اصلاح فرآیند تولید آمونیاک به منظور کاهش مصرف انرژی

محمد حسن پنجه‌شاهی، نسیم طاهونی، الهه قاسمیان لنگرودی
دانشکده مهندسی شیمی- دانشگاه تهران

چکیده

پژوهش حاضر بر روی کل واحد آمونیاک سوم رازی صورت گرفته و به منظور بررسی جامع، این فرایند به دو بخش سرد و بخش گرم تفکیک شده است. با استفاده از مفاهیم تکنولوژی پینچ، شبکه مبدل حرارتی[1] بخش گرم مورد بررسی قرار گرفته و دو روش اصلاحی پیشنهاد شده است، هر دو روش با حذف سرویس‌های جانبی گرم (معادل ٦٠٧٦ کیلووات) به مساله آستانه[2] تبدیل می‌شوند که این امر منجر به بیشینه کاهش مصرف انرژی از دیدگاه تئوری می‌گردد. نتایج طراحی تفصیلی این دو اصلاح، تطبیق بسیار خوبی با نتایج هدف‌گذاری دارد که نشان دهنده قابلیت کاربرد و صحت روش پیشنهادی می‌باشد.

با توجه به ضرورت اصلاح شبکه‌های مبدل حرارتی واحدهایی نظیر آمونیاک که ذاتا منجر به مسئله آستانه می‌گردند، در این تحقیق راهبردهای اصلی بمنظور اصلاح شبکه مبدل حرارتی در مسائل آستانه ارائه گردیده است.

از طرفی با بهره‌گیری از تحلیل ترکیبی آنالیز پینچ و اکسرژی، سیکل سرماساز واحد آمونیاک سوم رازی بررسی شده و اصلاح سطوح دمایی آن، منجر به کاهش ۱۵ درصدی کار محوری مورد نیاز کمپرسورها گردیده است. در پایان نیز بمنظور تایید نتایج اصلاحی بخش سرد، سیکل سرماز توسط نرم افزار HYSYS در دو حالت قبل و بعد از اصلاح شبیه سازی شده و نتایج گزارش شده است.

واژه‌های کلیدی: آنالیز ترکیبی پینچ و اکسرژی، شبکه مبدل حرارتی، هدفگذاری و کار محوری

1- Heat Exchanger Network
2- Threshold Problem

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

مقدمه

آمونیاک به عنوان یکی از بزرگترین صنایع شیمیایی جهان، نقش مهمی در تولید محصولات غذایی ایفا می‌کند و از آنجایی که این فرایند بسیار انرژی‌بر است؛ بگونه‌ای که برای تولید یک تن آمونیاک، بسته به نوع فرایند و مواد اولیه مصرفی حدود GJ ۵۰ – ۳۵ انرژی مورد نیاز است؛ لذا می‌توان از جنبه‌های مختلف به منظور کاهش مصرف انرژی آن را مورد بررسی قرار داد.

در سالهای اخیر طراحان واحدهای آمونیاک توانسته اند با بهینه کردن هریک از مراحل فرایندی ، به راندمان بیشتر، مصرف انرژی کمتر و سیستم‌های قابل اعتماد تری دسترسی پیدا کنند. [۱] همچنین میزان قابل توجه‌ای کاهش مصرف انرژی در این فرایند، از طریق بهینه‌سازی انرژی (Energy Optimization) و انتگراسیون حرارتی (Heat Integration) حاصل شده است. پیش گرم کردن هوای احتراق در ریفرمر، کنترل نسبت بخار به کربن [۲] ، بازیافت ئیدروژن از Purge Gas ، بهبود سیستم جداسازی CO_2 [3,4] ،Cogeneration [5,6] از این دسته می‌باشند .

Buividas نیز، یک لیست جامع ازکلیه نواحی که می‌توان در آن مصرف انرژی را در فرایند آمونیاک کاهش داد، ارائه کرده است. [7]

تکنولوژی پینچ بر مبنای اصول ترمودینامیکی و با استفاده از ابزار ساده و توانای رسم نمودار، درجهت رسیدن به انتگراسیون انرژی گام بر می‌دارد. در واقع این تکنولوژی روشی برای بهینه‌سازی سیستم‌های حرارتی و تعیین بهترین آرایش شبکه‌های مبدل حرارتی می‌باشد، که پیش از انجام هرگونه طراحی تفصیلی قادر است کمترین میزان مصرف انرژی فرایند را مشخص نماید و در نهایت منجر به بازیافت انرژی قابل توجهی گردد. ابزارهای اصلی این تکنولوژی منحنی مرکب (CC) منحنی مرکب کل (GCC) و منحنی رانش دمایی(DFP) هستند.

آنالیز اکسرژی نیز یک روش آنالیز ترمودینامیکی است که فرایند را بر اساس هر دو قانون اول و دوم ترمودینامیک بررسی می‌کند و از آنجائیکه قانون دوم ترمودینامیک، کنترل کننده محدودیتها در تبدیل صورتهای مختلف انرژی به یکدیگر است، به خوبی می‌توان با استفاده از آن میزان تلفات انرژی را در فرایندهای واقعی تعیین نمود. کاربرد این روش محل اتلاف انرژی را نیز در فرایند مشخص می‌کند.

اگرچه آنالیز اکسرژی از سادگی که در درک و بکارگیری تکنولوژی پینچ وجود دارد برخوردار نیست، اما قادر است بر آنچه به عنوان محدودیت در تکنولوژی پینچ مطرح می‌باشد، غلبه کند. این محدودیت در واقع ، عدم توانایی آن در هدفگذاری توان یا کار محوری سیستم‌هایی است که علاوه بر انرژی حرارتی با توان یا کار محوری نیز سرو کار دارند؛ سیستم‌هایی مانند سیکلهای سرماساز و توربین‌های بخار.

لذا آنالیز اکسرژی به عنوان ابزاری دیگر جهت آنالیز همزمان انرژی حرارتی و کار محوری بکار گرفته می‌شود و با یک ترکیب مناسب از آنالیز پینچ و اکسرژی می‌توان آن را به عنوان روشی عملی و مفید برای بررسی حرارت و توان سیستم‌هایی مختلف بکار گرفت. اصولا در این تحلیل، ابزارهای اصلی عبارتند از: منحنی مرکب اکسرژی (ECC) ، منحنی مرکب کل اکسرژی (EGCC)، که با جایگزین نمودن محور عمودی دما در منحنی مرکب (CC)، منحنی مرکب کل (GCC) با ضریب کارنو η_c بدست می‌آیند.

دسته دوم روشهای هستند که مبتنی بر روابط پیچیده ریاضی می‌باشند، در این روشها متغیرهای شبکه به خوبی شناسایی شده و مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و با در نظرگرفتن کلیه حالات ممکن در

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

ارتباط بین متغیرها، از طریق حل روابط پیچیده ریاضی سعی می‌شود بهترین جواب حاصل شود. لازم به ذکر است که اینگونه روشها از پیچیدگی و نقاط ضعف متعددی برخوردار هستند.

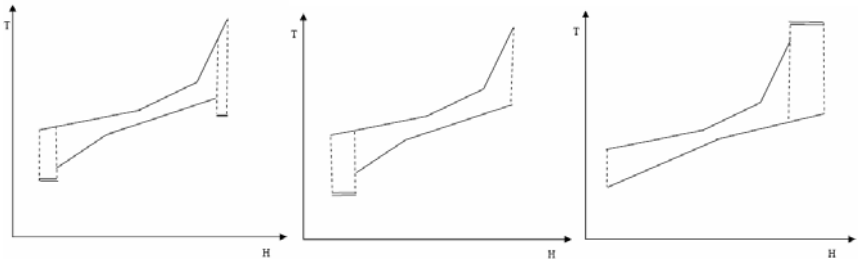
پژوهش حاضر بر روی کل واحد آمونیاک سوم رازی صورت گرفته است و به منظور بررسی جامع، این فرایند به دو بخش سرد و بخش گرم تفکیک شده است. بخش گرم شامل تمامی مراحل آماده‌سازی گاز برای واکنش در راکتور و همچنین سنتز آمونیاک می‌باشد ،که عبارتند از: گوگرد زدایی اولیه ، گوگرد زدایی نهایی، Steam Reforming ، بخش تبدیل کربن مونواکساید به کربن دی اکساید، متانیتور و سنتز آمونیاک. بخش سرد نیزشامل سیکل سرماز آمونیاک می‌باشد. در اصلاح شبکه مبدل حرارتی بخش گرم، از مفاهیم تکنولوژی پینچ استفاده شده و دو روش برای اصلاح آن ارائه گردیده است، هر دو روش با حذف سرویس‌های جانبی گرم به مساله آستانه (Threshold) تبدیل می‌شوند که این امر منجر به بیشینه کاهش مصرف انرژی از دیدگاه تئوری می‌گردد.

سیکل سرماساز واحد آمونیاک سوم رازی نیز با استفاده از تحلیل ترکیبی آنالیز پینچ و اکسرژی مورد بررسی قرارگرفته و اصلاحات ارائه شده بر روی سطوح دمایی آن، منجر به کاهش کار محوری مورد نیاز کمپرسورها گردیده است.

مسائل آستانه (Threshold Problem)

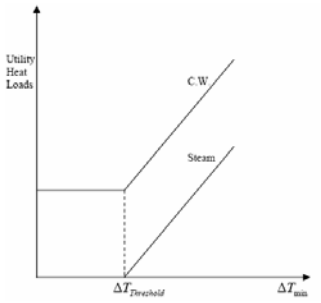
همانگونه که در مقدمه توضیح داده شد، تکنولوژی پینچ به دلیل قابلیت‌های فراوان و نیز سهولت در کاربرد به سرعت به عنوان ابزاری مفید و قابل اتکاء برای طراحی از پایه (Grass-Root Design) و طراحی اصلاحی (Retrofit Design) شبکه‌های مبدل حرارتی در مهندسی سیستم‌های فرایند پذیرفته شد. ابزارهای اصلی این تکنولوژی منحنی‌های مرکب (CC) منحنی‌های بزرگ مرکب (GCC) و منحنی‌های رانش دمایی (DFP) هستند. در منحنی مرکب، دو منحنی گرم و سرد، همواره در یک نقطه به اندازه حداقل اختلاف دمای شبکه $\Delta T_{\min}$ ، از یکدیگر فاصله دارند؛ این نقطه اصطلاحا به نام پینچ بازیافت حرارتی نامیده می‌شود. مهمترین خصیصه پینچ این است که سیستم را به دو زیر سیستم جداگانه تقسیم می‌کند که از لحاظ ترمودینامیکی کاملا از یکدیگر مستقل هستند.بالای پینچ فقط هیتر و پایین پینچ فقط به کولر نیاز است. البته باید متذکر شد که تمامی مسائل از نقطه پینچ به دوقسمت تقسیم نمی‌گردند .همانطور که می‌دانیم هرچه منحنی‌های مرکب به یکدیگر نزدیکتر می‌شوند، میزان یوتیلیتی درخواستی آنها نیز کمتر می‌گردد، تا جایی که دیگر به یکی از دو یوتیلیتی گرم یا سرد نیاز نخواهند داشت، چنین وضعیتی را مساله آستانه - Threshold گویند.(شکل (۱) و(۲)).اکنون در شکل (۳) همانطور که ملاحظه می‌کنید، با نزدیکتر شدن دو منحنی به همدیگر میزان یوتیلیتی سرد درخواستی کاهش خواهد یافت، اما با کنار رفتن منحنی مرکب سرد از زیرمنحنی مرکب گرم، این قسمت منحنی مرکب گرم نیز برای تبادل حرارتی به یوتیلیتی سرد نیاز خواهد داشت؛ که در مجموع، کل یوتیلیتی سرد مورد نیاز در این حالت، برابرحالت قبلی می‌باشد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

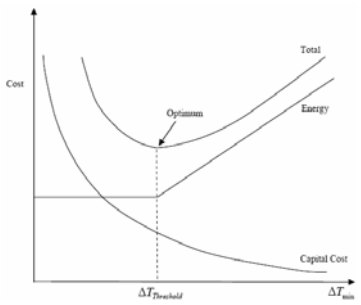


شکل ۳ شکل ۲ شکل ۱

نکته مهم وقابل توجه این است که پایین تراز $\Delta T_{Threshold}$ میزان یوتیلیتی درخواستی همواره ثابت است (شکل (٤)) و در $\Delta T_{\min}$ بالاتراز حالت آستانه میزان یوتیلیتی روند صعودی دارد. شکل(٥)، بیانگر حالتی است که پس از بررسی اثرمتقابل انرژی و هزینه، محل بهینه در $\Delta T_{Threshold}$ اتفاق می‌افتد. لازم به ذکر است که حالت بهینه هیچگاه پایین تر از $\Delta T_{Threshold}$ ایجاد نمی‌شود.



