دانشگاه سیستان و بلوچستان
تحصیلات تکمیلی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد در مهندسی شیمی گرایش فرآیندهای جداسازی

عنوان:

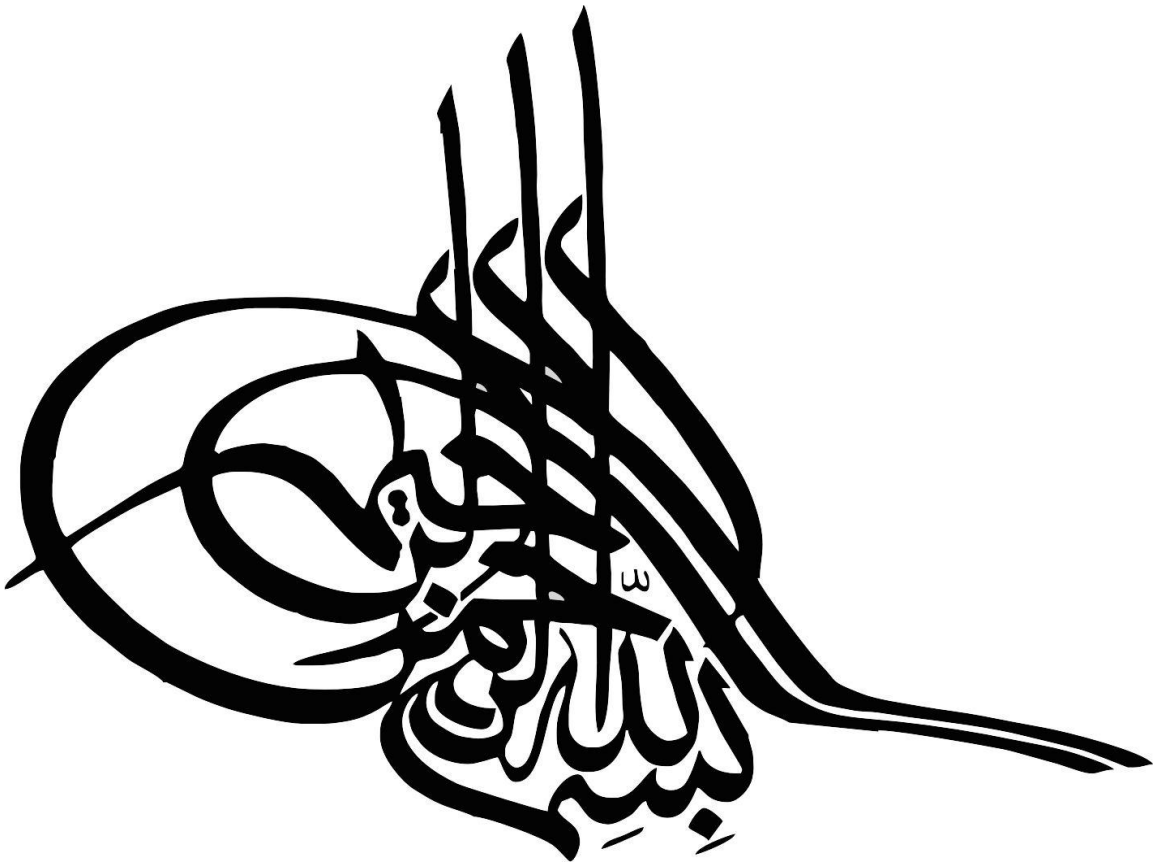
شبیه‌سازی دینامیکی و جایگزینی سینی‌ها با آکنه‌های ساختاریافته برج تقطیر بنزن-تولوئن-زایلن (BTX) مجتمع پتروشیمی بوعلی‌سینا

استاد راهنما:
دکتر مرتضی زیودار

استاد مشاور صنعتی:
مهندس محمد عبدالهی

تحقیق و نگارش:
مصیب حسین‌زاده

بهمن ۱۳۹۲


بسم الله الرحمن الرحيم

بسمه تعالی

این پایان‌نامه با عنوان "شبیه‌سازی دینامیکی و جایگزینی سینی‌ها با آکنه‌های ساختاریافته برج تقطیر بنزن-تولوئن-زایلن (T-5001) مجتمع پتروشیمی بوعلی‌سینا" قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، توسط دانشجو مصیب حسین‌زاده با راهنمایی استاد پایان‌نامه دکتر مرتضی زیودار تهیه شده است. استفاده از مطالب آن به منظور اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیستان و بلوچستان مجاز می‌باشد.

