دانشکده مهندسی شیمی

یافتن چیدمان بهینه برج های تقطیر با در نظر گرفتن امکان تبادل حرارتی بین مبدل ها

نگار صلاحی

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی شیمی گرایش طراحی،شبیه سازی و کنترل فرایند ها

اساتیدراهنما:

دکتر نوراله کثیری بیدهندی

دکتر شاهرخ شاه‌حسینی

تیرماه۱۳۸۷

تشکر و قدردانی:

درود و سپاس بر پروردگار متعال که همواره مرا در مراحل مختلف زندگی یاری نمود. با تشکر فراوان از زحمات اساتید عالیقدرم، جناب آقای دکتر نوراله کثیری و جناب آقای دکتر شاهرخ شاه حسینی که به طور یقین بدون مساعدتها و رهنمودهای شما عالیمقامان هرگز اتمام این پایان‌نامه برایم میسر نمی‌گردید. من از شما بزرگواران مطالب بسیار ارزشمندی را آموختم وهمواره خود را مرهون عنایتهای شما اساتید محترم می‌دانم. همچنین مراتب سپاس و قدردانی خود را از جناب آقای مهندس باقری که مرا با راهنمایی و همفکری‌های خود یاری نمودند و با حوصله و صرف وقت پاسخگوی سؤالات من بودند، ابراز می‌نمایم. از سایر همکارانم در آزمایشگاه تحقیقاتی مهندسی فرایند، Cape، سرکار خانم مهندس جانفدا، جناب آقای مهندس ایوک پور و همچنین دوست عزیزم خانم مهندس حدیث زرین به پاس تمامی کمک‌هایشان کمال تشکر و امتنان را دارم.

اینجانب در طول تحصیل در مقطع کارشناسی ارشد تجارب بسیار زیادی را کسب نمودم و توانستم چندین مقاله در سطح بین‌المللی در مجلات معتبر به چاپ برسانم و امیدوارم در آینده نیز با حضور در کنفرانسی‌های علمی و کسب تجربیات جدید و با ارزش در بخش آکادمیک، بتوانم با تلاش و ممارست در امر تحقیقات، مقالات بیشتری با بار علمی افزونتر را ارائه دهم و شرایط پذیرش در مقطع دکتری و اجرائ پروژه‌های صنعتی، که می‌توان آن را به عنوان موفقیت در زندگی علمی قلمداد کرد، را مهیا نمایم.

حال که مراحل نهایی دورهٔ کارشناسی ارشد را سپری می‌نمایم، با نگاهی به گذشته شاهد آن می‌باشم که زمان با سرعتی کوتاه‌تر از آن که فکر می‌کردم به پایان رسید. در طی این دوران ، گاهی شاهد موفقیت و پیشرفت و مواقعه‌ای با عدم توفیق مواجه می‌شدم، اما شعار من در زندگی آن است که به راه رفتن ادامه بده راه به تو نشان می‌دهد که تو کجا می‌روی. حال می‌خواهم از تمامی کسانی که راه رفتن را در این مسیر برایم آسانتر نمودند تشکر و قدردانی نمایم.

شروین، شوهر عزیزم از تو بسیار متشکرم، عشق، صبر، حمایت، تشویق و دلگرمی‌های تو باعث می شود که زندگی برایم خاص شود و به یاد بیاورم که چه زن خوشبختی هستم. همسر مهربانم، تو با پشتیبانی‌ها و مساعدت‌هایت آرامش خاطر را در انجام این پایان‌نامه برایم به ارمغان آوردی.

از خانواده عزیزم به خاطر اینکه همیشه مرا باور داشتند، متشکرم. از مادر و پدر عزیزم و خواهرانم، شادی و نگین عزیز، بسیار ممنونم. از پدر عزیزم که بزرگترین مشوق و حمایت کننده من در تمام مراحل زندگی، به خصوص کسب علم و دانش می‌باشد، سپاسگزارم، از مادر عزیزم که باکمک‌های بی‌دریغش همواره پشتیبان مطمئن من می‌باشد، متشکرم. همچنین از وجود سرشار از مهربانی مادر و پدر همسرم به پاس تشویق‌ها و دلگرمی‌های فراوانشان کمال تشکر را دارم.

من هیچوقت بدون کمک شما عزیزان نمی‌توانستم این کار را به پایان برسانم.