شکل ۴



شکل ۵

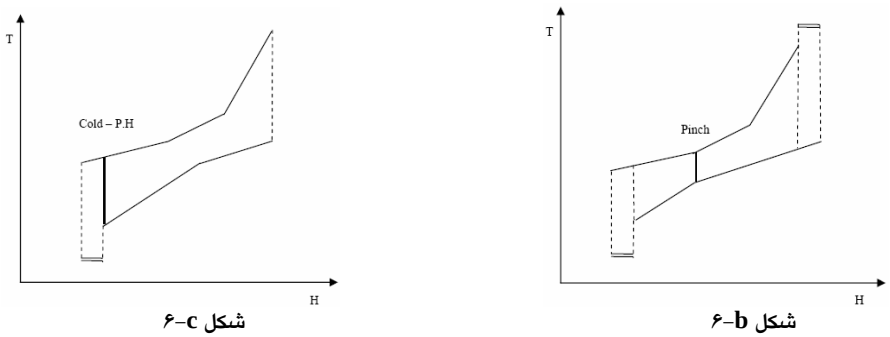
تعاریف

درابتدا، پیش از بررسی روش اصلاح شبکه مبدل حرارتی در شرایط آستانه، به بیان چند تعریف پایه‌ای می‌پردازیم.

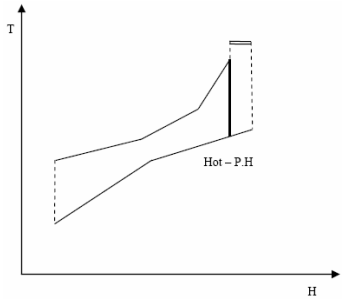
۱ – چنانچه اعمال شرایط هدفگذاری منجر به این شود که فقط یوتیلیتی سرد در شبکه وجود داشته باشد، نقطه شروع یوتیلیتی سرد بر روی منحنی مرکب Cold – P.H نامیده می‌شود. (شکل (٦-c)) .

۲ – در صورتیکه فقط یوتیلیتی گرم وجود داشته باشد، شروع یوتیلیتی گرم بر روی منحنی مرکب Hot – P.H نامگذاری می‌شود. (شکل (٦-a)).

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]



شکل c-۶ شکل b-۶



شکل a-۶

اصلاح شبکه مبدل حرارتی در مسائل آستانه

اصلاح شبکه مبدل حرارتی در مسائل آستانه همانند اصلاح مبدلهای حرارتی در مسائل پینچ بر اساس اصول انتقال حرارت عمودی بنیانگذاری شده است. با توجه به دو نوع شرایطی که در مسائل آستانه مطرح گردید (Hot PH & Cold PH) ، روش اصلاح شبکه نیز متفاوت می‌باشد، اما بدلیل تئوری یکسان حاکم بر هر دو روش، در اینجا ما تنها به بررسی یکی از آنها می‌پردازیم.

اصلاح شبکه مبدل حرارتی در مسئله آستانه با شرایط Cold PH :

دیدگاه اصلی و هدف نهایی از اصلاح شبکه در یک مسئله Cold PH

a) حذف کامل هیترهای موجود در شبکه و جایگزین کردن آنها با مبدلهای فرایندی

b) کاهش بار حرارتی کولرهای بالای نقطه Cold PH

روش کار به این صورت است که می‌بایست شبکه مبدل حرارتی مورد بررسی دقیق قرارگیرد تا حالات ممکن برای انجام اهداف فوق مشخص گردد. ممکن است انجام یک تغییر به اصلاح هر دو حالت a و b منجرشود. بدیهی است که اینگونه اصلاحات در اولویت قرار می‌گیرند. به عنوان مثال ممکن است افزودن

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

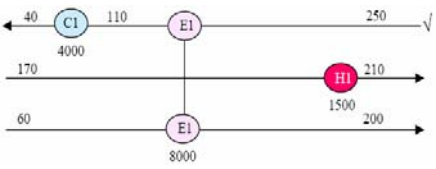
مبدل بر روی یک جریان سرد منجر به حذف هیتر، از روی آن شده و از سوی دیگر باعث انتقال یک کولر از بالای نقطه Cold PH به پایین آن شود.

در ذیل راهبردهای اصلی جهت انجام عملیات اصلاح ارائه می‌گردد.

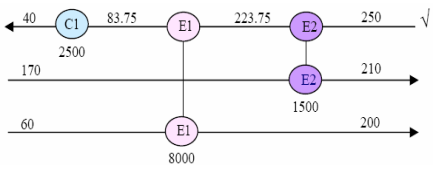
۱- تمرکز بر جریانهای سردی که روی آنها هیتر قرار دارد و بررسی امکان نصب مبدل و ایجاد تبادل حرارت بین این جریانها، با جریانهای گرمی که دارای کولر هستند. به این ترتیب می‌توان با افزودن حداقل مبدل جدید به شبکه از بار حرارتی هیترها کاست و یا آنها را بطور کامل حذف نمود و از سوی دیگر بار حرارتی کولرها را نیز کاهش داد . بدیهی است که ممکن است در این مرحله انتخابهای زیادی وجود داشته باشد که اولا می‌بایست با توجه به مفاهیم مسائل پینچ انتخاب طوری صورت بگیرد که منجر به حداقل سرمایه گذاری لازم جهت اصلاح گردد و ثانیا محدودیت‌های فرایندی نیز در نظر گرفته شده باشد.

ممکن است با اجرای مرحله ۱ ، هنوز تعدادی هیتر دست نخورده و یا تعدادی دیگر با بار حرارتی کمتر در شبکه،موجود باشند. این به دلیل عدم هماهنگی دمای جریانهای سرد و گرم دارای هیتر و کولر می‌باشد. (به شکل (۱۷) مساله نمونه رجوع شود) لذا می‌بایست روشهایی ارائه نمود که بتوان با استفاده از بقیه امکاناتی که شبکه در اختیار قرار می‌دهد، مرحله حذف هیترها را تکمیل کرد. در مراحل ۲ و ۳ به دو روش اشاره می‌نماییم.

۲- جریانهای گرمی مورد بررسی قرار می‌گیرند که بر روی آنها علاوه بر مبدل، کولر نیز وجود داشته باشد. بدین ترتیب می‌توان با کاهش بار حرارتی کولر، مبدل را به سمت چپ شیفت داد. در این صورت بازه دمایی بر روی جریان گرم، پیش از ورود به مبدل آزاد می‌شود که گزینه خوبی برای همپوشانی با جریانهای سرد دارای هیتر می‌باشد. از آنجاییکه بار حرارتی مبدل شیفت یافته ثابت است، برای جریان سرد عبوری از آن مشکلی بوجود نمی‌آید. البته محدودیت در جابجایی دمای مبدل، نقض $\Delta T_{Threshold}$ می‌باشد که باید مورد توجه قرار بگیرد.(شکل (۷a,b)).



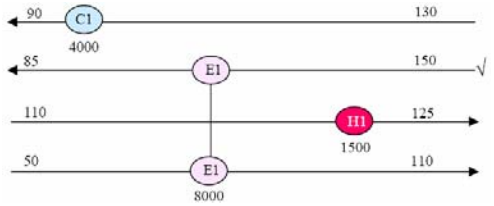
شکل b-۷ بعد از اصلاح



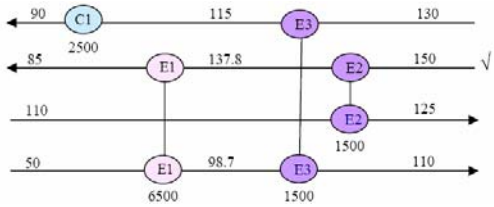
شکل a-۷ قبل از اصلاح

۳- جریانهای گرمی بررسی می‌شوند که فقط بر روی آنها مبدل وجود دارد. در این حالت می‌توان با هدف کاهش بار حرارتی مبدل، جریان گرم را در دمای پایین تری وارد مبدل نمود. به این ترتیب بازه دمایی در ابتدای جریان گرم پیش از ورود به مبدل آزاد می‌شود که گزینه خوبی برای همپوشانی با جریانهای سرد دارای هیتر می‌باشد. از آنجا که بار حرارتی مبدل اینبار ثابت نیست، لذا جریان سرد عبوری از آن را نیز باید بررسی نمود که آیا می‌تواند با جریان گرم دیگری همپوشانی انجام دهد یا خیر. در صورت عدم وجود چنین همپوشانی، نمی‌توان این اصلاح را پذیرفت، زیرا منجر به افزایش یک هیتر در شبکه می‌گردد. شکل (۸-a,b)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]



شکل a-۸ قبل از اصلاح



شکل b-۸ بعد از اصلاح

در اینجا باید به یک نکته مهم توجه داشت. بهتر است روند اصلاح شبکه مبدل حرارتی طوری باشد که در پایان مراحل اصلاح، تمام هیترهای موجود در شبکه حذف شوند و حتی الامکان کلیه مبدلهای موجود در شبکه انتقال حرارت عمودی داشته و درنتیجه هیچ کولری بالای نقطه Cold PH باقی نماند. این حالت، براساس مدل ایده آل اسپاگتی در طراحی شبکه مبدل حرارتی بنا نهاده شده است. احتمال دارد که شرایط حاکم بر شبکه اجازه رسیدن به چنین حالت ایده آلی را در پایان اصلاح ندهد. در اینصورت مشاهده می‌شود که پس از پایان مراحل اصلاح و حذف کامل هیترهای موجود در شبکه مبدل حرارتی ، با وجود کولرهایی در بالای نقطه Cold PH ، برایند حرارت عبوری از این نقطه برابر با صفر می‌گردد، به این دلیل که گرچه هنوز کولرهایی بالای نقطه Cold PH دیده می‌شوند (تمام یا بخشی از بار حرارتی آنها) اما از آنجا که مبدلهایی در شبکه هستند که از پایین نقطه Cold PH به بالای آن حرارت انتقال می‌دهند، (بهبود مصرف انرژی) در مجموع برایند حرارت عبوری از Cold PH صفر می‌گردد. بدیهی است که چنین مبدلهایی قطعا $\Delta T_{Threshold}$ حاکم بر مسئله Cold PH را نقض کرده اند و باعث افزایش نامطلوب سطح انتقال حرارت شبکه گردیده اند.(نقض انتقال حرارت عمودی) اما چون قبلا هزینه ساخت آنها پرداخت شده و در واقع مسئله Retrofit می‌باشد، بنابراین اقتصادی نیست که این مبدلهای سود ده از نظر انرژی و زیان آور از نظر سطح، اصلاح گردند.

