



مؤسسه آموزش عالی غیر دولتی غیر انتفاعی انرژی

## شبیه سازی و بهینه سازی برج های جداسازی و خالص سازی اتیلن و بوتن پتروشیمی با مجموعه ی نرم افزار Aspen Tech

پایان نامه یا رساله برای دریافت درجه کارشناسی ارشد « M.Sc »  
در رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

نام دانشجو

مهدی کیانی

اساتید راهنما:

دکتر مجتبی میرزایی

دکتر حیدر مداح

آذر ۱۳۹۸

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج

### باسمه تعالی

اینجانب مهدی کیانی به شماره دانشجویی ۳۰۶۳ دانشجوی رشته مکانیک - تبدیل انرژی مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد تأیید می‌نمایم که کلیه‌ی نتایج این پایان‌نامه/رساله حاصل کار اینجانب و بدون هرگونه دخل و تصرف است و موارد نسخه‌برداری‌شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده‌ام. در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان و قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی، ضوابط و مقررات آموزشی، پژوهشی و انضباطی ...) با اینجانب رفتار خواهد شد و حق هرگونه اعتراض درخصوص احقاق حقوق مکسب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می‌نمایم. در ضمن، مسئولیت هرگونه پاسخگویی به اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذی‌صلاح (اعم از اداری و قضایی) به عهده‌ی اینجانب خواهد بود و دانشگاه هیچ‌گونه مسئولیتی در این خصوص نخواهد داشت.

نام و نام خانوادگی: مهدی کیانی

امضا و تاریخ:

## مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

بهره‌برداری از این پایان‌نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط

استاد راهنما به شرح زیر تعیین می‌شود، بلامانع است:

- ☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله برای همگان بلامانع است.
- ☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.
- ☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله تا تاریخ ۹۸/۹/۱۴ ممنوع است.

نام استاد یا اساتید راهنما:

تاریخ:

امضا:

تقدیم بہ:

شکریاں نثار ایزدمنان کہ توفیق را رفیق را ہم ساخت تا این پایان نامہ را بہ پایان برسانم۔

بہ پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمہ اشارہ از خود گذشتگان

بہ پاس حافظہ سرشار و گرمای امید بخش وجودشان کہ در این سردترین روزگار ان بہترین پشتیبان است

بہ پاس قلب ہی بزرگشان کہ فریاد رس است و سرگردانی و ترس در پناہشان بہ شجاعت می گراید

و بہ پاس محبت ہی بی دریغشان کہ هرگز فروکش نمی کند

این مجموعہ را بہ پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم

ماحصل آموختہ ہایم را تقدیم می کنم بہ کسی کہ مہر آسمانی اش، صمیمیت و دوست داشتش آرام بخش

آلام زمینی ام است۔

تشکر و قدردانی:

اساتید محترم راهبنا جناب آقایان دکتر حیدر مداح و دکتر مجتبی میرزایی  
شماره شانی بخش تاریکی جان، هستین و عظمت اندیشه رانور می بخشین. چگونه پاس کویم مهربانی و لطف  
شمارا که سرشار از عشق و یقین است. چگونه پاس کویم تاثیر علم آموزی شمارا که چراغ روشن هدایت  
را بر کلبه می محروم وجودم فروزان ساخته است. آری در مقابل این همه عظمت و شکوه اساتید محترم مرانه  
توان پاس است و نه کلام وصف.

## چکیده

از جمله مواد پر مصرف در واحدهای پتروشیمی جهت تولید محصولات با ارزش، مشتقات بوتن و اتیلن است. این دو ماده با ارزش در صنعت به روش کراکینگ هیدروکربن‌های C<sub>4</sub> در برج‌های با ارتفاع زیاد است. در روش دیگری از دیمریزاسیون بوتن و اتیلن تولید می‌شوند. خوراک واحد جداسازی و خالص‌سازی اتیلن و بوتن در پتروشیمی از واحد کاتالیستی در این مجتمع می‌باشد. در این پژوهش از بسته‌ی ترمودینامیکی Peng-Robinson و مجموعه نرم افزار Aspen Tech برای شبیه‌سازی و تحلیل این واحد استفاده شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که بیشترین مقدار ترکیبات بوتن در قسمت بالای برج 20-T-4002 به عنوان محصول اصلی وجود دارد که تقریباً بیش از ۹۹/۸۶ درصد مولی با 3.877e+6 kJ/h بار حرارتی ریویلر حاصل شد. علاوه براین بیشتر مقدار ترکیبات ۱-هگزن و نرمال-هگزان در جریان خروجی از پایین برج می‌باشد.

کلمات کلیدی: خالص‌سازی اتیلن، شبیه‌سازی، بوتن

## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول کلیات تحقیق.....	۱
۱-۱- مقدمه.....	۲
۲-۱- اهمیت و ضرورت تحقیق.....	۳
۳-۱- اهداف مشخص تحقیق.....	۴
۴-۱- بررسی فرآیند های غشایی.....	۴
۱-۴-۱- جنس غشاها.....	۵
۲-۴-۱- طراحی.....	۶
۵-۱- جنبه جدید بودن و نوآوری در تحقیق.....	۶
۶-۱- مکانیسم های جداسازی.....	۷
فصل دوم پیشینه تحقیق.....	۹
۱-۲- مقدمه.....	۱۰
۲-۲- مروری بر کارهای گذشته.....	۱۰
فصل سوم شبیه سازی و بهینه سازی.....	۱۷
۱-۳- مقدمه.....	۱۸
۲-۳- تشریح کلی فرآیند.....	۱۸
۳-۳- شبیه سازی.....	۲۱
فصل چهارم تحلیل نتایج.....	۲۴
۱-۴- تحلیل فرآیندی.....	۲۵
۲-۴- تحلیل انرژی واحد جداسازی و خالص سازی اتیلن و بوتن پتروشیمی باختر.....	۳۳
۳-۴- تحلیل اقتصادی واحد جداسازی و خالص سازی اتیلن و بوتن پتروشیمی باختر.....	۳۳
۴-۴- بهینه سازی پارامترهای فرآیندی.....	۳۴
فصل پنجم نتایج.....	۳۹
۱-۵- نتیجه گیری.....	۴۰
فهرست منابع.....	۴۱

## فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲- مقایسه نتایج شبیه سازی و نتایج طراحی در جداسازی اتیلن.....	۱۴
جدول ۱-۴- خوراک واحد جداسازی و خالصسازی اتیلن و بوتن در پتروشیمی باختر.....	۲۵
جدول ۲-۴- پارامترهای متقابل.....	۲۵
جدول ۳-۴- نتایج شبیه سازی برج 20-T-4001.....	۲۸
جدول ۴-۴- نتایج شبیه سازی برج 20-T-4002.....	۳۲
جدول ۵-۴- Utility های گرم و سرد فرآیندی واحد.....	۳۳
جدول ۶-۴- نتایج شبیه سازی با Aspen Economics Analyzer.....	۳۴
جدول ۷-۴- هزینه های برخی از تجهیزات در واحد جداسازی و خالص سازی اتیلن و بوتن	
پتروشیمی باختر.....	۳۴
جدول ۸-۴- مقایسه Utility ها برای دو حالت کنونی و بهینه سازی شده.....	۳۸

## فهرست شکل ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۲- شماتیک کلی فرآیند ایزومریزاسیون تولید بوتن [۳].....	۱۰
شکل ۲-۲- شماتیک کلی فرآیند خالص سازی ۱-بوتن [۳].....	۱۱
شکل ۳-۲- بهینه سازی واحد اتیلن [۵].....	۱۲
شکل ۴-۲- شماتیک کلی شبیه سازی شده ی واحد اتیلن [۵].....	۱۲
شکل ۵-۲- مقایسه ی بازده و اتلاف اکسرژی برج های اتیلن [۵].....	۱۳
شکل ۶-۲- تاثیر جریان برگشتی برج ها در هزینه های عملیاتی [۵].....	۱۳
شکل ۷-۲- شماتیک کلی واحد اتیلن با استفاده از نرم افزار PROII [۶].....	۱۵
شکل ۸-۲- شماتیک کلی راکتور فرآیند دیمریزاسیون [۷].....	۱۵
شکل ۹-۲- شماتیک شبیه سازی شده واحد ۱-بوتن با نرم افزار Aspen Hysys [۸].....	۱۶
شکل ۱۰-۲- شماتیک کلی پینچ فرآیند ۱-بوتن [۸].....	۱۶
شکل ۱-۳- شماتیک صنعتی برج جداسازی اتیلن و ترکیبات سبک.....	۱۹
شکل ۲-۳- شماتیک صنعتی جداسازی بوتن و C6+.....	۲۰
شکل ۳-۳- روش حل مدل ترمودینامیکی در نرم افزار Aspen Hysys.....	۲۳
شکل ۱-۴- شماتیک کلی شبیه سازی شده ی واحد جداسازی و خالص سازی اتیلن و بوتن.....	۲۶
شکل ۲-۴- جریان های ورودی و خروجی به برج 20-T-4001.....	۲۷
شکل ۳-۴- جداسازی متان در هر یک از سینی های برج.....	۲۹
شکل ۴-۴- جداسازی اتیلن در هر یک از سینی های برج.....	۲۹
شکل ۵-۴- توزیع اجزاء در سینی های برج: الف) اجزای ۱-بوتن و نرمال-بوتان، (ب) اتان، (ج) اکتان، (د).....	۳۰
شکل ۶-۴- تغییرات فشار در طول برج 20-T-4001.....	۳۱
شکل ۷-۴- تغییرات دما در طول برج 20-T-4001.....	۳۱
شکل ۸-۴- توزیع اجزاء در سینیهای برج: الف) ۱-بوتن، (ب) ۱- هگزن و نرمال-هگزان در برج 20-T-4002.....	۳۲
شکل ۹-۴- تاثیر دمای خوراک ورودی به برج 20-T-4001 در جداسازی اتیلن و بار حرارتی.....	۳۵

- شکل ۴-۱۰- تاثیر دمای خوراک ورودی به برج 20-T-4001 در جداسازی ۱-بوتن و بار حرارتی..... ۳۵
- شکل ۴-۱۱- تاثیر دمای خوراک ورودی به برج 20-T-4002 در جداسازی ۱-بوتن و بار حرارتی..... ۳۶
- شکل ۴-۱۲- تاثیر دمای خوراک ورودی به برج 20-T-4002 در جداسازی ۱-هگزن و بار حرارتی..... ۳۶
- شکل ۴-۱۳- شماتیک واحد در حالت بهینه سازی شده..... ۳۷

# **فصل اول**

## **کلیات تحقیق**

## ۱-۱- مقدمه

شیرین سازی گاز در صنعت گاز و در صنایع نفت، پتروشیمیایی و شیمیایی بدلیل نیاز به حذف موادی که توسط آژانسهای زیست محیطی مشخص شدهاند پیچیدهتر شده است. گاز دی اکسیدکربن یکی از مهمترین گازهای گلخانه ای است. از دیدگاه زیست محیطی حذف اتیلن و  $\text{CO}_2$  از محیط به دلیل مضرات ناشی از آن ضروری است بطوریکه حد مجاز انتشار اتیلن و  $\text{CO}_2$  به محیط توسط موافقتنامه کیوتو به صورت قانون در آمده است. غلظت اتیلن و  $\text{CO}_2$  در خروجی نیروگاههای گازی حدود 3-5% و نیروگاههای فسیلی حدود 15-13% می باشد که حذف این گاز را الزامی می نماید. جداسازی اتیلن و  $\text{CO}_2$  در بسیاری از صنایع از جمله شیرین سازی گاز طبیعی، حذف اتیلن و  $\text{CO}_2$  از گازهای همراه، جداسازی اتیلن و  $\text{CO}_2$  از بیوگاز تولیدی از زباله های بیولوژیکی، در تولید هیدروژن از رفرمینگ گاز طبیعی، حذف اتیلن و  $\text{CO}_2$  از گازهای کراک شده در واحدهای تولید اولفین و از گاز سنتز در واحدهای تولید متانل و آمونیاک، نمونه ای از لزوم جداسازی گاز دی اکسید کربن می باشند که ضرورت بررسی و مطالعه بر روی فرایندهای جداسازی این گاز را با اهمیت و مهم می نماید. در بسیاری از فرایندهای کاتالیستی، اتیلن و  $\text{CO}_2$  بعنوان مسموم کننده کاتالیست محسوب می گردد یا عامل واکنشهای جانبی میشوند. از اینرو اتیلن و  $\text{CO}_2$  به عنوان عنصر نامطلوب در گازهای فرایندی محسوب میشود و واحدهای حذف کردن آنها از جمله مراحل کلیدی در اکثر واحدهای پتروشیمی میباشد.

جداسازی و خالص سازی مخلوط های گازی بوسیله یکسری فرایندهای جداسازی از جمله جذب گاز در حلال<sup>۱</sup>، جذب گاز با جاذبها<sup>۲</sup>، جداسازی با سرد کردن<sup>۳</sup>، تقطیر و جداسازی با غشاءها انجام می شود. با توجه به افزایش روزافزون هزینه انرژی و سرمایه گذاری اولیه، فرایندهای حذف اتیلن و  $\text{CO}_2$  باید بهبود یافته و فرایندهای جدید جایگزین شوند. فرایندهای غشائی از روش های نوین جداسازی هستند که بدون استفاده از تغییر فاز، اجزاء مورد نظر را از سیال جدا می نمایند. عدم تغییر فاز در طول فرایند جداسازی موجب میشود که جداسازی با صرف انرژی کمتری صورت گیرد. دو خصیصه اصلی غشاءها یعنی توانائی قابل توجه در انجام انواع جداسازی ها و حداقل مصرف انرژی، عوامل گسترش روز افزون فرایند های غشائی میباشد. متداولترین روش برای حذف و جداسازی اتیلن و  $\text{CO}_2$

1 Associated gas

2 Gas absorption

3 Pressure swing adsorption

4 Cryogenic

بوسیله جذب در محلولهای آمینی در دستگاههای معمول است. برجهای آکنده، برجهای سینی دار و برجهای پاشنده معمولاً در فرآیندهای جذب اتیلن و CO<sub>2</sub> استفاده می شوند. سرمایه گذاری ثابت بالا، هزینه عملیاتی زیاد، پراکندگی فازی و سطح محدود انتقال جرم از جمله نواقص این دستگاهها می باشند. اخیراً" غشاءها به عنوان یک جایگزین مناسب برای فرآیندهای جداسازی متداول مورد توجه بوده اند. غشاءها انتظار می رود تا این نواقص دستگاههای متداول را مرتفع کنند. در تماس دهنده های غشائی<sup>۱</sup>، گاز ترش از یک سو و مایع جاذب از سوی دیگر غشاء جریان می یابد و در غشاءهای مایع که مایع جاذب در حفرات غشاء نشاندۀ شده است، عمل جداسازی بدون اختلاط فازها روی میدهد که نهایتاً از مسائلی همچون طغیان، کف کردن و ماندگی جلوگیری می کند.

