نشریه علم و فناوری در مهندسی مکانیک

سال ۱۴۰۲ / دوره پاییز و زمستان /شماره ۲ /صفحه ۳۳-۴۷

DOI: 10.22034/STME.2024.414265.1044

آنالیز پینچ و شبیه سازی موردی واحد پالایشگاه نفت خام بوعلی سینا

نازنین نعمتی یزدی[۱]، مهدی نصیری شهربابکی[۲]، مصطفی والی زاده اردلان[۳]، علی جوادی[۴*]

۱- کارشناسی، دانشکده مهندسی مکانیک و صنایع، گروه مهندسی انرژی، دانشگاه سجاد، مشهد، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی، گروه مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۳- دکترای تخصصی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

۴- دکترای تخصصی، دانشکده مهندسی، گروه مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

چکیده

امروزه صرفه‌جویی انرژی در پالایشگاه‌های نفت و گاز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، بطوریکه صرفه‌جویی و بهینه‌سازی مصرف انرژی (سوخت) می‌تواند اثرات مثبت اقتصادی و زیست‌محیطی فراوانی داشته باشد. بر این اساس، در این پژوهش به بهینه‌سازی مصرف سوخت در پالایشگاه بوعلی پرداخته شده است. بدین ترتیب که ابتدا پالایشگاه بوعلی در محیط نرم‌افزار aspen hysys شبیه‌سازی شده و از طریق آنالیز حساسیت پارامترهای موثر در مصرف انرژی پالایشگاه اصلاح و باز طراحی شده است. مطابق با عنوان پژوهش، به منظور به حداقل رساندن مصرف منابع حرارتی خارجی، از فن‌آوری پینچ استفاده شده است. همچنین با در نظر گرفتن نمودار ترکیبی جامع و نتایج آن، مبدل چهار جریانه برای این پالایشگاه پیشنهاد شده است. نتایج نشان می‌دهد که این بازطراحی موجب صرفه جویی در نرخ انتقال حرارت شده (۳۴۸۲۹۰۴۲ کیلو ژول بر ساعت) و مصرف پالایشگاه را حدود ۷ درصد کاهش داده است.

واژه‌های کلیدی

پالایشگاه نفت، مبدل حرارتی، واحد تقطیر پالایشگاه، آنالیز پینچ، نرم‌افزار aspen hysys

Pinch analysis and simulation of Bu Ali Sina crude oil refinery unit

Nazanin Nemati Yazdi[1], Mahdi Nasiri Shahrbabaki[2], Mostafa Valizadeh Ardalan[3], Ali Javadi[4*]

1- Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Sadjad, Mashhad, Iran

2- Department of Mechanical Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

3- Department of Mechanical Engineering, Shahroud University of Technology, Shahroud, Iran

4- Department of Mechanical Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Abstract

Nowadays, energy saving in oil and gas refineries is of special importance, so saving and optimizing energy (fuel) consumption can have many positive economic and environmental effects. Based on this, in this research, optimization of fuel consumption in Bu-0Ali Refinery has been discussed. In this way, Bo Ali Refinery was first simulated in the Aspen Hysys software environment, then it was modified and redesigned through the sensitivity analysis of parameters effective in the energy consumption of the refinery. According to the title of the research, in order to minimize the consumption of external heat sources, pinch technology has been used. Also, considering the comprehensive combination diagram and its results, a four-stream converter is proposed for this refinery. The results showed that this redesign saved the heat transfer rate (34829042 kJ/h) and reduced the consumption of the refinery by about 7%.

Keywords

Oil refinery, Heat exchanger, Refinery distillation unit, Pinch analysis, Simulation.

* علی جوادی، alihajavi91@yahoo.com

۱-مقدمه

نیاز روز افزون بشر به انرژی و منابع محدود آن و از سمتی افزایش چشم‌گیر بهای انرژی در جهان طی سال‌های اخیر، سبب شده است اهمیت بهینه کردن مصرف انرژی افزایش پیدا کند [۶-۱]. در این میان توجه به کاهش مصرف سوخت اثرات سریع‌تر و مناسب‌تری را به دنبال داشته است. صرفه‌جویی و بهینه‌سازی سوخت نه تنها از دیدگاه مصرف سوخت بلکه از دیدگاه حفظ محیط زیست نیز از اهمیت زیادی برخوردار است[۷]. کشور ایران بدون تردید یکی از بزرگترین کشورهای صاحب منابع انرژی به ویژه سوخت‌های فسیلی در جهان می باشد. با رشد روز افزون جمعیت کشور و افزایش تقاضا برای انواع انرژی، شدت مصرف انرژی در بخش‌هایی مانند ساختمان، حمل و نقل و صنعت بسیار بالاتر از متوسط مصرف جهانی است[۸]. نیروگاه‌های حرارتی بیشترین سهم را نسبت به صنایع دیگر در میزان مصرف حامل‌های اولیه انرژی دارند[۹]. به دلیل حجم بالای انرژی تبدیل یافته و نیز میزان بسیار بالای تلفات انرژی در نیروگاه‌ها می‌توان با راهکارهایی راندمان نیروگاه را هر چند اندک افزایش داد [۱۰]. روش‌های صرفه‌جویی در انرژی در طراحی فرآیندهای کارآمد و کاهش هزینه‌های عملیاتی به ویژه برای صنایع پرمصرف انرژی از جمله پالایشگاه نفت و گاز و تأسیسات پتروشیمی بسیار مهم است. وضعیت نیروگاه‌های حرارتی ایران به گونه ایست که به دلایل مختلفی (از جمله نوع تکنولوژی و استهلاک(پتانسیل صرفه‌جویی انرژی به میزان زیادی در آنها وجود دارد. با اقدام در جهت بهبود کارآیی انرژی، نیاز به سرمایه‌گذاری برای افزایش ظرفیت پالایشگاهی کاهش می‌یابد[۱۱-۱۲]. افزایش کارایی انرژی در پالایشگاه‌های موجود یکی از عناصر اساسی توسعه پایدار برای چندین کشور تولید کننده نفت است [۱۳].

انتگراسیون فرآیند، یک رویکرد جامع در طراحی مهندسی است که با هدف به حداقل رساندن استفاده از منابع و انرژی انجام می‌شود که منجر به بسیاری از روش‌های طراحی مفهومی و کاربردهای صنعتی خواهد شد [۱۴]. تجزیه و تحلیل پینچ روش اصلی در انتگراسیون فرآیند بوده و به عنوان یک راه حل اساسی برای افزایش کارآیی انرژی در پالایشگاه‌ها در نظر گرفته می‌شود[۱۵]. این روشی برای هدف گذاری سیستم‌های مختلف انرژی از جمله سیستم‌های پالایشگاهی است[۱۶]. فناوری پینچ همراه با تجزیه و تحلیل تجربی فرآیندهای صنعتی را قادر می‌سازد تا با حداکثر شبکه‌های بازیابی انرژی طراحی شوند و وابستگی به منابع حرارتی خارجی کاهش داده شود، همچنین عملکرد کلی فرآیند را به سمت یک طراحی پایدار بهبود می‌بخشد[۱۹-۱۷]. فناوری پینچ وظیفه یافتن شبکه بهینه مبدل‌های حرارتی، منابع حرارتی گرم و سرد خارجی را باتوجه به سرمایه و هزینه عملیاتی سالانه دارد. هزینه‌های سرمایه‌گذاری عمدتاً به تعداد منابع حرارتی گرم و سرد خارجی، مبدل‌های حرارتی و اندازه آنها (مساحت) بستگی دارد. هزینه‌های روزانه پالایشگاه عمدتاً تحت تأثیر مقدار نیاز به انرژی خارجی تأمین شده مانند گرمایش و سرمایش قرار دارد. بنابراین هدف اصلی تجزیه و تحلیل پینچ به حداکثر رساندن بازیابی گرمای فرآیند و کاهش بارهای خارجی می‌باشد [۲۰]. لطفی و سنندجی در یک مورد مطالعاتی بر روی نیروگاه حرارتی تبریز، با کاربرد آنالیز ترکیبی پینچ و اگزرژی، در مورد افزایش توان نیروگاه تحقیق و بررسی کردند. در این پژوهش علاوه بر ترکیب پینچ و اگزرژی، فشار زیرکش توربین‌ها به عنوان یک متغیر موثر جهت افزایش توان نیروگاه معرفی شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که کاهش فشار زیرکش‌ها نسبت به حالت مبنا منجر به کاهش اتلاف انرژی در پیش گرمکن‌ها شده که نتیجه این بهینه‌سازی افزایش توان تولیدی و کاهش مصرف سوخت می‌باشد [۲۱].

