



دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران جنوب

دانشکده تحصیلات تكمیلی

"پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد"

مهندسی شیمی - طراحی فرآیند

عنوان :

مدل سازی اسمزمعکوس

استاد راهنما :

استاد مشاور :

نگارش :

صفحه	فهرست مطالب	عنوان
I		چکیده
II		مقدمه
		فصل اول - تکنولوژی فرآیندهای غشایی
۲		۱-۱- هدف
۳		۱-۲- غشاء چیست؟
۴		۱-۳- مروری بر تاریخچه پیشرفت و توسعه تکنولوژی غشایی
۶		۱-۴- مروری بر فرآیند جداسازی غشایی
۸		۱-۵- پدیده انتقال جرم در فرآیندهای غشایی
۱۱		۱-۶- تقسیم بندی غشاهای
۱۱		۱-۶-۱- تقسیم بندی بر اساس جنس غشاء
۱۱		۱-۶-۲- تقسیم بندی بر اساس ساختمان غشاء
۱۲		۱-۶-۳- تقسیم بندی بر اساس ساختار دانه بندی غشاء
۱۳		۱-۶-۴- تقسیم بندی بر اساس شکل هندسی سطح غشاء
۱۳		۱-۷-۱- مدول های فرآیندهای غشایی
۱۶		۱-۸- مزایای کاربرد تکنولوژی غشاء
۱۷		۱-۹- کاربردهای فرآیندهای جداسازی توسط غشاء
۱۹		۱-۱۰-۱- محدودیت های کاربرد تکنولوژی غشاء
۱۹		۱-۱۰-۱-۱- پلاریزاسیون غلظتی
۱۹		۱-۱۰-۱-۲- گرفتگی غشاء
۱۹		۱-۱۰-۱-۳- مدل سازی و پیش بینی رفتار غشاء
۲۰		۱-۱۰-۱-۴- پایداری غشاء
۲۰		۱-۱۰-۱-۵- جداسازی ناقص
۲۰		۱-۱۱- نتیجه گیری

عنوان	فهرست مطالب	صفحه
فصل دوم - برسی فرآیند اسمزمعکوس		
۱-۲- مقدمه		۲۲
۲-۲- تاریخچه		۲۲
۳-۲- اسمز و اسمزمعکوس		۲۳
۴-۲- پتانسیل شیمیایی		۲۷
۵-۲- پلاریزاسیون غلظتی		۲۸
۶-۲- اثرات پلاریزاسیون غلظتی در RO		۲۹
۷-۲- نیروی محرکه RO		۳۰
۸-۲- جداسازی و ضریب انتقال جرم		۳۲
۹-۲- بازیافت		۳۴
۱۰-۲- مکانیسم های انتقال جرم در RO		۳۵
۱۱-۲- مراحل تصفیه به روش RO		۳۶
۱۲-۲- مقایسه RO با سایر روش های تصفیه		۴۲
۱۳-۲- کاربرد فرآیندهای غشاوی		۴۸
۱۴-۲- کاربردهای RO در فرآیندهای صنعتی		۵۰
۱۵-۲- غشاوی RO		۵۱
۱۶-۲- خواص ساختمانی		۵۲
۱۷-۲- خواص فیزیکی و شیمیایی		۵۲
۱۸-۲- جنس غشاها		۵۳
۱۹-۲- انواع مدول ها		۵۴
۲۰-۲- مقایسه مدول ها		۶۳

عنوان	فهرست مطالب	صفحه
۲۱-۲- انتخاب مدول ها		۶۶
۲۲-۲- گرفتگی غشاء		۶۶
۲۳-۲- آلدگی ناشی از اکسیداسیون روی غشاء		۶۸
فصل سوم - بررسی مدل های مختلف کاهش فلاکس و انتقال در اسمز معکوس		
۱-۳- مقدمه		۷۰
۲-۳- مدل های مختلف کاهش فلاکس در RO		۷۰
۱-۲-۳- مدل انحلال - نفوذ		۷۰
۲-۲-۳- مدل انحلال - نفوذ غیرایده آل		۷۲
۳-۲-۳- مدل جذب ترجیحی - جریان موینگی		۷۲
۴-۲-۳- مدل هرمیا		۷۳
۱-۴-۲-۳- مکانیسم فیلتراسیون با گرفتگی کل حفرات		۷۴
۲-۴-۲-۳- مکانیسم فیلتراسیون با گرفتگی استاندارد حفرات		۷۴
۳-۴-۲-۳- مکانیسم فیلتراسیون با گرفتگی متوسط حفرات		۷۴
۴-۴-۲-۳- مکانیسم مدل فیلتراسیون کیک		۷۵
۵-۲-۳- مدل نوشوندگی سطح		۷۶
۶-۲-۳- مدل ژل		۷۷
۷-۲-۳- مدل انتقال و فیلتراسیون پایدار		۷۷
۳-۳-۳- مدل های انتقال در اسمز معکوس		۷۸
۱-۳-۳-۳- مدل های انتقال بر اساس ترمودینامیک غیربرگشتی		۷۸
۱-۱-۳-۳- مدل کدم - کاتچوالسکی		۷۹
۲-۱-۳-۳- مدل کدم - اشپیگلر		۸۱
۴-۳- مدل های انتقال بر اساس دیدگاه تخلخل در غشاء		۸۳
۱-۴-۳- مدل انحلال - نفوذ		۸۳
۲-۴-۳- مدل انحلال - نفوذ غیرایده آل		۸۴

