



## اصلاح شبکه مبدل‌های حرارتی به منظور صرفه‌جویی در مصرف انرژی در واحد تصفیه گاز شرکت پالایش گاز بیدبلند

مهدی صحرائی: کارشناس ارشد تبدیل انرژی، مهندس تعمیرات مکانیک دستگاه‌های پالایش و نمدزایی، شرکت پالایش گاز بیدبلند

سید علی اشرفی‌زاده: دکترای مهندسی انرژی - استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول

محمد حیات داودی: کارشناس ارشد مهندسی شیمی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد ماهشهر

عباس آذر مهر: مهندس ارشد پالایش - شرکت پالایش گاز بیدبلند

مجتبی برکت رضایی: نوبتکار ارشد اتاق کنترل و محوطه - شرکت پالایش گاز بیدبلند

sahraei\_mehdi@yahoo.com

### چکیده:

در این مقاله به اصلاح شبکه مبدل‌های حرارتی به منظور صرفه‌جویی انرژی با استفاده از تکنولوژی پینچ روش Retrofit، در واحد تصفیه گاز شرکت پالایش گاز بیدبلند، پرداخته شده است. بهینه‌سازی انرژی با استفاده از محاسبات دستی و نرم افزار ASPEN HX-NET انجام شده است. در ابتدا اطلاعات فرآیندی از PFD واحد و همچنین فلودیاگرام مبدل‌ها استخراج شد. حداقل بار گرمایشی و سرمایشی مورد نیاز در حالت ایده‌آل محاسبه و نتیجه آن با میزان بار گرمایشی و سرمایشی مورد نیاز شبکه‌ی موجود، مقایسه گردید و همچنین نقطه پینچ محاسبه شد. سپس تحلیل پینچ روش طراحی اصلاحی (رتروفیت) انجام شد. محاسبات اقتصادی مربوط به هزینه‌های عملیاتی (انرژی)، هزینه ساخت و نصب مبدل‌های حرارتی (سرمایه اولیه) و هزینه کل انجام گردید. میزان صرفه‌جویی انرژی برابر با ۳۱۷۰۶۰۹ دلار در سال، هزینه ساخت و نصب مبدل‌های حرارتی برابر با ۳۱۹۸۵۰۲ دلار و دوره بازگشت سرمایه ۳۶۹ روز به دست آمد.

واژگان کلیدی: بهینه‌سازی، شبکه مبدل‌های حرارتی، تکنولوژی پینچ، رتروفیت

## ۱- مقدمه:

با توجه به رشد جمعیت و از طرفی افزایش روزافزون مصرف منابع انرژی در شاخه‌های گوناگون خانگی و صنعتی و همچنین با توجه به محدودیت منابع انرژی تجدیدناپذیر، ناگزیر به کاهش و اصلاح مصرف انرژی هستیم. واحدهای صنایع شیمیایی از عمده‌ترین مصرف‌کننده‌های انرژی بوده و چیدمان صحیح مبدل‌های حرارتی در این واحدها می‌تواند تا حد زیادی مصرف انرژی در واحد یوتیلیتی که منبع تولید آب و برق و بخار کارخانه است را کاهش دهد و بدنبال آن منجر به کاهش عمده تولید گازهای گلخانه‌ای شود.

تکنولوژی پینچ نخستین بار در سال ۱۹۸۰ برای صرفه‌جویی در مصرف و ذخیره انرژی، مورد استفاده قرار گرفت. توسعه و تکمیل این روش به همت محققین مختلف در تیم‌های مختلف و مراکز دانشگاهی نظیر دانشگاه منچستر انجام شده است. پس از آنکه قابلیت‌های روش طراحی پینچ در عمل به اثبات رسید، دامنه کاربرد آن به تدریج گسترش یافت بطوری که اکنون مسائلی همچون رفع تنگناهای واحد، طرح‌های توسعه و افزایش ظرفیت، حل مشکلات عملیاتی، افزایش قابلیت انعطاف واحدهای عملیاتی، بویژه بازسازی و اصلاح شبکه مبدل‌های حرارتی را در بر گرفته است و امروزه طولانی‌ترین فهرست پروژه‌های موفق به این روش نسبت داده می‌شود. بود و لینهوف، مبتکر تکنولوژی پینچ در سال ۱۹۸۴ ضمن اعلام این مطلب که تکنولوژی پینچ از مراحل ابتدایی خود به عنوان ابزار خاص طراحی شبکه مبدل‌های حرارتی، گذر نموده و به مرحله بلوغ خود رسیده، ابراز داشت که این روش امروز به یک روش کاری کامل بدل شده است و آن را می‌توان برای طراحی سیستم‌های سرمایش و گرمایش و سیستم‌های تولید همزمان برق و گرما، ادغام ستون‌های تقطیر از لحاظ حرارتی در مجموعه فرایند موجود در پس زمینه آن‌ها، بهینه‌سازی کل فرایند و بهینه‌سازی کل واحد صنعتی نیز بکار گرفت [۱].

تکنولوژی پینچ شامل دو روش طراحی از پایه<sup>۱</sup> (گرس روت) و روش طراحی اصلاحی<sup>۲</sup> (رتروفیت) می‌باشد. در طراحی گرس روت، در ابتدای طراحی، هیچ گونه مبدلی وجود ندارد و فقط جریان‌های سرد و گرم موجودند که با رعایت اصول طراحی پینچ، چیدن مبدل‌ها بر روی جریان‌های سرد و گرم، شروع می‌شود. در طراحی شبکه بصورت رتروفیت، نسبت به طراحی گرس روت، محدودیت‌های بیشتری وجود دارد زیرا در ابتدای طراحی، مبدل‌های شبکه موجود، خود به عنوان یک محدودیت شناخته می‌شوند. در طراحی رتروفیت مبدل‌های شبکه موجود، به دو دسته مبدل‌های خلافاکار و غیر خلافاکار، تقسیم می‌شوند. مبدل‌های خلافاکار مبدل‌هایی هستند که از تقاطع پینچ حرارت عبور می‌دهند که با نصب مبدل‌های جدید و برخی تغییرات دیگر اصلاح می‌شوند.

از جمله مهم‌ترین مقالات در حوزه روش طراحی پینچ، مقاله لینهوف و احمد [۲] و همینطور لینهوف و فلاور [۳] می‌باشد. از جمله مهم‌ترین بخش‌های صنعت که با استفاده از روش پینچ می‌تواند صرفه‌جویی قابل توجه داشته باشد صنعت نفت و گاز است. جو و لینهوف [۴] به بررسی استفاده از روش پینچ در این صنعت پرداختند. پنجه‌شاهی و همکاران، به طور گسترده کاربردهای روش پینچ را در صنایع مختلف مورد مطالعه قرار دادند و برای بهبود این روش، پیشنهادهایی را ارائه نمودند. از جمله می‌توان به بهینه‌سازی سیستم بازیافت انرژی در واحد اسید سولفوریک در مجتمع پتروشیمی رازی [۵] و بهینه‌سازی شبکه مبدل‌های حرارتی واحد آروماتیک مجتمع پتروشیمی بندرامام [۶] اشاره نمود. عمیدپور و همکاران نیز مطالعات قابل