همچنین جعفری نصر با توسعه روش ترکیبی تکنولوژی پینچ و فناوری، پروژه اصلاح شبکه مبدل حرارتی پیش از گرمکن برج تقطیر اتمسفریک پالایشگاه تهران را مورد بررسی قرار داده است. در این پژوهش نتایج نشان داد که استفاده از نرم‌افزار تدوین شده pinch-hte و اصلاح شبکه‌ای مبدل، با به کارگیری یک وسیله افزاینده، باعث کاهش سطح انتقال حرارت به میزان ۹ درصد خواهد شد [۲۲].

مهرپویا و همکارانش با هدف بهینه‌سازی مصرف انرژی در

واحد پالایشگاه گاز طبیعی به موفقیت‌هایی دست یافتند. واحد پالایشگاه گاز طبیعی در بی بی حکیمه استان خوزستان واقع شده است. این واحد به منظور بازیافت ۱۸۰۰ تن ngl شیرین از ۱۸۰ میلیون فوت مکعب گاز ترش طراحی شده است. در این پژوهش پس از مطالعه و بررسی انجام شده، فرآیندهای مختلف واحد بازیافت این پالایشگاه به وسیله نرم افزار هایسیس شبیه‌سازی شده است. نتایج حاصل با داده‌های واقعی مقایسه شده و رفتار فرآیند نسبت به تغییرات پارامترهای موثر در عملکرد واحد بررسی شده و بدین وسیله قسمت‌هایی از فرآیند که بهبود آن امکان پذیر بود شناسایی و با اعمال تغییرات ساختاری بهینه شده‌اند. نتایج آنها نشان داد که مقدار سود حاصل ۲۸ درصد افزایش پیدا کرده است [۲۳].

التمتامی[۱] و همکارانش به مطالعه و بررسی بکارگیری آنالیز پینچ جهت بهینه سازی شبکه مبدل‌های گرمایی پالایشگاه گاز وسترن دیزرت در کشور مصر پرداختند. نتایج آنها نشان داد که با اضافه کردن دو مبدل به شبکه موجود، صرفه جویی در منابع خارجی سرد و گرم به ترتیب به میزان ۴۲ و ۲۱ درصد، با دوره بازگشت یکساله بدست می‌آید [۲۴].

سون جیون یون[۲] و همکاران با استفاده از آنالیز پینچ در یک واحد صنعتی تولید اتیل بنزن، با اضافه کردن یک مبدل جدید به کاهش هزینه سالانه به میزان ۶/۵٪ دست یافتند [۲۵].

متیجاوسی[۳] و همکارش با به کار بردن آنالیز پینچ برای شبکه مبدل‌های گرمایی واحد تولید اسید نیتریک، موفق به کاهش نیاز به آب خنک کننده و بخار با فشار متوسط شدند. برای رسیدن به این صرفه جویی سه مبدل را با مبدل‌های جدید جایگزین نموده و یک مبدل را حذف نمودند [۲۶].

معصومه فرخنده کواکی با استفاده از تکنولوژی پینچ در واحد آروماتیک پتروشیمی بندر امام توانست با آرایش جدید مبدل‌ها و بدون تعویض و یا افزودن مبدلی به میزان ۱۷ درصد در مصرف منابع گرم و ۹ درصد در مصرف منابع سرد صرفه جویی نماید [۲۷].

محمد علیخانی توانست با استفاده از آنالیز پینچ در واحد آیزوماکس پالایشگاه تهران با نصب دوازده مبدل جدید با سطح کل ۸۰۰ متر مربع، هزینه اولیه ۷۱۸۳۱۲ دلار و دوره برگشت دوساله، به کاهش مصرف منبع خارجی گرم به میزان ۳۳ درصد و منبع خارجی سرد به میزان ۱۹ درصد دست یابد [۲۸].

محمد حجت الاسلامی و همکاران با استفاده از تکنولوژی پینچ موفق به کاهش ۵۴ درصد مصرف بخار گرم به ازای هر تن چغندر در کارخانه قند چهار محال گشتند [۲۹].

سید حجت مجیدی و سپهر صنایع با به کارگیری تکنولوژی پینچ در واحد بوتن_۱ پتروشیمی تبریز با افزایش نرخ هزینه‌های سرمایه گذاری به میزان ۱/۱۵ درصد که مربوط به افزایش تعداد واحدها نسبت به حالت اولیه است، به کاهش نرخ هزینه‌های انرژی به میزان۱۲/۱ درصد رسیدند [۳۰].

مریم خیری و همکارانش به مطالعه پینچ حرارتی در واحد LPG پالایشگاهی پرداختند. هدف از این پژوهش تعیین میزان صرفه‌جویی انرژی مصرفی واحد تولید گاز مایع پالایشگاهی با استفاده از فناوری پینچ است. بدین منظور بخش اتان‌زدای یک واحد تولید گازمایع با استفاده از نرم‌افزار Aspen HYSYS شبیه‌سازی شد و نتایج حاصل از شبیه‌سازی با داده‌های طراحی مقایسه و تایید شد. نتایج آنها نشان داد که انجام فرایند بهینه‌سازی مصرف انرژی واحد گازمایع مورد نظر صرفه‌جویی انرژی مصرفی، کاهش هزینه‌های تولید و در نتیجه سودآوری بیشتر را برای واحد به دنبال خواهد داشت[۳۱].

شکری پور و همکاران به بررسی بهبود بخشی راندمان اگزرژی در یک واحد تقطیر نفت خام اتمسفری از طریق اصلاح شبکه مبدل‌های حرارتی با استفاده از تکنولوژی پینچ پرداختند. این مطالعه با هدف کاهش مصرف انرژی و کاهش تخریب اگزرژی در واحد ۱۰۰ پالایشگاه نفت آبادان انجام شد. برای این منظور از فناوری پینچ برای اصلاح شبکه مبدل‌های حرارتی موجود استفاده شد. در نتیجه مصرف انرژی گرمایی و سرمایی به ترتیب ۵۹,۸۹

۱ S.A.El-Temtamy
۲ Sung-Geun Yoon
۳ L.Matijasevie

درصد و ۴۲,۳۳ درصد کاهش یافت. سپس میزان تخریب اگزرژی شبکه مبدل حرارتی جدید طراحی شده با استفاده از دو روش ساده محاسبه شد: اول معادله تعادل اگزرژی برای شبکه و دوم استفاده از منحنی Balanced Exergy Composite Curve. مقایسه این دو روش نشان داد که هر دو نتایج مشابهی دارند. در مقایسه با شبکه مبدل حرارتی موجود، شبکه مبدل حرارتی جدید طراحی شده تخریب اگزرژی را حدود ۶۵ درصد کاهش داد. در مرحله بعد از آنالیز اگزرژی پیشرفته استفاده شد. نتایج نشان داد که ۸۳,۲ درصد از تخریب اگزرژی شبکه جدید طراحی شده اجتناب ناپذیر است و به دلیل ماهیت فرآیند تبادل حرارت است[۳۲].

مرور پژوهش‌های قبلی و کارهای انجام شده نشان دهنده این مطلب است که تاکنون فرایندهای فراورش نفت خام به وسیله فناوری پینچ مورد بررسی و تحقیق قرار نگرفته اند. نتایج این تحقیق در صورت بهینه سازی فرایند موجود، امکان بررسی فرایندهای مشابه را در کشور که در مناطق زیادی مورد استفاده قرار می‌گیرند، فراهم خواهد آورد. همچنین از مسائل حائز اهمیت در صنایع پالایشی بحث انرژی و افزایش بازده آن است. واحد اتمسفریک نفت خام از جمله پرمصرف‌ترین واحدهای صنعتی به شمار می‌آید، از این رو پیوسته تلاش‌های بسیاری برای افزایش بازده انرژی این واحد انجام شده است. در ادامه شرح فرآیند و انجام آنالیزهای حساسیت متعدد جهت انتخاب پارامترهای عملیاتی بطوری‌که به بهبود عملکرد فرآیند کمک کند پرداخته شده است. سپس با استفاده از آنالیز پینچ، به باز طراحی مبدل‌ها و اصلاح آن‌ها در یک پالایشگاه نفت خام شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار پرداخته تا بتوان بار حرارتی منابع خارجی را کم کرده و به صرفه‌جویی انرژی کمک شود.

