

بهینه سازی مصرف انرژی در کارخانه NGL 700 اهواز به بهره گیری از تکنولوژی پینچ

مسعود فرح بخش، محمد قلمباز*

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران

^۲ استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران

دریافت: تابستان ۹۵ پذیرش: پائیز ۹۸

چکیده

تکنولوژی پینچ به عنوان ابزاری قوی و موثر جهت آنالیز ترمودینامیکی صنایع فرآیندی و همین طور بهینه سازی شبکه مبدل های حرارتی شناخته شده است. به دو طریق می توان سیستم های حرارتی را با تکنولوژی پینچ طراحی و بهینه سازی نمود. شبیه سازی کارخانه NGL 700 با استفاده از نرم افزار Aspen Hysys V.7.2 براساس داده های موجود در شرایط طراحی و PFD صورت گرفته است. پس از صحت سنجی شبیه سازی صورت گرفته (براساس مقایسه نتایج حاصل از شبیه سازی با داده های موجود در PFD)، از فایل شبیه سازی برای شرایط عملیاتی استفاده شده است. یعنی دما، فشار و دبی های شرایط واقعی در شبیه سازی استفاده شده و سپس از فایل شبیه سازی براساس شرایط عملیاتی واقعی، برای تحلیل پینچ استفاده شده است. جهت تحلیل پینچ، از نرم افزار Aspen Energy Analyser، استفاده شده است که در شرایط عملیاتی، تحلیل پینچ صورت گرفته است. به اینگونه که فایل شبیه سازی کارخانه که توسط نرم افزار Aspen Hysys V.2، در شرایط عملیاتی، انجام شده است، در نرم افزار Aspen Energy Analyser، فراخوانی شده و تحلیل پینچ صورت گرفته است. بر اساس نتایج طراحی جدید صورت گرفته مبتنی بر اصول و قواعد پینچ میزان بازیافت انرژی در کارخانه از ۱۸٪ به ۴۹/۲٪ افزایش می یابد که نشان دهنده اهمیت استفاده از تکنولوژی پینچ در طراحی شبکه مبدل های حرارتی در واحدهای صنعتی می باشد.

*عهده دار مکاتبات: m.ghalambaz@gmail.com

کلمات کلیدی: انتگرالسیون حرارتی، تکنولوژی پینچ، کارخانه NGL 700

۱- مقدمه

هیچ یک از اعمال انسان، بازدهی صد در صد ندارد از این رو استفاده بهینه و ممانعت از هدر رفتن امکانات امری اساسی است این نکته هنگامی اهمیت بیشتری پیدا می کند که موضوع انرژی مطرح شود. منظور از بهینه سازی مصرف انرژی، انتخاب الگوها و اتخاذ و بکارگیری روش ها و سیاست هایی در مصرف درست انرژی است که از نقطه نظر اقتصاد ملی مطلوب باشد و استمرار وجود و دوام انرژی و ادامه حیات و حرکت را تضمین کند. در این چهارچوب تعیین سهم صورت های مختلف انرژی در سبد انرژی هر جامعه با توجه به امکانات دراز مدت آن جامعه، همچنین بکارگیری پربازده ترین شیوه استفاده از آنها که متضمن کاهش تخریب منابع انرژی و نیز کاهش تأثیرات سوء ناشی از استفاده ناصحیح از انرژی، بر عوامل دیگر حیات و محیط زیست مدنظر است. این استفاده درست و

به جا از انرژی، نه تنها متضمن استمرار حیات و توسعه پایدار جامعه است بلکه منجر به بقاء انرژی برای همگان و نسل های آتی و مانعی برای تولید و گسترش آلودگی های زیست محیطی ناشی از مصرف نادرست انرژی خواهد بود.

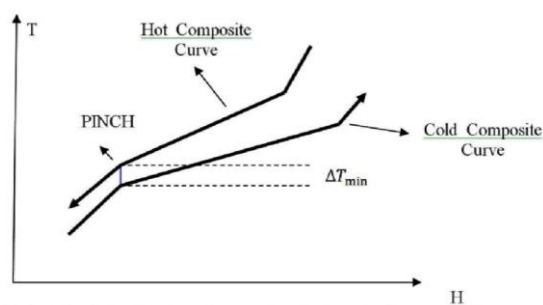
تکنولوژی پینچ

تکنولوژی پینچ به عنوان ابزاری قوی و موثر جهت آنالیز ترمودینامیکی صنایع فرآیندی و همین طور بهینه سازی شبکه مبدل های حرارتی شناخته شده است. به دو طریق می توان سیستم های حرارتی را با تکنولوژی پینچ طراحی و بهینه سازی نمود.

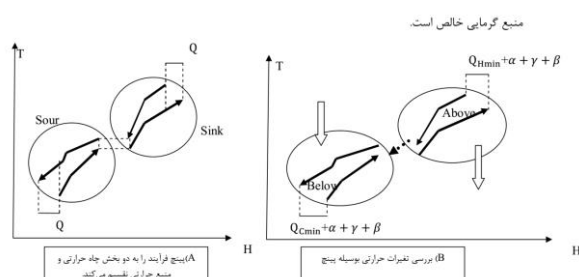
- طراحی اصلاحی شبکه حرارتی موجود^۱

1. Retrofit
2. Grass Roots
3. De- bot trencking

• طراحی از پایه^۲



شکل ۱. استفاده از نمودارهای مرکب سرد و گرم برای یافتن نشانه های انرژی [2]



شکل ۲. نمایش مبانی پینچ [3]

با توجه به قسمت B میزان حرارت منتقل شده از بالای نقطه پینچ به پایین نقطه پینچ برابر با α می باشد. قبل از این انتقال حرارت، از موازنه حرارت بالای نقطه پینچ میزان حرارت Q_{Hmin} را بدست آوردیم. حال با موازنه مجدد می بینیم میزان حرارت α نیز بر آن اضافه شده است. در پایین نقطه پینچ نیز میزان حرارت α بر حرارت اضافی موجود در پایین نقطه پینچ اضافه شده است.