مصیب حسین‌زاده

این پایان نامه ۶ واحد درسی شناخته می‌شود و در تاریخ ۹۲/۱۱/۳۰ توسط هیئت داوران بررسی و درجه **عالی** به آن تعلق گرفت.

	نام و نام خانوادگی	**امضا**	**تاریخ**
استاد راهنما:	دکتر مرتضی زیودار		۹۲/۱۱/۳۰
استاد مشاور:	مهندس محمد عبدالهی		۹۲/۱۱/۳۰
داور اول:	دکتر رهبر رحیمی		۹۲/۱۱/۳۰
داور دوم:	دکتر کیانوش رزاقی		۹۲/۱۱/۳۰
نماینده تحصیلات تکمیلی:	دکتر قدرت الله رودینی		۹۲/۱۱/۳۰

دانشگاه سیستان و بلوچستان

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب مصیب حسین‌زاده تعهد می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان می‌باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: مصیب حسین‌زاده

امضاء

تقدیم با بوسه بر دستان پدر و مادرم؛

تقدیم به خواهر و برادران عزیزتر از جانم؛

مهربان فرشتگانی که

لحظات ناب باور بودن، لذت و غرور دانستن، جسارت خواستن، عظمت رسیدن، حلاوت بخشیدن و

تمام تجربه‌های یکتا و زیبای زندگیم، مدیون حضور سبز آن‌هاست...

سپاسگزاری

اکنون که یه یاری خداوند مهربان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود را به پایان رسانده‌ام، بر خود لازم می‌دانم از زحمات و راهنمایی‌های استاد ارجمند جناب آقای دکتر مرتضی زیودار تشکر و قدردانی نمایم.

همچنین از آقایان مهندس محمد عبدالهی، علی‌رضا پیمانی، محمد مهدی زارعی، احمد منطقیان، استاد فرزانه جناب دکتر رهبر رحیمی و آقایان دکتر جعفر صادقی و طالب زارعی، به خاطر راهنمایی و همکاری صمیمانه ایشان کمال تشکر را دارم.

از تمامی دوستان عزیزم به ویژه آقایان مهندس مجید گودرزی، مجتبی امیری، محمد ادیانی، علی اسدی، الیاس اسماعیل‌پور، حسین رهبر تربتی، سجاد خشه، کامران صیادی، وحید مرادپور، ابراهیم پورکارگر، علی‌رضا باژوند، ساسان وزیری، حسن قاسم‌زاده، احمد مرتضایی، میثم سالاری، حسین عابدی، عارف رشید رستمی، فرهاد نبی‌زاده، پوریا قلی‌نژاد، وحید زارع، سعید عادلیان‌فر و علی صمدی که زیباترین خاطرات در این مقطع تحصیلی را با آنها داشتم، صمیمانه سپاس‌گذاری می‌نمایم.

از پتروشیمی بوعلی سینا نیز به خاطر در اختیار قرار دادن داده‌های عملیاتی و نیز از جناب آقای مهندس حسن اکبری (رئیس اداره کل آموزش و تجهیز منابع انسانی شرکت ملی صنایع پتروشیمی) بابت در اختیار قرار دادن مجموعه نرم‌افزارهای آموزشی شرکت پتروشیمی بالاخص پتروشیمی بوعلی‌سینا، تشکر می‌نمایم.

چکیده:

اهمیت واحدهای آروماتیک در صنایع پتروشیمی در سطح جهان امری غیر قابل انکار است. از جمله فرآورده‌های مهم و سودآور این واحدها می‌توان به پارازایلن، اورتوزایلن و بنزن اشاره داشت، که البته جزء محصولات اصلی پتروشیمی بوعلی‌سینا نیز می‌باشند. واحدی از این پتروشیمی که در این رساله مورد بررسی قرار گرفته است، وظیفه جداسازی اولیه بنزن و تولوئن را از ایزومرهای زایلن بر عهده دارد. از این رو بررسی راندمان برج هپتان‌زدای واقع در این واحد در راستای ایجاد شرایط بهینه، می‌تواند کمک شایانی به افزایش بهره‌وری و نهایتا سود دهی بیشتر این پتروشیمی نماید. یکی از راهکارهای مناسب جهت بالا بردن ظرفیت در برج‌های تقطیر که در سال‌های اخیر در سطح جهان رواج یافته است، جایگزینی سینی‌ها با آکنه‌های ساختار یافته بوده که تکنیکی با صرفه اقتصادی زیاد می‌باشد. این پروژه با انجام شبیه‌سازی در حالت‌های پایا و دینامیک صورت گرفته است. برای رسیدن به اهداف ذکر شده در این تحقیق نیاز به انجام یک شبیه‌سازی دقیق، امری ضروری است؛ از این رو با در نظر گرفتن مدل UNIF-LBY، شبیه‌سازی پایا با خطای ٪۱/۷ در میزان دبی محصول بالای برج و راندمان مناسب در جداسازی اجزای کلیدی، انجام گرفت؛ و همچنین به تحلیل نتایج حاصل از شبیه‌سازی دینامیک در دو حالت برای برج سینی‌دار پرداخته شد. در ادامه با انجام شبیه‌سازی‌های متعدد بر روی برج آکنده، نهایتاً آکنه ساختاریافته Mellapak 250X برای جایگزینی بجای سینی‌ها در برج مورد نظر انتخاب گردید. با انجام شبیه‌سازی دینامیک برج آکنده با ظرفیت ثابت، مشاهده شد که شبیه‌سازی از دقت بسیار خوبی برخوردار بوده و کیفیت محصولات نیز افزایش پیدا کرده است. همچنین کاهش قابل ملاحظه‌ای در میزان کل انرژی مصرفی برج به میزان ۱/۳۷ MW (٪۴/۸) مشاهده شد. در گام دوم پروژه ظرفیت را تا رسیدن به میزان انرژی مصرفی در شرایط عملیاتی، افزایش داده که مشاهده شد این مقدار به میزان دبی ۱۲۴۲۶۵ kg/hr رسیده است. افزایش ظرفیتی که حاصل شد به میزان ۸۸۷۵ kg/hr (٪۷/۷) می‌باشد که البته با توجه به انعطاف‌پذیری در طراحی فرآیند بکار رفته و تجهیزات، این افزایش ظرفیت قابلیت اجرایی خواهد داشت. با انجام محاسبات اقتصادی معلوم گردید که با انجام این طرح ارزش افزوده‌ای معادل تقریبا ۱۶/۵ میلیون دلار در سال برای مجتمع پتروشیمی بوعلی‌سینا بدست خواهد آمد.

کلمات کلیدی: بنزن، تولوئن، زایلن، شبیه‌سازی پایا، شبیه‌سازی دینامیکی، آکنهٔ ساختاریافته، افزایش ظرفیت.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- اهداف پژوهش ۶

۱-۳- نوآوری پژوهش ۶

۱-۴- ساختار پایان نامه ۷

فصل دوم: مروری بر کارهای گذشته ۹

۲-۱- مقدمه ۱۰

۲-۲- مدلسازی و شبیه سازی ۱۰

۲-۲-۱- کاربردهای شبیه سازی ۱۱

۲-۲-۱-۱- کاربردهای شبیه سازی در پژوهش و توسعه فرآیندها ۱۱

۲-۲-۱-۲- کاربردهای شبیه سازی در طراحی فرآیند ۱۱

۲-۲-۱-۳- کاربردهای شبیه سازی در بهره برداری مطلوب از تاسیسات موجود ۱۲

۲-۳- کاربرد شبیه سازی در حالتهای پایا و دینامیک ۱۳

۲-۳-۱- کاربرد شبیه سازی در حالت پایا ۱۳

۲-۳-۲-کاربرد شبیه سازی در حالت دینامیک ۱۳

۲-۴- پروژه های اجرا شده به منظور جایگزینی آکنه های ساختاریافته در جهت افزایش ظرفیت ۱۳

۲-۴-۱-پروژه های انجام شده توسط شرکت Sulzer ۱۴

۲-۴-۱-۱- برج اتمسفریک ۱۴

۲-۴-۱-۲- برجهای Water quench و Caustic Wash ۱۴

۲-۴-۲- پروژههای انجام شده توسط شرکت Koch-Glitsch ۱۶

۲-۴-۲-۱- برج پروپان گیری ۱۶

۲-۴-۲-۲- برج Ehthylene Quench ۱۷

۲-۴-۲-۳- برجهای تولوئن و بنزن ۱۸

۲-۴-۲-۴- برج خلاء پالایشگاه شیراز ۱۸

۲-۵- پروژه های تحقیقاتی انجام شده به منظور جایگزینی آکنه های ساختاریافته در برجهای تقطیر ۲۰