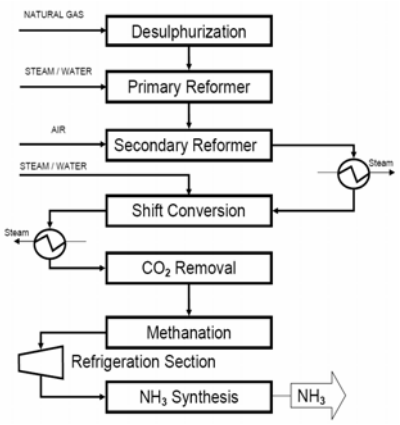
اکنون به بررسی کاربرد اصلاح مساله آستانه در بخش گرم واحد آمونیاک سوم رازی می‌پردازیم

آشنایی با واحد آمونیاک سوم رازی

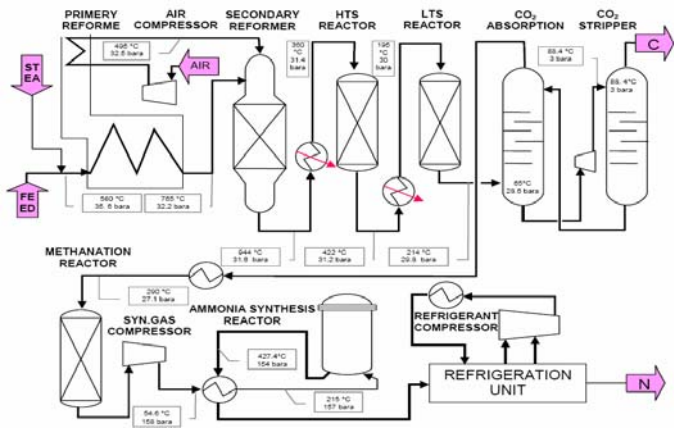
برای سنتز آمونیاک احتیاج به هیدورژن، ازت و راکتوری که آنها را به آمونیاک تبدیل نماید می‌باشد. منبع تامین ازت، هوا بوده و منبع تامین هیدروژن گازطبیعی می‌باشد. کارخانجات آمونیاک از چهار قسمت

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

اساسی تولید هیدروژن، خالص سازی گاز سنتز، سنتز آمونیاک و سیکل سرماساز تشکیل شده اند. شکل‌های (۹) و (۱۰) به درک بهتر فرایند کمک می‌کنند.



شکل ۹

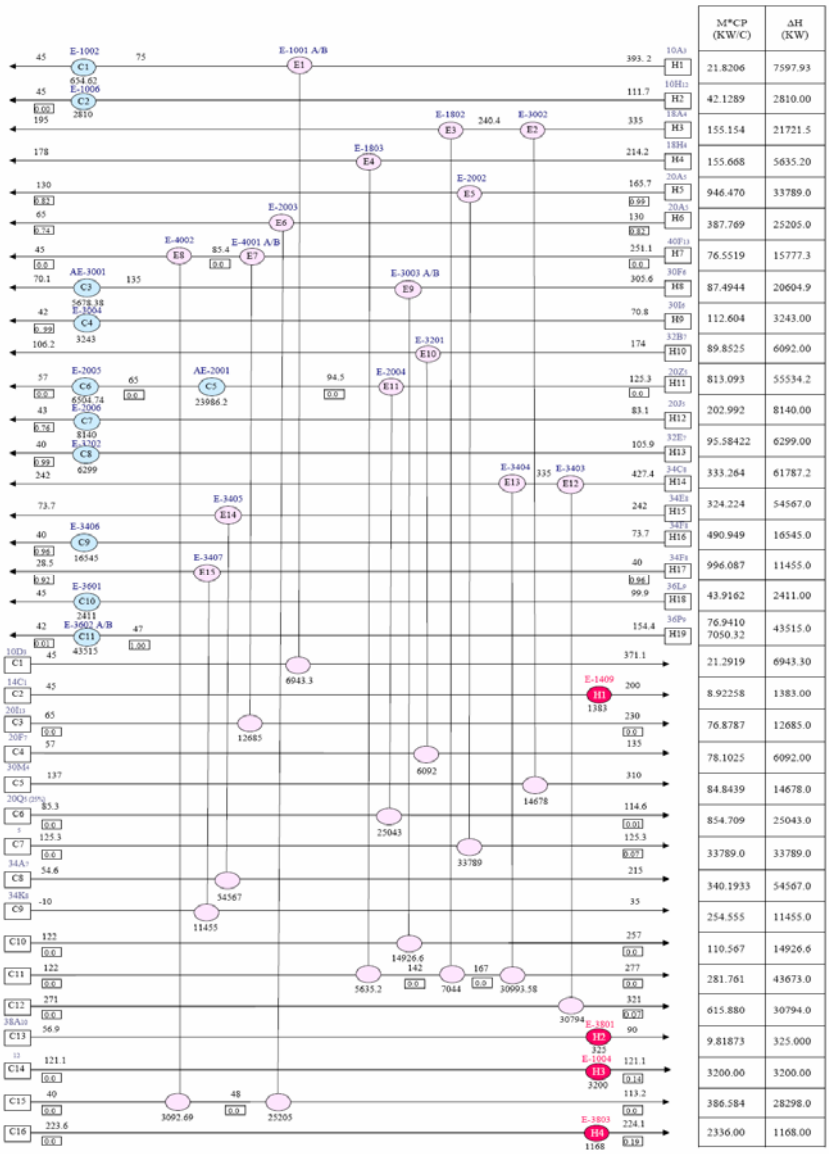


شکل ۱۰

استخراج و گردآوری داده‌های طراحی

دیاگرام شبکه جریانی بخش گرم واحد آمونیاک سوم رازی، همانطور که در شکل (۱۱) مشاهده می‌شود. از ۱۸ جریان گرم و۱٦ جریان سرد تشکیل شده است و دارای ۱۵ مبدل فرایندی، ۱۱ کولر(۲ کولر هوایی ،۹ کولر آبی) و ٤ هیتر است. مصرف انرژی اولیه شبکه در سرویس جانبی گرم معادل KW ٦۰۷٦ و در سرویس جانبی سرد معادل KW ۱۱۹۷۸٦,۹ می‌باشد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]



M*CP (KW/C)	ΔH (KW)
21.8206	7597.93
42.1289	2810.00
155.154	21721.5
155.668	5635.20
946.470	33789.0
387.769	25205.0
76.5519	15777.3
87.4944	20604.9
112.604	3243.00
89.8525	6092.00
813.093	55534.2
202.992	8140.00
95.58422	6299.00
333.264	61787.2
324.224	54567.0
490.949	16545.0
996.087	11455.0
43.9162	2411.00
76.9410 7050.32	43515.0
21.2919	6943.30
8.92258	1383.00
76.8787	12685.0
78.1025	6092.00
84.8439	14678.0
854.709	25043.0
33789.0	33789.0
340.1933	54567.0
254.555	11455.0
110.567	14926.6
281.761	43673.0
615.880	30794.0
9.81873	325.000
3200.00	3200.00
386.584	28298.0
2336.00	1168.00

شکل ۱۱ـ دیاگرام شبکه جهانی بخش گرم واحد آمونیاک سوم رازی

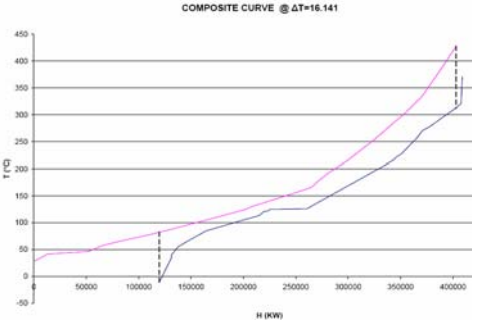
به منظور رسم منحنی‌های مرکب (CC) منحنی‌های بزرگ مرکب (GCC) و منحنی رانش دمایی (DFP) که ابزارهای اصلی تکنولوژی پینچ هستند، نیازمند اطلاعات جریانی فرایند هستیم. بدین ترتیب

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

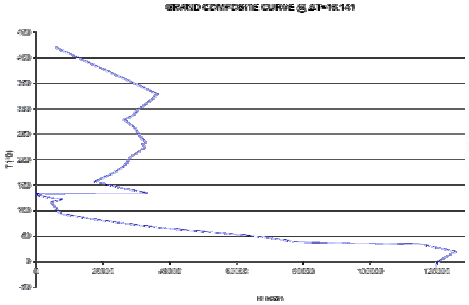
دبی جرمی، دمای ابتدا و انتهای هر جریان، افت فشار، ضریب کثیفی، خواص فیزیکی و ضرایب انتقال حرارت جریان‌ها ازطریق شبیه سازی کلیه مبدلها ، کولرها و هیترها توسط نرم افزارهای Aspen Bjac و HTFS و یا از اطلاعات موجود در Data sheet بدست آمده است.

هدفگذاری (Targeting)

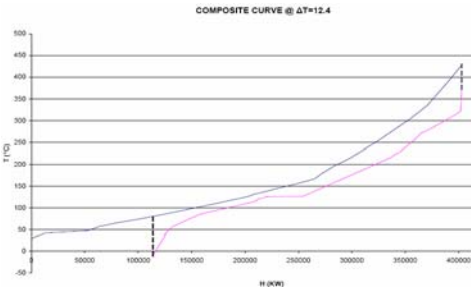
دراین پژوهش با بررسی نتایج حاصل ازهدفگذاری محدوده‌ای (Range Targeting) بر روی واحد آمونیاک سوم رازی ، $\Delta T_{Threshold} = 12.4$ با هدف حداکثر بازیافت حرارتی، انتخاب شده و شبکه مبدل حرارتی در این شرایط، با حذف سرویس‌های جانبی گرم به مساله آستانه (Threshold) تبدیل می‌شود. منحنی‌های مرکب و مرکب کل در حالت پیش از اصلاح $\Delta T_{\min} = 16.141$ (شکل (۱۲) و(۱۳)) و در حالت اصلاحی پیشنهادی (شکل (۱٤) و (۱٥)) $\Delta T_{Threshold} = 12.4$ رسم شده است.



