

# امکان سنجی فنی - اقتصادی به کارگیری لوله‌های گرمایی در واحدهای عملیاتی پالایشگاه گاز شهید هاشمی نژاد

محمد صفری، علیرضا غلامرضازاده<sup>۱</sup>، مهدی نیکنام شاهرک<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی مهندسی شیمی، دانشگاه مهندسی فناوری نوین قوچان- خراسان رضوی، قوچان

۲- استادیار گروه مهندسی شیمی، دانشگاه مهندسی فناوری نوین قوچان- خراسان رضوی، قوچان

نویسنده مسئول، ایمیل: m.niknam.sh@qiet.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۲/۲۱

## چکیده:

گاز طبیعی به‌عنوان یک سوخت پاک و در دسترس، سالهاست که مورد توجه واقع شده است. اتلاف حرارت در اغلب تأسیسات، فرآیندی پالایشگاه‌های گازی، امری اجتناب‌ناپذیر است. لذا باید از این حرارت اتلافی به بهترین نحوی ممکن استفاده و یا به نوعی آن را بازیابی کرد. در این مقاله ضمن معرفی و آشنایی با یکی از راهکارهای بازیافت حرارت یعنی لوله‌ی گرمایی، به تجزیه و تحلیل امکان‌سنجی استفاده از لوله‌های گرمایی در سه واحد اصلی تصفیه‌ی گاز<sup>۱</sup>، بازیافت گوگرد<sup>۲</sup> و تقطیر میعانات گازی<sup>۳</sup> پالایشگاه گاز شهید هاشمی نژاد سرخس پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهد استفاده از لوله‌های گرمایی در بخش‌های مختلف واحدهای عملیاتی این پالایشگاه، سالانه در حدود ۱/۸ میلیون دلار صرفه‌جویی اقتصادی به همراه خواهد داشت.

کلمات کلیدی: واحد تصفیه‌ی گاز، بازیافت گوگرد، تقطیر میعانات گازی، لوله‌ی گرمایی، بازیافت انرژی.

## ۱- مقدمه

به کشور هند برسانند، چرا که در حال حاضر اتلاف انرژی در ایران ۰/۴۷ درصد است [۱].<sup>۲۳</sup> پالایشگاه‌ها از یک سو بزرگ‌ترین مصرف‌کننده‌ی انرژی در بخش صنعت و از دیگر سو، تبدیل‌کننده و تولیدکننده‌ی انرژی هستند. ایران یکی از کشورهای دارنده‌ی بزرگترین ذخایر گاز طبیعی و نفت جهان است و همین عامل باعث تأسیس پالایشگاه‌های نفتی مانند: اصفهان، اراک، آبادان، تهران و شیراز و پالایشگاه‌های گاز متعددی از جمله پارس جنوبی، پارسین، ایلام، شهید هاشمی نژاد و بیدبلند در مناطق مختلف کشور شده است. استفاده‌ی بهینه از منابع انرژی علاوه بر رشد اقتصادی، به ایفای صحیح نقش انرژی در زمینه‌ی صنعتی شدن جوامع و حفظ محیط‌زیست اشاره دارد. موضوع کارآیی انرژی به‌عنوان

در حالی که نفت و گاز به‌عنوان ذخایر تجدیدناپذیر انرژی، در دنیای امروز اهمیتی استراتژیک و حیاتی پیدا کرده‌اند، متأسفانه در کشور ما به علت فراوانی این نوع انرژی، اتلاف و هدر رفتن این سرمایه‌ی ملی امری عادی شده است. تنها در صنعت، معادل ۳۸۵ میلیون بشکه نفت خام اتلاف انرژی وجود دارد و از سوی دیگر معادل ۹۶ میلیون بشکه نفت خام نیز گازهای بالقوه‌ای وجود دارد که در حال حاضر سوزانده می‌شود درحالی‌که جمع‌آوری آنها امکان‌پذیر است و در مجموع ارزش این گازها معادل ۷ میلیارد دلار است. براساس جدول شدت انرژی، در سال ۲۰۱۱ کشورهای ژاپن و انگلیس با ۰/۰۸ درصد بهترین وضعیت و کشوری مانند هند با ۰/۳۳ درصد وضعیت بسیار نامساعدی در زمینه‌ی اتلاف انرژی دارد، با وجود این ایران باید سعی کند خود را

- 1 Gas Treated Unit
- 2 Sulfur Recovery Unit
- 3 Topping Plant



مسأله‌ای مهم و در خور توجه سیاست‌گذاران بخش انرژی در دنیا مطرح است و با توجه به جمعیت روزافزون جهان و محدود بودن امکانات تولید، بازیابی حرارت اتلافی، راهی برتر به منظور افزایش تولید کالاها و خدمات و در نتیجه افزایش رفاه جامعه‌ی بشری تلقی می‌شود. تکنولوژی بازیابی حرارت در بیش‌تر موارد، هزینه‌های عملیاتی را برای تأسیسات، با افزایش بهره‌وری انرژی خود کاهش می‌دهد. تعداد زیادی از تکنولوژی‌های بازیابی وجود دارد که به خوبی توسعه یافته و از نظر فنی ثابت شده است که مهم‌ترین آن‌ها رکوپراتور، ریژنراتور، پیش گرم‌کن passive، مشعل رکوپراتور-ریژنراتور، مبدل‌های حرارتی و لوله‌های گرمایی هستند.

عدم وجود قطعات متحرک و نیاز به نیروی خارجی، قابلیت اطمینان بالا، حذف کامل آلودگی به دلیل وجود دیواره‌ی جامد بین جریان گرم و سرد و قابلیت انتقال حرارت در طیف گسترده‌ای از دماها، لوله‌ی گرمایی را به‌عنوان یک تکنولوژی قابل اعتماد و کارا جهت امکان‌سنجی بازیابی حرارت اتلافی معرفی می‌نماید.