با توجه به مقدار γ حرارت از دست داده شده به محیط در بالای نقطه پینچ است و مقدار β حرارت گرفته شده از محیط در پایین نقطه پینچ است. به حرارت مورد نیاز بالای نقطه پینچ میزان γ اضافه می شود و هم چنین به میزان حرارت اضافی پایین پینچ نیز این میزان حرارت اضافه می شود.

به طور مشابه حرارت خارجی گرفته شده در پایین نقطه پینچ به میزان β حرارت های مورد نیاز سرد و گرم را به همین مقدار افزایش می دهد [4-5].

با توجه به مسائل عنوان شده در مورد پینچ باید سه قانون زیر را رعایت کرد تا به حداقل انرژی مورد هدف رسید.

- هیچ انتقال حرارتی از نقطه پینچ نباید صورت بگیرد.
- در بالای نقطه پینچ نباید تبادل حرارت از سیستم به محیط صورت پذیرد.

طراحی از پایه در مواردی انجام می پذیرد که شبکه مبدل های حرارتی موجود نیست و باید ساخته شود. در برخی موارد شبکه مبدل ها وجود دارد اما با اهداف صرفه جویی در مصرف انرژی، کاهش هزینه های اقتصادی و افزایش ظرفیت واحد^۳ نیاز به اصلاح شبکه ها وجود خواهد داشت.

اطلاعات مورد نیاز در طراحی شبکه مدل های حرارتی

برای شروع طراحی مبدل های حرارتی از مهمترین مراحل به دست آوردن داده ها از شمای جریانهای فرایند (Process Flow Diagram) می باشد. برای این کار باید مقادیر ظرفیت گرمایی جریان ها و دماهای ورودی و خروجی هر جریان و ضریب انتقال حرارت را به دست بیاوریم. آنالیز پینچ نشانه هایی برای حداقل سازی انرژی لازم مصرفی بدست می دهد. این نشانه های انرژی بوسیله ابزاری به نام "نمودار مرکب" مشخص می شوند.

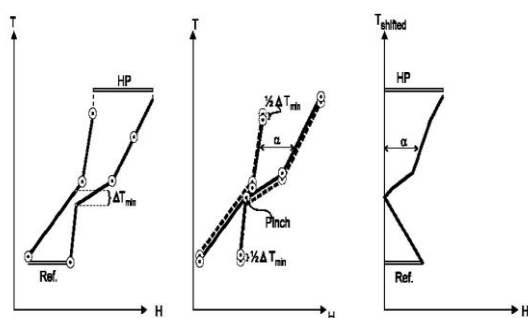
نمودار مرکب شامل پروفایل دما-آنتالپی (T-H) است که هم انرژی در دسترس فرایند (نمودار مرکب گرم) و هم انرژی مورد نیاز فرایند (نمودار مرکب سرد) را با همدیگر نمایش می دهد. نمودار مرکب یک تصویر از انتقال حرارت متقابل از جریان های سرد و گرم می باشد که به وسیله آن حداقل انرژی مورد هدف فرایند مشخص می شود. این مهم از روی هم افتادگی نمودارهای مرکب سرد و گرم حاصل می شود. در نزدیکترین نقطه جدایی دو نمودار را می بینیم که به ΔT_{min} معروف می باشد. ΔT_{min} حداقل نیروی محرکه دمایی است که می تواند یک حد برای حداقل هزینه های انرژی و سرمایه گذاری شبکه مبدل های حرارتی تعیین کند با توجه به این نمودار می توان بیشترین تبادل حرارتی ممکن فرایند را مشاهده نمود و هم چنین حداقل حرارت مورد نیاز فرایند در جریان سرد (Q_{Cmin}) و حداقل حرارت مورد نیاز فرایند در جریان گرم (Q_{Hmin}) قابل محاسبه است [1].

به نقطه ای که در آن ΔT_{min} مشخص شده است، نقطه پینچ می گویند. به وسیله نقطه پینچ می توان فرایند را به دو بخش تقسیم کرد یک بخش قسمت بالای نقطه پینچ و بخش دیگر قسمت پایین نقطه پینچ.

در این تقسیم بندی مشخص می باشد. بخش بالای نقطه پینچ نیازمند دریافت حرارت می باشد. بنابراین یک چاه گرمایی خالص است. بخش پایین نقطه پینچ آماده از دست دادن حرارت است و بنابراین یک منبع گرمایی خالص است.