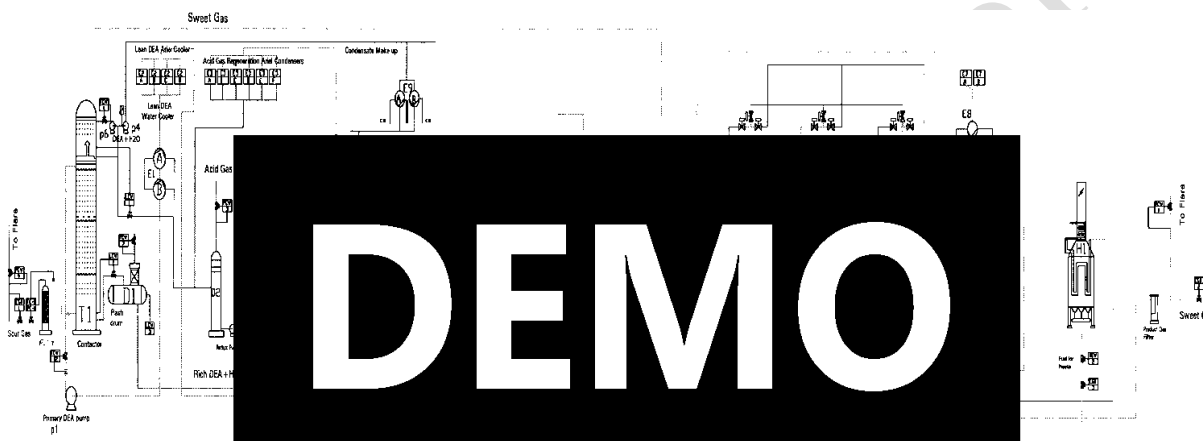
<sup>1</sup> Grass Root

<sup>2</sup> Retrofit

توجهی در زمینه تحلیل پینچ انجام داده‌اند. از جمله کتاب بهینه‌سازی انرژی تکنولوژی پینچ توسط عمیدپور و گوگل [۷] نگاشته شد. پنجه‌شاهی و عمیدپور [۸] با استفاده از روش‌های تجزیه کلی و جزئی به یکپارچه‌سازی شبکه مبدل‌های حرارتی با در نظر گرفتن عوامل اقتصادی پرداختند. عمیدپور و پولی [۹] به بررسی تجزیه مساله در انتگراسیون انرژی پرداختند. پولی و پنجه‌شاهی [۱۰] به ارائه جزئیات طراحی شبکه مبدل‌های حرارتی پرداختند. در این مقاله به اصلاح شبکه مبدل‌های حرارتی به منظور صرفه‌جویی انرژی با استفاده از تکنولوژی پینچ (روش Retrofit)، در واحد تصفیه گاز شرکت پالایش گاز بیدبلند پرداخته شده است.

## ۲- شرح مختصر فرایند واحد تصفیه گاز:

شکل ۱ نمودار جریان فرایندی (PFD) واحد تصفیه گاز شرکت پالایش گاز بیدبلند را نشان می‌دهد، در اینجا بصورت خلاصه فرایند واحد توضیح داده می‌شود.



شکل ۱ - PFD واحدهای تصفیه گاز شرکت پالایش گاز بیدبلند

واحد مذکور از دو بخش اصلی شیرین‌سازی و نم زدایی گاز تشکیل شده است.

### ۲-۱- بخش شیرین‌سازی گاز:

سولفید هیدروژن و دی‌اکسیدکربن موجود در گاز ورودی را با برقراری تماس بین گاز و محلول آبی دی‌اتانول آمین (DEA) حذف می‌کنند. این کار با فشاری معادل با فشار گاز ورودی در برج تماس<sup>۱</sup> انجام می‌شود. گاز به طرف بالای برج جریان داشته و مایع به طرف پایین برج جریان دارد. گاز و مایع بطور کامل بر روی سینی‌ها یا در توده‌ای از استوانه‌های مشبک که در داخل برج تماس نصب شده‌اند با یکدیگر تماس برقرار می‌کنند.

<sup>۱</sup>Contacting Tower

محلول دی‌اتانول آمین Rich (دارای  $CO_2, H_2S$ ) از ته برج خارج می‌شود و گاز شیرین شده به طرف بالای برج جریان یافته که در بخش شستشوی برج جذب، با آبی که از بالای برج به پایین بخش شستشوی برج می‌آید تماس پیدا می‌کند و آب، بخار دی‌اتانول آمین همراه گاز را جذب می‌کند. گاز شسته شده از بالای برج تماس خارج می‌شود و به بخش نم‌زدایی<sup>۱</sup> می‌رود. محلول دی‌اتانول آمین Rich از برج تماس T1 به طرف فلش درام D1 جریان می‌یابد. فشار فلش درام بطور قابل ملاحظه‌ای کمتر از فشار برج تماس است در نتیجه اجزایی که همراه گاز در فشار بالای برج تماس در محلول دی‌اتانول آمین حل شده بودند از محلول جدا می‌شوند، گازهای جدا شده از محلول دی‌اتانول آمین در فلش درام با جریان کوچکی از آمین در برج کوچکی که بالای فلش درام نصب شده است تماس برقرار می‌نماید و سپس به سیستم سوخت گاز<sup>۲</sup> می‌رود. هدف از برقراری تماس این است که گاز  $CO_2$  جدا شده از محلول دی‌اتانول آمین در فلش درام را دوباره جذب نمایند. غلظت بالای گازهای اسیدی در گازهای سوخت باعث می‌شود که سوختن ضعیف بوده و در نتیجه گاز خاصیت خوردندگی داشته باشد.

محلول دی‌اتانول آمین Rich پس از تبادل حرارت با دی‌اتانول آمین Lean داغ خروجی از پایین برج احیا وارد بخش بالایی برج احیا شده و به طرف پایین برج جریان می‌یابد. بخارات آب و دی‌اتانول آمین تولید شده در جوشاننده‌ها<sup>۳</sup> به طرف بالای برج جریان یافته و با محلول دی‌اتانول آمین بر روی سینی‌ها تماس برقرار می‌کند. جوشاننده‌ها بوسیله بخار آب گرم می‌شوند. مقداری از بخار دی‌اتانول آمین مایع می‌شود و باعث افزایش درجه حرارت محلول می‌گردد. در درجه حرارت‌های بالا واکنش‌ها در جهت عکس پیش می‌روند و در نتیجه گازهای  $CO_2, H_2S$  آزاد می‌شوند.

گاز  $CO_2, H_2S$  همراه با مقدار قابل ملاحظه‌ای از بخار آب به طرف بالای برج احیا رفته و پس از خروج از بالای برج در یک مبدل حرارتی سرد می‌شود. قسمت اعظم بخار مایع شده و سپس بوسیله پمپ به بالای برج احیا فرستاده می‌شود. بخار آب جوشاننده‌ها گرمای خود را به دی‌اتانول آمین داده و مایع می‌شود و دی‌اتانول آمین به حالت بخار در می‌آید. محلول دی‌اتانول آمین Lean از ته برج احیا خارج شده و پس از تبادل حرارت با محلول دی‌اتانول آمین Rich به مخزن ذخیره دی‌اتانول آمین (Surge Tank-D4) می‌رود.

به وسیله پمپ P-2 Booster محلول دی‌اتانول آمین Lean سرد شده به برج کوچکی بر روی فلش درام Rich DEA می‌رود. بخش اعظم دی‌اتانول آمین سرد شده به طرف برج تماس T-1 فرستاده می‌شود. برای ثابت نگه داشتن کیفیت محلول دی‌اتانول آمین دو روش برای خالص کردن آن به کار برده می‌شود. Filtering و Reclaiming. مادامی که واحد در حال کار است عمل Filtering و Reclaiming محلول دی‌اتانول آمین انجام می‌گردد و در غیر اینصورت در حدود یک درصد از محلول دی‌اتانول آمین در گردش را از خروجی پمپ P-2 Booster گرفته می‌شود و از فیلتر گذشته و سپس وارد مخزن ذخیره دی‌اتانول آمین (Surge Tank) می‌شود. فیلتر ذرات جامدی را که در بخش شیرین کردن به وجود آمده است، حذف می‌نماید.

