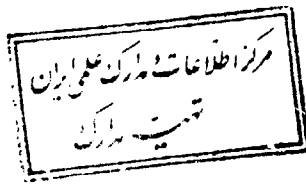


**بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ**

٣٢٨٠٢



۱۳۸۰ / ۱ / ۱۰

دانشگاه تهران

دانشکده فنی

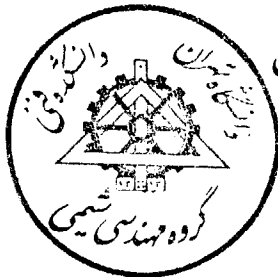
بررسی پارامترهای هیدرودینامیکی و انتقال جرم در ستون های  
استخراج کننده مایع-مایع از نوع ضربه ای سینی دار

نگارش: سید جابر صفدری

۱۰۰۴۳

اساتید راهنما:

- ۱- دکتر حسین بهمنیار (استاد راهنما از دانشگاه تهران دانشکده فنی)
- ۲- دکتر داریوش باستانی (استاد راهنما از دانشگاه صنعتی شریف)
- ۳- دکتر محمد قنادی مراغه (استاد راهنما از سازمان انرژی اتمی ایران)

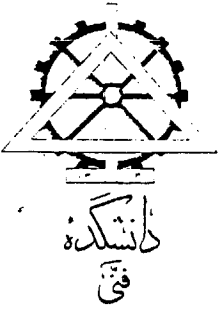


رساله برای دریافت درجه دکتری

در رشته مهندسی شیمی

بهمن ۱۳۷۹

۳۲۸۰۲



بسمه تعالی

### صور تجلسه دفاعیه از رساله دکتری

جلسه دفاعیه رساله آقای جابر صفدری در روز سه شنبه ۲۵/۱۱/۷۹ ساعت ۱۰ صبح در اتاق سمعی-بصری تحصیلات تکمیلی دانشکده فنی در حضور هیئت محترم داوران شرح زیر برگزار گردید:

داوران خارجی: سرکار خانم دکتر کاغذچی و جناب آقای دکتر سیف کردی  
داوران داخلی: جناب آقایان دکتر موسویان و دکتر رحمتی  
اساتید راهنما: جناب آقایان دکتر بهمنیار، دکتر باستانی و دکتر فنادی مراغه  
سرپرست تحصیلات تکمیلی گروه: دکتر بهروز میثمی

هیئت داوران در پایان جلسه دفاعیه و پس از شور و بررسی اصالت و صحت رساله و محصولات علمی آن امتیاز آن را بشرح زیر مشخص می نماید:

الف) قبول

با درجه عالی ( معادل ۲۰-۱۹ از ۲۰ )

با درجه بسیار خوب ( معادل ۱۸-۱۷ از ۲۰ )

با درجه خوب ( معادل ۱۶-۱۵ از ۲۰ )

با درجه قابل قبول ( معادل ۱۵-۱۴ از ۲۰ )

ب) مردود

قابل دفاع مجدد پس از اصلاحات

غیر قابل دفاع مجدد

دکتر سیف کردی  
دکتر بهمنیار  
دکتر کاغذچی  
دکتر باستانی  
دکتر موسویان  
دکتر فنادی مراغه  
دکتر رحمتی

دکتر میثمی

دانشگاه تهران - دانشکده فنی - صندوق پستی ۱۱۳۶۵/۴۵۶۳ - شماره ۶۴۶۱۰۲۴

### تقدیر و تشکر

برخود لازم می دانم که از زحمات بی دریغ و راهنمائیهای موثر اساتید محترم راهنما جناب آقای دکتر محمد قنادی معاونت محترم تولید سوخت هسته ای سازمان انرژی اتمی، جناب آقای دکتر حسین بهمنیار دانشیار دانشکده فنی دانشگاه تهران بخش مهندسی شیمی و جناب آقای دکتر داریوش باستانی رئیس دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی شریف در انجام رساله دکتری خویش، صمیمانه سپاسگزاری نمایم.

همچنین جا دارد که از کلیه پرسنل محترم آزمایشگاههای جابربن حیان بالاخص آقای مهندس محمد علی سائلی، مهندس امیر عباس ایزد پناه، مهندس ابراهیم نعمتی، مهندس محمد رضا رضوانیان زاده، مهندس مهدی پناهی، دکتر حسین ابوالقاسمی، مهندس یونس سینا، مهندس اصغر زنجانی پور، دکتر یمینی، دکتر خانجی، دکتر کامران نظری، دکتر محسن طبسی، دکتر حسین کاظمیان، دکتر رضا سیاره، مهندس محمد علی فیروز زارع، مهندس فرید اصغری زاده، خانم الهام صدق گویا، مهندس محمد رضا اسدی، مهندس محمد حسن ملاح، مهندس اصغر قربانپور، مهندس حسین کرانی، آقای محمد مهدی امیدی، مهندس عباس مسعودیان، آقای ایرج نواب پور، آقای عباس اکبری، آقای حسین کاظمی، آقای حسن زهره، آقای علی اکبر شاهسوند، مهندس نیما ابطحی، مهندس ویلیام سلطانیان، آقای کرم بهرامی، آقای بهزاد میانجی، آقای رضا قلی دستجردی، آقای ابراهیم انگوتی، آقای جواد دستان، آقای رضا صارمی، آقای فریدون سعادت، آقای محمد احمدی پیشکوهی و آقای یدالله سیدحسینی که بنحوی در انجام پروژه مربوطه با اینجانب همکاری داشته اند تشکر و قدردانی شود.