نمودار مرکب گراند

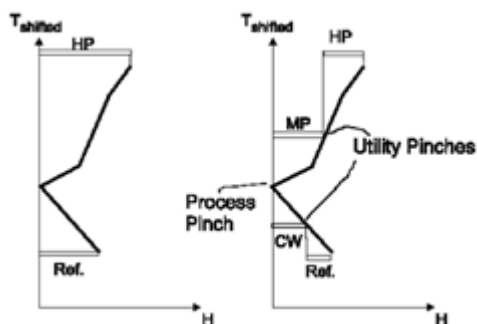
نمودار مرکب گراند برای هدف گذاری سطوح انرژی استفاده می شود. در ابتدا نمودار مرکب سرد در محور عمودی به میزان $1/2\Delta T_{min}$ بالا می آوریم و نمودار مرکب گرم را به همین میزان پایین می آوریم. با این جابجایی دما در جریان های فرایند و سطوح انرژی مطمئن خواهیم بود که در نمودار مرکب جمع حداقل اختلاف دما ΔT_{min} بین جریان های فرایند و سطوح انرژی باقی خواهد ماند. با این جابجایی دما نمودارهای مرکب به هم خواهند رسید و نمودار مرکب جمع از اختلاف آنتالپی نمودارهای مرکب جدید بدست خواهد آمد. نقطه ای که در آن نمودار مرکب گراند محور عمودی را قطع می کند نقطه پینچ می باشد که آنتالپی آن صفر است. دهانه های باز در بالا و پایین این نمودار به ترتیب نشان دهنده حداقل سرویس های جانبی گرم و سرد مورد نیاز فرایند می باشند [8].



شکل ۴. ایجاد نمودار مرکب گراند [2]

هدف گذاری سطوح انرژی با استفاده از نمودار مرکب گراند

نمودار مرکب گراند یک ابزار مناسب برای هدف گذاری سطوح انرژی است. این مساله در شکل ۵ نشان داده شده است.



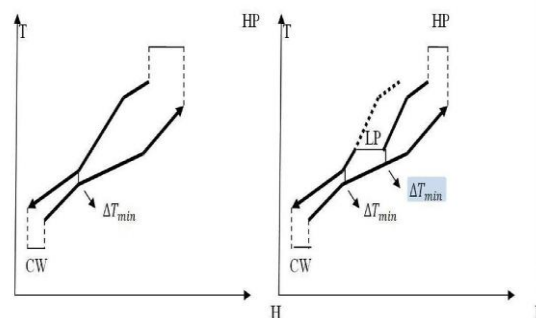
شکل ۵. استفاده از نمودار مرکب گراند برای هدف گذاری سطوح انرژی [7]

- در پایین نقطه پینچ نباید تبادل حرارت از محیط به سیستم صورت پذیرد [6].

منابع تامین انرژی

انرژی مورد نیاز یک فرایند در سطوح مختلف انرژی تامین می شود. مثل سطح بخار، سطوح سرمایشی، گاز داغ شده از کوره، روغن داغ و ... هدف عمومی هر واحدی کم نمودن سطوح انرژی پر هزینه و افزایش سطوح انرژی ارزان است. برای مثال در جایی که بخار با فشار پایین برای گرمایش کافی است، نباید از بخار با فشار بالا استفاده نمود و هزینه اضافی به واحد تحمیل نمود یا از سیستم خنک سازی گاز به جای آب خنک استفاده نمود.

نمودار مرکب یک هدف گذاری کلی انجام می دهد و نمی توان از آن به طور واضح میزان نیازمندی حرارتی را در سطوح مختلف انرژی بدست آورد این مساله را می توان در ۰ دید.



شکل ۳. استفاده از نمودار مرکب برای هدف گذاری سطوح انرژی [7]

با توجه نمودار مرکب در می بینیم که در دو سطح، انرژی مورد نیاز سیستم تامین شده است، یکی بخار فشار بالا و یکی آب خنک کن. حال در شکل فوق می بینیم که یک نمودار مرکب جدید ساخته شده است که در آن مقداری از حرارت بالای نقطه پینچ توسط بخار فشار پایین تامین شده است. در صورتی که این حرارت در نمودار اول در فشار HP تامین شده بود. بیشترین میزان استفاده از بخار LP به جای بخار HP را می توان با اختلاف دمای ΔT_{min} بدست آورد. زیرا حداقل فاصله در نمودار مرکب بین جریان سرد و گرم است. برای استفاده از سطوح مختلف انرژی باید مطابق همین روش عمل شود. بعد از استفاده از هر سطح انرژی جدید، نمودار مرکب متفاوت از قبل شده و اگر چندین پیشنهاد برای استفاده از سطوح مختلف انرژی داشته باشیم، با مساله بسیار پیچیده ای روبرو خواهیم بود، لذا استفاده از نمودار مرکب برای حل چنین مساله ای انتخاب راه حلی دشوار است [7]. نمودار مرکب گراند^۴ راه حل مناسبی برای حل این مساله می باشد.

4. Grand Composite Curve

و بعد با تعیین نقطه پینچ گرم و سرد، شبکه جریان های زیرنقطه پینچ و بالای نقطه پینچ را تعیین نمود.

رعایت قوانین زیر در هنگام طراحی، از موارد مهم تکنولوژی پینچ می باشد:

هیچ انرژی را نمی توان از بالا به پایین پینچ عبور داد زیرا دو بار جریمه پرداخت خواهد شد یعنی بیشتر از نیاز، گرما افزوده خواهد شد.