## ۲-۲- بخش نم‌زدایی از گاز شیرین:

گاز تصفیه خروجی از بالای برج تماس با آب اشباع شده و قبل از رفتن به خط لوله بایستی آب همراه آن حذف گردد. آب موجود در گاز را با عبور گاز از ماده نم‌زدا که در داخل برج خشک کننده گاز قرار دارد حذف می‌کنند. ماده نم‌زدا سیلیکاژل

<sup>1</sup> Dehydration Section

<sup>2</sup> Fuel Gas System

<sup>3</sup> Reboiler

DEMO



است. برج خشک‌کننده گاز در فشاری معادل با فشار گاز تصفیه شده خروجی از برج تماس کار می‌کند. گاز به طرف پایین برج خشک‌کننده و بر روی سیلیکاژل جریان دارد و سیلیکاژل آب همراه گاز را جذب می‌کند در صورتی که دی اتانول آمین نیز همراه گاز باشد، به وسیله سیلیکاژل جذب خواهد شد. سپس گاز از برج خشک‌کننده گاز (Dehydration Tower) خارج می‌شود و پس از حذف ذرات سیلیکاژل احتمالی همراه گاز در فیلتر Product Gas Filter به خط لوله فرستاده می‌شود. چون سیلیکاژل گنجایش محدودی برای جذب آب دارد بایستی به‌طور متناوب آن را احیا نمود. عمل احیای سیلیکاژل با حرارت دادن آن تا درجه حرارتی که آب جذب شده را آزاد کند انجام می‌گیرد. بخش کوچکی از گاز تصفیه شده خروجی برج تماس برای گرم کردن و حذف آب از سیلیکاژل استفاده می‌شود. این بخش کوچک گاز در یک Fired Heater و تا یک درجه حرارت مناسب حرارت داده می‌شود و سپس برای احیا کردن سیلیکاژل از برج خنک‌کننده گاز عبور داده می‌شود. گاز حرارت خود را به سیلیکاژل می‌دهد، بخشی از حرارت باعث بالا رفتن دمای سیلیکاژل و بخشی نیز صرف تبخیر آب می‌گردد. آب تبخیر شده همراه گاز از بالای برج خارج شده و وارد کولر هوایی (Air Cooler) و سپس وارد کولر آبی که به طور سری قرار دارند، می‌گردد و گاز خنک شده و بخش اعظم بخار آب همراه گاز مایع می‌شود که آب را در Water knock out Drum از گاز جدا می‌کند. بخش اعظم این گاز به گاز تصفیه شده‌ای که به برج نم‌زدایی می‌رود برمی‌گردد و مقداری از گاز به عنوان سوخت Regeneration Gas Heater استفاده می‌شود. برج نم‌زدای احیا شده (T2) قبل از اینکه دوباره مورد استفاده قرار گیرد باید سرد شود. برج خشک‌کننده گاز به وسیله گازی که برای عمل احیای سیلیکاژل استفاده می‌شود سرد می‌گردد. قبل از این که گاز احیا کننده به Regeneration Tower برود از قسمت بالا به طرف پایین برج جریان یافته و با عبور از بستر سیلیکاژل آن را سرد می‌کند. چون دائماً باید گاز را خشک کرد و چون به‌طور متناوب باید یک برج بیکار باشد بیشتر از یک برج خشک‌کننده مورد نیاز است. در این واحد سه برج خشک‌کننده گاز وجود دارد. عمل خشک کردن گاز و عمل احیا و عمل سرد کردن سیلیکاژل به‌طور هم‌زمان انجام می‌گیرد. به عبارت دیگر در یک زمان مشخص یک برج در حال کار، یک برج در حال احیا و برج دیگر در حال سرد شدن است.

### ۳- شبکه موجود و هدف گذاری انرژی:

در ابتدا اطلاعات فرایندی از PFD واحد و همچنین فلودیاگرام مبدل‌ها استخراج شد. ۳ جریان سرد و ۴ جریان گرم در شبکه، شناسایی شد. در جدول ۱ اطلاعات جریان‌های سرد و گرم نمایش داده شده است.

جدول ۱- مشخصات و میزان بار حرارتی جریان‌های سرد و گرم حاضر در شبکه موجود

Name	Effective Cp [kJ/kg-C]	DT Cont. [C]
E5A	0.9296	Global
E5A/B	4.121	Global
E4 A/B- SHELL OF REBOIL	3.850	Global
H1- FURN	264.9	Global
	2.747	Global

## مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی

دوم دی ماه ۱۳۹۵، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم‌اندیشان انرژی‌های شیمیایی

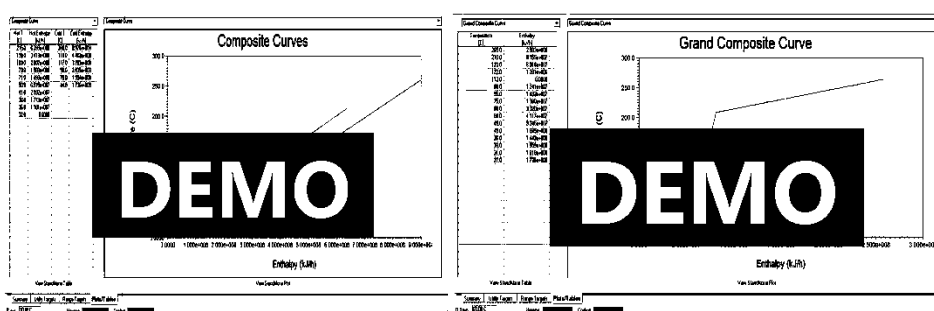
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Mobadel.ir

DEMO



در شکل ۲ (سمت راست) نمودار ترکیبی گزند (GCC) با بازی  $\Delta T_{\min} = 10$  نشان داده شده است. با استفاده از این نمودار می‌توان منبع حرارتی خارجی مناسب را انتخاب نمود همچنین مقدار انتقال حرارت در مبدل‌های حرارتی را می‌توان تحت قالب نمودار دیگری که محور افقی آن آنتالپی، محور عمودی دما و ضریب زاویه جریان‌های گرم و سرد، برابر عکس ظرفیت گرمایی کل می‌باشد، مورد بررسی قرار داد که به آن نمودار ترکیبی (CC) گفته می‌شود (شکل ۲ سمت چپ).



شکل ۲- منحنی ترکیبی CC (چپ) و ترکیبی گزند GCC (راست) با بازی  $\Delta T_{\min} = 10$

جریان‌های مذکور از یک عدد مبدل فرایندی، ۵ عدد کولر و ۲ عدد هیتر می‌گذرند که شبکه مبدل‌های حرارتی موجود را تشکیل می‌دهند.

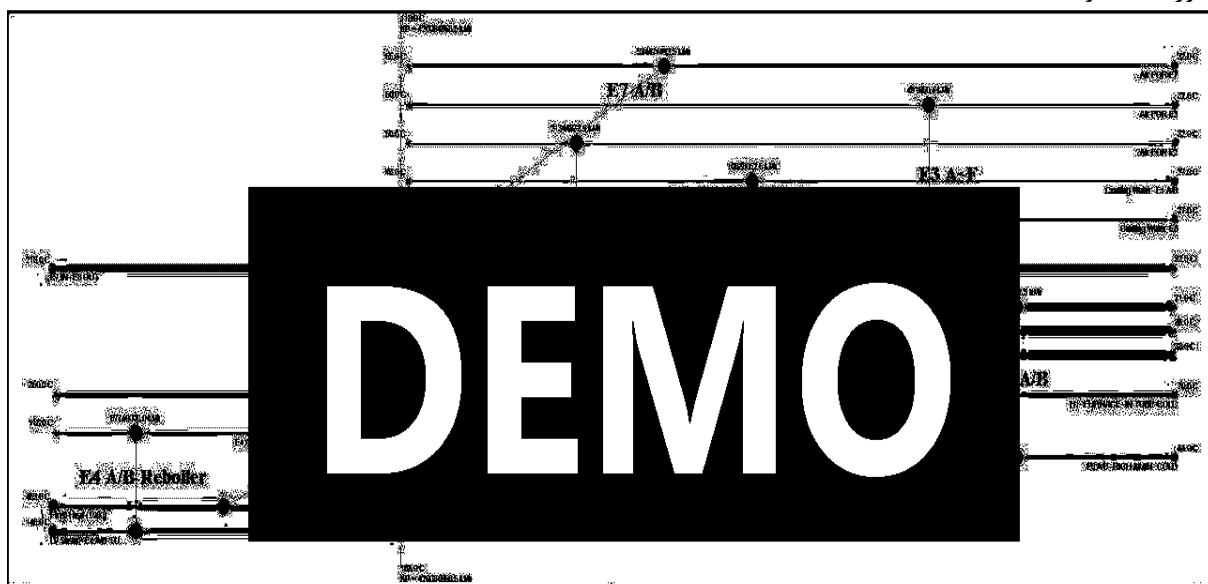
در جدول ۲ حداقل بار گرمایشی و سرمایشی مورد نیاز در حالت ایده‌آل با میزان بار گرمایشی و سرمایشی مورد نیاز شبکه موجود مقایسه گردیده و همچنین دماهای پینچ گرم و سرد نیز نمایش داده شده است.