#### ۱. تئوری لوله‌ی گرمایی

یک لوله‌ی گرمایی، لوله‌ای است که دو سر آن بسته بوده و داخل آن فتیله قرار دارد. لوله‌ها پس از تخیله‌ی هوا، توسط مقدار جزئی از سیال عامل، پر می‌شوند. فرق عمده‌ی لوله‌ی گرمایی و ترموسیفون در این است که ترموسیفون فاقد فتیله هستند، اما لوله‌ی گرمایی به علت وجود فتیله و نیروی موئینگی می‌تواند به‌صورت افقی قرار گیرد و یا حتی قسمت تبخیرکننده در بالا و قسمت چگالنده در پایین قرار گیرد (شکل شماره ۱). در ترموسیفون‌ها، چون عامل بازگشت مایع به قسمت تبخیرکننده، نیروی جاذبه است، بنابراین قسمت چگالنده باید بالاتر از قسمت تبخیرکننده قرار گیرد [۲].

تنوع در لوله‌های حرارتی بر حسب هندسه، ساختار و روش‌های استفاده شده برای انتقال مایع از کندانسور به اوپراتور بسیار زیاد است که متداول‌ترین آن‌ها به صورت زیر هستند [۲].

- لوله‌ی گرمایی با هدایت متغیر
- دیود حرارتی
- لوله‌ی گرمایی ضربانی
- لوله‌ی گرمایی حلقوی و پمپ‌های موئین حلقوی
- میکرو هیت پایپ
- لوله‌ی گرمایی چرخشی
- لوله‌ی گرمایی جذبی

#### ۱-۲. محدودیت‌ها و پارامترهای طراحی عمومی لوله‌های گرمایی

کاربرد لوله‌های گرمایی امروزه بسیار زیاد و غیر قابل انکار است اما گاهی اوقات محدودیت‌ها و پارامترهایی برای استفاده از لوله‌های گرمایی مهم هستند که باید به آن‌ها توجه کرد و بررسی نمود که آیا استفاده از لوله‌ی گرمایی امکان‌پذیر است یا خیر. در فرآیند طراحی لوله‌های گرمایی، عوامل زیادی تأثیرگذارند اما بیشترین ظرفیت انتقال حرارت در یک لوله‌ی گرمایی توسط پنج حد مختلف محدود می‌شود [۲]. این محدودیت‌ها عبارتند از:

**الف) حد صوتی<sup>۱</sup> :** وقتی عدد ماخ برابر یک شود، اثرات اینرسی قابل توجه شده و لوله‌ی گرمایی به حد صوت رسیده است. در این حالت لوله‌ی گرمایی توانایی انتقال حرارت بیشتر را نخواهد داشت.

**ب) حدکشش<sup>۲</sup> :** در لوله‌های گرمایی بخار تولید شده در قسمت اوپراتور به سمت کندانسور حرکت کرده و از قسمت فتیله که وظیفه‌ی برگشت مایع را به اوپراتور دارد عبور می‌کند، در نقطه‌ی تماس بخار و فتیله، یک نیروی برشی از سمت بخار به آب داخل فتیله وارد می‌شود که اندازه‌ی آن به خصوصیات بخار و سرعت آن بستگی دارد. این نیرو باعث برگشت آب داخل فتیله به کندانسور می‌شود. در اینجا کشش سطحی سیال به‌عنوان یک عامل بازدارنده از بازگشت سیال به کندانسور عمل می‌کند. در شار حرارت بالا، سرعت جابجایی بخار افزایش می‌یابد. اگر این سرعت به مقداری باشد که بتواند مایع را به کندانسور بازگرداند کارکرد لوله‌ی گرمایی با مشکل روبرو خواهد شد. اینجاست که حد کشندگی تعریف می‌شود.

**ج) حد جوشش<sup>۳</sup> :** با افزایش شار حرارتی، مایع در تماس با دیواره، خیلی سریع فوق گرم شده و حباب‌ها رشد می‌کنند و باعث خالی شدن فتیله از مایع می‌شود. این حد به‌طور معمول در لوله‌ی گرمایی با فتیله‌ی شیاری حد غالب است.

**د) حد موئینگی<sup>۴</sup> :** بیش‌ترین فشار موئینگی برای غلبه بر افت فشار مایع برگشتی از چگالنده و افت فشار جریان بخار از تبخیرکننده و حد ثقلی است که وابسته به نوع ساختار فتیله و شیب لوله‌ی گرمایی است. که اگر این شرایط رعایت نشود، فتیله خشک خواهد شد و لوله‌ی حرارتی عمل نمی‌کند.

**ه) حد چسبندگی<sup>۵</sup> :** در دماهای پایین، نیروهای چسبندگی

- 1 Sonic limit
- 2 Entrainment limit
- 3 Boiling limit
- 4 Capillary limit
- 5 Viscous limit



باعث محدود شدن نرخ انتقال حرارت می‌شوند. در دماهای کاری خیلی پایین ممکن است تفاوت فشار بخار بین نواحی چگالنده و تبخیرکننده لوله‌ی گرمایی، بسیار کوچک باشد. در بعضی موارد ممکن است نیروهای چسبندگی داخل ناحیه‌ی بخار، بزرگتر از گرادیان فشار حاصل از میدان دمایی باشد. در این حالت، گرادیان فشار داخل ناحیه‌ی بخار برای تولید جریان کافی نیست و بخار ساکن می‌شود. این حد به طور معمول در لوله‌های گرمایی تبریدی (کاربرد در تهویه مطبوع) رخ می‌دهد. اگر مقادیر بیشینه‌ی انتقال حرارت در حدهای مختلف مورد مقایسه قرار گیرند، به حدی که در آن مقدار انتقال حرارت کم‌ترین است، حد غالب می‌گویند. نقطه‌ی کاری سیستم باید طوری انتخاب گردد که در زیر سطح نمودارهای شار حرارتی بر حسب دما (Temperature - Axial heat flux) قرار گیرد (شکل شماره ۲) که این نمودار به ماده‌ی فتیل، نوع سیال عامل و شکل هندسی لوله‌ی گرمایی بستگی دارد.

## ۲. معرفی واحدهای پالایشگاه گاز سرخس و امکان‌سنجی استفاده از لوله‌ی گرمایی

امکان‌سنجی استفاده از لوله‌ی گرمایی همان‌طور که پیشتر نیز به آن اشاره شد، در سه واحد GTU، SRU و Topping Plant پالایشگاه گازی شهید هاشمی‌نژاد سرخس مورد بررسی قرار می‌گیرد که آیا امکان استفاده از لوله‌ی گرمایی در این واحدها وجود دارد یا خیر. بنابراین در این قسمت به هدف اصلی از تأسیس این واحدها در پالایشگاه و مکان‌های مورد بررسی امکان‌سنجی پرداخته می‌شود.

