

## تجزیه و تحلیل سیستم تبرید واحد آمونیاک به منظور کاهش مصرف انرژی

پهروز راعی<sup>۱\*</sup>، فرهاد شهرکی<sup>۲</sup>، محمد خرم<sup>۲</sup>، آرزو قادی<sup>۳</sup>

- ۱- عضو هیات علمی گروه مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ماهشهر
- ۲- دانشیار گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان
- ۳- عضو هیات علمی گروه مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آیت الله املی

تاریخ پذیرش: ۸۷/۵/۲۴

تاریخ دریافت: ۸۵/۱۲/۱۶

### چکیده

برای افزایش راندمان مصرف انرژی و کاهش اتلاف حرارتی در صنایع مختلف، چندین روش وجود دارد که یکی از بهترین آنها فناوری پینچ می‌باشد. در این مقاله ابتدا شبکه تبادلگرهای حرارتی سیستم تبرید واحد آمونیاک مجتمع پتروشیمی رازی به منظور کاهش مصرف انرژی با استفاده از فناوری پینچ مورد تحلیل قرار گرفت. با استفاده از نتایج به دست آمده، مشخص گردید که فناوری پینچ توانایی هدف‌گذاری کار محوری را نداشته و پیشنهاد گردید، برای بهینه‌سازی واحدهایی که دارای سیستم تبرید و توان هستند از روش تحلیل ترکیبی پینچ و اکسرژی (CPEA) استفاده گردد. در قسمت تحلیل سیستم با استفاده از روش ترکیبی پینچ و اکسرژی، نتیجه گردید که در سیستم تبرید واحد آمونیاک از جریان‌های سرد فرآیندی (آمونیاک سرد تولیدی) برای خنک کردن جریان‌های گرم واحد استفاده می‌گردد، به همین دلیل امکان اصلاح سیکل تبرید بدون تغییر در فرآیند مرکزی امکان‌پذیر نیست. سپس پیشنهادهایی برای بهبود سیستم تبرید ارائه گردیده است که از جمله می‌توان به استفاده از اکونومایزر، پیش‌خنک کننده و سیکل چند مرحله‌ای در واحد و همچنین حذف جریان 111-FFD3 را نام برد. بعد از تجزیه و تحلیل واحد مشخص گردید که تبادلگر 128-E به عنوان پیش‌خنک کننده و فلش‌های 110-F و 111-F و 112-F به عنوان اکونومایزر در سیستم تبرید واحد آمونیاک عمل نموده و همچنین مایع سردساز آمونیاک در سه سطح دمایی ۳۳-، ۷- و ۱۳/۵ درجه سانتیگراد (سیکل تبرید سه مرحله‌ای) در واحد استفاده می‌گردد که این عوامل همگی کاهش کار محوری مصرفی در کمپرسور را سبب می‌گردند. همچنین حذف جریان 111-FFD3 منجر به کاهشی به میزان ۲٪ در اتلاف اکسرژی شبکه تبادلگرهای حرارتی سیستم گردید.

واژه‌های کلیدی: تبرید، پینچ، اکسرژی، بهینه‌سازی، آمونیاک

### ۱- مقدمه

از این طریق باعث کاهش هزینه‌های جاری تولید و نیز کاهش وابستگی به کشورهای صادر کننده نفت گردد، آغاز کردند که منجر به معرفی فناوری پینچ به عنوان ابزاری جهت طراحی بهینه شبکه تبادلگرهای حرارتی گردید. فناوری پینچ امروزه کاربرد وسیعی پیدا نموده اما آنچه به عنوان محدودیت در این فناوری مطرح می‌شود، این است که تحلیل پینچ تنها به تحلیل حرارتی سیستم‌ها پرداخته و قادر به بررسی توان یا کار محوری نمی‌باشد. به بیانی دیگر این

آغاز بحران انرژی و افزایش شدید قیمت نفت در بازارهای جهانی در اوایل دهه ۱۹۷۰ میلادی باعث گردید تا کشورهای صنعتی غرب که به طور عمده وارد کننده نفت خام و سایر فرآورده‌های نفتی و گاز طبیعی بودند، تحقیقات گسترده‌ای را به منظور دسترسی به فناوری جدیدی که بتواند مصرف انرژی را در یک فرآیند شیمیایی به حداقل برساند، تا

\*- نویسنده مکاتبه کننده

برطرف گردید و در اواسط دهه نود با کاربرد تئوری تجزیه سازی منطقه‌ای مسائلی که این فناوری را غیر قابل اجرا و غیر اقتصادی نشان می‌دادند برطرف گردید [۳]. ابزارهای تحلیل پینچ منحنی ترکیبی و منحنی ترکیبی جامع<sup>۴</sup> می‌باشد که در شکل ۱ چگونگی رسم منحنی ترکیبی و منحنی ترکیبی جامع نشان داده شده است.

همان طور که در مقدمه بیان گردید نقطه ضعف فناوری پینچ این است که برای مسائل آستانه و سیستم‌هایی که علاوه بر انرژی حرارتی با کار محوری یا توان نیز سروکار دارند مانند سیستم‌های سرماساز، توربین‌های بخار و گاز مناسب نیست. در این سیستم‌ها بررسی بار حرارتی به تنهایی کافی نمی‌باشند به این دلیل تحلیل اکسرژی به عنوان ابزاری جهت تقویت فناوری پینچ به منظور تحلیل همزمان انرژی حرارتی و کار محوری معرفی می‌گردد.

