



دانشگاه آزاد اسلامی  
واحد تهران جنوب  
دانشکده تحصیلات تكمیلی  
پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد "M.Sc"  
مهندسی شیمی

عنوان :

بررسی انتقال جرم درون قطرات و ارائه یک مدل جدید

استاد راهنما :

نگارش :

## فهرست مطالب :

۱	مقدمه
۵	فصل اول بررسی و انتقال جرم قطره انتقال جرم بین فازی
۶	۱- مقدمه ای بر انتقال جرم بین فازی
۶	۱-۲ مدلهای انتقال جرم بین فازی
۱۲	۱-۳ ضرائب کلی انتقال جرم
۱۳	۱-۴ بررسی انتقال جرم قطره در حال تشکیل
۱۳	۱-۴-۱ مدل های انتقال جرم نفوذی
۱۸	۱-۴-۲ انتقال جرم در نواحی مختلف تشکیل قطره
۱۹	۱-۴-۳ اثر چرخش داخلی بر انتقال جرم قطرات در حال رشد
۲۴	۱-۵ بررسی مکانیک سیالات در حال صعود
۲۴	۱-۵-۱ قوانین بنیادی
۲۶	۱-۵-۲ حل تقریبی معادلات حرکت
۲۹	۱-۵-۳ شکل قطره
۳۳	۱-۶ بررسی وجود چرخش داخلی در قطره در حال حرکت
۳۴	۱-۶-۱ اثر چرخش داخلی و نوسان بر شکل قطره
۳۵	۱-۶-۲ اندازه قطره
۳۷	۱-۶-۳ مکانیک جريان سیال اطراف قطره در حال حرکت
۳۸	۱-۶-۴ سرعت حد قطره
۴۴	۱-۷ بررسی انتقال جرم قطرات در حال صعود یا سقوط
۴۷	۱-۷-۱ انتقال جرم فاز پراکنده
۴۹	۱-۷-۲ انتقال جرم فاز پیوسته
۴۹	۱-۷-۳ اثر عوامل فعال سطحی بر میزان انتقال جرم قطره
۵۹	فصل دوم مدلهای انتقال جرم
۶۰	۲-۱ مراحل مختلف انتقال جرم قطره
۶۱	۲-۲ معادلات کلی موازنه جرم برای قطره منفرد کروی
۶۳	۲-۳ تئوریهای موجود برای انتقال جرم قطره در حال صعود یا سقوط آزاد
۶۴	۲-۳-۱ مدل قطره صلب
۶۵	۲-۳-۲ روشن حل نیomon
۶۶	۲-۳-۳ حل جدید یانگ و کراز - پیتو
۶۹	۲-۳-۴ مدل قطره چرخشی با جريان آرام
۷۶	۲-۳-۵ مدل قطره چرخشی درهم (آشفته)
۸۵	۲-۴-۱ روابط تجربی
۸۵	۲-۴-۲ مدل قطرات نوسانی
۸۶	۲-۴-۳-۱ مدلهای تئوری
۹۱	۲-۴-۳-۲ نواحی استفاده از مدلها
۹۴	۲-۴-۴ ضرائب انتقال جرم فاز پیوسته

۹۵	۲-۵-۱ ضرائب انتقال جرم فاز پیوسته برای قطره صلب
۹۸	۲-۵-۲ ضرائب انتقال جرم فاز پیوسته برای قطرات چرخشی
۱۰۰	۲-۵-۳ ضرائب انتقال جرم فاز پیوسته برای قطرات نوسانی
۱۰۲	فصل سوم مدل های انتقال جرم برج
۱۰۳	۳-۱ تئوری انتقال جرم برجهای استخراج مایع - مایع
۱۰۳	۳-۲ فلاکس موضعی انتقال جرم
۱۰۵	۳-۳ مدل های جریان ایده آل
۱۰۵	۳-۳-۱ مدل جریان قالبی
۱۰۹	۳-۳-۲ مدل جریان با اختلاط کامل
۱۱۰	۳-۴ مدل حقیقی جریان
۱۱۱	۳-۵ مدل Forward Mixing
۱۱۵	فصل چهارم بررسی چند مدل جدید
۱۱۶	۴-۱ رد مدل Handlos & Baron
۱۱۷	۴-۲ مدل ترکیبی ضرایب انتقال جرم برای قطره آلوده
۱۲۰	۴-۳ مدلی براساس مکانیزم فورانهای متلاطم
۱۲۶	۴-۴ معادله تجربی Kumar & Hartland
۱۲۷	۴-۵ مدل تئوری Ramirez & Korchinskey
۱۲۸	فصل پنجم بحث و نتیجه گیری
۱۲۹	۵-۱ اطلاعات و داده های تجربی
۱۳۰	۵-۲ پیش بینی مدل Henschke & Pfennig
۱۳۸	۵-۳ تصحیح مدل Henschke & Pfennig
۱۴۳	نتیجه گیری
۱۴۳	پیشنهاد برای تحقیق های بعدی
۱۴۴	فهرست منابع