صفحه	فهرست مطالب	عنوان
۸۴		-۳-۴-۳- مدل انحلال نفوذ توسعه یافته
۸۵		-۵- مدل های انتقال بر اساس دیدگاه تخلخل در غشاء
۸۵		۱-۵-۳- مدل KSA
۸۶		-۲-۵-۳- مدل (FP) Finely - Porous
۸۷		-۳-۵-۳- مدل نیروی سطحی - جریان حفره ای (SF-PF)
۸۸		-۱-۳-۵-۳- بررسی شارهای جزء حل شونده در جهت شعاعی
۸۹		-۲-۳-۵-۳- بررسی شارهای جزء حل شونده در جهت محوری
۹۱		-۶-۳- ارائه یک مدل عددی مناسب جهت کنترل پارامترهای عملیاتی
۹۱		-۱-۶-۳- چکیده
۹۱		-۲-۶-۳- مقدمه
۹۲		-۳-۶-۳- تئوری
۹۲		۱-۳-۶-۳- معادلات حاکم
۹۵		-۲-۳-۶-۳- حل عددی
۹۶		-۴-۶-۳- شبیه سازی
۹۶		-۱-۴-۶-۳- روابط غیرخطی در فرآیندهای RO
۹۸		-۷-۳- بحث و نتیجه گیری

فصل چهارم - راه اندازی Set up و انجام آزمایش ها

۱۰۰	-۱-۴- مقدمه
۱۰۰	-۴- سیستم آزمایشگاهی مورد استفاده در بررسی های تجربی
۱۰۴	-۴- ۳- روش بررسی
۱۰۴	-۱-۳-۴- اندازه گیری فلاکس آب خالص
۱۰۵	-۴- ۲-۳-۴- بررسی آماری نتایج آزمایش آب مقطر
۱۰۸	-۴- ۴- انجام آزمایشهای RO
۱۰۸	-۴- ۱-۴-۴- بررسی آماری نتایج

عنوان	فهرست مطالب	صفحه
۵-۴ - نتیجه گیری		۱۱۳
فصل پنجم - بررسی نتایج آزمایشگاهی و ارزیابی مدل		
۱-۵ - مقدمه		۱۱۵
۲-۵ - تعیین شرایط بهینه عملیاتی		۱۱۵
۵-۱-۲-۱- اثر فشار بر میزان تراوش آب مقطر		۱۱۵
۵-۲-۲- برسی اثر فشار بر میزان تراوش خوراک		۱۱۶
۵-۳-۲- برسی اثر دما بر میزان تراوش		۱۱۷
۵-۴-۳-۲- برسی اثر دما بر میزان تراوش آب مقطر		۱۱۷
۵-۴-۲-۳-۲- اثر دما بر میزان تراوش خوراک		۱۱۸
۵-۶-۲-۲- اثر غلظت بر میزان تراوش خوراک		۱۱۹
۵-۷-۲-۲- اثر سرعت بر میزان تراوش خوراک		۱۱۹
۵-۳- آزمایش تأیید کننده روش تاگوچی		۱۲۰
۵-۴- نتیجه گیری و پیشنهاد		۱۲۱
پیوست		۱۲۲
فهرست منابع فارسی		۱۳۴
فهرست منابع غیرفارسی		۱۳۵

