

# بهینه سازی سیستم بازیافت انرژی در واحد

## اسید سولفوریک مجتمع پتروشیمی رازی

محمد حسن پنجه شاهی - فروغ فاطمی

دانشکده فنی - دانشگاه تهران

### چکیده

نظر به افزایش روز افزون ارزش انرژی و اهمیت بازیافت بهینه انرژی حرارتی در صنایع مختلف، در این مقاله چگونگی بهبود بازیافت انرژی حرارتی در واحد تولید اسید سولفوریک مجتمع پتروشیمی رازی بررسی شده است. برای این منظور، پس از آشنایی با فرآیند تولید اسید سولفوریک، شبکه مبدل‌های حرارتی موجود در واحد با استفاده از ابزارهای تکنولوژی پینج و تحلیل اکسرژی واحد بطور کمی و کیفی بررسی شده است. سپس روشی برای بهبود بازده عمل انتقال حرارت در شبکه مبدل‌ها پیشنهاد شده که عبارتست از افزایش دما و فشار بخار تولید شده در واحد و استفاده از آن برای تولید انرژی الکتریکی. مقایسه ارزش انرژی الکتریکی تولید شده با میزان سرمایه لازم برای اصلاح شبکه مبدل‌های حرارتی نشان می‌دهد که سرمایه مصرف شده پس از مدت زمان ۲۶ ماه بازگشت می‌شود و پس از آن در هر سال معادل ۱/۵۶ میلیون دلار صرفه جویی در هزینه برق مجتمع به همراه خواهد داشت.

**کلید واژه‌ها:** فن آوری پینج، منحنی های مرکب، طراحی اصلاحی، آنالیز

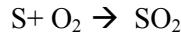
اکسرژی

## مقدمه

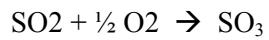
### الف - آشنایی با فرآیند تولید اسید سولفوریک

واکنشهای اصلی که در طی این فرآیند انجام می‌شوند عبارتند از:

۱ - سوختن گوگرد



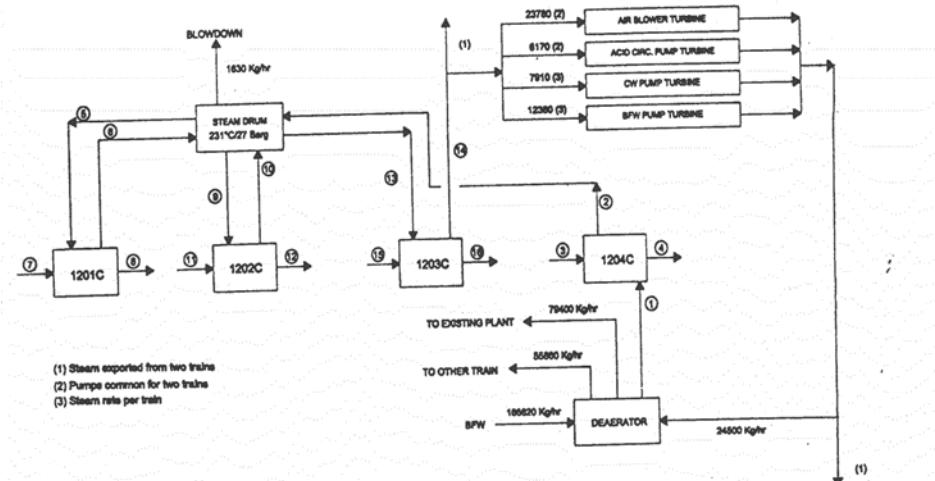
۲ - اکسیداسیون



۳ - تولید اسید سولفوریک



**گازهای حاصل از واکنشهای فوق**  
به علت گرمای بودن واکنشها درجه حرارت‌های بالایی دارند و برای رسیدن به دمای مناسب ورود به تجهیزات پایین دست، در یک شبکه از مبدل‌های حرارتی خنک می‌شوند. شکل ۱ نمودار ساده شده شبکه مبدل‌های حرارتی واحد اسید سولفوریک را نشان می‌دهد که مشخصات آن در جدولهای ۱ و ۲ خلاصه شده است.



شکل ۱- نمودار حرارتی ساده شده واحد اسید سولفوریک

جدول ۱- مشخصات جریانهای گرم واحد

Stream NO.	Exchanger Tag NO.	T <sub>s</sub> (°C)	T <sub>t</sub> (°C)	M <sup>o</sup> (Kg/hr)	C <sub>p</sub> (KJ/Kg. °C)	ΔH (MW)
۷	۱۲۰۱ C	۱۰۵۰	۴۴۰	۱۱۵.۲۰۵	۱/۰۸۳	۲۱/۱۲
۱۱	۱۲۰۲ C	۶۰۰	۳۸۷	۱۰۱.۳۴۵	۱/۰۴۱	۶/۲۷
۱۵	۱۲۰۳ C	۵۲۰	۴۵۳	۱۴۲.۴۱۸	۱/۰۴۱	۲/۶۷
۳	۱۲۰۴ C	۴۲۹	۲۰۰	۱۵۴.۷۲۱	۱/۰۱۲	۹/۹۹