۲-۵-۱- برجهای واحد بالاسری تقطیر اتمسفریک پالایشگاه شیراز ۲۰

۲-۵-۲- واحد استخراج بنزن مجتمع پتروشیمی تبریز ۲۲

۲-۶- جمع بندی ۲۴

فصل سوم: آشنایی با آروماتیک‌های بنزن، تولوئن و زایلن و شرح کلی فرآیند تولید آنها ۲۵
۳-۱- مقدمه ۲۶
۳-۲- تاریخچه آروماتیکها ۲۶
۳-۳- آشنایی عمومی با آروماتیکها ۲۶
۳-۳-۱- بنزن ۲۷
۳-۳-۲- تولوئن ۲۷
۳-۳-۳- زایلین ها ۲۸
۳-۳-۳-۱- مخلوط زایلین ها ۲۹
۳-۳-۳-۲- پارازایلین ۲۹
۳-۳-۳-۳- ارتوزایلین ۳۰
۳-۳-۳-۴- متازایلین ۳۱
۳-۴- دانشنامه آروماتیکها ۳۱
۳-۵- شرح کلی فرآیند تولید آروماتیک ها در مجتمع پتروشیمی بوعلی سینا ۳۳
۳-۵-۱- خوراک ۳۳
۳-۵-۲- محصولات اصلی ۳۴
۳-۵-۲-۱- پارازایلین ۳۴
۳-۵-۲-۲- بنزن ۳۴
۳-۵-۲-۳- اُرتوزایلین ۳۴
۳-۵-۳- محصولات فرعی ۳۵
فصل چهارم: معرفی برجهای آکنده از آکنه‌های ساختاریافته و مقایسه آن با سینی‌ها و آکنه‌های نامنظم ۳۷
۴-۱- مقدمه ۳۸
۴-۲- برجهای سینی دار ۳۹
۴-۲-۱- معرفی و مقایسه سینی ها ۴۰
۴-۲-۲- پدیده های کاهش راندمان در برجهای تقطیر سینی دار ۴۲
۴-۳- برجهای آکنده ۴۴
۴-۳-۱- بستر آکنده ۴۴
۴-۳-۱-۱- آکنه های نامنظم ۴۵
۴-۳-۱-۱-۱- ویژگیهای آکنه های نامنظم ۴۶
۴-۳-۱-۲- آکنه های ساختاریافته ۴۶
۴-۳-۱-۲-۱- ساختار هندسی و ویژگیهای آکنه های ساختاریافته ۴۸
۴-۳-۱-۲-۲- انواع آکنه های ساختاریافته ۵۰
۴-۳-۱-۳- آکنه های شبکه ای ۵۱
۴-۳-۲- توزیع کننده مایع ۵۱

۴-۳-۲-۱- انواع توزیع کننده های مایع ۵۳
۴-۳-۲-۲- دستورالعمل های انتخاب توزیع کننده های مایع ۵۳
۴-۴- اهداف استفاده از آکنه ها ۵۴
۴-۴-۱- اهداف مربوط به بیشینه ساختن بازده ۵۴
۴-۴-۲- اهداف مربوط به بیشینه سازی ظرفیت ۵۵
۴-۴-۳- سایر اهداف ۵۵
۴-۵- مقایسه برجهای سینی دار و آکنده ۵۶
۴-۶- مقایسه آکنه های ساختاریافته با نامنظم ۵۷
۴-۶-۱- ظرفیت و بازده ۵۷
۴-۶-۲- افت فشار در هر مرحله تئوریک ۵۸
۴-۶-۳- عملکرد در سرویس هایی با فشار بالا و جریان مایع زیاد ۵۸
۴-۶-۴- کار با سیستمهای آبی / ویکسوز/ با کشش سطحی بالا ۵۹
۴-۶-۵- موجودی مایع ۶۰
۴-۶-۶- رطوبت و جریان مایع حداقل ۶۰
۴-۷- ملاحظات در خصوص تشخیص آکنه های ساختاریافته ۶۱
۴-۷-۱- فرآیندهای حاوی ذرات جامد ۶۱
۴-۷-۲- خوردگی و اکسیداسیون ۶۱
۴-۷-۳- حساسیت نسبت به اختلال ۶۲
۴-۷-۴- نگهداری و رفع اشکال ۶۲
۴-۷-۵- هزینه ۶۲
۴-۸- بررسی پارامترهای موثر بر عملکرد برجهای آکنده حاوی آکنه های ساختاریافته ۶۲
۴-۸-۱- افت فشار خشک و تر ۶۳
۴-۸-۲- ارتفاع معادل برای یک سینی تئوری ۶۳
۴-۸-۳- تجمع مایع ۶۳
۴-۸-۴- سطح تماس ویژه و سطح تماس موثر ۶۴
۴-۸-۵- تخلخل و قطر معادل ۶۴
۴-۸-۶- تر شوندگی ستونهای آکنده ۶۴
۴-۸-۷- طغیان و انباشتگی در ستونهای آکنده ۶۵
۴-۹- اهمیت افت فشار پایین در برجهای جداساز و تاثیر آکنه های ساختاریافته بر این امر ۶۵
۴-۹-۱- اثر ساختار هندسی آکنه ها بر کاهش افت فشار ۶۶
۴-۱۰- نتیجه گیری ۶۸

