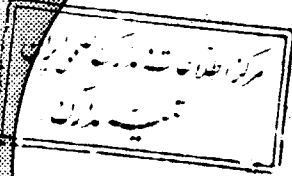


٢٧٠٨٤

٥٤٤٢



# دانشگاه تهران

## دانشکده فنی

### پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

**رشته :**

مهندسی شیمی

**موضوع :**

دستیابی به ضریب انتقال جرم مجموعه قطرات در یک سیستم استخراج مایع - مایع در ستون پاشنده

**توسط :**

لیلا بیژن

**استاد راهنما :**

جناب آقای دکتر حسین بهمنیار

**سال تحصیلی :**



۱۴۲۰۸

۱۳۷۸

۲۷۰۵۶

تقدیم به پدر و مادر فداکار و برادر عزیزم

باحمد و سپاس فراوان به درگاه خداوند متعال ،  
به استادان گرامی که در طول تحصیل در محضرشان بوده و  
از دانش آن بزرگواران بهره مند شده ام ، تشکرات خود را ابراز  
داشته ، امید است تجربیاتی که در نتیجه این کوششها بدست آمده  
است بتواند مرا در نیل به موفقیت‌های بیشتر در این زمینه رهنمون  
کرد.

لازم می دانم از :

استاد ارجمند ، جناب آقای دکتر حسین بهمنیار ، که در تهیه  
این مجموعه مرا یاری نموده اند، و مسئولین آزمایشگاه پدیده های  
سطحی خصوصاً آقای مهندس علی حقیقی اصل که کمکهای  
فراوانی را ابراز داشتند و کلیه کسانی که با راهنمایی های ذی  
قیمت خود و با فراهم آوردن امکانات لازم در گردآوری و تهیه این  
پروژه کمکهای شایانی نموده اند ، سپاسگزاری بنمایم .

لیلا بیژن

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	چکیده
۲	مقدمه
	فصل ۱ - مکانیزمها و روابط انتقال جرم در فصل مشترک دو فاز مایع پراکنده و پیوسته
۶	پیوسته
۷	۱-۱- پدیده هایی که در فصل مشترک اتفاق می افتند - اثر Marangoni
۹	۲-۱- مطالعه انتقال جرم از فصل مشترک
۱۰	۳-۱- مکانیسمهای انتقال
۱۱	۱-۳-۱- تئوری فیلم ساکن
۱۲	۲-۳-۱- تئوری لایه مرزی
۱۲	۳-۳-۱- تئوری نفوذ
۱۳	۴-۳-۱- تئوری ترکیبی فیلمی - نفوذی
۱۴	۴-۱- اهمیت بررسی مکانیسمهای انتقال جرم در درون قطرات
۱۷	۵-۱- مطالعاتی پیرامون سرعتهای نسبی دو فاز پراکنده و پیوسته
۱۹	۶-۱- محاسبه ضرایب انتقال جرم فاز پراکنده
۱۹	۱-۶-۱- نفوذ مولکولی عامل کنترل کننده است
۲۱	۲-۶-۱- چرخش محتوای قطره عامل کنترل کننده است
۲۵	۷-۱- مدل کلامک ساکن
	فصل ۲- مروری بر تحقیقات تجربی صورت گرفته در خصوص قطرات منفرد و مجموعه قطرات
۲۸	قطرات
۲۹	۱-۲- مطالعات تصویری پیرامون پدیده هایی که در فصل مشترک فازها رخ میدهد
۳۰	۲-۲- بررسی نحوه تغییرات غلظت بر روی دیانگرم تعادلی
۳۲	۳-۲- مطالعات عملی صورت گرفته پیرامون پدیده انتقال جرم در ستونهای پاشنده