## جدول ۲- مشخصات جریانهای سرد واحد

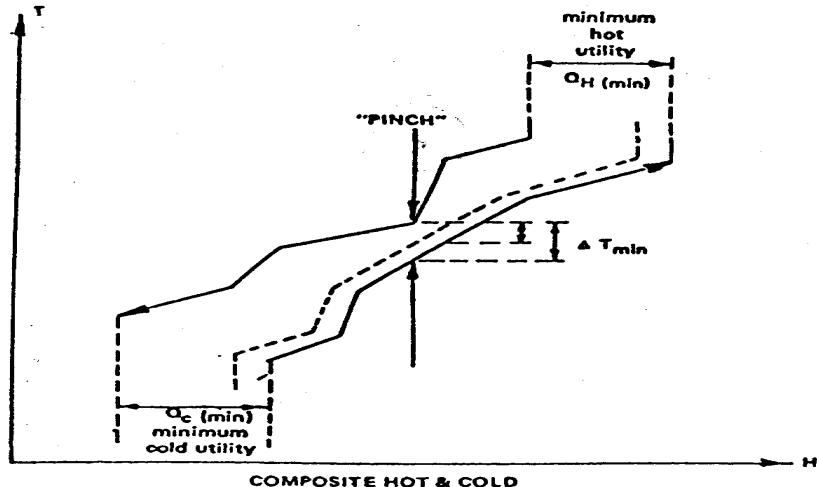
Stream NO.	Exchanger Tag NO.	T <sub>s</sub> (°C)	T <sub>t</sub> (°C)	M <sup>o</sup> (Kg/hr)	C <sub>p</sub> (KJ/Kg. °C)	ΔH (MW)
۵	۱۲۰۱ C	۲۳۱	۲۳۱	۴۱,۰۳۰	∞	۲۱/۱۳
۹	۱۲۰۲ C	۲۳۱	۲۳۱	۱۲,۷۰۰	∞	۶/۲۷
۱۳	۱۲۰۲ C	۲۳۱	۲۹۰	۵۴,۲۳۰	۳/۰۰۴	۲/۶۷
۱	۱۲۰۴ C	۱۰۰	۲۳۱	۵۵,۸۶۰	۴/۹۱۵	۹/۹۹

بازده شبکه‌های مبدل‌های حرارتی شناخته شده است. استفاده از قوانین و روابط محاسباتی تکنولوژی پینچ که بر مبنای مقاومت ترمودینامیکی بدست آمده‌اند، روش مناسبی برای طراحی شبکه‌های شبکه‌های موجود (طراحی مبنای) و همینطور اصلاح سایر واحدهای مجتمع به مصرف می‌رسد. مراحل مختلف این طراحی‌ها، ابزارهای سودمندی دارد که یکی از آنها منحنی مرکب است.

شکل ۲ نمونه یک منحنی مرکب را نشان می‌دهد. فاصله عمودی بین منحنی‌های مرکب گرم و سرد بیانگر نیروی حرکه دمایی و کمترین اختلاف دمایی بین دو منحنی مرکب ( $\Delta T_{min}$ )، نشان دهنده نقطه پینچ است.

مشاهده می‌شود که گازهای داغ فرآیندی، در چهار مبدل حرارتی توسط جریان پیوسته آب خنک می‌شوند و در این انتقال حرارت، آب  $100^{\circ}\text{C}$  به بخار  $25/3\text{ Barg}$   $28^{\circ}\text{C}$  تبدیل می‌شود قسمت اعظم بخار برای تولید کار محوری وارد توربینهای پمپهای واحد می‌شود و باقیمانده آن در سایر واحدهای مجتمع به مصرف می‌رسد. به منظور مطالعه بازده عمل انتقال حرارت در شبکه مذبور، بعضی از ابزارهای تکنولوژی پینچ بکار گرفته شده‌اند که بخش بعد به معرفی آنها می‌پردازد.

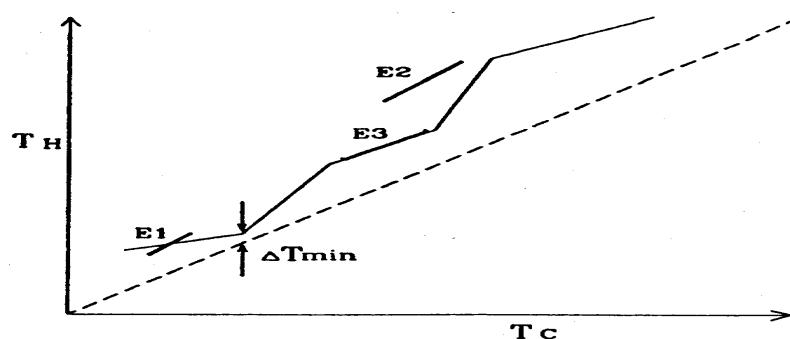
**ب- آشنایی با تکنولوژی پینچ**  
در طی دو دهه اخیر، تکنولوژی پینچ به عنوان روشی مفید برای بررسی



شکل ۲- نمونه منحنی های مرکب

ترسیم دمای جریانهای گرم و سرد بر حسب یکدیگر به کمک منحنی مرکب بدست می آید و مبنای اصلاح مبدلها موجود شبکه است. شکل ۳ نمونه یک منحنی رانش را نشان می دهد.