جدول ۲- مقایسه بار گرمایشی-سرمایشی شبکه ایده‌آل (هدف) با بار گرمایشی-سرمایشی مصرفی شبکه موجود با بازی  $\Delta T_{\min} = 10^{\circ}\text{C}$

	میزان بار حرارتی مصرفی شبکه موجود	میزان بار حرارتی مورد نیاز در حالت ایده‌آل	نسبت اختلاف بار حرارتی موجود و ایده‌آل به بار حرارتی شبکه موجود
بار گرمایشی (KJ/HR)	678,440,000	258,300,000	۶۱.۹ %
بار سرمایشی (KJ/HR)	593,741,900	173,600,000	۷۰.۷ %
$T_H \text{ PINCH (C)}$	-	118 (C)	
$T_C \text{ PINCH (C)}$	-	108 (C)	

همانگونه که مشخص است شبکه موجود با بازی  $\Delta T_{\min} = 10^{\circ}\text{C}$  به میزان ۶۱.۹ % بار گرمایشی و ۷۰.۷ % بار سرمایشی بیشتر از حالت ایده‌آل مصرف می‌کند. پس از اصلاح شبکه، میزان بار گرمایشی و سرمایشی کاهش می‌یابد و به ۱۰۰٪ حالت ایده‌آل (هدف‌گذاری انرژی) می‌رسد. یعنی با صفر کردن میزان حرارت عبوری از تقاطع پینچ، حداکثر میزان بازیافت حرارتی بدست می‌آید.

شکل ۳ نمودار میله‌ای (Grid Diagram) شبکه موجود با انشعابات یوتیلیتی، بازای  $\Delta T_{\min}=10^{\circ}\text{C}$  را نشان می‌دهد همانگونه که از شکل ۳ مشخص است تعداد یک عدد کولر (کولر هوایی E7 A/B) و یک عدد هیتر (کوره H1) بر روی خط پینچ قرار دارند که هر دو از پینچ حرارت عبور می‌دهند و در اصطلاح خلافتکار می‌باشند که باید در طراحی رتروفیت، اصلاح شوند. بطوریکه تمامی کولرها بصورت کامل پایین پینچ و تمامی هیترها بصورت کامل به بالای پینچ منتقل شوند و هیچ حرارتی از خط پینچ عبور داده نشود.



شکل ۳- نمودار میله‌ای شبکه موجود همراه با انشعابات یوتیلیتی بازای  $\Delta T_{\min}=10^{\circ}\text{C}$

#### ۴- طراحی اصلاحی (Retrofit) بازای حداقل اختلاف دمایی $\Delta T_{\min}=10^{\circ}\text{C}$

در اینجا طی سه مرحله به اصلاح شبکه مبدل‌های حرارتی پرداخته می‌شود:

##### ۴-۱- مرحله اول اصلاح شبکه موجود بازای $\Delta T_{\min}=10^{\circ}\text{C}$ (شیفت دمایی):

دماهای پینچ سرد و گرم شبکه موجود بازای  $\Delta T_{\min}=10^{\circ}\text{C}$  در شکل ۳ مشخص می‌باشد. دمای پینچ گرم برابر با ۱۱۸ و دمای پینچ سرد برابر با ۱۰۸ درجه سانتیگراد می‌باشد. دمای ورودی جریان گرم مربوط به کولر خلافتکار E7 A/B ( $215^{\circ}\text{C}$ )، از دمای پینچ گرم ( $118^{\circ}\text{C}$ ) بیشتر می‌باشد. در واقع میزان حرارت عبوری از تقاطع پینچ، توسط کولر خلافتکار ذکر شده در بالا به علت اختلاف دمایی ابتدایی جریان گرم ورودی به کولر مذکور ( $215^{\circ}\text{C}$ )، با دمای پینچ گرم ( $118^{\circ}\text{C}$ ) می‌باشد.

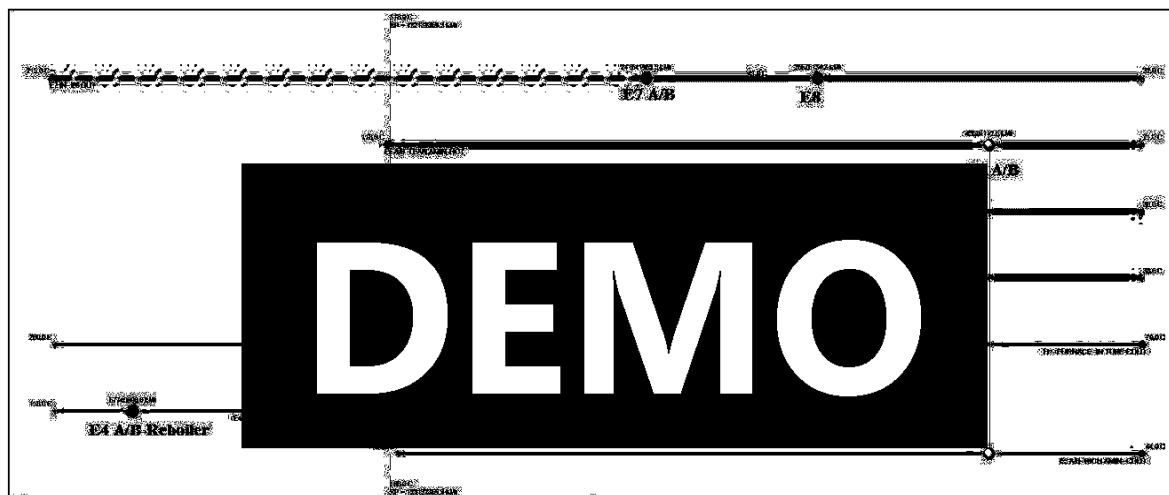
جهت اصلاح کولر خلافتکار مذکور (E7 A/B) در مرحله اول با استفاده از شیفت دمایی (Temperature Shifting) دمای ورودی جریان گرم به کولر خلافتکار، برابر با دمای پینچ گرم ( $118^{\circ}\text{C}$ ) قرار داده می‌شود و با این کار اختلاف دمایی مذکور به صفر می‌رسد یعنی در واقع میزان بار عبوری از بالای پینچ به پایین پینچ، توسط کولر خلافتکار به صفر رسانده می‌شود. نتیجه اینکه کولر به محل مناسب خود یعنی پایین پینچ منتقل می‌شود.

شکل ۴ مرحله اول اصلاح شبکه (رتروفیت) بازای  $\Delta T_{\min}=10^{\circ}\text{C}$  را نشان می‌دهد.

