٣٠٣٨١

۱۳۷۹ /۵/ ۱۱

دانشگاه علوم و فنون مازندران

دانشکده مهندسی شیمی

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

پایان‌نامه اخذ درجه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی شیمی

موضوع:

برآورد ضرایب انتقال جرم و اختلاط محوری در برجهای استخراج مایع- مایع

mass transfer and axial dispersion coefficients estimation in liquid- liquid extraction columns

-8137

استاد راهنما:

دکتر داریوش باستانی

تهیه کننده:

غلامحسین پرمون

زمستان ۱۳۷۸

۳۰۳۸۱

تقدیر و تشکر:

در اینجا وظیفه خود می‌دانم از زحمات بی‌دریغ و راهنمایی‌های بسیار ارزندهٔ استاد عالیقدر جناب آقای دکتر داریوش باستانی کمال سپاسگزاری را بنمایم.

امید است توانسته باشم اندکی از بزرگواریهای ایشان را جبران کرده باشم و در آینده نیز از الطاف علمی و عملی ایشان بی‌نهایت استفاده را ببرم.

غلامحسین پرمون

چکیده

در این پروژه با استفاده از اطلاعات به دست آمده در دو برج (Rotating Disk Contactor) RDC با قطرهای ۷/۶۲ سانتی‌متر (برج کوچک) و ۲۱/۶۹ سانتی‌متر (برج بزرگ) وطولهای ۷۳/۶ سانتی متر و ۱۵۰/۵ سانتی‌متر، با بکارگیری سیستم‌های تولوئن، استن، آب (با تنش بین فازی زیاد) بوتانول - سوکسینیک اسید - آب، ضرائب اختلاط محوری Ec و انتقال جرم Kc در فاز پیوسته تخمین زده شدند.

اطلاعات شامل موجودی فاز پراکنده، توزیع اندازه قطرات، غلظت‌های ورودی و خروجی ماده منتقل شونده در دو فاز، شدت جریان دو فاز و توزیع غلظت ماده منتقل شونده در طول برج می‌باشند.

برای محاسبه ضرائب انتقال جرم از مدل ارائه شده توسط Handlos- Baron استفاده شده است و سرعت خزشی قطرات از مدل پیشنهاد شده توسط Olney بدست آمدند. سرعت حد قطرات نیز توسط روابط بدست آمده توسط Klee - Treybal محاسبه شدند. جهت اعمال تاثیر قطر قطرات بر انتقال جرم داخل مدل Forward Mixing مد نظر قرار گرفت.

در این پروژه مقادیر Kc و Ec بهینه شدند بهترین روابطی که برای پیش بینی آنها لازم است در محدوده شرایط آزمایش بدست آمدند و با مقادیر پیش بینی شده توسط سایر محققین مقایسه شدند. نتایج نشان می‌دهند که Ec و Kc با افزایش سرعت دیسک افزایش می‌یابند.