- ۲۴ ۴-۲- پرپود تشکیل قطره در نازل
- ۲۴ ۱-۴-۲- شکل قطرات در حال تشکیل در نازلها
- ۲۶ ۲-۴-۲- مطالعات تصویری در مورد مکانیسمهای انتقال جرم درون قطرات  
۱-۴-۴-۲- مطالعه دینامیک سطح قطرات تشکیل شونده در نبودن
- ۲۷ انتقال جرم  
۲-۴-۴-۲- مطالعه دینامیک سطح قطرات تشکیل شونده در حضور
- ۲۸ انتقال جرم
- ۴۴ ۲-۴-۲- روابط تئوریتیکی جهت پیش بینی میزان انتقال جرم
- ۵۰ ۵-۲- پرپود حرکت قطره در ستون پاشنده
- ۵۰ ۱-۵-۲- شکل قطرات متحرک در ستون
- ۵۲ ۲-۵-۲- مطالعات تصویری در مورد مکانیسمهای انتقال جرم
- ۵۳ ۱-۴-۵-۲- بررسی انتقال جرم از قطرات نوسان کننده بزرگ
- ۵۵ ۲-۵-۲- روابط تئوری جهت پیش بینی میزان انتقال جرم
- ۶۰ ۴-۵-۲- روابط تئوری جهت پیش بینی میزان انتقال جرم در قطرات نوسان کننده
- ۶۲ ۶-۲- پرپود بهم چسبندگی قطرات
- ۶۲ ۱-۶-۲- چگونگی چسبیدن قطرات به فصل مشترکهای صاف
- ۶۴ ۲-۶-۲- چگونگی چسبیدن قطرات به یکدیگر
- ۶۷ ۳-۶-۲- چگونگی چسبیدن قطرات به سطوح جامد
- ۶۷ ۱-۴-۶-۲- چسبیدن قطره ای منفرد به یک سطح جامد هموار
- ۷۰ ۴-۶-۲- مطالعات تصویری در مورد پدیده چسبندگی
- ۷۲ ۵-۶-۲- تحقیقات انجام شده پیرامون انتقال جرم در مورد پدیده چسبندگی
- ۷۶ ۷-۲- مطالعاتی پیرامون شکستگی قطرات
- ۷۸ ۸-۲- بررسی انتقال جرم در ستونهای همزن دار

۸۰	۹-۲- تأثیر آلاینده ها بر انتقال جرم درون قطرات
۸۶	فصل ۳- شرح دستگاه و سیستم مورد آزمایش
۸۷	۱-۳- سیستمهای پیشنهادی برای مطالعه فرآیندهای استخراج مایع - مایع
۹۰	۲-۳- مشخصات کلی دستگاه و سیستم مورد آزمایش
۹۰	۱-۲-۳- انتخاب مواد شیمیایی سیستم
۹۱	۲-۲-۳- خواص فیزیکی مواد شیمیایی در سیستم
۹۲	۳-۲-۳- شرح دستگاه
۹۳	۴-۲-۳- ساخت قسمت‌های مختلف دستگاه و ویژگی های آنها
۹۳	الف- مخزن تولوئن
۹۳	ب - رابط ورودی به ستون پاشنده
۹۳	ج - نازل
۹۴	د- قیفهای شیشه ای
۹۵	فصل ۴- روش انجام آزمایشات و نتایج آزمایشگاهی
۹۶	۱-۴- روش انجام آزمایشات
۹۹	۲-۴- تحلیل نتایج چگونگی تغییرات میزان استخراج در طول ستون پاشنده
۱۰۶	۳-۴- اندازه گیری قطر قطرات
۱۰۷	۴-۴- مقایسه ضریب انتقال جرم تجربی با روابط پیشنهاد شده توسط محققین دیگر
۱۲۰	۵-۴- بررسی ضریب انتقال جرم قطرات در شرایط مختلف
۱۲۴	۶-۴- مقایسه عدد شروود تجربی با روابط پیشنهاد شده توسط محققین دیگر
۱۲۶	۷-۴- بررسی فاز پیوسته
۱۳۸	۸-۴- بررسی ماندگی
۱۴۰	۹-۴- پیشنهاد معادله ای مناسب برای پیش بینی ضریب انتقال جرم

