برج شستشو از گاز پرج در فشار حدود  $75 \text{ kg/cm}^2$  جدا می‌شود. در این شرایط گاز پرج شسته شده حاوی  $100 \text{ ppm}$  آمونیاک می‌باشد [۸]. روش دیگر شکست آمونیاک در یک راکتور سنتی بستر کاتالیستی بر طبق واکنش زیر می‌باشد:



واکنش شکست آمونیاک به علت وجود حجم بالای  $N_2$  و  $H_2$  در گاز پرج محدود می‌شود. یک روش برای از بین بردن این مشکل استفاده از یک راکتور غشائی انتخاب پذیر<sup>۶</sup> است که با وجود محدودیت ترمودینامیکی درصد تبدیل را بالا می‌برد. این کار به صورت خارج کردن محصولات به وسیله‌ی نفوذ و عبور آن‌ها از غشاء انجام می‌شود، که با توجه به اصل لوشاتلیه واکنش به سمت راست پیش می‌رود و درصد تبدیل آمونیاک افزایش می‌یابد.

برای جداسازی آمونیاک از گاز پرج روش‌های دیگری نیز مورد مطالعه قرار گرفته‌اند که استفاده از جاذب‌های جامد و همچنین استفاده از وسایل سنتی مانند برج‌های سینی دار و پرشده نمونه‌ای از آن‌ها می‌باشد. با توجه به پیشرفت چشم‌گیر فناوری غشائی، خصوصاً غشاءهای الیاف توخالی در جداسازی‌های مختلف به نظر می‌رسد می‌توان در جداسازی آمونیاک از جریان گاز پرج نیز از تماس‌دهنده‌های غشائی الیاف توخالی استفاده نمود.

تاکنون مطالعاتی در جذب گازهایی مانند اکسیژن، دی‌اکسید کربن و دی‌اکسید گوگرد و... در حلال‌های مختلف توسط تماس‌دهنده‌های غشائی الیاف توخالی انجام گرفته است، که نتایج مناسبی نیز در بر داشته است. در بخش‌های بعدی به مزایای استفاده از این نوع تماس‌دهنده‌ها می‌پردازیم.

<sup>6</sup> selective

## ۲-۱- هدف تحقیق

هدف از این تحقیق، مدل‌سازی ریاضی و بررسی امکان سنجی جذب آمونیاک از جریان گاز پرج واحدهای تولید آمونیاک در آب، به وسیله تماس‌دهنده‌های غشائی الیاف توخالی می‌باشد.

## ۳-۱- ضرورت انجام تحقیق

با توجه به وجود آمونیاک در جریان گاز پرج واحدهای تولید آمونیاک، بازیابی این گاز از دو جنبه زیست محیطی و اقتصادی مورد اهمیت می‌باشد:

### ۱-۳-۱- جنبه زیست محیطی

به‌علت استفاده از گاز پرج به‌عنوان سوخت در ریفرمر، در اثر سوختن آمونیاک موجود در آن اکسیدهای سمی نیتروژن ( $\text{NO}_x$ ) تولید می‌شود. برای جلوگیری از تشکیل این گازهای سمی باید آمونیاک را از گاز ورودی به ریفرمر، جداسازی کرد.

### ۲-۳-۱- جنبه اقتصادی

حدود ۳ درصد از جریان گاز پرج را آمونیاک تشکیل می‌دهد. با توجه به این‌که آمونیاک یک محصول شیمیایی باارزش می‌باشد، بازیابی آن می‌تواند صرفه اقتصادی داشته باشد. آبی که به‌عنوان حلال از آن استفاده شده و آمونیاک را در خود جذب کرده است را می‌توان با تغلیظ به‌عنوان آب آمونیاکی به فروش رساند.

## فصل دوم: مبانی نظری تحقیق

### ۱-۲- تولید آمونیاک

آمونیاک به طور مداوم در طبیعت با فساد پروتئین حیوانات و گیاهان مرده تشکیل می‌شود. در حالی که با جذب آمونیاک موجود در خاک توسط گیاهان، دوباره به پروتئین تبدیل می‌شود. تا قبل از کشف فرآیند هابر-بوش، تولید آمونیاک از لیکور گازی به دست آمده از گاز زغال سنگ و کوره‌های کک انجام می‌شد [۹].

احتراق زغال سنگ، نفت، چوب و گاز طبیعی و همچنین آتش سوزی جنگل‌ها منجر به تولید آمونیاک در مقادیر کوچک در حدود ۱ تا ۱۰ پوند در هر تن می‌شود.

بزرگ‌ترین کاربرد آمونیاک استفاده مستقیم از آن به عنوان کود و در تولید کود آمونیوم است که تولید مواد غذایی جهان را به‌طور چشم‌گیری افزایش داده است. این کودها در حال حاضر منبع اصلی نیتروژن در خاک‌های کشاورزی محسوب می‌شوند. همچنین از آمونیاک در تولید اسید نیتریک، الیاف مصنوعی، پلاستیک، مواد منفجره و نمک‌های آمونیوم متفرقه استفاده می‌شود. آمونیاک مایع به‌عنوان حلال برای بسیاری از واکنش‌های غیر آلی در فاز غیر آبی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از کاربردهای دیگر آمونیاک نیز استفاده در سنتز آمین‌ها و ایمین‌ها می‌باشد.

آمونیاک از ترکیب نیتروژن و هیدروژن در دما و فشار بالا (۵۵۰ - ۵۰۰ درجه سانتیگراد، ۲۰۰-۳۵۰ اتمسفر) (فرآیند هابر - بوش)، با استفاده از کاتالیزور ارتقاء یافته آهن تولید می‌شود

[۹].