با توجه به مطالب گفته شده، استفاده از غشاءها برای جداسازی و خالص سازی گازها، بخارات و مایعات فرایندی در مقایسه با دیگر فناوریهای شناخته شده مانند جذب و تقطیر، فرایندی جذاب برای صنایع نفت، گاز و پتروشیمی است زیرا فناوری غشایی، کم هزینه، کم مصرف (از نظر انرژی) و دوستدار محیط زیست است. با این همه استفاده گسترده از غشاءها به دلیل محدودیت و مشکل در تهیه غشاهایی با ترکیب مناسب از خواص انتخاب پذیری بالا و عبوردهی بالا، محدود شده است. در مواد پلیمری رایج در تهیه غشاءها، با افزایش انتخاب پذیری، عبوردهی کاهش می یابد. نیاز به غشاهایی با مجموعه خواص مطلوب شامل شار عبوری بالا، انتخاب پذیری بالا و پایداری شیمیایی، مکانیکی و حرارتی مناسب، توسعه غشاءهای زمینه مختلط را سبب شده است. در این مطالعه برای حذف اتیلن و CO<sub>2</sub> از گاز طبیعی از غشای فیبرتوخالی پلی وینیل ایدین فلوراید PVDF اغشته به MDEA استفاده خواهد شد.

## ۱-۲- اهمیت و ضرورت تحقیق

حذف دی اکسید کربن از گاز طبیعی جهت تصفیه آن و گاز سنتز برای بدست آوردن هیدروژن خالص یکی از فرایندهای مهم در صنایع گاز و پتروشیمی می باشد. فرایندهایی مرسوم برای این منظور مانند جذب با انواع حلالهای آلی پر هزینه و پیچیده می باشند. استفاده از جداسازی غشائی به دلیل کم بودن میزان انرژی مورد نیاز در این فرآیندها و انعطاف پذیر بودن آنها به عنوان یک روش جایگزین در سالهای اخیر در صنعت گاز مطرح گردیده است.

### ۳-۱- اهداف مشخص تحقیق

اهداف آرمانی: حذف اتیلن و CO<sub>2</sub> از گاز طبیعی  
هدف کلی: کارایی غشا در حذف اتیلن و CO<sub>2</sub> از جریان گاز  
اهداف کاربردی: بررسی تاثیر فشار بر عملکرد غشا

### ۴-۱- بررسی فرآیندهای غشایی

در فرایند جداسازی، فیلتراسیون را با عناوین فیلتراسیون ذرات، میکروفیلتراسیون، الترافیلتراسیون و نانوفیلتراسیون و اسمز معکوس (هایپرفیلتراسیون) دسته بندی می کنند. فنون فیلتراسیون پیشرفته می توانند ذرات را تا ۱ آنگستروم جدا کنند. فیلترهایی که جزء چهار دسته آخر هستند تحت یک عنوان مشترک با نام غشا قرار می گیرند که یکی از ابزارهای قدرتمند در فیلتراسیون است. ۲۵ سال است که از تجاری شدن این محصولات می گذرد.

ورود به عرصه نانوفیلتراسیون نیاز به آشنایی کامل با شاخه ها و فرآیندهای مختلف فیلتراسیون و اهمیت هر بخش دارد. بخش مهمی از مطالعات فیلتراسیون مرتبط با محیط متخلخل است. محیط فیلتری قلب هر واحد فیلتراسیون است و هرگونه تغییری در آن، منجر به خروجی متفاوتی می گردد. کارایی سامانه فیلتراسیون موفق تا حدود زیادی به انتخاب یک محیط متخلخل مناسب بر می گردد. انواع فیلترهای مصرفی بر حسب محیط کاربرد شامل فیلترهای لیفی، غشاهای متخلخل پلیمری، مواد متخلخل سرامیکی، مواد مویینه و بسترهای گرانولی (مانند شن) هستند. تخلخل، عبوردهی، خم و راستی مسیر سوراخ ها و ارتباط حفره ها، خواص ماکروسکوپی هستند که با ساختار حفره ها ارتباط دارند.

در ساده ترین تعاریف، فیلتراسیون واحدی است که ماده ای را طی فرایندی از ماده دیگر جدا می کند. محصول اصلی فیلتراسیون جامد پر ارزش یا سیالی تمیز خواهد بود. مایع و گاز دو سیال معمول عبوری از فیلترها هستند. به جداسازی ذرات معلق از یک مایع با عبور آن از یک محیط یا غشای متخلخل فیلتراسیون مایع اطلاق می شود. زمانی که سیال یا محلول حاوی ذرات معلق داخل سوراخ ها یا حفره های محیط فیلتر می شود، ذرات جامد در سطح پشت فیلتر و در برخی از موارد، دیواره سوراخ های فیلتر می مانند و سیال از فیلتر عبور می کند؛ به این سیال فیلتریت گفته می شود. (۷)

مهمترین ویژگی فیلترها تخلخل است، به همین دلیل فیلتر را یک محیط متخلخل می نامند. سوراخ ها درصد بسیار زیادی از حجم فیلتر را در بر می گیرند و شبکه پیچیده ای از

حفره ها را می سازند. روش ایجاد این حفره ها، میزان ارتباط داخلی آنها، موقعیت آنها، ابعاد و شکل آنها، خواص محیط متخلخل را شکل می دهند. تخلخل در خواص دیگری مانند عبور دهی حرارتی یا حایل حرارتی تاثیر دارد. بنا به تعریف تخلخل نسبتی از حجم محیط متخلخل است که شامل فضای خالی می باشد. رابطه به بیان دقیق میزان تخلخل اشاره دارد.

نانوفیلتراسیون برای نرم کردن و جداسازی مواد آلی طبیعی استفاده می شود و شامل ذرات محدود به ابعاد بزرگتر از ۰,۰۰۱ میکرون می شود. نانوفیلتراسیون از نظر هزینه انرژی و دفع یون و ابعاد سوراخ در بین روشهای دیگر شرایط بهینه ای را ایجاد کرده است. با یک نانوفیلتر می توان میزان غلظت یک باکتری را در یک محصول غذایی محلول به صفر رساند. در نمودار زیر تاثیر یک نانوفیلتر در کاهش آلاینده هوا بر حسب (ppm) به مقدار صفر مشاهده می شود. البته این فرایند تنها به کمک یک لایه صورت نمی گیرد، بلکه مجموعه از خصوصیات از لایه های مختلف با محوریت یک لایه اصلی فرایند فیلتراسیون را کامل می نمایند.

الترافیلتراسیون جهت جداسازی پروتئین ها و مواد آلی استفاده می شود و مولکولهایی بزرگتر از ۰,۰۰۵ میکرون را جدا می کند. فرایند دیالیز در این محدوده قرار می گیرد. میکروفیلتراسیون فرایند غشایی کم فشاری است که برای جداسازی ذرات، جامدات معلق کوچک و موادی دیگر مثل باکتری ها و کیست ها از آب استفاده می شود و مولکولها و ذراتی بزرگتر از ۰,۲ میکرون را جدا می کند که پربازده ترین روش برای آماده سازی آب جهت انجام فرایند اسمز معکوس است. میکروفیلتراسیون در صنایع تجاری برای فرایند مواد غذایی، آب میوه، نوشابه، ساخت چپ کامپیوتری و برای استریلیزه کردن داروهایی که نمی توانند حرارت داده شوند، استفاده می شود.

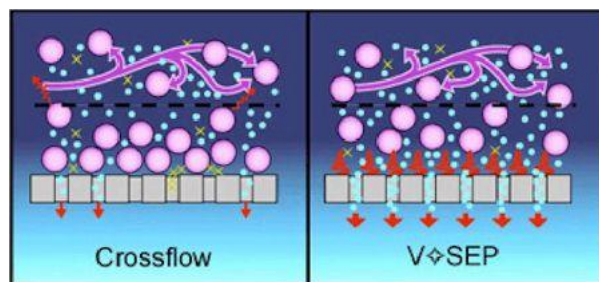
### **۱-۴-۱- جنس غشاها**

سرامیکی (مقاومت بالای حرارتی)

پلیمری (تخلخل بالا)

لیفی (مساحت سطح بالا و تخلخل بالا)

فلزی (مقاومت در برابر خوردگی)



## ۱-۴-۲- طراحی

در طراحی یک سامانه فیلتراسیون موارد ۱ تا ۹ مورد اهمیت است:

۱- خواص فیزیکی شیمیایی ذرات و سیال

۲- پیش بینی نرخ جریان

۳- ساختمان فیلتر

۴- نسبت جریان سیال به مساحت فیلتر

۵- روش پاکسازی کیسه

۶- نرخ زمان فیلتر کردن به زمان پاکسازی

۷- تنش های پاکسازی و فیلتراسیون

۸- طراحی مسیرهای عبور

۹- فضا و هزینه های مورد نیاز

کاربردهای این فیلترها در فیلتراسیون هوا، فیلتراسیون آب شرب و کشاورزی، فیلتراسیون فرایندهای ساخت صنعتی، فیلتراسیون در سامانه های تهویه، فیلتراسیون روغن، پاکسازی محیط زیست، نیروگاهها، کارخانجات پتروشیمی، کنترل فاضلاب، مواد شیمیایی و بهداشتی، عطر سازی، کاربردهای نانو فیلتراسیون، فیلتر کردن سیالات و روغن های صنعتی در کارخانجات ماشین سازی، فیلتراسیون مواد غذایی به خصوص محصولات لبنی، فیلتراسیون خون و دیالیز، کاغذ سازی برای استخراج آب و مواد شیمیایی از محلول آبی و صنایع الکترونیک است. (۷)

## ۱-۵- جنبه جدید بودن و نوآوری در تحقیق

فناوری غشایی یکی از روش هایی است که در سال های اخیر به دلیل مصرف انرژی کمتر و اطمینان عملکردی بالاتر و همچنین نیاز به فضا و هزینه اولیه کمتر، از اهمیت ویژه ای برخوردار است و در این میان غشاهای پلیمری گزینش پذیر بیشتر مورد توجه قرار گرفته اند.

یکی از کاربردهای مهم و رو به رشد این فرایند، جداسازی دی‌اکسیدکربن از گاز طبیعی می‌باشد. بر اساس پژوهش‌های صورت گرفته مشخص شد که پلیمرهای ترموپلاستیکی در جداسازی گاز اسیدی دی‌اکسیدکربن از متان می‌توانند کارایی بالایی داشته باشند. با توجه به مطالعه صورت گرفته برای تفکیک اتیلن و CO<sub>2</sub> از گاز طبیعی تا کنون گزارشی برای استفاده از PVDF اغشته به MDEA صورت پذیرفته است. هم چنین تا کنون تاثیر فشار بر روی جداسازی گاز مورد بررسی قرار نگرفته است.

## ۱-۶- مکانیسم های جداسازی

این مکانیسم ها به نوع ، ساختار و جنس غشا و جاذبه بین ذرات بستگی دارد. هنگامی که حفره های غشا کوچک تر از اندازه ذرات مورد نظر باشد مکانیسم جداسازی غربال شدن<sup>۱</sup> است. به این عمل فیلتراسیون سطحی می گویند. هنگامی که حفرات غشا بزرگتر از اندازه ذرات باشند یا اگر آنها از مواد رشته ای یا دانه ای ساخته شده باشد ، ذرات به درون غشا وارد خواهند شد. اگر این ذرات جذب سطح غشا شوند و درون آن باقی بمانند از سیال جدا خواهند شد و در غیر این صورت به همراه سیال از غشا عبور می کنند. به این نوع جداسازی فیلتراسیون عمقی<sup>۲</sup> می گویند. حذف ذرات کوچکتر از حفره های غشا به عوامل گوناگونی بستگی دارد. طول حفره های غشا معمولا خیلی بیشتر از قطر آنهاست ، لذا ذراتی که وارد غشا می شوند مسافتی طولانی را طی می کنند. در این حین ممکن است براساس پدیده جذب به سطح داخلی حفره ها بچسبند. در این حالت غشا تنها یک غربال نیست یعنی تمامی ذراتی که وارد آن می شوند لزوما از آن عبور نمی نمایند. جذب سطحی بر سطح حفره های غشا به نیروهای موجود بین آنها بستگی دارد که در این میان نیروهای الکترواستاتیکی و واندروالسی نقش مهمی را ایفا میکنند. در بعضی موارد اگر غشا باردار باشد و ذرات موجود در سیال نیز باردار باشند در صورتیکه بار آنها مشابه باشد ممکن است نیروهای دافعه الکترواستاتیکی قوی تر از جاذبه واندروالسی باشد و ذرات جذب داخل غشا نشده و عبور کنند مخالف بودن بار آنه سبب جذب آنها بر سطح داخلی غشا می شود. بار سطحی یک غشا را می توان با تغییر قدرت یونی سیال ، تغییر داد. شدت جریان سیال و فشار وارده بر غشا ، می توانند بر پدیده جذب اثر داشته باشند و با افزایش آنها امکان کنده شدن ذرات جذب شده بر سطح غشا وجود دارد. غلظت سیال نیز بر جذب اثر دارد و هر چه غلظت افزایش یابد جذب نیز بیشتر می شود.

1 Sieving

2 Depth filtration

از عوامل موثر دیگر حجم سیال عبوری از غشا است در صورتیکه حجم کمی از سیال عبور نماید ذرات موجود به غشا خواهند چسبید و در صورتیکه حجم عبور یافته زیاد باشد محل های جذب نهایتاً اشغال خواهند شد و امکان جذب کاهش می یابد. ضخامت غشا و جنس غشا نیز در این امر موثرند هر چه ضخامت غشا بیشتر باشد ذراتی که از داخل آن عبور می کنند امکان بیشتری برای چسبیدن به دیواره آن پیدا می کنند. نوع حفره های غشایی می تواند در عبور آسان یا به تله انداختن ذرات موثر باشد.

لازم به ذکر است که جداسازی بوسیله غشا یک فرایند صد در صد نیست بدان معنا که امکان عبور بعضی از ذرات که به طور تئوری انتظار دفع آنها می رود ، از غشا وجود دارد یا به عبارت دیگر هر چند که اندازه اسمی حفره های غشا کوچکتر از اندازه ذرات مورد نظر باشد اما ممکن است تعداد محدودی از این ذرات از غشا عبور نمایند. در واقع هیچ غشایی کامل نیست و ممکن است تعداد معدودی از حفره های بزرگتر از اندازه اسمی آن که توسط کارخانه سازنده آن اعلام می شود وجود داشته باشد که با روش های کنترل کیفی قابل تشخیص نباشند. حتی اگر ۹۹/۹۹۹ درصد از حفرات هم در حد قابل قبول باشند همان ۰/۰۰۱ درصد می تواند باعث عبور تعدادی از ذرات بزرگ از درون غشا گردد. در صورتیکه مخلوطی از ذرات درشت و ریز در سیال داشته باشیم ذرات بزرگتر بر روی سطح غشا باقی مانده و مانند غشایی که مانع عبور ذرات کوچک می شود عمل می نمایند. ذرات کوچک ممکن است بر سطح ذرات بزرگ چسبیده و امکان عبور نیابند. به عنوان مثال می توان به افزایش توانایی غشاهای میکروفیلتراسیون برای جداسازی ویروس از آب در حضور باکتری اشاره کرد. باکتری ها خود مانع عبور ویروس شده و در عین حال تعدادی از ویروس ها بر سطح باکتری ها چسبیده و در نتیجه از غشا عبور نمی نمایند.