### ۳- تحلیل اکسرژی

اکسرژی عبارتست از بیشینه کار محوری که می‌توان از یک مقدار انرژی در شرایط ایده آل و از مجموعه ای از سیستم‌ها و تجهیزات ایده ال دریافت نمود. به عبارت دیگر، اکسرژی کار محوری به دست آمده از یک جریان است، اگر آن جریان در یک فرآیند برگشت پذیر به تعادل ترمودینامیکی و اجزای یکسان با محیط رسانده شود. منظور از تحلیل اکسرژی، مشخص نمودن تلفات اکسرژی در یک فرآیند است، که ناشی از برگشت ناپذیر بودن آن فرآیند می‌باشد و این شناسایی می‌تواند به تصمیم گیری در بهبود فناوری فرآیند، جهت کاهش مصرف انرژی یا کاهش میزان مواد زائد تخلیه شده به محیط منجر گردد، در حالی که یک فرآیند اگر فقط تحلیل انرژی گردد، چنین شناختی را به طراح نمی‌دهد [۴].

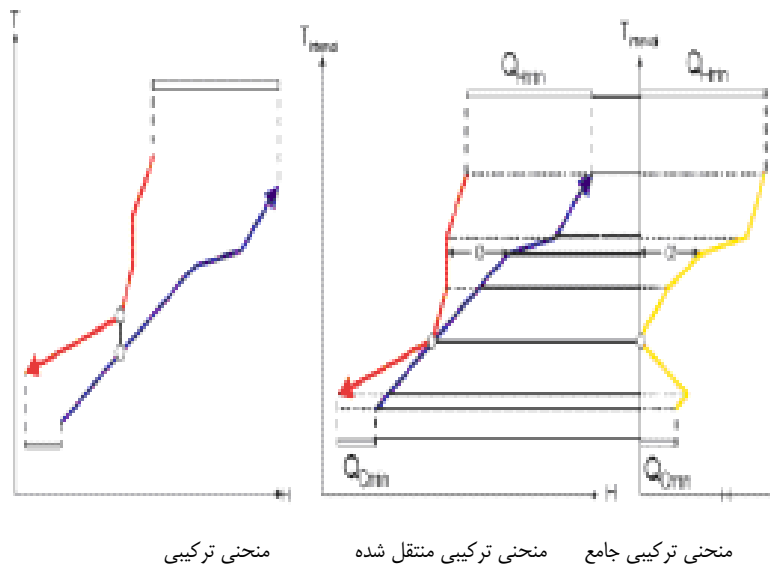
فناوری برای مسائل آستانه<sup>۲</sup> و همچنین سیستم‌هایی مانند سیکل‌های سرماساز و توربین‌های بخار که علاوه بر انرژی حرارتی با توان یا کار محوری نیز سروکار دارند، به تنهایی کاربرد نداشته و تحلیل اکسرژی به عنوان ابزاری دیگر جهت بررسی توان یا کار محوری به کار گرفته می‌شود. به این صورت که با ترکیب مناسب از تحلیل پینچ و تحلیل اکسرژی می‌توان به راه حلی عملی و مفید جهت بررسی همزمان انرژی حرارتی و کار محوری این‌گونه سیستم‌ها دست یافت. این تکنیک تحت عنوان تحلیل ترکیبی پینچ و اکسرژی<sup>۳</sup> و به اختصار CPEA نامیده می‌شود.

از طرفی آمونیاک یکی از محصولات شیمیایی تولیدی مهم در جهان است. به خصوص با رشد فزاینده جمعیت و نیاز به تولید مواد غذایی بیشتر، اهمیت آن هر روز بیشتر نیز می‌گردد. میزان مصرف انرژی در تولید آمونیاک زیاد بوده به طوری که برای تولید یک تن از آن به میزان ۳۵-۵۰ گیگا ژول انرژی مورد نیاز است که این مقدار به ماده اولیه و نوع فرآیند بستگی خواهد داشت [۱]. در این مقاله سیستم تبرید واحد آمونیاک مجتمع پتروشیمی رازی با استفاده از فناوری پینچ و روش تحلیل ترکیبی پینچ و اکسرژی به منظور کاهش مصرف انرژی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

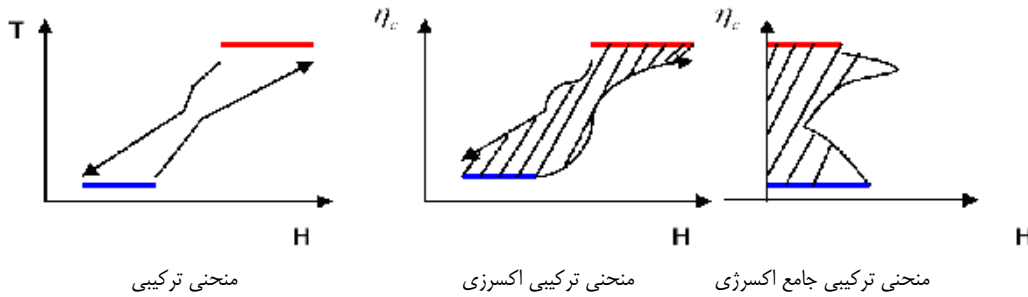
### ۲- تحلیل پینچ

در اواخر دهه هفتاد میلادی *Vredeveld* و *Linnhoff* روش ترمودینامیکی را برای کاهش مصرف انرژی در شبکه تبادلگرهای حرارتی مورد بررسی قرار دادند و مفاهیمی همانند منحنی ترکیبی<sup>۴</sup> را به عنوان ابزاری مهم در بازیافت انرژی حرارتی معرفی نمودند [۲]. با گذشت زمان فناوری پینچ توسعه چشمگیری پیدا نمود، به طوری که علاوه بر شبکه تبادلگرهای حرارتی برای بهینه سازی مصرف انرژی در برج‌های تقطیر، کوره‌ها، تبخیر کننده‌ها، توربین‌ها، راکتورها نیز به کار برده می‌شود. البته این فناوری با مشکلاتی رو به رو گردید که می‌توان به محدودیت افت فشار در اصلاح سیستم‌های موجود، پیچیدگی واحد، هزینه لوله کشی، مشکلات ایمنی و غیره اشاره نمود. در ابتدای دهه نود میلادی با ارائه راهکاری مناسب مشکل محدودیت افت فشار