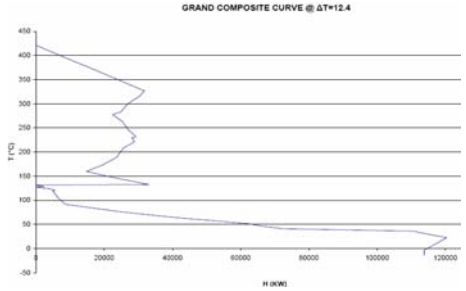
شکل ۱۲ـ منحنی مرکب قبل از اصلاح



شکل ۱۳ـ منحنی مرکب کل قبل از اصلاح



شکل ۱۴ ـ منحنی مرکب بعد از اصلاح



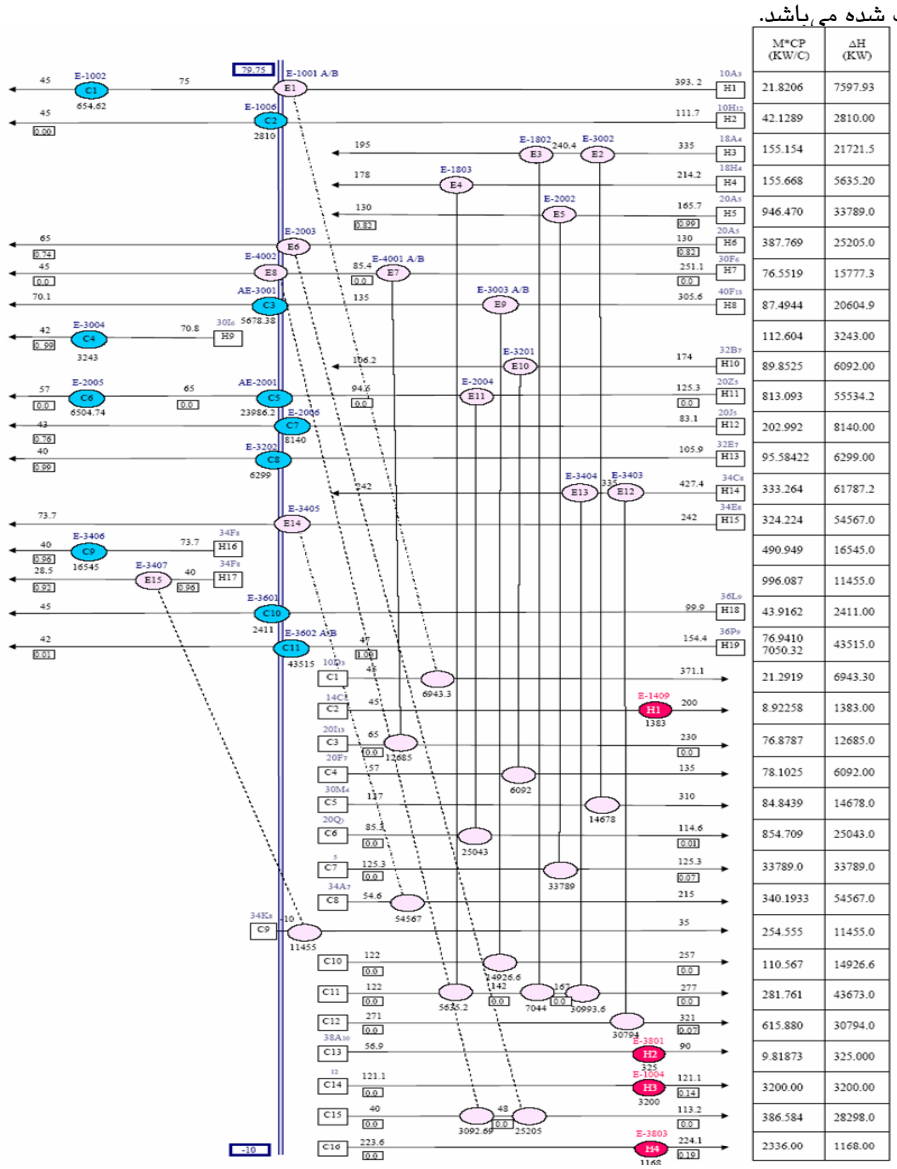
شکل ۱۵ـ منحنی مرکب کل بعد از اصلاح

طراحی

با توجه به نتایج هدفگذاری میزان کاهش مصرف انرژی و حداقل اختلاف دما تعیین شد، بدین ترتیب دمای بالای Cold – P.H و پایین Cold – P.H مشخص می‌شود و سپس شبکه مبدل حرارتی با مشخص شدن نقاط Cold – P.H ترسیم می‌شود (شکل (١٦)) .ملاحظه می‌کنید که مبدلهای E1، E6، E8، E14 و E15 از پایین نقطه Cold – P.H به بالای نقطه Cold – P.H حرارت عبور می‌دهند و از طرف دیگر کولرهای C2، C3، C5، C7، C8، C10 و C11 در بالای نقطه Cold – P.H قرار گرفته اند. همانطور

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

که در جدول (۱) مشاهده می‌شود، میزان حرارت عبوری از نقطه Cold – P.H برابراست با ۶۰۷۶ KW که در واقع همان میزان هدفگذاری شده برای کاهش مصرف انرژی و به عبارتی دیگر میزان یوتیلیتی گرم حذف شده می‌باشد.



M*CP (KW/C)	ΔH (KW)
21.8206	7597.93
42.1289	2810.00
155.154	21721.5
155.668	5635.20
946.470	33789.0
387.769	25205.0
76.5519	15777.3
87.4944	20604.9
112.604	3243.00
89.8525	6092.00
813.093	55534.2
202.992	8140.00
95.58422	6299.00
333.264	61787.2
324.224	54567.0
490.949	16545.0
996.087	11455.0
43.9162	2411.00
76.9410 7050.32	43515.0
21.2919	6943.30
8.92258	1383.00
76.8787	12685.0
78.1025	6092.00
84.8439	14678.0
854.709	25043.0
33789.0	33789.0
340.1933	54567.0
254.555	11455.0
110.567	14926.6
281.761	43673.0
615.880	30794.0
9.81873	325.000
3200.00	3200.00
386.584	28298.0
2336.00	1168.00

شکل ۱۶ ـ شبکه مبدل حرارتی

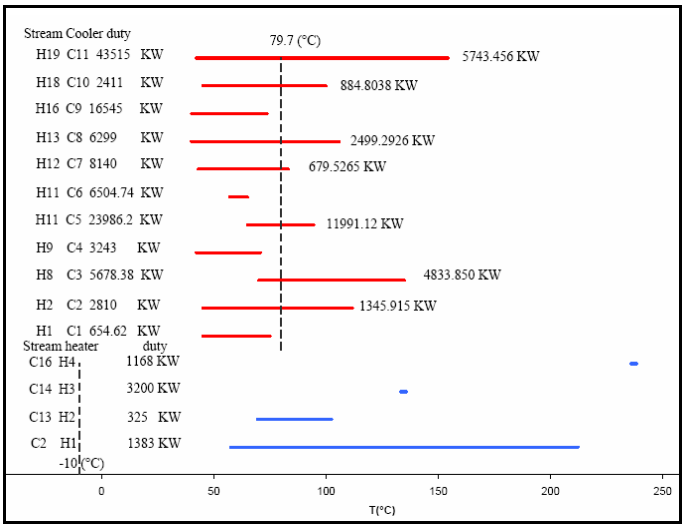
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

جدول ۱ـ میزان حرارت عبوری از نقطهٔ Cold-p.H

HEAT EXCHENGER	CROSS PH	RESULT
E1	21.820 × (79.75 - 75)	-103.7014
E6	387.76 × (79.75 - 65)	-5720.548
E8	76.551 × (79.75 - 45)	-2660.366
E14	324.22 × (79.75 - 73.7)	-1962.354
E15	996.08 × (28.5 - 40)	-11455.00
C2	42.128 × (111.7 - 79.75)	1345.915
C3	87.494 × (135 - 79.75)	4833.850
C5	813.09 × (94.5 - 79.75)	11991.12
C7	202.99 × (83.1 - 79.75)	679.5265
C8	95.584 × (105.9 - 79.75)	2499.2926
C10	43.916 × (99.9 - 79.75)	884.8038
C11	76.941 × (154.4 - 79.75)	5743.456
TOTAL CROSS PH		6076.0

با توجه به اینکه در $\Delta T_{Threshold} = 12.4$ هدفگذاری شده، مساله در شرایط Cold – P.H قرار می‌گیرد، بنابراین هدف در این مرحله حذف هیترهای موجود بر روی جریانهای سرد و کاهش بار مصرفی کولرها، از طریق نصب مبدلهای جدید در فرایند می‌باشد.

همانطور که قبلا نیز گفته شد، اولویت در اصلاح با کولرهایی است که در بالای Cold –PH قرار گرفته اند، ازاینرو بمنظور بررسی امکان تبادل حرارت بین جریانهای دارای کولر وهیتر، نموداری در شکل (۱۷) رسم شده که در آن موقعیت دمایی و بار حرارتی کولرها و هیترها، دمای بالای Cold –PH وپایین Cold –PH و همچنین میزان حرارتی که هریک از کولرها در بالای Cold –PH از دست می‌دهند مشخص شده، لازم بذکر است که دماهای ابتدا و انتهای هیترها به اندازه $\Delta T_{Threshold} = 12.4$ شیفت یافته وبدین ترتیب مناطقی که جریانهای گرم وسرد همپوشانی پیدا می‌کنند، راهنمای خوبی بمنظور تصمیم گیری در مورد نصب مبدل جدید بر روی آنها می‌باشد. البته واضح است که تصمیمات این مرحله، پس از بررسی وضعیت مبدل جدید بر روی منحنی رانش دمایی و همچنین آنالیز باقیمانده مساله، قابل اجرا است.



شکل ۱۷ـ نمودار بررسی امکان تبادل حرارت بین جریانهای دارای کولر و هیتر

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

همانطور که در شکل (۱۷) ملاحظه می‌شود، تنها برای جریان سرد C13 و بخشی از جریان C14 امکان همپوشانی وجود دارد، بنابراین به دلیل عدم هماهنگی بین جریانهای سرد و گرم دارای هیتر و کولر، با بررسی بقیه جریانهای فرایند، حذف هیترها را تکمیل کنیم.

ابتدا مبدلها موجود در واحد را ارزیابی می‌شوند. جدول (۲) نتایج ارزیابی مبدلهای موجود واحد را نشان می‌دهد.

جدول ۲ـ نتایج ارزیابی مبدلهای موجود واحد

$\Delta T_{Threshold} = 12.4$ QH = 0		Constant Coefficient $A_{1-1\min} = 11539.67$			Fixed Pressure Drop $A_{1-2\min} = 11762.5$		
Exchanger Name	Rem. $\Delta T_{Threshold}$	Exist. A_{1-1}	Rem. $A_{1-1\min,r}$	α max (H)	Exist. $A_{1-2\min,r}$	Rem. $A_{1-2\min,r}$	α max (ΔP)
E1	12.19	668.3289	11102.48	0.980	1227.5	11310.38	0.938
E2	12.40	431.6074	11195.72	0.993	714.30	11423.74	0.969
E3	12.40	124.5314	11471.32	0.995	150.30	11736.80	0.990
E4	11.83	96.45125	11557.12	0.990	151.00	11811.00	0.983
E5	15.19	2279.877	9511.030	0.979	2750.0	9709.76	0.944
E6	12.40	1757.118	10128.79	0.971	1454.0	10305.76	1.000
E7	11.99	415.3133	11217.25	0.992	944.10	11491.78	0.946
E8	12.40	125.3511	11460.23	0.996	223.80	11713.73	0.985
E9	12.32	672.0271	10963.98	0.992	1543.4	11170.71	0.925
E10	10.77	182.2555	11812.80	0.962	244.20	12194.92	0.946
E11	12.40	4472.728	8317.120	0.902	965.70	8366.3	1.000
E12	12.40	238.3825	11442.71	0.988	468.00	11768.42	0.961
E13	12.40	290.2002	11406.57	0.987	483.00	11699.74	0.966
E14	9.858	1822.481	10179.52	0.962	2938.0	10448.36	0.879
E15	12.40	424.9766	11373.47	0.978	570.00	11589.15	0.967

با مطالعه نتایج آنالیز باقیمانده مبدلها و همچنین با بکار گیری دو روش ارائه شده در تئوری مساله آستانه، در نهایت مبدل E14 به عنوان بهترین انتخاب برگزیده می‌شود.(دقت شود جریان گذرنده از مبدل E14 و کولرC9 (جریانهای H15 و H16) یکی می‌باشند ولی به دلیل شرایط خاصی که بر مبدل E14 حاکم است جریان H15 بصورت جریان مجزا در نظر گرفته شده تا خطایی در محاسبات وارد نشود).