### ۲-۱. واحد تصفیه‌ی گاز - GTU

واحد تصفیه‌ی گاز پالایشگاه گاز شهید هاشمی‌نژاد سرخس شامل ۵ واحد پالایشی بوده که خوراک این واحدها از مخزن گاز ترش مزدوران تأمین شده و به دلیل میزان بالای گازهای اسیدی در گاز ترش خوراک، شامل ۳/۵ درصد گاز هیدروژن سولفور (H<sub>2</sub>S) و ۶/۵ درصد گاز دی‌اکسیدکربن (CO<sub>2</sub>)، فرآیند تصفیه‌ی گاز در این واحدها از اهمیت خاصی برخوردار است. هر واحد تصفیه‌ی گاز از دو برج موازی تماس دهنده‌ی گاز ترش با آمین، جهت جذب گازهای اسیدی آن توسط آمین (شیرین‌سازی) و بسیاری دیگر از تجهیزات که در جداسازی مواد زائد گاز و آمین و عملیات تصفیه به‌کار می‌رود (نظیر فیلتر، پمپ، توربین، مبدل حرارتی، فن هوایی، مخزن، کوره و کمپرسور) تشکیل یافته است. عملیات شیرین

سازی گاز ترش مخزن مزدوران توسط محلول ۳۴٪ دی‌اتانول آمین (DEA) که به‌صورت جریان معکوس در سینی‌های برج تماس با گاز تماس پیدا می‌کند، انجام می‌شود و محلول آمین با جدا نمودن ۱۰٪ گاز اسیدی از خوراک پالایشگاه، باعث شیرین‌سازی گاز ترش می‌گردد. سپس گاز اسیدی همراه آمین، در برج‌های احیاء در فشار ۱ بار و دمای ۱۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد جدا شده، به‌عنوان خوراک به واحد بازیافت گوگرد ارسال می‌شود، لذا آمین دائماً بین برج‌های تماس و احیاء در مدار گردش وجود دارد [۳].

### ۱-۲. طرح مسأله و امکان‌سنجی استفاده از لوله‌ی گرمایی

با توجه به PFD واحد (شکل شماره ۳) و اطلاعات جریان‌ها (جدول شماره ۱)، جریان‌هایی که مستعد دریافت انرژی هستند (منبع سرد) شناسایی و انرژی آن‌ها متناسب با مقدار نیاز، توسط دستگاه یا دستگاه‌هایی که انرژی خود را از دست می‌دهند (منبع گرم)، به وسیله‌ی لوله‌ی گرمایی تأمین می‌شوند.

در واحد GTU جریان ورودی به کولر هوایی AC2 به‌عنوان منبع گرم (جریان سرد شونده) و جریان آمین غنی (Rich Amine) ورودی به مبدل گرمایی به‌عنوان منبع سرد (جریان گرم شونده) مشخص شده و انرژی آن‌ها مطابق فرمول شماره (۱) محاسبه می‌شود.

$$Q = \dot{m} c_p \Delta T \quad (1)$$

مقادیر انرژی هر جریان با توجه به دبی، اختلاف دما و همچنین ظرفیت حرارتی ویژه‌ی آن قابل محاسبه است. در جدول ۲ مقادیر انرژی جریان‌ها مورد نیاز به‌منظور استفاده از یک لوله‌ی گرمایی بین جریان گرم و سرد نشان داده شده است.

با توجه به بیشتر بودن توان حرارتی آمین غنی (جدول ۲)، هدف این قسمت تأمین بخشی از انرژی ۱۳۷۷۷/۳۵ KW جریان آمین از طریق قرار دادن یک یا چند لوله‌ی گرمایی بر سر راه جریان ورودی به کولر هوایی AC2 است (که منجر به حذف کولر هوایی می‌شود). با قرار گرفتن لوله‌ی گرمایی، دمای جریان آمین غنی قبل از ورود به مبدل از ۷۱ °C به ۷۸/۶۸ °C افزایش می‌یابد که در نتیجه‌ی آن، بار حرارتی جریان ورودی به مبدل کاهش می‌یابد، که مقدار جدید آن بر طبق محاسبات ۹۹۹۸/۴۲ KW خواهد بود (جدول شماره ۳).

لذا می‌توان نتیجه گرفت در صورت استفاده از یک لوله‌ی گرمایی بین جریان آمین غنی ورودی به مبدل حرارتی (Rich Amine to Heat Exchanger) و جریان گاز اسیدی ورودی به کولر هوایی AC2، می‌توان در حدود ۵۰ درصد در مصرف انرژی کولر هوایی صرفه‌جویی نمود. لازم به ذکر است پس از استفاده از لوله‌ی گرمایی و تغییر دمای جریان آمین غنی ورودی و آمین تمیز خروجی از مبدل، شرط حداقل دمای نزدیکی ( $10^{\circ}\text{C}$ ) مطابق آنچه در جدول ۵ نشان داده شده است نیز برقرار است.

گوگرد به روش کلاوس، گاز اسیدی (حاوی گاز  $\text{H}_2\text{S}$  و  $\text{CO}_2$ ) تبدیل به گوگرد قابل مصرف و گاز نسبتاً بی‌خطر شده که می‌توان آن را در فضای آزاد پراکنده نمود. مزیت این روش نسبت به روش‌های دیگر در ایجاد گرمای مفیدی است که برای تولید بخار آب به‌کار رفته و از این بخار بجای مصرف برق بسیار بالا برای مصرف دمنده‌های هوای این واحد استفاده می‌گردد. از نظر واکنش‌های شیمیایی، گاز سولفید هیدروژن ( $\text{H}_2\text{S}$ ) موجود در گاز اسیدی، به‌وسیله‌ی اکسیژن هوا اکسید شده و به گوگرد (S) و بخار آب تبدیل می‌شود [۵].