کمترین سطح تبادل حرارت در شبکه زمانی بدست می آید که جریانهای گرم و سرد در هر محدوده دمایی بطور عمودی تبادل حرارت کنند. برای بررسی وجود انتقال حرارت عمودی در مبدلها از منحنی رانش استفاده می شود که از



شکل ۳- نمونه منحنی رانش (DFP)

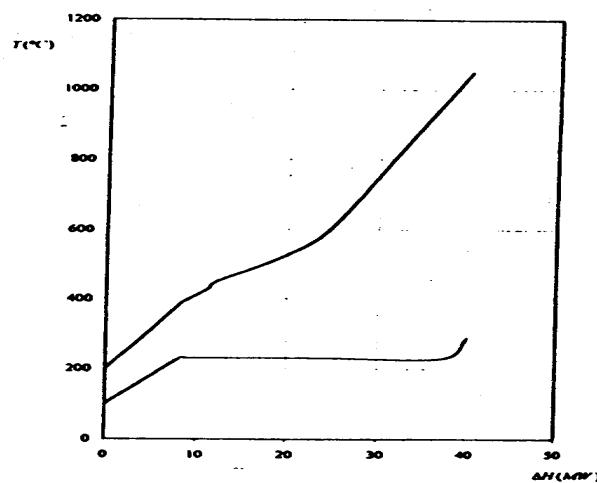
عملکرد هر مبدل به صورت یک خط راست بر روی این منحنی نشان داده می‌شود چنانچه خط عملکرد مبدل و منحنی رانش بر هم منطبق باشند یا انطباق خوبی داشته باشند موقعیت مبدل از نظر نیروی رانش خوب است، در غیر این صورت مبدل باید جابجا شود.

#### تنظیم اطلاعات واحد اسید سولفوریک

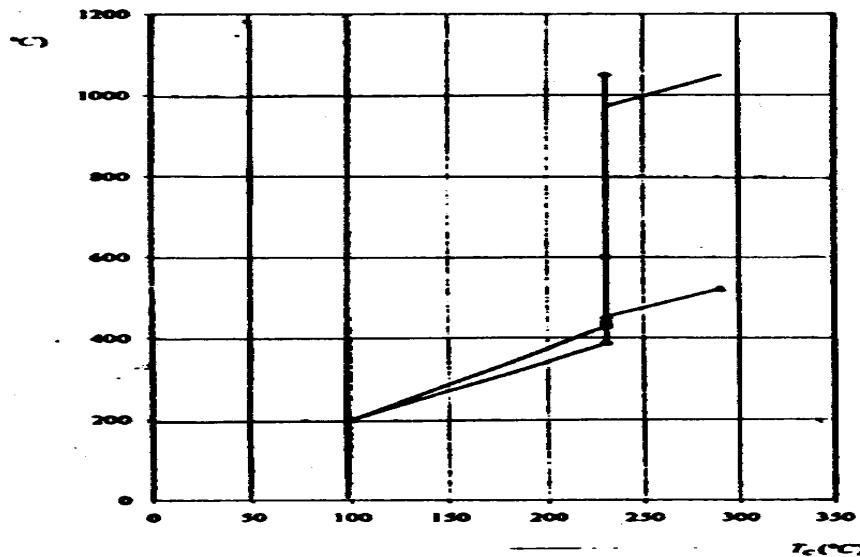
شکل ۴ منحنی‌های مرکب شبکه مبدل‌های واحد اسید سولفوریک را نشان می‌دهد که بر اساس اطلاعات موجود در جدولهای ۱ و ۲ رسم شده است. مشاهده می‌شود که  $\Delta T_{min}$  در این شبکه برابر  $100^{\circ}\text{C}$  است و در منتهی‌الیه سمت چپ

قرار دارد در نتیجه جریانهای گرم و سرد در قسمت سمت راست فاصله زیادی از یکدیگر دارند که بیانگر وجود نیروی رانش بزرگی در شبکه مبدلها است.

شکل ۵ نیز منحنی نیروی رانش شبکه را نشان می‌دهد که در آن، مبدل‌های  $1201\text{C}$  و  $1202\text{C}$  از نظر انطباق با منحنی رانش بدترین وضعیت را دارند. به منظور برآورد کمی بازده شبکه موجود در انجام عمل انتقال حرارت از روش تحلیل اکسرژی (Exergy Analysis) استقاده شده که در بخش بعد معرفی شده است.



