

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

دانشگاه علوم و فنون خازندران

پایان نامه برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی شیمی

عنوان

طراحی ستون استخراج جابج - جابج کننده

و مقایسه مدل کامپیوتری با نتایج تجربی

استاد راهنما

آقای دکتر باستانی

تهیه کننده

مهرداد خدایاری

ارشد ۱۳۷۸

۳۰۵۱۶

چکیده :

در این پروژه نحوه طراحی ستونهای استخراج مایع - مایع آکنده ارائه شده است . برای پیش بینی انتقال جرم داخل برج ، فاز پیوسته توسط مدل اختلاط محوری مدل شده و قطر قطرات در فاز پراکنده ، یکسان در نظر گرفته میشود . برای محاسبه سرعت خزشی قطرات از مدل النی استفاده شده و سپس با استفاده از روابط ارائه شده توسط کلی و تریبال ، سرعت حد قطرات محاسبه خواهد شد. ضرایب انتقال جرم داخل قطره به کمک مدل ارائه شده توسط هندلوس و بارون بدست می آیند. در ادامه یک نرم افزار کامپیوتری براساس مدلهای ادغام شده هیدرو دینامیک و انتقال جرم برای طراحی ستونهای استخراج مایع - مایع آکنده ارائه شده است. در این نرم افزار طول و قطر برج براساس شرایط عملیاتی محاسبه خواهند شد. نهایتاً پیش بینی مدل با نتایج تجربی مورد مقایسه قرار گرفته است.

8172

Abstract:

This project deals with design of Liquid - Liquid Packed Extraction Columns. For prediction of mass transfer in column, continuous phase is modeled using Axial Dispersion model and the diameter of droplets is assumed to be equal. Olney's model is used for calculation of droplet's slip velocity and then relations offered by Klee and Treybal are used to calculate droplet's terminal velocity. Mass transfer coefficients in droplets is obtained using Handlos- Baron model.

Going on the project, a computer software is presented for Liquid - Liquid Packed Etraction design based on mentioned hydrodynamic & mass transfer models. This software calculates the height and diameter of column vs operating conditions. Finally, the prediction of model is compared with experimental results.

فهرست رئوس مطالب

فصل اول: کلیات

فصل دوم: هیدرودینامیک

- ۱-۲- مانده در ستونهای استخراج مایع مایع آکنده
- ۱-۱-۲- طبقه بندی مانده در ستونهای آکنده
- ۲-۱-۲- اندازه گیری مانده
- ۳-۱-۲- سرعت مشخصه و مانده قبل از طغیان
- ۴-۱-۲- مانده در نقطه طغیان
- ۵-۱-۲- تاثیر جهت انتقال ماده حل شونده بر مانده
- ۶-۱-۲- اثر انتقال ماده حل شونده بر اندازه قطره
- ۷-۱-۲- تاثیر توزیع اندازه قطرات
- ۲-۲- سرعتهای طغیان در ستونهای آکنده
- ۱-۲-۲- شدتهای طغیان تحت شرایط انتقال ماده حل شونده
- ۳-۲- مدل بارنی و میزراهی

فصل سوم: انتقال جرم

- ۱-۳- تئوری انتقال جرم
- ۱-۱-۳- شار موضعی انتقال جرم
- ۲-۳- مدلسازی رفتار فاز
- ۱-۲-۳- معادلات مدل جریان پلاگ
- ۲-۲-۳- معادلات مدل جریان اختلاط کامل
- ۱-۲-۲-۳- پارامترهای مدل
- ۳-۲-۳- مدل جریان غیر ایده آل
- ۱-۳-۲-۳- جریان پلاگ با اختلاط محوری
- ۱-۱-۳-۲-۳- پارامترهای مدل پراکندگی
- ۲-۱-۳-۲-۳- اندازه گیری ضرایب پراکندگی محوری