۲-شرح فرآیند و بیان مسئله و روش انجام کار

در این مقاله به بررسی واحد پالایشگاه نفت خام در پتروشیمی بوعلی سینا پرداخته شده است. واحد پالایشگاهی نفت بوعلی (شکل ۱) دارای یک برج تقطیر، دو واحد جداکننده (سپراتور) و سه عدد منبع حرارتی خارجی گرم می‌باشد. برج تقطیر ۳۱ سینی دارد که محصولات آن خارج می‌شود. در ابتدا نفت خام استخراج شده با دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد، فشار ۱۰۰۰ کیلوپاسکال و دبی ۶۰۰۰۰۰ کیلوگرم بر ساعت با جریان آب ۱۵ درجه سانتی گراد، فشار ۱۰۰۰ کیلو پاسکال و با دبی ۲۱۶۰۰ کیلوگرم بر ساعت مخلوط می‌شود. یک جریان با دمای ۱۴/۹۷ درجه سانتی‌گراد، ۱۰۰۰ کیلوپاسکال و دبی ۶۱۶۰۰ کیلوگرم بر ساعت خارج می‌شود. در گام بعدی جریان خارج شده از میکسر با هدف دفع گازهای زائد وارد منبع حرارتی خارجی گرم می‌شود و دمای آن به ۶۵ درجه سانتی‌گراد می‌رسد؛ و با افت فشار داخل منبع حرارتی خارجی گرم، به فشار ۹۵۰کیلوپاسکال می‌رسد.

جریان خوراک وارد دومین منبع حرارتی خارجی گرم شده و با دمای ۹۱ درجه سانتی‌گراد و فشار ۹۱۵ کیلوپاسکال خارج شده است. جریان خوراک، با هدف جداسازی آب، گاز و نفت وارد سپرایتور سه فاز شده است. جریان نفت دوباره وارد منبع حرارتی خارجی گرم شده و با دمای ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد، فشار ۵۴۰ کیلوپاسکال و دبی ۶۰۰۲۰۹,۳ کیلوگرم بر ساعت خارج می‌شود و این جریان وارد سپرایتور شده و نفت و گاز آن دوباره جدا می‌شوند. جریان نفت خارج شده از سپرایتور وارد منبع حرارتی خارجی گرم شده و با دمای ۲۹۰ درجه سانتی‌گراد،۲۹۰ کیلوپاسکال و دبی ۵۸۵۱۳۵,۸ کیلوگرم بر ساعت از منبع حرارتی خارجی گرم خارج می‌شود.

جریان بعد از گرم شدن آماده وارد شدن به برج تقطیر است؛ و دو جریان دیگر در سینی متفاوت وارد می‌شوند که مشخصات آن به شرح زیر می‌باشد. جریان نفت اصلی با دمای ۱۹۴ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱۳۸۰ کیلوپاسکال و جریان آب دوم با دمای ۱۵۰درجه سانتی‌گراد و ۳۵۰ کیلوپاسکال وارد برج تقطیر می‌شود.

خروجی‌های برج تقطیر به شرح زیر است:

- گاز با دمای ۴۹,۵ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱۴۰ کیلو پاسکال
- نفتا با دمای ۴۹ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱۴۰ کیلو پاسکال
- فاضلاب با دمای ۴۹,۵ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱۴۰ کیلو پاسکال

- باقیمانده با دمای ۲۷۷ درجه سانتی‌گراد و فشار ۲۳۰ کیلو پاسکال

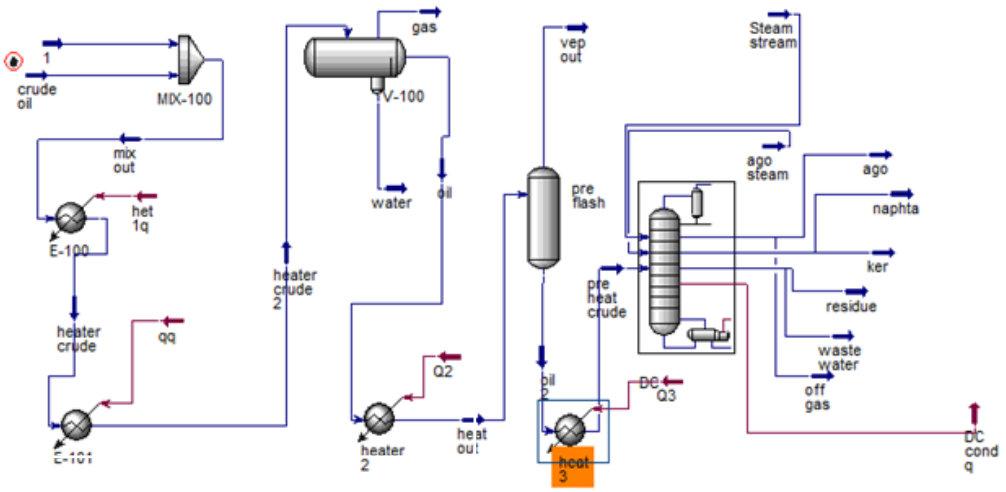
برای دو جریان سرد و دو جریان گرم با مشخصات شکل (۲) مبدل حرارتی طراحی شده که علاوه بر رسیدن به دمای هدف، تامین انرژی از طریق منابع خارجی را به حداقل می‌رساند.

در مقاله حاضر با توجه به آنالیزهای حساسیتی که انجام شده است، به بررسی پارامترهای عملیاتی پرداخته می‌شود و تاثیرات هر کدام از آنها مشاهده شده و سپس پالایشگاه اصلاح و باز طراحی خواهد شد. به طورکلی در این مقاله به طراحی پالایشگاه و بررسی نتایج آن، نظیر تاثیر دمای سپراتور بر دبی جرمی، تحلیل انرژی مصرفی منبع حرارتی خارجی گرم، تغیرات دبی جریان‌ها با دمای سیال ورودی به فلش درام، و. . پرداخته شده و با استفاده از قوانین پینچ، منابع حرارتی پالایشگاه اصلاح شده است.

۳-تحلیل نتایج و شبیه‌سازی فرآیند و اصلاح و بازسازی پالایشگاه

۳-۱- نتایج شبیه‌سازی پالایشگاه

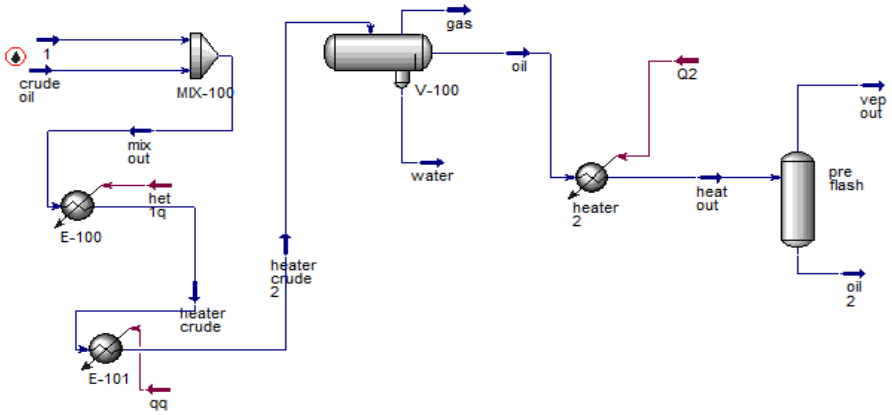
فرآیند در ابتدا با اختلاط جریان نفت و آب آغار می‌شود و با افزایش دمای جریان در دو منبع حرارتی خارجی گرم متوالی به یک سپراتور سه فازی وارد می‌شود. در سپراتور سه فازی دو فاز مایع و یک فاز بخار جداسازی می‌شوند. فاز بخار سبک‌ترین فاز است که از بالا خارج می‌شود. یکی از فازهای مایع سبک و دیگری سنگین است که فاز سنگین از کف سپراتور خارج می‌شود. از آنجاکه آب سنگین‌تر از نفت است (چگالی بیشتری دارد) پس به عنوان فاز سنگین‌تر از کف سپراتور خارج می‌شود. شکل (۳) پارامترهای عملیاتی را نشان می‌دهد. هدف از اختلاط آب و نفت تسهیل جداسازی اجزای محلول در نفت است.