صفحه

عنوان

۱۵۲

فصل ۵- خلاصه و پیشنهاد به منظور ادامه روند پژوهش

۱۵۴

۵-۱- خلاصه

۱۵۵

۵-۲- توصیه برای ادامه تحقیقات

۱۵۷

فهرست علائم

۱۶۲

فهرست مراجع

۱۶۷

چکیده به زبان انگلیسی



## فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۷	شکل (۱-۱): حرکت سطح مایع به علت وجود گرادیان کشش در فصل مشترک
۸	شکل (۲-۱): تشکیل سلولهای کنوکسیون
۱۱	شکل (۳-۱): نمایی از پروفایلهای غلظت در فصل مشترک براساس تئوری فیلم
۱۶	شکل (۴-۱): نمونه توزیع سایز قطره
۱۷	شکل (۵-۱): تصویر کیفی از سرعتهای آب و بنزن نسبت به مرکز قطره
۲۰	شکل (۱-۲): علائم درخشان، پروفایلهای غلظت در زمانهای مختلف رانشان می دهند
۳۱	شکل (۲-۲): مسیر استخراج در دیاگرام تعادلی مثلثی برای حالت اشباع
۳۲	شکل (۳-۲): مسیر استخراج در دیاگرام تعادلی مثلثی برای حالت غیراشباع
۳۵	شکل (۴-۲): قطرات معلق: الف - از یک کاپیلاری معلق ب- از یک نازل با لبه های تیز
۳۸	شکل (۵-۲): قطرات معلق رشد یابنده بدون انتقال جرم
۳۹	شکل (۶-۲): قطره رشد یابنده معلق که حاوی ۳ درصد ماده منتقل شونده است
۴۰	شکل (۷-۲): تصویری از جریان در درون قطره در سرعتهای پائین
۴۰	شکل (۸-۲): تصویری از جریان در درون قطره در سرعتهای بالا
۴۱	شکل (۹-۲): تصویری از جریان مماسی القا شده در فاز پیوسته اطراف قطره ای که سریعاً رشد می یابد
۴۲	شکل (۱۰-۲): منحنی هایی برای مقایسه چرخش تجربی و مقدارپیش بینی شده از روابط
۴۷	شکل (۱۱-۲): رابطه ضریب انتقال جرم متوسط با زمان تشکیل
۴۸	شکل (۱۲-۲): نحوه تغییر میزان نزدیکی به تعادل با گروه بدون بعد $(Dt)^{1/2}/d$
۴۹	شکل (۱۳-۲): نحوه تغییر میزان نزدیکی به تعادل با گروه بدون بعد $(Dt)^{1/2}/d$
۵۱	شکل (۱۴-۲): نمایی از قطرات متحرک الف - شکل فرورفته ب - شکل دنباله دار
۵۲	شکل (۱۵-۲): انواع مختلف شکلهای قطره که در محیطهایی با ویسکوزیته پائین و بالا حرکت می کنند

- شکل (۲-۱۶): شکل قطرات و انعکاس آنها در آینه ۵۴
- شکل (۲-۱۷): نمودار عمومی برای وابستگی کسر استخراج شده به زمان ۵۷
- شکل (۲-۱۸): مقایسه بین نتایج بدست آمده از معادله ریاضی و مقادیر تجربی ۵۹
- شکل (۲-۱۹): تأثیر انتقال حل شونده بر چسبندگی بین قطرات ۶۶
- شکل (۲-۲۰): حرکات در فصل مشترک مطابق با جهت انتقال جرم ۶۶
- شکل (۲-۲۱): برخورد قطره آب به یک سطح اندود شده به پارافین ۶۹
- شکل (۲-۲۲): پدیده چسبندگی ۷۲
- شکل (۲-۲۳): غلظت حل شونده برحسب زمان پس از تشکیل ۷۳
- شکل (۲-۲۴): تأثیر چسبندگی بر غلظت حل شونده ۷۴
- شکل (۲-۲۵): تأثیر چسبندگی بر میزان انتقال جرم ۷۵
- شکل (۲-۲۶): تأثیر آلاینده ها بر غلظت حل شونده در قطرات منفرد و جفت قطرات چسبیده به یکدیگر ۷۵
- شکل (۲-۲۷): مدل تمرکز آلاینده ها در یک قطره صعودکننده ۸۱
- شکل (۲-۲۸): چگونگی تغییر ضریب انتقال جرم در حضور مواد آلاینده ۸۲
- شکل (۲-۲۹): چگونگی تغییر ضریب انتقال جرم با اندازه قطره در حضور مواد آلاینده ۸۳
- شکل (۳-۱): نمایی از ستون پاشنده مورد استفاده در آزمایشات ۹۲
- شکل (۴-۱): بررسی چگونگی تغییرات درصد استخراج در طول ستون (قطر دهانه نازل ۱ میلیمتر است) ۱۰۱
- شکل (۴-۲): بررسی چگونگی تغییرات درصد استخراج در طول ستون (قطر دهانه نازل ۲ میلیمتر است) ۱۰۲
- شکل (۴-۳): بررسی چگونگی تغییرات درصد استخراج در طول ستون (قطر دهانه نازل ۴ میلیمتر است) ۱۰۳
- شکل (۴-۴): بررسی چگونگی تغییرات درصد استخراج در طول ستون (قطر سوراخ توزیع کننده ها ۱ و ۰/۹ میلیمتر است) ۱۰۴

شکل (۴-۵) مقایسه چگونگی تغییرات درصد استخراج در طول ستون برای قطرات منفرد و

۱۰۵

مجموعه قطرات

شکل (۴-۶) : مقایسه ضریب انتقال جرم با روابط تجربی در طول ستون (قطر نازل ۱ میلیمتر

۱۱۰

است )