۳-۳- انتقال یک جهت و متقابل با سیستم مخلوط شدن جزئی دوتائی

۳-۴- مدل افزایش مقیاس برای جریان قطره ای فاز پیوسته

۳-۴-۱- تشریح داده های انتقال جرم

۳-۴-۱-۱- اندازه قطره در ستونهای آکنده

۳-۴-۱-۲- سطح تماس برای انتقال جرم

۳-۴-۱-۳- پیش بینی شدت انتقال جرم

۳-۴-۲- افزایش مقیاس قطر برج

۳-۴-۳- هیدرودینامیک و انتقال جرم قبل از اندازه بحرانی آکنه

۳-۵- اختلاط محوری در ستونهای آکنده

فصل چهارم: دینامیک قطره در سیستمهای مایع مایع

۴-۱- مطالعه سیستمهای قطره منفرد

۴-۱-۱- تشکیل قطره در نازل

۴-۱-۲- شکل قطرات تشکیل شده در نازل

۴-۱-۳- شکلهای قطره متحرک

۴-۱-۴- نوسانات قطره و سیرکولاسیون داخلی

۴-۱-۵- اثرات بین سطحی در مرز قطره - مایع

۴-۱-۶- مکانیک جریان سیال در اطراف قطره متحرک

۴-۱-۷- سرعت قطرات مایع

۴-۱-۸- دینامیک قطره در یک فاز مداوم با ویسکوزیته کم

۴-۱-۹- سرعت قطرات در یک مایع با ویسکوزیته زیاد

۴-۱-۱۰- تاثیر عوامل فعال کننده سطحی بر قطرات متحرک

۴-۲- مطالعه قطرات مرکب

۴-۲-۱- مطالعه اندازه قطره در برجهای پر شده

۴-۳- عکس العمل متقابل قطره ناشی از اثرات جسم حل شونده

فصل پنجم: مدل سازی ستون استخراج مایع مایع آکنده و مقایسه مدل با

(چهار)

نتایج تجربی

- ۵-۱-۱- هیدرودینامیک
- ۵-۱-۱- توزیع اندازه قطرات
- ۵-۱-۲- توزیع سرعت قطره
- ۵-۱-۳- مدل النی
- ۵-۲- انتقال جرم
- ۵-۲-۱- شرح محاسبات و فلوچارت برنامه کامپیوتری
- ۵-۲-۱-۱- محاسبه ماند در نقطه طغیان
- ۵-۲-۱-۲- محاسبه سرعت حد و سرعت خزشی
- ۵-۲-۱-۳- محاسبه قطر ستون
- ۵-۲-۱-۴- محاسبه ضرایب انتقال جرم
- ۵-۲-۱-۵- محاسبه غلظت ماده منتقل شونده در هر ارتفاع از ستون
- ۵-۳- مقایسه مدل با نتایج تجربی
- ۵-۳-۱- ماند در نقطه طغیان
- ۵-۳-۲- تاثیر جهت انتقال ماده حل شونده بر ماند
- ۵-۳-۳- تاثیر قطر ستون بر انتقال جرم
- ۵-۳-۴- انتقال جرم در سیستمهای مخلوط شدن جزئی

نتیجه گیری

فهرست منابع و مؤاخذ

ضمائم

- ۱- مشخصات ستونهای طراحی شده توسط نرم افزار کامپیوتری که مورد مقایسه با ستونهای تجربی قرار گرفته اند.
- ۲- فهرست علائم و اختصارات
- ۳- برنامه کامپیوتری
- ۴- واژه نامه

(پنج)

فهرست شکلهای

- ۲-۱: نمودار افت فشار برای سیستم بنزن - آب با حلقه های راشیگ ۱ سانتیمتری.
- ۲-۲: نمودار تجربی ماند بر حسب سرعت فاز پراکنده در هنگام طغیان و قبل از آن.
- ۲-۳: رابطه هو - کینتنر برای سرعت حد قطرات مایع در محیط نامحدود مایع.
- ۲-۴: روابطی برای ماند در زمان طغیان در ستونهای آکنده.
- ۲-۵: نمودار داده های ماند که تاثیر انتقال جرم را بر ماند نشان میدهد.
- ۲-۶: روابط تعمیم یافته برای سرعتهای محدود کننده در ستونهای آکنده.
- ۳-۱: تاثیر اندازه آکنده بر عملکرد استخراج (سیستم تولوئن - دی اتیل آمین - آب).
- ۳-۲: تاثیر قطر برج بر عملکرد استخراج (سیستم تولوئن - دی اتیل آمین - آب).
- ۳-۳: دیدگاه عمومی از عملکرد انتقال جرم موضعی.
- ۳-۴: منحنی تعادل و ضرایب انتقال جرم.
- ۳-۵: مدل جریان پلاگ.
- ۳-۶: مدل جریان اختلاط کامل.
- ۳-۷: انتقال جرم بین دو فاز در ستون استخراج مایع - مایع.
- ۳-۸: شار نفوذادی در جهت محور ستون در مدل اختلاط محوری.
- ۳-۹: تاثیر اختلاط معکوس بر راندمان ستون.
- ۳-۱۰: تاثیر شدت آشفتگی سیستم بر راندمان استخراج.
- ۳-۱۱: پروفایلهای واقعی غلظت در هر فاز.
- ۳-۱۲: تاثیر اختلاط محوری بر نیروی محرکه.
- ۳-۱۳: تزریق مواد ردیاب برای اندازه گیری ضرایب اختلاط محوری.