## **فصل دوم**

### **پیشینه تحقیق**

## ۲-۱- مقدمه

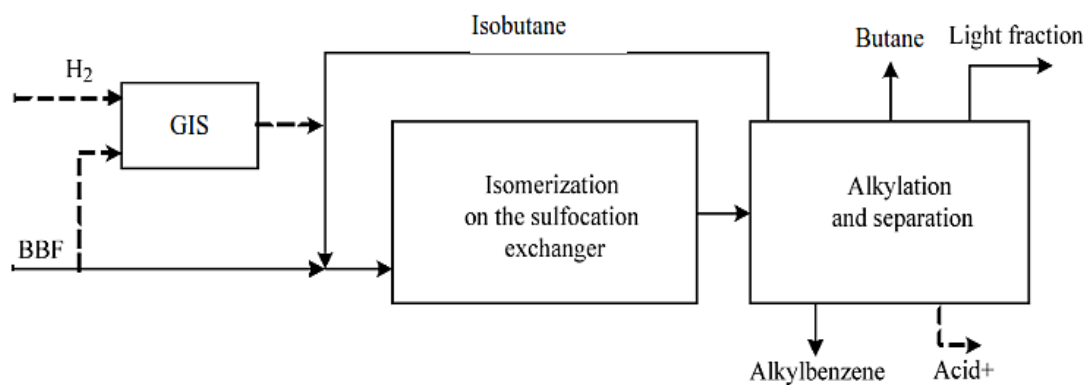
از جمله مواد پر مصرف در واحدهای پتروشیمی جهت تولید محصولات با ارزش، مشتقات بوتن و اتیلن است. این دو ماده با ارزش در صنعت به روش کراکینگ هیدروکربن-های C<sub>4</sub> در برج‌های با ارتفاع زیاد است. در روش دیگری از دیمریزاسیون بوتن و اتیلن تولید می‌شوند [۱].

هیدروکربن‌های C<sub>4</sub> با استفاده از فرآیندهای مختلف به ایزومرهایی از جمله ۱-بوتن، ۲-بوتن، ایزون بوتیلن تبدیل می‌شود. از میان این ایزومرها، ۱-بوتن به دلیل داشتن پیوند دوگانه و دانسیته الکترونی نسبتاً بالا، می‌تواند در واکنش‌هایی که دارای مکانیسم رادیکال آزاد است مورد استفاده قرار گیرند [۲].

از جمله ایزومرهایی بسیار مهم هیدروکربن C<sub>2</sub>، اتیلن است که از محصولات مطرح در صنعت پتروشیمی می‌باشد. این ایزومر کاربردهای زیادی در صنایع مختلف جهت تولید انواع رزین‌ها، نرم‌کننده‌ها و پلیمرها بکار برده می‌شود. اتیلن دارای خصوصیتی مشابه ۱-بوتن است که از جمله می‌توان به دانسیته آن اشاره کرد که از نظر سنگینی مشابه ۱-بوتن است [۲].

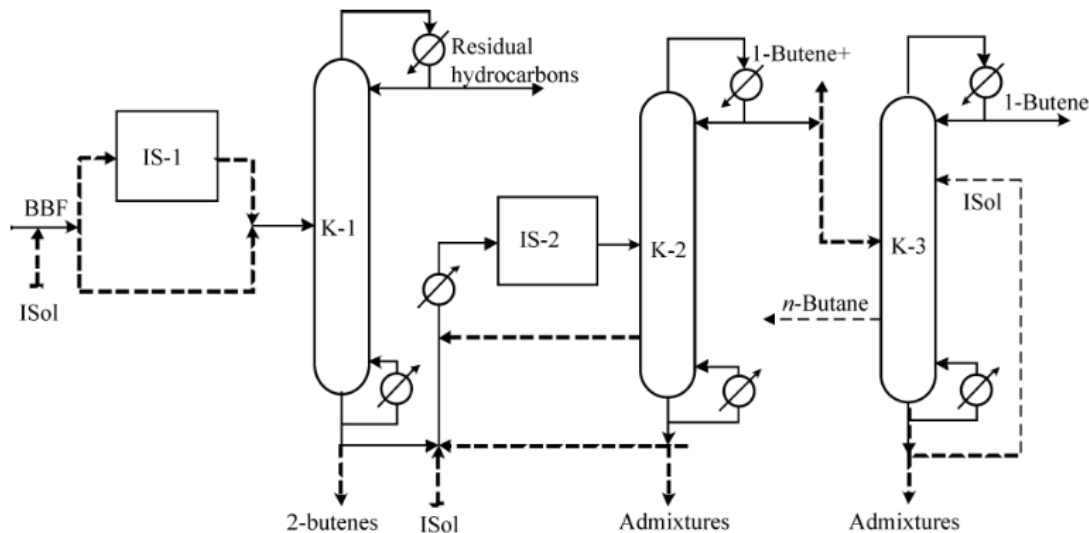
## ۲-۲- مروری بر کارهای گذشته

پائولو و همکاران [۳] سنتز ۱-بوتن و ۲-بوتن را از بوتان با استفاده از فرآیند ایزومریزاسیون مورد بررسی قرار دادند. آنها پارامترهای مختلفی از جمله دما، غلظت پیش‌ماده‌ها و نوع روش را بررسی و بهینه‌سازی کردند. ۱-بوتن یک مونومر بسیار مؤثر برای بدست آوردن سوخت با عدد اکتان بالا است که به همین جهت تقاضا برای آن به شدت رو به رشد است. در شکل (۱-۲) شماتیک کلی فرآیند ایزومریزاسیون ارائه شده است.



شکل ۱-۲- شماتیک کلی فرآیند ایزومریزاسیون تولید بوتن [۳]

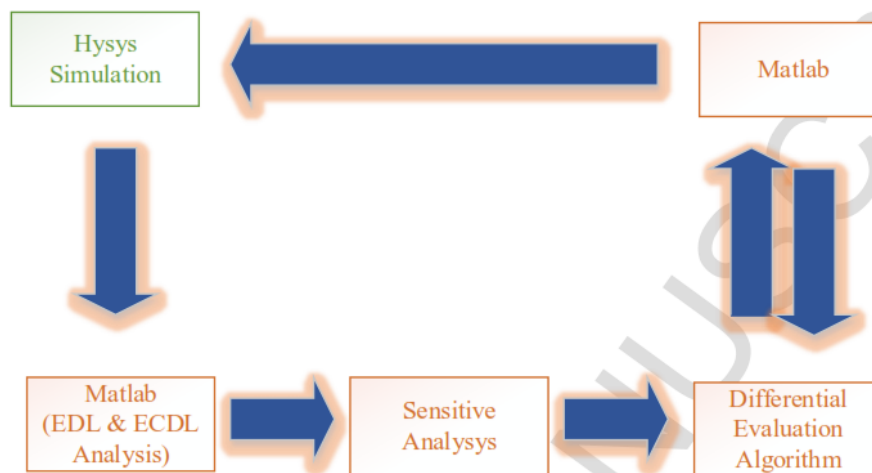
پس از فرآیند تبدیل هیدروکربن بوتان به ۱-بوتن باید جداسازی و خالص سازی آن انجام شود. این جداسازی و خالص سازی توسط برج‌های تقطیر می‌باشد. در شکل (۲-۲) فرآیند خالص سازی ۱-بوتن نشان داده شده است.



شکل ۲-۲- شماتیک کلی فرآیند خالص سازی ۱-بوتن [۳]

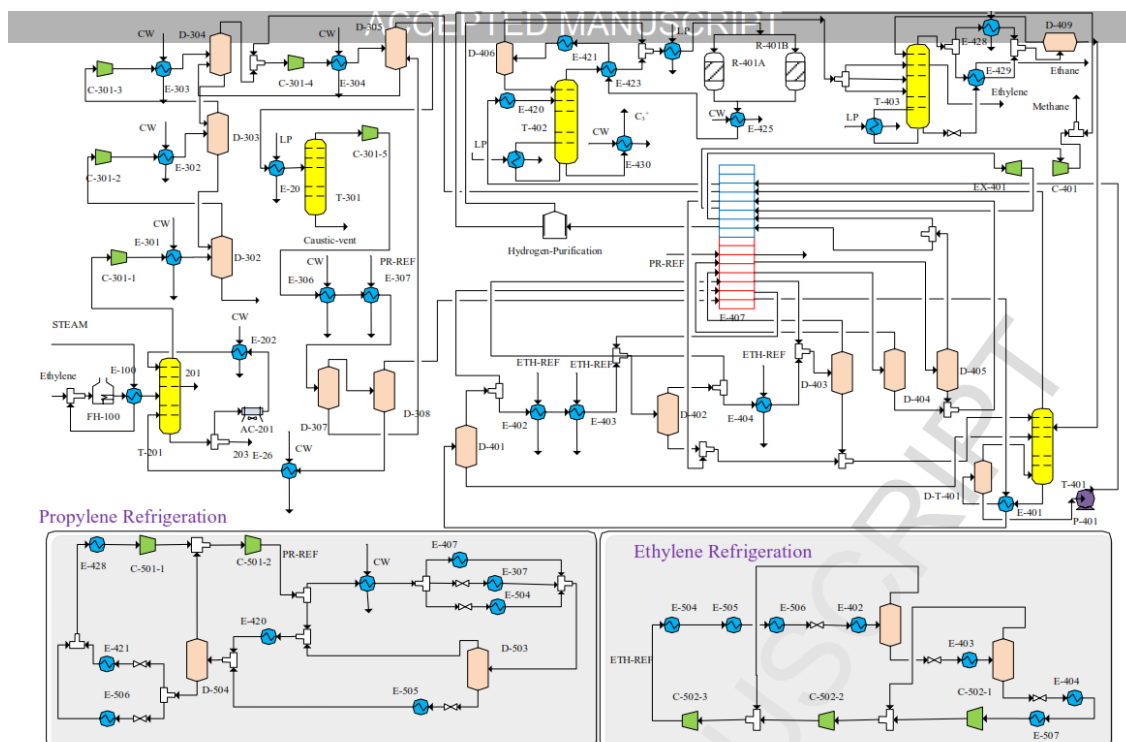
نتایج آنها نشان داد که مقدار ۱-بوتن در برج K-2 بیش از ۸۰ تا ۹۰ درصد، و مقدار نرمال بوتان در حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد است. علاوه بر این در برج K-3، مقدار ۱-بوتن در حدود ۹۸ تا ۹۹ درصد و مقدار نرمال بوتان در حدود ۱ تا ۲ درصد می باشد [۳]. در کار مشابهی، مدلسازی و مطالعه‌ی آزمایشگاهی تعادل بخار-مایع بوتان و اتیلن توسط بونئارت و همکاران [۴] انجام شد. که مدلسازی را با استفاده از مدل ترمودینامیکی پنگ-رابینسون در دمای 388.18 K و فشار 2.009 MPa انجام دادند.

صادقیان جهرمی و همکاران [۵]، کارخانه تولید اتیلن را بر اساس مطالعات اکسرژی-انرژی با استفاده از الگوریتم توسعه یافته دیفرانسیلی و روش سطح پاسخ مورد بررسی قرار دادند. با توجه به برخی از محدودیت‌های اکسرژی-انرژی، روش جدیدی به نام سطح تخریب اکسرژی در این مقاله با استفاده از نمودارهای مفهومی برای تجهیزات ارائه شده است. تاثیر برخی از پارامترهای مختلف عملیاتی در جداسازی اتیلن با استفاده از آنالیز حساسیت انجام شد که در نهایت با استفاده از روش سطح پاسخ واحد خالص سازی اتیلن بهینه‌سازی شده است. در این مقاله واحد خالص سازی اتیلن با استفاده از دو نرم افزار Hysys و MATLAB بصورت زیر بهینه سازی شده است:



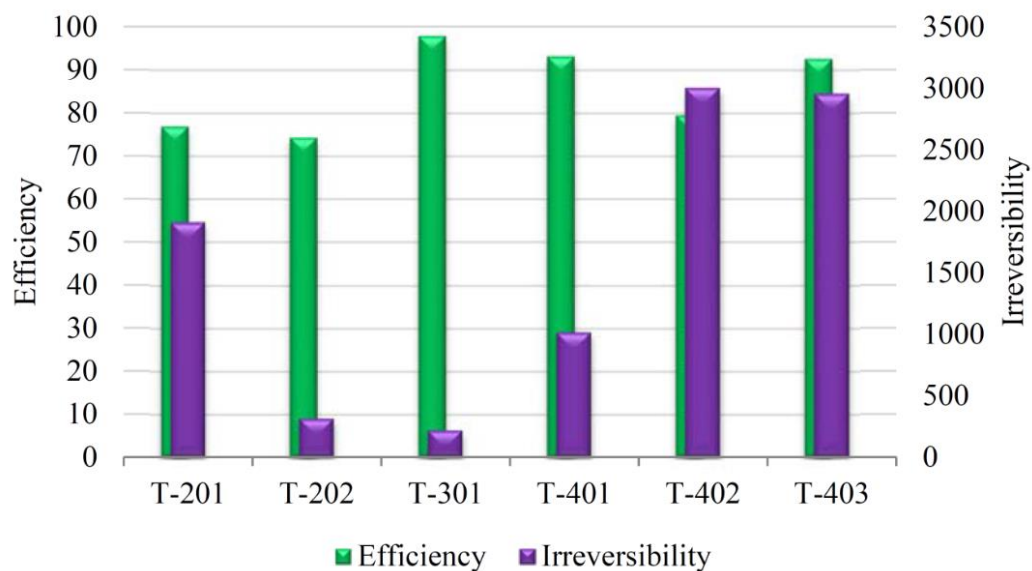
شکل ۲-۳- بهینه سازی واحد اتیلن [۵]

شبیه سازی و بررسی پارامترهای عملیاتی با استفاده از نرم افزار Aspen Hysys و آنالیز حساسیت انجام شده است. شماتیک کلی شبیه سازی شده ی واحد اتیلن با استفاده از این نرم افزار در شکل زیر نشان داده شده است:



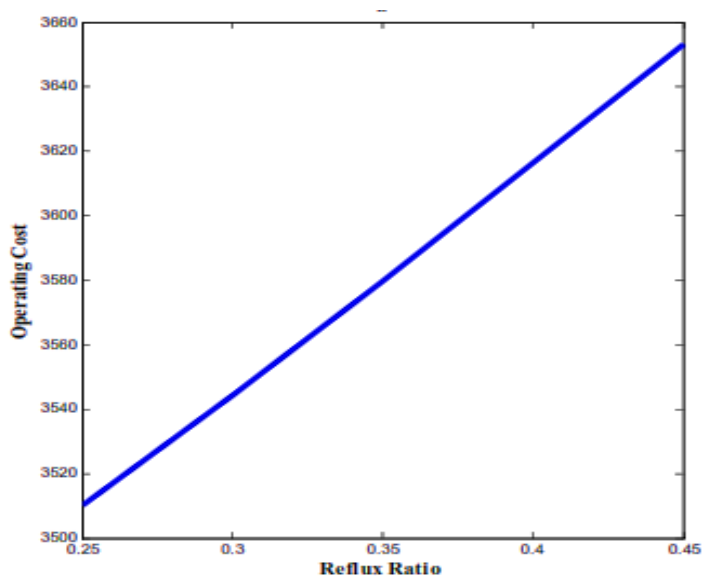
شکل ۲-۴- شماتیک کلی شبیه سازی شده ی واحد اتیلن [۵]

نتایج شبیه سازی و مطالعات بازده و اتلاف اکسرژی در شکل (۲-۵) نشان می دهد که بیشترین بازده اکسرژی مربوط به برج تقطیر T-402 و کمترین مربوط به برج تقطیر T-301 است [۵].



