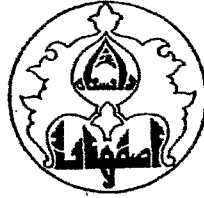




10811

۸۷/۱۰۷۲۸۷

۸۷/۱۲/۲۱



دانشگاه اصفهان
دانشکده فنی مهندسی
گروه مهندسی شیمی

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی شیمی

مدلسازی ریاضی، شبیه‌سازی و مطالعه آزمایشگاهی جذب CO_2 توسط آمین‌ها در
یک برج جذب آکنده

استادان راهنما:

دکتر امیر رحیمی

دکتر تورج توکلی

پژوهشگر:

امین اله سعادت

مهرماه ۱۳۸۷

۱۰۸۸۱۱

۱۳۸۷ / ۱۲ / ۲۱

گروه مهندسی شیمی
دانشکده فنی مهندسی
دانشگاه اصفهان

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات
و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه
متعلق به دانشگاه اصفهان است.



دانشگاه اصفهان
دانشکده فنی مهندسی
گروه مهندسی شیمی

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی شیمی آقای امین اله سعادت تحت عنوان

مدلسازی ریاضی، شبیه‌سازی و مطالعه آزمایشگاهی جذب CO_2 توسط آمین‌ها در یک برج جذب آکنده

در تاریخ ۸۷/۷/۲۷ توسط هیات داوران زیر بررسی و با درجه عالی به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه دکتر امیر رحیمی با مرتبه علمی استادیار

۲- استاد راهنمای پایان‌نامه دکتر تورج توکلی با مرتبه علمی استادیار

۳- استاد داور داخل گروه دکتر علیرضا سلیمانی نظر با مرتبه علمی استادیار

۴- استاد داور خارج گروه دکترسید محمد قریشی با مرتبه علمی دانشیار

امضای مدیر گروه

سپاسگزاری:

پروردگار را شاکرم که به من قدرت تفکر و یادگیری عطا فرمود و به من فرصت داد تا در مسیر کسب علم گام بردارم.

از پدر و مادر عزیزم که در تمام مراحل زندگی یاور و پشتیبان من بودند صمیمانه تشکر می‌کنم.
از جناب آقای دکتر امیر رحیمی و جناب آقای دکتر تورج توکلی که در کلیه مراحل این تحقیق با صبر و شکیبایی مشوق و راهنمای من بودند کمال تشکر را دارم که بدون یاری این دو بزرگوار انجام این تحقیق هرگز میسر نمی‌گشت و برای این دو استاد ارجمند آرزوی سلامتی و موفقیت دارم.

تقدیم بہ ہمسرم

بخاطر مہربانی ہائش

چکیده:

در این تحقیق، مطالعه آزمایشگاهی و مدلسازی جذب واکنشی گاز دی‌اکسیدکربن توسط آلکانول آمین‌ها در یک برج آکنده آزمایشگاهی مورد توجه قرار گرفته است. با استفاده از قوانین بقا یک مدل ریاضی در حالت عملکرد غیرهمدمای برج جهت بررسی مکانیزم‌های انتقال جرم و حرارت گاز-مایع در حضور واکنش شیمیایی در برج جذب توسعه داده شده است. همچنین مطالعات آزمایشگاهی در شرایط مختلف عملیاتی شامل دبی جریان‌های گاز و مایع، غلظت و دمای آمین صورت گرفته است. تطبیق قابل قبول نتایج مدل در خصوص کسر مولی دی‌اکسیدکربن، دمای فاز گاز در طول بستر و همچنین کسر مولی خروجی دی‌اکسیدکربن در شرایط مختلف عملیاتی با مقادیر آزمایشگاهی حاکی از دقت بالای مدل پیشنهادی است. همچنین نتایج نشان می‌دهد غلظت آمین‌های نوع اول و دوم تاثیر ناچیزی بر میزان راندمان جداسازی دارد، در حالی که غلظت آمین نوع سوم یک پارامتر بسیار موثر بر روی میزان راندمان جداسازی است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی به خوبی عملکرد جذب واکنشی دی‌اکسیدکربن توسط آلکانول آمین در یک برج آکنده را شبیه‌سازی می‌کند.