شکل ۴- منحنی‌های مرکب واحد اسید سولفوریک



شکل ۵- منحنی رانش واحد اسید سولفوریک

خود را از دست می‌دهد و منبع اکسرژی نامیده می‌شود. بطور مقابل، جریان سرد که اکسرژی جریان گرم را می‌گیرد چاله اکسرژی نامیده می‌شود. با وجود انتقال کامل انرژی بین جریانها در مبدل، انتقال اکسرژی بین دو جریان هرگز کامل نیست و بخشی از اکسرژی جریان گرم که به جریان سرد منتقل نمی‌شود اتلاف اکسرژی نامیده می‌شود.

محاسبات ساده ترمودینامیکی نشان می‌دهد که اتلاف اکسرژی برابر است با حداقل مقدار کاری که قابل تولید بوده ولی در فرآیند هدر می‌رود.

تغییر اکسرژی جریانها چنانچه در دمای ثابت انجام شود (تغییر فاز) از رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

### معرفی مفهوم اکسرژی

براساس قانون اول ترمودینامیک، مجموع انواع مختلف انرژی در طی انجام یک فرآیند ثابت می‌ماند و انرژیها فقط از نوعی به نوع دیگر تبدیل می‌شوند. این در حالی است که تجربه نشان می‌دهد در تبدیل انواع مختلف انرژی به یکدیگر محدودیتهایی وجود دارد یا به عبارت دیگر، انرژیها علاوه بر مقدار، دارای کیفیت یا پتانسیل انجام کار مفید هستند که اکسرژی نامیده می‌شود. طبق تعریف، اکسرژی یک مقدار معین انرژی عبارتست از حداقل کار مفیدی که می‌توان در یک سیستم ایدهآل از آن انرژی تولید کرد. در مبدل‌های حرارتی، جریان گرم که با کاهش دما مواجه است اکسرژی

در دو رابطه اخیر،  $\Delta H$  تغییر انتالپی جریان و  $T_0$  دمای محیط است. با استفاده از روابط فوق، اتلاف اکسرژی در مبدلها موجود واحد محاسبه شده و در جدول ۳ خلاصه شده است.

$$\Delta Ex = \Delta H \left(1 - \frac{T_o}{T}\right) \quad (1)$$

برای جریانهایی که تغییر دما دارند با فرض ثابت بودن ظرفیت حرارتی می‌توان از رابطه ۲ استفاده نمود:

$$\Delta Ex = \Delta H \left(1 - \frac{T_o}{\Delta T_{1\Delta t}}\right), \Delta T_{1\Delta t} = \frac{T_2 - T_1}{\ln \frac{T_2}{T_1}} \quad (2)$$

جدول ۳- اتلاف اکسرژی در مبدلها

شماره مبدل	اتلاف اکسرژی (MW)
۱۲۰۱	۶/۲۱
۱۲۰۲	۱/۲۸
۱۲۰۳	۰/۴۵
۱۲۰۴	۱/۶۲
مجموع	۹/۵۶

یکیگر نزدیک شوند. از آنجا که دمای جریانهای گرم بر اساس نیازهای فرآیند تعیین شده و قابل تغییر نمی‌باشد منحنی مرکب گرم را نمی‌توان جابجا کرد، بنابراین باید منحنی مرکب سرد به طرف بالا منتقل شود. انتقال منحنی مرکب سرد به طرف بالا باعث افزایش دما و فشار بخار تولیدی می‌شود و با توجه به اینکه مجتمع نیازی به بخار داغ ندارد شرایط جدید بخار طوری تنظیم می‌شود که بتوان از آن برای تولید انرژی الکتریکی در یک سیستم توربین بخار و ژنراتور برق استفاده نمود. این شرایط با در نظر

با توجه به مفهوم اکسرژی، می‌توان با نزدیک کردن فرآیندها به حالت ایده آل بخشی از اکسرژی تلف شده را بازیابی نمود. نزدیک کردن فرآیندها به حالت ایده‌آل مستلزم کاهش نیروی رانش است و برای رسیدن به این هدف باید اصلاحاتی در شبکه مبدلها ایجاد نمود.

#### روش بهبود بازیافت انرژی در شبکه

همانطور که اشاره شد برای بهبود عمل انتقال حرارت در شبکه لازم است که نیروی رانش دمایی کاهش یابد یا به عبارت دیگر، منحنی‌های مرکب به

گرفتن محدوده عملکرد توربینهای بخار صنعتی و انرژی موجود در جریانهای گرم، برابر  $Barg = 99 \text{ °C}$  در نظر گرفته شده که باعث می‌شود میزان جریان بخار از  $54230 \text{ Kg/hr}$  به  $44820 \text{ Kg/hr}$  کاهش یابد. توجه به شکل ۷ (منحنی‌های مرکب جدید) نشان می‌دهد که شرایط جدید بخار تغییری در  $\Delta T_{min}$  شبکه ایجاد نمی‌کند. شرایط بخار خروجی توربین نیز  $Barg = 25/2 \text{ °C}$  انتخاب می‌شود که همچنان برای تولید کار محوری در توربینهای پمپهای موجود قابل استفاده باشد.