شکل (۴-۷) : مقایسه ضریب انتقال جرم با روابط تجربی در طول ستون (قطر نازل ۱

۱۱۱

میلیمتر است )

شکل (۴-۸) : مقایسه ضریب انتقال جرم با روابط تجربی در طول ستون (قطر نازل ۲ میلیمتر

۱۱۲

است )

شکل (۴-۹) : مقایسه ضریب انتقال جرم با روابط تجربی در طول ستون (قطر نازل ۲ میلیمتر

۱۱۳

است )

شکل (۴-۱۰) : مقایسه ضریب انتقال جرم با روابط تجربی در طول ستون (قطر نازل ۴

۱۱۴

میلیمتر است )

شکل (۴-۱۱) : مقایسه ضریب انتقال جرم با روابط تجربی در طول ستون (قطر نازل ۴

۱۱۵

میلیمتر است )

شکل (۴-۱۲) : مقایسه ضریب انتقال جرم با روابط تجربی در طول ستون (قطر سوراخ

۱۱۶

توزیع کننده ۱ میلیمتر است )

شکل (۴-۱۳) : مقایسه ضریب انتقال جرم با روابط تجربی در طول ستون (قطر سوراخ

۱۱۷

توزیع کننده ۱ میلیمتر است )

شکل (۴-۱۴) : مقایسه ضریب انتقال جرم با روابط تجربی در طول ستون (قطر سوراخ

۱۱۸

توزیع کننده ۰/۹ میلیمتر است )

شکل (۴-۱۵) : مقایسه ضریب انتقال جرم با روابط تجربی در طول ستون (قطر سوراخ

۱۱۹

توزیع کننده ۰/۹ میلیمتر است )

۱۲۲

شکل (۴-۱۶) : مقایسه ضریب انتقال جرم قطرات منفرد با مجموع، قطرات

۱۲۳

شکل (۴-۱۷) : مقایسه ضریب انتقال جرم در مجموعه قطراتی با قطرهای مختلف

شکل (۴-۱۸): مقایسه عدد شروود با روابط تجربی در طول ستون (قطر نازل ۱ میلیمتر است) ۱۲۵

شکل (۴-۱۹): مقایسه عدد شروود با روابط تجربی در طول ستون (قطر نازل ۱ میلیمتر است) ۱۲۶

شکل (۴-۲۰): مقایسه عدد شروود با روابط تجربی در طول ستون (قطر نازل ۲ میلیمتر است) ۱۲۷

شکل (۴-۲۱): مقایسه عدد شروود با روابط تجربی در طول ستون (قطر نازل ۲ میلیمتر است) ۱۲۸

شکل (۴-۲۲): مقایسه عدد شروود با روابط تجربی در طول ستون (قطر نازل ۴ میلیمتر است) ۱۲۹

شکل (۴-۲۳): مقایسه عدد شروود با روابط تجربی در طول ستون (قطر نازل ۴ میلیمتر است) ۱۳۰

شکل (۴-۲۴): مقایسه عدد شروود با روابط تجربی در طول ستون (قطر سوراخ توزیع کننده ۱ میلیمتر است) ۱۳۱

شکل (۴-۲۵): مقایسه عدد شروود با روابط تجربی در طول ستون (قطر سوراخ توزیع کننده ۱ میلیمتر است) ۱۳۲

شکل (۴-۲۶): مقایسه عدد شروود با روابط تجربی در طول ستون (قطر سوراخ توزیع کننده ۰/۹ میلیمتر است) ۱۳۳

شکل (۴-۲۷): مقایسه عدد شروود با روابط تجربی در طول ستون (قطر سوراخ توزیع کننده ۰/۹ میلیمتر است) ۱۳۴

شکل (۴-۲۸): مقایسه عدد شروود قطرات منفرد با مجموعه قطرات ۱۳۵

شکل (۴-۲۹): بررسی نحوه تغییر غلظت اسیداستیک موجود در فاز پیوسته در نقاط مختلف ستون ۱۳۷

شکل (۴-۳۰): بررسی نحوه تغییرات ماندگی در طول ستون ۱۳۹

شکل (۴-۳۱) : تغییرات ضرائب تصحیح مفروض با ضریب انتقال جرم (ارتفاع ۸ سانتیمتر است) ۱۴۲

شکل (۴-۳۲) : تغییرات ضرائب تصحیح مفروض با ضریب انتقال جرم (ارتفاع ۵۰ سانتیمتر است) ۱۴۳

شکل (۴-۳۳) : تغییرات ضرائب تصحیح مفروض با ضریب انتقال جرم (ارتفاع ۳۰ سانتیمتر است) ۱۴۴