Threshold<sup>2</sup><sup>۲</sup> Combined Pinch & Exergy Analysis<sup>۳</sup> Composite Curve<sup>۴</sup> Grand Composite Curve



شکل ۱- ابزارهای تحلیل پینچ



شکل ۲- منحنی‌های EGCC و ECC

ترمودینامیکی مشخص کند و همچنین توانایی فراوانی در تعیین جهت دهی به طراح، برای شناسایی نقاط ضعف سیستم مورد مطالعه دارد اما هیچ گونه راه حل عملی برای کاهش اتلاف ارائه نمی‌دهد. از طرفی فناوری پینچ در هنگام برخورد با مسئله شبکه تبادلگرهای حرارتی با هدفگذاری انرژی حرارتی، بهترین طراحی را با استفاده از مفاهیم پایه ترمودینامیک و انتقال حرارت پیشنهاد می‌دهد بدون این که وارد مسائل پیچیده مربوط به طراحی گردد. اما این روش در هنگام برخورد با سیستم‌هایی که توان تولید یا مصرف می‌نمایند به دلیل این که فقط هدفگذاری حرارتی را در نظر می‌گیرد از توانایی لازم برخوردار نیست. بنابراین در طراحی سیستم‌های تولید و مصرف توان فناوری پینچ به تنهایی کاربرد نداشته و باید از یک ابزار جانبی برای تقویت آن استفاده نمود. در نتیجه می‌توان به اهمیت روش تحلیل ترکیبی پینچ و اکسرژی پی برد. در این روش از منحنی

اگر فرض نماییم یک جریان با آنتالپی  $H_1$  و آنتروپی  $S_1$  وارد ماشین برگشت پذیر شده و پس از تغییراتی که در شرایط آن بوجود می‌آید با آنتالپی  $H_2$  و آنتروپی  $S_2$  خارج گردد. با صرف نظر نمودن از سرعت‌های ورودی و خروجی جریان و همچنین تغییر ارتفاع آن با نوشتن موازنه انرژی و آنتروپی در اطراف ماشین تغییر اکسرژی جریان از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\Delta EX = EX_1 - EX_2 = (H_2 - H_1) - T_0 (S_2 - S_1) = \Delta H - T_0 \Delta S \quad (1)$$

#### ۴- تحلیل ترکیبی پینچ و اکسرژی

با وجود این که تحلیل اکسرژی به خوبی قادر است منابع اتلاف را در یک سیکل ترمودینامیکی شناسایی نماید، مقادیر دقیق آنها را مشخص نموده و فرآیندهای نامطلوب را از نظر

گرفت که مساله از نوع آستانه است. در این حالت اگر به منظور افزایش میزان بازیافت انرژی با نزدیک کردن منحنی‌های ترکیبی گرم و سرد به یکدیگر، میزان  $\Delta T_{\min}$  را کاهش دهیم میزان بازیافت حرارتی بدون هرگونه افزایشی ثابت می‌ماند، که علت آن هم ثابت ماندن میزان سرویس‌های جانبی مورد نیاز است بنابراین سیستم دیگر تابع قوانین پینچ نمی‌باشد. همچنین در سیستم تبرید به کار محوری نیاز داشته و بنابراین علاوه بر تحلیل حرارتی سیستم که با فناوری پینچ انجام گرفته است، به تحلیل کار محوری هم نیاز خواهیم داشت، و چون فناوری پینچ به تنهایی قادر به تحلیل حرارتی و کار محوری با هم نمی‌باشد، استفاده از تحلیل ترکیبی پینچ و اکسرژی به منظور هدف‌گذاری همزمان حرارتی و کار محوری سیستم تبرید پیشنهاد می‌گردد.

#### ۵-۲ تحلیل سیستم با روش ترکیبی پینچ و اکسرژی

در یک سیکل تبرید برای تولید سرما کار محوری مصرف می‌گردد، از این رو سیکلی ایده آل است که کمترین میزان مصرف کار محوری را در کمپرسورهای خود داشته باشد. بنابراین هدف اصلی از بهینه سازی سیکل‌های تبرید به حداقل رساندن میزان کار محوری مصرفی است. پس بررسی و بهینه سازی یک سیکل سرماساز بیش از هر چیز تحت تاثیر میزان کار محوری مورد نیاز آن قرار دارد.

منحنی‌های EGCC و ECC سیستم تبرید در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است. اتلاف اکسرژی در شبکه تبادلگرهای حرارتی (سطح‌هاشور خورده در منحنی EGCC) برابر  $6/6$  MW به دست آمده است. (نرم افزار مورد استفاده در این قسمت Aspen Pinch بوده است [۸]).

ترکیبی اکسرژی (ECC) و منحنی ترکیبی جامع اکسرژی (EGCC) برای تحلیل سیستم‌ها استفاده می‌گردد، به این ترتیب که با تغییر محور دما به فاکتور کارنو ( $\eta_c = 1 - T_0/T$ ) منحنی ترکیبی اکسرژی رسم شده سپس به کمک آن منحنی ترکیبی جامع اکسرژی رسم می‌گردد. مساحت بین دو منحنی ترکیبی متناسب با افت اکسرژی در شبکه تبادلگرهای حرارتی خواهد بود. شکل ۲ ابزارهای تحلیل ترکیبی پینچ و اکسرژی را نشان می‌دهد. [۶].