**محاسبه انرژی الکتریکی تولید شده**  
میزان انرژی الکتریکی تولید شده با محاسبه تغییرات انتالپی بخار در توربین بدست می‌آید. جدول بخار، انتالپی بخار ورودی و خروجی توربین را با توجه به شرایط آن به ترتیب برابر  $3373 \text{ KJ/Kg}$  و  $2976 \text{ KJ/Kg}$  نشان می‌دهد. بنابراین تغییر انتالپی بخار در توربین،  $\Delta H = 397 \text{ KJ/Kg}$  است که با ضریب بازدهی حدود ۰/۸ به انرژی مکانیکی تبدیل شده و به ژنراتور منتقل می‌شود. با توجه به اینکه بخار حاصل از هر دو ردیف واحد به یک توربین وارد می‌شود. میزان انرژی الکتریکی تولید شده با فرض ضریب بازدهی ۰/۸۷ برای ژنراتور، برابر  $7/5 \text{ MW}$  خواهد بود

### اصلاح شبکه مبدل‌های حرارتی

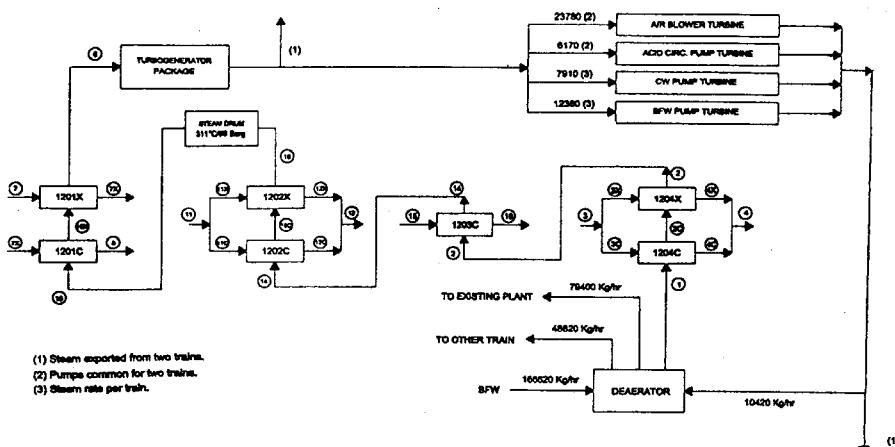
شکل ۶ نمودار حرارتی واحد را پس از اصلاح نشان می‌دهد که مشخصات آن در جدولهای ۴ و ۵ خلاصه شده است. مشاهده می‌شود که مسیر جریان آب در شبکه جدید برای ایجاد انتقال حرارت عمودی تغییر کرده و سه مبدل نیز برای تأمین سطح لازم به شبکه اضافه شده‌اند. منحنی مرکب جدید در شکل ۷ رسم شده و منحنی مرکب سرد قدیمی برای مقایسه به صورت نقطه چین در آن نشان داده شده است. شکل ۸ منحنی رانش جدید را نشان می‌دهد که بیانگر انطباق مطلوبتر خطوط عملکرد مبدلها با منحنی رانش است. در شکلهای ۹ و ۱۰ نیز شبکه مبدل‌های حرارتی (Grid) برای قبل و بعد از اصلاح واحد رسم شده است. مقایسه سطح تبادل حرارت مبدل‌های موجود و مبدل‌های جدید که در جدولهای ۶ و ۷ ارائه شده‌اند بیانگر ۱۹٪ افزایش در سطح تبادل حرارت شبکه است که در مقابل آن، اتلاف اکسرژی در مبدل‌های شبکه جدید ۳۲٪ کاهش یافته است. نتایج محاسبه اتلاف اکسرژی در مبدل‌های شبکه جدید ۳۲٪ کاهش یافته است. نتایج محاسبه اتلاف اکسرژی در مبدل‌های شبکه جدید در جدول ۸ خلاصه شده است.