فهرست مطالب

عنوان **صـفحه**

مقدمه
انگیزه انتخاب پروژه ۲
دیدگاه پایان نامه ۴
فصل۱ چیدمان بهینه برجهای تقطیر
۱-۱. مقدمه..... ۸
۱-۲. برج تقطیر..... ۸
۱-۲-۱. چیدمان های مختلف برای جداسازی یک مخلوط سه جزئی ۱۰
۱-۲-۲. چیدمان برجهای تقطیربرای جداسازی مخلوط های چندجزئی..... ۱۳
۱-۲-۳. روشهای انتخاب چیدمان بهینه..... ۱۵
فصل۲ نگاهی کوتاه به سیستم تقطیربااادغام حرارتی
۲-۱. مقدمه ۲۷
۲-۲. سیستم های تقطیربااادغام حرارتی ۲۸
۲-۲-۱. تقطیرچندتاثیره- تشریح ۳۳
۲-۲-۲. تقطیرچندتأثیره- مروری بر منابع مطالعاتی ۳۶
۲-۳. بیان مساله..... ۳۹
فصل۳ سیستم موردمطالعه
۳-۱. مقدمه..... ۴۲
۳-۲. سیستم مطالعه شده و فرضیات آن..... ۴۳
۳-۲-۱. سنتزساختارهای ممکن وطراحی ویرایش های مختلف هرساختار
باهدف ممکن سازی تبادلات حرارتی..... ۵۰
۳-۲-۲. اهداف سیستم مورد مطالعه..... ۵۴
۳-۲-۳. طراحی سیستم موردمطالعه..... ۵۵
۳-۲-۳-۱. طراحی فرآیند تقطیر..... ۵۶
۳-۲-۳-۱-۱. ارتفاع برج..... ۵۶
۳-۲-۳-۱-۲. قطربرج..... ۵۷
۳-۲-۳-۱-۳. سطح انتقال حرارت لازم ریبویلر و کندانسور درساختارهای
تقطیر چندتأثیره بدون ادغام ۵۹
۳-۲-۳-۱-۴. سطح انتقال حرارت لازم ریبویلر و کندانسوردرساختارهای
تقطیر چند تأثیره ادغام شده..... ۶۰
۳-۲-۳-۲. هزینه های مربوط به فرآیند تقطیر..... ۶۴
۳-۲-۳-۲-۱. هزینه های ساخت..... ۶۴
۳-۲-۳-۲-۲. هزینه های عملیاتی..... ۶۸
۳-۲-۴. شبیه سازی سیستم موردمطالعه ۷۴

۳-۲-۵. تعیین روش انتخاب ویرایش ساختاربهینه.....۷۸
۳-۳. جمعبندی.....۸۱
فصل۴ مراحل تعیین جیدمان بهینه
۴-۱. مقدمه ۸۴
۴-۲. بخش اول : زیربرنامه تولید چیدمان های مختلف.....۸۵
۴-۳. بخش دوم: زیربرنامه شبیه سازی.....۸۵
۴-۴. بخش سوم : زیربرنامه محاسبه هزینه کلی سالیانه.....۸۶
۴-۵. بخش چهارم: زیربرنامه بهینه سازی.....۸۹
۴-۶. بخش پنجم : زیربرنامه تهیه گزارش فرمت فایل اکسل.....۹۹
۴-۷. بخش ششم: مدیریت خطاهای برنامه.....۹۹
۴-۸. بخش هفتم : زیربرنامه ساخت پنجره کاربر.....۱۰۰
۴-۹. بخش هشتم : بدنه اصلی برنامه ۱۰۰
۴-۱۰. نکاتی راجع به برنامه نوشته شده ۱۰۱
فصل۵ نتایج
۵-۱. مقدمه.....۱۰۵
۵-۲. تعیین حداقل هزینه کمی سالیانه در جداسازی مستقیم.....۱۰۸
۵-۳. تعیین حداقل هزینه کمی سالیانه در جداسازی غیر مستقیم.....۱۱۰
۵-۴. تعیین حداقل هزینه کمی سالیانه در جداسازی مقدماتی.....۱۱۳
۵-۵. تعیین حداقل هزینه کلی سالیانه در ساختار تقطیر چند تاثیره با جداسازی مستقیم با ادغام حرارتی پسرو.....۱۱۵
۵-۶. تعیین حداقل هزینه کلی سالیانه در ساختار تقطیر چند تاثیره با جداسازی مستقیم با ادغام حرارتی پیشرو.....۱۱۸
۵-۷. تعیین حداقل هزینه کلی سالیانه در ساختار تقطیر چند تاثیره با جداسازی غیر مستقیم با ادغام حرارتی پسرو.....۱۲۰
۵-۸. تعیین حداقل هزینه کلی سالیانه در ساختار تقطیر چند تاثیره با جداسازی غیر مستقیم با ادغام حرارتی پیشرو.....۱۲۳
۵-۹. تعیین حداقل هزینه کلی سالیانه در ساختار تقطیر چند تاثیره با جداسازی مقدماتی با ادغام حرارتی پسرو.....۱۲۵
۵-۱۰. تعیین حداقل هزینه کلی سالیانه در ساختار تقطیر چند تاثیره با جداسازی مقدماتی با ادغام حرارتی پیشرو.....۱۲۷
۵-۱۱. تعیین بهترین چیدمان.....۱۲۹
۵-۱۲. بررسی تاثیر تغییر هزینه سرویس های جانبی بر در صد صرفه جویی انرژی، هزینه کلی سالیانه و رتبه بندی چیدمان ها.....۱۳۲
۵-۱۱. جمعبندی.....۱۳۶
پیشنهادات.....۱۴۰
مراجع ۱۵۱

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱. نمای کلی یک برج تقطیر..... ۹