امکان شیفت دمایی برای این مبدل به دلیل وجود کولرC9 بعد از آن وجود دارد و از این طریق تنها با جابجایی دمایی این مبدل، امکان نصب مبدلهای جدید بر روی سه جریان سرد باقیمانده (C2،C16 و بخشی ازC14) فراهم می‌شود.

شکل (۱۸) نحوه قرار گرفتن کلیه مبدلها، شامل مبدلهای موجود و مبدلهای جدید طراحی شده را نشان می‌دهد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

نتایج حاصل از آنالیز مبدلها بعد از اصلاح بطور جداگانه در جدول (۳) واثر جمعی آنها درجدول (٤) آورده شده است.

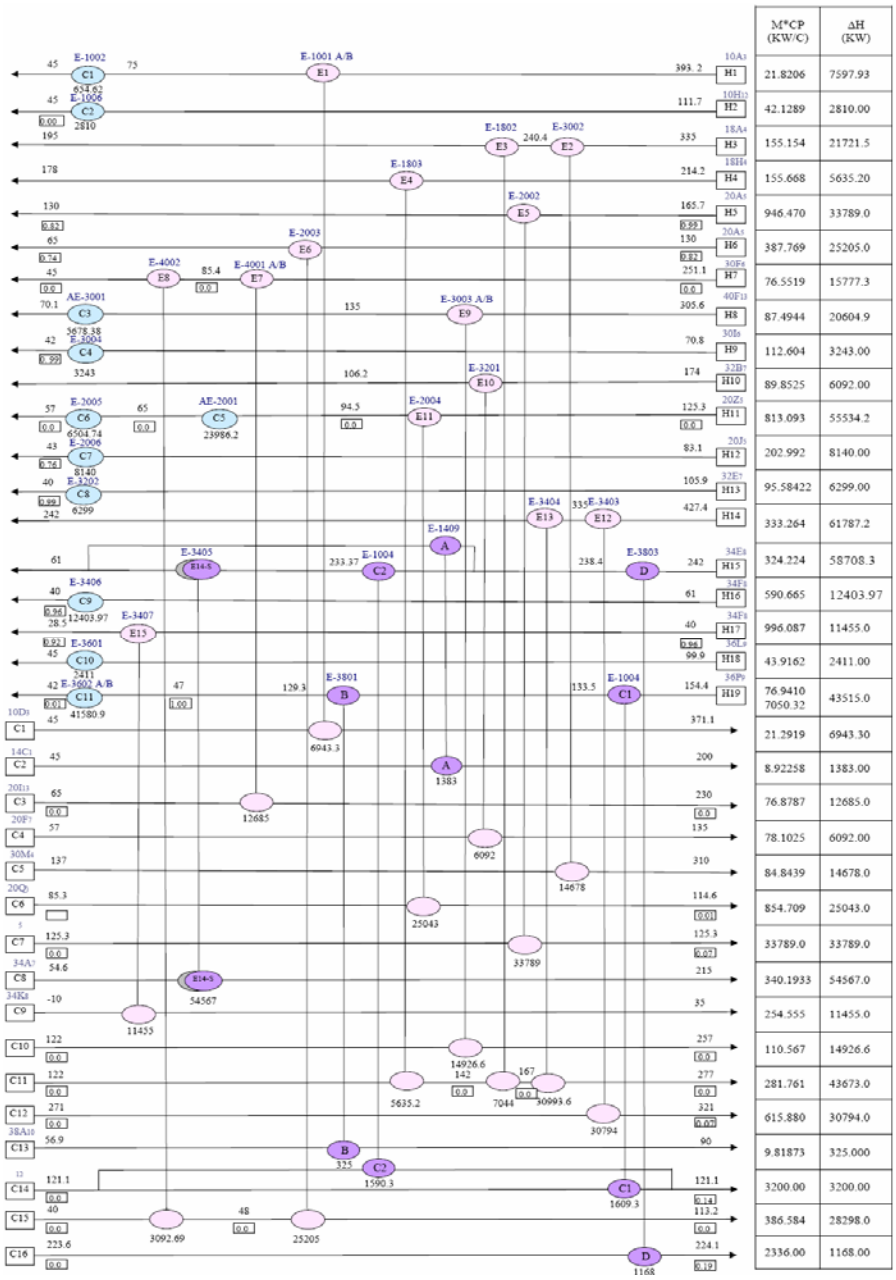
جدول ۳ ـ نتایج حاصل از آنالیز مبدلها بعد از اصلاح

$\Delta T_{Threshold} = 12.4$ $QH = 0$		Constant Coefficient $A_{1-1\min}$ = 11539.67			Fixed Pressure Drop $A_{1-2\min}$ = 11762.5		
Exchanger Name	Rem. $\Delta T_{Threshold}$	Exist. A_{1-1}	Rem. $A_{1-1\min,r}$	α max (H)	Exist. A_{1-2}	Rem. $A_{1-2\min,r}$	α max (ΔP)
A	12.33	56.325	11495.19	0.999	96.5500	11615.2	1.000
B	12.40	6.6419	11513.11	1.000	73.140	11735.61	0.996
C 1	11.57	89.733	11456.89	0.999	149.99	11689.56	0.993
C 2	11.42	15.899	11588.82	0.994	49.7700	11742.67	0.997
D	12.40	66.987	11504.95	0.997	158.810	11713.53	0.991
E14A	12.40	1659.6	10420.67	0.956	1701.98	10406.57	0.971

جدول ۴ـ اثرجمعی مبدلها

$\Delta T_{Threshold} = 12.4$ $QH = 0$		Constant Coefficient $A_{1-1\min}$ = 11539.67			Fixed Pressure Drop $A_{1-2\min}$ = 11762.5		
Exchanger Name	Rem. $\Delta T_{Threshold}$	Exist. A_{1-1}	Rem. $A_{1-1\min,r}$	α max (H)	Exist. A_{1-2}	Rem. $A_{1-2\min,r}$	α max (ΔP)
A + B	12.33	62.966	11536.47	0.995	169.69	11674.51	0.993
A + B + D	12.33	129.95	11502.09	0.992	328.50	11643.94	0.983
A + B + D + C1	11.49	219.68	11420.33	0.991	478.49	11572.25	0.976
A + B + D + C1 +C2	10.45	236.21	11473.08	0.986	528.26	11651.71	0.966
A + B + D + C1+C2+E14A	10.45	1895.8	10350.64	0.942	2230.2	10453.24	0.927

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]



M*CP (KW/C)	ΔH (KW)
21.8206	7597.93
42.1289	2810.00
155.154	21721.5
155.668	5635.20
946.470	33789.0
387.769	25205.0
76.5519	15777.3
87.4944	20604.9
112.604	3243.00
89.8525	6092.00
813.093	55534.2
202.992	8140.00
95.58422	6299.00
333.264	61787.2
324.224	58708.3
590.665	12403.97
996.087	11455.0
43.9162	2411.00
76.9410 7050.32	43515.0
21.2919	6943.30
8.92258	1383.00
76.8787	12685.0
78.1025	6092.00
84.8439	14678.0
854.709	25043.0
33789.0	33789.0
340.1933	54567.0
254.555	11455.0
110.567	14926.6
281.761	43673.0
615.880	30794.0
9.81873	325.000
3200.00	3200.00
386.584	28298.0
2336.00	1168.00

شکل ۱۸ ـ نحوهٔ قرار گرفتن کلیهٔ مبدلها

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

نتیجه گیری

اکنون لازم است که بین نتایج حاصل ازطراحی ونتایج حاصل از هدفگذاری مقایسه‌ای بعمل آید. جدول (۵) تطابق کامل بین مرحله هدفگذاری و طراحی را تایید می‌کند؛ در غیر این صورت باید با دقت و تاملی بیشتر از ابزارهای موجود درمرحله طراحی بهره گرفت. استفاده دقیق از ابزارهای طراحی ما را به نتایج قابل قبول هدایت می‌کند.

جدول ۵ـ تطابق بین مرحلهٔ هدفگذاری و طراحی

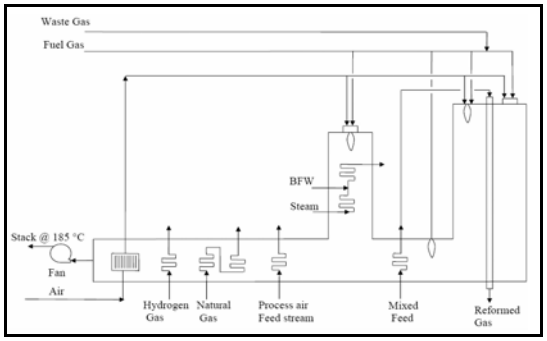
	Target	Design	Difference
Energy saving (kw)	6076	6076	0.00 %
Area requirement (m^2)	2226.11	2230.24	-0.18 %
Overall efficiency	0.69	0.69	0.00 %
Total saving (£/yr)	148969	148969	0.00 %
Total investment (£)	295773	296138.6	-0.12 %
Pay back (yr)	1.985	1.987	-0.10 %

اصلاح شبکه مبدل حرارتی بخش گرم واحد آمونیاک سوم رازی (پیشنهاد اصلاحی دوم)

هدفگذاری

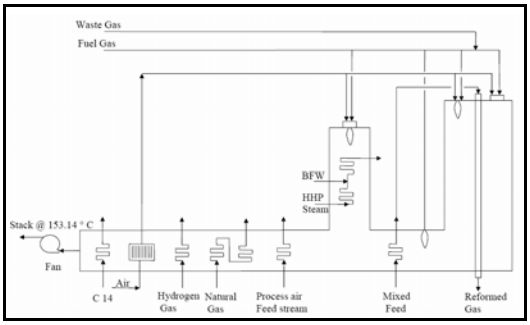
همانطور که در توضیح فرایند تولید آمونیاک گفته شد، واکنشی که در ریفرمر اول انجام می‌شود، گرماگیر است. برای انجام آن گرمای زیاد مورد نیاز می‌باشد، از اینرو مشعل‌هایی در ریفرمر اول وجود دارد که با ورود سوخت گازی و هوا به آن، گرمای مورد نیاز واکنش تامین می‌شود. ریفرمر اول به دوبخش ۱ – Radiation ، ۲– convection تقسیم می‌شود. در قسمت اول، بستر کاتالیستی به منظور انجام واکنش قرار گرفته است و د ر قسمت دوم، کویل‌هایی وجود دارد که در آن از گرمای گازهای حاصل از احتراق(Flue gas) برای گرم کردن بخشهایی از فرایند استفاده می‌شود.(شکل (۱۹)).