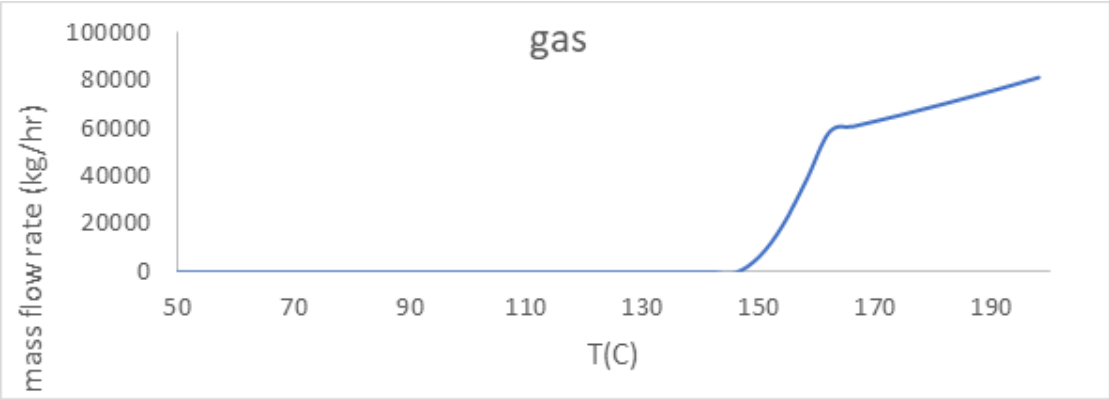
شکل۱- شبیه‌سازی پالایشگاه بوعلی

		Inlet T [C]	Outlet T [C]	MCp [kJ/C-h]	Enthalpy [kJ/h]	Segm.	HTC [kJ/h-m2-C]	Flowrate [kg/h]	Effective Cp [kJ/kg-C]	DT Cont. [C]
hot 1		150.0	80.0	3.000	210.0		720.0	---	---	Global
hot 2		180.0	120.0	1.500	90.00		720.0	---	---	Global
cold1		65.0	135.0	2.000	140.0		720.0	---	---	Global
cold2		91.8	140.0	4.000	192.8		720.0	---	---	Global
New										