شکل ۱-۲. ساختارهای مختلف ممکن برای یک جداسازی سه جزئی ۱۲

شکل ۱-۳. برج تقطیر همراه با دیواره تقسیم ۱۴

شکل ۱-۴. حالت‌های ممکن جداسازی پایه یک ترکیب سه جزیی..... ۱۷

شکل ۱-۵.حالت‌های ممکن جداسازی زوج حرارتی یک ترکیب سه جزیی..... ۱۸

شکل ۲-۱. جداسازی مخلوط سه تایی (A B C)..... ۳۰

شکل۲-۲. ساختار ساختار با جداسازی مقدماتی ۳۱

شکل ۲-۳. برجهای زوج حرارتی- ساختار پتلیوک..... ۳۲

شکل ۲-۴. تقطیر چند تاثیره برای جداسازی مستقیم..... ۳۴

شکل ۲-۵. تقطیر چند تاثیره برای جداسازی غیر مستقیم..... ۳۴

شکل ۲-۶. ساختار چند تاثیره جداسازی مقدماتی ادغام شده حرارتی ۳۵

شکل ۳-۱. ساختارهای غیر ادغامی برای جداسازی مخلوط سه تایی (ABC)..... ۵۱

شکل۳ -۲.ساختارهای چند تاثیره با جداسازی مقدماتی ۵۳

شکل ۳-۳. ساختارهای چند تاثیره با جداسازی غیرمستقیم..... ۵۳

شکل۳ -۴. ساختارهای چند تاثیره با جداسازی مستقیم..... ۵۴

شکل ۳-۵.فاکتور Brownو Souders ۵۸

شکل ۳-۶. نحوه انتخاب نقاط داخلی در روش جستجو قطعه طلایی..... ۸۰

شکل ۴-۱. . فلودیاگرام محاسبه هزینه کلی سالیانه..... ۸۸

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل a-۴-۲. فلودیاگرام بهینه سازی کل فرایند با تغییرهزینه کلی سالیانه.....۹۱

شکل b-۴-۲. فلودیاگرام بهینه سازی کل فرایند با تغییر متغیر ها.....۹۲

شکل c-۴-۲. فلودیاگرام بهینه سازی کل فرایند با تغییر متغیر ها ۹۳

شکل d-۴-۲. فلودیاگرام بهینه سازی کل فرایند با تغییر متغیر ها.....۹۴

شکل e-۴-۲. فلودیاگرام بهینه سازی کل فرایند با تغییر متغیر ها.....۹۵

شکل ۴-۳. فلودیاگرام بدست آوردن یک سطر از ماتریس مشتق با تغییر یک سطر

از ماتریس متغییر ها و محاسبه TAC جدید با متغییر های جدید.....۹۶

شکل ۴-۴. فلودیاگرام روش قطعه طلایی.....۹۷

شکل ۴-۵. فلودیاگرام تعیین محدوده اولیه ورود به روش قطعه طلایی.....۹۸

شکل ۴-۶. فلودیاگرام کلی انتخاب چیدمان برج های تقطیر با در نظر گرفتن تبادل حرارت.....۱۰۳

شکل ۵-۱. ساختارهای جداسازی مستقیم، جداسازی غیرمستقیم و جداسازی

مقدماتی را با و بدون ادغام حرارتی، برای جداسازی مخلوط سه‌تایی (ABC).....۱۰۷

فهرست جداول

عنوان **صـفحه**

جدول۱-۱. تعداد ساختارهای ممکن چیدمان برجها برحسب تعداد اجزاء خوراک ۱۳
جدول۳-۱. ضریب تصحیح Fm...۶۵
جدول۳-۲. ضریب تصحیحFp ۶۶
جدول۳-۳. فاکتورتصحیح Fs, Fm, Ft.....۶۷
جدول۳-۴. فاکتورتصحیح Fm...۶۸
جدول۳-۵. فاکتورهای تصحیح Fd, Fp.....۶۸
جدول۵-۱. روند تغییر متغیرهای بهینه شونده به منظور رسیدن به حداقل
هزینهٔ کلی سالیانه در برج تقطیر با جداسازی مستقیم.....۱۰۸
جدول۵-۲. پارامتر های نهایی بدست آمده در برج تقطیر با جداسازی مستقیم
به منظور رسیدن به حداقل هزینه سالیانه.....۱۰۹
جدول۵-۳. روند تغییر متغیرهای بهینه شونده به منظور رسیدن به حداقل
هزینهٔ کلی سالیانه در برج تقطیر با جداسازی غیر مستقیم.....۱۱۰
جدول۵-۴. پارامتر های نهایی بدست آمده در برج تقطیر با جداسازی غیر مستقیم
به منظور رسیدن به حداقل هزینه سالیانه.....۱۱۱
جدول۵-۵. روند تغییر متغیرهای بهینه شونده به منظور رسیدن به حداقل
هزینهٔ کلی سالیانه در برج تقطیر با جداسازی مقدماتی.....۱۱۳
جدول۵-۶. پارامتر های نهایی بدست آمده در برج تقطیر با جداسازی مقدماتی
به منظور رسیدن به حداقل هزینه سالیانه.....۱۱۵
جدول۵-۷. روند تغییر متغیرهای بهینه شونده به منظور رسیدن به حداقل
هزینهٔ کلی سالیانه در برج تقطیر با جداسازی مستقیم با ادغام پسرو.....۱۱۶
جدول۵-۸. پارامتر های نهایی بدست آمده در برج تقطیر با جداسازی مستقیم
با ادغام پسرو به منظور رسیدن به حداقل هزینه سالیانه.....۱۱۷
جدول۵-۹. روند تغییر متغیرهای بهینه شونده به منظور رسیدن به حداقل
هزینهٔ کلی سالیانه در برج تقطیر با جداسازی مستقیم با ادغام حرارتی پیشرو.....۱۱۸
جدول۵-۱۰. پارامتر های نهایی بدست آمده در برج تقطیر با جداسازی مستقیم