واژه‌های کلیدی: مدلسازی، دی‌اکسیدکربن، آمین، جذب واکنشی، غیرهمدمای

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل اول: فرایندهای صنعتی جداسازی دی‌اکسیدکربن

۲	۱-۱. روش جذب فیزیکی
۳	۲-۱. جذب شیمیایی
۴	۱-۲-۱. جذب CO ₂ توسط محلول سود
۴	۲-۲-۱. جذب CO ₂ توسط دوغاب آهک
۵	۳-۲-۱. محلول نمک‌های بازی
۶	۴-۲-۱. فرایند کربنات پتاسیم داغ یا فرایند Benfield
۷	۵-۲-۱. محلول آمونیاک
۸	۶-۲-۱. محلول‌های آلکانول آمین‌ها
۹	۳-۱. جداسازی توسط غشاء
۱۷	۴-۱. روشهای بیولوژیک
۱۷	۵-۱. فرایندهای تیریدی
۱۸	۶-۱. جذب سطحی
۱۸	۷-۱. فرایندهای ترکیبی

فصل دوم: آلکانول آمین‌ها و کاربرد آنها در جداسازی دی‌اکسیدکربن

۲۳	۱-۲. منواتانول آمین MEA
۲۶	۲-۲. دی‌اتانول آمین DEA
۲۸	۳-۲. تری‌اتانول آمین TEA
۳۰	۴-۲. متیل‌دی‌اتانول آمین MDEA
۳۱	۵-۲. دی‌ایزوپروپانول آمین DIPA
۳۲	۶-۲. پپرازین (PZ) Piperazine
۳۳	۷-۲. مطالعات قبلی در خصوص آمین‌ها
۳۳	۱-۷-۲. مطالعات آزمایشگاهی در خصوص آمین‌ها
۳۵	۲-۷-۲. مدلسازی ریاضی
۳۵	۸-۲. مدلسازی ریاضی جذب واکنشی (Reactive Absorption)
۳۶	۹-۲. مدل انتقال جرم دو فیلمی برای سیستم‌های گاز مایع

فصل سوم: مدلسازی ریاضی

۴۵	۱-۳. موازنه جرم برای جزء A در فاز گاز.....
۴۵	۲-۳. موازنه انرژی در فاز مایع.....
۴۵	۳-۳. موازنه انرژی در فاز گاز.....
۴۶	۴-۳. تغییرات فلاکس مولی انتقال جزء A از فاز گاز به فاز مایع.....
۵۱	۲-۴-۳. عدد بدون بعد هاتا (Hatta Number).....
۵۳	۵-۳. دانسیته محلول آمین.....
۵۴	۶-۳. ویسکوزیته محلول آمین.....
۵۴	۷-۳. ضریب نفوذ دی‌اکسیدکربن در محلول آمین.....
۵۵	۸-۳. دانسیته مخلوط گازی.....
۵۶	۹-۳. ویسکوزیته مخلوط گازی.....
۵۷	۱۰-۳. ضریب نفوذ CO ₂ در مخلوط گازی.....
۵۸	۱۱-۳. ضرائب انتقال جرم در فاز گاز و مایع.....
۶۰	۱۲-۳. ثابت هنری.....
۶۰	۱۳-۳. افت فشار در طول برج آکنده.....
۶۲	۱۴-۳. ضریب انتقال حرارت جابجایی.....
۶۳	۱۵-۳. سینتیک واکنش.....