جدول ۴- مشخصات جریانهای گرم واحد پس از اصلاح

Stream NO.	Exchanger Tag NO.	$T_s$ (°C)	$T_t$ (°C)	$m^o$ (Kg/hr)	$C_p$ (KJ/Kg.° C)	$\Delta H$ (MW)
۲ C	۱۲۰۴ C	۴۲۹	۱۸۳	۱۰۸,۳۰۰	۱/۰۱۴	۷/۴۹۶
۲ X	۱۲۰۴ X	۴۲۹	۲۴۰	۴۶,۴۱۶	۱/۰۱۹	۲/۴۸۴
۱۰	۱۲۰۲ C	۵۲۰	۴۰۳	۱۴۲,۴۱۸	۱/۰۴۲	۲/۷۶۳
۱۱ C	۱۲۰۲ C	۷۰۰	۳۹۰	۵۰,۶۷۳	۱/۰۴۳	۲/۰۸۳
۱۱ X	۱۲۰۲ X	۷۰۰	۳۹۰	۵۰,۶۷۳	۱/۰۴۴	۲/۰۹۱
۷ C	۱۲۰۱ C	۷۰۰	۴۴۰	۱۱۰,۲۰۰	۱/۰۶۵	۱۰/۰۰۴
۷	۱۲۰۱ X	۱۰۰	۷۰۰	۱۱۰,۲۰۰	۱/۱۱۰	۱۰/۷۰۸

جدول ۵- مشخصات جریانهای سرد واحد پس از اصلاح

Stream NO.	Exchanger Tag NO.	$T_s$ (°C)	$T_t$ (°C)	$M^o$ (Kg/hr)	$C_p$ (KJ/Kg.° C)	$\Delta H$ (MW)
۱	۱۲۰۴ C	۱۰۰	۲۲۸	۴۸,۸۲۰	۴/۲۲۹	۷/۴۹۶
۲ C	۱۲۰۴ X	۲۲۸	۲۶۲	۴۸,۸۲۰	۰/۲۹۴	۲/۴۸۴
۲	۱۲۰۲ C	۲۶۲	۲۹۰	۴۸,۸۲۰	۷/۱۹۳	۲/۷۶۳
۱۴	۱۲۰۲ C	۲۹۰	۳۱۱	۴۸,۸۲۰	۷/۰۰۵	۲/۰۸۳
۱۰ C	۱۲۰۲ X	۳۱۱	۳۱۱	۴۸,۸۲۰	$\infty$	۲/۰۹۱
۱۰	۱۲۰۱ C	۳۱۱	۳۱۱	۴۸,۸۲۰	$\infty$	۱۰/۰۰۴
۱۰ C	۱۲۰۱ X	۳۱۱	۵۰۰	۴۸,۸۲۰	۴/۱۷۹	۱۰/۷۰۸



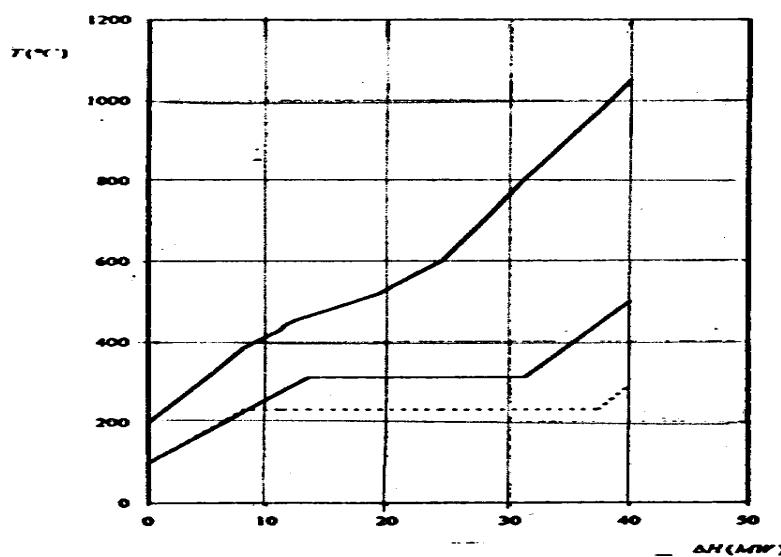
شکل ۶- نمودار حرارتی جدید واحد اسید سولفوریک

جدول ۶- سطح تبادل حرارت مبدل‌های موجود

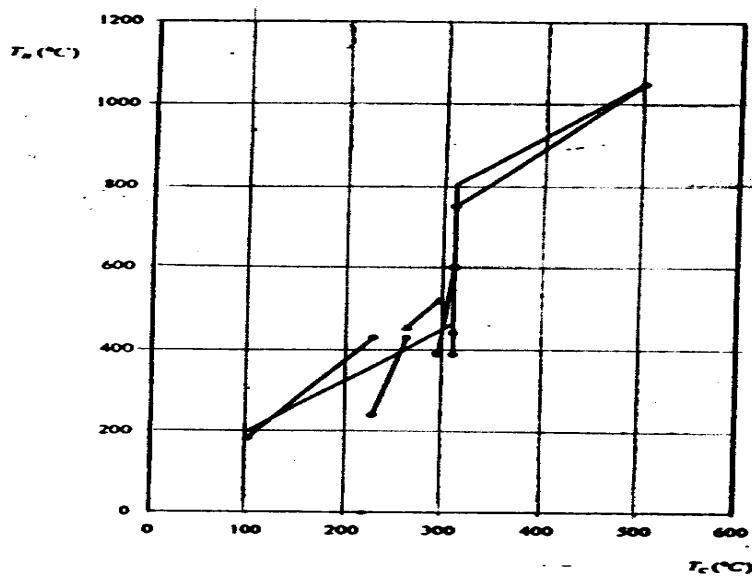
سطح تبادل حرارت ( $m^2$ )	شماره مبدل
۵۴۱	۱۲۰.۱ C
۲۱۲	۱۲۰.۲ C
۴۱۴	۱۲۰.۳ C
۴۱۱	۱۲۰.۴ C