فصل پنجم: معرفی پتروشیمی بوعلی‌سینا و شبیه‌سازی حالت پایا و دینامیک بخش هپتان‌زدای واحد استخراج بنزن-تولوئن این پتروشیمی ۷۱
۵-۱- مقدمه ۷۲
۵-۲- تاریخچه صنعت پتروشیمی در ایران و جهان ۷۳
۵-۲-۱- پتروشیمی بوعلی سینا ۷۵
۵-۳- شرح فرآیند بخش جداسازی بنزن و تولوئن از زایلن ها (برج T-5001) ۷۵
۵-۴- فرضیات حاکم بر شبیه سازی ۷۸
۵-۵- انتخاب معادله حالت ترمودینامیکی ۸۲
۵-۵-۱- انواع معادلات ترمودینامیکی ۸۳
۵-۶- شبیه سازی فرآیند ۸۵
۵-۶-۱- بررسی دقت شبیه سازی با تعیین مدل ترمودینامیکی مناسب ۸۵
۵-۷- انجام شبیه سازی با بکارگیری مدل UNIF-LBY ۸۸
۵-۸- محاسبات اولیه پایا برای ورود به محیط دینامیکی ۹۱
۵-۹- انتخاب بهترین سینی برای کنترل دما ۹۲
۵-۱۰- شبیه سازی دینامیکی ۹۳
۵-۱۰-۱- کنترل کننده سطح مخزن جریان برگشتی ۹۵
۵-۱۰-۲- کنترل کننده فشار برج ۹۶
۵-۱۰-۳- کنترل کننده سطح مایع پایین برج ۹۶
۵-۱۰-۴- کنترل کننده جریان خوراک ۹۶
۵-۱۰-۵- کنترل کننده دمای سینی ۹۷
۵-۱۰-۶- نتایج حاصل از شبیه‌سازی دینامیک ۹۸
۵-۱۱- نتیجه گیری ۱۰۱
فصل ششم: جایگزینی سینی‌های برج هپتان‌زدا با آکنه‌های ساختاریافته از طریق شبیه‌سازی پایا و دینامیک و برآورد اقتصادی حاصل از عمل جایگزینی ۱۰۳
۶-۱- مقدمه ۱۰۴
۶-۲- جایگزینی آکنه های ساختاریافته ۱۰۶
۶-۳- طراحی و شبیه سازی برج حاوی آکنه های ساختاریافته در حالت پایا ۱۰۸
۶-۳-۱- تعیین و جایگزینی آکنهٔ مناسب و متناسب با شرایط عملیاتی موجود ۱۱۳
۶-۴- شبیه سازی برج حاوی آکنه های ساختاریافته در حالت دینامیک ۱۱۶
۶-۴-۱- آماده سازی برای رفتن به محیط دینامیک ۱۱۶
۶-۴-۲- شبیه سازی دینامیک برج آکنده از پکینگ Mellapak 250X ۱۱۶
۶-۴-۲-۱- تفسیر نتایج حاصل از شبیه سازی دینامیک ۱۱۹

۶-۵- برآورد اقتصادی حاصل از جایگزینی آکنه های ساختاریافته ۱۲۲
۶-۵-۱- مقدمه ای در حوزه مباحث طراحی و تحلیل اقتصادی ۱۲۲
۶-۵-۲- تخمین هزینه صورت گرفته در جایگزینی آکنه های ساختاریافته ۱۲۴
۶-۵-۳- تخمین سود بدست آمده از افزایش تولید محصولات اصلی واحد ۱۲۵
۶-۵-۴- محاسبه زمان بازگشت سرمایه و ارزش افزوده این طرح ۱۲۶
۶-۶- نتیجه گیری ۱۲۶
فصل هفتم: نتایج و پیشنهادات ۱۲۹
۷-۱- نتایج ۱۳۰
۷-۲- پیشنهادات ۱۳۲
مراجع ۱۳۳
پیوست ها ۱۳۷
پیوست (الف) - مراحل گام به گام شبیه سازی پایا ۱۳۸
پیوست (ب) - مراحل انجام شبیه سازی دینامیک ۱۴۳
پیوست (ج) - روابط افت فشار در بر های آکنده ۱۴۵
پیوست (د) - محاسبات ارتفاع معادل برای یک سینی تئوری HETP ۱۴۷
پیوست (ه) - مکاتبات مالی ۱۴۹
پیوست (و) - مراحل نصب و جایگزاری آکنه Mellapak و تجهیزات مرتبط با آن در برج تقطیر ۱۵۱