- ۳-۱۴: دیاگرام غلظت در مختصات لگاریتمی.
- ۳-۱۵: روابط تعمیم یافته بر اساس $ka.a$ تحت شرایط انتقال با نفوذ متقابل.
- ۳-۱۶: روابط تعمیم یافته بر اساس $kc.a$ تحت شرایط انتقال با نفوذ متقابل.
- ۳-۱۷: تصحیح داده های ستون آکنده برای سیستم کروژین - استن - آب.
- ۳-۱۸: روابط تعمیم یافته برای انتقال جرم در ستونهای آکنده.
- ۳-۱۹: روابط تعمیم یافته برای انتقال جرم در ستونهای آکنده.
- ۳-۲۰: اختلاط محوری در فاز پراکنده.
- ۳-۲۱: رابطه عدد پکلت فاز پیوسته با متغیرهای جریان.
- ۴-۱: ارتباط شکل قطره با نوع نازل.
- ۴-۲: سرعت حد قطره بر حسب قطر تعادلی قطره.
- ۴-۳: انحراف قطره از حالت طبیعی.
- ۴-۴: عدد رینولدز بر حسب $2\gamma/r$
- ۴-۵: شکلهای قطرات با اندازه های مختلف متحرک در محیطهای با ویسکوزیته کم و ویسکوزیته زیاد.
- ۴-۶: منحنی ضریب کشش بر حسب عدد رینولدز برای مایعات آلی در حال سقوط در آب.
- ۴-۷: نمودار روابط تعمیم یافته برای هر دو ناحیه ۱ و ۲.
- ۴-۸: روابط اعداد رینولدز ماکزیمم.
- ۴-۹: ارتباط قطر ماکزیمم قطره با گروه خواص فیزیکی.
- ۴-۱۰: ارتباط سرعت حد ماکزیمم با گروه خواص فیزیکی.
- ۵-۱: نمایش المانی از ستون استخراج، بمنظور نوشتن موازنه جرم

۵-۲: فلوچارت برنامه کامپیوتری

۵-۳: مقایسه نتایج تجربی با مدل در مورد ماند در نقطه طغیان.

۵-۴: مقایسه نتایج تجربی با مدل، در مورد تاثیر جهت انتقال ماده حل شونده بر ماند.

۵-۵: مقایسه نتایج تجربی با مدل، در مورد تاثیر قطر ستون بر انتقال جرم.

۵-۶: مقایسه نتایج تجربی با مدل، در مورد انتقال یک جهت و متقابل، با سیستم اختلاط

جزئی دوتائی

فهرست جداول

- ۱-۱: مقادیر ثوابت در رابطه (۱-۱۶).
- ۱-۲: خلاصه روابط موجود برای تخمین ماند.
- ۱-۳: مقایسه داده های اندازه قطرات تحت شرایط انتقال حل شونده و عدم انتقال حل شونده.
- ۱-۴: خلاصه روابط موجود برای تخمین سرعت های طغیان در ستون های آکنده.
- ۱-۵: مقادیر ثوابت رابطه (۱-۳۲).
- ۲-۱: خلاصه سیستم های مهمی که در ستون های آکنده مورد مطالعه قرار گرفته اند.
- ۲-۲: مقادیر ثابتها در روابط (۲-۶۳) و (۲-۶۴) که توسط اسمیت و بکمن گزارش شده اند.
- ۴-۱: مشخصات ستون های طراحی شده توسط نرم افزار کامپیوتری که مورد مقایسه با نتایج تجربی قرار گرفته اند.
- ۴-۲: مشخصات ستون های طراحی شده توسط نرم افزار کامپیوتری که مورد مقایسه با نتایج تجربی قرار گرفته اند.
- ۴-۳: مشخصات ستون های طراحی شده توسط نرم افزار کامپیوتری که مورد مقایسه با نتایج تجربی قرار گرفته اند.
- ۴-۴: مشخصات ستون های طراحی شده توسط نرم افزار کامپیوتری که مورد مقایسه با نتایج تجربی قرار گرفته اند.

فصل اول :

کلیا

استخراج مایع - مایع ، بعنوان یک فرآیند جداسازی قبل از فرآیندهای جداسازی دیگر بکار میرود که دلیل انتخاب آن میتواند گرانقیمت بودن هزینه عملیاتی دیگر فرآیندها و یا عدم وجود یک فرآیند جانشین برای استخراج باشد. پس از اینکه استخراج مایع - مایع بعنوان فرآیند جداسازی انتخاب شد، مشکل اصلی انتخاب حلال خواهد بود. اینکار فرایندی طولانی و پرهزینه است که ممکن است نیازمند آزمایشهای زیادی باشد. خواص حلال مناسب به دو بخش تقسیم میشود:

۱- خواصی که برای جداسازی لازم و ضروری اند.

۲- خواصی که مطلوب هستند و فرآیند جداسازی را بهبود بخشیده و یا آنرا بصرفه نمایند.

ابتدا خواص ضروری حلال را بررسی میکنیم:

الف) اینکه حلال دلخواه برای مواد استخراج شونده مورد نظر در مقایسه با مواد دیگر موجود در مخلوط مایع، قابل انتخاب باشد.