(۱) بالای نقطه پینچ نمی توان از منابع خارجی سرد استفاده

نمود زیرا استفاده از منابع خارجی سرد در بالای نقطه پینچ

بدین معناست که از سیستمی که حرارت بیشتری دارد،

حرارت دریافت می شود به همین دلیل همان مقدار گرما

باید افزوده شود.

(۲) پایین نقطه پینچ نمی توان از منابع خارجی گرم استفاده

نمود زیرا بدین معناست که در جایی که مازاد حرارت داریم

باز هم گرمایش انجام می شود و نیاز به عملیات سرمایشی

اضافی دارد.

(۳) در زیر نقطه پینچ مجموع انرژی منابع سرد استفاده شده

نباید از QC_{min} بیشتر باشد و در بالای نقطه پینچ مجموع

انرژی منابع گرم مورد استفاده نباید از QH_{min} بیشتر باشد.

قواعد طراحی

طراحی را از نقطه پینچ شروع می کنیم و جلو می رویم و یک

جریان گرم و سرد را مقابل هم قرار می دهیم و داخل یک مبدل می

فرستیم.

برای هر pinch match ای که انجام می دهیم باید شدت

ظرفیت حرارتی جریان خروجی از نقطه پینچ بزرگتر یا مساوی شدت

ظرفیت حرارتی جریان ورودی به نقطه پینچ باشد ($CP_{out} \geq CP_{in}$).

منظور از pinch match مبدل حرارتی ای می باشد که هر دو دمای یک

سمت آن دقیقاً دماهای نقطه پینچ باشد به عنوان مثال اگر طراحی در

بالای نقطه پینچ انجام می شود باید هر دو دمای سمت چپ pinch

match دماهای نقطه پینچ باشد و بین این مبدل و نقطه پینچ هیچ

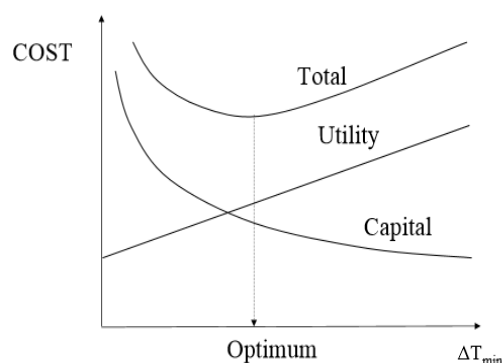
مبدل حرارتی دیگری قرار نگرفته باشد. برای توجیه لازمه برقراری قانون

($CP_{out} \geq CP_{in}$) به شکل ۷ توجه شود. در بالای پینچ جریان گرم ورودی

و جریان سرد خروجی و در پایین پینچ برعکس است.

در شکل ۵ موقعیت بخار HP مورد نیاز برای گرمایش و سیستم خنک کن برای سرمایش فرایند نشان داده شده است. برای اینکه هزینه انرژی کاهش پیدا کند، از بخار MP (بخار در فشار متوسط) و آب خنک کن استفاده می کنیم. در شکل ۵ می بینیم که در دمای بخار MP یک خط از محور عمودی کشیده شده است تا نمودار مرکب جمع را قطع کند. این خط معرف میزان بخار MP مورد نیاز است. مابقی انرژی مورد نیاز باید توسط بخار HP تامین شود. به همین صورت میزان آب خنک مصرفی مشخص می شود. نقطه برخورد خط سطح MP و CW با نمودار مرکب جمع به نقاط پینچ های سرویس های جانبی^۵ معروفند [9].

همان طور که در بالا توضیح داده شد، به کمک نمودارهای مرکب و مرکب گراند می توان هزینه های کلی سیستم شامل هزینه های عملیاتی تامین انرژی و هزینه های تجهیزات شبکه را هدف گذاری نمود [8]. بدین ترتیب که با افزایش (ΔT_{min}) نیروی محرکه دمایی برای مبدلها افزایش یافته و بنابراین مساحت لازم کاهش پیدا می کند و در نتیجه هزینه سرمایه گذاری کاهش می یابد، در حالی که حداقل منابع خارجی لازم برای سرد و گرم کردن جریان ها افزایش می یابد. بنابراین در یک (ΔT_{min}) مشخص، مقدار هزینه کلی به حداقل مقدار خود می رسد که این (ΔT_{min}) نقطه آغاز طراحی شبکه مبدلهای حرارتی می باشد. (شکل ۶).



شکل ۶. تغییرات هزینه های شبکه مبدل های حرارتی با حداقل نیروی محرکه دمایی [8]

قوانین طراحی تکنولوژی پینچ در به دست آوردن حداکثر بازایافت انرژی

برای طراحی قبل از هر چیز نیاز به استخراج اطلاعات می باشد که در بخشهای قبلی توضیح داده شده است. پس از مشخص کردن جریانها و مشخصات مربوط به هر جریان و مشخص شدن معادله قیمت مربوط به مبدل ها و قیمت های منابع خارجی می توان $\Delta T_{min,opt}$ را به دست آورد

جریان های شبکه مبدل ها حذف شود تا به حداقل تعداد مبدل ها برسیم.

(۲) انتخابی که با اعمال قانون $CP_{in} \leq CP_{out}$ در طراحی جریانهای خروجی از پینچ وجود دارد در زیر شرح داده می شود:

✓ قرار دادن Pinch Match اگر $CP_{in} \leq CP_{out}$

✓ قرار دادن مبدل حرارتی بین جریان خروجی و جریان

ورودی که از نقطه پینچ فاصله دارد یعنی بین این

مبدل و نقطه ی پینچ یک Pinch Match باشد.