DEMO



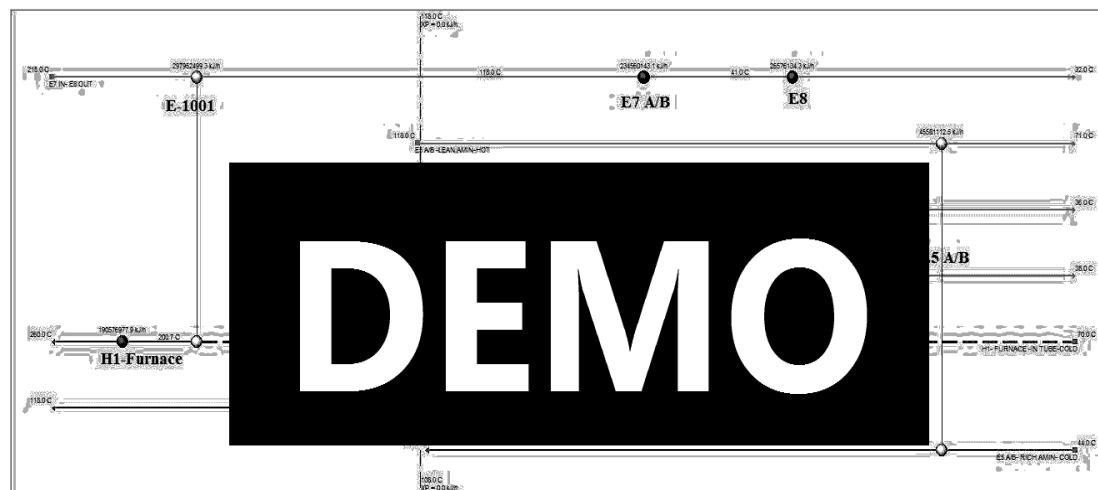
DEMO

شکل ۴- مرحله اول اصلاح شبکه (رتروفیت) بازای  $\Delta T_{min}=10$  c

#### ۴-۲- مرحله دوم اصلاح شبکه موجود بازای $\Delta T_{min}=10$ c (نصب مبدل جدید E-1001):

در مرحله دوم اصلاح، برای اینکه بار سرمایه‌گذاری مورد نیاز قسمتی از جریان گرم مربوط به کولر (که در بالای پینچ قرار دارد) تامین شود، به ناچار از یک منبع سرمایه‌گذاری جدید استفاده می‌شود که این منبع سرمایه‌گذاری باید توسط یکی از جریان‌های سرد فرایندی در بالای پینچ، تامین شود. لازم به ذکر است که این جریان سرد انتخابی، باید از دمای پینچ سرد عبور کند و از خط پینچ به سمت دماهای بالاتر خارج شود. در اصطلاح مبدلی که به این صورت نصب می‌شود "مبدل فرایندی پینچ مچ در بالای پینچ" (Pinch match above the pinch) می‌گویند. برای نصب مبدل‌ها بصورت پینچ مچ در بالا یا پایین پینچ باید به اصول طراحی پینچ دقت نمود. یعنی اولاً تعداد جریان‌های خروجی از پینچ باید بیشتر و یا مساوی با تعداد جریان‌های ورودی به پینچ باشد ( $N_{out} \geq N_{in}$ ). ثانياً "ظرفیت گرمایی کل" جریان خروجی باید بیشتر و یا مساوی با ظرفیت گرمایی کل جریان ورودی به پینچ باشد ( $CP_{out} \geq CP_{in}$ ). در اینجا در بالای پینچ چون تعداد جریان‌های خروجی از پینچ (تعداد ۱ جریان سرد) برابر با تعداد جریان‌های ورودی به پینچ (تعداد ۱ جریان گرم) می‌باشد و همچنین ظرفیت گرمایی کل جریان خروجی از پینچ (جریان سرد H1-FURNACE-IN TUBE-COLD) از ظرفیت گرمایی کل جریان ورودی به پینچ (جریان گرم E7 IN-E8) برابر است. بنابراین بین این دو جریان یک مبدل بصورت پینچ مچ قرار داده می‌شود (مبدل E-1001). شکل ۵ مرحله دوم اصلاح شبکه بازای  $\Delta T_{min}=10$  c را نشان می‌دهد.





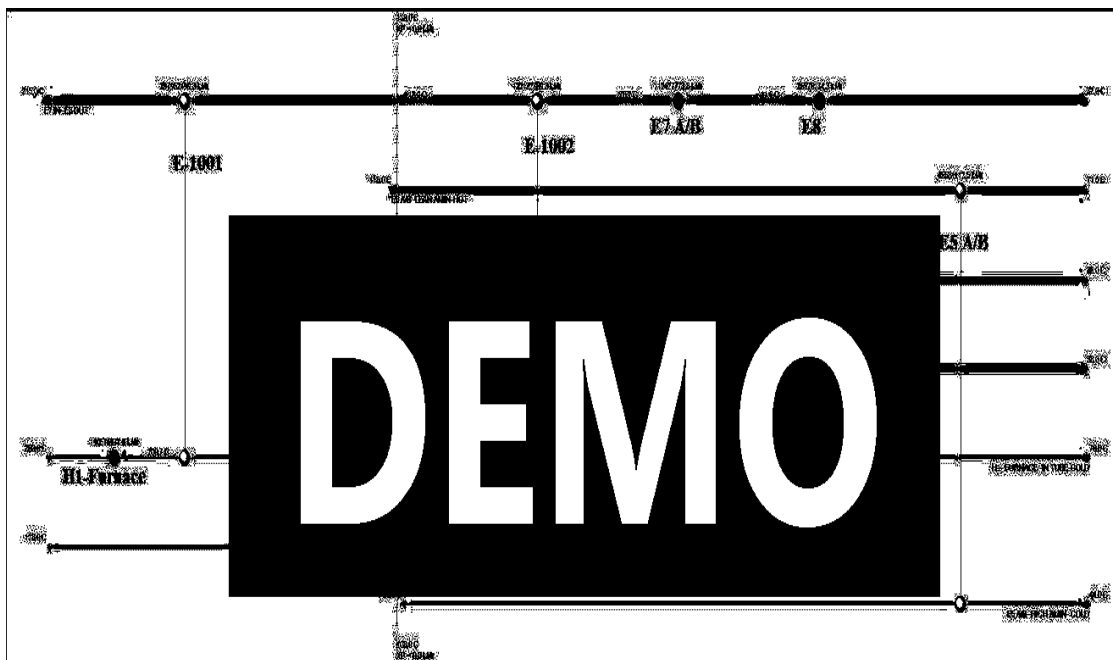
شکل ۵- مرحله دوم اصلاح شبکه بازی  $\Delta T_{min}=10\text{ c}$  (نصب مبدل E-1001)

با نصب مبدل فرایندی جدید E-1001 در بالای پینچ، میزان بار گرمایشی کولر هوایی خلافاً E7 A/B، کاهش می‌یابد. نکته جالب و قابل توجه اینست که دقیقاً به همین میزان از بار گرمایشی هیترهای شبکه کاسته می‌شود (قانون مسیر که از یک یوتیلیتی گرمایشی شروع می‌شود و از طریق جریان‌ها و مبدل‌های فرایندی به یک یوتیلیتی گرمایشی می‌رسد)

۳-۴- مرحله سوم اصلاح شبکه موجود بازی  $\Delta T_{min}=10\text{ c}$  (نصب مبدل E-1002 و دستیابی به شبکه اصلاح شده نهایی)

در مرحله سوم اصلاح شبکه (مرحله آخر)، در پایین پینچ تعداد جریان‌های خروجی از پینچ (جریان‌های گرم E7 IN-E8 OUT و E5 A/B-LEAN AMIN-HOT) دو عدد می‌باشد که از تعداد جریان‌های ورودی به پینچ (یک عدد- جریان سرد H1-FURNACE-IN TUBE-COLD) بیشتر می‌باشد ( $N_{out} \geq N_{in}$ ). برای اصلاح هیتر خلافاً H1-FURNACE که بر روی خط پینچ قرار دارد و جریان سرد (H1-FURNACE-IN TUBE-COLD) را گرم می‌کند، از مبدل فرایندی جدید E-1002 در پایین پینچ، استفاده می‌شود تا میزان بار گرمایشی جریان سرد مذکور در پایین پینچ توسط تبادل حرارت با جریان گرم E7 IN-E8 OUT تامین شود و به همین مقدار ( $122,132,369.3\text{ KJ/HR}$ ) از بار هیتر خلافاً ذکر شده (H1-FURNACE)، کاسته شده و به محل مناسب خود، یعنی بالای پینچ، منتقل می‌شود. لازم به ذکر است که با این کار به همین میزان از بار حرارتی کولر E7 A/B نیز کاسته می‌شود که در واقع مبین یکی از اصول پینچ می‌باشد که بیان می‌کند اگر به میزان X، صرفه‌جویی انرژی (Heat Recovery) انجام شود، به میزان X، از بار یوتیلیتی گرم و به میزان X از بار یوتیلیتی سرد کاسته می‌شود یعنی در کل به اندازه  $2X$  از بار یوتیلیتی کاسته می‌شود.

شکل ۶ شبکه اصلاح شده نهایی بازی  $\Delta T_{min}=10\text{ c}$  با انجام مرحله سوم اصلاح شبکه مبدل‌های حرارتی با نصب مبدل فرایندی جدید (E-1002) و انتقال هیتر خلافاً H1-FURNACE به بالای پینچ را نشان می‌دهد.