ب) قابلیت بازیافت حلال (solvent) از ماده حل شونده (solute) بعد از عمل استخراج.

ج) دانسیته حلال بایستی مشخصا با دانسیته رفینیت (raffinate) تفاوت داشته باشد تا بتوان پس از تماس، آنها را از یکدیگر جدا نمود.

د) پایداری حلال، وقتی با فاز رفینیت در تماس است.

خواصی که مطلوبند ولی کاملا برای جداسازی ضروری نیستند عبارتند از:

الف) توزیع مطلوب ماده حل شونده بین حلال و فاز رفینیت

ب) حلالیت زیاد ماده حل شونده در حلال

ج) حلالیت کم حلال در فاز رفینیت

د) ویسکوزیته کم (برای بهبود شدت انتقال جرم)

ه) خورندگی کم

و) فشار بخار کم (برای کاهش پرت محصول)

ز) نقطه انجماد پائین

ح) شعله وری کم

ط) سمی بودن جزئی

ی) پائین بودن هزینه

وقتی حلال انتخاب شد، نسبت جریان حلال به فاز رفینیت باید مشخص شود. این امر نیازمند یک عمل **ابهینه** سازی است که مشخص میکند تعادل صحیح در اثر افزایش جریان حلال که باعث

۱- قطورتر شدن ستون استخراج و

۲- کاهش ارتفاع ستون استخراج و

۳- افزایش هزینه بازیافت ماده حل شونده در غلظتهای کم، میشود در کجا

بدست خواهد آمد.

بعنوان یک اصل، **دبی** حلال باید طوری انتخاب شود که فاکتور

استخراج بین ۵/۰ تا ۸/۰ باشد. هدف اینستکه با طراحی برای نسبتهای کاملاً زیاد

جریان حلال که منجر به هزینه های زیاد بازیافت ماده حل شونده میشود، ستون

استخراج مناسب بدست آید.

استخراج حلال در ستونهای پیوسته، یکی از مهمترین روشهای جداسازی در

مهندسی شیمی است. ستونهای آکنده معمولاً در اکثر عملیاتی جداسازی

نظیر تقطیر، جذب گاز، استخراج مایع - مایع و بکار برده میشوند. ستونهای

استخراج مایع - مایع آکنده دارای کاربردهای مختلفی در صنعت هستند، مانند:

- عملیاتی خالص سازی و بازیافت، نظیر عملیات بازیافت فنل

- استخراج اسیدها، مانند استخراج اسید استیک

- مبدل‌های حرارتی: یک مایع سنگین و گرم بصورت قطره از بالا وارد ستون شده و در تماس با جریان مایع سبکتر و سردتر دوم، خنک میشود (که البته باید دو مایع در یکدیگر غیرقابل حل باشند)، نظیر آب و مشتقات نفتی. از آنجا که قطعات آکنه در ستون، باعث افزایش سرعت موضعی فاز پیوسته و نیز کاهش اختلاط معکوس در این ستونها شده و در عین حال توزیع فاز پراکنده و نیز ماند فاز پراکنده را با شکستن قطرات بزرگ و کنترل حرکت آنها بهبود بخشیده و سطح تماس وسیعتری را برای انتقال جرم مهیا میکنند، لذا استفاده از آنها حائز اهمیت بسیار است. بنابراین شبیه سازی نحوه رفتار این ستونها بمنظور پیش بینی چگونگی عملکردشان ارزشمند خواهد بود.

در فصل دوم این پروژه به هیدرودینامیک ستونهای استخراج مایع - مایع آکنده پرداخته شده و روابط تئوریک موجود برای آنها مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین تلاش شده تا در حد امکان روابط تجربی که توسط محققین برای ستونهای مختلف آکنده بدست آورده شده، ارائه گردد. همچنین فهرست جامعی از منابع مورد استفاده در تحقیقات انجام شده برای بدست آوردن این روابط تجربی ارائه گردیده است.

در فصل سوم، انتقال جرم در ستونهای مایع - مایع آکنده مورد بررسی قرار گرفته و ضمن ارائه روابط تئوریک موجود برای این ستونها، روابط تجربی مربوطه و منابع آنها گردآوری شده است که خود میتواند راهگشای تحقیقات بیشتر بمنظور ارائه روابط تجربی برای ستونهای مورد تحقیق باشد. در ادامه این فصل، مدلسازی یک ستون استخراج آکنده که هر دو فاز پیوسته و پراکنده آن دارای اختلاط محوری هستند انجام شده و نحوه حصول ضرایب اختلاط محوری برای هر دو حالت پایدار و ناپایدار نیز ذکر گردیده است.

نظر باینکه فاز پراکنده معمولاً بصورت قطره وارد این ستونها میشود، در فصل