✓ اگر طراحی جریان خروجی بالای پینچ مدنظر باشد

میتوان از تاسیسات جانبی گرمایشی و اگر طراحی

جریان خروجی پایین پینچ مدنظر باشد می توان از

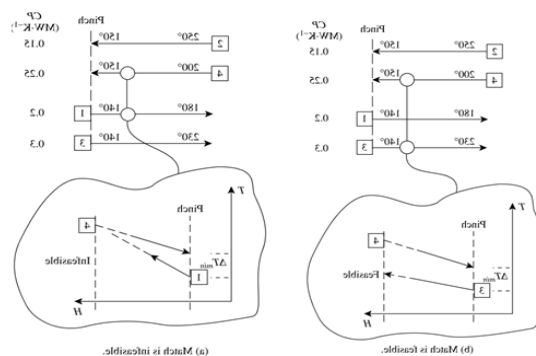
تاسیسات جانبی سرمایشی استفاده نمود.

با توجه به توضیحات بالا جریان های خروجی از پینچ به سادگی قابل طراحی می باشند.

انتخابی که در طراحی جریانهای ورودی به پینچ با اعمال قانون $CP_{in} \leq CP_{out}$ وجود دارد تنها یک مورد است و آن قرار دادن Pinch Match اگر $CP_{in} \leq CP_{out}$ می باشد. جریانی که از پینچ فاصله دارد، جریان متناظر ورودی به پینچ نمی تواند باشد چون ΔT_{min} را نقض می کند. تاسیسات جانبی نیز به دلیل اینکه باعث انتقال حرارت از نقطه ی پینچ می شوند نمی توانند به عنوان جریان متناظر انتخاب شوند. با توجه به توضیحات بیان شده مشخص می شود، طراحی جریان های ورودی به پینچ دشوار می باشد.

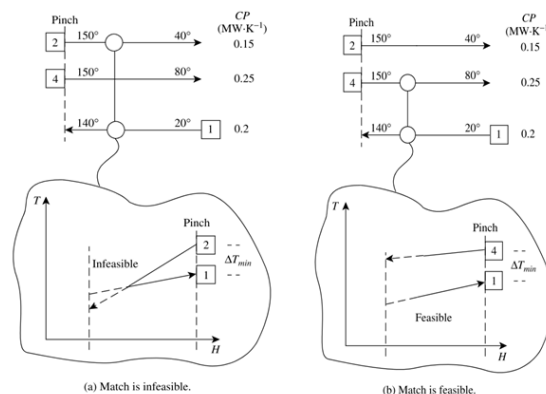
با استفاده از این قواعد می توان شبکه مبدل های زیر پینچ و بالای پینچ را به طور جداگانه طراحی نمود و شبکه مبدل های کلی را به دست آورد.

در مواردی نمی توان زوج جریان های ورودی و خروجی به نقطه ی پینچ را به شکل مناسب اختیار نمود. در چنین شرایطی باید جریان را به دو یا چند زیر شاخه تقسیم نمود. البته اضافه نمودن زیر شاخه به معنای پیچیده تر شدن شبکه است و تا حد امکان باید از آن جلوگیری گردد. الگوریتم تقسیم کردن جریان ها را در بالا و پایین نقطه پینچ نشان می دهد.



شکل ۷. شرایط Pinch match در بالای پینچ [10]

در شکل ۷ قسمت a یک Pinch Match را در بالای Pinch نشان داده است که در آن CP_{out} برابر با ۰/۲۵ و CP_{in} برابر با ۰/۲۵ می باشد حال نمودار دما آنتالپی (T-H) این دو جریان گرم و سرد را رسم می کنیم همان طور که مشاهده می شود ΔT سمت راست مبدل کمتر از ΔT_{min} شده است و ΔT_{min} را نقض کرده است. چون شیب نمودار $\frac{1}{CP}$ است و $CP_{in} \geq CP_{out}$ است پس شیب جریان ورودی کمتر از شیب جریان خروجی می شود و خطوط دو جریان از بالا به هم نزدیک می شوند پس این Pinch Match غیرمنطقی^۶ است. اما در Pinch Match نشان داده شده در شکل ۷ قسمت b، CP_{in} برابر با ۰/۲۵ و CP_{out} برابر با ۰/۳ می باشد پس شیب جریان ورودی به پینچ بیشتر از شیب جریان خروجی از پینچ شده و ΔT سمت راست مبدل بیشتر از ΔT_{min} شده است پس این Pinch Match منطقی^۷ است. شکل ۸ همین مفهوم را به طور مشابه در پایین پینچ نشان می دهد.