شکل ۲-۵- مقایسه ی بازده و اتلاف اکسرژی برج های اتیلن [۵]

علاوه براین نتایج شبیه سازی در شکل (۲-۶) نشان می دهد که با جریان برگشتی به برج های تقطیر خالص سازی اتیلن افزایش می یابد و همچنین موجب افزایش هزینه های عملیاتی نیز می شود [۵].



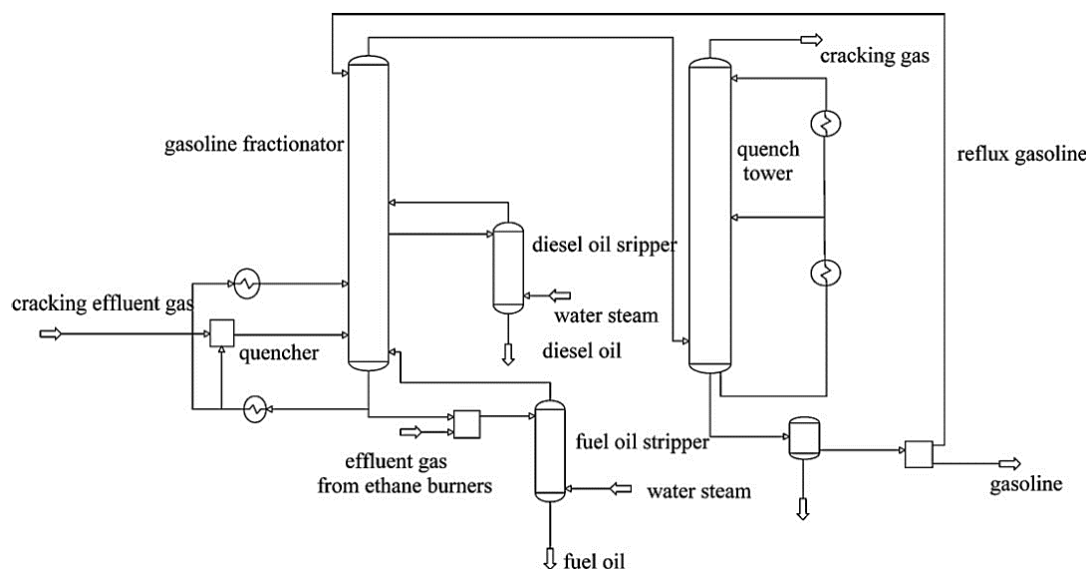
شکل ۲-۶- تاثیر جریان برگشتی برج ها در هزینه های عملیاتی [۵]

مقدار اتیلن در جریان‌های مختلف در جدول (۱-۲) ارائه شده است. همانطور که مشاهده میشود اتیلن جداسازی شده بیش از ۹۹/۹۵ درصد می‌باشد. که نتایج شبیه سازی با نتایج طراحی تطابق خوبی را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۲- مقایسه نتایج شبیه‌سازی و نتایج طراحی در جداسازی اتیلن [۵]

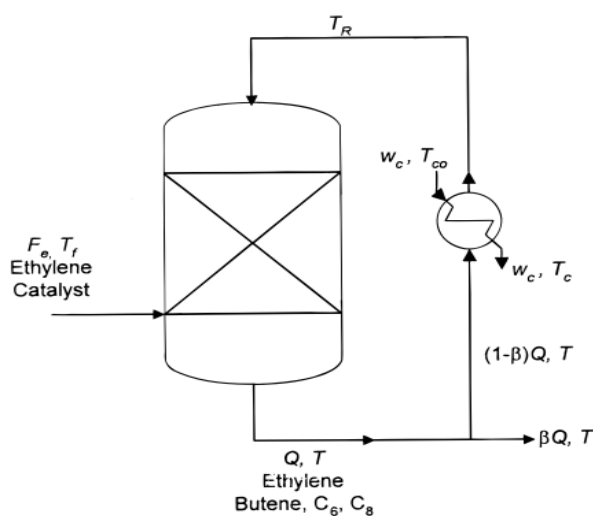
Stream name	474C			497			484		
	Simulation	Design	Deviation %	Simulation	Design	Deviation %	Simulation	Design	Deviation %
Temperature (°C)	-26.2	-25.9	-1.1	-25.7	-25.7	0	-2.7	-2.2	0.22
Pressure (bar)	20.8	20.8	0	20.88	20.8	0	21.8	21.8	0
Flow (kmol/hr)	12630	12624.5	0.04	2595	2596.3	-0.05	1387	1385.6	0.1
Mass fraction									
H <sub>2</sub> O	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H <sub>2</sub>	0.0015	0.0008	87	0	0	0	0	0	0
METHANE	0.0034	0.0035	-2.8	0	0	0	0	0	0
CO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H <sub>2</sub> S	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ACETYLENE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ETHYLENE	0.9949	0.9955	-0.06	0.9917	0.9995	-0.78	0.02	0.0054	270
ETHANE	0.0002	0.0001	100	0.008	0.0005	100	0.977	0.9938	-1.6
M-ACETYLENE	0	0	0	0	0	0	0.0001	0	-
PROPENE	0	0	0	0	0	0	0.0008	0.0008	0
PROPANE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N-BUTANE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N-PENTANE	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I-PENTANE	0	0	0	0	0	0	0	0	0

شبیه سازی و بهینه سازی واحد جداسازی اتیلن توسط گوانجینگ و همکاران [۶] با استفاده از نرم افزار PROII مورد بررسی قرار گرفت که شماتیک کلی آن در شکل (۲-۷) ارائه شده است. مدل ترمودینامیکی مورد استفاده در این نرم افزار حاوی معادلات Braun K10 است که برای محاسبات ثوابت تعادل گاز-مایع می‌باشد. دما در بالا و پایین برج بترتیب 251.5 و 242.1 درجه سانتیگراد و فشار در بالا و پایین بترتیب حدود 195 و 200 کیلوپاسکال است.



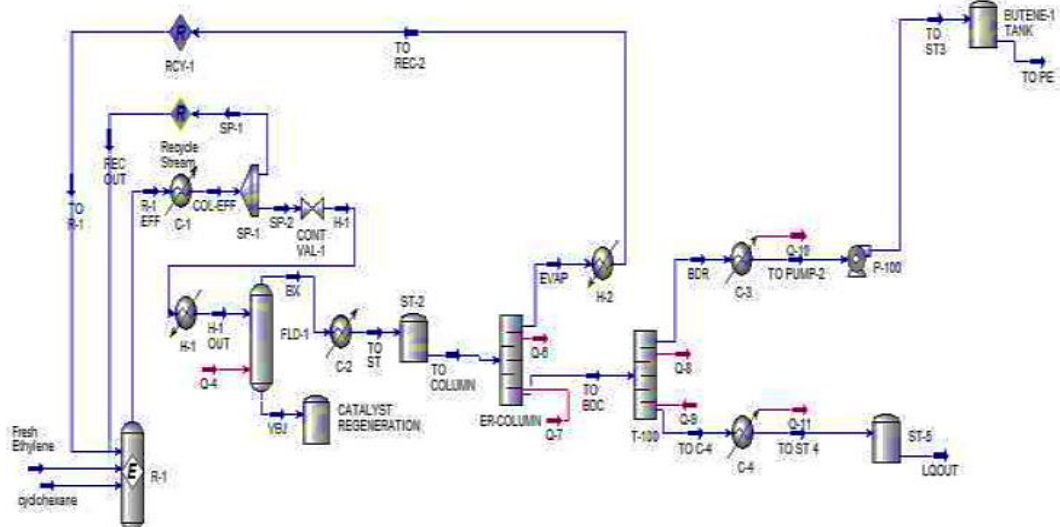
شکل ۷-۲- شماتیک کلی واحد اتیلن با استفاده از نرم افزار PROII [۶]

بهینه‌سازی کنترل دمای راکتور دیمیرزاسیون ۱-بوتن و اتیلن توسط عماد علی و همکاران [۷] مورد بررسی قرار گرفت. واکنش دیمیرزاسیون اتیلن به ۱-بوتن در یک راکتور پیوسته‌ی همزن دار انجام می‌شود که در این سیکل دچار افت دمایی می‌شود. بنابراین کنترل دمای این راکتور در کارخانه‌های تولید ۱-بوتن و اتیلن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هدف از این مقاله، بررسی اجرای شبیه‌سازی شده با کنترل خطی دما در این گونه راکتورها برای حفظ تبدیل مطلوب اتیلن و ۱-بوتن است. شماتیک کلی راکتور در شکل (۸-۲) نشان داده شده است:



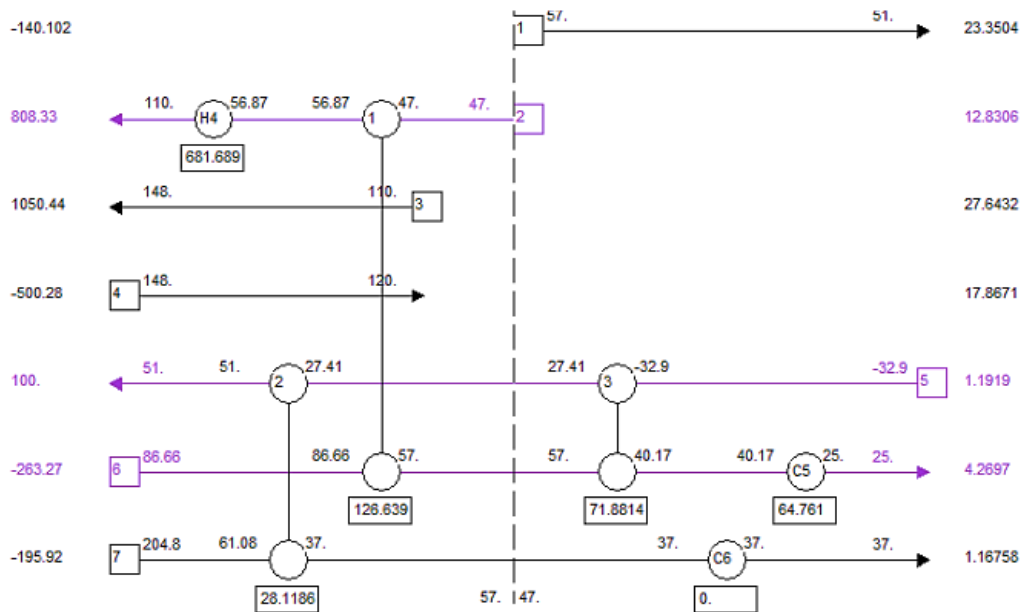
شکل ۸-۲- شماتیک کلی راکتور فرآیند دیمیرزاسیون [۷]

جکسون و همکاران [۸] انتگراسیون انرژی واحد تولید ۱-بوتن را با استفاده از تکنولوژی پینچ انجام دادند. نرم افزار مورد استفاده برای شبیه سازی واحد تولید ۱-بوتن در این مقاله، نرم افزار Aspen Hysys نسخه ۷۸.۶ می باشد.



شکل ۲-۹- شماتیک شبیه سازی شده واحد ۱-بوتن با نرم افزار Aspen Hysys [۸]

تاثیر انتگراسیون با اختلاف دمای ۱۰ درجه سانتیگراد در انرژی واحد مورد بررسی قرار گرفت که دمای بهینه حاصل از این بررسی دمای ۵۷ درجه سانتیگراد حاصل شد [۸].



شکل ۲-۱۰- شماتیک کلی پینچ فرایند ۱-بوتن [۸]

## **فصل سوم**

### **شبیه سازی و بهینه سازی**

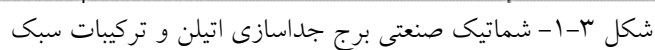
### ۳-۱- مقدمه

اتیلن و بوتن از جمله محصولات با ارزش و پر مصرف در صنایع پتروشیمی می‌باشند. از کاربردهای اتیلن برای تولید انواع رزین‌ها و پلیمرها استفاده می‌شود. از جمله روش‌های مرسوم در صنعت برای خالص‌سازی و جداسازی اتیلن و بوتن استفاده از برج‌های جداسازی است. این برج‌ها، به عنوان موثرترین بخش واحد فرآیندی می‌باشند و مصرف انرژی در این برج‌ها زیاد است. علاوه بر مصرف انرژی بالا، مشکلات زیست محیطی نیز در این واحدها مطرح است.

برج‌های جداسازی موجب افزایش کیفیت و خلوص و همچنین یکنواخت شدن اتیلن و بوتن نیز می‌شود. بنابراین کارکرد بهینه‌ی این برج‌ها هم از نظر اقتصادی و هم زیست محیطی و از نظر انرژی حایز اهمیت است. با توجه به این نکته که با تغییر هرگونه پارامتری در این برج‌ها، کیفیت و نسبت محصولات در جریان خروجی نیز تغییر می‌کند، استفاده از یک متغیر مناسب برای حفظ کیفیت و مقدار محصول موردنظر در جریان خروجی از اهمیت بالایی برخوردار است.

### ۳-۲- تشریح کلی فرآیند

واحد جداسازی و خالص‌سازی اتیلن و بوتن در پتروشیمی باختر دارای دو برج جداسازی اتیلن و بوتن می‌باشد که خوراک ورودی پس از کاهش دما وارد برج اول (شکل ۳-۱) می‌شود که پس از جداسازی اتیلن و ترکیبات سبک از بالای این برج، جریان خروجی از پایین برج اول وارد برج دوم (شکل ۳-۲) به منظور جداسازی و خالص‌سازی بوتن و اجزای سنگین از یکدیگر می‌شود. جزئیات کامل و پارامترهای فرآیندی در بخش تحلیل نتایج ارائه شده است.





## ۳-۳- شبیه سازی

در این پژوهش، جهت شبیه سازی واحد جداسازی و خالص سازی اتیلن و بوتن در پتروشیمی باختر از مجموعه نرم افزاری Aspen Tech نسخه V8.8 استفاده شد که این مجموعه نرم افزار شامل نرم افزارهای Aspen Hysys، Aspen Energy Analyzer و Aspen Process Economic Analyzer می باشد. در این تحقیق از مدل ترمودینامیکی مدل پنگ-رابینسون (PR<sup>1</sup>) برای شبیه سازی این فرآیند استفاده شد که این مدل در نرم افزار Aspen Hysys بصورت معادله کلی زیر (۳-۱) است:

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V(V+b)+b(V-b)} \quad (۳-۱)$$

بطور کلی مدل پنگ-رابینسون (PR) یک معادله حالت می باشد که این مدل ارتباط بین حجم، فشار و دما را بیان می کند. محاسبه ی تعادل بین فازهای بخار-مایع (VLE<sup>۲</sup>) و همچنین ارزیابی خواص فیزیکی و شیمیایی مایع در انواع مختلف سیستم های هیدروکربنی، این مدل مناسب است و شرایط فرآیندی مختلفی قابل استفاده است. بکارگیری مدل ترمودینامیکی PR جهت شبیه سازی و تحلیل فرآیندی بسیاری از صنایع مختلف از جمله صنایع گاز و پتروشیمی توسط بسیاری از محققان پیشنهاد شده است. بطور کلی برای شبیه سازی واحدهای فرآیندی از جمله واحد جداسازی و خالص سازی اتیلن و بوتن در پتروشیمی باختر این مدل مناسب است. معادله های کمکی در مدل PR بصورت معادلات (۳-۲) تا (۳-۸) است:

$$Z^3 - (1-B)Z^2 + (A-2B-3B^2)Z - (AB-B^2-B^3) = 0 \quad (۳-۲)$$

$$A = \frac{aP}{(RT)^2} \quad (۳-۳)$$

$$B = \frac{bP}{RT} \quad (۳-۴)$$

$$b = \sum_{i=1}^N x_i \left( 0.077796 \frac{RT_{ci}}{P_{ci}} \right) \quad (۳-۵)$$

$$a = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_i x_j \left[ \left( 0.457235 \frac{(RT_{ci})^2}{P_{ci}} \right) a_i \left( 0.457235 \frac{(RT_{cj})^2}{P_{cj}} \right) a_j \right]^{0.5} (1 - K_{ij}) \quad (۳-۶)$$

$$a_i^{0.5} = 1 + m_i (1 - T_{ri}^{0.5}) \quad (۳-۷)$$

$$m_i = 0.37464 + 1.54226\omega_i - 0.26992\omega_i^2 \quad (۳-۸)$$

در اینجا T,P، بترتیب نشان دهنده ی فشار و دما، اندیس c، اندیس و اندیس r به ترتیب نقطه بحرانی و حالت کاهیده است.