فصل چهارم: مطالعات آزمایشگاهی

۷۱	۱-۴. مشکلات برج جذب مورد مطالعه و اقدامات صورت گرفته جهت بهینه‌سازی.....
۷۳	۲-۴. اندازه‌گیری دبی مایع.....
۷۴	۳-۴. اندازه‌گیری دبی گاز.....
۷۴	۴-۴. اندازه‌گیری غلظت محلول آمین.....
۷۵	۵-۴. اندازه‌گیری غلظت دی‌اکسیدکربن در فاز گاز.....
۷۹	۶-۴. اندازه‌گیری دمای مایع.....
۷۹	۷-۴. اندازه‌گیری دمای گاز.....
۷۹	۸-۴. نتایج آزمایشگاهی بدست آمده.....

فصل پنجم: نتایج

۱-۵. بررسی دقت مدل ریاضی ارائه شده.....	۸۱
۲-۵. بررسی تاثیر پارامترهای عملیاتی بر عملکرد برج.....	۸۶
۱-۲-۵. تاثیر نوع آمین بر میزان جذب.....	۸۶
۲-۲-۵. تاثیر غلظت محلول آمین بر میزان جذب.....	۸۹
۳-۲-۵. تاثیر دمای آمین بر میزان جذب.....	۸۹
۴-۲-۵. تاثیر اندازه آکنه بر میزان جذب.....	۹۰
۳-۵. تغییرات غلظت در لایه مرزی.....	۹۱
۴-۵. نتیجه گیری.....	۹۲
۵-۵. پیشنهادات.....	۹۲
منابع و مآخذ.....	۹۳

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۳	شکل ۱-۱: فرایند جذب CO ₂ توسط آب (Kohl and Nielsen, 1997)
۴	شکل ۲-۱: نمایی از فرایند جذب CO ₂ توسط محلول سود (Kohl and Nielsen, 1997)
۵	شکل ۳-۱: جذب CO ₂ توسط دوغاب آهک (Kohl and Nielsen, 1997)
۶	شکل ۴-۱: نمایی از فرایند کربنات پتاسیم داغ (Kohl and Nielsen, 1997)
۷	شکل ۵-۱: نمایی از فرایند جداسازی CO ₂ با محلول آمونیاک (Kohl and Nielsen, 1997)
۸	شکل ۶-۱: شماتیک فرایند جذب گازهای اسیدی توسط محلول آلکانول آمین‌ها
۹	شکل ۷-۱: یک واحد جذب توسط آمین
۱۰	شکل ۸-۱: شماتیک بکارگیری غشاء در فرآیند ازدیاد برداشت نفت جهت بازیابی CO ₂
۱۱	شکل ۹-۱: شماتیک فرایند استحصال CO ₂ از فرایند ازدیاد برداشت (Scott, 1995)
۱۲	شکل ۱۰-۱: نمونه‌ی یک سیستم غشائی جهت پالایش گاز طبیعی در سر چاه
۱۳	شکل ۱۱-۱: تراکم پذیری و اندازه نسبی ذرات اصلی گاز طبیعی (Baker, 2004)
۱۵	شکل ۱۲-۱: مقایسه ابعادی واحد جذب توسط آمین و واحد غشائی (Dortmundt and Doshi, 1999)
۱۵	شکل ۱۳-۱: مقایسه اقتصادی میان فرایندهای آمین، غشائی تک مرحله‌ای و غشائی بهینه
۱۶	شکل ۱۴-۱: نمایی از یک مدول غشائی الیافی (Hollow-fiber) (Dortmundt and Doshi, 1999)
۱۷	شکل ۱۵-۱: نمایی از مدول پیچشی (Spiral wound) (Dortmundt and Doshi, 1999)
۱۹	شکل ۲۴-۱: نمونه‌ای از فرایند ترکیبی جداسازی گاز طبیعی (Winston and Sirkar, 1992)
۱۹	شکل ۲۵-۱: ترکیب فرایندهای غشائی و تبریدی برای تصفیه گاز طبیعی
۲۱	شکل ۱-۲: ساختمان مولکولی آلکانول آمین‌های مورد استفاده در فرایند تصفیه گاز
۲۴	شکل ۲-۲: تغییرات ویسکوزیته محلول MEA در دما و ترکیب درصدهای مختلف
۲۴	شکل ۳-۲: تغییرات فشار جزئی MEA بر حسب دما و ترکیب درصد محلول
۲۷	شکل ۴-۲: تغییرات فشار جزئی DEA بر حسب دما و ترکیب درصد محلول
۲۷	شکل ۵-۲: تغییرات ویسکوزیته محلول DEA در دما و ترکیب درصدهای مختلف
۲۹	شکل ۶-۲: تغییرات فشار جزئی TEA بر حسب دما و ترکیب درصد محلول
۲۹	شکل ۷-۲: تغییرات ویسکوزیته مطلق TEA بر حسب دما و ترکیب درصد محلول
۳۸	شکل ۸-۲: انواع سیستم‌های گاز مایع همراه با واکنش شیمیایی (Levenspiel, 1999)
۴۰	شکل ۹-۲: مقادیر فاکتور افزایشنده بر مبنای محاسبات عددی (Van Krevelen and Hofstijzer, 1954)
۴۱	شکل ۱۰-۲: تماس دهنده‌های مخزن و برج جهت واکنش‌های گاز مایع

