سال دوم، شماره دوم، زمستان ۱۳۹۴، ص ص ۳۹- ۴۴
فصل‌نامه علمی – ترویجی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو
renemag.ir
مقاله
تاریخ دریافت: ۹۴/۰۹/۲۲
تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۱/۱۸

اصلاح عملکرد سیستم‌های تبرید پالایشگاه‌های گاز با استفاده از یکپارچه‌سازی حرارتی

حامد راثی [۱]، مصطفی مافی [۲*]، مرتضی یاری [۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین
۲- استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین
۳- استاد دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز، تبریز
* قزوین، کدپستی: ۳۴۱۴۸ – ۹۶۸۱۸، m.mafi@eng.ikiu.ac.ir

چکیده

در سال‌های اخیر موضوع صرفه جویی در مصرف انرژی به یکی از مباحث مهم و اساسی در تمامی صنایع انرژی‌بر تبدیل شده است. از چندین دهه قبل، با رو به کاهش نهادن منابع سوخت‌های فسیلی، موضوع بحران انرژی به یکی از مسایل مهم و اساسی روز دنیا تبدیل شد. یکپارچه‌سازی حرارتی یکی از راهکارهای است که جهت اصلاح عملکرد و کاهش مصرف انرژی در واحدهای صنعتی مطرح شده است. از جمله واحدهای صنعتی بزرگ، فرایندهای پالایش گاز طبیعی هستند. در این فرآیندها، از یک سیستم تبرید جهت تأمین برودت مورد نیاز استفاده می‌شود. در این تحقیق، سیستم تبرید واحد تولید پروپان یک پالایشگاه گاز نمونه با استفاده از روش ترکیبی پینچ و اگزرژی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. نتایج آنالیز نشان می‌دهند که می‌توان با اصلاح سطوح دمایی سیستم تبرید، توان مصرفی سیستم را به میزان ۱۶٪ کاهش داد.

کلیدواژگان: سیستم‌های تبرید، پالایشگاه‌های گاز، یکپارچه‌سازی حرارتی، صرفه‌جویی انرژی

Performance modification of refrigeration systems of gas refinery plants using thermal integration

Hamed Rasi [۱], Mostafa Mafi [۱*], Morteza Yari [۲]

۱- Department of Mechanical Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
۲- Department of Mechanical Engineering, Tabriz University, Tabriz, Iran
* Postal Code: ۳٤۱٤۸ – ۹٦۸۱۸, Qazvin, Iran, m.mafi@eng.ikiu.ac.ir
Received: ۱۳ December ۲۰۱٥ Accepted: ۷ February ۲۰۱٦

Abstract

In recent years saving energy has become of the most crucial topics in the entire energy industry. In the past several decades, by decreasing the fossil fuel sources, the energy crisis has become one of the most important issues of the world. Thermal integration in the plant is one of the methods that can be used for performance modification and energy saving in industrial units. Natural gas processing plants are one of the biggest industrial units. In these processes, a refrigeration system is used for the required. In current study, refrigeration system of propane facility of a typical gas refinery plant has been investigated using combined pinch and exergy method. The results show that, with correction of temperature levels of refrigeration systems, power consumption of system decreases about ۱٦٪.

Keywords: Refrigeration systems, Gas refinery, Thermal integration, Energy saving

۱- مقدمه

بهینه‌سازی مصرف انرژی از جمله مسائل مهمی است که از چندین دهه قبل، در جهان توجه ویژه‌ای بدان می‌شود. این بحث در اغلب کشورهای اروپایی و به طور کلی در کشورهایی که از داشتن منابع نفت و گاز محروم هستند از اهمیت قابل توجهی برخوردار است و تحقیقات وسیعی در این زمینه انجام می‌شود.

با گذشت زمان، راهکارهای گوناگونی جهت صرفه جویی در مصرف انرژی مطرح شدند که استفاده مجدد از انرژی تلف شده در خود واحدها، یکی از این راهکارها می‌باشد. بحث کاربردی که در زمینه استفاده مجدد از انرژی تلف شده مطرح است، یکپارچه‌سازی حرارتی می‌باشد.

در کشور ما، به دلیل دسترسی به ذخایر عظیم نفت و گاز، تا کنون توجه کمتری به موضوع بهینه‌سازی شده و این عدم توجه باعث به هدر رفتن انرژی در واحدهای موجود در کشور از جمله پالایشگاه‌های نفت و گاز، واحدهای پتروشیمی و ... شده است. بنابراین، بهینه‌سازی این واحدها جهت صرفه‌جویی در مصرف انرژی از مواردی است که باید توجه بیشتری به آن شود.