1 Peng-Robinson  
2 Vapor-Liquid Equilibrium

علاوه براین، معادلات آنتروپی و آنتالپی در مدل ترمودینامیکی Peng-Robinson با استفاده از روابط (۹-۳) و (۱۰-۳) بصورت زیر تعریف می شود:

$$\frac{H-H^{ID}}{RT} = Z - 1 - \frac{1}{2^{1.5}bRT} \left[ a - T \frac{da}{dT} \right] \ln \left( \frac{V+(2^{0.5}+1)b}{V-(2^{0.5}-1)b} \right) \quad (9-3)$$

$$\frac{S-S_0^{ID}}{R} = \ln(Z - B) - \ln \frac{P}{P_0} - \frac{A}{2^{1.5}bRT} \left[ T \frac{da}{dT} \right] \ln \left( \frac{V+(2^{0.5}+1)b}{V-(2^{0.5}-1)b} \right) \quad (10-3)$$

در روابط فوق، ضرایب مورد نیاز برای محاسبه آنتالپی و آنتروپی با استفاده از روابط (۱۱-۳) تا (۱۵-۳) به صورت زیر دست می آید:

$$a = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_i x_j [a_i a_j]^{0.5} (1 - K_{ij}) \quad (11-3)$$

$$b_i = 0.077796 \frac{RT_{ci}}{P_{ci}} \quad (12-3)$$

$$a_i = 0.457235 \frac{(RT_{ci})^2}{P_{ci}} \alpha_i \quad (13-3)$$

$$\sqrt{\alpha_i} = 1 + m_i (1 - T_{ri}^{0.5}) \quad (14-3)$$

$$m_i = 0.37464 + 1.54226\omega_i - 0.26992\omega_i^2 \quad (15-3)$$

در روابط فوق R، H، S به ترتیب نشان دهنده ثابت تعادل گاز ایده آل، آنتالپی، آنتروپی گاز و نماد ID و نماد 0 به ترتیب نشان دهنده حالت ایده آل و حالت مبنای است.

فرضیات مورد نیاز جهت شبیه سازی واحد جداسازی و خالص سازی اتیلن و بوتن در پتروشیمی باختر بصورت زیر است:

- شبیه سازی واحد جداسازی و خالص سازی اتیلن و بوتن با حالت پایا،

- استفاده از اطلاعات ارائه شده پتروشیمی باختر جهت شبیه سازی و اعتبار سنجی نتایج شبیه سازی،

- بررسی و تحلیل انرژی، تاثیر پارامترهای فرآیندی مختلف و تحلیل اقتصادی واحد با استفاده از پکیج نرم افزار Aspen Tech.

روش حل معادلات مدل Peng-Robinson در نرم افزار Aspen Hysys با استفاده از Cubic EOS Analytical Method می باشد (شکل ۳-۳).

Enthalpy	Property Package EOS
Density	Costald
Modify Tc, Pc for H2, He	Modify Tc, Pc for H2, He
Indexed Viscosity	HYSYS Viscosity
Peng-Robinson Options	HYSYS
EOS Solution Methods	Cubic EOS Analytical Method
Phase Identification	Default
Surface Tension Method	HYSYS Method
Thermal Conductivity	API 12A3.2-1 Method

شکل ۳-۳- روش حل مدل ترمودینامیکی در نرم افزار Aspen Hysys

**فصل چهارم**

**تحليل نتايج**

## ۴-۱- تحلیل فرآیندی

خوراک واحد جداسازی و خالص سازی اتیلن و بوتن در پتروشیمی باختر در استان لرستان، از واحد کاتالیستی در این مجتمع می باشد. مشخصات خوراک ورودی این واحد از جمله ترکیب درصد و شرایط فرآیندی در جدول (۴-۱) آورده شده است. در این پژوهش از بسته ی ترمودینامیکی Peng-Robinson و مجموعه نرم افزار Aspen Tech برای شبیه سازی و تحلیل این واحد استفاده شد. پارامترهای متقابل مورد نیاز در این مدل در جدول (۴-۲) ارائه شده است.

جدول ۴-۱- خوراک واحد جداسازی و خالص سازی اتیلن و بوتن در پتروشیمی باختر

COMPO NENTS	MOLAR FLOW (kgmole/h)	MOLE FRACTIO N	MASS FLOW (kg/h)	MASS FRACTIO N	LIQUID VOLUME FLOW (m3/h)	LIQUID VOLUME FRACTION
Methane	1.7453	0.0143	28	0.0046	0.0935	0.0085
Ethylene	27.4116	0.2251	769	0.1268	2.0066	0.1831
Ethane	1.5963	0.0131	48	0.0079	0.1350	0.0123
1-Butene	87.0647	0.7148	4885	0.8056	8.2268	0.7506
n-Butane	0.1204	0.0010	7	0.0012	0.0120	0.0011
1-Hexene	3.6002	0.0296	303	0.0500	0.4511	0.0412
n-Hexane	0.1857	0.0015	16	0.0026	0.0241	0.0022
1-Octene	0.0713	0.0006	8	0.0013	0.0112	0.0010
Total	121.7955	1	6064	1	10.9604	1

جدول ۴-۲- پارامترهای متقابل

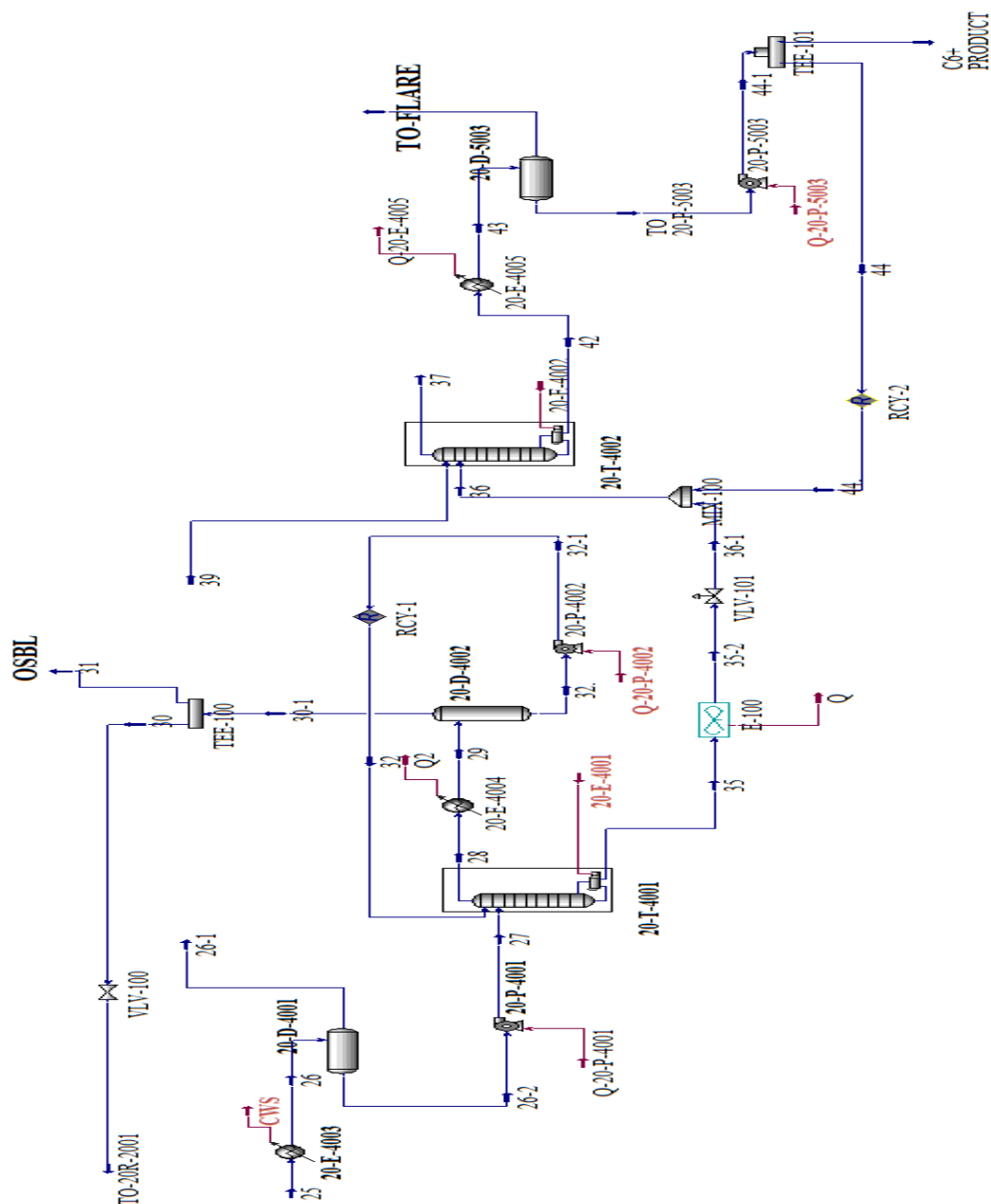
Equation of State Interaction Parameters								
	Methane	Ethylene	Ethane	1-Butene	n-Butane	1-Hexene	n-Hexane	1-Octene
Methane	---	0.02150	0.00224	0.01079	0.01230	0.02175	0.02347	0.03225
Ethylene	0.02150	---	0.01230	0.00533	0.09400	0.01369	0.01508	0.02235
Ethane	0.00224	0.01230	---	0.00323	0.00410	0.01780	0.01141	0.01786
1-Butene	0.01079	0.00533	0.00323	---	0.00100	0.00198	0.00253	0.00601
n-Butane	0.01230	0.09400	0.00410	0.00100	---	0.00139	0.00187	0.00496
1-Hexene	0.02175	0.01369	0.01780	0.00198	0.00139	---	0.00003	0.00110
n-Hexane	0.02347	0.01508	0.01141	0.00253	0.00187	0.00003	---	0.00075
1-Octene	0.03225	0.02235	0.01786	0.00601	0.00496	0.00110	0.00075	---

Treatment of Interaction Coefficients Unavailable from the Library

☒ Estimate HC-HC / Set Non HC-HC to 0.0

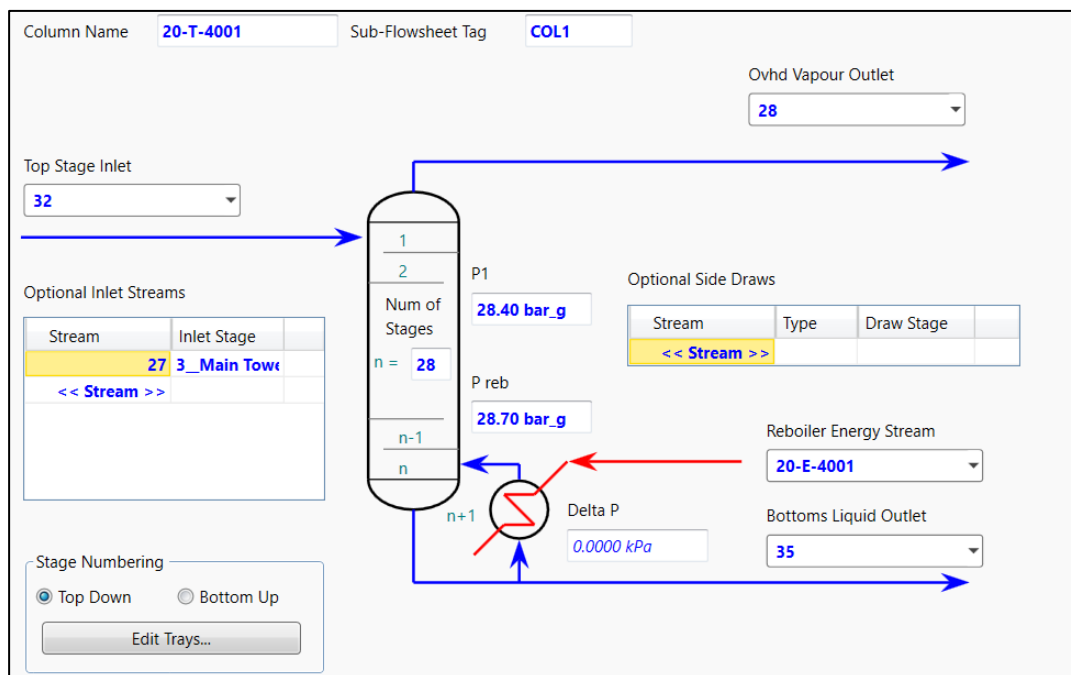
در شکل (۴-۱) شماتیک کلی شبیه سازی شده ی واحد جداسازی و خالص سازی اتیلن و بوتن را با استفاده از نرم افزار Aspen Hysys نشان داده شده است. خوراک ورودی با دمای 101 °C و فشار 21.80 bar\_g با دبی جرمی 6064 kg/h وارد واحد جداسازی و خالص سازی

اتیلن و بوتن می‌شود که این جریان پس از عبور کولر 20-E-4003، موجب کاهش دمای خوراک ورودی به 40 °C می‌شود.



شکل ۴-۱- شماتیک کلی شبیه‌سازی شده‌ی واحد جداسازی و خالص‌سازی اتیلن و بوتن

جهت جداسازی اولیه ترکیبات گازی سبک از جمله متان، خوراک سرد شده وارد جداکننده‌ی دوفازی 20-D-4001 می‌شود. جریان خروجی از پایین این جداکننده دوفازی پس از افزایش فشار از 21.5 bar\_g به 28 bar\_g توسط پمپ 20-P-4001 از سینی ۳ وارد برج جدا کننده‌ی 20-T-4001 جهت جداسازی اتیلن از بوتن می‌شود (شکل ۴-۲).



شکل ۴-۲- جریان‌های ورودی و خروجی به برج 20-T-4001

جداسازی و خالص‌سازی با روش تقطیر از پرکاربردترین فرآیندهای جداسازی است که این روش بر مبنای اختلاف نقطه جوش ترکیبات است، در صورتیکه نقطه جوش این ترکیبات خیلی نزدیک به یکدیگر باشد، جداسازی و خالص‌سازی این ترکیبات با استفاده از این روش دشوار است و نیاز به برج‌های تقطیری با تعداد سینی بالا است.