عنوان	فهرست جداول	صفحه
جدول ۱-۱- توسعه تاریخی غشاها		۶
جدول ۲-۱- مثال هایی از کاربردهای جاری فرآیندهای جداسازی توسط غشاء		۱۷
جدول ۱-۳- فرآیندهای غشایی و خصوصیات آنها		۱۸
جدول ۱-۴- بازار جهانی غشاها و مدول ها برای برخی فرآیندهای غشایی		۱۹
جدول ۲-۱- فشار اسمزی برخی از محلول ها در 25°C برحسب (psi)		۲۷
جدول ۲-۲- تقسیم بندی روشاهای جداسازی بر اساس نیروی محرکه		۳۱
جدول ۲-۳- مواد شیمیایی مورد استفاده در تصفیه مقدماتی آب		۳۸
جدول ۲-۴- مشخصات فرآیندهای جدا سازی		۴۳
جدول ۲-۵- هزینه آب شیرین به روش RO		۴۴
جدول ۲-۶- مقایسه انرژی مصرفی در روش های نمک زدایی		۴۶
جدول ۲-۷- قابلیت فرآیندهای جداسازی در زمینه های مختلف		۴۷
جدول ۲-۸- محدوده عملکرد فرآیندهای غشتایی		۵۳
جدول ۲-۹- تولید کنندگان مدول های لوله ای		۵۵
جدول ۲-۱۰- تولید کنندگان مدول های قاب و صفحه		۵۷
جدول ۲-۱۱- تولید کنندگان مدول های الیاف توالی		۵۹
جدول ۲-۱۲- تولید کنندگان غشاهای حلزونی		۶۳
جدول ۲-۱۳- مقایسه مدولهای RO		۶۵
جدول ۲-۱۴- مزایا و معایب ماجول های مختلف		۶۵
جدول ۲-۱۵- روش های کاهش رسوب		۶۷

عنوان	فهرست جداول	صفحه
جدول ۳-۱- مقایسه بین مقادیر بازیافت		۹۸
جدول ۴-۱- سطوح مختلف عوامل مورد بررسی برای آب مقطر در آزمایش های RO		۱۰۵
جدول ۴-۲- مقدار سطوح مختلف در آزمایش های طراحی شده RO برای آب مقطر		۱۰۵
جدول ۴-۳- نتایج حاصل از انجام آزمایش های آب مقطر ، تکرار اول		۱۰۶
جدول ۴-۴- نتایج حاصل از انجام آزمایش های آب مقطر ، تکرار دوم		۱۰۶
جدول ۴-۵- نتایج آماری ارائه شده توسط نرم افزار تاگوچی در مورد آب مقطر		۱۰۷
جدول ۴-۶- نتایج متوسط آماری ارائه شده توسط نرم افزار تاگوچی برای آب مقطر		۱۰۷
مورد بررسی در فرآیند RO		۱۰۷
جدول ۴-۷- سطوح مختلف عوامل مورد بررسی در آزمایش های RO		۱۰۸
جدول ۴-۸- مقدار سطوح مختلف در آزمایش های طراحی شده RO توسط نرم افزار		۱۰۹
تاگوچی		۱۰۹
جدول ۴-۹- نتایج حاصله از انجام آزمایش های RO ، تکرار اول		۱۰۹
جدول ۴-۱۰- نتایج حاصله از انجام آزمایش های RO ، تکرار دوم		۱۰۹
جدول ۴-۱۱- نتایج آماری ارائه شده توسط نرم افزار تاگوچی در آزمایش های RO		۱۱۰
جدول ۴-۱۲- نتایج متوسط آماری ارائه شده توسط نرم افزار تاگوچی درمورد آزمایش های فرآیند RO		۱۱۰
جدول ۴-۱۳- میزان اثر عوامل مختلف بر شارعبوری از غشاء RO		۱۱۱
جدول ۴-۱۴- مقادیر غلظت محصول و میزان دفع نمک در هر مرحله از آزمایش		۱۱۲
جدول ۵-۱- آزمایش تأیید کننده روش تاگوچی		۱۲۰

عنوان	فهرست شکلها	صفحه
شکل ۱-۱ - نمایش ترسیمی دو فاز جدا شده توسط یک غشاء		۳
شکل ۱-۲- ساختمان یک غشاء نامتقارن		۴
شکل ۱-۳- ابعاد ذرات جداسازی توسط فرآیندهای غشایی		۷
شکل ۱-۴- نمایش روند انتقال جرم از میان یک غشاء نامتقارن		۱۰
شکل ۱-۵- تقسیم بندی غشاها بر اساس دانه بندی		۱۳
شکل ۱-۶- چهار نوع طرح اصلی مدول غشایی		۱۵
شکل ۱-۷- نمای شماتیک از یک فرآیند غشایی		۱۶
شکل ۲-۱- a) نمای شماتیک اسمز و فشار اسمزی b) پدیده اسمز معکوس		۲۵
شکل ۲-۲- نیروی محرکه RO		۲۹
شکل ۲-۳- شمای کلی یک واحد RO		۳۶
شکل ۲-۴- تغییرات دبی آب تصفیه شده با زمان		۳۹
شکل ۲-۵- RO یک مرحله ای		۴۰
شکل ۲-۶- یک نمونه طراحی شده واحد RO		۴۱
شکل ۲-۷- مقایسه هزینه های نمک زدایی بر حسب غلظت نمک		۴۲
شکل ۲-۸- فرآیندهای مناسب فیلتراسیون برای جداسازی ، شفاف کردن و تغییط		۴۳
شکل ۲-۹- اثر غلظت ناخالصی های آب ورودی روی اتلاف انرژی در فرآیند RO		۴۵
شکل ۲-۱۰- محدوده انتخاب فرآیندهای نمک زدایی		۴۸
شکل ۲-۱۱- محدوده pH مجاز برای چند نوع غشاء		۵۴
شکل ۲-۱۲- مدول لوله ای		۵۵
شکل ۲-۱۳- مدول قاب و صفحه		۵۷
شکل ۲-۱۴- مدول الیاف توخالی		۵۸
شکل ۲-۱۵- ساختمان مدول حلزونی		۶۰