فهرست جدول‌ها

عنوان جدول **صفحه**

جدول ۲-۱. نتایج حالت قبل و بعد از جایگزینی با آکنه های ساختاریافته ۱۵
جدول ۲-۲. مقایسه شرایط عملیاتی برج در حالت سینی دار و با جایگزینی آکنه‌ها ۱۸
جدول ۲-۳. نتایج کلی حاصل از افزایش ظرفیت برج های واحد بالاسری تقطیر اتمسفریک ۲۱
جدول ۲-۴. نتایج حاصل از افزایش فرآورده های واحد تثبیت کننده بالاسری تقطیر اتمسفریک ۲۱
جدول ۲-۵. ابعاد محاسبه شده برای برج T-501 با تجهیزات داخلی مختلف ۲۳
جدول ۲-۶. مشخصات برجهای واحد جدید ۲۳
جدول ۳-۱. مشخصات فیزیکی بنزن ۲۷
جدول ۳-۲. مشخصات فیزیکی تولوئن ۲۸
جدول ۳-۳. مشخصات فیزیکی پارازایلین ۲۹
جدول ۳-۴. مشخصات فیزیکی ارتوزایلین ۳۰
جدول ۳-۵. مشخصات فیزیکی متازایلین ۳۱
جدول ۳-۶. خواص فیزیکی محصولات اصلی واحد در شرایط عملیاتی ۳۴
جدول ۴-۱. مشخصات هندسی برخی آکنه‌های ساختاریافته ۵۰
جدول ۴-۲. مقایسه ویژگیهای آکنه های ساختاریافته با آکنه‌های نامنظم و سینی‌ها ۶۹
جدول ۵-۱. نحوه نامگذاری نوع مواد ورودی به برج به همراه دبی آنها ۸۰
جدول ۵-۲. پیشنهاداتی برای انتخاب معادله ترمودینامیکی مطلوب ۸۴
جدول ۵-۳. اطلاعات مختصری از مدل ترمودینامیکی UNIF-LBY ۸۹
جدول ۵-۴. مقایسه نتایج از حاصل از شبیه سازی در دو حالت با اطلاعات PFD در شرایط فشارهای خروجی برابر ۸۹
جدول ۵-۵. ابعاد مخزن جریان برگشتی و پایه ستون برج ۹۳
جدول ۵-۶. اطلاعات مربوط به قطر و فاصله سینیهای برج ۹۴
جدول ۵-۷. مقایسه نتایج حاصل از شبیه سازی دینامیک در دو حالت Simple tray و Rigorous ۹۹
جدول ۶-۱. نتایج حاصل از شبیه سازی برج هپتان زدا با انواع آکنه های ساختاری Mellapak ۱۱۰
جدول ۶-۲. نتایج حاصل از جایگزینی آکنه های Mellapak 500X در برج با ظرفیت ثابت و افزایش ظرفیت ۱۱۱
جدول ۶-۳. نتایج حاصل از جایگزینی آکنه های Mellapak 250X در برج با ظرفیت ثابت و افزایش ظرفیت در محیط شبیه سازی پایا و مقایسه آنها با یکدیگر و اطلاعات طراحی واحد ۱۱۷

جدول ۶-۴. نتایج حاصل از جایگزینی آکنه های Mellapak 250X در برج با ظرفیت ثابت و افزایش ظرفیت در محیط شبیه سازی دینامیک و مقایسه آنها با یکدیگر و اطلاعات طراحی واحد ۱۲۰
جدول ۶-۵. نتایج حاصله از جایگزینی آکنه های Mellapak 250X در محیط شبیه سازی دینامیک برای رسیدن به افزایش ظرفیت برج هپتانزدا با حداقل کیفیت ۹۹٪ در اجزای کلیدی و حداکثر ظرفیت ممکن.. ۱۲۱