فهرست مطالب

عنوان — صفحه

● فصل اول- کلیات ۱

● فصل دوم- برجهای استخراج و مروری بر مقالات ۸

۲-۱ برجهای استخراج ۹

۲-۲ انتخاب فاز پراکنده ۱۳

۲-۳ کاربرد برج RDC در صنعت ۱۳

۲-۴ محدودیتهای کاربرد برج RDC ۱۵

۲-۵ سرعت حد قطره منفرد ۱۶

۲-۶ انتقال جرم ۱۸

۲-۷ مدلهای انتقال جرم برج استخراج ۲۰

● فصل سوم - تئوری ۲۲

۳-۱ تئوری انتقال جرم ۲۳

۳-۲ سرعت لغزش ۲۸

۳-۳ سرعت لغزش قطره ۲۹

۳-۴ محاسبهٔ سرعت لغزش قطره ۳۰

مدل Olney ۳۰

۳-۵ توزیع اندازه قطرات ۳۰

۳-۶ ضریب محدودیت ۳۲

۳-۷ پیشگویی موجودی فاز پراکنده Ø ۳۳

۳-۸ ضریب انتقال جرم قطره ۳۴

مدل قطره چرخنده متلاطم ۳۴

عنوان	صفحه

۹-۳ حل‌های معادلات مدل برج ۳۷

۱۰-۳ روابط مدل ۳۸

● فصل چهارم - نتایج آزمایشگاهی و نتایج تئوری ۴۰

۱-۴ اطلاعات آزمایشگاهی ۴۱

۲-۴ خواص فیزیکی ۴۱

۳-۴ شرایط عملیاتی ۴۱

۴-۴ ضریب محدودیت برج ۴۸

۵-۴ اندازه قطره و توزیع اندازه قطره ۵۵

۶-۴ انتقال جرم ۵۷

پیشگویی مدل Handlos -Baron ۵۸

۷-۴ تحلیل آماری ۷۷

۸-۴ مقایسه نتایج با نتایج قبلی ۸۴

۱-۸-۴ مقایسه Ec با روابط دیگر ۸۴

۲-۸-۴ مقایسه Kc با روابط سایر محققین ۸۵

● فصل پنجم - خلاصه و نتیجه‌گیری ۱۲۳

۱-۵ تعداد واحدهای انتقال ۱۲۴

۲-۵ پارامترهای انتقال جرم ۱۲۴

نشانه‌ها ۱۲۷

مراجع ۱۳۰

فصل اول

کلیات

فرایند استخراج مایع - مایع[1] یا استخراج توسط حلال به منظور جداسازی اجزای حل شده در مایع توسط حلال غیرقابل امتزاج در محلول مذکور صورت می‌پذیرد. بدین ترتیب اجزای محلول در مایع، نخست به فاز دوم وارد شده و در اثر تداوم تماس بین دو فاز، توزیع مناسبی از مادهٔ مورد انتقال صورت می‌گیرد و در نهایت در سلسله عملیات بعد از استخراج، جداسازی مادهٔ مورد نظر از حلال، بسته به میزان اختلاف نقاط جوش آن دو توسط فرایندی چون تبخیر ساده یا تقطیر انجام می‌گیرد.

روشهای استخراج در مقایسه با میزان انرژی مصرفی در فرایندهای تقطیر و تبخیر بسیار ارزانتر می‌باشد و جایگزین عملیات تقطیر در خلا گردیده و از تخریب دمایی اجزای حساس به تغییرات درجه حرارت ممانعت بعمل می‌آورد. بعنوان مثال جداسازی اسیدهای چرب دارای زنجیره‌های کربن طولانی از روغن نباتی را می‌توان با استخراج بوسیلهٔ حلال پروپان انجام داد.

کاربرد صنعتی استخراج به حدود صدسال گذشته برمی‌گردد. اولین و ساده‌ترین دستگاه ساخته شده شامل مخزنی بود که قطرات مایع بسته به سبک یا چگالتر بودن نسبت به فاز مایع دوم از پایین یا بالای مخزن به داخل آن پاشیده می‌شد و مبنایی برای ساخت برجهای پاشنده[2] گردید.

در مراحل بعدی پیشرفت این برج، با قرار دادن تیغه‌هایی در داخل آن و افزایش ارتفاع، دستگاه‌های تماس دهندهٔ پاره‌ای[3] ساخته گردید. در مرحلهٔ بعدی پیشرفت دستگاههای تماس دهندهٔ استخراج، تماس مرحله‌ای[4] ساخته شد. مثالی در این مورد سیستم همزنندهٔ ته‌نشین

1- Liquid-Liquid Extraction
2- Spray Column
3- Differential Contactor
4- Stage Contactor

شوندهٔ Mixer Settler[1] ها می‌باشند. پدیدهٔ اصلی، در مرحلهٔ اختلاط صورت می‌گیرد. سپس جداسازی فازها در مخزن ته نشینی انجام می‌گیرد. خروجی این مرحله به مخزن اختلاط دوم وارد و با ورود حلال تازه مجدداً عمل استخراج تکرار می‌گردد.

