



دانشگاه آزاد اسلامی  
واحد تهران جنوب  
دانشکده تحصیلات تکمیلی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد "M.SC"

مهندسی شیمی - مهندسی شیمی

عنوان :

مدلسازی فرایند تراوش تبخیری

استاد راهنما :

استاد مشاور :

نگارش :

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
-	-- چکیده
الف	-- جداول
ب	-- شکلها
فصل اول: فرایندهای جداسازی	
۱	۱-۱ - مقدمه
۲	۲-۱ - جداسازی فازها
۴	۱-۲-۱ - جداسازی فازها با استفاده از غشا
۵	۳-۱ - انتخاب روش جداسازی
۵	۴-۱ - مقایسه فرایندهای جداسازی
فصل دوم: فرایندهای جداسازی غشایی	
۱۳	۱-۲ - مقدمه
۱۵	۲-۲ - تاریخچه
۱۸	۳-۲ - شرح و توصیف غشا
۱۹	۴-۲ - فرایندهای غشایی
فصل سوم: فرایند تراوش تبخیری	
۲۶	۱-۳ - مقدمه
۳۰	۲-۳ - ساخت غشاهای تراوش تبخیری
۳۴	۳-۳ - خصوصیات غشاهای تراوش تبخیری
۳۵	۴-۳ - ارزیابی کارایی غشای تراوش تبخیری و وابستگی آن به غلظت
۳۷	۵-۳ - بررسی پارامترهای مختلف در فرایند تراوش تبخیری
۳۷	۱-۵-۳ - فشار بالادست

صفحه

عنوان

۳۹	۲-۵-۳ - فشار پایین دست
۴۰	۳-۵-۳ - دما
۴۳	۴-۵-۳ - ضخامت فیلم
۴۴	۶-۳ - توصیف مکانیسم تراوش تبخیری
۴۸	۷-۳ - توصیف کیفی انتقال جرم
۵۴	۸-۳ - انتقال یک مایع خالص از طریق تراوش تبخیری
۵۷	۹-۳ - انتقال مخلوطهای مایع دو تایی از طریق تراوش تبخیری
۶۳	۱۰-۳ - معادلات حاکم بر جریان پیوسته تراوش تبخیری
۶۴	۱-۱۰-۳ - اولین روش آنالیز
۶۸	۲-۱۰-۳ - آنالیز انتقال جرم و حرارات بر اساس بررسی اثر ترکیب مخلوط مایع روی خصوصیات غشای permselective
۷۰	۱۱-۳ - مقایسه فرایند تراوش تبخیری و تکنیک های جانبی
۷۱	۱-۱۱-۳ - تراوش تبخیری گرمایی
۷۲	۲-۱۱-۳ - تراوش بخار
۷۳	۳-۱۱-۳ - اسمز معکوس خلأ
۷۳	۴-۱۱-۳ - perstraction
۷۴	۵-۱۱-۳ - تقطیر غشایی
۷۹	۱۲-۳ - کاربردهای فرایند تراوش تبخیری
۸۱	۱-۱۲-۳ - مخلوطهای آبی
۸۱	۲-۱۲-۳ - مخلوطهای غیر آبی

## عنوان

## صفحه

### - فصل چهارم: کاربرد فرایند تراوش تبخیری در صنعت

۸۴	۱-۴ - مقدمه
۸۴	۲-۴ - پیشرفت های فرایند تراوش تبخیری در صنعت
۸۶	۳-۴ - مسائل جانبی مربوط به مهندسی تراوش تبخیری
۸۶	۱-۳-۴ - نفوذ جابجایی از درون غشای کاری توسط غشای تراوش تبخیری
۸۷	۲-۳-۴ - افت دمای ایجاد شده به وسیله تبخیر permeate
۸۸	۳-۳-۴ - تراوش کننده تبخیری مجهز شده با فیبرهای سوراخ دار
۸۸	۴-۳-۴ - ترکیب کردن سیستمهای تراوش کننده تبخیری و برجهای تراوش تبخیری
۸۹	۱-۴-۳-۴ - پلاریزاسیون غلظتی فرایند تراوش تبخیری
۹۰	۲-۴-۳-۴ - بررسی زمان اقامت در تراوش تبخیری
۹۰	۵-۳-۴ - سیستمهایی که با تراوش تبخیری تلفیق شده اند
۹۳	۴-۴ - مثالی از فرایند تراوش تبخیری در صنعت

### فصل پنجم: مدلسازی فرایند تراوش تبخیری

۹۷	۱-۵ - مقدمه
۹۸	۲-۵ - معادلات فلاکس فرمول استفان- ماکسول
۹۹	۱-۲-۵ - رابطه نیروهای محرکه عمومی شده ترمودینامیک بازگشت ناپذیر
۱۰۱	۳-۵ - مدل تراوش تبخیری
۱۰۳	۴-۵ - ارزیابی نفوذ های استفان- ماکسول
۱۰۳	۱-۴-۵ - وابستگی غلظت پارامترهای نفوذی
۱۰۵	۵-۵ - ترم تعادلی
۱۰۶	۶-۵ - تعیین پارامترهای برهم کنش فلوری هاگینز