سیستم‌های تبرید یکی از مهمترین بخش‌های پالایشگاه‌های گاز می‌باشد که انرژی قابل توجهی از انرژی مصرفی کل فرآیند در این بخش مصرف می‌شود. بهینه‌سازی سیستم‌های تبرید جهت کاهش مصرف انرژی، می‌تواند تأثیر زیادی در صرفه‌جویی انرژی کل پالایشگاه‌های گازی داشته باشد.

۱-۱- پژوهش‌های پیشین

هندبوک GPSA [۱] سیستم‌های تبرید که در مایع سازی گاز طبیعی به کار می‌روند مورد بررسی قرارگرفته شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد، استفاده از چند سطح دمایی برای خنک کردن و مایع سازی گاز طبیعی باعث کاهش توان مصرفی سیستم تبرید می‌شود.

مافی و همکاران [۲] سیستم تبرید یک واحد اولفین را مورد مطالعه قرار دادند. آنها با استفاده از تکنولوژی پینچ و آنالیز ترکیبی پینچ و اکسرژی، سطوح دمایی بهینه را تعیین و میزان کاهش توان مصرفی سیستم را محاسبه کردند. قربانی و همکاران [۳] سیستم تبرید واحد بازیافت مایعات گازی (NGL) را مورد مطالعه قرار دادند. آنها با استفاده از آنالیز اکسرژی و پینچ توانستند کار مصرفی سیستم تبرید را کاهش دهند. هاکل و هاروی[۱] [۴،۵] سیستم تبرید یک واحد جداسازی گاز را مورد مطالعه قرار دادند. آنها با یکپارچه سازی حرارتی توانستند حدود ٪۱۵ توان مصرفی سیستم تبرید را کاهش دهند.

۲- معرفی پالایشگاه‌های گاز

گاز طبیعی خام مخلوطی از هیدروکربورها و مواد دیگری از جمله بخار آب (H_2O)، سولفید هیدروژن (H_2S)، دی اکسید کربن (CO_2)، هلیوم (He)، نیتروژن (N)، منواکسید کربن (CO) و مرکاپتانها می‌باشد. هیدروکربورها مواد اصلی تشکیل دهنده گاز طبیعی خام و مواد دیگر جزء ناخالصی‌ها محسوب می‌شوند. هیدروکربورها موادی هستند که از ترکیب کربن و هیدروژن بوجود آمده‌اند و معروف‌ترین آنها در طبیعت متان، اتان، پروپان، بوتان، پنتان، هگزان، هپتان می‌باشند.

فرآیند پالایش و تصفیه گاز که هدف آن پالایش گاز طبیعی شامل عمدتاً متان به عنوان اصلی‌ترین ماده، فرآیندی بسیار پیچیده می‌باشد که با نام پالایشگاه‌های گاز از آن نام می‌برند. اساس و پایه کار تمامی این پالایشگاه‌ها در دنیا به یک شکل می‌باشد و تفاوت بین پالایشگاه‌های گاز تنها در جزئیات است. گاز طبیعی خام ورودی به پالایشگاه گاز در واحدهای عملیاتی به شرح زیر تصفیه می‌شود:

- جداسازی میعانات گازی، جداسازی هیدروکربورهای سنگین‌تر از بوتان که به صورت مایع در گاز طبیعی خام ورودی موجود هستند و دارای ارزش افزوده زیادی هستند، می‌باشد.
- شیرین سازی، فرآیند تفکیک سولفید هیدروژن و دی اکسید کربن از گاز طبیعی خام می‌باشد.
- نم زدایی، در این فرآیند بخار آب متراکم و موجود در سطح توسط مواد جاذب رطوبت، جذب و جمع آوری می‌شود.
- تنظیم نقطه شبنم، فرآیندی در جهت کاهش میزان آب و هیدروکربورهای موجود (NGL) می‌باشد. این کار معمولاً با استفاده از یک سیستم تبرید صورت می‌گیرد.
- بازیافت اتان، اتان ماده‌ای ارزشمند و خوراک مناسب مجتمع‌های پتروشیمی است. کاربرد فناوری تفکیک اتان از مایعات گازی (NGL) در کشور ما جدید است و هم اکنون در پالایشگاه‌های سوم و پنجم پارس جنوبی به کار گرفته می‌شود.
- جداسازی، پالایش و ذخیره سازی پروپان و بوتان، جداسازی پروپان و بوتان بوسیله عمل تقطیر در دو برج پروپان[۲] و برج بوتان[۳] صورت می‌گیرد. این مواد پس از جدا سازی تصفیه شده و به صوت مایع ذخیره می‌شوند. مایع سازی و ذخیره پروپان و بوتان توسط سیستم تبرید صورت می‌پذیرد.
- مرکاپتان زدایی، مرکاپتان‌ها گروه دیگری از ترکیبات گوگرددار می‌باشند که باید از ترکیب گاز قابل مصرف جدا شوند.