## فهرست شکل ها :

۷	شکل (۱ - ۲) تئوری فیلمی
۸	شکل (۳ - ۴) تئوری رسوخ
۱۰	شکل (۴ - ۱) ادغام تئوری های لایه و نوشوندگی سطح
۱۱	شکل (۵ - ۱) صعود یک قطره مایع از میان دیگر
۱۶	شکل (۶ - ۱) مراحل مختلف تشکیل قطره
۲۰	شکل (۷ - ۱) : انتقال جرم بعنوان تابعی از عدد رینولدز برای قطره های با چرخش اجباری
۲۸	شکل (۸ - ۱) خطوط جریان نسبت به یک قطره در $Re$ پایین
۳۱	شکل (۹ - ۱) شکل قطرات در حال حرکت در سیال دیگر
۳۳	شکل (۱۰ - ۱) نسبت ظاهری متوسط به صورت تابعی از اعداد
۳۹	شکل (۱۱ - ۱) سرعت حد بر حسب قطر معادل قطره
۵۱	شکل (۱۳ - ۱) اثرات غلظت $S_A$ بر کشش بین سطحی در $k = 298$
۵۲	شکل (۱۴ - ۱) اثر عوامل فعال سطحی ( $S_{A,A}$ ) برای ضریب انتقال جرم فاز پراکنده در طول تشکیل قطره برای سیستم $HAc - C_6H_5Cl - H_2O - DPB$ .
۵۳	شکل (۱۵ - ۱) اثر عامل فعال سطحی بر روی ضریب انتقال جرم فاز پراکنده در طول زمان صعود یا سقوط قطره برای سیستم $HAc - C_6H_5Cl - H_2O - DPB$
۵۵	شکل (۱۶ - ۱) اثر عوامل فعال سطحی بر روی ضریب انتقال جرم فاز پراکنده در طول دوره اثلاف قطرات برای سیستم $HAc - C_6H_5Cl - H_2O - DPB$
۷۰	شکل (۱ - ۱) مقادیر راندمان استخراج بر حسب زمان بدون بعد و عدد پکلت
۷۱	شکل (۲ - ۱) توزیع غلظت بدون بعد قطره در حال چرخش آرام بر حسب عدد پکلت
۷۲	شکل (۲ - ۲) مدل توابع خطوط جریانی
Handols – Baron	شکل (۲ - ۴) نمایش شماتیک شکل چرخشی داخل قطرات (چپ) و شکل ساده شده چنبره‌ای در مدل (راست)
۷۷	
۸۰	شکل (۲ - ۵) یک پریود از مدل انتقال جرم نوسانی
۸۳	شکل (۶ - ۲) کسر استخراج شده بر حسب زمان بدون بعد (نمی‌توان برای مقادیر کم $bt$ به کار برد)
۸۳	شکل (۷ - ۲) کسر استخراج شده بر حسب زمان بدون بعد محاسبه شده توسط حل عددی
۱۰۴	شکل (۱ - ۱) نمودار فرآیند انتقال جرم موضعی بین دو فاز
۱۰۵	شکل (۲ - ۳) منحنی تعادل
۱۰۶	شکل (۳ - ۳) مدل جریان قالبی
۱۰۷	شکل (۳ - ۴) تغییرات غلظت دو فاز با موقعیت در جریان قالبی
۱۰۸	شکل (۳ - ۵) نمودار مدل Plug در تبادل جرم
۱۰۹	شکل (۶ - ۳) مدل جریان با اختلاط کامل
۱۱۰	شکل (۳ - ۷) نمودار تغییرات غلظت در مدل جریان با اختلاط کامل
۱۱۲	شکل (۳ - ۸) مدل Forward Mixing
۱۱۸	شکل (۴ - ۱) مدل قطره در حال صعود وقتی که به مواد فعال سطحی آلوده باشد
۱۲۱	شکل (۴ - ۲) انتقال جرم محاسبه و اندازه گیری شده برای قطرات منفرد