دستگاه‌های استخراج از جنبهٔ دیگری نیز مورد دسته‌بندی قرار می‌گیرد. دستهٔ اول شامل تجهیزاتی می‌شود که توسط ایجاد ارتفاع[2]، سطح تماس دو فاز را افزایش می‌دهد مانند برجهای پاشنده و برجهای دارای سینی‌های مشبک[3]. در دستهٔ دوم، عمل افزایش سطح تماس دو فاز از طریق فرایند همزدن مکانیکی انجام می‌شود مانند برجهای ضربه‌ای[4] و برجهای دارای صفحات چرخان[5]. (RDC)

بدلیل افزایش ضرایب انتقال جرم در هنگام همزدن مکانیکی دستهٔ دوم از دستگاه‌های مذکور از کاربرد بیشتری برخوردار می‌باشد. فراوان‌ترین دستگاه در این قسمت برج استخراج RDC است که از نقطه نظر نحوهٔ طراحی، ساخت و نگهداری، ساده و دارای انعطاف‌پذیری عملیاتی است. تاکنون قطر برجهای RDC ساخته شده به میزان ۲/۷۴ متر گسترش داده شده است و از سویی امکان ساخته شدن برجهایی با قطر حداکثر شش متر نیز وجود دارد. حداکثر ارتفاع برج برابر با ۱۲ متر است.

۱- نوعی دستگاه استخراج با حلال که در آن از ظروف اختلاط و مخازن ته‌نشینی بطور مجزا و یا مختلط استفاده می‌شود. در پالایش روغن‌های روان‌کننده و یا تخلیص اکسید اورانیم کاربرد دارد.

2- Liquid Head
3- Perforated Column
4- Pulsed Column
5- Rotating Disk Contactor

استخراج مایع- مایع زمانی نسبت به سایر روشها ارجح است که:

۱- به دلیل اینکه فرآیندهای دیگر از لحاظ اقتصادی گران قیمت‌تر هستند و یا ۲- فرآیند دیگر وجود ندارد.

در ارتباط با مورد اول می‌توان به فرآیندهای زیر اشاره نمود:

۱- جداسازی بوتادین از بوتیلن - تقطیر به دلیل خیلی نزدیک بودن نقاط جوش خیلی مشکل می‌باشد.

۲- جداسازی اسید استیک از آب (مخصوصاً اگر اسید استیک رقیق باشد) بدلیل a) فراریت نسبی ضعیف و b) گرمای نهان بالا چون به دمای بالایی نیاز دارد، تقطیر مشکل می‌باشد. (بدلیل b ذکر شده بالا مخلوط آب و اسید بنزوئیک را به طریق استخراج مایع- مایع از هم سوا می‌کنند)

۳- استخراج اسیدهای چرب یا ویتامین از روغنهای طبیعی- تقطیر در این موارد احتیاج به دمای بالا و خلاء دارد (استخراج فورفوال از نفتالین به همین دلیل به طریق استخراج مایع- مایع انجام می‌شود)

۴- جداسازی فلزی

تانتالم- کلومبیم به وسیله (MIBK) از طریق استخراج مایع- مایع نسبت به کریستالیزاسیون جزئی کم هزینه‌تر هست.

- جداسازی اورانیم- وانادیم به وسیله اتیل اتر یا فسفات آلی نسبت به روش جداسازی شیمیایی کم هزینه‌تر هست

- مس از کبالت با ۲- هیدروکس بنزوفتوکسیم (LIX64) یا فسفات آلی

در خصوص مورد دوم فرآیندهای زیر در نظر گرفته می‌شوند:

۱- تخلیص از مواد حساس نسبته به حرارت- پنی‌سیلین و آنتی بیوتیک‌ها

۲- جداسازی آزئوتروپها- متیل اتیل‌کتن- آب

۳- جداسازی اجزا با نقاط جوش روی هم

آروماتیکها از پارافین‌های بوسیله SO_2، دی اتیل گلیکول، سولفلان فوفورال

اگر جداسازی از طریق تقطیر کارآیی لازم را نداشته و یا خیلی دشوار باشد بجای آن می‌توان از استخراج مایع - مایع استفاده کرد. مخلوط‌هایی که نقطه جوش نزدیک به هم دارند یا موادی که حتی در شرایط خلأ در مقابل دمای تقطیر مقاوم نیستند را می‌توان به وسیله استخراج مایع از ناخالصی‌ها جدا کرد، که اساس جداسازی به جای اختلاف فشار اختلاف در خواص شیمیایی است. مثلاً پنی‌سیلین را از مخلوط آبی در حال جوش از طریق استخراج، با حلالی مثل بوتیل استات جدا می‌کنند، که برای داشتن ضریب تقسیم مطلوب، PH را کاهش می‌دهند. سپس حلال در مجاورت با محلول بافر فسفات قرار می‌گیرد تا پنی‌سیلین از حلال جدا شده، یک محلول آبی خالص به دست می‌آید. در انتها با عمل خشک‌کردن پنی‌سیلین را به دست می‌آورند. از استخراج برای بازیابی اسید استیک از محلولهای آبی رقیق استفاده می‌شود. در این حالت از تقطیر می‌توان استفاده کرد، اما مرحله استخراج، آب مورد نیاز برای تقطیر را به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد. یکی از مهم‌ترین کاربردهای استخراج، جداسازی فرآورده‌های نفتی است که ساختمان شیمیایی متفاوت ولی نقاط جوش نزدیک به هم دارند. اجزای روغنهای مخصوص روغنکاری (lube oil) با $bp>300^{\circ}c$ را با حلال هایی نظیر فنل، فورفورال یا میتل پیرولیدون که قطبیت کمی دارند جدا می‌کنند، در نتیجه مواد آروماتیک جدا شده، مواد روغنی که اکثر اجزای آن را پارافین و نفتالین تشکیل می‌دهد، باقی می‌ماند. ترکیبات آروماتیک خصوصیات دما- گرانروی ضعیفی دارند، اما قابل جداسازی با تقطیر نیستند چون نقاط جوش آنها بر هم منطبق است. در یک فرآیند مشابه، ترکیبات آروماتیک از طریق روش تبدیل کاتالیزوری با استفاده از یک حلال قطبی با نقطه جوش بالا جدا می‌شوند، محصول استخراج شده را برای به دست آورن بنزن، تولوئن و گزیلن خالص تقطیر می‌کنند، این مواد به عنوان واسطه‌های شیمیایی استفاده می‌شود. یک حلال بسیار عالی انجام این کار، ترکیب حلقوی $C_2H_8SO_2$ (سولفولان) است، که نسبت به ترکیبات آروماتیک انتخاب

آروماتیک انتخاب پذیری بالایی دارد و فرّاریت آن نیز خیلی پایین است (نقطه جوش ۲۹۰°ج).

در انتخاب یکی از دو عمل استخراج یا تقطیر، معمولاً تقطیر انتخاب می‌شود، هر چند که نیاز به سیستم‌های گرم‌کننده و سردکننده می‌باشد. در استخراج، حلال را برای استفاده مجدد باید بازیابی کرد (معمولاً از طریق تقطیر) و تلفیق این عملیات، پیچیده‌تر و گران‌تر از تقطیر معمولی است. اما در استخراج، انتخاب شرایط عملیاتی آسان‌تر صورت می‌گیرد، چون نوع و مقدار حلال و همچنین دمای عملیاتی قابل تغییر است. در بسیاری از مسائل، انتخاب روش با تطبیق استخراج و تقطیر انجام می‌شود. از استخراج برای جداسازی بیش از دو جزء نیز می‌توان استفاده کرد در بعضی از کاربردهای آن به جای یک حلال، مخلوطی از حلال‌ها استفاده می‌شود.

بعد از اینکه استخراج مایع- مایع به عنوان یک جداسازی انتخاب شد، مسئله مشکل انتخاب حلال می‌باشد که باید حل شود. این می‌توان یک فرآیند گران قیمت و طولانی با آزمایشات فراوان باشد.

خواص یک حلال مناسب به دو گروه زیر طبقه‌بندی می‌شود

A) خواصی که برای جداسازی نیاز هست تا جداسازی ممکن بشود. B) خواصی که مطلوب هست تا جداسازی بهتر انجام شود و یا اینکه جداسازی اقتصادی‌تر بشود.