۲-۱- واحد تولید پروپان

پروپان برای ذخیره سازی و استفاده باید در فشار محیط به صورت مایع در آید. پروپان خالص پس از جداسازی از گاز طبیعی با دمای ۴۰°C و فشار bar ۲۵،۸ وارد این واحد می‌شود. وظیفه این واحد تولید پروپان مایع در فشار محیط است. برای مایع سازی، ابتدا باید دمای آن را به حد کافی کاهش دهیم تا در فرآیند اختناق به مایع تبدیل شود. برای این کار، از یک سیستم تبرید جانبی استفاده می‌شود. پس از کاهش دمای پروپان در مبدل‌های حرارتی تا حدود ۳۴،۵°C- ، فشار آن در یک فرآیند اختناق به bar ۱،۰۵ می‌رسد، که باعث می‌شود دمای پروپان تا ۴۲ °C- کاهش یافته و به حالت مایع در آید. پس از مایع سازی پروپان، برای استفاده در بخش‌های مختلف و فروش به تانکهای ذخیره سازی هدایت می‌شود. دراین تانکها همواره مقداری گاز پروپان به خاطر اثر جوشش گاز وجود دارد که باید به صورت مایع درآمده و به تانکها بازگردانده شود. به همین دلیل گاز پروپان، ابتدا در یک کمپرسور تا فشار bar ۳. ۲ متراکم می‌شود. در این حالت دمای آن به ۱۱°C افزایش می‌یابد. گاز پروپان متراکم شده در یک مبدل حرارتی بوسیله سیستم تبرید تا دمای ۱۸. ۵°C- سرد می‌شود. سپس در یک فرآیند اختناق فشار آن به bar ۱،۰۵ کاهش یافته و باعث می‌شود دمای آن به ۴۲°C- برسد و به حالت مایع در آید و به تانکها برگردانده شود.

[۱] Hackl & Hervey

[۲] Depropaniser

[۳] Debuthaniser

۲-۲- سیستم تبرید واحد تولید پروپان

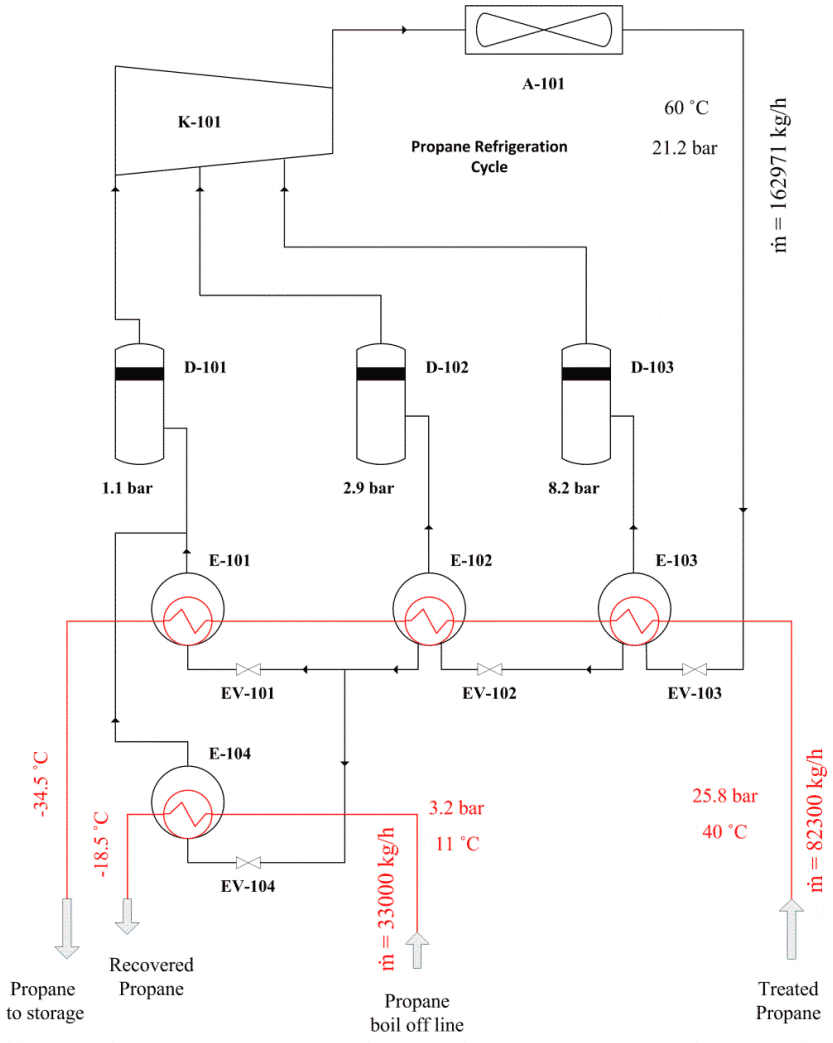
سیستم تبرید واحد تولید پروپان یک چرخه تبرید در سه سطح دمایی با مبرد پروپان می‌باشد. این چرخه تمام برودت مورد نیاز برای خنک کردن و نگهداری پروپان را تأمین می‌کند.