عنوان **صفحه**

فهرست جداول

جدول۵-۱۱. روند تغییر متغیرهای بهینه شونده به منظور رسیدن به حداقل
هزینهٔ کلی سالیانه آمده در برج تقطیر با جداسازی غیر مستقیم با ادغام حرارتی پسرو.....۱۲۰
جدول۵-۱۲. پارامتر های نهایی بدست آمده در برج تقطیر با جداسازی غیر مستقیم
با ادغام حرارتی پسرو به منظور رسیدن به حداقل هزینه سالیانه.....۱۲۲
جدول۵-۱۳. روند تغییر متغیرهای بهینه شونده به منظور رسیدن به حداقل
هزینهٔ کلی سالیانه در برج تقطیر با جداسازی غیر مستقیم با ادغام حرارتی پیشرو.....۱۲۳
جدول۵-۱۴. پارامتر های نهایی بدست آمده در برج تقطیر با جداسازی غیر مستقیم
با ادغام حرارتی پیشرو به منظور رسیدن به حداقل هزینه سالیانه.....۱۲۴
جدول۵-۱۵. روند تغییر متغیرهای بهینه شونده به منظور رسیدن به حداقل
هزینهٔ کلی سالیانه در برج تقطیر با جداسازی مقدماتی با ادغام حرارتی پسرو.....۱۲۵
جدول۵-۱۶. پارامتر های نهایی بدست آمده در برج تقطیر با جداسازی مقدماتی
با ادغام حرارتی پسرو به منظور رسیدن به حداقل هزینه سالیانه.....۱۲۶
جدول۵-۱۷. روند تغییر متغیرهای بهینه شونده به منظور رسیدن به حداقل
هزینهٔ کلی سالیانه در برج تقطیر با جداسازی مقدماتی با ادغام حرارتی پیشرو.....۱۲۷
جدول۵-۱۸. پارامتر های نهایی بدست آمده در برج تقطیر با جداسازی مقدماتی
با ادغام حرارتی پیشرو به منظور رسیدن به حداقل هزینه سالیانه.....۱۲۸
جدول۵-۱۹. مهمترین نتایج طراحی سیستم بهینه شده در حالت اول.....۱۳۰
جدول۵-۲۰. صرفه جویی هزینه کلی سالیانه و انرژی با مقایسه با ساختار
تقطیر با جداسازی مستقیم در حالت اول.....۱۳۲
جدول۵-۲۱. مهمترین نتایج طراحی سیستم بهینه شده در حالت دوم.....۱۳۴
جدول۵-۲۲. صرفه جویی هزینه کلی سالیانه و انرژی با مقایسه با ساختار
تقطیر با جداسازی مستقیم در حالت دوم ۱۳۵

واژه نامه

Boil up	جوشش	Inter heating	گرمایش داخلی
Controllability	قابلیت کنترل	Inter cooling	سرمایش داخلی
Cooling water	آب خنک کننده	Line search	جستجوی خطی
Thermally coupled	زوج حرارتی	Side Rectifier	غنی ساز جانبی
Forward Integration	ادغام حرارتی پیشرو	Side Stripper	عاری سازجانبی
Backward Integration	ادغام حرارتی پسرو	Tuning	تنظیم کننده
Direct Split	جداسازی مستقیم	Shut down	خاموشی
Indirect Split	جداسازی غیر مستقیم	Prefractionator arrangement	ساختار با جداسازی مقدماتی
Feed Split	جداسازی خوراک	Utility	سرویس جانبی
Heat Pumps	تلمبه های حرارتی	Operability	قابلیت عملکرد
Golden section	قطعه طلایی	Trade off	موازنه
Vapor- Liquid Disengaging space	فضای جدایش مایع- بخار	Continuous	پیوسته
Self Optimising	خود بهینه ساز	Start-up	شروع
Plant	واحد	Total Annual Cost	هزینه کلی سالیانه
Downcomer	ناودان	Driving Force	نیروی محرکه
Short-Cut	میانبر	Multi-effect	چند تاثیره
Rules of Thumb	قوانین سرانگشتی	Network	شبکه
Tray	سینی	Azeotrope	آزئوتروپ
Double-effect	تاثیر متقابل	Evolutionary	تکاملی
Fully Thermaly Coupled	تمام زوج حرارتی	Mole Fraction	جزء مولی
Sequence	چیدمان	Dividing Wall	دیواره تقسیم
Reflux Ratio	نسبت برگشت	Statistic	آماری
Re-mixing	اخطلاط مجدد	Top product	محصول بالایی
Heuristic	ابتکاری	Genetic Algorithm	الگوریتم ژنتیک
Heat Duty	بار گرمایی	Conventional Column	برج های متداول
Hight	ارتفاع	**Grand Composite Curve**	منحنی مرکب کل

چکیده

ادغام حرارتی برجهای تقطیر با تأکید بر تقطیر چند تأثیره، در این پایان‌نامه مطالعه شده است. حداقل انرژی و هزینه مورد نیاز شش ساختار مختلف سیستم تقطیر چند تاثیره ادغام شده حرارتی برای جداسازی مخلوط سه جزئی و سه ساختار غیر ادغامی بدست آمده است. مدلسازی ریاضی برای تمام سیستم با استفاده از شبیه‌ساز تخصصی فرایند صورت گرفته و این در حالی است که جداسازی کامل محصول در نظر گرفته شده است. در این پایان نامه مقایسه ساختارهای مختلف از طریق حداقل هزینه سالیانه کلی، به‌عنوان تابع هدف اقتصادی، انجام شده است. سپس سیستم با توجه به تغییر و تأثیر پارامترهایی از جمله: فشار، نسبت برگشت، تعداد سینی‌ها، محل ورود خوراک در محیط پیشرفته#C با اتصال به شبیه ساز تخصصی فرایند، شبیه‌سازی، بهینه‌سازی و سپس مقایسه شده است. نتایج بدست آمده به طور اتوماتیک در اکسل به صورت جدول ذخیره شده است. از آنجا که آغاز بحران انرژی و افزایش شدید قیمت نفت در بازارهای جهانی، تاثیر فراوانی بر روی هزینه سرویس های جانبی در فرایند های تقطیر گذاشته است، در بخش بعد به بررسی تاثیر تغییر هزینه سرویس های جانبی بر در صد صرفه جویی انرژی، هزینه کلی سالیانه و متعاقبا رتبه بندی چیدمان ها پرداخته شده است. نتایج نشان داده اند که ساختارهای ادغام شده چند تاثیره علاوه بر صرفه جویی انرژی، باعث کاهش تاثیرات محیطی فرایند، کاهش هزینه های سرویس های جانبی واحد شده و کاهش قابل توجهی در هزینه های کلی سالیانه نسبت به ساختارهای متداول داشته اند. با ارزیابی نتایج در بخش بعد، با توجه به بالا رفتن قیمت نفت، به ضرورت استفاده از ساختارهای تقطیر چند تاثیره به دلیل صرفه جویی فراوان در مصرف انرژی و بهینه سازی اقتصادی واحد پی برده شده و نتایج نشان داده اند که ساختار هزینه ای تاثیر فراوانی بر رتبه بندی و نسبت هزینه کلی سالیانه در سیستم های تقطیر داشته و همواره استفاده از ساختار تقطیر چند تاثیره خاصی توصیه نشده، بلکه بنابر استفاده از ساختار هزینه ای خاص، رتبه بندی چیدمان متفاوت بوده است.