جدول ۷- سطح تبادل حرارت مبدل‌های اضافه شده

سطح تبادل حرارت ( $m^2$ )	شماره مبدل
۴۰۹	۱۲۰.۱ X
۲۱۲	۱۲۰.۲ X
۳۳۷	۱۲۰.۴ X



شکل ۷- منحنی های مرکب شبکه مبدلها پس از اصلاح

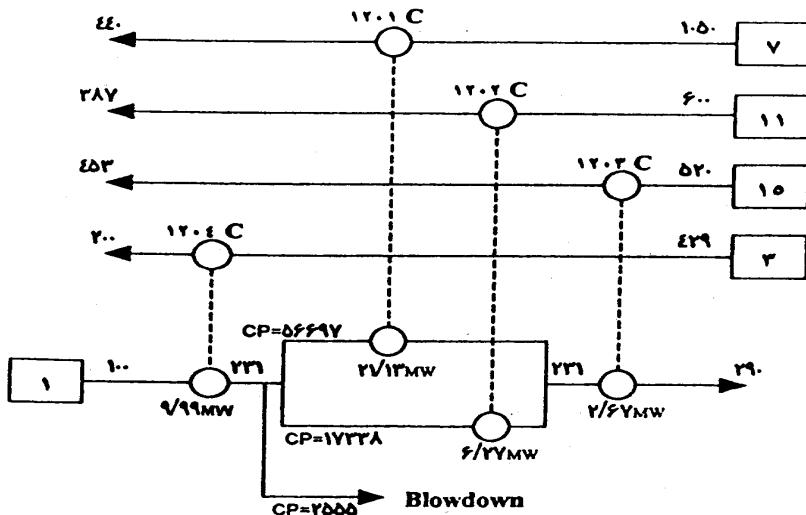


شکل ۸- منحنی رانش شبکه مبدلها پس از اصلاح

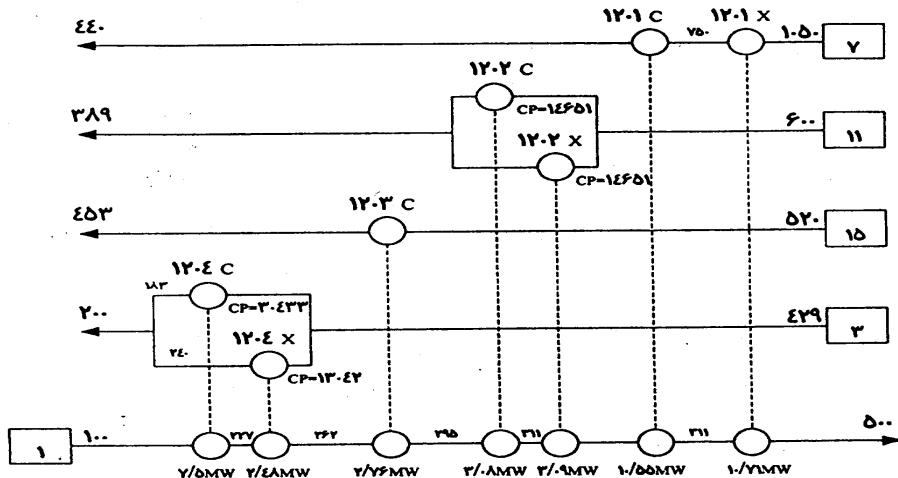
بجهه سازی سیستم بازیافت ... محمدحسن پنجچاهی ...

۱۴

نشریه انرژی ایران / سال چهارم / شماره ۷ / بهمن ۷۸



شکل ۹- شبکه مبدل‌های حرارتی قبل از اصلاح



شکل ۱۰- شبکه مبدل‌های حرارتی بعد از اصلاح

جدول ۸- اتلاف اکسرژی در شبکه مبدل‌های جدید

اتلاف اکسرژی (MW)	شماره مبدل
۱/۷۶	۱۲۰۱C
۲/۰۲	۱۲۰۱X
۰/۴	۱۲۰۲C
۰/۳۷	۱۲۰۲X
۰/۴۲	۱۲۰۳C
۱/۲۶	۱۲۰۴C
۰/۲	۱۲۰۴X
۶/۴۳	مجموع

برآوردهای اقتصادی  
جدول ۹ هزینه اصلاح شبکه را به تفکیک

قیمت تجهیزات خریداری شده نشان  
می‌دهد:

جدول ۹- قیمت تجهیزات خریداری شده

دستگاه	قیمت به دلار
مبدل X	۱۲۰۱
مبدل X	۱۲۰۲
مبدل X	۱۲۰۴
پوسته مبدل	۱۲۰۱ C
پوسته مبدل	۱۲۰۲ C
پمپ آب	۱۲۳،۶۴۰
مخزن بخار	۱۰۵،۶۰۰
بسته توربوژنراتور	$2/3 \times 10^7$

برای مجتمع به همراه خواهد داشت.