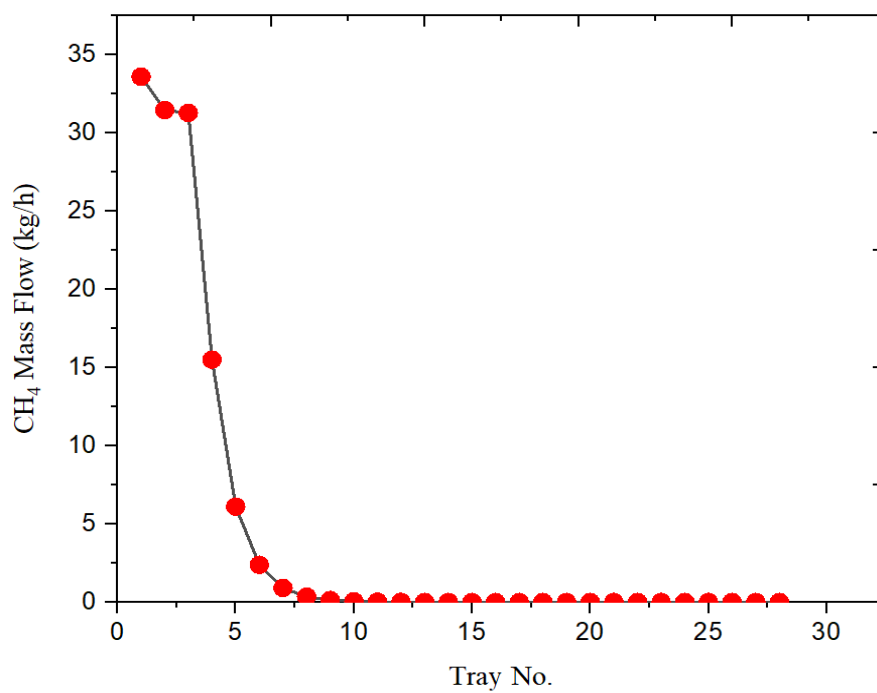
در شبیه‌سازی برج تقطیر، هر کدام از سینی‌های برج به عنوان یک سیستم تعادلی در نظر گرفته می‌شود و موازنه‌های انرژی و جرم انجام می‌شود، که در نتیجه تغییرات فشار، دما و غلظت هر یک از اجزاء در دو فاز مایع و بخار در سینی‌های برج حاصل می‌شود. حجم این محاسبات با در نظر گرفتن فرضیاتی ساده می‌شود. از جمله این فرضیات، می‌توان در نظر گرفت که تمام مواد سبک ( $LK^1$ ) موجود در خوراک ورودی واحد فقط در بالای برج 20-T-4001 و مواد سنگین ( $HK^2$ ) فقط در پائین این برج وجود دارند. بطور کلی، تمام مواد سبک‌تر از  $LK$  (اتان) در بالای برج و تمام مواد سنگین‌تر از  $HK$  (۱-بوتن) در پائین برج 20-T-4001 وجود دارند. نتایج شبیه‌سازی با نرم افزار در جدول (۴-۳) نشان می‌دهد که بیشترین مقدار اتلین در قسمت بالای این برج وجود دارد و ترکیبات سنگین از جمله ۱-بوتن دارای بیشترین مقدار در پایین برج می‌باشند.

1 Light key  
2 Heavy key

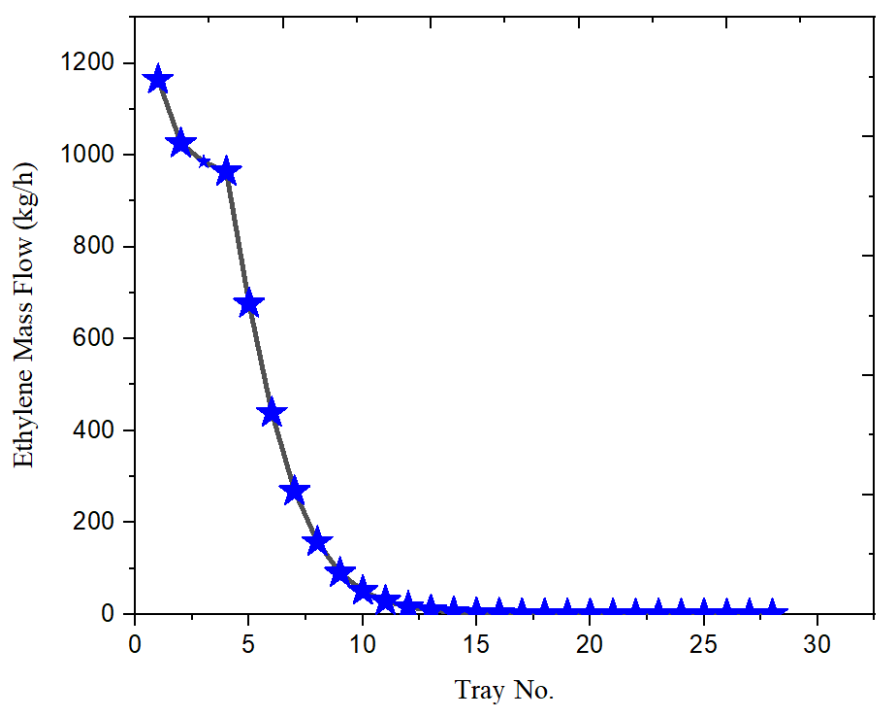
جدول ۴-۳- نتایج شبیه‌سازی برج 20-T-4001

Components	۲۷ جریان ورودی به برج	۳۲ جریان برگشتی به برج	۳۰-۱ جریان خروجی از بالای 20-D-4002	۳۵ جریان خروجی از پایین برج
Methane	28	5.608803	28.07597	2.21E-11
<b>Ethylene</b>	<b>769</b>	<b>395.6627</b>	772.1818	<b>8.36E-05</b>
Ethane	48	32.61725	48.24856	2.09E-04
1-Butene	4885	1314.275	367.9376	4528.063
n-Butane	7	1.624859	0.425714	6.660451
1-Hexene	303	2.467212	0.121614	303.1885
n-Hexane	16	7.19E-02	3.46E-03	15.99562
1-Octene	8	1.41E-03	1.59E-05	8.000026
Mass Flow rate(kg/h)	6064	1752.329	1216.995	4861.91
T(°C)	40.71	40.04071	40	131.2561
P(bar_g)	28	28.4	28.1	28.7

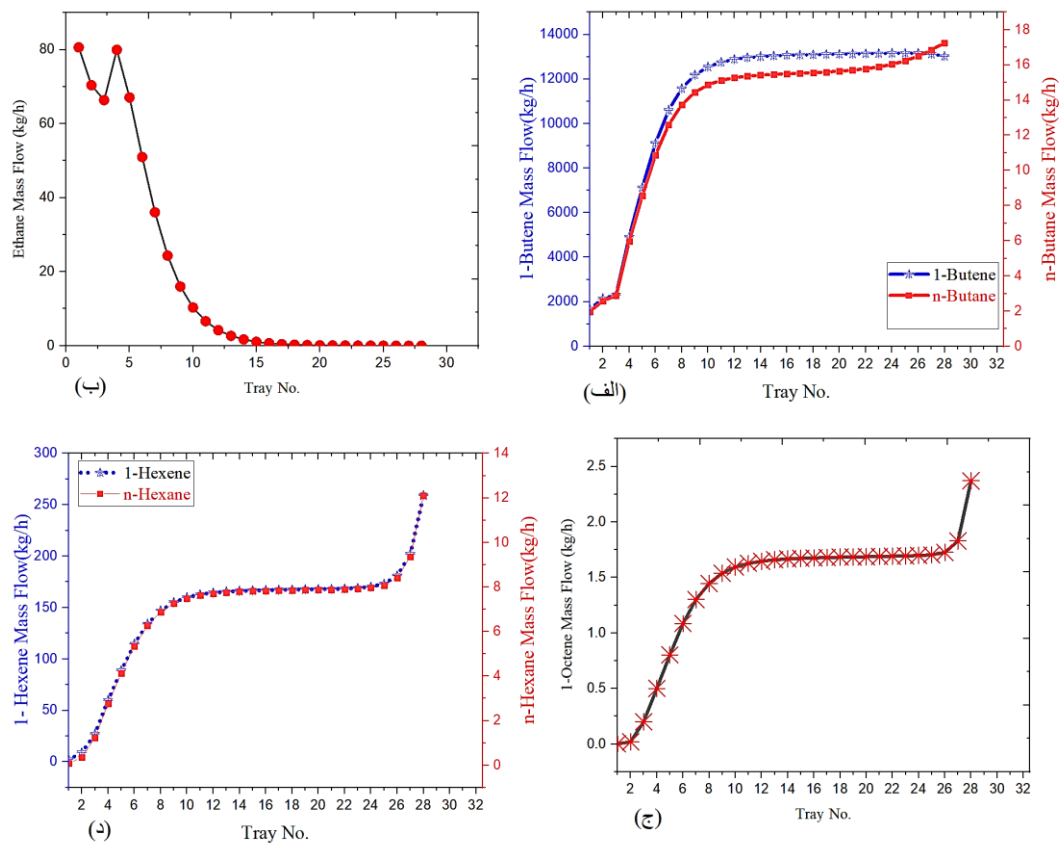
عملیات جداسازی و خالص‌سازی مواد در یک برج سینی‌دار با استفاده از منبع حرارتی ریویلر رخ می‌دهد، که این منبع حرارت لازم جهت انجام عملیات جداسازی و خالص‌سازی اجزاء سازنده یک محلول را فراهم می‌کند. با حرکت بخار به سمت بالای برج با مایعی که از قسمت بالای برج به قسمت پایین برج حرکت می‌کند در سینی‌ها تماس مستقیم پیدا کرده که این تماس باعث افزایش دمای مایع بر روی سینی‌ها شده و در نتیجه باعث نزدیک شدن دمای مایع به دمای حباب می‌شود. در این حالت به تدریج اولین بخارات حاصل خواهد شد که این بخارات غنی از اجزای فرار است. اجزاء فرار موادی هستند که از فشار بالاتر و یا نقطه جوش کمتری برخوردار می‌باشند. از سوی دیگر، در فاز بخار اجزایی که دارای نقطه جوش پایین‌تری می‌باشند، با عمل میعان بصورت فاز مایع و به سمت پایین برج حرکت می‌کنند. سطح تماس مناسب بین دو فاز بخار و مایع از مهمترین عملکردهای یک برج است. بطوریکه با افزایش سطح تماس عملیات جداسازی و خالص‌سازی با راندمان بالاتری انجام می‌شود. در شکل‌های ۴-۳ تا ۴-۵ توزیع مقدار اجزاء در هریک سینی‌های برج ارائه شده است. همانطور که در این شکل‌های نیز مشاهده می‌شود مواد Lk در بالای برج و مواد HK در سینی‌های پایین برج بیشترین سهم را دارند. بطور مثال مقدار اتیلن در سینی‌های پایین برج و جریان خروجی از پایین برج دارای کمترین مقدار و در حدود 0.001177 kg/h است. نتایج حاصل با داده‌های صنعتی تطابق خوبی را نشان داد. بار حرارتی در ریویلر برج برای جداسازی مناسب در حدود 2.243e+6 kJ/h است.



شکل ۴-۳- جداسازی متان در هر یک از سینی‌های برج

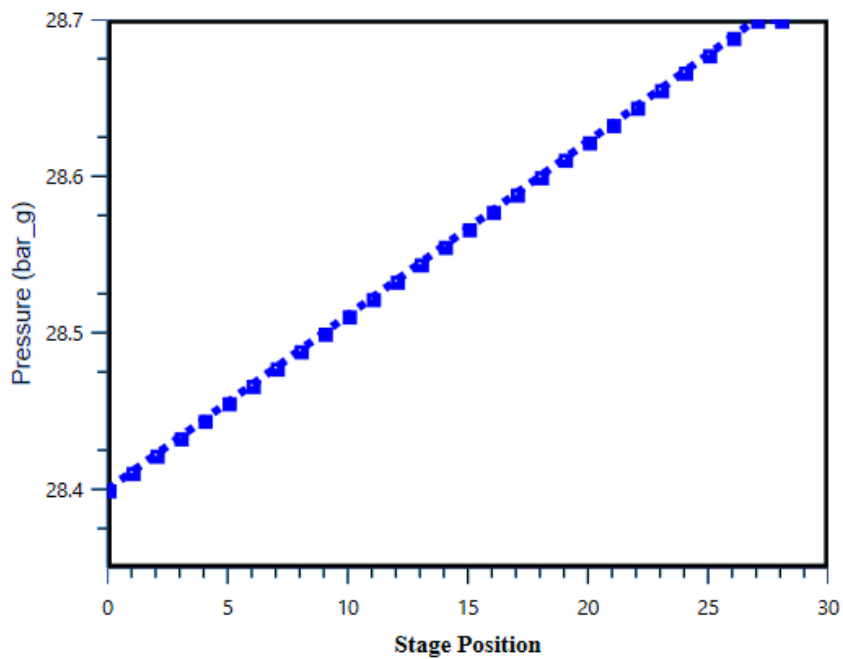


شکل ۴-۴- جداسازی اتیلن در هر یک از سینی‌های برج

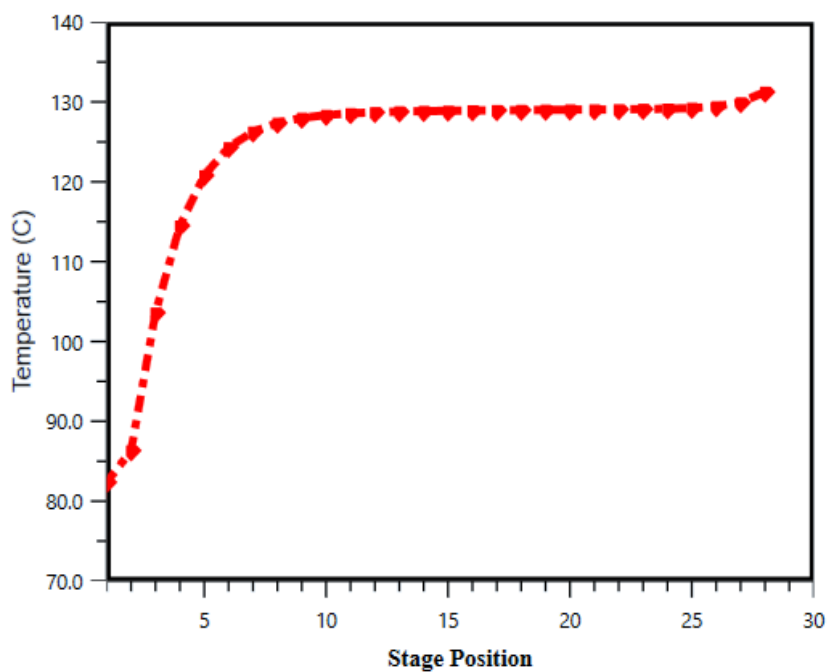


شکل ۴-۵- توزیع اجزاء درسینی های برج: الف) اجزای ۱-بوتن و نرمال-بوتان، (ب) اتان، (ج) اکتان، (د) ۱-هگزن و نرمال هگزان

در شکل های (۴-۶) و (۴-۷) تغییرات فشار و دما هریک از سینی های برج 20-T-4001 ارائه شده است. با توجه به تغییرات کم دبی جرمی دو فاز گاز و مایع در طول برج، تغییرات فشار بر روی سینی ها تقریباً یکسان است که در شکل (۴-۶) می توان مشاهده کرد که تغییرات فشار در سینی های برج بصورت یک خط راست است.