۱۲۲	شکل (۴ - ۳) اثر انتقال جرم بر سرعت حدی قطره منفرد
۱۲۳	شکل (۴ - ۴) توزیع غلظت و خطوط انتقال جربان در یک قطره
۱۳۶	شکل (۱ - ۵) مقادیر $C_{IP}$ برای سیستم اول
۱۳۷	شکل (۲ - ۵) مقادیر $C_{IP}$ برای سیستم دوم
۱۳۷	شکل (۳ - ۵) مقادیر $C_{IP}$ برای سیستم دوم برج بزرگ
۱۳۸	شکل (۴ - ۵) مقادیر $C_{IP}$ برای سیستم دوم برج کوچک
۱۴۰	شکل (۵ - ۵) مقادیر بهینه شده برای سیستم اول
۱۴۱	شکل (۴ - ۵) مقادیر NODP حاصله از مقادیر تجربی و تئوری مدل هندلوس - بارون
۱۴۱	شکل (۴ - ۵) مقادیر NODP حاصله از مقادیر تجربی و تئوری مدل پفینگ
۱۴۱	شکل (۴ - ۵) مقادیر NODP حاصله از مقادیر تجربی و تئوری مدل اصلاح شده پفینگ
۱۴۲	شکل (۵ - ۵) مقادیر NODP حاصله از مقادیر تجربی سه مدل هندلوس - بارون ، پفینگ و اصلاح شده پفینگ

## فهرست جداول ها :

۱۵	جدول (۱ - ۱) مدل‌های موجود برای انتقال جرم فاز پراکنده در طول زمان تشکیل قطره
۲۳	جدول (۱ - ۲) محدوده متغیرهای آزمایشی
۵۰	جدول (۱ - ۳) قطر داخلی فازلها
۵۰	جدول (۱ - ۴) خواص فیزیکی سیستم‌های آزمایشی در دمای $298^{\circ}\text{K}$
۵۶	جدول (۱ - ۵) اثرات $t_f$ بر روی ضریب $k^-$
۵۷	جدول (۱ - ۶) اثر زمان تشکیل بر نسبت ضریب انتقال جرم با عوامل سطحی و بدون عوامل فعال سطحی
۷۳	جدول (۲ - ۱) مقادیر پارامترهای مدل کرونیگ - برینک
۸۱	جدول (۲ - ۲) مقادیر ویژه در مدل Handlos - Baron
۱۲۶	جدول (۴ - ۱) مقادیر $C_2$ برای برجهای مختلف
۱۲۹	جدول (۵ - ۱) ابعاد و مشخصات دو برج RDC
۱۳۰	جدول (۵ - ۲) مشخصات فیزیکی سیستم تولوئن - استن - آب (سیستم اول) و بوتانل - سوکسینیک اسید - آب (سیستم دوم)
۱۳۴	جدول (۵ - ۳) حدود اطمینان برای سیستم‌ها و برجهای مختلف برای مدل هندلوس و بارون

## چکیده

استخراج مایع – مایع اخیراً به عنوان یکی از مهمترین روش‌های جداسازی در صنایع مورد استفاده فراوانی دارد.

یکی از مهمترین مباحث در استخراج مایع – مایع انتقال جرم از فاز پراکنده می‌باشد مدل‌های مختلفی برای بیان ضریب انتقال جرم به قطره و یا از قطره ارائه شده اند و بهترین مدلی که تاکنون نتایج خوبی در مقایسه با داده‌های تجربی داشته است مدل هنلوس – بارون می‌باشد. ولی این مدل نیز دارای فرضیات دور از واقعیتی است و محققین دیگری مدل‌های جدیدی ارائه کرده اند.

در این پژوهه مدل ارائه شده توسط Henschke & Pfennig مورد بررسی قرار گرفته است و تصحیحی بر این مدل جهت کابرد آن در برج RDC ارائه شده است.

نتایج نشان می‌دهد اختلاف تعداد مراحل تئوری و تجربی در مدل Pfennig & Henschke زیاد است که دال بر دقت کم آن است. بر خلاف مدل Pfennig & Henschke مدل اصلاح شده آن پیش‌بینی بسیار خوبی برای تعداد مراحل انتقال دارد. مقایسه پیش‌بینی مدل Pfennig & Henschke و اصلاح شده آن با نتایج آنست که مدل Pfennig & Henschke ضرائب انتقال جرم داخل قطره را کمتر از مقادیر واقعی آنها پیش‌بینی می‌کند.