سوخت مصرفی در ریفرمر اول مخلوطی از هیدروژن، نیتروژن، آرگون ، دی اکسید کربن و متان است که در دمای Stack، 185 °C را ترک می‌کند، در صورتیکه می‌توان این دما را تا نقطه شبنم (140 °C) کاهش داد و از حرارت آن استفاده نمود. در پژوهش حاضر دمای خروجی Stack تا ۱۵۳ °C کاهش یافته و از حرارت آن بمنظور گرم کردن جریان سرد C14 و حذف هیتر H3 استفاده شده است. شکل (۲۰) محل قرار گرفتن کویل جدید در بخش Convection ریفرمر اول را نشان می‌دهد.



شکل ۱۹

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

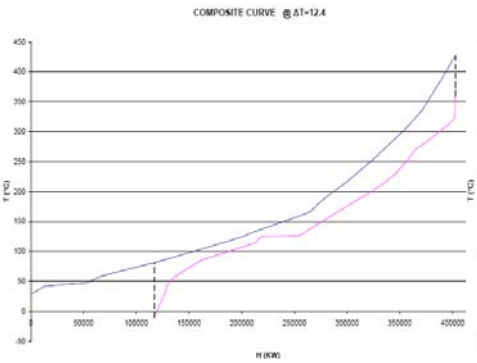


شکل ۲۰ـ محل قرارگرفتن کویل جدید در بخش Convection ریفرمر اول

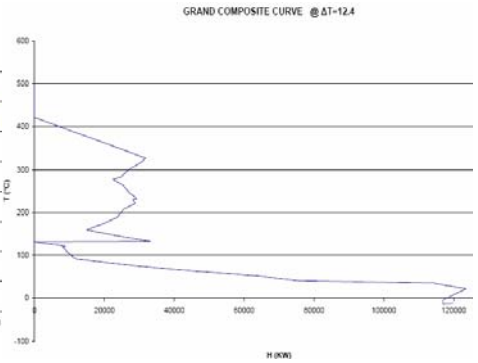
مابقی شبکه با استفاده از تکنولوژی پینچ هدفگذاری و اصلاح می‌شود. منتها پیش از کاهش $\Delta T_{\min}$ و نزدیک کردن منحنیهای گرم و سرد جهت هدفگذاری بمنظورکاهش مصرف انرژی ،می‌بایست جریان سرد C14 را از دیاگرام شبکه جریانی حذف نماییم.

دو نکته و جود دارد : اولا جریان گازی حاصل از احتراق، که در ریفرمراول جریان دارد، جزء جریان پروسس محسوب نمی‌شود که بتوان آنرا به عنوان جریان گرم، وارد دیاگرام جریانی نمود. ثانیاً، جریان گازی حاصل از احتراق ،یوتیلیتی گرم نیزمحسوب نمی‌شود. توضیح انکه برای بدست آوردن این انرژی هیچ هزینه اضافی صرف نمی‌شود و با استفاده نکردن از آن نیز هیچ هزینه‌ای کاهش نمی‌یابد(مفهوم دورریز دارد).

بنابراین روند کار بدین صورت است که جریان سرد C14 از دیاگرام شبکه جریانی خارج شده و انرژی لازم برای گرم کردن آن از طریق کاهش دمای خروجی جریان گازی حاصل از احتراق حاصل گردیده و پس ازهدفگذاری محدوده‌ای (Range Targeting) بر روی مابقی شبکه ، $\Delta T_{Threshold} = 12.4$ با هدف حداکثر بازیافت حرارتی انتخاب شده و شبکه مبدل حرارتی، این بار با حذف سرویس‌های جانبی گرم معادل $\Delta H = 2876KW$ به مساله آستانه تبدیل می‌شود. منحنی‌های مرکب و مرکب کل در حالت صلاحی پیشنهادی $\Delta T_{Threshold} = 12.4$ شکل (۲۱) و (۲۲)) رسم شده است.



شکل ۲۲ ـ منحنی مرکب



شکل ۲۱ ـ منحنی مرکب کل

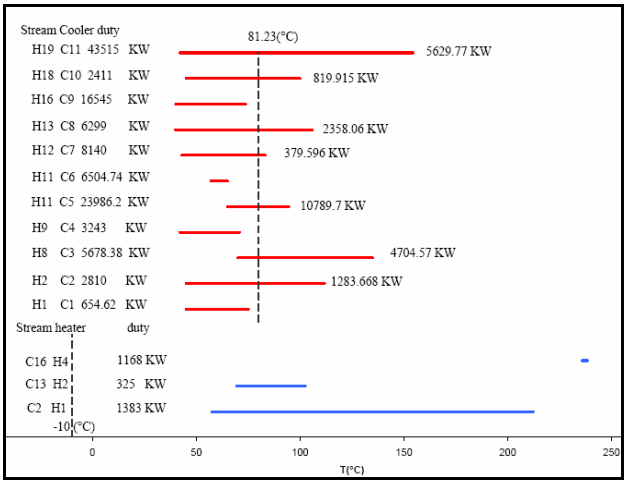
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

طراحی

با تعیین مبدلهایی که از Cold PH حرارت عبور می‌دهند (جدول (٦) و همچنین رسم بازه دمایی هیترها و کولرها (شکل (۲۳).) ، شبکه به منظور نصب مبدلهای جدید ، ارزیابی می‌شود.

جدول ۶ـ تعیین مبدلهایی که از Cold pH حرارت عبور می‌دهند

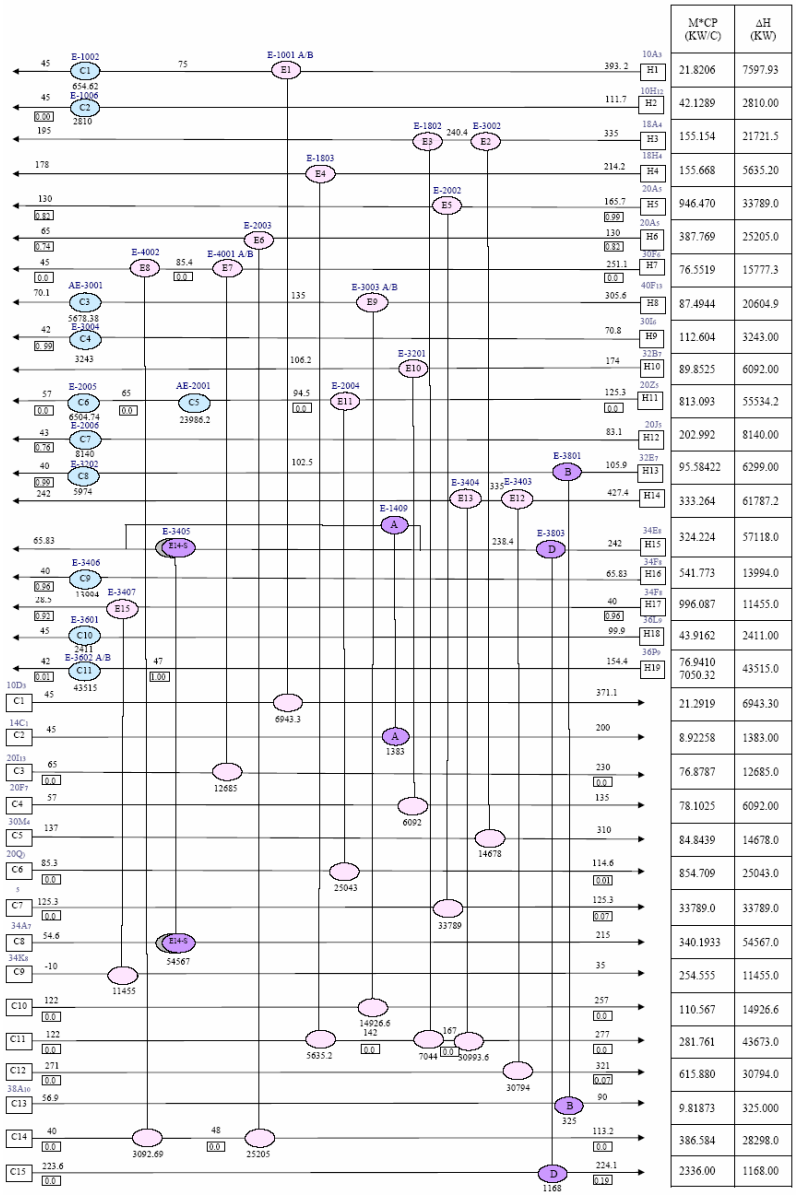
HEAT EXCHENGER	CROSS PH	RESULT
E1	21.820 × (81.23 - 75)	-135.942
E6	387.76 × (81.23 - 65)	-6293.49
E8	76.551 × (81.23 - 45)	-2773.48
E14	324.22 × (81.23 - 73.7)	-2441.41
E15	996.08 × (28.5 - 40)	-11455.0
C2	42.128 × (111.7 - 81.23)	1283.668
C3	87.494 × (135 - 81.23)	4704.57
C5	813.09 × (94.5 - 81.23)	10789.7
C7	202.99 × (83.1 - 81.23)	379.596
C8	95.584 × (105.9 - 81.23)	2358.06
C10	43.916 × (99.9 - 81.23)	819.915
C11	76.941 × (154.4 - 81.23)	5629.77
TOTAL CROSS PH		2876.0



شکل ۲۳ـ بازهٔ دمایی هیترها و کولرها

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

بدین ترتیب پس از بررسی همه شرایط ممکن ، نتایج اصلاح پیشنهادی، در قالب شکل (۲٤) ارائه شده است.



M*CP (KW/C)	ΔH (KW)
21.8206	7597.93
42.1289	2810.00
155.154	21721.5
155.668	5635.20
946.470	33789.0
387.769	25205.0
76.5519	15777.3
87.4944	20604.9
112.604	3243.00
89.8525	6092.00
813.093	55534.2
202.992	8140.00
95.58422	6299.00
333.264	61787.2
324.224	57118.0
541.773	13994.0
996.087	11455.0
43.9162	2411.00
76.9410 7050.32	43515.0
21.2919	6943.30
8.92258	1383.00
76.8787	12685.0
78.1025	6092.00
84.8439	14678.0
854.709	25043.0
33789.0	33789.0
340.1933	54567.0
254.555	11455.0
110.567	14926.6
281.761	43673.0
615.880	30794.0
9.81873	325.000
386.584	28298.0
2336.00	1168.00

شکل ۲۴ ـ نتایج اصلاح پیشنهادی

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

نتایج حاصل از آنالیزمبدلها بعد از اصلاح بطور جداگانه در جدول (۷) واثر جمعی آنها درجدول (۸) آورده شده است.

جدول ۷ـ نتایج حاصل از آنالیز مبدلها

$\Delta T_{Threshold} = 12.4$ $QH = 0$		Constant Coefficient $A_{1-1\min}$ = 10474.46			Fixed Pressure Drop $A_{1-2\min}$ = 10914.38		
Exchanger Name	Rem. $\Delta T_{Threshold}$	Exist. A_{1-1}	Rem. $A_{1-1\min,r}$	α max (H)	Exist. A_{1-2}	Rem. $A_{1-2\min,r}$	α max (ΔP)
A	12.31	49.67677	10434.00	0.999	257.220	10805.86	0.987
B	12.40	14.50015	10461.91	1.000	119.600	10910.97	0.990
D	12.40	66.41170	10440.30	0.996	225.510	10815.82	0.989
E14A	12.40	491.080	10136.76	0.985	561.46	10623.19	0.976
E14	11.39	1966.82	8696.01	0.982	2938.00	8944.34	0.919

جدول ۸ـ اثر جمعی مبدلها

$\Delta T_{Threshold} = 12.4$ $QH = 0$		Constant Coefficient $A_{1-1\min}$ = 10474.46			Fixed Pressure Drop $A_{1-2\min}$ = 10914.38		
Exchanger Name	Rem. $\Delta T_{Threshold}$	Exist. A_{1-1}	Rem. $A_{1-1\min,r}$	α max (H)	Exist. A_{1-2}	Rem. $A_{1-2\min,r}$	α max (ΔP)
A +B	12.31	64.176	10421.44	0.999	376.82	10802.43	0.976
A +B +D	12.31	130.58	10387.52	0.996	602.33	10771.88	0.960
A +B +D + E14A	12.31	621.66	10050.25	0.982	1163.7	10521.08	0.934

بحث و نتیجه گیری

جدول (۹) تطابق کامل بین مرحله هدفگذاری و طراحی را تایید می‌کند.