## ۲-۱-۲. محاسبه‌ی تعداد لوله‌ی گرمایی مورد نیاز

قبل از محاسبه‌ی تعداد لوله‌های گرمایی مورد نیاز برای انتقال حدوداً  $3780$  کیلووات حرارت، بایستی حداکثر مقدار انتقال حرارت توسط یک لوله‌ی گرمایی، مورد ارزیابی قرار گیرد. در ابتدا باید با توجه به دمای عملکرد لوله‌ی گرمایی (میانگینی از حداقل و حداکثر دمای جریان‌ها) و جدول سیالات عامل، سیال عامل مناسب را انتخاب کرد. از آن جایی که دمای متوسط عملکرد لوله‌ی گرمایی جایگزین کولر هوایی،  $100^{\circ}\text{C}$  است، آب به‌عنوان سیال عامل لوله‌ی گرمایی، مشخص و از جداول ترمودینامیکی، پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه‌ی  $Q_{\max}$  استخراج می‌شود (جدول شماره ۶). حال برای تأمین حداکثر میزان انتقال حرارت توسط آب در دمای عملکردش، با فرض استفاده از لوله‌ی گرمایی با قطر  $0/3$  متر و سطح مقطع  $0/070$  مترمربع،  $Q_{\max}$  مطابق فرمول ۲ محاسبه می‌شود [۳] و تعداد لوله‌های گرمایی لازم برای انتقال حرارت مورد نیاز مشخص می‌شوند (جدول شماره ۷).

(۲)

$$Q_{\max} = K h_{fg} A_{\text{cross}} [g \sigma (\rho_l - \rho_v)]^{0.25} [\rho_v^{-0.25} + \rho_l^{-0.25}]^{-2} \quad (3)$$

$$K = \left(\frac{\rho_l}{\rho_v}\right)^{0.14} \tanh^2(\text{BO})^{0.25} \quad (4)$$

$$\text{BO} = D_i \left[ g \frac{(\rho_l - \rho_v)}{\sigma} \right]^{0.5}$$

## ۲-۲. واحد بازیافت گوگرد - SRU

گازهای اسیدی حاصل از تصفیه‌ی گاز ترش، وارد ۴ واحد بازیافت گوگرد شده که این واحدها توانایی بالقوه‌ی تولید  $2640$  تن گوگرد در روز را دارند. در این واحدها از روش کلاوس برای بازیافت گوگرد استفاده شده است. در بازیافت

## ۲-۲-۱. طرح مسأله و امکان‌سنجی استفاده از لوله‌ی گرمایی

با توجه به PFD واحد بازیافت گوگرد، فرآیند کلاوس (شکل شماره ۴) و اطلاعات جریان‌ها (جدول شماره ۸)، کندانسورهای اول و دوم به‌عنوان منابع سرد و پیش‌گرم‌کن‌های اول و دوم به‌عنوان منابع گرم مشخص شده و انرژی آن‌ها بر طبق فرمول شماره (۱) قابل محاسبه است.

مقادیر انرژی هر جریان با توجه به دبی، اختلاف دما و همچنین ظرفیت حرارتی ویژه‌ی آن قابل محاسبه است. در (جدول شماره ۹) مقادیر انرژی جریان‌ات مورد نیاز به‌منظور استفاده از یک لوله‌ی گرمایی بین جریان گرم و سرد نشان داده شده است. همچنین (جدول شماره ۱۰) مشخصات آب مصرفی در کندانسورها را نشان می‌دهد.

با توجه به بیش‌تر بودن انرژی کندانسور اول، هدفی که در این قسمت مورد نظر است تأمین انرژی  $1904/63 \text{ KW}$  پیش‌گرم‌کن اول از طریق قرار دادن لوله‌ی گرمایی بر سر راه جریان ورودی به کندانسور اول است. با قرار گرفتن لوله‌ی گرمایی دمای جریان ورودی به کندانسور از  $318^{\circ}\text{C}$  به  $2/280^{\circ}\text{C}$  کاهش می‌یابد، در نتیجه دبی جرمی جریان آب سرد کندانسور برای تأمین این انرژی از  $15379/5 \text{ kg/hr}$  به  $12260/5 \text{ kg/hr}$  خواهد رسید (جدول شماره ۱۱). مشابه این عمل، برای تأمین انرژی پیش‌گرم‌کن دوم از طریق قرار دادن لوله‌ی گرمایی بر سر راه جریان ورودی به کندانسور دوم انجام می‌شود (جدول شماره ۱۲). لازم به ذکر است پس از استفاده از لوله‌ی گرمایی و تغییرات دما، شرط حداقل دمای نزدیکی ( $10^{\circ}\text{C}$ ) مطابق آنچه در جدول ۳۱ نشان داده شده است، نیز برقرار است. لذا می‌توان نتیجه گرفت در صورت استفاده از لوله‌ی گرمایی بین جریان ورودی به کندانسور اول و جریان ورودی به پیش‌گرم‌کن اول و همچنین بین جریان ورودی به کندانسور دوم و جریان ورودی به پیش‌گرم‌کن دوم، می‌توان به‌طور قابل ملاحظه‌ای در مصرف





انرژی این واحد صرفه‌جویی نمود.

### ۲-۲-۲. محاسبه‌ی تعداد لوله‌ی گرمایی مورد نیاز

همانگونه که قبلاً نیز اشاره شد، قبل از محاسبه‌ی تعداد لوله‌های گرمایی مورد نیاز برای انتقال حرارت، بایستی حداکثر مقدار انتقال حرارت توسط یک لوله‌ی گرمایی ارزیابی قرار گیرد. از آنجایی که دمای عملکرد لوله‌ی گرمایی کندانسورهای اول و دوم به ترتیب،  $240^{\circ}\text{C}$  و  $195^{\circ}\text{C}$  است، دوترم (Dowtherm) به‌عنوان سیال عامل لوله‌ی گرمایی مشخص و از جداول ترمودینامیکی، پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه‌ی  $Q_{\max}$  استخراج می‌شود (جدول شماره ۱۴). حال برای حداکثر میزان انتقال حرارت توسط دوترم در دمای عملکرد آن، با فرض استفاده از لوله‌ی گرمایی با قطر  $0/3$  متر و سطح مقطع  $0/70$  متر مربع،  $Q_{\max}$  مطابق فرمول ۲ محاسبه و تعداد لوله‌های گرمایی لازم برای انتقال حرارت مورد نیاز مشخص می‌شوند (جدول شماره ۱۵).