## خلاصه

ستون های ضربه ای یکی از مهمترین استخراج کننده های مایع - مایع است که به سبب بعضی مزایا بیشتر در صنایع هسته ای، شیمیایی و دارویی استفاده می شود. ستون های ضربه ای معمولاً به صورت ضربه ای سینی دار<sup>۱</sup> یا ضربه ای پر شده<sup>۲</sup> هستند. در این رساله به کمک یک استخراج کننده نیمه صنعتی از نوع ضربه ای سینی دار در سارمان انرژی اتمی و با استفاده از سیستم های آب / استون / تولوئن (سیستمی با کشش بین فازی بالا) و آب / استون / بوتیل استات (سیستمی با کشش بین فازی متوسط) آزمایشات متعددی به منظور بررسی موارد ذیل انجام شده است:

### ۱- بررسی اثر پارامترهای عملیاتی روی موجودی فاز پراکنده

نتایج حاصل از این بررسی نشان می دهد که افزایش حداقل یکی از پارامترهای عملیاتی سبب افزایش موجودی فاز پراکنده می شود. این بررسی ها در غیاب انتقال جرم صورت گرفته است.

### ۲- بررسی اثر پارامترهای عملیاتی روی افت فشار و طغیان

نتایج حاصل از این بررسی نشان می دهد که افزایش حداقل یکی از پارامترهای عملیاتی سبب افزایش افت فشار و طغیان زودرس می شود و برای کنترل نقطه طغیان ستون در

ش

1- Pulsed Plate Columns

2- Pulsed Packed Columns

صورت داشتن محدودیت برای دبی فازها می توان از کاهش شدت ضربه استفاده نمود. این بررسی ها در غیاب انتقال جرم صورت گرفته است.

۳- بررسی اثر پارامترهای عملیاتی روی ضرایب کلی حجمی انتقال جرم

نتایج حاصل از این بررسی نشان می دهد که افزایش دبی فاز Extract، شدت ضربه سبب افزایش ضرایب کلی حجمی بر مبنای فاز پراکنده و پیوسته می شود و افزایش دبی فاز Raffinate سبب کاهش آنها می شود.

۴- بررسی اثر پارامترهای عملیاتی روی راندمان جداسازی

نتایج حاصل از این بررسی نشان می دهد که افزایش نسبت دبی فاز Extract به دبی فاز Raffinate و شدت ضربه سبب افزایش راندمان جداسازی می شود و دلیل این افزایش میتواند ناشی از افزایش مساحت ویژه بین دو فاز باشد.

۵- بررسی اثر چرخش های درونی قطرات در محاسبه ارتفاع ستون های ضربه ای

نتایج بدست آمده از بررسی ها نشان میدهد که ارتفاع محاسبه شده با استفاده از معادله نیومن (در این معادله از چرخش های درونی قطرات صرف نظر شده است) بزرگتر از ارتفاع واقعی، و با استفاده از معادله هندلس و بارون (در این معادله چرخش های درونی قطرات به صورت توربولنت در نظر گرفته می شوند) کمتر از مقدار واقعی است و پیشنهاد می شود

برای محاسبه ارتفاع ستون از معادله  $(h = ah_1^b + ch_2^d)$  استفاده شود. در این رابطه  $h_1$  و  $h_2$

بترتیب ارتفاع های محاسبه شده با استفاده از معادله نیومن و هندلس بارون می باشند و  $a$ ،  $b$

،  $c$  و  $d$  ثابت های تجربی معادله هستند.

## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: استخراج کننده های مایع - مایع .....	۱
تقسیم بندی استخراج کننده های مایع - مایع .....	۲
۱- برج های بدون همزن .....	۷
۱-۱) برج پاششی .....	۷
۲-۱) برج آکنده .....	۸
۳-۱) برج بافل دار .....	۸
۴-۱) برج سینی دار (مشبک) .....	۸
۲- برج های دارای همزن چرخشی .....	۹
۱-۲) تماس دهنده های دیسکی .....	۹
۲-۲) تماس دهنده Mixo - Lightnin CM .....	۱۰
۳-۲) تماس دهنده شیبیل .....	۱۰
۴-۲) برج های حلقوی چرخنده .....	۱۰
۳- ستون های ضربه ای .....	۱۱
۴- استخراج کننده های نوع افقی .....	۱۱
۱-۴) میکسر - ستلرها .....	۱۲



- ۱۲-۴-۱-۱) واحدهای میکسر- ستلر افقی ..... ۱۲
- ۱۳-۴-۱-۲) واحدهای میکسر- ستلر عمودی ..... ۱۳
- ۱۵-۴-۲) تماس دهنده های گریز از مرکز ..... ۱۵
- ۱۶-۴-۳) تماس دهنده دیسکی افقی ..... ۱۶
- ۱۶-۴-۴) تماس دهنده سطلی باران زا ..... ۱۶
- ۱۶-۵) انتخاب دستگاه استخراج ..... ۱۶
- ۱۷-۶-جایگاه استخراج مایع-مایع در صنایع هسته ای ..... ۱۷
- ۱۸-۶-۱) چرخه های سوخت ..... ۱۸
- ۱۹-۶-۱-۱) چرخه سوخت راکتورهای با سوخت اکسید اورانیوم ۲۳۵ ..... ۱۹
- ۱۹-۶-۱-۲) چرخه سوخت راکتورهای با سوخت اکسید پلوتونیوم ۲۳۹ ..... ۱۹
- ۲۳-۶-۲) کاربرد استخراج کننده های ضربه ای در صنایع هسته ای ..... ۲۳
- ۲۵- فصل دوم: پارامترهای هیدرودینامیکی و انتقال جرم در ستون های ضربه ای ..... ۲۵
- ۲۷-۱- استخراج کننده های مایع-مایع ضربه ای ..... ۲۷
- ۲۸-۲- مشخصه های عمومی در استخراج کننده های سینی دار ضربه ای ..... ۲۸
- ۳۲-۳- رژیم های کاری در استخراج کننده های ضربه ای سینی دار ..... ۳۲
- ۴- پارامترهای هیدرودینامیکی و انتقال جرم در استخراج کننده های سینی دار ضربه ای

۳۵	..... (۱-۴) اندازه قطره
۴۴	..... (۲-۴) موجودی فازپراکنده
۴۶	..... (۳-۴) سرعت قطره
۴۷	..... (۴-۴) طغیان
۴۸	..... (۵-۴) مشخصات سیستم دو فازی
۴۸	..... (۶-۴) ضرایب انتقال جرم
۵۴	..... فصل سوم: آزمایشات
۵۶	..... ۱- شرح دستگاه
۵۶	..... (۱-۱) شرح استخراج کننده سینی دار ضربه ای
۵۹	..... (۲-۱) تغییرات انجام شده روی استخراج کننده ضربه ای
۵۹	..... ۲- اندازه گیری موجودی فاز پراکنده در ستون های ضربه ای
۵۹	..... (۱-۲) اندازه گیری موجودی فاز پراکنده به روش (Shut Down)
۶۰	..... (۲-۲) اندازه گیری موجودی فاز پراکنده به روش افت فشار
۶۱	..... (۳-۲) روش کار و مواد مصرفی
۶۲	..... ۳- روش اندازه گیری قطر قطره
۶۲	..... (۱-۳) روش عکسبرداری

- ۲-۳) روش مکش با ردیاب برقی ..... ۶۷
- ۴- روش اندازه گیری ضریب کلی انتقال جرم ..... ۶۹
- ۴-۱) ضریب کلی انتقال جرم برای فاز Raffinate ..... ۶۹
- ۴-۲) ضریب کلی انتقال جرم برای فاز Extract ..... ۷۰
- ۴-۳) مواد مصرفی و روش کار ..... ۷۱
- فصل چهارم: نتایج هیدرودینامیکی ..... ۷۲
- ۱- بررسی اثر پارامترهای عملیاتی روی افت فشار و طغیان در ستون های استخراج کننده ضربه ای ..... ۷۴
- ۱-۱) روش اندازه گیری افت فشار در ستون های ضربه ای ..... ۷۵
- ۱-۲) مشخصات ستون ضربه ای و سیستم های استفاده شده ..... ۷۶
- ۱-۳) روش کار ..... ۷۶
- ۱-۴) نتایج ..... ۷۷
- ۱-۵) بحث و نتیجه گیری ..... ۷۸
- ۲- بررسی اثر پارامترهای عملیاتی روی موجودی فاز پراکنده در ستون های استخراج کننده ضربه ای ..... ۸۰
- ۱-۲) مشخصات ستون ضربه ای و سیستم های استفاده شده ..... ۸۰