شکل ۸. شرایط Pinch Match در پایین پینچ [10]

(۱) با هر تبدیلی که بین یک جریان سرد و گرم می بندیم انرژی لازم برای تغییر دمای یکی از جریان ها باید تامین شود و از

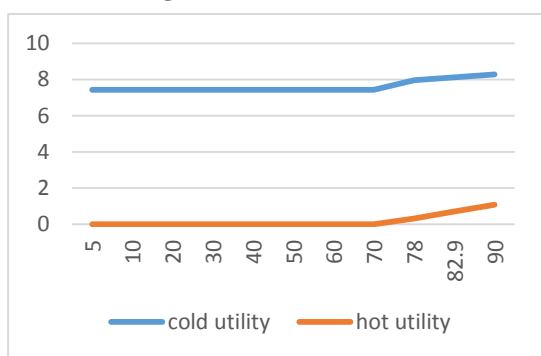
6. Infeasible
7. Feasible

پارامتر	واحد	مقدار
ΔT_{min}	$^{\circ}\text{C}$	۱۰
انرژی بازیافتی	MW	۷/۷۳
تأسیسات گرم مورد نیاز	MW	۰
تأسیسات سرد مورد نیاز	MW	۷/۴۳

جدول ۲

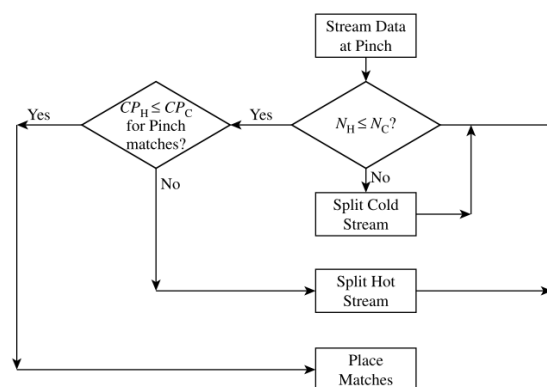
بررسی نتایج

نتایج حاصله نشان می دهد که در حالت بهینه میزان تأسیسات گرم مورد نیاز صفر می باشد یا به عبارت دیگر در حالت بهینه نیازی به منبع گرم نداشته و گرمای مورد نیاز را میتوان از خود جریان ها و در مبدل های حرارتی بدست آورد. به چنین مسائلی که در آن ها تنها یک منبع انرژی مورد نیاز می باشد **Threshold Problems** گفته می شود. در این مسائل نیز مانند سایر مسائل در مقادیر بالای ΔT میزان بازیافت انرژی کم می باشد و با کاهش ΔT میزان بازیافت انرژی افزایش می یابد و به تبع آن از مقادیر منابع گرم و سرد انرژی کاسته می شود تا جایی که مقدار یکی از منابع مورد نیاز به صفر برسد. مقدار ΔT که در آن مقدار یکی از منابع صفر می شود به $\Delta T_{Threshold}$ معروف است. حال اگر مقدار ΔT را مقادیر کمتر از $\Delta T_{Threshold}$ انتخاب کنیم میزان بازیافت انرژی و مقادیر منابع مورد نیاز تغییری نخواهند کرد. مقدار $\Delta T_{Threshold}$ در مسئله ی پیش رو حدود 72°C می باشد و انتخاب هر مقدار ΔT کمتر از $\Delta T_{Threshold}$ تغییری در مقادیر بازیافت انرژی و منابع گرم و سرد ندارد. شکل ۵-۴ نحوه محاسبه ی $\Delta T_{Threshold}$ را با استفاده از نمودار نشان می دهد.

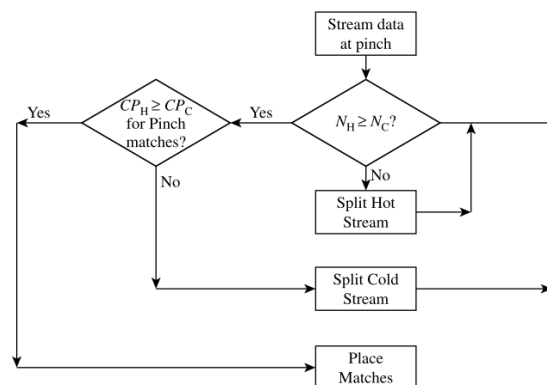


نمودار ۱.

هم چنین شکل زیر طراحی بهینه شبکه مبدل های حرارتی کارخانه را نشان می دهد.



(a) Above the pinch.



(b) Below the pinch.

شکل ۹. الگوریتم تقسیم کردن جریان ها [11]

مطالعه موردی

در این مطالعه به بررسی مصرف انرژی در کارخانه NGL700 اهواز با بهره گیری از تکنولوژی پینچ پرداخته شده است. در ابتدا مقادیر مصرف انرژی در حالت کنونی کارخانه و پس از آن مقادیر مصرف انرژی در صورت بکارگیری آنالیز پینچ در کارخانه ارائه گردیده است. برای این منظور ابتدا تمامی جریان ها و تأسیسات کارخانه در نرم افزار Aspen Hysys V.7.2 شبیه سازی گردیده است و سپس این شبیه سازی در نرم افزار Aspen Energy Analyser فراخوانی شده است که نتایج حاصل از آن در جدول ۱ ارائه گردیده است. سپس با بهره گیری از اصول تکنولوژی پینچ و بررسی جریان های کارخانه در شرایط عملیاتی و با فرض $\Delta T_{min} = 10^{\circ}\text{C}$ نتایج ارائه شده در جدول ۲ به عنوان حالت بهینه بازیافت انرژی در کارخانه حاصل می گردد

پارامتر	واحد	مقدار
انرژی بازیافتی	MW	۲/۸۲
تأسیسات گرم مورد نیاز	MW	۲/۷۲
تأسیسات سرد مورد نیاز	MW	۱۰/۱۷

جدول ۱

مابقی گرمای خود را در این کولر از دست خواهد داد.

کولر $C3$: این کولر روی جریان ۵ قرار دارد و سرمای $3370/84 \text{ KW}$ را فراهم می نماید.