عنوان

صفحه

- شکل ۳-۱: شماتیکی از بستر آکنده با در نظر گرفتن یک المان در جهت x..... ۴۴
- شکل ۳-۲: شماتیک تئوری دوفیلمی..... ۴۷
- شکل ۳-۳: الگوریتم حل عددی مدل ریاضی..... ۶۶
- شکل ۴-۱: تصویر برج جذب پایلوت..... ۶۸
- شکل ۴-۲: شماتیک برج جذب..... ۶۹
- شکل ۴-۳: منحنی کالیبراسیون روتامتر..... ۷۳
- شکل ۴-۴: تغییرات وزن مخصوص سه آمین در ترکیب درصدی مختلف..... ۷۴
- شکل ۴-۵: رابطه میان نرمالیت و درصد وزنی برای MEA، DEA و TEA..... ۷۵
- شکل ۴-۶: مراحل تعیین غلظت دی‌اکسیدکربن در فاز گاز..... ۷۶
- شکل ۴-۷: آنالیزر دی‌اکسیدکربن مدل Guardian Plus..... ۷۸
- شکل ۵-۱: تغییرات کسر مولی دی‌اکسیدکربن برحسب طول ستون جذب..... ۸۲
- شکل ۵-۲: تغییرات دمای مایع و گاز برحسب طول ستون جذب..... ۸۲
- شکل ۵-۳: تغییرات کسر مولی دی‌اکسیدکربن در فاز گاز برحسب طول ستون جذب..... ۸۳
- شکل ۵-۴: مقایسه کسر مولی دی‌اکسیدکربن حاصل از مدل ریاضی و داده‌های آزمایشگاهی..... ۸۳
- شکل ۵-۵: تغییرات دمای فاز مایع و گاز برحسب طول ستون جذب..... ۸۴
- شکل ۵-۶: تغییرات کسر مولی دی‌اکسیدکربن خروجی از ستون جذب برحسب L/G..... ۸۴
- شکل ۵-۷: تغییرات کسر مولی دی‌اکسیدکربن خروجی از ستون جذب برحسب درصد وزنی آمین..... ۸۵
- شکل ۵-۸: تغییرات pH برحسب غلظت آمین برای سه آمین نوع اول، دوم و سوم..... ۸۶
- شکل ۵-۹: تغییرات کسر مولی دی‌اکسیدکربن برحسب طول ستون جذب..... ۸۶
- شکل ۵-۱۰: تغییرات عدد هاتا و کسر مولی دی‌اکسیدکربن برحسب طول ستون جذب..... ۸۷
- شکل ۵-۱۱: تغییرات عدد هاتا و کسر مولی دی‌اکسیدکربن برحسب طول ستون جذب..... ۸۸
- شکل ۵-۱۲: تغییرات عدد هاتا و کسر مولی دی‌اکسیدکربن برحسب طول ستون جذب..... ۸۸
- شکل ۵-۱۳: تغییرات دمای مایع و گاز برحسب طول ستون جذب..... ۸۸
- شکل ۵-۱۴: تغییرات کسر مولی دی‌اکسیدکربن برحسب طول ستون جذب..... ۸۹
- شکل ۵-۱۵: تغییرات کسر مولی دی‌اکسیدکربن خروجی از برج در دماهای متفاوت..... ۹۰
- شکل ۵-۱۶: ضریب انتقال جرم در فاز مایع برحسب طول ستون جذب..... ۹۰