#### ۵- نتایج و بحث

مورد مطالعاتی در این مقاله، واحد آمونیاک مجتمع پتروشیمی رازی می‌باشد. در این واحد از گاز طبیعی به عنوان خوراک استفاده گردیده و از روش کلاگ<sup>۱</sup> برای تولید آمونیاک استفاده می‌شود. واحد آمونیاک از پنج قسمت کلی تشکیل گردیده که شامل قسمت‌های سولفور زدایی، ریفرمینگ و تبدیل شیفته، حذف  $CO_2$ ، متاناسیون و سنتز آمونیاک و در نهایت تبرید و خالص سازی می‌باشد.

#### ۵-۱ تحلیل شبکه تبادلگرهای حرارتی با استفاده از فناوری پینچ

برای به دست آوردن اطلاعات طراحی مورد نیاز، سیستم تبرید واحد آمونیاک مورد شبیه سازی قرار گرفت. معادله حالت پنگ-رابینسون<sup>۲</sup> در شبیه سازی استفاده گردید (برای شبیه سازی استاتیکی از نرم افزار Aspen Plus استفاده شد). با مقایسه نتایج حاصل از شبیه سازی با داده‌های طراحی و اطمینان حاصل کردن از دقت شبیه سازی، استخراج داده‌های حرارتی مورد نیاز برای تحلیل پینچ انجام گرفت. نحوه استخراج اطلاعات مورد نیاز برای انجام هدف‌گذاری و طراحی یک فرآیند، نقش مهمی در جهت اجرای صحیح آن دارد. جدول ۱ اطلاعات حرارتی مورد نیاز را نشان می‌دهد [۷].

شکل‌های ۳ و ۴ منحنی ترکیبی و منحنی ترکیبی جامع سیستم تبرید واحد آمونیاک را در  $\Delta T_{\min}$  برابر ۵ درجه سانتیگراد نشان می‌دهد.

شکل ۵ نمودار پنجره ای (Grid Diagram) شبکه تبادلگرهای حرارتی واحد را نشان می‌دهد.

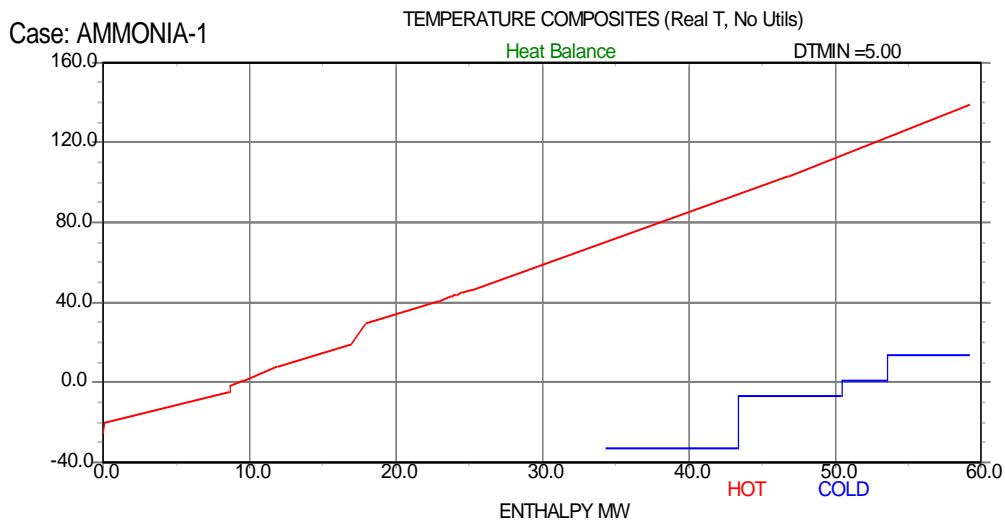
با توجه به منحنی‌های CC و GCC مشخص می‌گردد که سیستم، فقط به واحد پشتیبانی سرد نیاز داشته و شبکه اصولاً نیازی به انرژی گرمایشی ندارد، بنابراین می‌توان نتیجه