کولر $C4$: این کولر روی جریان ۶ قرار دارد و سرمای $2632/77 \text{ KW}$ را فراهم می نماید.

نام مبذل	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$	$E5$
میزان تبادل حرارت (KW)	۱۱۴۱/۱۱	۱۱۷۵/۲	۱۰۴۱/۶	۳۵۴/۰۳	۱۵۱/۷۵
جریان های مرتبط	۷-۸	۴-۱۰	۳-۱۰	۲-۱۰	۲-۹

جدول ۳

نام کولر	$C1$	$C2$	$C3$	$C4$
میزان تبادل حرارت (KW)	۱۰۳۷/۵	۴۰۴/۴۹	۳۳۷۰/۸۴	۲۶۳۲/۷۷
جریان مرتبط	۱	۲	۵	۶

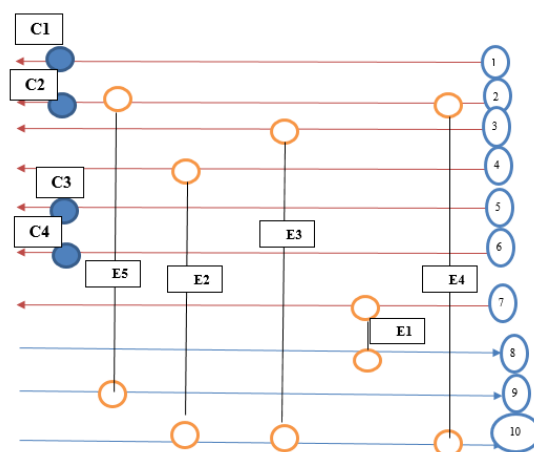
جدول ۴

شماره	نوع	حرارت مورد نیاز (KW)	تعداد مبذل	تعداد	حرارت مبادله شده در مبذل (KW)	تبادل حرارت با منبع (KW)
۱	گرم	۱۰۳۷/۵	۰	۱	۰	۱۰۳۷/۵
۲	گرم	۹۱۰/۲۷	۲	۱	۵۰۵/۷۸	۴۰۴/۴۹
۳	گرم	۱۰۴۱/۶	۱	۰	۱۰۴۱/۶	۰
۴	گرم	۱۱۷۵/۲	۱	۰	۱۱۷۵/۲	۰
۵	گرم	۳۳۷۰/۸۴	۰	۱	۰	۳۳۷۰/۸۴
۶	گرم	۲۶۳۲/۷۷	۰	۱	۰	۲۶۳۲/۷۷
۷	گرم	۱۱۴۱/۱۱	۱	۰	۱۱۴۱/۱۱	۰
۸	سرد	۱۱۴۱/۱۱	۱	۰	۱۱۴۱/۱۱	۰
۹	سرد	۱۵۱/۷۵	۱	۰	۱۵۱/۷۵	۰
۱۰	سرد	۲۵۷۰/۸۳	۳	۰	۲۵۷۰/۸۳	۰

جدول ۵

جمع بندی

شبکه ی مبذل های حرارتی در کارخانه NGL 700 پیش از این در حالت بهینه نبود. به همین منظور شبکه مبذل های حرارتی جدید مبتنی بر اصول تکنولوژی پینچ طراحی گردید. پیش از انجام بهینه سازی $2/82 \text{ MW}$ از کل انرژی مورد نیاز کارخانه از طریق بازیافت انرژی تأمین می گردید (حدود ۱۸٪) که در صورت پیاده سازی طرح فوق مصرف کارخانه از $12/89 \text{ MW}$ به $7/43 \text{ MW}$ خواهد رسید. هم چنین این موضوع که میزان بازیافت انرژی در کارخانه پس از بهینه سازی MW



شکل ۱۰. شبکه مبذل های حرارتی طراحی شده

در شکل بالا تعداد ۷ جریان گرم و ۳ جریان سرد دیده می شود که با ۵ عدد مبذل حرارتی و ۴ عدد کولر به دماهای هدف خود رسیده اند. مبذل $E1$ همان مبدلی است که در شبکه مبذل کنونی کارخانه موجود می باشد. منبع گرمایی گرم نیز کاملاً از سیستم حذف گردیده است. مشخصات مبذل ها و کولر ها و روندی که هر جریان برای رسیدن به دمای هدف خود باید طی کند در زیر شرح داده شده و پس از آن به طور مختصر در جداول ۳ تا ۵ شرح داده شده است.

مبذل $E1$: این مبذل بین دو جریان ۷ و ۸ قرار گرفته و بدون تغییر از شبکه ی مبذل های حرارتی قبلی به حالت بهینه نیز منتقل گردیده و با میزان انتقال حرارت $1141/41 \text{ KW}$ تمامی حرارت اضافی جریان ۷ را به جریان ۸ منتقل می نماید تا هر دو جریان به دمای هدف خود برسند.

مبذل $E2$: این مبذل بین دو جریان ۴ و ۱۰ واقع گردیده و با بار حرارتی $1175/2 \text{ KW}$ جریان ۴ را به دمای هدف خود می رساند.

مبذل $E3$: این مبذل بین دو جریان ۳ و ۱۰ قرار گرفته و با بار حرارتی $1041/6 \text{ KW}$ جریان ۳ را به دمای هدف خود می رساند.