واژه های کلیدی: ادغام حرارتی، تقطیر چند تاثیره، کاهش مصرف انرژی، بهینه سازی اقتصادی

مقدمه

انگیزهٔ انتخاب پروژه:

امروزه استفاده مؤثر از انرژی و صرفه‌جویی حرارتی یکی از عوامل بسیار مهم در رشد و توسعه اقتصادی کشورها، به ویژه کشورهای صنعتی به شمار می‌رود. محدود بودن منابع سهل‌الوصول انرژی مانند: سوخت‌های فسیلی، متخصصین را بر آن داشته تا مصرف انرژی را در فرآیندهای شیمیایی به حداقل ممکن برسانند و از این طریق باعث کاهش هزینه‌های تولید گردند.

آغاز بحران انرژی و افزایش شدید قیمت نفت در بازارهای جهانی، باعث گردید تا کشورهای صنعتی غربی که اکثراً وارد کننده نفت خام و سایر فرآورده‌های نفتی و نیز گاز طبیعی می‌باشند، تحقیقات گسترده‌ای را در جهت دسترسی به تکنولوژی جدیدی که بتواند مصرف انرژی را در یک فرآیند شیمیایی به حداقل برساند و از این طریق باعث کاهش هزینه‌های جاری تولید و نیز کاهش وابستگی به کشورهای صادر کننده نفت گردد، آغاز نمایند.

تقطیر سالانه ، بیش از ۶ میلیون دلار آمریکا انرژی مصرف می‌کند، که حدود ۳٪ کل مصرف ملی است. برای واحدهای شیمیایی، یک سوم هزینه‌های سرمایه کلی مربوط به واحدهای جداسازی می‌باشند. در پالایشگاههای نفت و کارخانه‌های بیوشیمی این مقدار حدوداً ۷۰٪ است. از آنجا که جداسازها، مصرف کننده‌های مهم انرژی هستند، زمینه‌ساز انجام فعالیت‌هایی در زمینه کاهش مصرف انرژی شده‌اند.کاهش مصرف انرژی در حالت کلی سبب هزینه کمتر و مشکلات زیست محیطی کمتر شده و باعث سوق دادن به سمت جامعه پایدار می شود[1].

عنوان این پروژه "یافتن چیدمان بهینه برجهای تقطیر با درنظر گرفتن امکان تبادل حرارتی بین مبدلها" می‌باشد، در این راستا مسأله **ادغام فرآیند** به منظور امکان تبادل حرارتی مطرح گردیده است. حال مفهوم ادغام فرآیند چیست؟ و این موضوع چگونه در این پروژه به کار می‌رود؟ تعیین ادغام فرآیند می‌تواند با توجه به نوع کار یا حتی کار یکسانِ شخص با شخص دیگر متفاوت می‌باشد.

یک دیدگاه رایج از ادغام فرآیند تکنیک تکنولوژی پینچ می‌باشد. تعریف دقیق‌تر از ادغام فرآیند را، آژانس بین‌المللی انرژی (IEA) در برلین (۱۹۹۳) بیان کرده است.

«روش‌های سیستماتیک و عمومی برای طراحی سیستم‌های ادغام شده، محدود به فرآیندهای منحصر به فرد، تا، سایت‌های عمومی، با تأکید مخصوص بر بازده انرژی مصرفی و کاهش تأثیرات محیطی [2].»

سپس این تعریف، گسترش پیدا کرده و در حال حاضر به صورت زیر درآمده است:

«... ادغام فرآیند همچنین به بعضی از جنبه‌های عملیاتی و نگهداری برمی‌گردد [2].»

بنابراین ادغام فرآیند روش‌هایی سیستماتیک و عمومی هستند که در طراحی و عملیات ادغام واحدها با هدف و انگیزهٔ صرفه‌جویی انرژی و کاهش هرگونه آثار محیطی به کار رفته اند.

در این پروژه تأکید کار بر روی انواع سیستم‌های تقطیر ادغام شدهٔ حرارتی می‌باشد. این کار، روش‌های سیستماتیک و عمومی را در طراحی و کارهای عملیاتی، در ترم‌های صرفه‌جویی انرژی و نگهداری سیستم عملیاتی نزدیک به تقاضای بهینه انرژی به کار گرفته است. تأکید بر صرفه‌جویی انرژی و هزینه در طراحی و عملکرد این سیستم ادغام شده بوده و همچنین فاکتورهای وابسته به زمان، مانند هزینه‌های انرژی و هزینه‌های تجهیزات نیز درنظر گرفته شده است.