### ۲-۳-۲. واحد تقطیر میعانات گازی - Topping Plant

برای استفاده‌ی بهینه از مایعات استحصالی از حوزه‌های گازی منطقه در پالایشگاه، دو واحد تقطیر مایعات گازی احداث شده است. مایعات نفتی همراه گاز که به کاندنسیت معروف هستند، مخلوطی از هیدروکربورها با نقاط جوش متفاوت هستند، جهت افزایش ارزش افزوده‌ی این مواد و استفاده‌ی بهینه از این مایعات نفتی، در واحدهای تقطیر که در واقع مشابه قسمت بالایی برج تقطیر اتمسفریک پالایشگاه نفت عمل می‌کنند، عمل جداسازی این هیدروکربورها بر اساس نقطه‌ی جوش آنها انجام و چهار محصول از این کاندنسیت به‌دست می‌آید که شامل حلال، نفتا (بنزین خام)، نفت سفید و گازوئیل است [۵].

### ۲-۳-۱. طرح مسأله و امکان‌سنجی استفاده از لوله‌ی گرمایی

با توجه به PFD واحد (شکل شماره ۵) و اطلاعات جریان‌ها (جدول شماره ۱۶)، کولر هوایی E-۳۰۱، کندانسورهای E-۳۰۲، E-۳۰۳، E-۳۰۵، E-۳۰۶ و جریان سرد مبدل E-۳۰۴ به‌عنوان منابع سرد و کوره H-۳۰۱ و جریان گرم مبدل E-۳۰۴ به‌عنوان منابع گرم مشخص شده و انرژی آن‌ها مطابق آنچه در جدول ۱۷ نشان داده شده است بر طبق فرمول شماره ۱ محاسبه می‌شوند.

مقادیر انرژی هر جریان با توجه به دبی، اختلاف دما و همچنین ظرفیت حرارتی ویژه‌ی آن قابل محاسبه است. در

جدول ۱۷ مقادیر انرژی جریانات مورد نیاز به‌منظور استفاده از یک لوله‌ی گرمایی، بین جریان گرم و سرد نشان داده شده است.

با توجه به بیش‌تر بودن انرژی کولر هوایی E-۳۰۱، هدفی که در این قسمت مورد نظر است تأمین انرژی  $37/97 \text{ KW}$  جریان گرم مبدل E-۳۰۱ از طریق قرار دادن لوله‌ی گرمایی بر سر راه جریان ورودی به کولر هوایی E-۳۰۱ است. با قرار گرفتن لوله‌ی گرمایی بر سر راه جریان ورودی به کولر هوایی، دما از  $57/45^{\circ}\text{C}$  به  $51/28^{\circ}\text{C}$  کاهش می‌یابد. در نتیجه انرژی مصرفی کولر هوایی  $4/18 \text{ KW}$  خواهد شد (جدول شماره ۱۸).

با توجه به پتانسیل بالای انرژی کوره که  $1338/6 \text{ KW}$  است، می‌توان مقداری از این انرژی را توسط گرمای از دست رفته‌ی کولرها و جریان سرد مبدل گرمایی، به وسیله‌ی لوله‌های گرمایی تأمین کرد و بار حرارتی کوره را کاهش داد که مقدار آن  $842/55 \text{ KW}$  خواهد بود (جدول شماره ۱۹). لازم به ذکر است با توجه به دماهای محاسبه شده‌ی جریانات پس از استفاده از لوله‌های گرمایی، حداقل اختلاف درجه حرارت بین جریان‌های گرم و سرد محاسبه و در (جدول شماره ۲۰) نشان داده شده است.

### ۲-۳-۲. محاسبه‌ی تعداد لوله‌ی گرمایی مورد نیاز

قبل از محاسبه‌ی تعداد لوله‌های گرمایی مورد نیاز برای انتقال حرارت، بایستی حداکثر مقدار انتقال حرارت توسط یک لوله‌ی گرمایی مورد ارزیابی قرار گیرد. لذا در ابتدا باید با توجه به دمای عملکرد لوله‌ی گرمایی (میانگینی از حداقل و حداکثر دمای جریان‌ها) و جدول سیالات عامل، سیال عامل مناسب را انتخاب کرد. از آنجایی که دمای عملکرد لوله‌ی گرمایی کولر هوایی E-۳۰۱ و کوره‌ی H-۳۰۱ به ترتیب،  $175^{\circ}\text{C}$  و  $285^{\circ}\text{C}$  است، دوترم به‌عنوان سیال عامل لوله‌ی گرمایی مشخص و از جداول ترمودینامیکی، پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه‌ی  $Q_{\max}$  استخراج می‌شود (جدول شماره ۲۱). حال برای حداکثر میزان انتقال حرارت توسط دوترم در دمای عملکرد آن، با فرض استفاده از لوله‌ی گرمایی با قطر  $0/3$  متر و سطح مقطع  $0/70$  متر مربع،  $Q_{\max}$  محاسبه می‌شود (فرمول شماره ۲) و تعداد لوله‌های گرمایی لازم برای انتقال حرارت مورد نیاز مشخص می‌شود (جدول شماره ۲۲).

### ۳. بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به راه‌حل‌های گفته شده در هر واحد، در این قسمت

به محاسبات اقتصادی این پیشنهادها پرداخته می‌شود که آیا هزینه‌های صرفه‌جویی شده نسبت به هزینه‌ی خریداری لوله‌های گرمایی قابل تأمل است یا خیر. هزینه‌های صرفه‌جویی شده به‌طور عمده چهار بخش کاهش برق مصرفی کولرهای هوایی، کاهش آب مصرفی کندانسورها، کاهش سوخت مصرفی کوره‌ها و حذف برخی دستگاه‌ها را در بر می‌گیرد که ابتدا محاسبات اقتصادی واحد GTU و سپس محاسبات اقتصادی واحدهای SRU و Topping Plant بررسی می‌شود.