جدول ۹ـ تطابق بین مرحلهٔ هدفگذاری و طراحی

	Target	Design	Difference
Energy saving (Kw)	2876	2876	0.00 %
Area requirement (m^2)	1156.7	1163.8	-0.61 %
Overall efficiency	0.667	0.667	0.00 %
Total saving (£/yr)	70502	70502	0.00 %
Total investment (£)	132845.6	133396.1	-0.41 %
Pay back (yr)	1.884	1.891	-0.37 %

اصلاح سیکل سرماساز بخش سرد واحد آمونیاک سوم رازی

از آنجایی که از مهمترین کاربردهای تحلیل ترکیبی آنالیز پینچ و اکسرژی، اصلاح بر روی سیستم‌های سرماساز و فرایندهای دما پایین می‌باشد، لذا در این تحقیق با کاربرد مفاهیم آن، به بهینه‌سازی سیکل

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

سرماساز واحد آمونیاک سوم رازی، جهت کاهش تلفات اکسرژی و در نتیجه کاهش تقاضای کار محوری مورد نیاز کمپرسور این سیکل، در سطحی بهینه پرداخته می‌شود.

معرفی سیکل سرماساز

آمونیاک تولید شده در چرخه سنتز به همراه جریان خروجی از D-3203 وارد Drum D-3601 می‌شود، شرایط عملیاتی در این Drum، 17 bar و ۱۰- °C است. مایع حاصل از این Drum ، در فشار 2 bar و ۱۸ - °C ، Flash می‌شود و سپس وارد پوسته دومین چیلر آمونیاک E-3409 می‌گردد. آمونیاک مایع خروجی از این چیلر باردیگر در فشار 1.01 bar و ۳۳- °C ، Flash شده و وارد Ammonia Final Receive D-3606 می‌شود. مایع حاصل از این Drum به عنوان محصول نهایی آمونیاک به Battery Limit پمپ می‌شود.

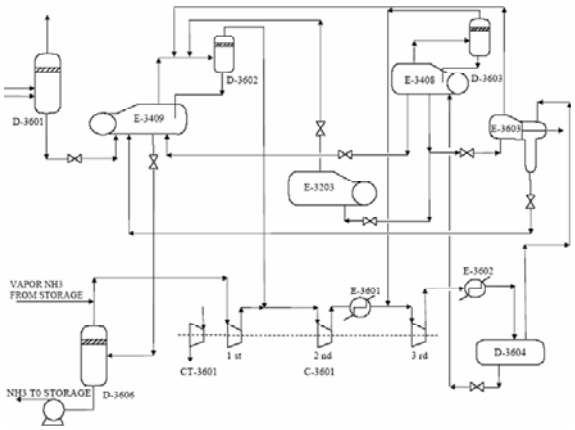
بخار حاصل از Drum نیز با بخاری که از مخزن آمونیاک می‌آید، مخلوط شده و به اولین مرحله از کمپرسور C-3601 می‌رود، سپس بر اثر اختلاط با بخار آمونیاک خروجی از Drum چیلرE-3409 سرد شده و وارد دومین مرحله از کمپرسور C-3601 می‌شود. بعد از عبور از کمپرسور با گذر از کولر آبی E-3601 تا دمای ٤٥°C خنک می‌شود. این جریان با بخار آمونیاک حاصل از چیلرE-3408 مخلوط می‌شود و سپس از سومین مرحله کمپرسور C-3601 می‌گذرد. آمونیاک خروجی از کمپرسور تقریبا بطور کامل در کولر آبی (آب دریا) E-3602 مایع شده و در Drum D-3604 ذخیره می‌شود. گازهای غیر قابل کندانس حاصل از D-3604 در چیلر E-3603 تا دمای ۱۰- °C سرد شده، محصول نهایی دوفازی می‌باشد که فاز بخار آن جدا شده به Flare می‌رود و فاز مایع آن در فشار 2 bar، Flash شده و وارد چیلر E-3409 می‌شود.

در شرایط عملیاتی نرمال همه آمونیاک مایعی که در D-3604 تجمع پیدا کرده در فشار 6 bar و ۹ °C، Flash می‌گردد و وارد چیلر E-3408 می‌شود، از آنجا بخش مایع آمونیاک، در سه شرایط زیربه سه مکان مختلف Flash می‌شوند.

- به چیلر E-3603 جهت سرمایش بخارات غیر قابل کندانس
- به چیلر E-3203 در شرایط 4.6 bar و ۲- °C
- به چیلر E-3402 در شرایط 2 bar و ۱۸,۳- °C

تمامی بخارات حاصل از این سه Flash وارد Drum D-3602 می‌شوند و از آنجا با جریان خروجی از اولین مرحله کمپرسورC-3601 مخلوط شده، دمای آنرا کاهش می‌دهند. شکل (۲۵) سیکل آمونیاک و ارتباط بین چیلرها را در واحد آمونیاک سوم رازی نشان می‌دهد؛(جریانهای رسم شده دراین شکل صرفا آمونیاک می‌باشند).

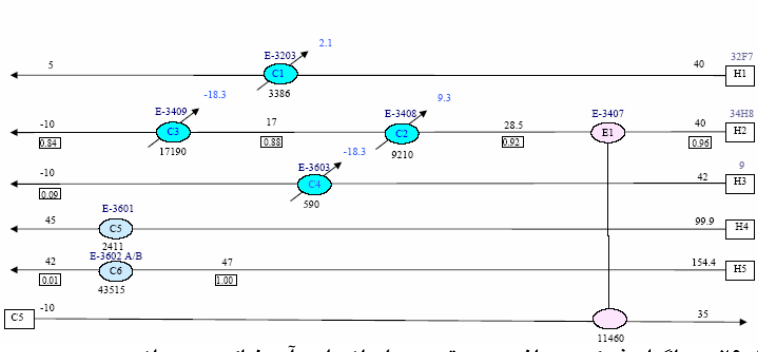
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]



شکل ۲۵ ـ سیکل آمونیاک و ارتباط بین چیلرها در واحد آمونیاک سوم رازی

استخراج و گردآوری داده‌های طراحی

دیاگرام شبکه جریانی سیستم سرماساز واحد آمونیاک سوم رازی در شکل (۲۶) آورده شده است. ۵ جریان گرم و ۱ جریان سرد، ٤ چیلر با سطوح دمایی ۱۸٫۳°C-، ۲٫۱°C و ۹٫۳ °C به همراه دو کولر و یک مبدل، این شبکه را تشکیل می‌دهند. همانطور که ملاحظه می‌کنید هیچ یوتیلیتی گرمی در این سیکل دیده نمی‌شود، لذا شبکه موجود، در حالت آستانه قرار دارد.



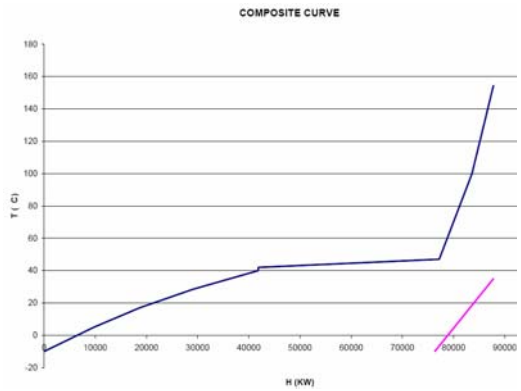
M (Kg/h)	ΔH (KW)
98293	3386
407387	40951
1668	590
71391	2411
112528	43515
314241	14551

شکل ۲۶ ـ دیاگرام شبکه جریانی سیستم سرماساز واحد آمونیاک سوم رازی

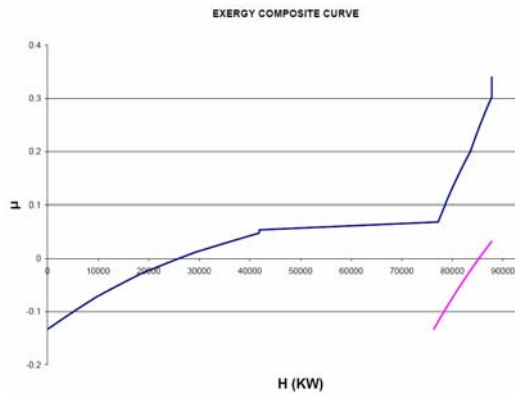
هدفگذاری

هدف از بهینه‌سازی سیکلهای سرماساز، کاهش تلفات اکسرژی و کم کردن کار محوری مورد نیاز در کمپرسورها است وابزارهای هدفگذاری دیاگرامهای ECC و EGCC می‌باشند. بدین منظور ابتدا دیاگرام CC رسم می‌شود (شکل (۲۷))، آنگاه با جایگزین نمودن محور عمودی دما با ضریب کارنو دیاگرام ECC و سپس از روی آن دیاگرام EGCC رسم می‌گردد. سطوح دمایی بر روی منحنی EGCC مشخص شده است. (شکل (۲۸) و (۲۹))

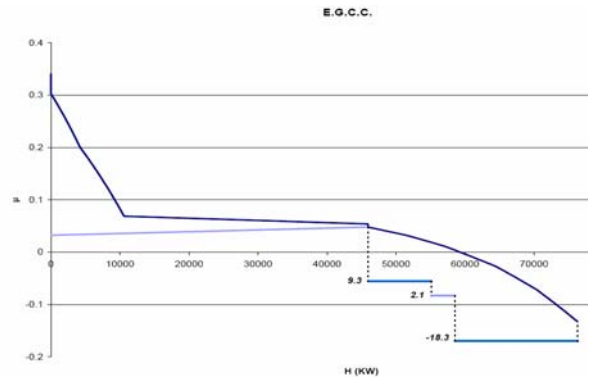
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]



شکل ۲۷ـ دیاگرام CC



شکل ۲۸ـ دیاگرام ECC



شکل ۲۹ـ دیاگرام EGCC

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

بررسی سطوح اصلی سرما ساز سیکل آمونیاک در شرایط موجود و تعیین میزان تغییرات اکسرژی

همانطور که گفته شد این سیکل دارای سه سطح اصلی (۹,۳ + و ۲,۱+ , ۱۸,۳- درجه سانتیگراد) می‌باشد که ذیلا میزان تغییرات اکسرژی در این سیکل محاسبه می‌گردد . دمای محیط ۲۵ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شده است .($T_\circ = 298K$)

با محاسبه تغییر اکسرژی هر یک از سطوح بطور جداگانه از رابطه $\Delta E = \Delta H\left(1-\frac{T_\circ}{T}\right)$ همانطور که در جدول (۱۰) آورده شده و جمع آنها $\sum_{i=1}^{3}|\Delta Ex|_1 = 3793KW$, میتوان میزان تغییر اکسرژی را در کل سیستم آمونیاک محاسبه کرد.