انگیزهٔ بررسی طراحی تقطیر با امکان تبادل حرارتی عمدتاً به علت تقاضای بالای انرژی و هزینه در فرآیندهای تقطیر می‌باشد. به علاوه تقطیر به وفور در فرآیندهای جداسازی به کار می‌رود، در نتیجه می‌تواند به عنوان مصرف‌کننده درصد بالایی از انرژی در واحدها به کار رود. بنابراین مطالعه ساختارهای مختلف تقطیر که می‌توانند در مصرف انرژی صرفه‌جویی کنند ضرورت یافته‌اند. در نتیجه ادغام حرارتی برجهای تقطیر، به علت پتانسیل بالا در صرفه‌جویی انرژی نسبت به ساختارهای بدون ادغام، در این پروژه مورد بررسی قرار گرفته است. ادغام حرارتی علاوه بر صرفه‌جویی انرژی، تأثیرات محیط زیستی فرآیند و هزینه‌های سرویس جانبی مصرفی را کاهش داده و باعث کاهش ممکنه در هزینه‌های کلی نیز می‌گردد. در این راستا مهم‌ترین سؤالی که در مورد ستونهای تقطیر با امکان تبادل حرارتی مطرح می‌شود این است که: "بهترین شمای صرفه‌جویی انرژی و هزینه‌ها در مسائل جداسازی چیست؟" و "عملکرد این شما چگونه باشد تا بتوان به بهترین صرفه‌جویی رسید؟" سؤال دقیق‌تر در این پایان‌نامه این است که "آیا ساختارهای تقطیر چند تأثیره راه حلی مناسب می‌باشند؟" هم‌اکنون این سؤال در ذهن مطرح می‌شود که چرا باید به سؤالات پاسخ داد و انگیزه چیست ؟

هنگامی که هدف پاسخ دادن به سؤالات یا مشکلات مهندسی است، اهداف مختلف، اهمیت‌های متفاوتی پیدا می‌کنند، به عنوان مثال، سود، ایمنی، محیط زیست، انعطاف‌پذیری، و قابلیت کنترل. یک موضوع یا هدفی که همواره مهندسین باید در نظر داشته باشند قابلیت عملکرد فرآیند است. در این زمینه همواره باید در فکر کاهش تقاضای انرژی برای کل فرآیند بود. صرفه‌جویی در مصرف انرژی بدون توجه به قیمت آن همواره باید درنظر گرفته شود. متأسفانه، موضوع انرژی فقط هنگامی جالب به

نظر می‌رسد که قیمت‌های انرژی بالا باشد. در ترم‌های عملکرد باید سعی شود تا بهترین راهی را که یک سیستم می‌تواند در آن عمل کند را مشخص شود. بنابراین صرفه‌جویی انرژی مورد انتظار عملاً بدست خواهد آمد. یک سیستم ادغام شده که به دقت کار نمی‌کند می‌تواند باعث تقاضای بالای انرژی نسبت به سیستم‌های غیرادغامی شود. اما هنگامی که یک ساختار خوب با صرفه‌جویی انرژی مشخص گردید، نتیجهٔ آن کاهش مصرف سرویس جانبی، تأثیرات محیط زیستی فرآیند و صرفه‌جویی‌های اقتصادی بوده و متعاقباً بی‌میلی صنعتی که نسبت به استفاده از برجهای تقطیر متوالی به علت تقاضای بالای انرژی ایجاد شده را از بین خواهد برد. بنابراین این خود باعث رشد و توسعه اقتصادی کشور و عدم وابستگی به کشورهای دیگر خواهد گردید.

هنگامی‌که تخمین‌های هزینه‌ای در طراحی، تأثیر گذارنده است، شناخت فاکتورهای مختلفی از جمله: واحدهای سرویس جانبی، هزینه‌های مواد خام و سایر هزینه‌های عملیاتی و سایر تجهیزات، مهم می‌باشند. در نتیجه برای انتخاب نهایی، هر دو مسأله اقتصادی و صرفه‌جویی انرژی باید به حساب بیاید. بنابراین ساختارها طبق تابع هدف هزینهٔ سالیانه کلی $(TAC_{\min})$ بهینه خواهند شد. با توجه به ترم هزینه‌های کلی سالیانه (TAC) و همچنین بررسی پارامترهای تأثیرگذارنده در آن، یافتن چیدمان بهینه برجهای تقطیر با امکان تبادل حرارتی با استفاده از روشهای بهینه‌سازی، کاری جذاب به نظر رسیده و ضرورت آن با توجه به هزینه‌های بالای ساختارهای تقطیر احساس می‌شود. این نکته نیز شایان ذکر است که مطالعات دقیقی در مورد کاهش مصرف سرویس جانبی و بهینه‌سازی آن و صرفه‌جویی اقتصادی در اینگونه ساختارها صورت نگرفته و این تحقیق کاری کاملاً نو محسوب می‌شود.

دیدگاه پایان‌نامه:

مصرف انرژی در فرآیندهای شیمیایی یکی از مسائل مهم و جدی هر فرآیند می‌باشد. یکی از مهمترین بخش‌هایی از هر فرآیند که مستقیماً در ارتباط با مصرف انرژی است، مبدلهای حرارتی و برجهای تقطیر موجود در فرآیند می‌باشند. طراحان صنعتی همواره سعی دارند که فرآیند را به گونه‌ای طراحی کنند که از لحاظ مصرف انرژی در وضعیت بهینه مصرف انرژی قرار گیرد. از این رو مسأله صرفه‌جویی انرژی شبکه مبدلهای حرارتی در چیدمان برجهای تقطیر مورد توجه قرار گرفته است.