۲-۲) روش اندازه گیری موجودی فازپراکنده .....	۸۰
۳-۲) روش کار .....	۸۱
۴-۲) نتایج .....	۸۱
۵-۲) بحث و نتیجه گیری .....	۸۵
فصل پنجم: نتایج انتقال جرم .....	۸۶
۱- بررسی اثر پارامترهای عملیاتی روی ضرایب انتقال جرم و راندمان جداسازی .....	۸۸
۱-۱) روش اندازه گیری ضرایب انتقال جرم در ستون های ضربه ای .....	۸۹
۲-۱) مشخصات ستون ضربه ای و سیستم های استفاده شده .....	۸۹
۳-۱) روش کار .....	۸۹
۴-۱) نتایج .....	۹۰
۱-۴-۱) نتایج بررسی اثر پارامترهای عملیاتی روی ضرایب کلی حجمی انتقال جرم .....	۹۰
۲-۴-۱) نتایج بررسی اثر پارامترهای عملیاتی روی راندمان جداسازی .....	۹۹
۳-۴-۱) بحث و نتیجه گیری .....	۱۰۲
۲- بررسی اثر چرخشهای درونی قطرات در طراحی ستون های ضربه ای .....	۱۰۴
۱-۲) مشخصات ستون ضربه ای و سیستم های استفاده شده .....	۱۰۴
۲-۲) روش کار .....	۱۰۵

۱۰۷	نتایج (۳-۲) .....
۱۰۷	نتایج بررسی اثر چرخشهای درونی قطرات در طراحی ستون های ضربه ای برای سیستم آب / استون / تولوئن .....
۱۱۳	نتایج بررسی اثر چرخشهای درونی قطرات در طراحی ستون های ضربه ای برای سیستم آب / استون / بوتیل استات .....
۱۱۸	بحث و نتیجه گیری (۳-۳-۲) .....
۱۲۰	بررسی استفاده از ضریب نفوذ موثر به جای ضریب نفوذ ملکولی .....
۱۲۸	فصل ششم: بحث و تحلیل نتایج .....
۱۲۹	ضمائم .....
۱۳۷	۱- اطلاعات تعادلی برای سیستم آب / استون / تولوئن .....
۱۳۸	۲- اطلاعات تعادلی برای سیستم آب / استون / نرمال بوتیل استات .....
۱۴۰	۳- خواص فیزیکی فازها برای سیستم آب / استون / تولوئن .....
۱۴۴	۴- خواص فیزیکی فازها برای سیستم آب / استون / نرمال بوتیل استات .....
۱۴۸	۵- ضریب نفوذ استون در دو فاز برای سیستم آب / استون / تولوئن .....
۱۴۹	۶- ضریب نفوذ استون در دو فاز برای سیستم آب / استون / نرمال بوتیل استات .....
۱۵۰	مراجع .....

## فهرست جداول

### صفحه

### جدول

- جدول ۱-۱) طبقه بندی اولیه استخراج کننده های مایع-مایع در صنعت توسط لادها... ۵
- جدول ۱-۲) طبقه بندی ثانویه استخراج کننده های مایع-مایع در صنعت توسط لادها... ۶
- جدول ۱-۳) طبقه بندی استخراج کننده های مایع-مایع در صنعت توسط اسلیتر..... ۷
- جدول ۲-۱) مشخصات هندسی سینی های مشبک ..... ۳۰
- جدول ۲-۲) معادلات پیشنهادی برای تعیین قطر متوسط قطرات در ستون های استخراج کننده ضربه ای سینی دار..... ۳۸
- جدول ۲-۳) رابطه کومار و هارتلند برای تعیین قطر متوسط قطرات در ستون های استخراج کننده ضربه ای سینی دار..... ۴۱
- جدول ۲-۴) معادلات پیشنهادی برای تعیین موجودی فاز پراکنده در ستون های استخراج کننده ضربه ای سینی دار..... ۴۵
- جدول ۳-۱) مشخصات ستون ضربه ای خریداری شده ..... ۵۸
- جدول ۳-۲) مشخصات بخش فعال ستون ضربه ای ساخته شده ..... ۵۹
- جدول ۴-۱) مشخصات ستون ضربه ای استفاده شده ..... ۷۶
- جدول ۵-۱) شرایط عملیاتی تعدادی از آزمایشات برای سیستم آب/ استون/ تولوئن ..... ۱۰۶

جدول (۲-۵) شرایط عملیاتی تعدادی از آزمایشات برای سیستم شیمیایی آب / استون / بوتیل

استات ..... ۱۰۶

جدول (۳-۵) مقادیر عددی ثابت های معادله (۶-۵) ..... ۱۱۹

جدول (۴-۵) مقادیر ضریب نفوذ موثر استون برای سیستم تولوئن / استون / آب ..... ۱۲۱

جدول (۵-۵) مقادیر ضریب نفوذ موثر استون برای سیستم بوتیل استات / استون / آب ..... ۱۲۲