Error! Reference source not found. چرخه تبرید پروپان را نشان می‌دهد. این چرخه دارای سه سطح دمایی ۱۹,۵ °C ، ۱۳,۵- °C و ۳۷,۵- °C است. مبرد پروپان در حالت بخار اشباع در سطوح دمایی ۳۴,۵- °C ، ۱۳,۵- °C و ۱۹,۵ °C به ترتیب از ظرف‌های D-۱۰۱ ، D-۱۰۲ و D-۱۰۳ به کمپرسور K-۱۰۱ مکیده شده و تا فشار ۲۲,۸ bar متراکم می‌شود. دمای مبرد در این حالت به ۸۸°C می‌رسد. در ادامه، مبرد در کندانسور هوا خنک A-۱۰۱ مقداری از گرمای خود را از دست می‌دهد و به دمای ۶۰°C می‌رسد. سپس از شیر خفگی EV-۱۰۳ عبور کرده و وارد مبدل حرارتی E-۱۰۳ می‌شود و باعث کاهش دمای پروپان تا ۲۲,۵°C می‌شود. مبرد خروجی از مبدل حرارتی به دو حالت بخار و مایع می‌باشد که بخش بخار آن وارد ظرف D-۱۰۳ می‌شود و بخش مایع آن پس از عبور از شیر خفگی EV-۱۰۲ وارد مبدل حرارتی E-۱۰۲ می‌شود. در این مبدل حرارتی پروپان تا دمای ۱۰,۵°C- کاهش می‌یابد. بخش بخار مبرد خروجی از مبدل حرارتی به ظرف D-۱۰۲ می‌ریزد و بخش مایع آن به دو قسمت تقسیم می‌شود. قسمتی از آن وارد شیر خفگی EV-۱۰۱ می‌شود و سپس وارد مبدل حرارتی E-۱۰۱ شده و باعث کاهش دمای پروپان تا ۳۴,۵°C- می‌شود. قسمت دیگر مبرد پس از عبور از شیر خفگی EV-۱۰۴ ، در مبدل حرارتی E-۱۰۴ باعث خنک شدن گاز پروپان برگشتی از تانکهای ذخیره تا دمای ۱۸,۵°C- می‌شود. مبرد خروجی از مبدل حرارتی E-۱۰۴ با مبرد خروجی از مبدل حرارتی E-۱۰۱ با هم مخلوط شده و به ظرف D-۱۰۱ وارد می‌شود.

جدول **۱** اطلاعات جریان‌های فرآیندی را ارائه می‌کند.

جدول ۱ اطلاعات حرارتی جریان‌های فرآیندی سیستم تبرید پروپان

Stream Data		$\dot{m}$ (kg/hr)	ΔH (kw)
E-۱۰۱ ۱۰,۵°C- ۳۴,۵°C	-	۸۲۳۰۰	۱۳۸۳
E-۱۰۲ ۲۲,۵°C ۱۰,۵°C	-	۸۲۳۰۰	۱۹۰۲
E-۱۰۳ ۲۲,۵°C		۸۲۳۰۰	۱۰۰۸
E-۱۰۴ ۱۱°C ۱۸,۵°C	-	۳۳۰۰۰	۴۰۸۳



شکل ۱ سیستم تبرید پروپان مسئله نمونه

۳- روش‌های بهینه‌سازی و یکپارچه‌سازی حرارتی

از ابزارهای مفیدی که در یکپارچه‌سازی حرارتی ابداع گردید، تکنولوژی پینچ[۱] می‌باشد. هدف تکنولوژی پینچ رسیدن به حداکثر انرژی بازیافت شده در فرآیند و به حداقل رساندن مقدار سرویس‌های جانبی گرمایشی و سرمایشی مورد نیاز فرآیند و به تبع آن کاهش هزینه‌های مصرفی انرژی است. از محاسن این روش، تعیین حداکثر بازیافت انرژی در کل فرآیند می‌باشد و برای رسیدن به این هدف، روش مشخصی را پیشنهاد می‌نماید. محدودیت اصلی تکنولوژی پینچ این است که تنها به تحلیل حرارتی سیستم‌ها پرداخته و قادر به بررسی توان یا کار محوری سیستم‌ها نمی‌باشد. بنابراین در سیستم‌هایی مانند چرخه‌های تولید برودت و توان که علاوه بر انرژی حرارتی با توان یا کار محوری سر وکار دارند، می‌بایست تکنولوژی پینچ توسعه داده شود. از آنجا که آنالیز اکسرژی روش موثری برای بررسی توان و کار محوری می‌باشد، می‌توان با تلفیق مناسب آنالیز اکسرژی و تکنولوژی پینچ به راه حل عملی و مفید جهت بررسی همزمان انرژی حرارتی و توان مصرفی سیستم‌ها دست یافت. این روش، آنالیز ترکیبی پینچ و اکسرژی نامیده می‌شود. با کاربرد این روش بر روی سیستم‌های تبرید دما پایین، علاوه بر تعیین اهداف بار حرارتی می‌توان اهداف مربوط به کار محوری سیستم تبرید را نیز مستقیماً از روی داده‌های هسته فرآیندی تعیین و هدفگذاری نمود.