<sup>۱</sup>Kellogg

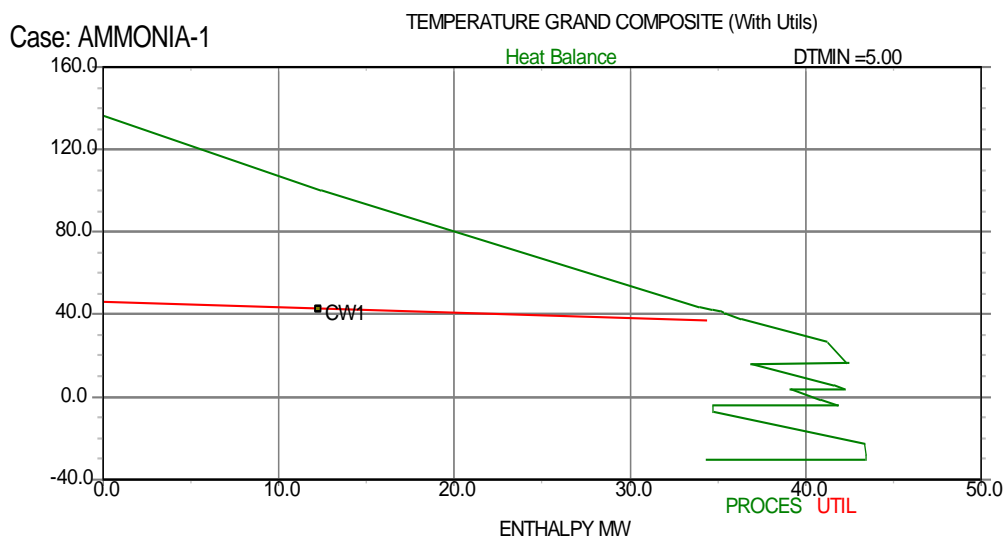
<sup>۲</sup>Peng-Robinson

جدول ۱ - جریان‌های حرارتی مورد نیاز برای تحلیل پینچ

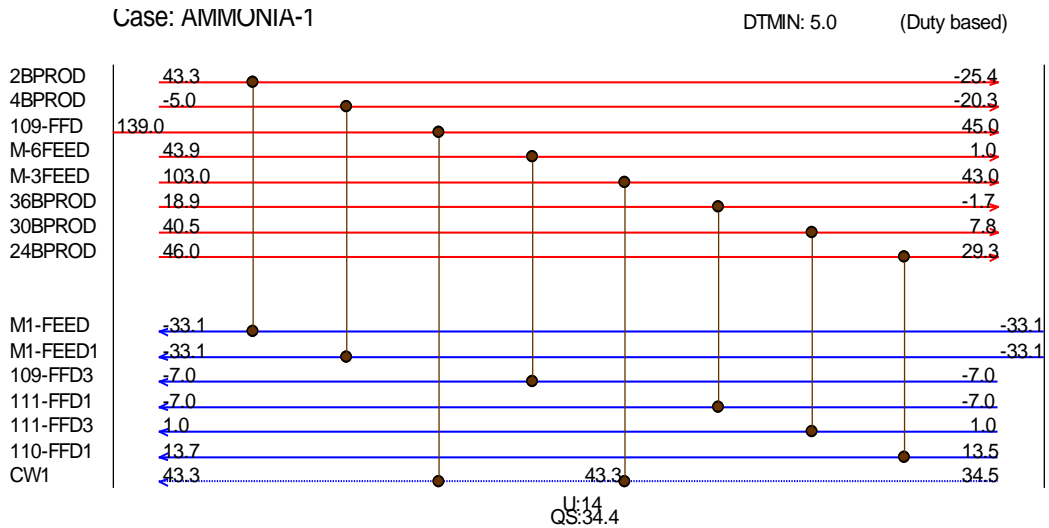
Stream Name	Type	Supply Temp(°C)	Target Temp(°C)	Duty(MW)	MCP(kW/°C)	HTC(kW/m <sup>2</sup> k)
2BPROD	گرم	۴۳/۳	-۲۵/۳۵	۰/۵	۷/۳۵	۱/۰۵
4BPROD	گرم	-۵	-۲۰/۲۸	۸/۵۳	۵۵۸/۲۹	۴/۸۹
109-FFD	گرم	۱۳۹	۴۵	۳۲/۱۹	۳۴۲/۴۷	۰/۴۸
M1-FEED	سرد	-۳۳/۱۲	-۳۳/۱۱	۰/۵	۵۰۴۵۰/۹۴	۱/۲۶
M6-FEED	گرم	۴۳/۸۶	۱	۰/۱۸	۴/۱۵	۰/۸۲
M3-FEED	گرم	۱۰۳	۴۳	۲/۲	۳۶/۶۹	۰/۷
M1-FEED1	سرد	-۳۳/۱۲	-۳۳/۱۱	۸/۵۳	۸۵۳۰۶۰/۵	۳/۹۵
109-FFD3	سرد	-۷/۰۱	-۷	۰/۱۸	۱۷۷۸۲/۲۷	۰/۷۵
36BPROD	گرم	۱۸/۹	-۱/۷	۶/۸۹	۳۳۴/۶۷	۴/۵۵
30BPROD	گرم	۴۰/۵	۷/۸	۳/۰۹	۹۴/۵۷	۳/۷۴
111-FFD1	سرد	-۷/۰۱	-۷	۶/۸۹	۶۸۹۴۲۶/۴	۳/۹۸
110-FFD1	سرد	۱۳/۵	۱۳/۶۷	۵/۶۲	۳۳۰۷۰/۲۵	۴/۲
24BPROD	گرم	۴۶	۲۹/۳۳	۵/۶۲	۳۳۷/۲۵	۱/۱۵
111-FFD3	سرد	۱	۱/۰۱	۳/۰۹	۳۰۹۲۴۱/۷	۳/۲۵



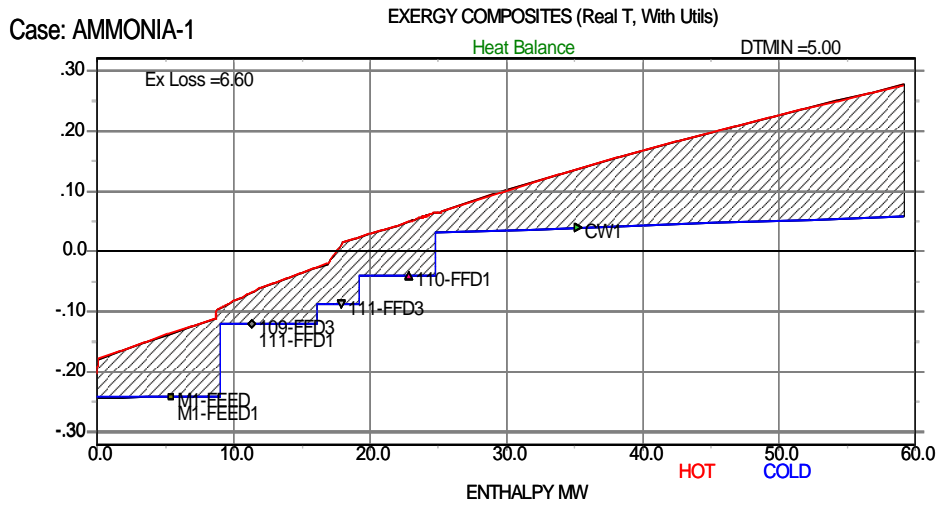
شکل ۳ - منحنی ترکیبی (CC)