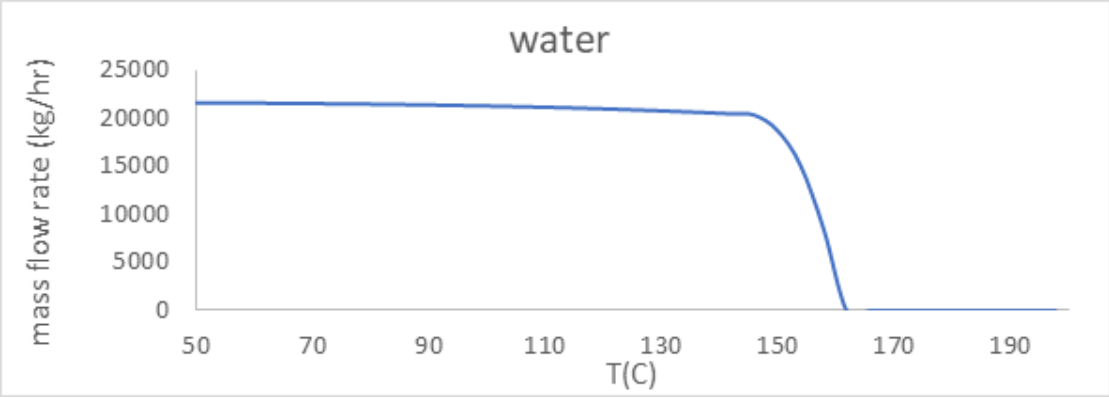
شکل ۲- مشخصات جریان‌ها



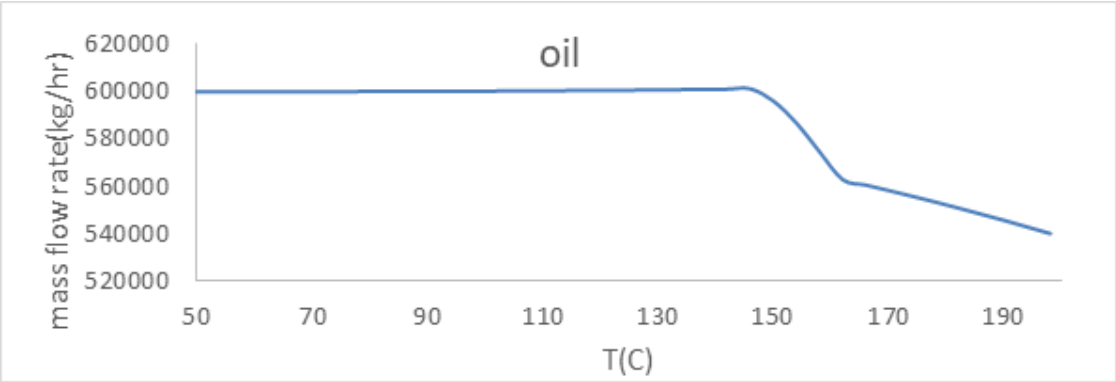
شکل ۳- پارامترهای عملیاتی



شکل۴- تغییرات دبی جرمی بخار بر حسب دما



شکل۵- تغییرات دبی جریان آب بر حسب دما



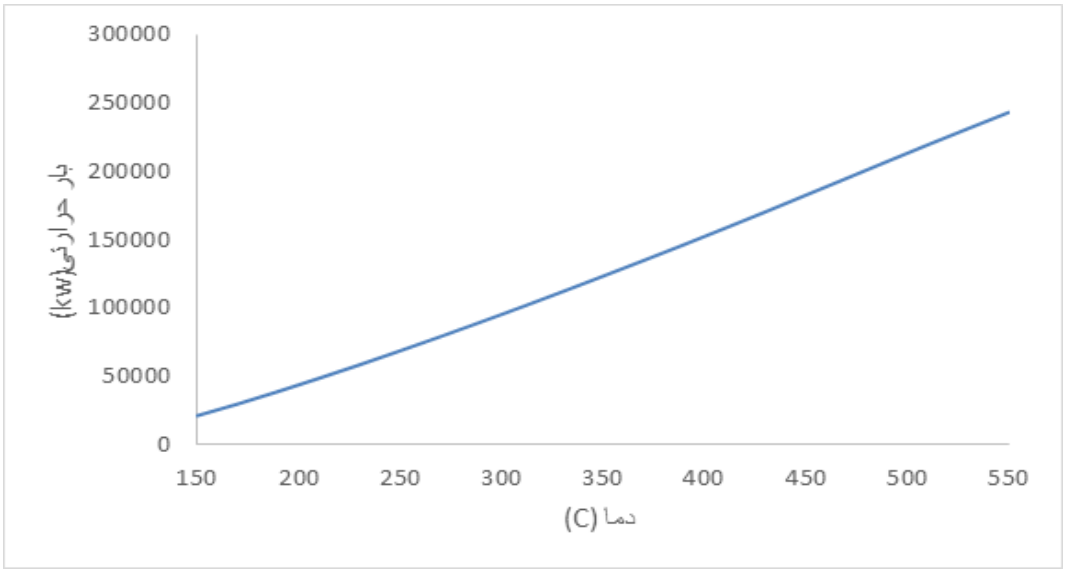
شکل۶- تغییرات دبی جریان نفت بر حسب دما

۳-۱-۱- بررسی تاثیر دمای سپراتور گاز، بر دبی جرمی

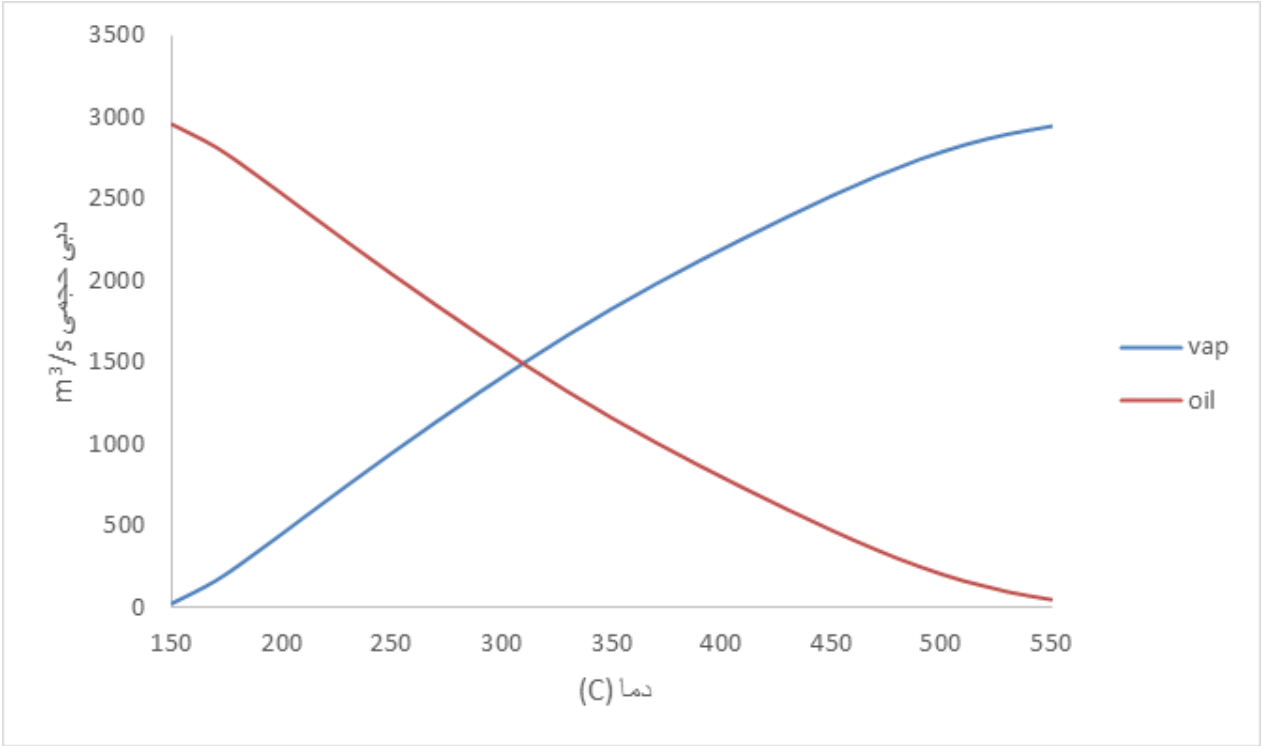
شکل (۴) دبی جرمی جریان گاز بر حسب دما را نشان می‌دهد در این نمودار آنالیز حساسیت از دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد تا دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد انجام شده و مشخص است. دبی جرمی جریان گاز تا دمای

حدود۱۵۰ ثابت و صفر است و پس از آن با افزایش دما افزایش می‌یابد. صفر بودن دبی جرمی تا قبل از دمای ۱۵۰ درجه سانتیگراد ناشی از دمای حباب جریان در فشار جریان است.

همانطور که مشاهده می‌شود، با افزایش دما دبی جریان بخار افزایش می‌یابد. در شکل (۵) نیز همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش دما، دبی جریان آب کاهش می‌یابد. تا قبل از نقطه حباب، شیب کاهش دبی جرمی بسیارکند است و در این منطقه هر چقدر دبی جریان آب کاهش یابد به دبی جریان نفت افزوده می‌شود زیرا دبی جریان گاز صفر است. با عبور از نقطه حباب شیب کاهش دبی بطور چشم‌گیر افزایش یافته بطوری‌که در دمای ۱۶۲درجه سانتی‌گراد دبی جریان آب کاملاً صفر می‌شود.



شکل ۷- تغییرات بار حرارتی بر حسب دما



شکل۸- نمودار دبی جرمی بر حسب دما جریان‌های بخار و نفت

۳-۱-۲- تحلیل انرژی مصرفی منبع حرارتی خارجی گرم

شکل (۷) تغیرات بار حرارتی بر حسب دما را نشان می‌دهد که می‌توان نتیجه افزایش ظرفیت حرارتی مواد به دلیل افزایش دما و افزایش اختلاف دما را مشاهده کرد. برای تحلیل انرژی در این تجهیز، آنالیز حساسیت نسبت به دمای سیال ورودی به آن در فشار ثابت به کار برده می‌شود. به طور کلی با افزایش دمای سیال ورودی به فلش درام، بار حرارتی چگالنده قبل از آن افزایش می‌یابد. در شکل (۶) نیز همان طور که در قسمت قبل پیش بینی شد، تا قبل از نقطه حباب با افزایش دما دبی جریان نفت افزایش داشت، ولی بعد از نقطه جریان نفت با شدت زیاد کاهش می‌یابد. این روند کاهش ادامه خواهد داشت تا به نقطه شبنم رسیده که در آن تماماً بخار بوده و دبی سایر جریان‌ها صفر شود

در حالت کلی با افزایش دما دبی جریان بخار افزایش می‌یابد و در نتیجه دبی جریان فاز مایع سنگین کاهش خواهد یافت و دبی فاز مایع سبک نیز متاثر از دو فاز دیگر تغییرات خواهد داشت. افزایش بار حرارتی منبع حرارتی خارجی گرم هم باعث افزایش هزینه‌های عملیاتی و هم هزینه ساخت مبدل می‌شود.

۳-۱-۳- بررسی تغییرات دبی جریان‌ها با دمای سیال ورودی به فلش درام

استفاده از فلش درام قبل از برج تقطیر به دلیل جداسازی بخارات موجود در گاز و تاثیر آن بر کاهش بار حرارتی دیگ و چگالنده ضروری است. در شکل (۸) تغییرات دبی جریان‌ها با تغییر دمای سیال ورودی به تجهیز مشاهده می‌شود. همانطور که مشخص است با افزایش دما، دبی بخار جداسازی شده افزایش یافته است که از نظر ترمودینامیکی قابل انتظار است. بنابراین با افزایش دبی بخار و با صحت قوانین موازنه جرم، انتظار کاهش دبی جریان مایع تولیدی می‌رود که در شکل مشاهده می‌شود.

۳-۱-۴- تحلیل برج تقطیر

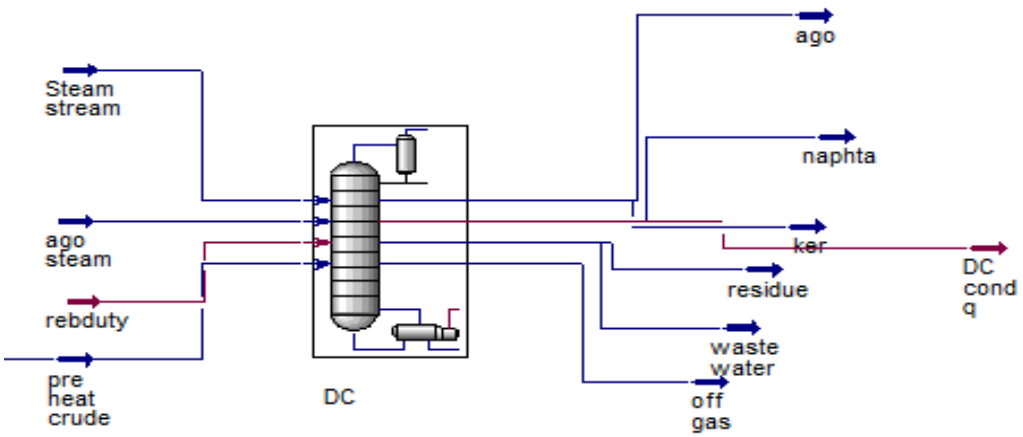
برج‌های تقطیر جهت جداسازی و خالص سازی مواد با نقطه جوش متفاوت و جداسازی برش‌های مختلف هیدروکربنی موجود در نفت خام، بهترین و مقرون به صرفه‌ترین روش استفاده از این فرآیند است.

در این قسمت برج تقطیر دارای یک چگالنده و یک دیگ و چند

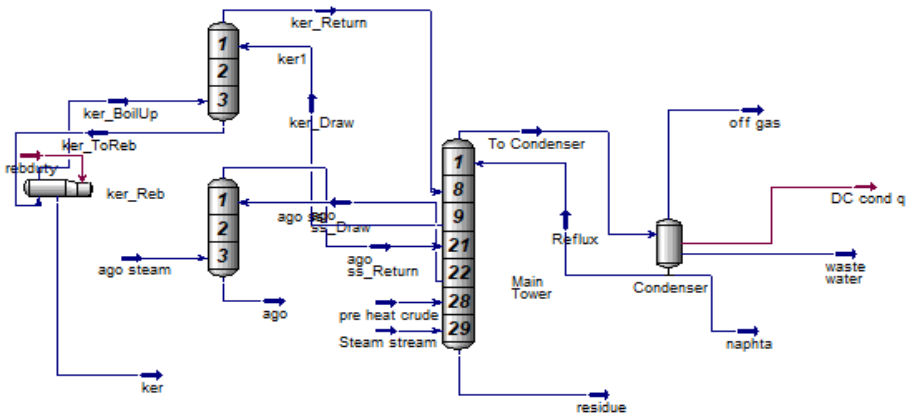
استریپر جانبی است که وظیفه آنها افزایش خلوص جریان‌های جانبی است. در شکل (۹) نمای خارجی برج تقطیر و شکل (۱۰) نمای داخلی آن را نشان می‌دهد. با ورود خوراک به برج به صورت مایع (در حال جوش) بر روی یکی از سینی‌های میانی برج، حرکت مایع به سمت سینی‌های پایینی انجام می‌گیرد. سپس پس از خروج از پایین‌ترین سینی برای تبخیر و بازگردانی آن به برج از تجهیزی به نام دیگ استفاده می‌شود که این کار خالص‌سازی جریان‌ها را بهتر صورت می‌دهد.