۳-۱- تکنولوژی پینچ

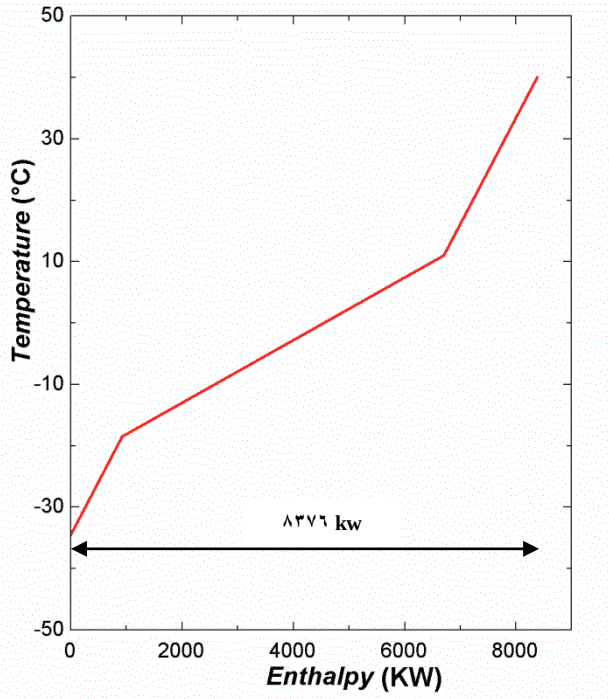
در اواخر دهه هفتاد میلادی لینهوف[۲] و همکارانش روشی را برای بهبود یکپارچه سازی حرارتی مطرح کردند،که به تکنولوژی پینچ معروف است. مطالعات نشان می‌دهد که با این روش می‌توان ٪۲۰ تا ٪۴۰ در مصرف انرژی صرفه‌جویی کرد. ابزارهای کلیدی تکنولوژی پینچ، نمودارهای ترکیبی[۳] (CC) و ترکیبی جامع[۴] (GCC) می‌باشد. این نمودارها به کمک اطلاعات حرارتی جریان‌های فرآیندی (دما و آنتالپی جریان‌های گرم و سرد) به دست می‌آیند [۶].

این نمودارها برای فرآیند مسئله نمونه مورد بررسی در این تحقیق، به سادگی با استفاده از اطلاعات حرارتی جریان‌های فرآیندی که در جدول ارائه شده‌اند، به دست می‌آیند. شکل ۲ نمودار CC فرآیند دما پایین مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

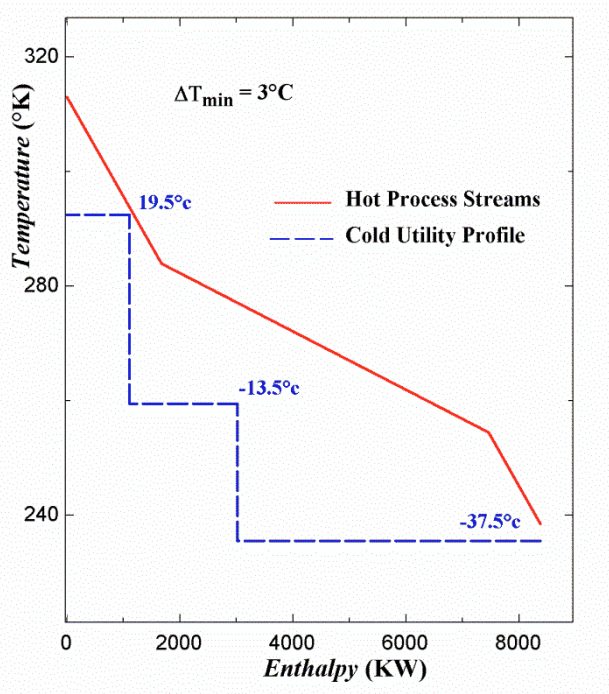
با بررسی نمودار CC نشان داده شده در شکل ۲ می‌توان نتیجه گرفت که در شبکه مبدل‌های حرارتی موجود، هیچ‌گونه مبدل فرآیند به فرآیندی وجود ندارد و سرویس جانبی سرد (چرخه تبرید پروپان) برودت مورد نیاز تمامی جریان‌های گرم فرآیندی را تأمین می‌کند.