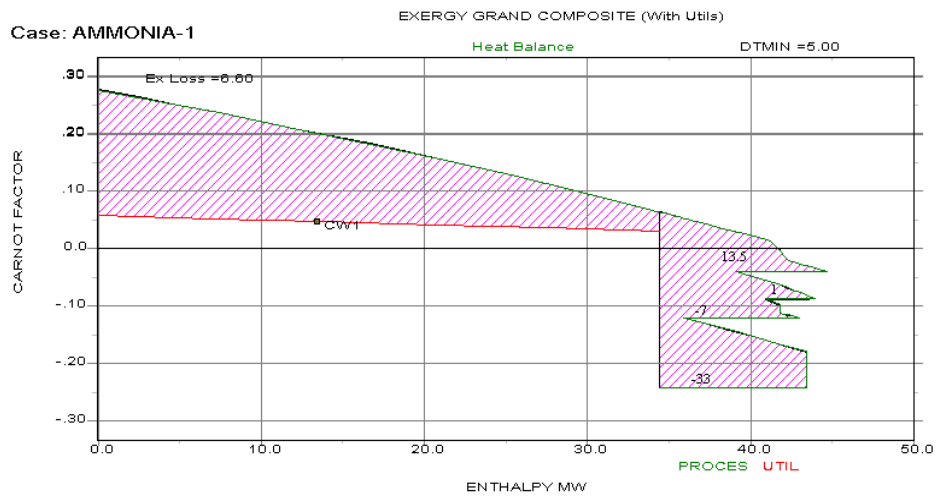
شکل ۴ - منحنی ترکیبی جامع (GCC)



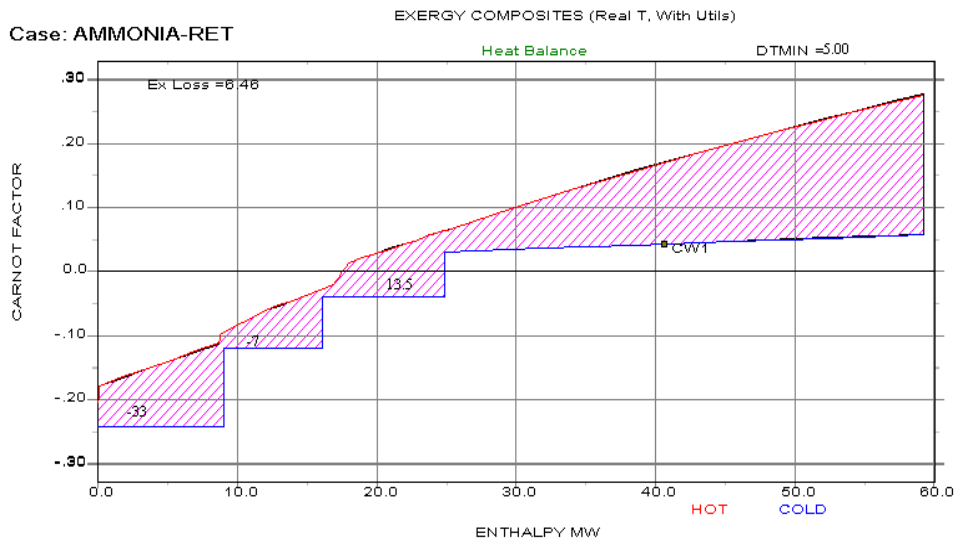
شکل ۵- نمودار شبکه‌ای (Grid Diagram)