در دیگ برای تبخیر جریان به انرژی گرمایی نیاز است که این انرژی معمولاً بصورت بخار آب مورد استفاده قرار می‌گیرد و با توجه به سطح دمای دیگ از انواع بخار استفاده می‌شود. اجزای دیگ در شکل (۱۱) نشان داده شده است.

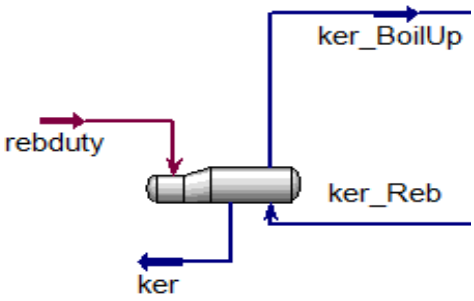
به نسبت جریان بازگشتی (بخار) به جریان مایع خروجی از دیگ (محصول پایین برج که در این فرآیند باقیمانده نام گرفته) نسبت جوش (boilup ration) می‌گویند. با ورود بخار از دیگ به برج و صعود آن به مراحل بالاتر، انتقال جرم بین سطوح مایع و بخار صورت می‌گیرد و اجزای سبک در طی تعادل ترمودینامیکی و همچنین انتقال جرم به فاز بخار وارد می‌شوند و از طرفی فاز مایع اجزا سنگین را به خود جذب می‌کند.



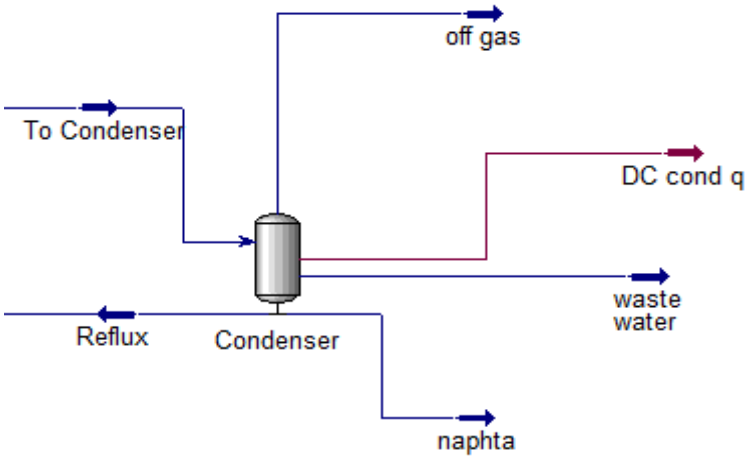
شکل ۹- نمای برج تقطیر



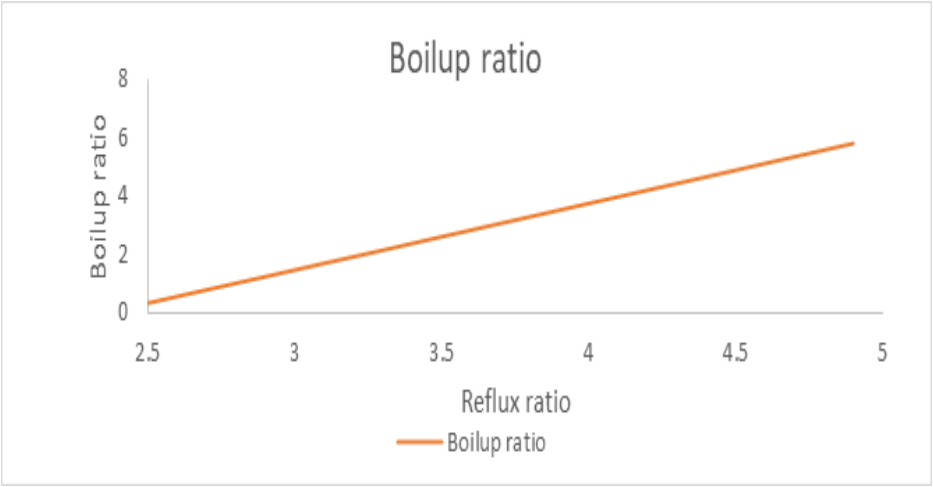
شکل۱۰- نمای داخلی تجهیزات برج تقطیر



شکل ۱۱- نمای عملیاتی دیگ



شکل۱۲. نمای عملیاتی چگالنده



شکل۱۳- نمودار نسبت جوشش به نسبت ریفلاکس

با رسیدن بخار به سینی اول و گذر از آن، از تجهیزی به نام چگالنده برای میعان قسمتی از آن استفاده می‌شود. این بازگردانی به همان دلیل انجام می‌شود که در دیگ انجام شده و به تکمیل آن کمک می‌کند. در چگالنده نیز به نسبت مایع برگشتی به خارج شده از بالا نسبت ریفلاکس (refluxration) می‌گویند. شکل (۱۲) نمای عملیاتی چگالنده را نشان می‌دهد

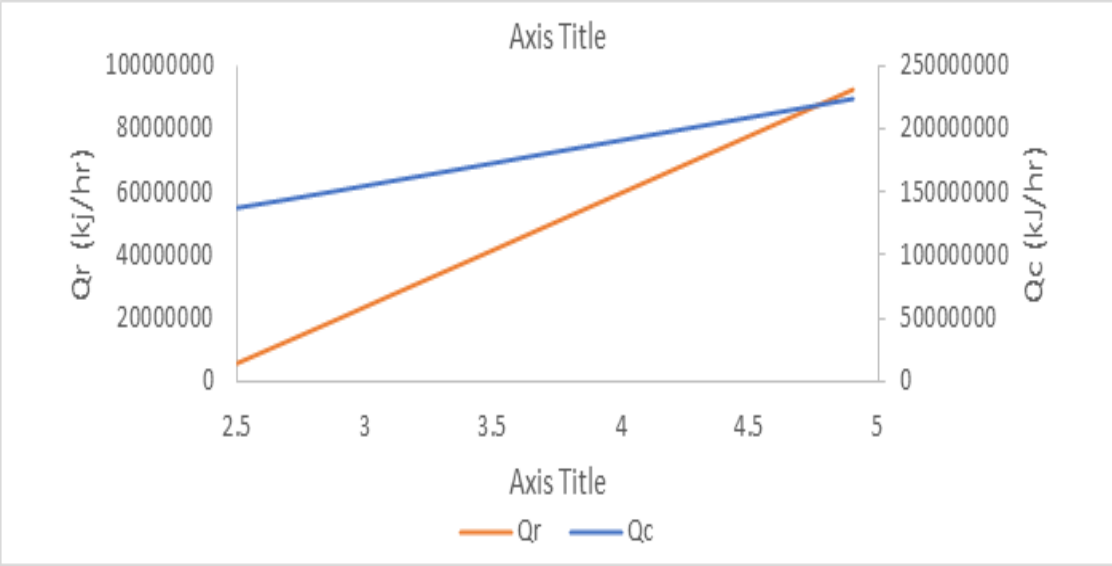
در شکل (۱۴) تاثیر نسبت ریفلاکس در بارحرارتی چگالنده و دیگ دیده می‌شود. با افزایش نسبت ریفلاکس، به دلیل میعان مقادیر بیشتری از بخار در چگالنده، به بار حرارتی بیشتری برای سرمایش نیاز می‌باشد.

به طورکلی در برج تقطیر مصرف انرژی و هزینه‌های عملیاتی از طریق انرژی مصرفی در دیگ و چگالنده اعمال می‌شود. در شکل (۱۳) تاثیر نسبت ریفلاکس در نسبت جوشش دیده می‌شود. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش نسبت ریفلاکس، دبی مایع درون برج افزایش می‌یابد و چون دبی محصول پایین ثابت است، انتظار افزایش نسبت جوشش در دیگ وجود دارد.