شکل ۶- شبکه اصلاح شده نهایی برای  $\Delta T_{min}=10\text{ c}$

### ۵- مشخصات کلیه مبدل‌های شبکه طراحی اصلاحی (رتروفیت)، برای $\Delta T_{min} = 10\text{ c}$

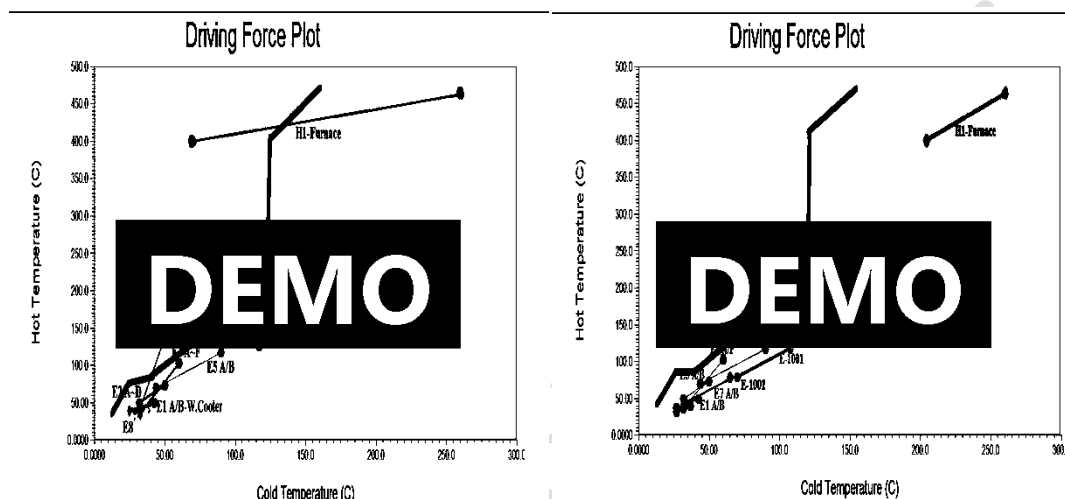
پس از انجام تغییرات لازم در شبکه موجود، شبکه اصلاح شده (طرح رتروفیت) حاصل می‌شود. مشخصات کلیه مبدل‌های شبکه طراحی رتروفیت، برای  $\Delta T_{min} = 10\text{ c}$  در جدول ۳ نمایش داده شده است.

جدول ۳- مشخصات مبدل‌های فرایندی و یوتیلیتی در طرح رتروفیت برای  $\Delta T_{min}=10\text{ c}$

Heat Exchanger	Cold Stream	Cold T in [C]	Cold T out [C]	Hot Stream	Hot T in [C]	Hot T out [C]	Load [kJ/h]	Area [m <sup>2</sup> ]	dt Min [C]	dt Min Cold [C]
E7 A/B	H1- FURNACE	118.0	41.0	H1- FURNACE	118.0	41.0	2.980e+008	5118.2	0.	14.30
Heat Exchanger E-1002- IN E7 & OUT H1 2nd	H1- FURNACE	78.2	38.0	H1- FURNACE	78.2	38.0	1.124e+008	890.5	0.	13.24
E1 A/B - W. COOLER	Cool	38.0	32.0	H1- FURNACE	38.0	32.0	1.221e+008	2928.4	0.	10.00
E8	Cool	32.0	27.0	H1- FURNACE	32.0	27.0	1.083e+007	1376.7	3.	7.000
E4 A/B- REBOILER	E4 A/B- SHELL OF REBOILER	127.0	50.0	E4 A/B- SHELL OF REBOILER	127.0	50.0	2.658e+007	101.2	0.	4.000
E2 A/D	E4 A/B- SHELL OF REBOILER	50.0	36.0	E4 A/B- SHELL OF REBOILER	50.0	36.0	6.774e+007	1503.2	0.	28.00
E3 A/F	E4 A/B- SHELL OF REBOILER	36.0	27.0	E4 A/B- SHELL OF REBOILER	36.0	27.0	2.134e+007	1.0347e+04	0.	23.00
H1- FURNACE	H1- FURNACE	400.0	71.0	H1- FURNACE	400.0	71.0	4.913e+005	2.5508e+04	0.	43.00
E5 A/B	E5 A/B- SHELL OF REBOILER	71.0	27.0	E5 A/B- SHELL OF REBOILER	71.0	27.0	1.906e+008	1.3573e+04	0.	203.0
	E5 A/B- SHELL OF REBOILER	27.0	27.0	E5 A/B- SHELL OF REBOILER	27.0	27.0	4.558e+007	1452.1	6.	28.00

### ۶- مقایسه نمودار نیرو محرکه شبکه طرح رتروفیت با شبکه موجود برای $\Delta T_{MIN}=10\text{ c}$

همانگونه که از شکل ۷ نمودار سمت چپ (شبکه موجود) مشخص است کولر E7 A/B با منحنی نیرو محرکه، تطابق مناسبی ندارند که همان کولر خلافاکار ذکر شده در قسمت ۳ می‌باشد که دمای جریان گرم ورودی به آن (۱۵ درجه سانتیگراد) از دمای پینچ گرم (۱۱۸ درجه سانتیگراد) به مراتب بیشتر می‌باشد. پس از اصلاح کولر مذکور (تغییر دمای جریان گرم ورودی به ۱۱۸ درجه سانتیگراد با نصب مبدل E-1001) و انتقال آن به محل مناسب خود (پایین پینچ)، میزان تطابق آنها با منحنی نیرو محرکه، مورد تایید می‌باشد. (شکل ۷ نمودار سمت راست).



شکل ۷- مقایسه نمودارهای نیرو محرکه شبکه موجود (چپ) و شبکه رتروفیت (راست) در  $\Delta T_{min} = 10c$

با دقت به نمودار نیرو محرکه شبکه موجود (نمودار سمت چپ) مشخص می‌شود که یکی از هیترها فاصله زیادی با منحنی نیرو محرکه دارد که همان هیتر خلافاکار H1-FURNACE می‌باشد. در طرح اصلاحی با انتقال هیتر H1-FURNACE به بالای پینچ، تطابق هیتر مذکور با منحنی نیرو محرکه، بیشتر شده است.

اصلاحات ذکر شده با نصب مبدل‌های فرایندی جدید (E-1001, E-1002) انجام شده است و در نمودار نیرو محرکه با دمیل‌های سبز رنگ، نشان داده شده است و همچنین تطابق خوبی با منحنی نیرو محرکه دارند.

### ۷- مقایسه حرارت عبوری از پینچ در شبکه موجود و طراحی رتروفیت در $\Delta T_{min} = 10c$

میزان حرارت عبوری از تقاطع پینچ در جدول ۴ نشان داده شده است. همانگونه که دیده می‌شود در شبکه موجود (سمت چپ) یک عدد کولر و یک عدد هیتر (همان مبدل‌های یوتیلیتی خلافاکار ذکر شده در قسمت قبل) از تقاطع پینچ فرایندی حرارت عبور می‌دهند ولی در شبکه طراحی رتروفیت (سمت راست) بار عبوری از پینچ، توسط تمامی مبدل‌ها، به صفر رسیده است که اشاره به قوانین طلایی پینچ دارد.