مبذل $E4$: این مبذل بین دو جریان ۲ و ۱۰ واقع گردیده و حرارت $354/03 \text{ KW}$ را از جریان ۲ گرفته و به جریان ۱۰ منتقل می نماید. جریان ۱۰ که پیش از این از طریق مبذل های $E2$ و $E3$ حرارت دریافت کرده با دریافت حرارت از مبذل $E10$ به دمای هدف خود می رسد.

مبذل $E5$: این مبذل بین دو جریان ۲ و ۹ قرار دارد و با تبادل نرخ گرمای $151/75 \text{ KW}$ جریان ۹ را به دمای هدف خود می رساند. جریان ۲ که پیش از این مقداری حرارت در مبذل $E4$ از دست داده مابقی حرارت خود را در کولر از دست خواهد داد و به دمای هدف خود می رسد.

کولر $C1$: این کولر روی جریان ۱ قرار دارد و با گرفتن $1037/5 \text{ KW}$ گرما از این جریان آن را به دمای هدف خود می رساند.

کولر $C2$: این کولر روی جریان ۲ با بار $404/49 \text{ KW}$ قرار دارد. جریان ۲ که پیش از این در مبذل های $E4$ و $E5$ مقداری گرما از دست داده،

- Overall Processes”, Chem.Eng.Sc., vol. 38, no. 8, pp. 1175-1188.
- 8) Polley, G.T., Panjeshahi, M.H. Interfacing Heat Exchanger Network Synthesis and Detailed Heat Exchanger Design. Transactions of the Institute of Chemical Engineers, 69, 2015
 - 9) Badr Abdoullah Al-Riyami, Jiri Klemes, Simon Perry, "Heat Integration Retrofi Analysis of a Heat Exchanger Network of a Fluid Catalytic cracking Plant", Applied Thermal Engineering 2, 2015 487
 - 10) Glinos, K. Malone, M. F. (2012). "Complex column alternatives in distillation systems", Chemical.
 - 11) Khalifa, M. Emtir, M. (2014). "Rigorous optimization of heat-integrated and Petlyuk column distillation configurations based on feed conditions", Clean Technology Environment Policy, 11 pp 107-113, (2014). "Energy saving in multicomponent separation using an internally heat-integrated distillation column

۷/۷۳ خواهد بود، نشان می دهد که ۴۹/۲٪ از انرژی مورد نیاز کارخانه از طریق بازیافت تأمین خواهد شد که حدود ۳۱٪ نسبت به حالت پیش از بهینه سازی افزایش خواهد داشت و این خود نشان دهنده ی اهمیت بکارگیری تکنولوژی پینچ در طراحی شبکه ی مبدل های حرارتی است. با توجه به اینکه $\Delta T_{Threshold}$ مقدار بالایی می باشد می توان از مبدل هایی با اختلاف دمایی بالا (زیر دمای $\Delta T_{Threshold}$) و در نتیجه سطح حرارتی کمتر بهره برد و این خود به معنای هزینه های اولیه کمتر جهت اصلاح می باشد. کاهش بار حرارتی که در پریچلر و چیلر مورد نیاز است با استفاده از مبدل های حرارتی امکان پذیر نمی باشد. زیرا بازه ی دمایی آن ها پایین است و با در نظر گرفتن دمای جریان های گرم موجود در کارخانه نمیتوان بین آن ها مبدل قرار داد. در نتیجه مقدار بار حرارتی سیکل تبرید آن ها در فرآیند بهینه سازی کارخانه تغییر نمی کند. اما بار کندانسور که در شرایط عملیاتی کارخانه ۴/۱۶۴ MW می باشد با بکارگیری مبدل های حرارتی به ۱/۴۴۱ MW معادل ۶۵/۴۱٪ مقدار اولیه کاهش می یابد. تعداد مبدل های حرارتی کارخانه از ۱ عدد به ۵ عدد افزایش می یابد. جهت کسب اطمینان از صحت نتایج، محاسبات را با مقادیر مختلف ΔT که کمتر از $\Delta T_{Threshold}$ بوده انجام داده و هر بار به عدد صفر برای منبع گرم و ۷/۴۳ MW برای منبع سرد دست یافتیم که نشان از صحیح بودن محاسبات دارد. (در زیر دمای $\Delta T_{Threshold}$ به ازای مقادیر مختلف ΔT مقدار ثابتی برای منابع گرم و سرد به دست می آید).

مراجع

- 1) Takamatsu, T. Nakaiwa, M. Huang, K. (1999). "Simulation oriented development of a new heat.
- 2) Mafi, M., Mousavi Naeynian, S.M., Amidpour, M., 2013. Exergy analysis of multistage distillation columns in NGL plants, international journal of refrigeration. 32, 279 – 294.
- 3) Linnhoff, B. 1998. "Introduction to Pinch Technology", Linnhoff March Northwich, cheshire, CW9 7UZ, England, 7-12.
- 4) Kemp, I.C., 2007. Pinch analysis and process integration, 2nd edition, Elsevier.
- 5) Linnhoff, B. 1998. "SuperTarget" pinch analysis software suite, available from Linnhoff March Ltd. UK.
- 6) Smit, R., and P.S. Jones, 1990. "The Optimal Design of Integration Evaporation Systems", Heat Recov. Sys. CHP, vol. 10, no. 4, pp. 341-368
- 7) Linnhoff, B. H Dunford, and R. Smith, 1993. "Heat Integration of Distillation Columns into