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱۰۸	۷-۵ - تعیین پارامتر های نفوذ استفان - ماکسول
۱۱۰	۸-۵ - تابع خوشه ای
۱۱۱	۹-۵ - حل معادله و مقایسه نتایج
	فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهاد
۱۱۹	۱-۶ - فرضیاتی که در حل معادله به کار رفته
۱۱۹	۲-۶ - نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۲۰	مراجع

صفحه	شرح جدول	جدول
۸	فرایندهای جداسازی بر پایه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی	جدول ۱-۱
۱۶	تاریخچه غشا	جدول ۱-۲
۱۶	پیشرفتهای فرایند تکنولوژی غشا	جدول ۲-۲
۲۱	نیروی محرکه در فرایندهای غشایی	جدول ۳-۲
۶۷	معادلات بیان کننده خصوصیات مدول	جدول ۱-۳
۷۷	مقایسه مسیر آزاد متوسط آب- اتانول و قطر حفره غشای استفاده شده	جدول ۲-۳
۷۹	ترکیب آزنوتروپی مخلوطهای مایع	جدول ۳-۳
۸۵	واحدهای PV نصب شده در اروپای غربی و آمریکا بین سالهای ۱۹۸۴ تا ۱۹۸۷	جدول ۱-۴
۸۵	واحدهای PV نصب شده در ژاپن در ۱۹۸۷	جدول ۲-۴
۱۱۰	میل به خوشه ای شدن متانول	جدول ۱-۵
۱۱۱	اطلاعات جمع آوری شده از مراجع مختلف	جدول ۲-۵
۱۱۱	خصوصیات غشا	جدول ۳-۵
۱۱۱	خصوصیات فیزیکی	جدول ۴-۵
۱۱۱	داده های آزمایشگاهی	جدول ۵-۵
۱۱۲	مقایسه نتایج حاصل از حل معادله اویلر و داده های آزمایشگاهی	جدول ۶-۵

صفحه	شرح شکل	شکل
۱۳	شماتیک غشا	شکل ۱-۲
۱۸	شماتیک غشای متقارن و نامتقارن	شکل ۲-۲
۲۰	معادلات فلاکس	شکل ۳-۲
۳۶	یک ابزار نیمه اتوماتیک برای توصیف آنالیز غشاهای تراوش تبخیری	شکل ۱-۳
۳۸	پروفایل غلظت آب در حالت بخار اشباع و آب مایع	شکل ۲-۳
۴۰	تراوش تبخیری آب- تتراهیدروفران از درون غشای آب دوست	شکل ۳-۳
۴۵	گزینش پذیری غشا	شکل ۴-۳
۴۷	تراوش تبخیری مخلوط آزنوتروپی هگزان-کلروفورم از درون غشا پلی اکریلویپرولیدید	شکل ۵-۳
۵۱	جداسازی آب- اتانول در پلی وینیل الکل	شکل ۶-۳
۵۶	رژیمهای انتقال حالت یکنواخت (SS) آب خالص فرآیند شده به وسیله تراوش تبخیری از درون غشاهای تعویض یونی آب-دوست	شکل ۷-۳
۵۸	رفتار ترمودینامیکی سیستم سه تایی آب- اتانول- پلی وینیل الکل	شکل ۸-۳
۶۳	مدول تراوش تبخیری	شکل ۹-۳
۷۱	تراوش تبخیری گرمایی	شکل ۱۰-۳
۷۶	شماتیک تقطیر غشایی	شکل ۱۱-۳
۸۰	تلفیقی از تقطیر و تراوش تبخیری	شکل ۱۲-۳
۹۴	آب زدایی از مخلوط آزنوتروپی آب- اتانول	شکل ۱-۴

صفحه	شرح شکل	شکل
۱۰۷	جذب همدمای آب در غشای PDMS در ۴۰ درجه سلسیوس	شکل ۵-۱
۱۰۸	پارامتر بر هم کنش آب پلیمر به عنوان تابعی از جزء حجمی در پلیمر	شکل ۵-۲
۱۰۸	پارامتر بر هم کنش آب پلیمر به عنوان تابعی از اکتیویته	شکل ۵-۳
۱۰۹	تغییرات ضریب نفوذ متانول با غلظت در پلیمر	شکل ۵-۴
۱۱۳	تغییرات جزء مولی متانول در طول غشا به ازای ۳ درصد وزنی متانول در خوراک	شکل ۵-۵
۱۱۳	تغییرات جزء مولی آب در طول غشا به ازای ۳ درصد متانول در خوراک	شکل ۵-۶
۱۱۴	نمودار ترکیبی شکل ۶ و ۷	شکل ۵-۷
۱۱۴	تغییرات جزء مولی متانول در طول غشا به ازای ۱ درصد وزنی متانول در خوراک	شکل ۵-۸
۱۱۵	تغییرات جزء مولی آب در طول غشا به ازای ۱ درصد وزنی متانول در خوراک	شکل ۵-۹
۱۱۵	نمودار ترکیبی شکل ۸ و ۹	شکل ۵-۱۰
۱۱۶	تغییرات جزء مولی متانول در طول غشا به ازای ۰,۳ درصد وزنی متانول در خوراک	شکل ۵-۱۱
۱۱۶	تغییرات جزء مولی آب در طول غشا به ازای ۰,۳ درصد وزنی متانول در خوراک	شکل ۵-۱۲
۱۱۷	نمودار ترکیبی شکل ۱۱ و ۱۲	شکل ۵-۱۳
۱۱۷	مقایسه گزینش پذیری تئوری و تجربی	شکل ۵-۱۴