شکل ۳ نمودار GCC فرآیند مورد مطالعه را نشان می‌دهد. کاملاً مشخص است که سرویس جانبی سرد در سه سطح دمایی ۵°C ،۱۹. ۵°C ،۱۳. ۵°C- و ۳۷. ۵°C- برودت مورد نیاز جریان‌های گرم فرآیندی را تأمین می‌کند.

یکی از ویژگی‌های مهم نمودار GCC این است که به طراح اجازه می‌دهد تا به آسانی سرویس‌های جانبی متعددی را در سطوح دمایی مختلف به کار گیرد و میزان بار حرارتی مربوط به هر سطح دمایی را تعیین نماید.



شکل ۲ نمودار CC فرآیند مسئله نمونه



شکل ۳ نمودار GCC فرآیند مسئله نمونه

بررسی دقیق‌تر نمودار GCC نشان می‌دهد، بالا بودن اختلاف دمای محدود بین هسته فرآیندی و سطوح سیستم تبرید یکی از علل اصلی اتلافات اکسرژی می‌باشد. لذا مهم‌ترین گام در راستای اصلاح سیستم، انتخاب سطوح دمایی است که حتی‌الامکان کمترین اختلاف دمایی را با هسته فرآیندی داشته باشد.

با بررسی نمودار GCC به وضوح می‌توان دریافت که افزایش تعداد طبقات چرخه تبرید منجر به کاهش اختلاف دمای محدود بین جریان‌های فرآیندی و

---

۱ Pinch Technology

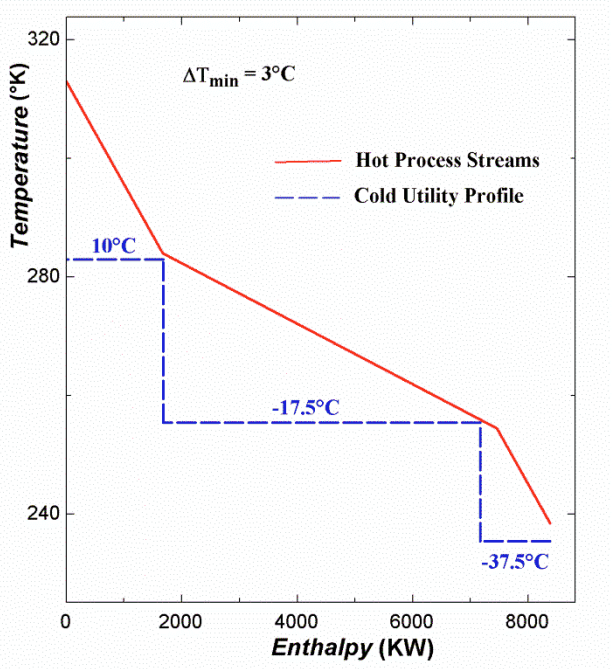
۲ Linnhoff

۳ Composite Curve

۴ Grand Composite Curve

چرخه تبرید شده و این امر به نوبه خود باعث کاهش تلفات اکسرژی در مبدل‌های حرارتی می‌شود. اما باید توجه داشت که افزایش تعداد طبقات چرخه تبرید باعث پیچیدگی بیشتر چرخه و در نتیجه افزایش هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه می‌شود.

شکل ۴ نمودار GCC اصلاحی را نشان می‌دهد که در راستای کاهش تلفات اکسرژی، سطوح دمایی سرویس جانبی سرد آن تغییر کرده‌اند. جدول ۲ میزان بار حرارتی سطوح دمایی سیستم تبرید موجود (قبل از انجام اصلاحات) و پیشنهادی (بعد از انجام اصلاحات) ارائه شده است.



شکل ۴ نمودار GCC اصلاحی فرآیند مسئله نمونه

در پایان لازم به ذکر است که هر چند با استفاده از تکنولوژی پینچ می‌توان بار حرارتی و سطوح دمایی سرویس‌های جانبی را متناسب با هسته فرآیندی در راستای دستیابی به حداقل مصرف انرژی تعیین نمود، اما همان‌طور که در بخش‌های قبلی توضیح داده شد، محدودیت اصلی این روش عدم توانایی آن در تخمین تغییرات در توان مصرفی سیستم تبرید متناسب با تغییرات اصلاحی پیشنهادی می‌باشد.