### ۳-۱. واحد GTU

با توجه به بار حرارتی جدید آمین تمیز، میزان برق مورد نیاز کولر هوایی AC2، برای خنک کردن این جریان بر طبق محاسبات زیر برابر با ۲۵۲/۳۸ کیلووات خواهد بود که در این صورت با در نظر گرفتن قیمت برق که به ازای هر کیلو وات ساعت ۰/۲۰ دلار است، در طول یک سال ۶۱۲۴۴/۹۷۶ دلار صرفه‌جویی اقتصادی صورت خواهد گرفت (جدول شماره ۳۲).

$$KW = 252.38 = \frac{1779.37}{2783.28} \times 526.61 = \frac{\text{توان جدید}}{\text{توان قدیم}} \times \text{مصرف برق قدیم} = \text{مصرف برق جدید}$$

با فرض این که پنج واحد تصفیه گاز مشابه یکدیگر عمل کنند، در مجموع ۲۲۱۰۸۴/۸۸ دلار در یک سال از لحاظ اقتصادی صرفه‌جویی خواهد شد. اگر قیمت یک لوله‌ی گرمایی به طول ۱ متر و قطر ۰/۳ مترمربع در حدود ۴۵۰۰ دلار باشد [۹]، باید در کل پنج واحد، حدود ۱۵ لوله‌ی گرمایی استفاده کرد که هزینه‌ی آن ۶۷۵۰۰ دلار می‌شود و این مقدار نشان می‌دهد، هزینه‌ای که برای نصب لوله‌ی گرمایی پرداخت می‌شود نسبت به مقدار سرمایه‌ی صرفه‌جویی شده بسیار کم‌تر بوده و استفاده از لوله‌ی گرمایی به صرفه است (جدول شماره ۲۴).

### ۳-۲. واحد SRU

اگر قیمت آب سرد پالایشگاه در سال ۲۰۱۳، ۰/۱۳ دلار به ازای هر مترمکعب باشد [۹]، با توجه به کاهش مصرف آب به میزان ۳/۱۲ مترمکعب در هر ساعت برای کندانسور اول و همچنین کاهش مصرف آب به میزان ۲/۱۵ مترمکعب در هر ساعت برای کندانسور دوم، در مجموع ۵/۲۷ مترمکعب در هر ساعت در مصرف آب صرفه‌جویی شده، که در طول یک سال ۶۰۰۱/۴۷۶ دلار صرفه‌ی اقتصادی خواهد داشت (جدول شماره ۲۵).

با توجه به قیمت پیش‌گرم‌کن‌ها (جدول شماره ۲۶) و مقدار

سوخت مصرفی آنها (جدول شماره ۲۷) [۱۰]، با فرض این که چهار واحد بازیافت گوگرد مشابه یکدیگر عمل کنند، در مجموع ۱۳۳۴۴۱۳/۱۳۲ دلار در یک سال از لحاظ اقتصادی صرفه‌جویی خواهد شد و اگر قیمت یک لوله‌ی گرمایی به طول ۱ متر و قطر ۰/۳ مترمربع در حدود ۴۵۰۰ دلار باشد [۹]، باید در کل چهار واحد، حدود ۸۰ لوله‌ی گرمایی مورد استفاده قرار گیرد که هزینه‌ی آن ۳۶۰۰۰۰ دلار می‌شود و این مقدار نشان می‌دهد، هزینه‌ای که برای نصب لوله‌ی گرمایی پرداخت می‌شود نسبت به مقدار سرمایه‌ی صرفه‌جویی شده بسیار کم‌تر بوده و استفاده از لوله‌ی گرمایی به صرفه است (جدول شماره ۲۸).

### ۳-۳. واحد Topping Plant

در واحد Topping Plant مشابه GTU، با کاهش توان کولر هوایی E-۳۰۱ توسط لوله‌ی گرمایی، می‌توان در برق کولر هوایی H-۳۰۱ صرفه‌جویی کرد (جدول شماره ۲۹) و همچنین با تأمین بخشی از انرژی کوره H-۳۰۱ توسط کندانسورها و جریان سرد مبدل گرمایی، برخی دستگاه‌ها (جدول شماره ۳۰)، میزان آب مورد نیاز آن‌ها (جدول شماره ۳۱) و سوخت کوره H-۳۰۱ کاهش می‌یابند (جدول شماره ۳۲).

بنابراین در مجموع دو واحد Topping Plant، ۲۱۳۱۳۴/۲۴ دلار در یک سال صرفه‌جویی اقتصادی شده، که این مقدار نسبت به هزینه‌ای که برای نصب لوله‌ی گرمایی پرداخت می‌شود بسیار کم‌تر بوده و استفاده از لوله‌ی گرمایی به صرفه است (جدول شماره ۳۳).

### ۴. نتیجه‌گیری

در این مقاله به مکان‌هایی که قابلیت از دست دادن و گرفتن حرارت در سه واحد تصفیه‌ی گاز (GTU)، بازیافت گوگرد (SRU) و تقطیر میعانات گازی (Topping Plant) پالایشگاه گاز سرخس را دارا هستند اشاره و محاسبات مربوط به آن‌ها انجام شده است، در صورتی که دستگاه‌های بسیار زیادی در همان واحدها وجود دارند که حرارت اتلافی بسیار زیادی تولید می‌کنند و می‌توان آن را با لوله‌ی گرمایی بازیابی و ذخیره کرد و در مواقع لزوم و در صورت نیاز به دیگر واحدها منتقل کرد. با توجه به محاسبات صورت گرفته، در مجموع واحدهای GTU، SRU و Topping Plant سالانه ۱۷۶۸۷۶۶/۶۵ دلار صرفه‌جویی اقتصادی شده است که باید از این مقدار ۴۸۱۵۰۰ دلار به خریداری لوله‌های گرمایی اختصاص داده شود. با کم کردن این عدد از هزینه‌های صرفه‌جویی شده، می‌توان به





این نتیجه رسید که استفاده از لوله‌ی گرمایی می‌تواند کمک قابل توجهی در جهت کاهش اتلاف حرارتی از واحدهای پالایشگاهی ایفا نماید.