عنوان	فهرست شکلها	صفحه
شکل ۲-۱۶- طرحی از یک المان RO		۶۱
شکل ۲-۱۷- جریان خوراک و محصول در یک مدول RO		۶۲
شکل ۲-۱۸- نسبت حجم hold up به سطح غشاء بر حسب طول جداسازی(mm)		۶۴
شکل ۳-۱- سیستم محور استوانه ای در یک حفره غشاء		۸۷
شکل ۳-۲- a) مدول حلزونی b) مقطع عرضی در یک کانال حاوی فاصله انداز		۹۲
شکل ۳-۳- فلاکس بر حسب فشار در غلظت های کم نمک		۹۷
شکل ۴-۳- مقادیر بازیافت بر حسب فشار در غلظت های زیاد نمک در خوراک		۹۸
شکل ۴-۱- آزمایشگاهی Set up ، PFD- RO		۱۰۱
شکل ۴-۲- نمای واقعی Set up ، RO (نمای کلی)		۱۰۲
شکل ۴-۳- مدول مورد استفاده در Set up فرآیند اسمز معکوس		۱۰۳
شکل ۴-۴- نمای واقعی مدول مورد استفاده در Set up، اسمز معکوس		۱۰۳
شکل ۴-۵- نمای واقعی محزن خوراک به همراه دو کویل سرمایشی از جنس برنج		۱۰۴
شکل ۴-۶- اثر غلظت بر میزان هدایت محلول		۱۱۱
شکل ۴-۷- اثر دما بر مقاومت ذاتی غشاء		۱۱۳
شکل ۴-۱- بررسی اثر فشار بر میزان تراوش آب مقطر		۱۱۶
شکل ۴-۲- تأثیر فشار بر میزان تراوش خوراک در غلظت $2\text{m}/\text{s}$ gr/lit و سرعت 10 s		
در دماهای متفاوت با استفاده از مدل و مقایسه آن با نتایج حاصل از مدل		۱۱۷
شکل ۴-۳- تأثیر دما بر روی میزان تراوش آب مقطر		۱۱۸
شکل ۴-۴- تأثیر دما بر میزان تراوش خوراک در فشار و سرعت ثابت در غلظتهای مختلف با استفاده از مدل و مقایسه آن با نتایج حاصل از مدل		۱۱۸
شکل ۴-۵- اثر غلظت بر شار خوراک از غشاء RO در دما و سرعت ثابت در فشارهای مختلف با استفاده از مدل و مقایسه آن با نتایج حاصل از مدل		۱۱۹
شکل ۴-۶- اثر سرعت بر شار خوراک از غشاء RO		۱۲۰

چکیده

اهمیت فرآیندهای جداسازی مبتنی بر انتقال جرم برای مهندسین شیمی به خوبی روشن است. امروزه به ندرت می‌توان یک فرآیند شیمیایی را یافت که در آن به خالص سازی و یا جداسازی نهایی محصولات از فرآورده‌های جانبی حاصل از واکنش نیاز نباشد. همچنین در دهه‌های اخیر نیاز روزافزونی برای به کارگیری این فرآیندها در جهت کنترل آلودگی و حفاظت محیط زیست احساس شده است و این کنترل خصوصاً در مورد خود صنایع شیمیایی که از عمدۀ ترین منابع آلوده کننده محیط هستند با جدیت بیشتری صورت می‌گیرد.

در این تحقیق سعی شده تا یک مدل مناسب به منظور پیش‌بینی اثر پارامترهای عملیاتی نظیر فشار، سرعت، دما و غلظت ورودی خوراک بر روی فلاکس محصول و کاهش پدیده پلاریزاسیون غلظتی و در نتیجه کاهش میزان گرفتگی غشاء، ارائه گردد.

به دلیل انطباق و یا نزدیک بودن نتایج حاصله از این مدل و شبیه سازی عددی با مشاهدات تجربی می‌توان اذعان داشت که مدل پیشنهادی حاضر جهت تعیین فلاکس تراوش کننده^۱ و اثر غلظت پلاریزه در مدول‌های حلزونی غشاهای RO بسیار مناسب می‌باشد.

^۱ - Peameat flux