شکل ۴-۶- تغییرات فشار در طول برج 20-T-4001



شکل ۴-۷- تغییرات دما در طول برج 20-T-4001

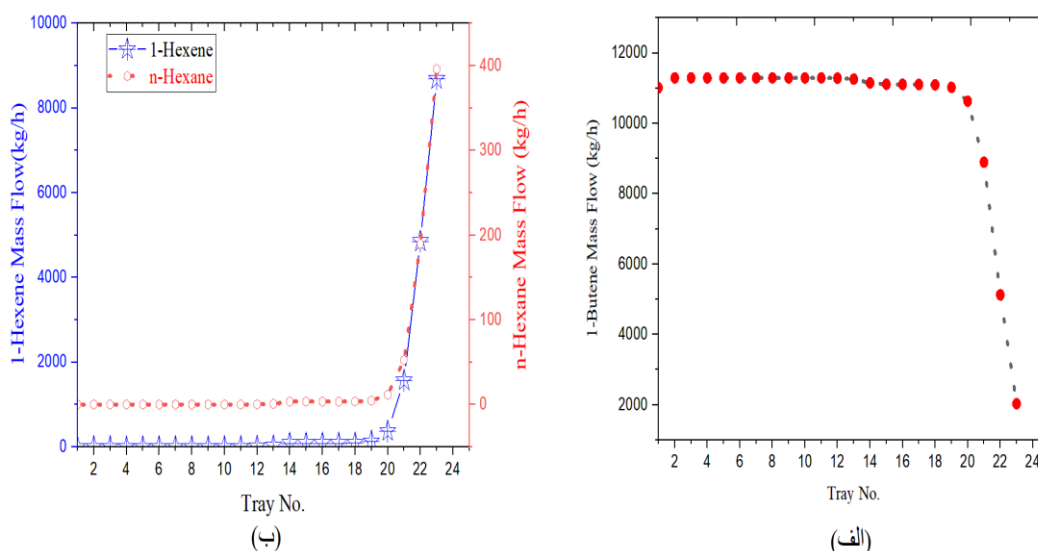
همانطور که در نمودار الف شکل (۴-۷) مشاهده شد، نتایج شبیه‌سازی هم نشان می‌دهد ترکیبات سنگین ۱-بوتن و نرمال بوتان در سینی‌های بالای برج کمترین مقدار را دارند و در سینی‌های پایین برج که به عنوان خوراک برج خالص‌سازی ترکیبات بوتن هست بیشترین

مقدار را دارند. جریان خروجی از برج 20-T-4001 پس از کاهش دما از  $131.3^{\circ}\text{C}$  به دمای  $51^{\circ}\text{C}$  با ترکیب شدن با جریان خروجی از پایین جداکننده دوفازی 20-D-5003 وارد برج خالص سازی بوتن 20-T-4002 می شود. نتایج شبیه سازی در جدول (۴-۴) ارائه شده است.

جدول ۴-۴- نتایج شبیه سازی برج 20-T-4002

Components	۳۶ جریان ورودی به برج	۳۹ جریان ورودی به برج	۳۷ جریان خروجی از بالای برج	۴۲ جریان خروجی از پایین برج
Methane	2.21E-11	0	2.21E-11	6.67E-28
Ethylene	8.36E-05	0	8.36E-05	8.43E-17
Ethane	2.09E-04	0	2.09E-04	4.90E-15
<b>1-Butene</b>	4538.287	6499	<b>11009.47</b>	27.81865
<b>n-Butane</b>	6.74509	10	<b>16.51485</b>	0.230243
1-Hexene	479.3562	0	5.33E-07	479.3562
n-Hexane	25.28988	0	1.67E-09	25.28988
1-Octene	12.64844	0	4.53E-20	12.64844
Mass Flow rate(kg/h)	5062.327	6509	11025.98	545.3434
T( $^{\circ}\text{C}$ )	50.38226	40	46.1768	117.7351
P(bar_g)	4.6	4.4	4.4	4.6

نتایج شبیه سازی در جدول (۴-۴) نشان داد که بیشترین مقدار ترکیبات بوتن در قسمت بالای برج 20-T-4002 به عنوان محصول اصلی وجود دارد که تقریباً بیش از ۹۹/۸۶ درصد مولی با  $3.877 \times 10^6 \text{ kJ/h}$  بار حرارتی ریویلر حاصل شد. علاوه بر این بیشتر مقدار ترکیبات ۱-هگزن و نورمال-هگزان در جریان خروجی از پایین برج می باشد. در شکل (۴-۸) مقدار اجزاء در سینی های برج 20-T-4002 ارائه شده است.



شکل ۴-۸- توزیع اجزاء در سینی های برج: الف) ۱-بوتن، ب) ۱-هگزن و نورمال-هگزان در برج 20-T-4002

## ۴-۲- تحلیل انرژی واحد جداسازی و خالص سازی اتیلن و بوتن پتروشیمی باختر

انرژی در بخش های مختلف واحد جداسازی و خالص سازی اتیلن و بوتن پتروشیمی باختر وابسته به پارامترهای مختلفی از جمله عملکرد برج های جداسازی، ظرفیت خوراک دهی و تولید محصولات بوتن و اتیلن است. لذا استفاده از حدکثر ظرفیت جداسازی و خالص سازی، موجب افزایش مصرف انرژی در بخش های مختلف این واحد می شود. بنابراین، مطالعه ای انرژی واحد و تحلیل آن به شناسایی برخی از دستگاه هایی که مصرف انرژی بالایی دارند کمک می کند تا بتوان با طراحی و ساخت مجدد دستگاه، و یا با بررسی تاثیر پارامترهای فرآیندی در این تجهیزات، مصرف انرژی بالا را کاهش و بهینه سازی کرد. در این بخش، بررسی انرژی واحد جداسازی و خالص سازی اتیلن و بوتن پتروشیمی باختر با استفاده از Aspen Energy Analyzer مورد بررسی قرار گرفت. نتایج شبیه سازی نشان داد که کل Utility های واحد در حدود  $1.043 \times 10^7$  kJ/h می باشد که بیشترین سهم از Utility های گرم و سرد مربوط به گرم فرآیندی است. در جدول (۴-۵) Utility های گرم و سرد فرآیندی ارائه شده است.

جدول ۴-۵- Utility های گرم و سرد فرآیندی واحد

Summary Table	
Total Utilities [kJ/h]	10430000
Heating Utilities [kJ/h]	6120000
Cooling Utilities [kJ/h]	4309000

## ۴-۳- تحلیل اقتصادی واحد جداسازی و خالص سازی اتیلن و بوتن پتروشیمی باختر

بررسی و مطالعه ای هزینه های مورد نیاز در بخش مختلف یک واحد صنعتی از جمله هزینه های عملیاتی اهمیت ویژه ای دارد. در این بخش از تحقیق با استفاده از Aspen Economics Analyzer بررسی اقتصادی واحد جداسازی و خالص سازی اتیلن و بوتن پتروشیمی باختر انجام شد. نتایج حاصل از شبیه سازی و بررسی در جداول ۴-۶ و ۴-۷ ارائه شده است. نتایج نشان می دهد که بیشترین هزینه های Utility مربوط به بار حرارتی ریبویلر در دو برج است.

جدول ۴-۶- نتایج شبیه‌سازی با Aspen Economics Analyzer

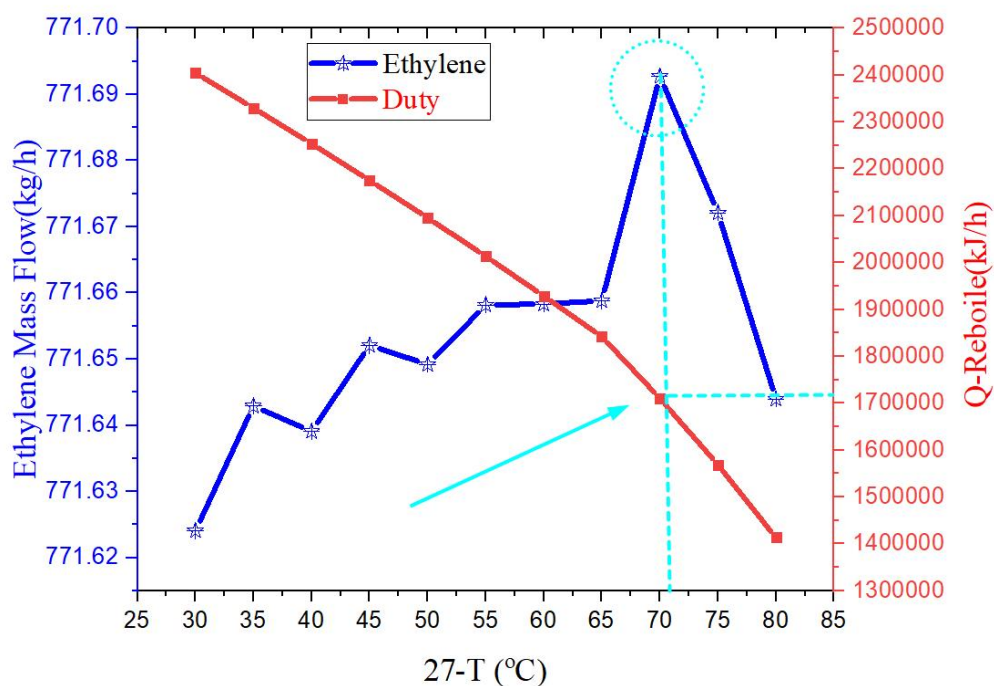
Name	Summary
Total Capital Cost [USD]	5820090
Total Operating Cost [USD/Year]	1885370
Total Utilities Cost [USD/Year]	558358
Equipment Cost [USD]	327800
Total Installed Cost [USD]	1281900

جدول ۴-۷- هزینه‌های برخی از تجهیزات در واحد جداسازی و خالص‌سازی اتیلن و بوتن پتروشیمی باختر

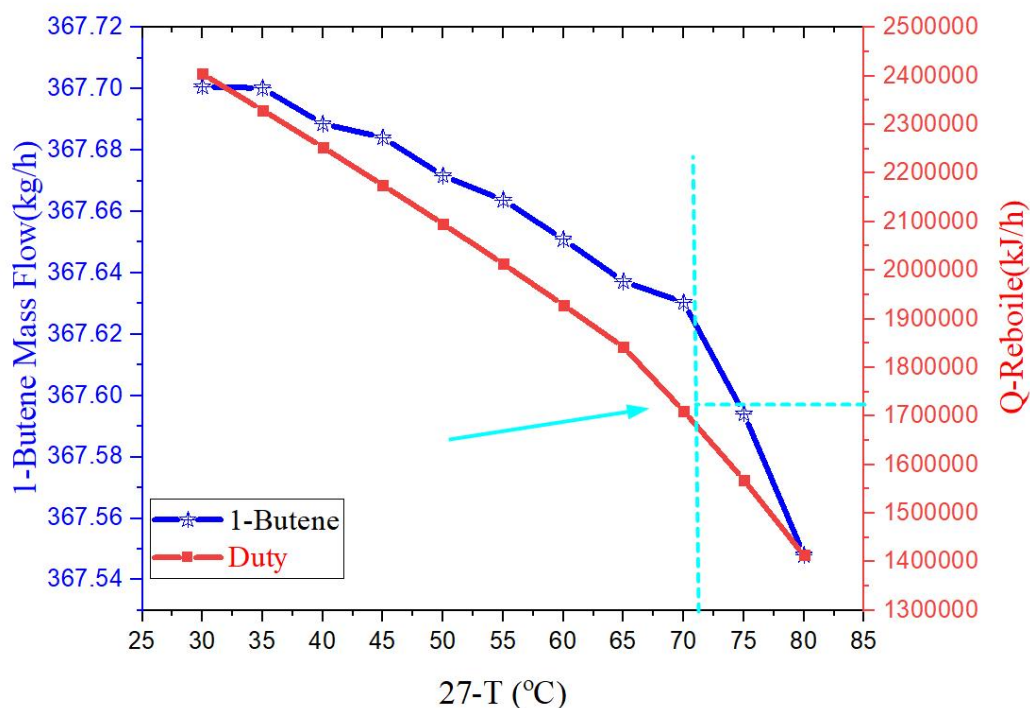
Name	Equipment Cost [USD]	Installed Cost [USD]	Utility Cost [USD/HR]
E-100	10200	62200	0.80472
20-P-4001	15900	46800	0.28908
20-E-4004	10200	61600	0.43572
<b>20-T-4001</b>	<b>1E+05</b>	<b>3E+05</b>	<b>19.4732</b>
20-P-4002	3900	28300	0.00698
20-D-5003	15000	90700	0
<b>20-T-4002</b>	<b>99400</b>	<b>3E+05</b>	<b>33.67</b>
20-P-5003	3900	27000	0.00698
20-D-4002	19100	91800	0
20-E-4005	8200	51700	0.0696
20-D-4001	24000	1E+05	0
20-E-4003	13300	73300	1.62936

## ۴-۴- بهینه‌سازی پارامترهای فرآیندی

از بین پارامترهای فرآیندی موثر در ظرفیت جداسازی اتیلن و بوتن، دمای خوراک ورودی به برج‌های مربوطه است که این پارامتر تأثیر مستقیمی در بارحرارتی ریبویلر برج‌ها دارد. با افزایش دمای خوراک ورودی به برج جداسازی و خالص‌سازی اتیلن و بوتن، بارحرارتی کاهش می‌یابد و همچنین موجب افزایش جداسازی اتیلن و بوتن می‌شود. بررسی تأثیر دمای حلال ورودی به برج جذب در حذف رطوبت از گاز ورودی به واحد نم‌زدایی آب از گاز در شکل‌های ۴-۹ و ۴-۱۰ و جدول (۴-۷) نشان داده شده است. بررسی تأثیر این پارامتر، با در نظر گرفتن دمای خوراک ورودی به عنوان متغیر مستقل و مقدار اجزاء در جریان محصول و بار حرارتی ریبویلر برج به عنوان متغیر وابسته انجام شد.