فهرست شکل‌ها

عنوان شکل **صفحه**

شکل ۲-۱. نمایی از یک برج Water quench در یک واحد عملیاتی ۱۴
شکل ۲-۲. نمایی از یک برج Water quench قبل و بعد از جایگزینی با آکنه‌های ساختاری ۱۵
شکل ۲-۳. نمایی از یک برج Caustic Wash قبل و بعد از جایگزینی با آکنه‌های ساختاری ۱۶
شکل ۲-۴. برج پروپان‌گیری قبل و بعد از جایگزینی با آکنه‌های ساختاری ۱۷
شکل ۲-۵. نمایی از واحد تثبیت کننده بنزین خام با برج حاوی آکنه‌های ساختاریافته ۲۰
شکل ۳-۱. ساختار شیمیایی ایزومرهای زایلن ۲۸
شکل ۳-۲. تبدیل نرمال هگزان به بنزن در طی فرآیندهای به ترتیب سیکلیزاسیون و آروماتیزاسیون در سیستم راکتور شیمیایی دما و فشار بالا تحت عنوان ریفورمِر ۳۲
شکل ۱-۱. مراحل کلی فرآیند تولید آروماتیک‌ها ۳۳
شکل ۴-۱. نمایی از یک سینی برج تقطیر ۳۹
شکل ۴-۲. نمایی از یک سینی دریچه ای ۴۲
شکل ۴-۳. الف) INTALOX®ULTRA ب) Super INTALOX® Saddles ۴۶
شکل ۴-۴. تاریخچه آکنه های ساختاریافته ۴۷
شکل ۴-۵. نحوه قراگیری المانها و زاویه کانالها ۴۹
شکل ۴-۶. ساختار هندسی و طرز قرارگیری صفحات و کانالها در آکنه‌های ساختاریافته ۴۹
شکل ۴-۷. آکنه ساختاری Mellapak 250 ..... ۵۱
شکل ۴-۸. نمودار کیستر برای آکنه های ساختار یافته ۶۶
شکل ۴-۹. مقایسه آکنه های Mellapak و Mellapakplus ۶۷
شکل ۵-۱. نمایی کلی از واحد ۵۰۰ پتروشیمی بوعلی سینا ۷۶
شکل ۵-۲. PFD واحد جداسازی اولیه بنزن و تولوئن از زایلن ها (واحد ۵۰۰) ۷۸
شکل ۵-۳. طرح شماتیک واحد جداسازی بنزن، تولوئن و زایلن ۸۲
شکل ۵-۴. نمایی از واحد شبیه سازی شده ۸۵
شکل ۵-۵. مقایسه مقادیر محاسبه شده توسط نرم افزار با یکدیگر، با اعمال مدلهای ترمودینامیکی پیشنهادی و مقدار واقعی واحد از نقطه نظر مجموع دبی ایزومرهای زایلن در بالای برج ۸۶
شکل ۵-۶. مقایسه مقادیر محاسبه شده توسط نرمافزار با یکدیگر، با اعمال مدلهای ترمودینامیکی پیشنهادی و مقدار واقعی واحد از نقطه نظر مجموع انرژی مصرفی جوش آور و چگالنده ۸۷

شکل ۵-۷. منحنی پروفایل دمایی سینی‌های برج بر اساس مراحل سینی‌ها ۹۲
شکل ۵-۸. طرح چیدمان کنترلی مورد استفاده در برج هپتان زدا ۹۵
شکل ۵-۹. منحنی حاصل از آزمون پسخور رله ۹۸
شکل ۵-۱۰. پروفایل روند طغیان بر روی سینی‌های برج ۱۰۰
شکل ۵-۱۱. پروفایل کسر جریان برگشتی در ناودانی‌های برج ۱۰۱
شکل ۶-۱. نمودار مقدار HETP پیشنهادی Mellapak 250 XوY ۱۰۹
شکل ۶-۲. نمایی ساده از مسیر جریان فازها در یک برج پرشده ۱۱۳
شکل ۶-۳. مقایسه روند افت فشار در طول برج سینی‌دار و آکنده از Mellapak 250X ۱۱۴
شکل ۶-۴. منحنی پروفایل دمایی در برج آکنده از پکینگ Mellapak 250X ۱۱۷