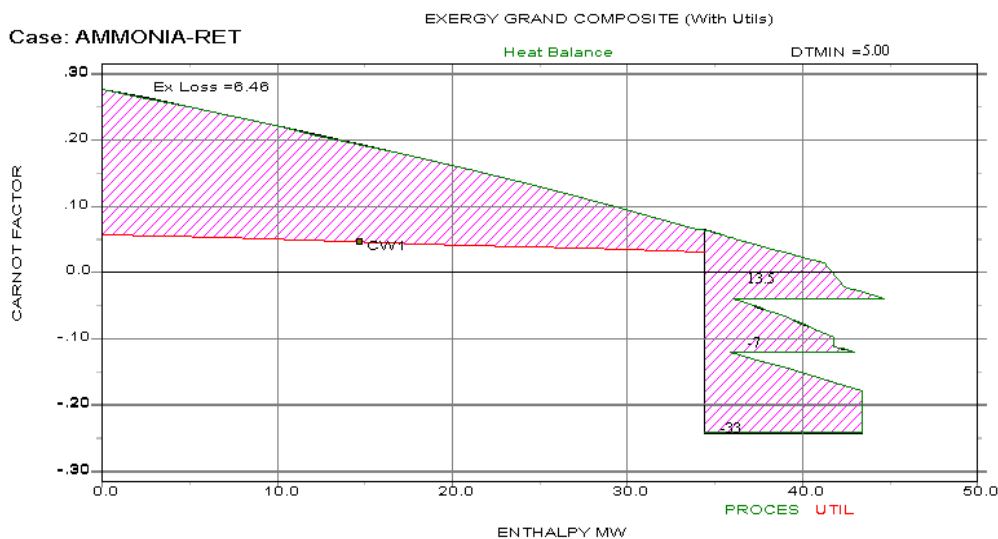
شکل ۶- منحنی ECC



شکل ۷- منحنی EGCC



شکل ۸- منحنی ECC بعد از اصلاح



شکل ۹- منحنی EGCC بعد از اصلاح

محوری بپردازد ولی با توجه به نتایج به دست آمده از سیستم تبرید واحد آمونیاک، امکان اصلاح سیکل بدون تغییر در فرآیند مرکزی وجود ندارد. از آنجایی که تغییر در فرآیند مرکزی معمولاً مستلزم هزینه زیاد و همچنین بروز مشکلات فرآیندی را احتمالاً در واحد منجر خواهد شد لذا از تغییر در فرآیند مرکزی (اصلی) به منظور اصلاح در این تحقیق صرفنظر گردیده است.

#### ۶- ارائه پیشنهادات

با نتایج به دست آمده مشخص گردید که تابع هدف برای اصلاح سیستم تبرید، کاهش کار محوری مصرفی در کمپرسور می‌باشد به همین دلیل پیشنهاداتی که برای کاهش

باتوجه به شکل‌های ۶ و ۷ نتیجه می‌شود که جریان‌های سرد فرآیندی موجود در واحد (شامل جریان‌های-M1, FEED, M1-FEED1 109-FFD3, 111-FFD1, 111-FFD3, 110-FFD1) به عنوان جریان‌های سردساز آمونیاک در دماهای ۳۳-، ۷-، ۱ و ۱۳/۵ درجه سانتیگراد برای سرد کردن جریان‌های گرم فرآیندی استفاده می‌گردند. چون یک فرآیند دما پایین از سه جز اصلی فرآیند مرکزی، سیستم شبکه تبادلگرهای حرارتی<sup>۱</sup> و سیستم تبرید تشکیل می‌گردد، مزیت کاربرد روش تحلیل ترکیبی پینچ و اکسرژی این بوده که به طراح این اجازه را می‌دهد که بدون تغییر در فرآیند مرکزی به هدف گذاری حرارتی و کار

<sup>۱</sup> Heat Exchanger Network

خنک کردن جریان‌های گرم فرآیندی استفاده می‌گردد. این عمل نیز باعث کاهش کار محوری مصرفی در کمپرسور گردید.

سیستم تبرید آبشاری<sup>۲</sup>: برای فرآیندهای دمایی بسیار پایین معمولاً از سیستم تبرید آبشاری استفاده می‌گردد. به طور مثال در فرآیند تولید الفین، سیستم تبرید شامل دو نوع ماده سردساز اتیلن و پروپیلن بوده که تامین برودتی در حدود دمای ۱۰۱- درجه سانتی گراد را امکانپذیر می‌نماید. در سیستم تبرید واحد آمونیاک ماده سرما ساز فرآیندی بوده و لزومی به استفاده از سیستم تبرید آبشاری نمی‌باشد. چون کاهش در سطح بین منحنی EGCC متناسب با کاهش اتلاف اکسرژی در شبکه می‌باشد پیشنهاد می‌گردد که جریان آمونیاک در دمای ۱ درجه سانتیگراد (جریان 111-FFD3) از سیستم حذف گردد. شکل‌های ۸ و ۹ منحنی ECC و EGCC فرآیند را بعد از اصلاح نشان می‌دهد.

با مقایسه بین منحنی EGCC قبل و بعد از اصلاح، مشخص می‌گردد که حذف این جریان سردساز، باعث کاهش اتلاف اکسرژی به میزان ۲٪ در شبکه تبادلهای واحد می‌شود.

#### ۷- نتیجه گیری

در این مقاله ابتدا واحد تبرید آمونیاک به منظور اصلاح شبکه تبادلهای حرارتی با استفاده از فناوری پینچ مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از نتایج به دست آمده مشخص گردید که اگرچه کاهش اتلاف انرژی از طریق فناوری پینچ افزایش در راندمان سیستم و کاهش هزینه را در بر دارد اما توانایی هدفگذاری کار محوری را نداشته و برای بهینه سازی واحدهایی که دارای کار محوری هستند باید از روش تحلیل ترکیبی پینچ و اکسرژی استفاده نمود. در قسمت تحلیل سیستم با استفاده از روش ترکیبی پینچ و اکسرژی، نتیجه گردید که در سیستم تبرید واحد آمونیاک از جریان‌های سرد فرآیندی برای خنک کردن جریان‌های گرم فرآیند استفاده می‌گردد، به همین دلیل امکان اصلاح سیکل تبرید واحد آمونیاک بدون تغییر در فرآیند مرکزی امکانپذیر نیست. در مرحله بعد پیشنهادهایی که برای بهبود سیستم‌های تبرید (بدون تغییر در فرآیند مرکزی) ارائه می‌گردند در واحد

کار محوری در سیستم تبرید ارائه می‌گردد در واحد مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. یک سیکل تبرید تراکمی از چهار قسمت تشکیل گردیده که شامل فرآیندهای تراکم تک آنتروپی در کمپرسور، دفع گرما در کندانسور، فشار شکنی در شیر انبساط و جذب گرما در تبخیر کننده می‌باشد. برای کاهش کار محوری مصرفی پیشنهادهای زیر ارائه می‌گردد:

۱. استفاده از اکونومایزر: در یک اکونومایزر ماده سردساز کندانس شده تا یک فشار میانی، تحت تبخیر ناگهانی قرار می‌گیرد، به طوری که بخار فلش به قسمت مکش کمپرسور برگشت داده شده و مایع باقی مانده برای رسیدن به دمای پایین تر تبخیر می‌گردد. در نتیجه میزان جریان بخار در قسمت فشار پایین سیستم کاهش یافته که این امر باعث کاهش کار محوری مصرفی در سیستم تبرید خواهد گردید. با بررسی سیستم تبرید آمونیاک مشخص می‌گردد که تبادلهای 110-F و 111-F و 112-F این وظیفه را در سه مرحله انجام می‌دهند، این عمل همچنین به خروج گازهای سبک که به مقدار ناچیز در آمونیاک باقی مانده نیز کمک می‌نماید و باعث خلوص محصول نهایی آمونیاک می‌گردد.