صفحه

عنوان

- شکل ۵-۱۷: تغییرات کسر مولی دی‌اکسیدکربن بر حسب طول ستون جذب..... ۹۱
- شکل ۵-۱۸: تغییرات فشار گاز در طول ستون جذب..... ۹۱
- شکل ۵-۱۹: تغییرات غلظت دی‌اکسیدکربن در لایه مرزی مایع..... ۹۲

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۱۱	جدول ۱-۱: ترکیب درصد جریانهای شکل ۱-۸ (Scott, 1995)
۱۲	جدول ۲-۱: ترکیب درصد گاز طبیعی در ایالات متحده هنگام تحویل به خطوط انتقال (Scott, 1995)
۱۴	جدول ۳-۱: مواد پلیمری شیشه‌ای و لاستیکی رایج در جداسازی ناخالصی‌ها از گاز طبیعی
۲۲	جدول ۱-۲: برخی از کاربردهای صنعتی آمین‌ها
۲۶	جدول ۲-۲: برخی از خواص ترموفیزیکی منواتانول آمین (Kohl and Nielsen, 1997)
۲۸	جدول ۳-۲: برخی از خواص ترموفیزیکی دی‌اتانول آمین (Kohl and Nielsen, 1997)
۳۰	جدول ۴-۲: خواص ترموفیزیکی تری‌اتانول آمین (Kohl and Nielsen, 1997)
۳۱	جدول ۵-۲: برخی از خواص ترموفیزیکی متیل دی‌اتانول آمین (Kohl and Nielsen, 1997)
۳۲	جدول ۶-۲: خواص ترموفیزیکی دی‌ایزوپروپانول آمین (Kohl and Nielsen, 1997)
۳۳	جدول ۷-۲: برخی از خواص ترموفیزیکی پمپرازین (Kohl and Nielsen, 1997)
۳۶	جدول ۸-۲: نمونه‌هایی از واکنش‌های گاز-مایع به منظور تولید محصول
۴۲	جدول ۹-۲: خصوصیات تماس دهنده‌های گاز مایع (Kramers and Westerterp, 1963)
۵۳	جدول ۱-۳: مقادیر V_i و b_i برای MEA, DEA, TEA و آب (Licht and Weiland, 1989)
۶۳	جدول ۲-۳: مقادیر ثابت‌های معادله‌های (۳-۷۵) و (۳-۷۶) برای چند نمونه آکنه
۷۰	جدول ۱-۴: مشخصات برج جذب مورد استفاده جهت مطالعات آزمایشگاهی
۷۸	جدول ۲-۴: مشخصات آنالایزر دی‌اکسیدکربن مدل Guardian Plus
۷۹	جدول ۳-۴: نتایج حاصل از انجام آزمایشها

علائم:

$\frac{m^2}{m^3}$	سطح مخصوص	a
kmol/m^3	غلظت A در فاز مایع	C_A
$\frac{J}{\text{kg}\cdot K}$	ظرفیت گرمایی متوسط	\bar{c}_p
$\frac{m^2}{s}$	نفوذ جزء A در فاز مایع	D_{AI}
$\frac{\text{kmol}}{m^2\cdot s}$	فلاکس مولی فاز گاز بر مبنای بدون A	G'
-	عدد بدون بعد هاتا	Ha
$\frac{\text{bar}\cdot m^3}{\text{kmol}}$	ثابت هنری	He
$\frac{W}{m^2\cdot K}$	ضریب انتقال حرارت	h
1/s	ثابت واکنش	K
$\frac{\text{kmol}}{m^2\cdot \text{pa}\cdot s}$	ضریب انتقال جرم در فاز گاز	k_{Ag}
$\frac{m^3 \text{ liq}}{m^2\cdot s}$	ضریب انتقال جرم در فاز مایع	k_{AI}
$\frac{\text{kg}}{m^2\cdot s}$	فلاکس گرمی	m''
$\frac{\text{kmol}A}{m^2\cdot s}$	فلاکس مولی جزء A	N_A
Bar	فشار جزئی جزء A	P_A
K	دمای فاز گاز	T_g
K	دمای فاز مایع	T_l
m	ارتفاع ستون	x
$\frac{\text{mol}A}{\text{mol}T - \text{mol}A}$	جزء مولی بر مبنای بدون A	Y_A
$\frac{J}{\text{kmolCO}_2}$	انتالپی جذب	ΔH
m	ضخامت فیلم مایع	δ_l
-	ضخامت لایه مرزی بدون بعد	θ
-	غلظت بدون بعد	λ

زیر نویس‌ها:

A جزء

B جزء

گاز

فصل مشترک

مایع

A

B

g

i

l

پیشگفتار:

تا چند دهه گذشته هدف بشر صرفاً دستیابی به تکنولوژی‌های نو برای تولید بیشتر و ارزان‌تر بود و کمتر به مسائل جنبی این رشد تکنولوژی توجه می‌شد اما با کاهش منابع، افزایش آلودگی‌ها و از میان رفتن برخی از اکوسیستم‌ها بشر متوجه اهمیت حفظ محیط زیست و منابع طبیعی گردید.

نتیجه فعالیت هر واحد تولیدی شامل محصول آن واحد و پساب است که بسته به نوع واحد تولیدی پساب به سه حالت جامد، مایع و گاز به محیط برگشت داده می‌شود. حال اگر قرار باشد این خروجی‌ها بدون در نظر گرفتن معیار و استانداردهای لازم دفع گردد طبعاً در دراز مدت مشکلات و معضلات بسیاری پدیدار خواهد شد.

خوشبختانه امروزه سازمانها و شرکتهای تولیدی موظف به رعایت استانداردهای زیست محیطی گردیده‌اند که این امر باعث شده تا قسمتی از درآمد خود را جهت پروژه‌ها و تجهیزات لازم برای کاهش آلودگی‌های محیطی مصرف نمایند.

یکی از شاخص‌هایی که در استانداردهای زیست محیطی برای گازهای خروجی از واحدهای صنعتی تعریف شده است غلظت گاز CO_2 است.

گاز CO_2 در اثر بسیاری از فرایندهای صنعتی از جمله کلسیناسیون سنگ آهک، تولید فولاد، احتراق سوختهای فسیلی، فعالیت نیروگاهها و ... تولید می‌شود و افزایش غلظت این گاز در اتمسفر مشکلاتی از جمله بروز پدیده گلخانه‌ای را باعث می‌گردد که پدیده گلخانه‌ای خود منشاء مشکلات بعدی شده و باعث گرم شدن زمین و از میان رفتن برخی از اکوسیستم‌های موجود می‌گردد.

از طرف دیگر CO_2 محصولی با ارزش افزوده بالا است و در صورت جداسازی این گاز می‌توان از آن بهره اقتصادی برد. چرا که این گاز در فرایندهای بسته بندی، تولید نوشابه‌های گازدار، تجهیزات اطفاء حریق، تولید یخ خشک، فرایند ازدیاد برداشت از چاههای نفت، فرایندهای جوشکاری، ماده خام در فرایندهای تولید اوره و کربناتهای معدنی و ... کاربرد دارد.