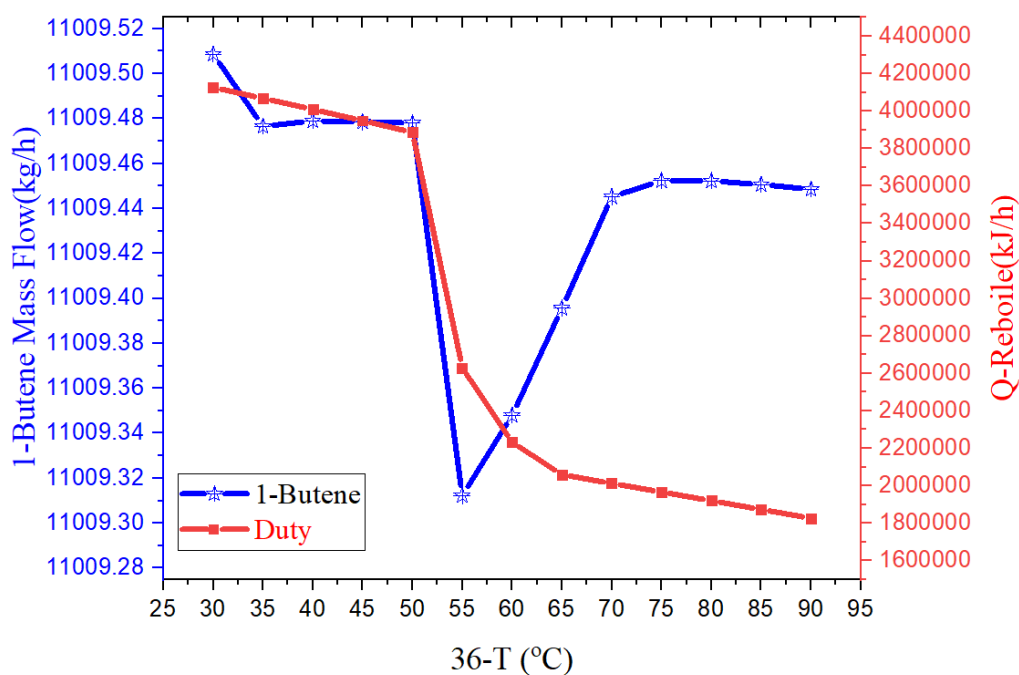
شکل ۴-۹- تاثیر دمای خوراک ورودی به برج 20-T-4001 در جداسازی اتیلن و بار حرارتی



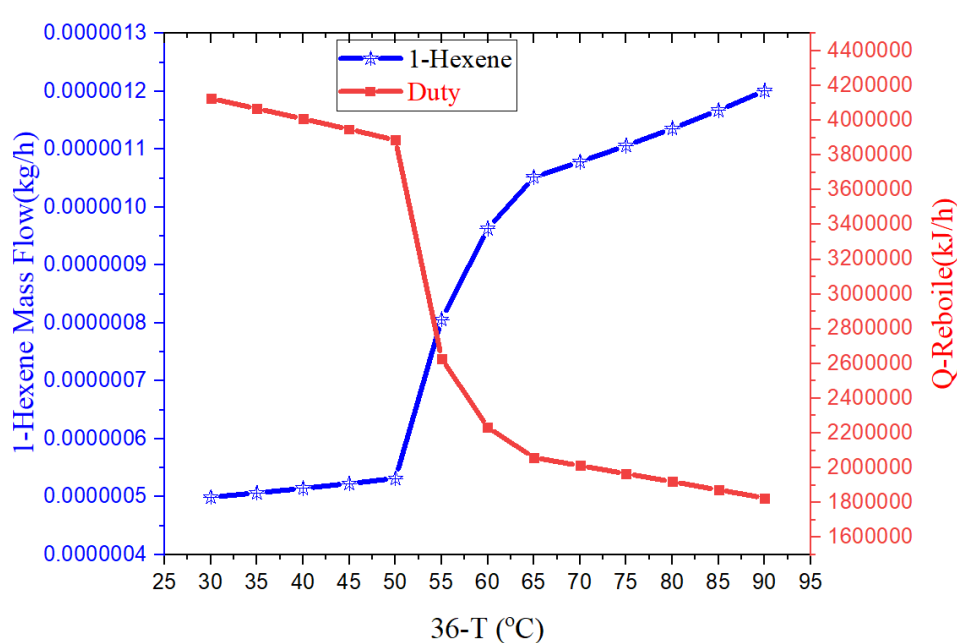
شکل ۴-۱۰- تاثیر دمای خوراک ورودی به برج 20-T-4001 در جداسازی ۱-بوتن و بار حرارتی

نتایج بررسی و شبیه‌سازی در شکل‌های ۴-۹ و ۴-۱۰ نشان داد که با افزایش دمای خوراک ورودی به برج مقدار اتیلن در جریان محصول افزایش می‌یابد و مقدار ۱-بوتن نیز در

این جریان کمتر می‌شود که نشان از عملکرد مناسب برج در جداسازی این ترکیبات از یکدیگر است. دمای بهینه‌ی خوراک ورودی (خط چین در شکل‌ها) حدود  $72^{\circ}\text{C}$  ارزیابی شد. علاوه بر این، نتایج شبیه‌سازی در شکل‌های ۴-۱۱ و ۴-۱۲ برای برج 20-T-4002 نیز نشان می‌دهد که با افزایش دمای خوراک ورودی بار حرارتی این برج کم می‌شود و مناسب‌ترین دما با توجه به جداسازی ترکیبات بوتن و هگزن از یکدیگر دمای  $45^{\circ}\text{C}$  می‌باشد.

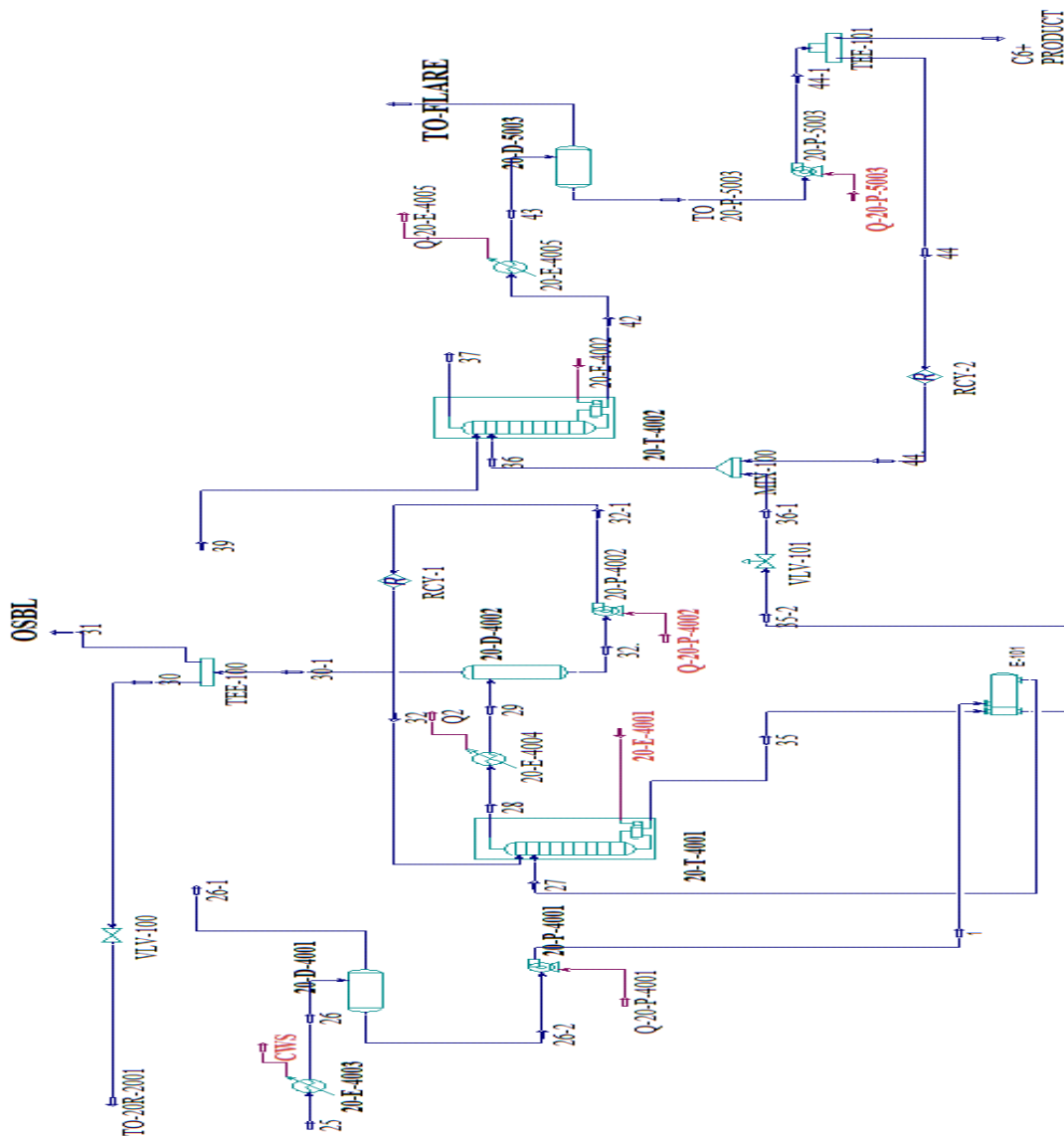


شکل ۴-۱۱- تاثیر دمای خوراک ورودی به برج 20-T-4002 در جداسازی ۱-بوتن و بار حرارتی



شکل ۴-۱۲- تاثیر دمای خوراک ورودی به برج 20-T-4002 در جداسازی ۱-هگزن و بار حرارتی

جهت بهینه‌سازی واحد جداسازی و خالص‌سازی اتیلن و بوتن پتروشیمی باختر، دمای بهینه‌ی خوراک ورودی به برج 20-T-4001 در حدود  $72^{\circ}\text{C}$  است که به منظور افزایش دمای خوراک ورودی به این برج پیشنهاد می‌شود که بجای کولر E-100 که به منظور کاهش دمای خوراک ورودی به برج دوم استفاده می‌شود از مبدل پوسته-لوله استفاده شود تا هم دمای خوراک ورودی به برج 20-T-4001 افزایش یابد و هم دمای مورد نظر خوراک ورودی برج 20-T-4002 تامین شود. در شکل (۴-۱۳) طراحی بهینه‌سازی شده واحد ارائه شده است.



شکل ۴-۱۳- شماتیک واحد در حالت بهینه‌سازی شده

نتایج شبیه‌سازی و بررسی انرژی واحد در دو حالت کنونی و بهینه‌سازی شده با طراحی جدید نشان داد که حدود  $1042000 \text{ kJ/h}$  صرفه جویی Utility کل را به دنبال خواهد داشت.

در جدول (۸-۴) مقایسه Utility ها برای دو حالت کنونی و بهینه سازی شده ارائه شده است. همچنین بررسی اقتصادی و مقایسه برای دو حالت نشان داد که در صورت اجرایی طرح پیشنهادی در حدود 46397 USD/Year صرفه جویی Utility ها خواهد شد.

جدول ۸-۴ - مقایسه Utility ها برای دو حالت کنونی و بهینه سازی شده

Property	Current Status	Act Optimized
Total Utilities [kJ/h]	10430000	9388000
Heating Utilities [kJ/h]	6120000	6213000
Cooling Utilities [kJ/h]	4309000	3175000

## فصل پنجم

### نتایج

## ۵-۱- نتیجه گیری

انرژی در بخش‌های مختلف واحد جداسازی و خالص‌سازی اتیلن و بوتن پتروشیمی باختر وابسته به پارامترهای مختلفی از جمله عملکرد برج‌های جداسازی، ظرفیت خوراک دهی و تولید محصولات بوتن و اتیلن است. لذا استفاده از حدکثر ظرفیت جداسازی و خالص‌سازی، موجب افزایش مصرف انرژی در بخش‌های مختلف این واحد می‌شود. بنابراین، مطالعه‌ی انرژی واحد و تحلیل آن به شناسایی برخی از دستگاه‌هایی که مصرف انرژی بالایی دارند کمک می‌کند تا بتوان با طراحی و ساخت مجدد دستگاه، و یا با بررسی تاثیر پارامترهای فرآیندی در این تجهیزات، مصرف انرژی بالا را کاهش و بهینه‌سازی کرد. در این بخش، بررسی انرژی واحد جداسازی و خالص‌سازی اتیلن و بوتن پتروشیمی باختر با استفاده از Aspen Energy Analyzer مورد بررسی قرار گرفت. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که کل Utility های واحد در حدود  $1.043e+7$  kJ/h می‌باشد که بیشترین سهم از Utility های گرم و سرد مربوط به گرم فرآیندی است.

جهت بهینه‌سازی واحد جداسازی و خالص‌سازی اتیلن و بوتن پتروشیمی باختر، دمای بهینه‌ی خوراک ورودی به برج 20-T-4001 در حدود  $72^{\circ}\text{C}$  است که به منظور افزایش دمای خوراک ورودی به این برج پیشنهاد می‌شود که بجای کولر E-100 که به منظور کاهش دمای خوراک ورودی به برج دوم استفاده می‌شود از مبدل پوسته-لوله استفاده شود تا هم دمای خوراک ورودی به برج 20-T-4001 افزایش یابد و هم دمای مورد نظر خوراک ورودی برج 20-T-4002 تامین شود.

نتایج شبیه‌سازی و بررسی انرژی واحد در دو حالت کنونی و بهینه‌سازی شده با طراحی جدید نشان داد که حدود  $1042000$  kJ/h صرفه جویی Utility کل را به دنبال خواهد داشت. در **جدول (۸-۴) مقایسه Utility ها** برای دو حالت کنونی و بهینه‌سازی شده ارائه شده است. همچنین بررسی اقتصادی و مقایسه برای دو حالت نشان داد که در صورت اجرایی طرح پیشنهادی در حدود  $46397$  USD/Year صرفه جویی Utility ها خواهد شد.

## فهرست منابع

[<sup>١</sup>]D.O. Cooney, Z. Xi, PRODUCTION OF ETHYLENE AND PROPYLENE FROM ETHANE, PROPANE, AND N-BUTANE MIXED WITH STEAM IN A MICROWAVE-IRRADIATED SILICON-CARBIDE LOADED REACTOR, Fuel Science and Technology International 14 (1996) 1315-1336.

[<sup>٢</sup>]C.D. Weinstein, Computer simulation of an ethylene plant, University of Massachusetts Amherst, 2014.

[<sup>٣</sup>]M.-S. Ko, J.-K. Jeon, J.-H. Cho, S.-J. Lee, J.-H. Lee, Process of the Selective Production of 1-Butene through Positional Isomerization from 2-Butenes, Korean Chemical Engineering Research 46 (2008).

[<sup>٤</sup>]E. Boonaert, A. Valtz, C. Coquelet, Vapour-liquid equilibria of n-butane and ethyl mercaptan: Experiments and modelling, Fluid Phase Equilibria 504 (2020) 112335.

[<sup>٥</sup>]F.S. Jahromi, M. Beheshti, R.F. Rajabi, Comparison between differential evolution algorithms and response surface methodology in ethylene plant optimization based on an extended combined energy - exergy analysis, Energy 164 (2018) 1114-1134.

[<sup>٦</sup>]G. Guangying, Q. Xianliang, J. Bin, L. Xingang, Simulation of quench system of ethylene plant using real components, Chemical Engineering Research and Design 86 (2008) 1049-1052.

[<sup>٧</sup>]E. Ali, K. Al-humaizi, Temperature Control of Ethylene to Butene-1 Dimerization Reactor, Industrial & Engineering Chemistry Research (٢٠٠٠) ٣٩ .١٣٢٩-١٣٢٠

[<sup>٨</sup>]A. Jackson, U. Romokere, K. Dagde, ENERGY INTEGRATION OF BUTENE-1 PRODUCTION PLANT USING PINCH TECHNOLOGY, (2019) 1-17.

## **Abstract**

Butene and ethylene derivatives are among the most widely used materials in petrochemical units to produce valuable products. These two materials are valuable in the industry by cracking C4 hydrocarbons in high-rise towers. The feed of ethylene and butane separation and purification unit in petrochemical is from the catalytic unit in this complex. In this research, Peng-Robinson thermodynamic package and Aspen Tech software were used to simulate and analyze this unit. The simulation results showed that the highest amount of butane compounds is present in the upper part of the 20-T-4002 tower as the main product which resulted in approximately more than 99.86% molar with  $3.877 \times 10^6$  kJ / h reboiler heat load. In addition, most of the amount of 1-hexane and normal-hexane compounds is in the output stream from the bottom of the tower.

**Keywords:** Ethylene purification, simulation, butene.



**Energy Institute of Higher Education**

# **Optimization and simulation of separation tower of ethylene in petrochemical using Aspen Tech**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Master of Science (Doctor of Philosophy) in Energy Conversion**

**By:  
Mehdi Kiyani**

**Supervisors:  
Dr. Mojtaba Mirzaee  
Dr. Heydar Madah**

**December 2019**