### نتیجه گیری

در این مقاله، سیستم بازیافت انرژی در واحد اسید سولفوریک مجتمع پتروشیمی رازی به منظور یافتن روشی برای بهبود بازیافت حرارتی و کاهش هزینه‌ها مطالعه شد. استفاده‌های تکنولوژی پینچ و انجام آنالیز اکسرژی در

شبکه مبدلها نشان داد که گازهای داغ ناشی از واکنشهای گرمایی تولید اسید سولفوریک، توانایی تولید بخار را در شرایطی بهتر از آنچه که در حال حاضر تولید می‌شود دارند. شرایط جدید بخار طوری تنظیم شده است که بتوان با استفاده از یک سیستم توربین بخار و مولد برق، انرژی الکتریکی تولید نمود.

اصلاح شبکه مبدلها باعث شد با ۱۹٪ افزایش سطح تبادل حرارت، اتلاف

با توجه به این که واحد مورد مطالعه از دو ردیف مشابه تشکیل شده، تمام قیمت‌ها غیر از هزینه بسته توربوژنراتور که برای دو ردیف مشترک است دو برابر می‌شود. به این ترتیب کل سرمایه لازم برای اصلاح واحد اسید سولفوریک معادل ۲/۳۶ میلیون دلار برآورده می‌شود که در مقابل آن، مقدار  $7/5$  MW انرژی الکتریکی در مجتمع تولید می‌شود. با توجه به اینکه مجتمع پتروشیمی رازی برق را به قیمت ۷۸ ریال به ازای هر کیلووات ساعت از شبکه سراسری خریداری می‌کند ارزش انرژی الکتریکی تولید شده با فرض نرخ تسعیر ۳۰۰۰ ریال معادل  $1/56$  میلیون دلار در سال است که تعیین کننده میزان صرفه جویی در سال می‌باشد. برای اساس، سرمایه‌ای که برای اصلاح شبکه مبدل‌های حرارتی صرف می‌شود پس از ۲۶ ماه برگشت می‌شود و پس از آن در هر سال معادل  $1/56$  میلیون دلار صرفه جویی

## مراجع

- ماه برگشت می شود و پس از آن در هر سال معادل ۱/۵۶ میلیون دلار صرفه جویی به همراه خواهد داشت.
- اکسرژی ۳۳٪ کاهش یابد و امکان تولید ۷/۵ مگاوات انرژی الکتریکی فراهم شود. برآوردهای اقتصادی نشان داد که سرمایه لازم برای اصلاح شبکه پس از حدود ۲۶
- 1- Borges R.J. & Boillat R.E. "New H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Impacts". Abu Dhabi, October 1995
  - 2- Engineering Data Book by the Gas Processors Suppliers Association (NGPA), 10 th Ed., 1987.
  - 3- Goldstick R. & Thumann A., "Principles of Waste Heat Recovery", 1986
  - 4- GTW Handbook (Gas Turbine World) , 1998-99
  - 5- Linnhof B., "User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy" ,Institute of Chemical Engineers, England, 3rd Ed., 1984.
  - 6- Linnhoff B. & Witherell W.D., "Pinch Technology and Guide Retrofit", Oil & Gas Journal, April 7, 1986.
  - 7- Ludwig E.E., "Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants", 2 nd Ed., Vol.3
  - 8- Megyesy E.F., "Pressure Vessel Handnook", 6th Ed., 1983.
  - 9- Peters M.S., & Timmerhaus K.D., "Plant Design and Economics for Chemical Engineers", 3rd Ed., 1980.
  - 10- Poelly G.T., Panjeh Shahi M.H. & Jegede F.O., "Pressure Drop Consideration in the Retrofit of HEN", Trans 1 Chem E, Vol. 68, Part A, May 1990.
  - 11- Saunders E.A.D., "Heat Exchangers, Selection, Design and Construction", 1st Ed., 1988.
  - 12- Siemens., "Power Engineering Guide", 1986.
  - 13- Smith J.M.& Van Ness H.C., "Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics", 4th Ed.
  - 14- Tjoe T.N. & Linnhoff B., "Using Pinch Technology for Process Retrofit", Oil & Gas Journal, April & 1986.