شکل (۴-۳۴) : تغییرات ضرائب تصحیح مفروض با ضریب انتقال جرم (ارتفاع ۱۰ سانتیمتر است) ۱۴۵

شکل (۴-۳۵) : تغییرات ضرائب تصحیح مفروض با ضریب انتقال جرم (ارتفاع ۵ سانتیمتر است) ۱۴۶

شکل (۴-۳۶) : مقایسه ضریب انتقال جرم تجربی و محاسبه شده (ارتفاع ۸۰ سانتیمتر است) ۱۴۷

شکل (۴-۳۷) : مقایسه ضریب انتقال جرم تجربی و محاسبه شده (ارتفاع ۵۰ سانتیمتر است) ۱۴۸

شکل (۴-۳۸) : مقایسه ضریب انتقال جرم تجربی و محاسبه شده (ارتفاع ۳۰ سانتیمتر است) ۱۴۹

شکل (۴-۳۹) : مقایسه ضریب انتقال جرم تجربی و محاسبه شده (ارتفاع ۱۰ سانتیمتر است) ۱۵۰

شکل (۴-۴۰) : مقایسه ضریب انتقال جرم تجربی و محاسبه شده (ارتفاع ۵ سانتیمتر است) ۱۵۱

شکل (۴-۴۱) : ضرائب تصحیح پیشنهادی در طول ستون پاشنده ۱۵۲

عنوان: دستیابی به ضریب انتقال جرم مجموعه قطرات در یک سیستم استخراج مایع - مایع

در ستون پاشنده

نام و نام خانوادگی: لیلا بیژن

رشته تحصیلی: مهندس شیمی

گروه: مهندس شیمی

تاریخ دفاع:

استاد راهنما: جناب آقای دکتر حسین بهمنیار

### چکیده

در تحقیق ارائه شده، ضریب انتقال جرم حاصل از صعود قطرات منفرد و مجموعه ای از قطرات مورد توجه قرار می گیرد. آزمایشات در یک ستون پاشنده انجام می شوند و قطرات منفرد توسط نازل‌هایی با قطرهای مختلف و مجموعه قطرات بوسیله توزیع کننده‌هایی تولید می گردند. بوسیله تحقیقات اولیه شرایط انجام آزمایشات نظیر غلظت خوراک، نحوه نمونه گیری و انجام تیتراسیون مشخص شد و تجهیزات مناسب برای تولید قطرات و گرفتن نمونه و نیز وسیله ای جهت اندازه گیری قطر قطرات تهیه گردید. در بررسیهای انجام شده از سیستم تولوئن (فاز پراکنده) - اسید استیک (ماده منتقل شونده) - آب (فاز پیوسته) استفاده گردید و مقاومت در فاز پراکنده منظور شد. در این سری آزمایشات از مقاطع مختلفی از ستون نمونه گیری به عمل آمد و متغیرهای مختلفی نظیر درصد استخراج، قطر قطرات، زمان صعود قطرات و ماندگی اندازه گیری شد. با نمونه گیری در دهانه نازلها، درصد استخراج در مرحله تشکیل قطرات نیز بطور تجربی بدست آمد. با استفاده از مقادیر اندازه گیری شده، پروقیل درصد استخراج در ستون پاشنده بصورت منحنی‌هایی ارائه گردید و مقایسه بین نتایج حاصل انجام شد. همچنین بطور تجربی ضرائب انتقال جرم و عدد شروود در مقاطع مختلف برای همه نازلها و توزیع کننده‌ها بدست آمد و بصورت گرافهایی نمایش داده شد. نتایج حاصل با ۱۲ مدل مختلف پیشنهاد شده توسط محققین دیگر مقایسه گردید که بطور کیفی در نمودارهایی نشان داده شده است. از مطالعه منحنی

مشخص گردید کدام مدلها بیشترین تطابق را با نتایج تجربی دارند. همچنین از مطالعه دقیقتر یکی از این مدلها و پیشنهاد ضرائب تصحیح برای مقاطع مختلف سعی شد تا نتایج تجربی و تنوری به یکدیگر همگرا شوند. دقت این نتایج با خطایی کمتر از ۱۰ درصد می باشد. با استناد به این آزمایشات، بطور تحلیلی الگوی حاکم در درون قطرات پیش بینی گردید. همچنین تحقیقاتی بر روی شرایط بوجود آمده در فاز پیوسته نظیر چگونگی تغییرات غلظت و تأثیر آن بر انتقال جرم مورد بررسی قرار گرفت.