همچنین پیشنهاد می‌شود دستگاه‌ها و تأسیسات دیگر واحدهای پالایشگاه که حرارت اتلاfi دارند مورد بررسی قرار گرفته و بازیابی شوند و با استفاده از این حرارت بازیابی شده، انرژی مورد نیاز واحدهای دیگر را تأمین نمود که این امر مستلزم بررسی دقیق‌تر و جامع‌تر درباره‌ی واحدها، تأسیسات آن‌ها و علی‌الخصوص اطلاعات دقیق جریان‌ها است که باید به آن پرداخته شود.

### ۵. تشکر و قدردانی

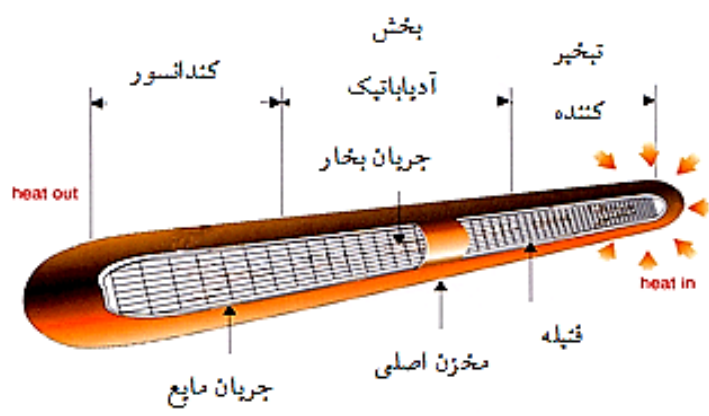
نویسندگان مقاله به این وسیله تشکر و قدردانی صمیمانه‌ی خود را از مسؤولان محترم حوزه‌ی پژوهش پالایشگاه سرخس به ویژه جناب آقایان مهندس محجوبی و فیروزبخت و همچنین مدیریت پژوهش و فناوری دانشگاه مهندسی فناوری‌های نوین قوچان به دلیل حمایت مالی از انجام این پروژه ابراز می‌دارند.

### فهرست علائم

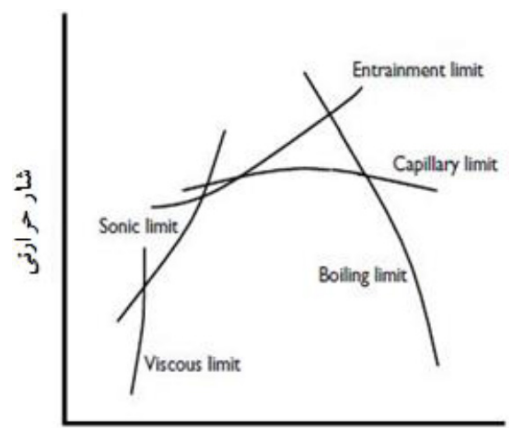
$A_{cross}$	سطح مقطع عرضی	$m^2$
$C_p$	حرارت مخصوص در فشار ثابت	$\frac{kJ}{kgmole \text{ } ^\circ C}$
$D_i$	قطر داخلی لوله گرمایی	$m$
$g$	شتاب گرانش	$\frac{m}{s^2}$
$h_{fg}$	گرمای نهان	$\frac{kJ}{kg}$
$\dot{m}$	میدانی جریان	$\frac{kg}{hr}$
$Q$	میزان انتقال حرارت	$KW$
$Q_{max}$	بیش‌ترین میزان انتقال حرارت	$KW$
$\rho_l$	چگالی مایع	$\frac{kg}{m^3}$
$\rho_v$	چگالی بخار	$\frac{kg}{m^3}$
$\sigma$	کشش سطحی	$\frac{N}{m}$

### مراجع

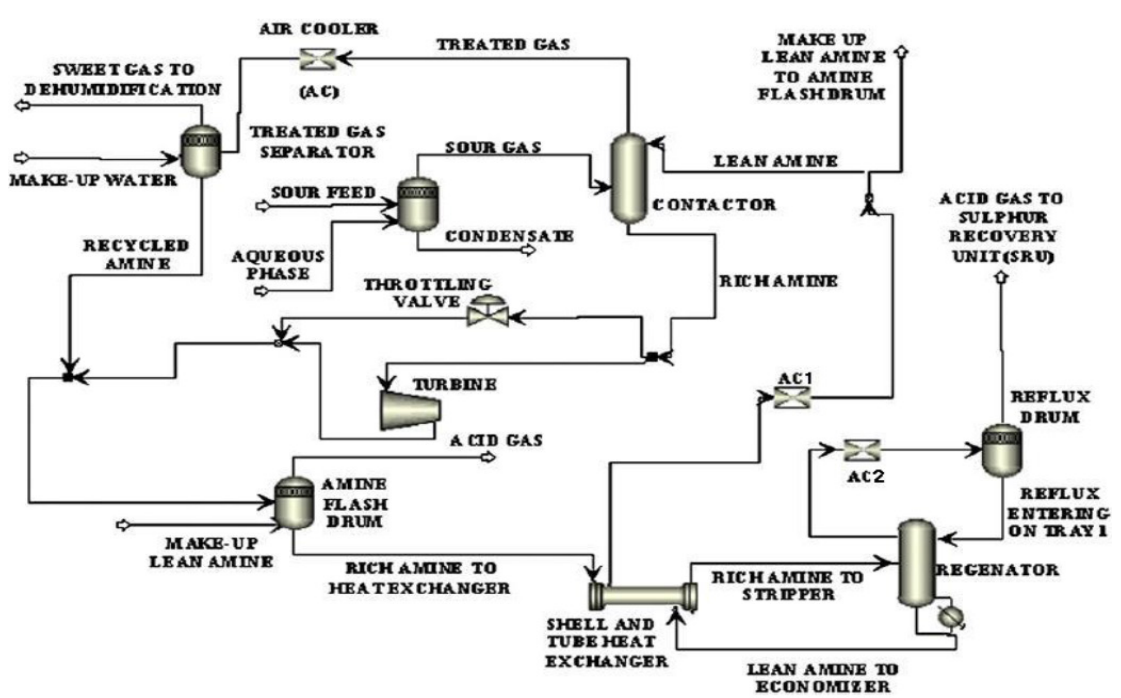
1. www.tnews.ir
2. Reay D.A., Kew P.A., Heat Transfer and Fluid Flow Theory, in Heat Pipes, 5th Ed., Butterworth-Heinemann: Oxford., 2007.
3. http://www.overclock.net/
4. Shahsavand A., Garmroodi A., Simulation of Khangiran gas treating units for various cooling scenarios, Journal of Natural Gas Science and Engineering, Vol. 6, No. 2, pp. 277-283, 2010.
5. www.khangiran.com.
6. ک. اسفندیاری، الف. شاهسوند، ارائه راه‌کارهای مناسب جهت رفع تنگناهای عملیاتی موجود در واحدهای بازیافت گوگرد در پالایشگاه های گاز داخل کشور، چهاردهمین کنگره مهندسی شیمی ایران، دانشگاه صنعتی شریف، ایران، ۱۳۹۱.
7. Dowtherm aHeat Transfer Fluid. Trademark of The Dow Chemical Company, March 1997. 30: p. 1-30.
8. رجبی خراسانی ج.، شبیه‌سازی واحد تقطیر میعانات گازی پالایشگاه شهید هاشمی‌نژاد سرخس در حالت استاتیکی و دینامیکی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ایران، ۱۳۸۷.
9. enertron-inc.com.
10. Alfadala H.E., Reklaitis G.V.R., Proceedings of the 1st Annual Gas Processing Symposium. 2009. 12: p. 1-12.