۲. استفاده از پیش خنک کننده: با استفاده از پیش خنک کننده در سیستم تبرید، بخار فوق اشباع ماده سردساز بعد از متراکم شدن در کمپرسور بوسیله واحد پشٹیانی خارجی سرد می‌گردد، قبل از اینکه بیشتر متراکم گردد. در نتیجه میزان کار محوری مصرفی و بار حرارتی پیش خنک کننده کاهش خواهد یافت. در سیستم تبرید مورد مطالعه تبادلهای 128-E این وظیفه را انجام می‌دهد. به این صورت که بخار آمونیاک خروجی مرحله اول کمپرسور که دارای دمای ۱۰۳ درجه سانتیگراد و فشار ۶/۷ بار می‌باشد توسط آب خنک کننده (CW) تا دمای ۴۳ درجه سرد می‌گردد و بعد از خنک شدن وارد کمپرسور مرحله دوم کمپرسور گردیده و به فشار حدود ۱۸ بار می‌رسد.

۳. استفاده از سیکل چند مرحله ای<sup>۲</sup>: اگر فرآیندی به سیستم سرد سازی در دامنه وسیعی از دما نیاز داشته باشد، می‌توان از سیستم تبرید در سطوح مختلف و سیکل تبرید چند مرحله‌ای استفاده نمود. در واحد مورد مطالعه، آمونیاک در سه سطح دمایی ۳۳-، ۷- و ۱۳/۵ درجه سانتیگراد برای

<sup>۲</sup> Cascade refrigeration system

<sup>۱</sup> Multistage cycle



3. M.M. El-Halwagi, V. Manousiouthakis, "Synthesis of Mass Exchanger Network", *AICHE J.*, Vol. 8, (1989) 1233-1244.
4. D.R. Morris, "Exergy analysis and cumulative exergy consumption of complex chemical process", *Chemical Engineering Science*, Vol.40, No.2, (1991) 459-456.
5. J. Szargut, D.R. Morris, F.R. Steward, *Exergy Analysis of Thermal, Chemical and Metallurgical process*, Hemisphere publishing, New York, (1988).
6. A.C. Neto, P. Pilidis, "An Exergy Analysis of Novel Power Generation Systems", *ASME*, (1998) 290-294
۷. راعی، بهروز، "طراحی و تحلیل شبکه تبادلگرهای حرارتی سیستم تبرید و خالص سازی واحد آمونیاک مجتمع پتروشیمی رازی با استفاده از فناوری پینچ"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۱۳۸۵
8. Aspen Engineering Suite 11.1, Aspen Technology, Inc., Cambridge, MA 02141-2201, USA, October 2

مطالعاتی مورد بررسی قرار گرفت. استفاده از اکونومایزر و پیش خنک کننده برای بهبود سیستم‌های تبرید پیشنهاد می‌گردد که مشخص شد تبادلگر 128-E به عنوان خنک کننده میانی<sup>۴</sup> و فلش‌های 110-F و 111-F و 112-F به عنوان اکونومایزر در سیستم تبرید واحد آمونیاک استفاده گردیده که باعث کاهش کار محوری مصرفی خواهند شد. همچنین مایع سردساز آمونیاک در سه سطح دمایی ۳۳-، ۷- و ۱۳/۵ درجه سانتیگراد برای تبرید استفاده گردیده که با استفاده از این سیکل تبرید سه مرحله‌ای، کاهش کار محوری مصرفی را در پی خواهد داشت. همچنین حذف جریان 111-FFD3 به میزان ۲٪ اتلاف اکسرژی شبکه تبادلگرهای حرارتی را کاهش می‌دهد.

برای مطالعات بعدی می‌توان واحد مورد مطالعه را تحلیل اکسرژی نمود تا قسمت‌هایی از فرآیند را که دارای اتلاف اکسرژی بالایی هستند شناسایی گردند تا با ارائه راهکارهایی اتلاف اکسرژی و در نتیجه مصرف انرژی را در واحد کاهش داد. (بیشترین افت اکسرژی در سیستم‌های تبرید مربوط به کمپرسورها می‌باشد).

#### فهرست اختصارات

CPEA (Combined Pinch & Exergy Analysis)	روش تحلیل ترکیبی پینچ و اکسرژی
CC (Composite Curve)	منحنی ترکیبی
GCC (Grand Composite Curve)	منحنی ترکیبی جامع
ECC (Exergy Composite Curve)	منحنی ترکیبی اکسرژی
EGCC (Exergy Grand Composite Curve)	منحنی ترکیبی جامع اکسرژی
HEN (Heat Exchanger Network)	شبکه تبادلگرهای حرارتی

#### ۸- مراجع

1. M.S.L. Lababidi, I.M. Alatiqi, L.J. Nayfeh, "Energy retrofits study of an ammonia plant", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 20, (2000)1495-503.
2. Pinch Technology: Basics for the Beginners, [www.cheresources.com](http://www.cheresources.com)

<sup>۴</sup> Intercooler