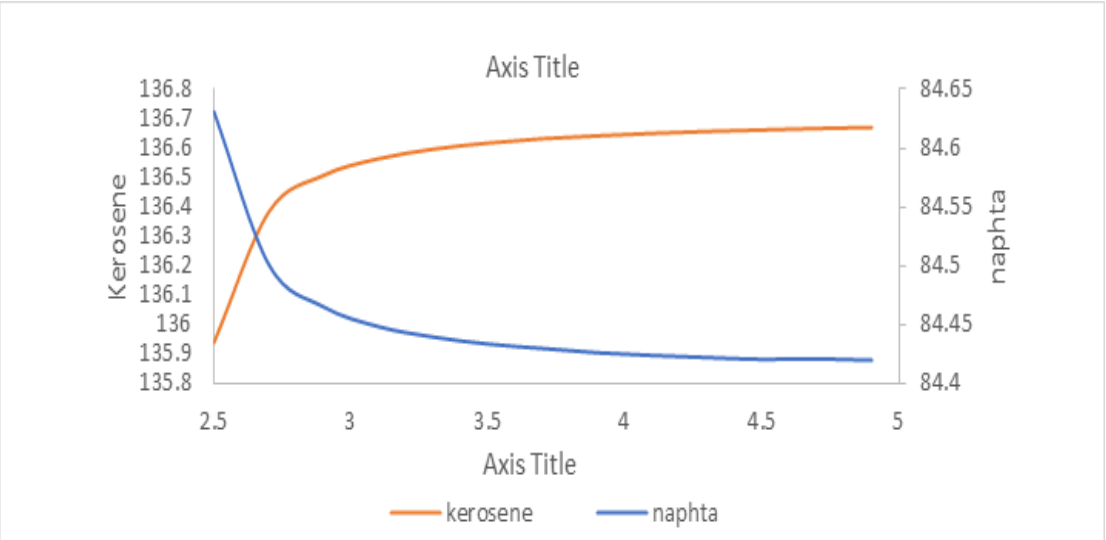
همچنین با افزایش نسبت ریفلاکس و در نتیجه افزایش نسبت جوشش در دیگ، مقادیر بیشتری از مایع در دیگ تبخیر می‌شود و به همین دلیل بار گرمایشی دیگ افزایش می‌یابد. همانطور که گفته شد هدف از افزایش نسبت ریفلاکس، افزایش بازگردانی جریان‌ها می‌باشد که به خالص‌سازی کمک می‌کند. در شکل (۱۵) تاثیر افزایش نسبت ریفلاکس بر خلوص دو جریان دیده می‌شود. همانطور که ذکر شد

در برش‌های نفتی، به دلیل عدم مشهود بودن مواد از جرم مولکولی برای تشخیص عملکرد استفاده می‌شود. همانطور که دیده می‌شود با افزایش نسبت ریفلاکس جرم مولکولی نفتا کاهش یافته و جرم مولکولی کروژن افزایش و کاهش جرم مولکولی جریان نفتا را می‌توان نشانه‌ای بر افزایش غلظت مواد هیدروکربنی سبک در آن دانست. همچنین افزایش جرم مولکولی در کروژن دلیلی بر افزایش غلظت مواد سنگین‌تر درآن است.

به همین دلیل می‌توان گفت افزایش نسبت ریفلاکس در جهت افزایش خلوص جریان‌ها عمل کرده است. این مزیت همانطور که گفته شد با افزایش بار حرارتی دیگ و چگالنده ایجاد شده است. به همین دلیل است که بهینه‌سازی اقتصادی فرآیند اهمیت می‌یابد زیرا که افزایش خلوص جریان‌ها به افزایش قیمت فروش آنها منتج می‌شود ولی در خلاف جهت آن بار حرارتی دیگ و چگالنده افزایش یافته که سبب افزایش هزینه فرآیند می‌شود. مطابق شکل (۱۶) نرخ انتقال حرارت مورد نیاز این پالایشگاه (منبع گرمایی و برج تقطیر) به تفکیک آورده شده است. به طور کلی، نرخ انتقال حرارت مورد نیاز این پالایشگاه ۵۶۹۰۸۵۹۶۶.۳ کیلو ژول بر ساعت است.



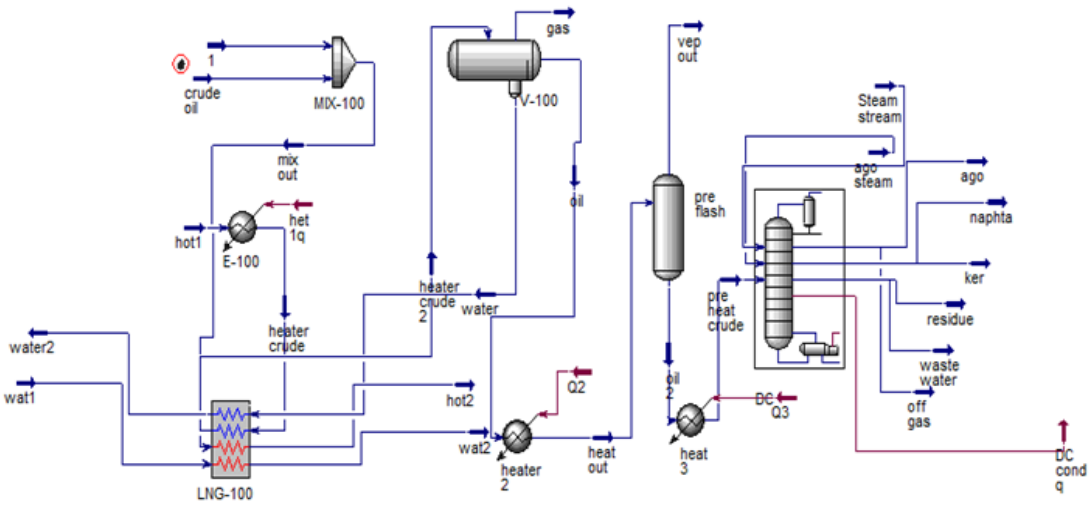
شکل۱۴- تاثیر نسبت ریفلاکس در بارحرارتی چگالنده و دیگ



شکل۱۵- نسبت ریفلاکس به جرم مولکولی نفتا و کروژن

	het 1q	Q2	Q3	DC cond q	qq
	6.043e+007	1.165e+008	2.143e+008	1.430e+008	3.483e+007

شکل۱۶- نرخ انتقال حرارت هر تجهیز به تفکیک



شکل۱۷- پالایشگاه اصلاح شده

eams | Compositions | Energy Streams | Unit Ops

	het 1q	Q2	Q3	DC cond q
kJ/h]	6.043e+007	1.165e+008	2.143e+008	1.430e+008

شکل۱۸- نرخ انتقال حرارت بعد اصلاح پالایشگاه

۳-۲- اصلاح و بازسازی پالایشگاه

در این قسمت با استفاده از مفاهیم پایه انتگراسیون انرژی و نرم‌افزار، با حذف کردن منبع حرارتی خارجی گرم و سرد، دو جریان سرد و دو جریان گرم در یک مبدل با هم انتقال حرارت انجام داده و باعث حذف انرژی مورد نیاز منبع حرارتی خارجی گرم و سرد شده و در نتیجه باعث کاهش مصرف انرژی در کل پالایشگاه می‌شود. فرآیند با اختلاط آب و نفت آغاز شده و با وارد شدن به منبع حرارتی خارجی گرم دمای آن از ۱۴ درجه سانتی‌گراد به ۶۵ درجه سانتی‌گراد رسیده است. و در ادامه وارد مبدل حرارتی طراحی شده و با جریان آب خروجی از سپراتور سه فازی تبادل حرارت می‌کند. در شکل (۷۱) نمای عملیاتی پالایشگاه طراحی شده را نشان می‌دهد. بعد از طراحی مبدل حرارتی و به حداقل رساندن مصرف منابع حرارتی خارجی نتایج به‌دست آمده و با حذف یک منبع خارجی و استفاده از جریان‌های موجود نرخ انتقال حرارت کل پالایشگاه برابر است با۴۲۹۶۵۲۴۳۵ کیلو ژول بر ساعت.

۴-نتیجه‌گیری کلی و پیشنهادات

در این مقاله به بررسی آنالیز پینچ و شبیه‌سازی پالایشگاه نفت پرداخته شد. همانطور که در این مقاله مشاهده شد باتوجه به افزایش قیمت حامل‌های انرژی و محدودیت سوخت‌های فسیلی موجود و همچنین تصویب قوانین سختگیرانه تر زیست محیطی، توجه به موضوع بهینه‌سازی مصرف انرژی در صنایع به ویژه صنایع پالایش نفت که در مقایسه با صنایع دیگر دارای مصارف انرژی بالایی هستند، اجتناب ناپذیر است.