سیستم مورد مطالعه در این پایان‌نامه، *ساختار تقطیر چند تأثیره*، که در آن فشار به گونه‌ای تنظیم می‌شود که دو برج بتوانند امکان تبادل حرارتی با یکدیگر داشته باشند، می‌باشد. این سیستم شامل دو ستون تقطیر می‌باشد، به این صورت که کندانسور یک ستون با ریبویلر ستون دیگر ادغام می‌شود.

در این پروژه روش‌های کلی و سیستماتیک طراحی و عملکرد سیستم به منظور صرفه‌جویی انرژی و نزدیک کردن هزینه‌های کلی به تقاضای بهینه انرژی به کار رفته شده است.

پایه مقایسه بین ساختارهای ادغام شده با دیگر ساختارهای ادغام شده و بدون ادغام *هزینه‌های سالیانه کلی (TAC)* می‌باشد. در دنیای واقعی هر دو هزینه‌های ساخت و هزینه‌های عملیاتی باید در نظر گرفته شود و پاسخ "بهینه" معمولاً یک موازنه بین این‌دو می‌باشد.

مطالعات کتابخانه‌ای در این زمینه، با استفاده از کتابخانه دانشگاههای مختلف و همچنین سایت‌ها و پایان‌نامه‌های مرتبط بین‌المللی به طور وسیعی صورت گرفته است و همچنین بازدید از نمایشگاه‌ها و برگزاری جلساتی با شرکت‌های نارگان، ناموران، Poerner (سازنده اولین پالایشگاه خصوصی در ایران، پالایشگاه نفت سروش)، شرکت مهندسی فرایند به کمک کامپیوتر(CAPE) و نهایتاً بررسی تعداد زیادی مقاله صورت گرفته است.

این پایان نامه در پنج فصل تدوین شده است. در فصل اول این پروژه انواع چیدمان‌های مختلفی که برای جداسازی مخلوط های سه جزئی و چندجزئی وجود دارد، ارائه شده است. سپس ساختارهای گوناگون تقطیر را بررسی کرده و روشهای انتخاب چیدمان بهینه برای این ساختارها معرفی شده و در نهایت به ذکر چند نمونه از قوانین ابتکاری در چیدمان برجهای تقطیرپرداخته است.

درفصل های بعدی به بررسی برجهای تقطیر همزمان با صرفه‌جویی حرارتی شبکه مبدلهای حرارتی پرداخته شده است. در این راستا; درفصل دوم مطالعات جامعی در زمینه سیستم‌های تقطیر با امکان تبادل حرارتی و بررسی ساختارهای مختلف ادغام شده با تأکید بر تقطیر چند تأثیره، صورت گرفته است. سپس بازنگری کارهای پیشین و بررسی نقاط ضعف و قدرت آنها انجام شده و تأثیر این ساختارها در صرفه‌جویی انرژی و همچنین صرفه‌جویی اقتصادی بررسی شده است. نهایتاً سؤالاتی که این پروژه می‌تواند پاسخگوی آن باشد مطرح شده‌اند.

فصل سوم ابتدا با انتخاب یک مطالعه موردی، ساختارهای تقطیر ادغام شدهٔ حرارتی و ساختارهای متداول معرفی و با یکدیگر مقایسه شده‌اند و سپس مناسب بودن ساختار چند تأثیره برای جداسازی مخلوط سه‌جزیی با استفاده از دو ستون متوالی بررسی شده است. در این راستا اهداف و

فرضیات سیستم مورد مطالعه مشخص شده و سپس تأثیر تغییرات فشار، نسبت برگشت، تعداد سینی‌هاومحل ورود خوراک، به عنوان متغیرهای بهینه‌ساز در هزینه‌های کلی سالیانه، با استفاده از محیط شبیه‌ساز بررسی شده‌اند. در مرحله بعد تاثیر تغییر هزینه سرویس های جانبی بر در صد صرفه جویی انرژی، هزینه کلی سالیانه و متعاقبا رتبه بندی چیدمان ها بررسی شده است. در بخش بعد نحوۀ انتخاب نرم‌افزار جامع شبیه‌ساز و انتخاب محیط پیشرفته حرفه‌ای برای اتصال به این نرم‌افزار معرفی شده وبعد از آن بررسی روشهای بهینه‌سازی و انتخاب یک روش برای بدست آوردن بهترین چیدمان تقطیر با امکان تبادل حرارتی صورت گرفته است. تمام این ساختارها به روش اتوماتیکی با استفاده از محیط پیشرفته#C، شبیه‌سازی، بهینه‌سازی و سپس مقایسه شده‌اند.

در فصل چهارم قسمت های مختلف پروژه را به زیر برنامه های جداگانه تقسیم کرده وسپس تمامی زیر برنامه ها به همراه فلو دیاگرام تشریح شده اند.

سپس در فصل پنجم نتایج مربوط به اجرای برنامه برای شرایط مختلف مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است.

در انتها جمع بندی کار انجام شده و پیشنهادات برای کارهای بیشتر ارائه شده‌اند.