## چکیده:

هدف از این پروژه ارائه مدلی است که قادر باشد رفتار غشای پلیمر غیر متخلخل را در فرایند جداسازی تراوش تبخیری برای جداکردن متانول از آب پیش بینی کند.

امروزه فرایند های غشایی به عنوان یک تکنیک مهم جداسازی مورد توجه قرار گرفته و کاربرد وسیعی در زمینه های مختلف پیدا کرده اند. هر فرایند جداسازی غشایی با استفاده از یک غشا، موجب انتقال یک جزء به صورت انتخابی از دیگر اجزاء می شود. این جداسازی به دلیل اختلاف ها در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی غشا و اجزاء تراوایی می باشند. در واقع انتقال از درون غشا به دلیل یک نیروی محرکه اتفاق می افتد. که این نیروی محرکه می تواند گرادیان فشار، غلظت، پتانسیل الکتریکی یا دما باشد.

فرایند تراوش تبخیری به عنوان یکی از انواع فرایند های غشایی در سال ۱۹۱۷ توسط کوپر (kobber) معرفی شد. با افزایش هزینه های انرژی نفت در اوایل دهه ۱۹۷۰ فرایند تراوش تبخیری مورد توجه قرار گرفت. با توجه به این که مکانیسم جداسازی در فرایند تراوش تبخیری بر پایه حلالیت نفوذ می باشد. در مقایسه با مکانیسم فرایند تقطیر که بر پایه اختلاف در نقطه جوش می باشد از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است.

به طور کلی فرایند تراوش تبخیری را می توان به سه مرحله زیر تقسیم کرد:

۱- جذب انتخابی غشا در سمت خوراک

۲- نفوذ گزینشی درون غشا

۳- دفع یک بخار در سمت تراوایی (permeate)

با توجه به وجود دو فاز در فرایند تراوش تبخیری (فاز مایع در سمت خوراک و فاز بخار در سمت تراوایی (permeate))، توصیف رفتار انتقال این فرایند بسیار پیچیده است.

تلاش های زیادی برای توسعه یک مدل مناسب انتقال جرم برای توصیف رفتار فرایند جداسازی تراوش تبخیری صورت گرفته است. مدلی که در این پروژه ارائه می شود مدل فلاکس استفان ماکسول بسط داده شده در سیستم سه جزئی بر پایه ترمودینامیک بازگشت ناپذیر است. مزیت اصلی رابطه استفان ماکسول بر پایه ترمودینامیک بازگشت ناپذیر، پارامترهای نفوذ و نیروی محرکه است که اهمیت و خصوصیات خود را در فرایندهای مختلف غشایی حفظ می کنند. بعلاوه نفوذهای دو تایی استفان ماکسول در مخلوط های چند جزئی خصوصیات فیزیکی خود را نگه می دارند. در حالیکه برای نفوذ فیک و سایر ضرایب نفوذ دو تایی چنین ویژگی بر قرار نیست.

بر هم کنش های ترمودینامیکی از طریق اصلاح معادله کلاسیک فلوری هاگینز برای سیستم سه تایی به منظور توصیف تعادل پلیمر-مایع و پلیمر-بخار با استفاده از یک دسته پارامترهای قابل تنظیم به کار گرفته شدند.

نتایج به دست آمده نشان می دهد که مدل پیشنهادی، با وجود پارامترهای تعادل و نفوذ دو تایی، توانایی توصیف فرایند تراوش تبخیری چند جزئی را دارد. در واقع مزیت این روش شامل تعیین پارامترهای بر هم کنش تعادلی دو تایی از جذب همدمای بخار خالص و تعیین ضرایب نفوذ استفان ماکسول از تغییرات فلاکس تراوایی جزء خالص با فشار تراوایی است.

در انتها میتوان این مدل را در شرایط غیر یکنواخت و یا برای سایر غشاهای غیر متخلخل پلیمری و خوراک های دیگر بسط داد و صحت فرضیات فوق را نتیجه گرفت.