- باتوجه به شبیه‌سازی انجام شده، مقدار نرخ انتقال حرارت خروجی از منابع خارجی گرم
- و دیگ این پالایشگاه با استفاده از نرم افزار ۳.۵۶۹۰۸۵۹۶۶ کیلو ژول بر ساعت می‌باشد.
- با استفاده از مفاهیم انتگراسیون، آنالیز پینچ و طراحی مبدل حرارتی نرخ انتقال حرارت به ۵۳۴۲۵۶۹۲۴ کیلو ژول بر ساعت کاهش یافت.
- نتایج نشان داد که تنها با آنالیز پینچ و طراحی یک مبدل حرارتی حدود ۷ درصد مصرف منابع خارجی کاهش پیدا کرده است.

به منظور دستیابی به اهداف بالاتر، می‌توان موضوعات زیر را برای ادامه کار پیشنهاد کرد:

- بررسی سایر پتانسیل‌های بهینه‌سازی برج تقطیر مانند بهینه‌سازی نسبت‌های جریان برگشتی و بهینه‌سازی فشار عملیاتی.
- استفاده از سایر نرم‌افزارهای مربوط به آنالیز پینچ و مقایسه نتایج آنها با نتایج موجود.
- طراحی مبدل و آنالیز پینچ برای سایر منابع حرارتی و مقایسه نتایج آنها با موجود.

۵-مراجع

[1] Yadegari, M. and A. Bak Khoshnevis, Investigation of entropy generation, efficiency, static and ideal pressure recovery coefficient in curved annular diffusers. The European Physical Journal Plus, (2021). 136: p. 1-19.

[2] Yadegari, M. and A.B. Khoshnevis, Entropy generation analysis of turbulent boundary layer flow in different curved diffusers in air-conditioning systems. The European Physical Journal Plus, (2020). 135(6): p. 534.

[3] Yadegari, M. and A.B. Khoshnevis, Numerical study of the effects of adverse pressure gradient parameter, turning angle and curvature ratio on turbulent flow in 3D turning curved rectangular diffusers using entropy generation analysis. The European Physical Journal Plus, (2020). 135(7): p. 548.

[4] Yadegari, M., An optimal design for S-shaped air intake diffusers using simultaneous entropy generation analysis and multi-objective genetic algorithm. The European Physical Journal Plus, (2021). 136(10): p. 1019.

[5] Yadegari, M. and A. Bak Khoshnevis, A numerical

study over the effect of curvature and adverse pressure gradient on development of flow inside gas transmission pipelines. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 2020. 42: p. 1-15.

[6] Haghighatjoo, H., M. Yadegari, and A. Bak Khoshnevis, Optimization of single-obstacle location and distance between square obstacles in a curved channel. The 10.22034/STME.2024.425737.1048 European Physical Journal Plus, 2022. 137(9): p. 1042.

[7] M. Mehdizadeh-Fard, F. Pourfayaz, M. Mehrpooya, A. Kasaeian, Improving energy efficiency in a complex natural gas refinery using combined pinch and advanced exergy analyses, Appl. Therm. Eng. 137 (2018) 341–355,

[8]. B. Linnhoff, D. W. Townsend, D. Boland, G. F. Hewitt, B. E. A. Thomas, A. R. Guy & R. H. Marsland, 1983 .A User Guide on Process Integration for the EJicient Use of Energy. Institution of Chemicals Engineers.

[9]. Bejan.A,Tsatsaronis.G,Moran.M, 1996, . Thermal Design and Optimization .John Wiley and Sons.

[10] A. Talaei, A.O. Oni, M. Ahiduzzaman, P.S. Roychaudhuri, J. Rutherford, A. Kumar, Assessment of the impacts of process-level energy efficiency improvement on greenhouse gas mitigation potential in the petroleum refining sector, Energy 191 (2020), 116243,

[11] D. Ibrahim, M. Jobson, J. Li, G. Guill´en-Gos´albez, Optimal design of flexible heat-integrated crude oil distillation units using surrogate models, Chem. Eng. Res. Des. 165 (2021) 280–297,

[12] M. panjehshhi, F. atabi, F. ataei, Y. golzari, Improving the thermal cycle performance of Shazand Arak steam power plant, using pinch and exergy composite analysis. 22nd International Power System Conference, Iran, Tehran, (2007), (in Persian).

T.G. Walmsley, B.H.Y. Ong, J.J. Kleme˘s, R.R. Tan, [13] P.S. Varbanov, Circular Integration of processes, industries, and economies, Renew. Sustain. Energy Rev. 107 ,(2019) 507–515

[14] B. Wang, J.J. Kleme˘s, P.S. Varbanov, H.H. Chin, Q.-W. Wang, M. Zeng, Heat exchanger network retrofit by a shifted retrofit thermodynamic grid diagram-based model and a two-stage approach, Energy 198 (2020), 117338,

[15] I.C. Kemp, Pinch Analysis and Process Integration: A User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy, second ed., Elsevier/Butterworth- Heinemann, 2007.

[16] L. Gai, P.S. Varbanov, J.J. Kleme˘s, L. Sun, Hierarchical targeting of hydrogen network system and heat integration in a refinery, Chem. Eng. Trans. 81 (2020) 217–222,

[17] A. Manizadeh, A. Entezari, R. Ahmadi, The energy and economic target optimization of a naphtha production unit by implementing energy pinch technology, Case Stud. Therm. Eng. 12 (2018) 396–404

[18] U. Safder, P. Ifaei, C. Yoo, A novel approach for optimal energy recovery using pressure retarded osmosis technology: chemical exergy pinch analysis – case study in a sugar mill plant, Energy Convers. Manag. 213 (2020), 112810,

[19] M.M. El-Halwagi, Sustainable Design through Process Integration, Elsevier Inc., Massachusetts, USA, 2012.

[20] V.K. Bulasara, R. Uppaluri, A.K. Ghoshal, Revamp study of crude distillation unit heat exchanger network: energy integration potential of delayed coking unit free hot streams, Appl. Therm. Eng. 29 (2009) 2271–2279

[21] R. lotfi, F. sanandaji, The application of pinch and exergy analysis in increasing the power of thermal power plants, 10th National Iranian Chemical Engineering Congress, Iran, Zahedan, (2005), (in Persian).

[22] M. Jafari nasr, M. shahvardi, Applying technology to improve heat transfer in the modification of heat exchangers, in order to increase energy efficiency, 8th National Iranian Chemical Engineering Congress, Iran, Mashhad, (2003), (in Persian).

[23] M. Mehrpoya, Simulation and optimization of natural gas refinery, Master's thesis in mechanical engineering, Iran, University of Tehran, (2014), (In Persian).

[24] S. A. El- Temtamy, I. Hamid, and E. M. a. E.- R. Gabr, Seyed, "The Use of Pinch Technology to Reduce Utility Consumption in a Natural Gas Processing Plant," Petroleum Science and Technology, 28 (2010), , pp. 1316-1330.

[25] Sung-Geun Toon, "Heat Integration Analysis for an Industrial Ethylbenzene Plant Using Pinch Analysis", Applied Thermal Engineering, 27 (2007), pp. 886-897.

[26] L. Matijasevie, H. Otmaei, "Energy Recovery by Pinch Technology", Applied Thermal Engineering, 22 (2002), pp. 477-484.

[27] M. farkhondeh kavaki, M. panjehshhi, Optimizing the energy consumption of the aromatic unit in Bandar Imam Petrochemical Company, using pinch technology method, Master's thesis in chemical engineering, Iran, University of Tehran, (2002), (in Persian).

[28] M. alikhani, M. panjehshhi, Reduction of thermal energy consumption of Isomax unit in Tehran refinery, using pinch technology, Master's thesis in chemical engineering, Iran, University of Tehran, (2001), (in Persian).

[29] M. hojateslami, R. shokrani, H. fatemi, Applying Pinch technology to optimize energy consumption in Hafshejan sugar factory (Chaharmahal), Journal of food science and technology (Iran), Vol. 4, (2006), (in Persian).

[30] S. sanaye, H. majidi, Optimization of heat exchangers of concrete production unit - 1 of Tabriz Petrochemical using pinch analysis, Journal of Heat Exchanger (Iran), Vol. 5, (2009), (in Persian).

[31] M. kheyri, M. hayati ashtiani, Study of thermal pinch of LPG refinery unit, Master's thesis in chemical engineering, Iran, University of Kashan, (2022), (in Persian).

[32] M. shokripour, A. alizadeh, J. khoshrou, Improving exergy efficiency in an atmospheric crude oil distillation unit, through modification of heat exchangers using pinch technology, Master's thesis, Iran, Petroleum university of technology, (2022), (in Persian).