جدول ۱۰ـ محاسبهٔ تغییر اکسرژی هر یک از سطوح بطور جداگانه

سطح دمایی	Exchanger	ΔH (KW)	ΔEx (KW)
+ 9.3˚C	E-3408	9210	-512.21
+ 2.1˚C	E-3203	3390	-282.2
-18.3˚C	E-3409,E-3603	17780	-2998.2

باتوجه به اینکه کار مورد نیاز سیستم که توسط کمپرسور سه مرحله‌ای سیکل مصرف می‌شود، برابر با $W = 12780KW$ می‌باشد، لذا می‌توان راندمان اکسرژتیک سیکل را بدین ترتیب محاسبه نمود:

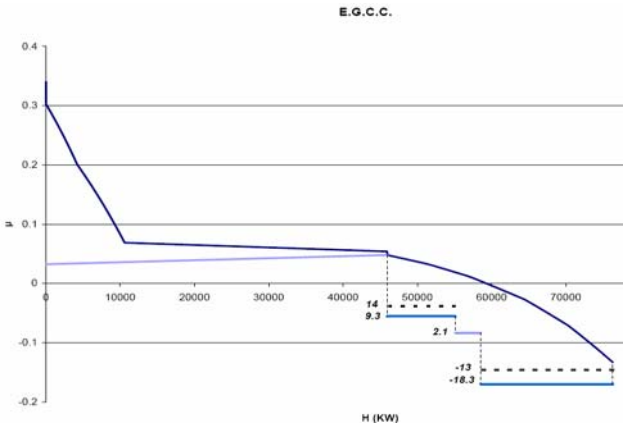
$$\eta_{ex} = \frac{\sum_{i=1}^{3}|\Delta Ex|}{W} = \frac{3793}{12780} = 0.3$$

بهینه‌سازی سطوح دمایی سیکل سرماساز و برآورد میزان کاهش کار محوری

از آنجا که کاهش میزان تلفات اکسرژی ،مستقیماً با سطح موجود بین سطوح دمایی سرماساز و منحنی EGCC متناسب است، لذا می‌توان با انتخاب سطوح سرماساز بهینه (سطوح دمایی که کمترین فاصله ممکن را با فرآیند مرکزی دارند)، تلفات اکسرژی را کاهش داد و در نتیجه از کار محوری مورد نیاز کمپرسورها کاست.

بدین ترتیب سطوح دمایی پیشنهادی، مطابق آنچه در شکل (۳۰) مشخص شده، ارائه گردیده است. همانطور که مشاهده می‌کنید، بجای سطح دمایی ۱۸,۳˚C- ، ۱۳ ˚C- و همچنین بجای سطح دمایی ۹,۳˚C ، ۱٤ ˚C پیشنهاد شده و سطح دمایی ۲,۱˚C بدون تغییر باقی مانده است. اکنون می‌بایست میزان تغییرات اکسرژی هریک از سطوح اصلاحی جدید و در نهایت میزان کاهش کار محوری را تعیین نمود.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]



شکل ۳۰ ـ سطوح دمایی پیشنهادی

بررسی سطوح اصلی سرما ساز سیکل آمونیاک پس از اصلاح و تعیین میزان تغییرات اکسرژی

تغییر اکسرژی هر یک از سطوح بعد از اصلاح، بطور جداگانه در جدول (۱۱) آورده شده، جمع آنها $\sum_{i=1}^{3}|\Delta Ex|_2 = 3234KW$ ، میزان تغییر اکسرژی را در کل سیستم آمونیاک نشان می‌دهد :

جدول ۱۱ـ تغییر اکسرژی هر یک از سطوح بعد از اصلاح

سطح دمایی	Exchanger	ΔH (KW)	ΔEx (KW)
+ 14°C	E-3408	9210	-353
+ 2.1°C	E-3203	3390	-282.2
-13°C	E-3409,E-3603	17780	-2598.6

حال از آنجا که میزان $\sigma T_{o_{HEN}}$ برابر است با اختلاف میان مجموع تغییرات اکسرژی سیکل موجود $\sum \Delta EX_1$ و سیکل اصلاحی $\sum \Delta EX_2$ ، مطابق رابطه زیر خواهیم داشت:

$$\Delta\left(\sigma T_{o_{HEN}}\right) = \sum \Delta EX_1 - \sum \Delta EX_2 \quad \Longrightarrow \quad \Delta\left(\sigma T_{o_{HEN}}\right) = 558KW$$

بدین ترتیب می‌توان با کمک رابطه زیر، میزان کاهش کار محوری ΔW_{act} را محاسبه نمود :

$$\Delta W_{act} = \frac{1}{\eta_{ex}} \Delta\left(\sigma T_{o_{HEN}}\right) \quad \Longrightarrow \quad \Delta W_{act} = 1860KW$$

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

طراحی اصلاحی

همانطور که در شکل (۲٤) ملاحظه می‌کنید ، همه جریانهای ورودی به چیلرها از شیر فشار شکن عبور می‌کنند، این شیرها که بر روی فشار خاصی تنظیم شده اند، دمای سطوح سرماساز را تعیین می‌نمایند. بدین ترتیب بمنظور دستیابی به سطوح دمایی هدفگذاری شده در چیلرها، می‌توان با تغییر فشار این شیرها، به نتایج هدفگذاری شده، دست یافت. لذا برای دستیابی به فشار مورد نظر و همچنین با هدف تأیید نتایج اصلاحی سیکل سرماز توسط نرم افزار HYSYS در دو حالت قبل و بعد از اصلاح شبیه سازی شده و نتایج در جدول (۱۲) گزارش شده است .

اصلاحات انجام شده بر روی سطوح دمایی، تنها باعث تغییرات جزئی در دبی چیلرهای E-3408, E-3409 شده (جدول (۱۳)). از آنجایی که این تغییرات ناچیز می‌باشد و با توجه به اینکه در بار حرارتی چیلرها بعد از اصلاح نیز هیچ گونه تغییری بوجود نیامده است، لذا نیازی به تغییر و یا تعویض چیلرها دیده نمی‌شود.

جدول ۱۲ـ نتایج شبیه سازی سیکل سرماساز قبل و بعد از اصلاح

Exchanger Name	Level Temp. Before Retrofit	Pressure Before Retrofit	Level Temp. After Retrofit	Pressure After Retrofit
E-3203	+ 2.1˚C	4.6 bar	+ 2.1˚C	4.6 bar
E-3408	+ 9.3˚C	6 bar	+14˚C	7.13 bar
E-3409	-18.3˚C	2 bar	-13 ˚C	2.5 bar
E-3603	-18.3˚C	2 bar	-13 ˚C	2.5 bar

جدول ۱۳ـ تغییرات حاصل از اصلاحات انجام شده بر روی سطوح دمایی

Exchanger Name	Level Temp. Before Retrofit	M (Kg/h) Before Retrofit	Level Temp. After Retrofit	M (Kg/h) After Retrofit	Difference
E-3203	+ 2.1˚C	9577	+ 2.1˚C	9577	0.0%
E-3408	+ 9.3˚C	6574	+ 14˚C	6518	0.8%
E-3409	-18.3˚C	145720	- 13˚C	146560	0.5%
E-3603	-18.3˚C	1770	- 13˚C	1770	0.0%

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

نتیجه گیری

با اصلاح سطوح دمایی سرماساز، بدون نیاز به سرمایه گذاری، ۱۵٪ کار کمپرسور سیکل آمونیاک کاهش یافته است. شبیه سازی سیکل آمونیاک پس از اصلاح، کاملا نتایج هدفگذاری را تایید می‌کند. ملاحظه می‌گردد که تکنیک ترکیبی آنالیز پینچ و اکسرژی برای هدفگذاری فرایند دما پایین، بمنظور بهینه‌سازی سطوح سرماساز با دقت بسیار بالایی قادر به پیش بینی میزان بازیافت کارمحوری مورد نیاز می‌باشد. مقایسه بین نتایج هدفگذاری و اصلاح در جدول (١٤) و همچنین نتایج شبیه سازی سیکل سرماساز در دو حالت قبل و بعد از اصلاح در جدول (۱۵) آورده شده است.

جدول ۱۴ـ مقایسه بین نتایج حاصل از طراحی و هدفگذاری در سیکل سرماساز

	Target	Design	Difference
Shaftwork Saving (KW)	1860	1846.18	0.74 %
Total Saving ($/yr)	348408	348408	0.0 %

جدول ۱۵ـ نتایج شبیه سازی سیکل سرماساز در دو حالت قبل و بعد از اصلاح

	$W_{Calc.}(KW)$	$W_{Simulated}(KW)$	Difference	$\Delta W_{Saving}(KW)$
Existing Plant	12780	12753.26	0.21 %	0
Retrofitted Plant	10920	10907.26	0.12 %	1860

منابع

1. K.S. Chari, Energy saving in modern ammonia plants, Chem. Age India 30 (3) (1979) 283±284.
2. I.M. Alatiqi, Online quality control methods for steam-gas reformers, Int. J. Hydrogen Energy 15 (3) (1990),179±185.
3. D.L. Maclean, C.E. Prince, Y.C. Chae, Energy saving modi®cations in ammonia plant, Ammonia Plant Saf 22, (1980) 1±8.
4. N.K. Seturam, Energy conservation on ammonia plant, J. Fact Tech. Soc 14 (1/2) (1981) 14±17.
5. J.A. Camps, J.F. Gentry, Cogeneration capacity and energy modi®cations to existing ammonia plant, Ammonia Plant Safety, AIChE 27 (1987) 36±42.
6. R. Strait, M. Fiechbach, Cut energy costs with co-generation, Hydrocarbon Processing 65 (10) (1986) 55±57.
7. L.J. Buividas, Cut energy costs in NH3 plants, Hydrocarbon Processing 58 (5) (1979) 257±259.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]

8. Polley G.T. & Panjeh Shahi M.H.,“Interfacing Heat Exchanger Network Synthesis and Detailed Heat Exchanger Design”,Trans I.Chem. E. 69A, PP. 445-457, 1991.
9. Linnhoff B. & Dhole V.R.,“Shaftwork Targets for Low Temperature Process Design”, Chem Eng. Sci, Vol 47, No 8 , PP 2081-2091, 1992.
10. Dhole V.R & Linnhoff B., “Overall Design of Low Temperature Processes”, Presented at ESCAPE III Conference, Graz, Austria, also computers and chemical Engineering, Vol 18, Suppl., PP. S105-S111, 1994.
11. Haitham M.S. Lababidi*, Imad M. Alatiqi, Lut® J. Nayfeh, Energy retro®t study of an ammonia plant, Applied Thermal Engineering 20 (2000) 1495±1503
12. Yao Wanga,*, Jian Dua, Jintao Wua, Gaohong Hea,Guozhu Kuanga, Xishan Fana, Pingjing Yaoa,Shenglin Lub, Peiyi Lib, Jigang Taob, Yong Wanb, Zhengyang Kuangb, Yong Tianb, Application of total process energy-integration in retrofitting an ammonia plant,, Applied Energy 76 (2003) 467–480
13. Rahul Anantharaman *, Own Syed Abbas, Truls Gundersen, Energy Level Composite Curves—a new graphical methodology for the integration of energy intensive processes, Applied Thermal Engineering xxx (2005)
14. Zornitza Kirova-Yordanova, Exergy analysis of industrial ammonia synthesis, Energy 29 (2004) 2373–2384

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-18]