جدول ۲ بار حرارتی مورد نیاز در سطوح دمایی مختلف توسط سیستم تبرید

بعد از انجام اصلاحات		قبل از انجام اصلاحات	
بار حرارتی (KW)	دما (°C)	بار حرارتی (KW)	دما (°C)
۱۶۷۳	۱۰	۱۱۰۴	۱۹.۵
۵۴۹۹	-۱۷.۵	۱۹۰۷	-۱۳.۵
۱۲۰۴	-۳۷.۵	۵۳۶۵	-۳۷.۵

۳-۲- آنالیز ترکیبی پینچ و اکسرژی

در نمودارهای ترکیبی و ترکیبی جامع، مقیاس آنتالپی- دما به کار برده می‌شود و بر اساس داده‌های سرمایشی و گرمایشی فرآیند به دست می‌آیند. این نمودارها تنها قادر به تنظیم اهدافی برای بارهای حرارتی فرآیند و اصلاح آنها می‌باشند. بنابراین برای بررسی سیستم‌هایی مانند سیستم‌های تبرید و توربین‌های بخار و گاز که علاوه بر انرژی حرارتی با کار محوری یا توان سر وکار دارند، مناسب نیستند. در این سیستم‌ها، بررسی بار حرارتی به تنهایی کافی نمی‌باشد، لذا آنالیز اکسرژی به عنوان ابزاری دیگر جهت آنالیز همزمان انرژی حرارتی و کار محوری به کار گرفته می‌شود. بنابراین یک ترکیب مناسب از تکنولوژی پینچ و آنالیز اکسرژی می‌تواند به عنوان روشی عملی و مفید برای بررسی همزمان بارهای حرارتی و کار محوری به کار رود. مزیت قابل توجه این روش این است که با استفاده از مفهوم اکسرژی به جای تحلیل حرارتی خالص، محدودیتی که در تکنولوژی پینچ برای تحلیل سیستم‌های شامل کار یا توان وجود دارد را مرتفع نموده و می‌تواند سیستم را به طور همزمان مورد تحلیل کلی و فراگیر حرارت و کار قرار دهد. علاوه بر این، می‌تواند اهدافی را نیز جهت اصلاح راندمان سیستم و افزایش توان تولیدی و یا کاهش توان مصرفی قبل از هر گونه طراحی تفضیلی تنظیم سازد.

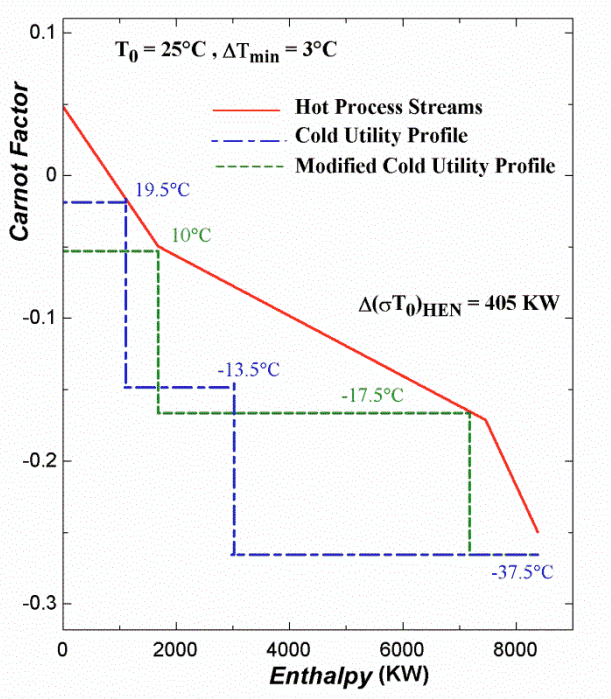
در آنالیز ترکیبی پینچ و اکسرژی نیز همانند تکنولوژی پینچ از ابزارهای کلیدی استفاده می‌شود. این ابزارهای کلیدی عبارتند از نمودارهای ترکیبی اکسرژی[۱] (ECC) و ترکیبی جامع اکسرژی[۲] (EGCC) که با جایگزین کردن محور دما در نمودار ترکیبی با ضریب کارنو ($\eta_c = ۱-[T_0/T]$) به دست می‌آیند.

خصوصیت قابل توجه این نمودارها این است که سطح محصور بین منحنی‌های آنها دارای مفهوم ترمودینامیکی بوده و مستقیماً با توان تولیدی یا کار محوری مورد نیاز سیستم متناسب است. بدین ترتیب به کمک این ابزارها می‌توان مطابق با هر نوع اصلاحاتی در سیستم، مستقیماً تغییرات کار محوری را هدفگذاری نمود.

شکل ۵ نمودار ترکیبی جامع اکسرژی را برای حالت‌های موجود (قبل از انجام اصلاحات) و اصلاحی (بعد از انجام اصلاحات) نشان می‌دهد. تغییرات کار محوری مورد نیاز سیستم تبرید را از حالت موجود به حالت اصلاحی، می‌توان از رابطه (۱) محاسبه کرد [۷].