جدول ۴- میزان حرارت عبوری از پینچ در شبکه موجود (چپ) و شبکه رتروفیت (راست) با  $\Delta T \min = 10c$

Pinch	118.00 C - 108.00 C	Pinch	118.00 C - 108.00 C
Network Cross Pinch Load [kJ/h]	4.201e+008	Network Cross Pinch Load [kJ/h]	0.0000
E7 A/B [kJ/h]	2.980e+008	E1001-IN E7 & OUT H1 [kJ/h]	0.0000
E1 A/B - W. COOLER [kJ/h]	0.0000	E7 A/B [kJ/h]	0.0000
E8 [kJ/h]	0.0000	Heat Exch	0.0000
E4 A/B - REBOILER [kJ/h]	0.0000	E1 A/B - W. COOLER [kJ/h]	0.0000
E2 A/D [kJ/h]	0.0000	E8 [kJ/h]	0.0000
E3 A/F [kJ/h]	0.0000	E4 A/B - REBOILER [kJ/h]	0.0000
H1 - FURNACE [kJ/h]	1.221e+008	E2 A/D [kJ/h]	0.0000
E5 A/B [kJ/h]	0.0000	E3 A/F [kJ/h]	0.0000
		H1 - FURNACE [kJ/h]	0.0000
		E5 A/B [kJ/h]	0.0000

۸- محاسبات اقتصادی شبکه طراحی اصلاحی (رتروفیت) با  $\Delta T \min = 10c$

مجموع سطح کولرهای شبکه موجود برابر با 39,345.7 m<sup>2</sup> می‌باشد. همانگونه که از جدول ۵ مشخص است مجموع سطح کولرها در شبکه رتروفیت برابر با 38,223.4 m<sup>2</sup> می‌باشد. یعنی سطح کولرهای شبکه پس از اصلاح، به میزان 1,122.3 m<sup>2</sup> کاهش یافته است. در واقع این میزان کاهش سطح حرارتی به علت کاهش سطح حرارتی کولر هوایی E7 A/B از مقدار 2012.8 m<sup>2</sup> در شبکه موجود، به مقدار 890.5 m<sup>2</sup> در شبکه رتروفیت می‌باشد و به علت اینکه سطح بیش از ۵۰ درصد کاهش یافته است بنابراین می‌توان یکی از فن‌های E7 A/B را از سرویس خارج نمود و در نتیجه در مصرف برق صرفه جویی نمود. بار سرمایشی کل کولرهای شبکه موجود برابر با 593,741,900 kJ/hr می‌باشد که پس از اصلاح شبکه، به 171,641,900 kJ/hr رسیده است (جدول ۵). یعنی با اصلاح شبکه، به میزان 422,100,000 KJ/hr صرفه جویی در بار سرمایشی حاصل شده است (۷۱ درصد کاهش) که در واقع این مقدار صرفه جویی برابر با کاهش میزان بار حرارتی کولر هوایی E7 A/B می‌باشد.

جدول ۵- میزان بار حرارتی و سطح کولرهای شبکه رتروفیت با  $\Delta T \min = 10c$

ROW	COOLER TAG.	ARIA(m <sup>2</sup> )	LOAD(KJ/HR)
1	E7 A/B	890.5	112,400,000
2	E1 A/B W.COOLER	1,376.7	10,830,000
3	E8	101.2	26,580,000
4	E2 A/D	10,347	21,340,000
5	E3 A/F	25,508	491,900
TOTAL		38,223.4	171,641,900

حال به بررسی هیترهای شبکه موجود و تغییرات آنها پس از اصلاح شبکه (طراحی رتروفیت) می‌پردازیم. سطح هیتر E4 A/B - REBOILER در شبکه موجود برابر با 1,503.2 m<sup>2</sup> می‌باشد، همانگونه که از جدول ۶ مشخص است سطح هیتر مذکور در شبکه اصلاح شده (رتروفیت) نیز برابر با 1,503.2 m<sup>2</sup> می‌باشد یعنی سطح هیتر مذکور ثابت باقی می‌ماند. همچنین برای اصلاح

## مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی

دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم‌اندیشان انرژی‌های شیمیایی

ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Mobadel.ir

DEMO



کوره H1-FURNAC نیز در عمل میزان سطح آن تغییری داده نمی‌شود و فقط میزان بار حرارتی آن با کاهش میزان مصرف سوخت مشعل‌های کوره صورت می‌پذیرد.

بار گرمایشی کل هیترهای شبکه موجود برابر با 678,440,000 kJ/hr می‌باشد. بار حرارتی مذکور پس از اصلاح شبکه، به 258,340,000KJ/hr رسیده است. یعنی با اصلاح شبکه به میزان 420,100,000KJ/hr صرفه‌جویی در بار گرمایشی حاصل شده است (62 درصد کاهش). در واقع این میزان کاهش بار حرارتی به علت کاهش بار حرارتی کوره H1-FURNACE می‌باشد یعنی پس از اصلاح شبکه میزان مصرف سوخت کوره کاهش می‌یابد.

جدول ۶- میزان بار حرارتی و سطح هیترهای شبکه رتروفیت با  $\Delta T \min = 10c$ 

ROW	HEATER TAG.	ARIA(m <sup>2</sup> )	LOAD(KJ/HR)
1	E4 A/B REBOILER	1503.2	67,740,000
2	H1- FURNACE	-	190,600,000
TOTAL			258,340,000

مجموع سطح مبدل‌های فرایندی شبکه موجود برابر با 1,452.1 m<sup>2</sup> می‌باشد. همانگونه که از جدول ۷ مشخص است مجموع سطح مبدل‌های فرایندی در شبکه اصلاح شده (رتروفیت) برابر با 9,498.7 m<sup>2</sup> می‌باشد یعنی به سطح مبدل‌های فرایندی شبکه موجود پس از اصلاح، به میزان 8,046.6 m<sup>2</sup> افزایش یافته است (554 درصد افزایش). قابل ذکر است که مبدل فرایندی شبکه موجود (E5 A/B)، طی مراحل اصلاح شبکه، دچار تغییر (حذف و جابجایی) نشده است از این رو سطح این مبدل، ثابت باقی می‌ماند و افزایش سطح مذکور (8,046.6 m<sup>2</sup>) به علت نصب مبدل‌های فرایندی جدید (E-1001~1002) در شبکه می‌باشد.

جدول ۷- میزان بار حرارتی و سطح مبدل‌های فرایندی شبکه رتروفیت با  $\Delta T \min = 10c$ 

ROW	HEAT EXCHANGER TAG.	ARIA(m <sup>2</sup> )	LOAD(KJ/HR)	No.OF SHELL
1	E5 A/B	1,452.1	45,580,000	
2	E-1001	5,118.2	298,000,000	6
3	E-1002	2,928.4	122,100,000	3
TOTAL		9,498.7		

جهت محاسبات اقتصادی شبکه طراحی اصلاحی (رتروفیت) با  $\Delta T \min = 10c$  با توجه به جداول بالا می‌توان از میزان کاهش بار حرارتی یوتیلیتی‌های سرد و گرم، جهت بدست آوردن کاهش هزینه عملیاتی (انرژی) و همچنین میزان افزایش سطح مبدل‌های شبکه، جهت محاسبه میزان سرمایه‌گذاری (ساخت و نصب) استفاده نمود.

## ۸-۱- محاسبه کاهش هزینه انرژی (عملیاتی)

با توجه به نکات گفته شده در بالا کاهش هزینه انرژی به علت حذف یکی از فن‌های کولر هوایی E7 A/B و کاهش مصرف سوخت کوره می باشد.

ابتدا میزان صرفه جویی سالیانه حاصل از حذف یکی از فن‌های کولر هوایی E7 A/B (حذف یک الکتروموتور 22 KW) محاسبه می‌شود. هزینه هر کیلو وات ساعت (KWH) برق پالایشگاه (میانگین کم باری، میانباری، اوج بار) برابر با ۶۰۰ ریال می‌باشد. در نتیجه با حذف یک الکتروموتور ۲۲ کیلو واتی از سیستم، میزان صرفه‌جویی سالانه برق برابر با 115,632,000 ریال می‌شود. (میزان صرفه جویی با احتساب هر دلار برابر با 35,000 ریال برابر است با 3,304 \$/YR)

$$22 \text{ KW} * 365 \text{ DAY/YR} * 24 \text{ HR/DAY} * 600 \text{ RIALS/KWH} = 115,632,000 \text{ RIALS/YR} \\ = 3,304 \text{ $/YR}$$

حال میزان صرفه‌جویی سالانه حاصل از کاهش بار حرارتی کوره (کاهش مصرف سوخت کوره) محاسبه می‌شود. با توجه به نکات گفته شده در بالا، میزان کاهش بار حرارتی کوره برابر با 420,100,000 KJ/hr می‌باشد. لازم به ذکر است ارزش حرارتی گاز سوخت برابر با 891.1 BTU/ft<sup>3</sup> (33,197 KJ/m<sup>3</sup>)، هزینه هر مترمکعب گاز سوخت برابر با ۱۰۰۰ ریال و هر دلار برابر با ۳۵۰۰۰ ریال در نظر گرفته شده است.

$$420,100,000 \text{ KJ/HR} * (1 \text{ m}^3 / 33,197 \text{ kj}) * (1,000 \text{ Rials/ } 1 \text{ m}^3) * (24 \text{ HR/DAY}) * (365 \text{ DAY/1YR}) * (1\$ / 35,000 \text{ Rials}) = 3,167,305 \text{ $/YR}$$

یعنی میزان صرفه‌جویی سالیانه حاصل از کاهش مصرف سوخت کوره برابر با 3,167,305 دلار می‌باشد.

$$3,304 \text{ $/YR} + 3,167,305 \text{ $/YR} = 3,170,609 \text{ $/YR}$$

و در مجموع میزان صرفه جویی برابر با 3,170,609 دلار در سال می باشد.