از روش‌های جداسازی این گاز از مخلوط گازهای خروجی از دودکش صنایع و واحدهای تولیدی کوچک و بزرگ می‌توان به روش جذب توسط حلال اشاره کرد که در آن با اعمال شرایط عملیاتی مناسب و انتخاب مناسب حلال امکان جذب انتخابی این گاز فراهم می‌گردد. مطالعات بسیاری در زمینه جذب گازها توسط حلال در سالهای گذشته صورت گرفته که این مطالعات در دو بعد مطالعات آزمایشگاهی و تئوری قابل دسته‌بندی می‌باشند که در بخش مروری بر مطالعات قبلی این تحقیق بطور مشروح مورد اشاره قرار می‌گیرند.

هدف از این مطالعه، مدلسازی ریاضی، شبیه‌سازی و بررسی آزمایشگاهی جذب CO_2 توسط آمین‌ها در یک برج جذب با بستر ثابت در شرایط عملیاتی همدم و غیرهمدم می‌باشد.

بدین منظور در مدل ریاضی توسعه داده شده تاثیر انتقال جرم و حرارت همزمان بر عملکرد برج با استفاده از قوانین بقاء لحاظ شده و دقت مدل توسعه داده شده بر اساس داده‌های آزمایشگاهی بدست آمده مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

این پایان نامه که شامل نتایج حاصل از مطالعات هدف‌گذاری شده فوق می‌باشد مشتمل بر پنج فصل می‌باشد که در ادامه بصورت کاملاً مختصر به محتوای هر فصل اشاره می‌شود.

در فصل اول این پایان نامه فرایندهای صنعتی جداسازی گاز دی‌اکسیدکربن بطور مشروح و از نقطه نظر مسائل عملیاتی و شرح فرایند، مورد بررسی قرار می‌گیرند. روشهای فیزیکی، شیمیایی، غشایی، جذب سطحی، فرایندهای تبریدی و در نهایت روشهای ترکیبی از جمله روشهایی هستند که به تفصیل در این فصل ارائه گردیده‌اند.

در فصل دوم کاربرد و خصوصیات ویژه آلکانول آمین‌ها در جداسازی دی‌اکسیدکربن به عنوان حلال‌های انتخابی در این مطالعه به تفصیل ارائه گردیده است. ویژگیهای انواع آلکانول آمین‌ها، شرایط و محدوده‌های عملیاتی مورد کاربرد آنها در فرایند جذب CO_2 از موارد مطروحه در این فصل بشمار می‌آیند. جذب همراه با واکنش و انواع تئوری‌های مورد استفاده در مدلسازی مباحث انتقال جرم و واکنش در آنها از دیگر مواردی است که در این فصل با جزئیات کامل آورده شده است.

در فصل سوم این پایان‌نامه عملکرد یک برج جذب آکنده همراه با واکنش در شرایط عملیاتی غیرهمدما بر اساس اصول فیزیکی حاکم بر این نوع برج‌ها و همچنین به کمک قوانین بقاء شامل بقاءجرم، انرژی و منتم مورد مدلسازی ریاضی قرار گرفته است. همچنین در این فصل بدلیل اهمیت پارامترهای مورد نیاز در مدل ریاضی تبیین شده شامل روابط تجربی مورد استفاده در محاسبه ضرایب انتقال جرم و حرارت، سطح خیس خورده آکنده‌ها و همچنین خواص ترموفیزیکی حلال‌ها و گاز، روابط مورد نیاز جهت محاسبه این پارامترها و خواص، به استناد یک بررسی جامع و مطالعه مقالات متعدد بدست آمده که در این فصل آورده شده‌اند.