مهمترین فواید این پایان‌نامه عبارتند از:

- بررسی روشهای چیدمان بهینه برجهای تقطیر
- مقایسه ساختارهای تقطیر ادغام شده چند تأثیره با دیگر ساختارهای تقطیر ادغام شده و ساختارهای تقطیر ادغام نشده (متداول)
- انتخاب متغیرهای تأثیر گذارنده بر ساختار تقطیر چند تأثیره
- انتخاب تابع هدف با توجه به بررسی نقاط ضعف و قدرت کارهای انجام شده بر پروژه مورد نظر و تعیین هدف پروژه
- مدلسازی برجهای تقطیر به منظور محاسبه تابع هدف تعیین شده
- شبیه سازی تمام این ساختارها به روش اتوماتیکی با استفاده از محیط پیشرفته#C با اتصال بهHysys
- انتخاب یک روش بهینه‌ساز به منظور انتخاب بهترین چیدمان
- آنالیز یک مطالعه موردی و تحلیل نتایج آن

فصل اول

چیدمان بهینه برج های تقطیر

۱-۱.مقدمه

برای تعیین چیدمان بهینه برجهای تقطیر برای یک جداسازی مشخص ابتدا باید حالت‌های مختلف ممکن برای این جداسازی مشخص شوند. با وجود کارهای زیادی که برای بدست آوردن حالت‌های ممکن جداسازی یک مخلوط n جزیی صورت گرفته است، هنوز روش کامل و جامعی برای بدست آوردن تمامی حالت‌های ممکن ارایه نگردیده است. اغلب کارهای انجام شده برای بدست آوردن بهترین چیدمان برجهای تقطیر، از یک الگوریتم مشخص برای سنتز و بدست آوردن چیدمان‌های ممکن استفاده کرده اند. این الگوریتم‌ها غالباً شامل چندین فرض ساده شونده بوده، بنابراین تمامی حالت‌های ممکن ارایه نشده است. با این حال می‌توان حالت بهینه را از بین حالت‌های ساده مورد بررسی بدست آورد و سپس با حذف فرضهای اولیه حالت بهینه بدست آمده را بهبود بخشید. اغلب این الگوریتم‌ها برای مخلوط‌های ایده‌آل و یا نزدیک به ایده‌آل بوده، با این وجود برخی از الگوریتم‌ها با در نظر گرفتن حالت‌های غیرایده‌آل و حالت‌های آزئوتروپی امکان بدست آوردن چیدمان بهینه در این قبیل مخلوطها را نیز فراهم ساخته اند. در این فصل ابتدا چیدمان‌های مختلف برای یک جداسازی سه جزیی ارائه‌گردیده است. سپس یک الگوریتم مناسب جهت بدست آوردن چیدمان‌های ساده ممکن یک جداسازی n جزیی که توسط Agrawal ارایه گردیده است، آورده شده است. سپس برای آشنایی بیشتر با کارهای قبلی انجام گرفته، روشهای مختلف بدست آوردن چیدمان بهینه معرفی شده اند. علاوه بر روشهای گفته شده تعدادی قانون ابتکاری نیز معرفی خواهد شد که غالبا نتیجه کارهای انجام شده قبلی بوده اند.

۱-۲.برج تقطیر

فرآیندهای جداسازی یکی از مهمترین قسمت‌ها در فرایندهای شیمیایی بوده و یکی از متداولترین فرایندهای جداسازی، تقطیر می‌باشد. براین اساس، در دهه‌های گذشته کارهای فراوانی جهت بررسی

برجهای تقطیر و ارائه روشی برای تعیین چیدمان بهینه صورت گرفته است.

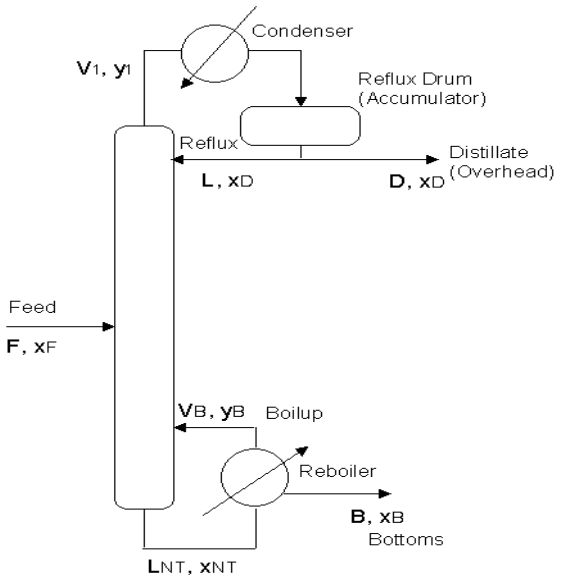
تقطیر فرآیندی است که در آن ترکیب دو یا چند مایع از یکدیگر جدا می‌گردد. محصول پایین غالباً به صورت فاز مایع می‌باشد، در حالی که محصول بالا ممکن است مایع، بخار و یا ترکیبی از هر دو باشد [۳].

فرآیندهای جداسازی دارای سه ویژگی هستند:

۱- ابتدا باید حداقل یک فاز دیگر به وجود آید که در تماس با فاز اول بوده و امکان تبادل جرم بین آنها در طول برج فراهم باشد.

۲- مواد باید دارای فراریت‌های متفاوتی باشند. تا بتوانند در بینِ فازهای ایجاد شده با مقدار متفاوت پخش گردند.

۳- فازهای ایجاد شده را بتوان با تفاوت در وزن آنها و یا به وسیله‌های دیگر جدا نمود.



شکل ۱-۱. نمای کلی یک برج تقطیر[3]

شکل (۱-۱) یک فرآیند تقطیر ساده را نشان می‌دهد، که شامل یک جریان خوراک و دو جریان محصولات می‌باشد. خوراک شامل جزء مولی X_F از ماده سبک‌تر است. محصول بالایی دارای جزء مولی X_D از جزء سبک‌تر و محصول پایین دارای جزء مولی X_B می‌باشد. برج به دو قسمت اصلی