## ۸-۲- محاسبه میزان سرمایه‌گذاری اولیه (ساخت و نصب)

همانگونه که در بالا گفته شد پس از اصلاح شبکه (بازای  $\Delta T \text{ min} = 10^{\circ}\text{C}$ )، از سطح کولرها به میزان 1,122.3 m<sup>2</sup> کاسته می‌شود و سطح هیترها تغییری داده نمی‌شود یعنی در مجموع سطح کولرها و هیترها به همان اندازه 1,122.3m<sup>2</sup> کاهش می‌یابد. و از طرفی افزایش سطح مبدل‌های فرایندی برابر با 8,046.6m<sup>2</sup> می‌باشد. بنابراین می‌توان با محاسبه اختلاف این دو سطح، میزان افزایش سطح کلی مبدل‌ها (سطحی که باید خریداری شود) را محاسبه نمود که برابر با 6,924.3 m<sup>2</sup> می‌باشد (8,046.6-1,122.3=6,924.3m<sup>2</sup>). (16.4 درصد افزایش سطح شبکه).

برای محاسبه هزینه سرمایه‌گذاری (ساخت و نصب) می‌توان از معادله شماره ۱ استفاده کرد: [11]

$$INVESTMENT \text{ COST} = \Delta N [a + b(\Delta A/\Delta N)^c] \quad (1) \quad (a=30800, b=820, c=0.9)$$

برای ساخت و نصب ۲ دستگاه مبدل جدید (E-1001, E-1002) به تعداد ۹ عدد پوسته (Shell) نیاز می‌باشد.

$$INVESTMENT \text{ COST} = 9[30800 + 820(6,924.3/9)^{0.9}] = 3,198,502 \text{ $}$$

## ۸-۳- محاسبه دوره بازگشت سرمایه و جدول نتایج اقتصادی

$$PAY\ BACK = (INVESTMENT\ COST) / SAVING \quad (۲)$$

$$PAY\ BACK = (3,198,502) / (3,170,609) = 1.009\ YEAR = 369\ DAY$$

نتایج محاسبات اقتصادی حاصل از طراحی اصلاحی در جدول شماره ۸ نمایش داده شده است.

جدول ۸- نتایج محاسبات اقتصادی طراحی اصلاحی بازای  $\Delta T_{MIN}=10^{\circ}C$ 

$\Delta T_{MIN}$	$10^{\circ}C$
INVESTMENT COST (\$)	3,198,502
SAVING (\$/YR)	3,170,609
PAY BACK (DAY)	369

همانگونه که از جدول شماره ۸ نیز مشخص است دوره بازگشت سرمایه در طرح اصلاحی شبکه بازای  $\Delta T_{MIN}=10^{\circ}C$ ، 369 روز بدست می‌آید.

## ۹- بحث و نتیجه‌گیری:

در ابتدا حداقل بار گرمایشی و سرمایشی مورد نیاز در حالت ایده‌آل بازای  $\Delta T_{MIN}=10^{\circ}C$  محاسبه گردید و نتیجه با میزان بار گرمایشی و سرمایشی مورد نیاز شبکه موجود، مقایسه گردید. شبکه موجود بازای  $\Delta T_{MIN}=10^{\circ}C$  به میزان 61.9% بارگرمایشی و 70.7% بار سرمایشی بیشتر از حالت ایده‌آل مصرف می‌کند. پس از اصلاح شبکه و با افزودن سطح به شبکه موجود، میزان بار گرمایشی و سرمایشی کاهش می‌یابد و به 100% حالت ایده‌آل (هدف‌گذاری انرژی) می‌رسد. و همچنین نقطه پینچ نیز محاسبه گردید. سپس تحلیل پینچ روش طراحی اصلاحی (Retrofit) بازای حداقل اختلاف دمایی  $\Delta T_{MIN}=10^{\circ}C$  انجام شد. محاسبات اقتصادی مربوط به هزینه‌های عملیاتی (انرژی)، هزینه ساخت و نصب (سرمایه اولیه) و هزینه کل انجام گردید. با اصلاح شبکه مبدل حرارتی فوق (طراحی رتروفیت) و با میزان سرمایه اولیه 3,198,502 دلار، سالانه 3,170,609 دلار سود، بابت صرفه‌جویی در مصرف انرژی، عاید سازمان مربوطه می‌گردد. دوره بازگشت سرمایه ۳۶۹ روز (حدود یک سال) به دست آمد. در صورت مقدور نبودن سرمایه اولیه مذکور، می‌توان طرح اصلاحی را با سرمایه‌گذاری کمتر و البته با میزان صرفه‌جویی انرژی کمتر، به انجام رساند. بنابراین با استفاده از تکنولوژی پینچ و با سرمایه‌گذاری اولیه، می‌توان با کاهش بار یوتیلیتی گرم و سرد در شبکه مبدل‌های حرارتی و بدون تغییر در اصل فرایند، به میزان صرفه‌جویی قابل توجهی در مصرف انرژی رسید.

## مراجع:

۱- هاشمی، م، ۱۳۸۱، بهینه‌سازی انرژی و افزایش ظرفیت واحد تقطیر پالایشگاه نفت تهران با استفاده از تکنولوژی پینچ، دانشگاه مازندران.

2-Linnhoff, B., Ahmad, S. Cost Optimum Heat Exchanger Network Minimum Energy and Capital using Simple Models for Capital Cost. Computer and Chemical Engineering, 1990.

3-Linnhoff, B., Flower J.R., A Thermodynamic Approach To Practical Process Network Design, Aiche 7th Annual Meeting, November 29-28, 1989.

4-Tjoe T.N. & Linnhoff B., Using Pinch Technology for Process Retrofit, Oil & Gas Journal, 1986.

مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی

دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم‌اندیشان انرژی‌های شیمیایی

ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Mobadel.ir



۵- پنجه‌شاهی، م.ح. و فاطمی ف.، بهینه‌سازی سیستم بازیافت انرژی در واحد اسید سولفوریک پتروشیمی رازی، انرژی ایران، ۱۳۷۸، ۶- پنجه‌شاهی، م.ح. و فرخنده کواکی م. ارزیابی و بهینه‌سازی شبکه مبدل‌های حرارتی واحد آروماتیک پتروشیمی بندرامام. نشریه انرژی ایران، سال هفتم، شماره ۱۴

۷- عمیدپور، مجید، گوگل، مهدی، بهینه‌سازی انرژی تکنولوژی پینچ، موسسه نشر جهاد تهران، ۱۳۸۰.

۸- پنجه‌شاهی، م.ح.، عمیدپور، م.، استفاده از روش‌های تجزیه کلی و جزئی در یکپارچه‌سازی شبکه مبدل‌های حرارتی با در نظر گرفتن عوامل اقتصادی، نشریه دانشکده فنی، ۱۳۸۴

9-Amidpour, M. and Polley, G. T. Application of problem decomposition in process integration. Trans. ICheme, Vol. ۷۵, Part A, PP. ۵۳-۶۳, ۱۹۹۷

10-Polley, G.T., Panjeshahi, M.H. Interfacing Heat Exchanger Network Synthesis and Detailed Heat Exchanger Design. Transactions of the Institute of Chemical Engineers, ۶۹, ۱۹۹۱

۱۱- حججی، ح.، ۱۳۹۰، تعیین برآورد قیمت مبدل‌های حرارتی کربن استیل در ایران برای بکارگیری در فناوری پینچ.

www.Mobadel.ir