فهرست علائم

علامت	نشانه
B	شدت جریان محصول پایین برج بر حسب کیلوگرم بر ساعت
D	شدت جریان محصول بالای برج بر حسب کیلوگرم بر ساعت
FC	کنترل‌کننده جریان
f_i^L	فوگاسیته مایع
f_i^V	فوگاسیته بخار
$HETP$	ارتفاع معادل یک سینی تئوری
K_c	بهره کنترل‌کننده
K_G	ضریب انتقال جرم در فاز بخار
K_L	ضریب انتقال جرم در فاز مایع
LC	کنترل‌کننده سطح
OP	پارامتر خروجی
P	فشار (بر حسب بار)
ΔP	افت فشار در طول بستر پک
PC	کنترل‌کننده فشار
PFD	دیاگرام جریانی فرآیند
PID	کنترل‌کننده تناسبی انتگرالی مشتقی
PV	متغیر فرآیندی
T	دما (بر حسب درجه سانتیگراد)

t	زمان
Δt	بازه زمان
TC	کنترل‌کننده دما
u_g	سرعت ویژه گاز
U_{GS}	سرعت ظاهری فاز گاز
u_L	سرعت ویژه مایع
U_{LS}	سرعت ظاهری فاز مایع
V	حجم بستر آکنده (بر حسب متر مکعب)
x_i	جزء مولی i در فاز مایع
y_i	جزء مولی i در فاز بخار

حروف یونانی

α	فراریت نسبی
ε	تخلخل در بستر آکنده
ρ_g	دانسیته بخار
τ_I	ثابت زمانی انتگرال
φ_i	ضریب فوگاسیته جزء i

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

عملیات جداسازی یکی مهمترین فرآیندهایی است که در یک مجموعه شیمیایی انجام می‌گیرد. یکی از مهمترین روش‌های جداسازی عملیات تقطیر می‌باشد. تقطیر پر کاربردترین روش جداسازی است و بطور معمول انتخاب اول در جداسازی مخلوط مایعات است. وقتی این انتخاب کنار گذاشته شود سایر جایگزین‌ها بررسی می‌شوند. تقطیر به راحتی در دما و فشار مناسب انجام پذیر است و به راحتی به صورت چند مرحله‌ای در می‌آید. در عملیات تقطیر جداسازی بر اساس فراریت نسبی اجزاء می‌باشد. عمل تقطیر به سهولت انجام می‌گیرد و به راحتی در هر مقیاسی قابل انجام است. در این فرآیند هیچ گونه ماده جدیدی وارد سیستم نشده و آلودگی کمتری نسبت به سایر روش‌های جداسازی دارد. از منظر هزینه نیز نسبت به فرآیندهایی مثل استخراج، اقتصادی‌تر می‌باشد [۱]. در فرآیند تقطیر یک خوراک که شامل دو یا چند جزء می‌باشد به دو یا چند محصول جدا می‌شود. محصول بالای برج و پایین برج دارای ترکیبات متفاوت از یکدیگر و از خوراک می‌باشند. خوراک اغلب مایع و یا ترکیبی از مایع و بخار می‌تواند باشد. محصول پایین برج در بیشتر مواقع مایع است در حالی که محصول بالای برج مایع، بخار و یا هر دوی آن‌ها می‌تواند باشد. برای داشتن یک فرآیند تقطیر، علاوه بر اینکه اجزاء تشکیل دهنده خوراک دارای فراریت‌های متفاوتی از یکدیگر هستند باید فاز دوم به گونه‌ای تشکیل گردد که در هر مرحله از برج جداسازی، این دو فاز در تماس با یکدیگر باشند. جهت ایجاد تماس بین فازهای مایع و بخار و انجام عمل انتقال جرم بین فازها، می‌توان از سینی و یا بستر آکنده در برج‌های تقطیر استفاده کرد. البته باید به این نکته نیز اشاره کرد که امروزه از برج‌های آکنده در فرآیندهای جداسازی دیگری به غیر از تقطیر مانند برج‌های جذب و دفع نیز استفاده می‌شود [۲].

تحقیق و مطالعه بر روی واحدهای مختلف پالایشگاهی و پتروشیمی از سال‌های گذشته تاکنون مورد توجه محققین و مهندسین بوده است و فعالیت‌های مختلفی در این زمینه صورت گرفته است. از آنجا که پتروشیمی بوعلی بندر امام یکی از مهمترین پتروشیمی‌های کشور بوده و حجم بالایی از محصولات بالادستی میعانات گازی در این پتروشیمی تولید می‌گردد، از این رو انجام تحقیق و مطالعه بر روی واحد استخراج بنزن-تولوئن[1] (واحد ۵۰۰) که یکی از واحدهای مهم این پتروشیمی است، حائز اهمیت می‌باشد.

[1] BT Extraction Unit