خواص ضروری

۱) انتخابی بودن حلال برای اجزاء مطلوب (حل شونده‌ها) نسبت به دیگر اجزاء در مخلوط اصلی

۲) قابل بازیابی بودن حلال از حل شونده بعد از فرآیند استخراج

۳) دانسیته حلال باید به طور قابل ملاحظه‌ای از دانسیته رافینت تفاو ت داشته باشد به طوری که این دو تا بعداز تماس بتوانند از هم جدا شوند.

۴) حلال باید در تماس با مخلوط رافینت پایدار باشد و تجزیه نشود.

خواصی که مطلوب است و البته برای جداسازی اجزاء ضروری و حیاتی نیست

۱) توزیع مطلوب حل شونده بین حلال و رافینت

۲) قابلیت حل شوندگی بالای حل شونده در حلال

۳) حل شدن جزئی حلال و رافینت

۴) ویسکوزیته و یا گرانروی کم (تا سرعتهای انتقال جرم بهبود یابد)

۵) خورندگی کم

۶) فشار بخار کم (تا اتلاف را کم کند)

۷) نقطه انجماد کم

۸)قابلیت اشتعال کم

۹) سمی نباشد

۱۰) قیمت پایین

۱۱) تنش بین فازی قابل قبولی داشته باشد.

در این پروژه با استفاده از اطلاعات به دست آمده در دو برج RDC با قطرهای ۷/۶۲ سانتی‌متر و ۲۱/۶۹ سانتی‌متر و طولهای ۷۳/۶ سانتی‌متر و ۱۵۰/۵ سانتی‌متر، با بکارگیری سیستم‌های تولوئن- استن- آب (با تنش بین فازی زیاد) و بوتانول- سوکسینیک اسید- آب، ضرائب اختلاط محوری و انتقال جرم در فاز پیوسته تخمین زده شدند.

اطلاعات شامل موجودی فاز پراکنده، توزیع اندازه قطرات، غلظت‌های ورودی و خروجی ماده منتقل شونده در دو فاز، شدت جریان دو فاز و توزیع غلظت ماده منتقل شونده در طول برج می‌باشند.

فصل دوم

برجهای استخراج
Rotating Disk Contactor

مروری بر مقالات
Literature Survey

۱-۲- برجهای استخراج (Rotating Disk Contactor)

همانگونه که گفته شد در برجهای استخراج RDC از نیروی مکانیکی خارجی به منظور ایجاد سطح تماس بیشتر برای انتقال جرم استفاده می‌شود. طی سالهای ۱۹۴۸ تا ۱۹۵۲ میلادی برج RDC توسط گروه Royal Dutch Shell Group در آزمایشگاه آمستردام تکمیل شد و دارای کاربرد فراوانی در صنعت گردید.[4] از نقطه نظر عملی قطر برج بین ۱ تا ۴/۵ متر متغیر است.

برجهای استخراج مایع - مایع از نوع RDC یکی از متداولترین برجهای استخراج به شمار می‌آید. در ایران پالایشگاه‌های روغن نفت پارس و بهران از این نوع برج استفاده می‌کنند. و هنگام استفاده از آن موتوری که دیسکهای دوار را به چرخش درمی‌آورد خاموش نموده و برج شبیه به یک برج پاشنده که در درون آن تیغه‌هایی[۱] قرار داده شده باشد، کار می‌کند.

کاربرد زیاد این نوع برجها ایجاب می‌نماید که اولاً مدلهای تئوریک موجود در ارتباط با استخراج مایع - مایع چه از نقطه نظر هیدرودینامیک و چه از نظر انتقال جرم مورد بررسی قرار گرفته و تلفیق گردند و ثانیاً کاربرد این مدلها در برجهای استخراج RDC مورد استفاده قرارگرفته و عملکرد این برجها پیش‌بینی شده و با نتایج آزمایشی مقایسه گردند.

مطابق شکل (۱-۲) برج از بدنهٔ فلزی با تیغه‌های حلقوی افقی که به دیوارهٔ داخلی آن وصل شده، تشکیل شده است. تیغه‌های حلقوی ساکن[۲] به صورت صفحات هموار می‌باشند، در قسمت وسط برج، محور مجهز به صفحات مدور[۳] نصب شده است و فضای بین هر دو تیغهٔ

1- Baffle
2- Stator Rings
3- Rotors