[۱] Exergy Composite Curve

[۲] Exergy Grand Composite Curve



شکل ۵ نمودار EGCC فرآیند مسئله نمونه

$$\Delta W = \frac{1}{\eta_{ex}} \Delta(\sigma T_0)_{HEN} \qquad (1)$$

رابطه فوق بیان می‌دارد که کاهش میزان کار محوری مستقیماً با کاهش سطح محصور بین منحنی‌های نمودارهای EGCC حالت‌های موجود و اصلاحی متناسب است.

توان مصرفی واقعی سیستم تبرید پروپان موجود با توجه به شرایط عملیاتی کمپرسور، ۵۸۱۳ KW می‌باشد. بازده اکسرژی سیستم تبرید با آنالیز اکسرژی سیستم بدست می‌آید که برای سیستم تبرید موجود ٪۴۳ می‌باشد.

با استفاده از رابطه (۱)، توان مصرفی سیستم با اعمال تغییرات اصلاحی به اندازه ۹۴۱ KW کاهش می‌یابد. کاهش حداقل دمای محدود بین جریان-های فرآیندی و سیال عامل سیستم تبرید پروپان، علت اصلی کاهش توان مصرفی می‌باشد. در جدول ۳ مقدار توان مصرفی برای دو حالت قبل و بعد از اصلاحات به همراه میزان تغییرات آن ارائه شده است.

جدول ۳ توان مصرفی چرخه تبرید برای دو حالت قبل و بعد از اصلاحات

توان مصرفی سیستم تبرید پروپان	قبل از انجام اصلاحات	بعد از انجام اصلاحات	میزان کاهش	درصد کاهش
	۵۸۱۳	۴۸۷۲	۹۴۱	۱۶,۲

۴- نتیجه‌گیری

با استفاده از نمودار ترکیبی جامع، می‌توان سرویس‌های جانبی سرمایشی و گرمایشی مورد نیاز را به راحتی هدفگذاری نمود. این نمودار نه تنها میزان سرویس‌های جانبی مورد نیاز فرآیند را مشخص می‌کند، بلکه می‌تواند سطوح مناسب سرویس‌های جانبی را نیز مشخص کند. همچنین، با استفاده از نمودار ترکیبی جامع اکسرژی می‌توان مطابق با هر نوع اصلاحاتی در سیستم، مستقیماً تغییرات کار محوری را هدفگذاری نمود.

بررسی نمودار ترکیبی جامع واحد تولید پروپان نشان می‌دهد که سطوح دمایی سیستم تبرید مورد استفاده مناسب نمی‌باشد که با اصلاحات صورت گرفته تلفات اکسرژی در شبکه مبدل‌های حرارتی کاهش می‌یابد. با استفاده از نمودار جامع ترکیبی اکسرژی، کاهش توان مصرفی در سیستم تبرید اصلاح شده ۹۴۱ KW محاسبه شده است.

۵- فهرست علائم

$\dot{m}$ دبی جرمی

H آنتالپی

T_0 دمای محیط

T دما

W توان مصرفی

η_{ex} بازده اکسرژی

$(\sigma T_0)_{HEN}$ تلفات اکسرژی شبکه مبدل‌های حرارتی

$\Delta T_{\min}$ حداقل اختلاف دمای شبکه مبدل‌های حرارتی

۶- مراجع

[۱] GPSA, *Gas Processors Suppliers Association*, Engineering data book, ۲۰۰٤.

[۲] M. Mafi, S. M. Mousavi Naeynian, M. Amidpour, Exergy analysis of multistage cascade low temperature refrigeration systems used in olefin plants, *International Journal of Refrigiration*, Vol ۳۲, pp ۲۷۹-۲۹٤, ۲۰۰۹.

[۳] B. Ghorbani, G. R. Salehi, H. Ghaemmaleki, M. Amidpour, M. H. Hamedi, Simulation and optimization of refrigeration cycle in NGL recovery plants with exergy-pinch analysis, *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, Vol ۷, pp ۳۵-٤۳, ۲۰۱۲.

[٤] R. Hackl, S. Harvey, Applying exergy and total site analysis for targeting refrigeration shaft power in industrial clusters, *Energy Journal*, pp ۱-۱۰, ۲۰۱۳.

[٥] R. Hackl, S.Harvey, Framework methodology for increased energy efficiency and renewable feedstock integration in industrial clusters, *Applied Energy Journal*, ۲۰۱۳.

[۶] م. عمیدپور ، م. گوگل، تکنولوژی پینچ (بهینه سازی انرژی)، موسسه نشر جهاد، ۱۳۸۰، چاپ اول.

[۷] B. linnhoff, V. R. Dhole, Shaftwork targets for low-temperature process design, *Chemical EngineeringScirnce*, Vol ٤۷, No ۸, pp ۲۰۸۱-۲۰۹۱, ۱۹۹۲.