در فصل چهارم این پایان‌نامه گزارشی از مطالعات آزمایشگاهی صورت گرفته در خصوص جذب CO_2 توسط آمین‌ها ارائه گردیده است. این فصل مشتمل بر روش انجام آزمایشات، رفع عیوب سیستم موجود، نتایج بدست آمده و بررسی تاثیر پارامترهای عملیاتی بر میزان جذب می‌باشد که در قالب جداول و توضیحاتی ارائه شده‌اند. و در نهایت، در فصل پنجم این پایان‌نامه نتایج حاصل از حل مدل ریاضی با نتایج آزمایشگاهی حاصل شده مورد مقایسه قرار گرفته و دقت مدل ریاضی ارائه شده مورد ارزیابی قرار گرفته است.

همچنین با استناد به مدل ریاضی توسعه داده شده و نرم‌افزار تهیه شده تاثیر پارامترهای عملیاتی بر عملکرد برج جذب بستر ثابت جهت حذف CO_2 توسط آمین‌ها مورد بررسی قرار گرفته و نتایج حاصله در قالب نمودارهایی ارائه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند.

فصل اول

فرایندهای صنعتی جداسازی دی‌اکسید کربن:

گاز دی‌اکسید کربن به عنوان یکی از عوامل اصلی ایجاد پدیده گلخانه‌ای که باعث گرم شدن زمین می‌شود شناخته شده است و یکی از مواردی که در پیمان کیوتو بدان پرداخته شد کنترل نشر این گاز به اتمسفر توسط کشورهای صنعتی بود از طرف دیگر گاز دی‌اکسید کربن یک ماده با ارزش است، مثلاً واحدهایی در کشور ما وجود دارد که برای تولید گاز دی‌اکسید کربن، مورد استفاده در صنایع نوشابه سازی گاز طبیعی را می‌سوزانند و انرژی زیادی را به هدر می‌دهند تا این گاز را تولید کنند در صورتی که در بسیاری از صنایع دیگر از جمله کلسیناسیون آهک، صنایع نیروگاهی، صنایع فولاد و ... این گاز تولید می‌شود و بدون اینکه جدا شود به اتمسفر وارد می‌گردد. بنابراین اهمیت جداسازی این گاز به خوبی احساس می‌شود در این راستا فرایندهای صنعتی متفاوتی برای جداسازی CO_2 ابداع و توسعه شده‌است که از بین این روش‌های صنعتی هفت روش از اهمیت و کاربرد بیشتری برخوردار هستند:

- ۱- جذب فیزیکی
- ۲- جذب شیمیایی
- ۳- جداسازی توسط غشاءها
- ۴- روشهای بیولوژیک
- ۵- فرایندهای تبریدی
- ۶- جذب سطحی
- ۷- فرایندهای ترکیبی

در ادامه هر یک از روشهای فوق الذکر بصورت مختصر مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار می گیرند.

۱-۱. روش جذب فیزیکی:

اساس جداسازی در این روش انتقال جرم و جذب فیزیکی توسط یک حلال مناسب است که معمولاً حلال مناسب در مورد CO_2 آب است. مسلماً مزیت استفاده از آب به عنوان حلال جاذب ناخالصی های گاز در قیمت ارزان و فراوانی آن است در مواردی که حجم زیادی از گاز باید تصفیه شود، یا فشار جزئی گاز CO_2 در گاز ورودی بالا است و یا فرایندها تحت فشار بالا انجام می شود. استفاده از آب برای جذب CO_2 توجیه پذیرتر است. به همین دلیل جذب دی اکسید کربن توسط آب، در تصفیه جریان های گازی تحت فشار، از اهمیت صنعتی برخوردار است نمائی از فرایند جذب CO_2 توسط آب در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.

در ساده ترین حالت، این واحد شامل یک برج جذب (Absorber) است که تحت فشار عمل می کند، یک مخزن فلش که در آن CO_2 از آب در اثر کاهش فشار جدا می شود و یک پمپ که آب را مجدداً به بالای برج می رساند. می توان از یک توربین بازیافت انرژی برای بازیابی بخشی از انرژی ناشی از کاهش فشار مایع استفاده نمود و در نهایت یک برج زدا (Stripper) جداسازی نهایی CO_2 را از آب انجام می دهد.