شکل ۱: نمای کلی از یک لوله‌ی گرمایی [۳]

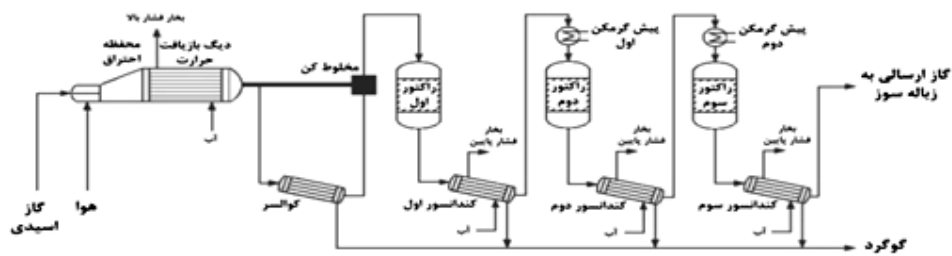


شکل ۲: محدودیت‌های انتقال حرارت در لوله‌ی گرمایی [۲]

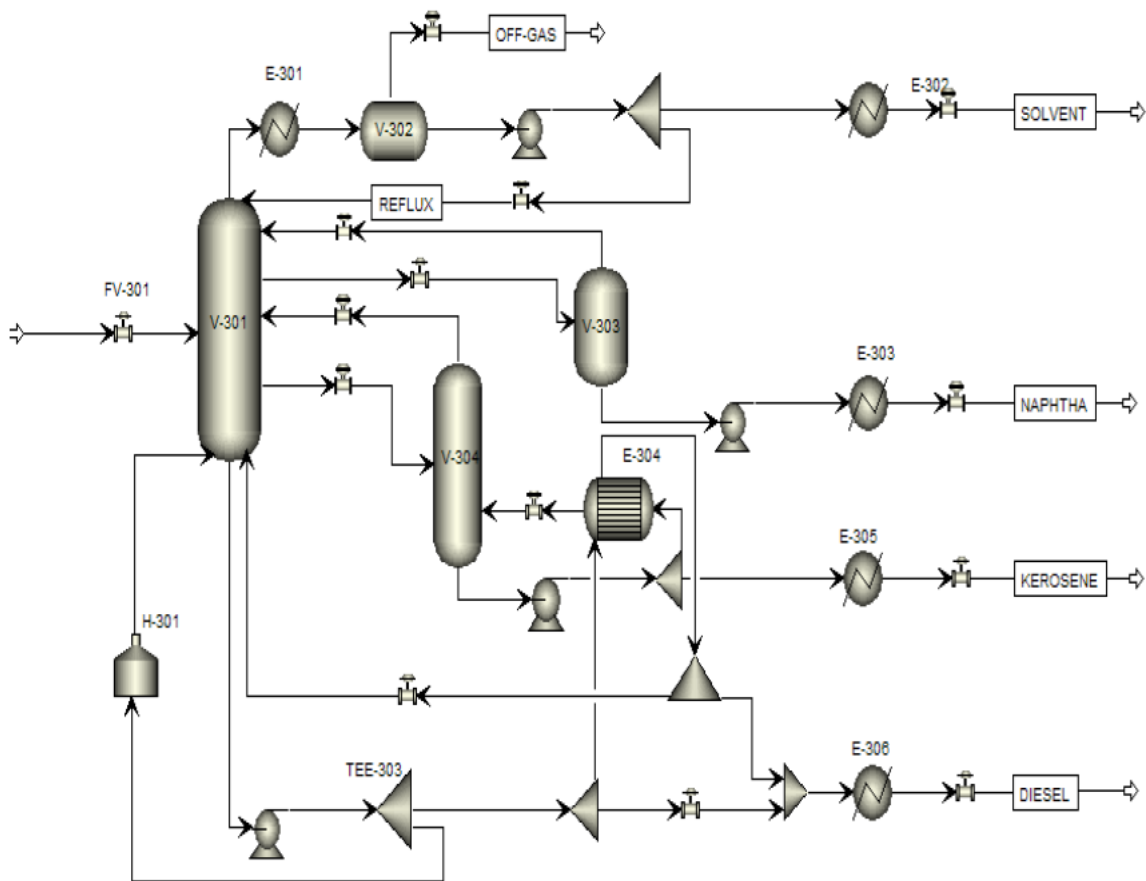


شکل ۳: تصویر کلی فرآیند واحد تصفیه‌ی گاز پالایشگاه گاز شهید هاشمی‌نژاد سرخس [۴]





شکل ۴: شمای کلی فرآیند بازیافت گوگرد [۶]



شکل ۵: تصویر کلی فرآیند تقطیر میعانات گازی پالایشگاه گازی شهید هاشمی نژاد سرخس [۸]



جدول ۱: اطلاعات جریان‌های واحد تصفیه گاز پالایشگاه گاز شهید هاشمی نژاد سرخس [۴]

Process Variable	T(°C)	P(psia)	Rate (unit)
Sour gas (to contactor)	52	1050	173000 (SCMH)
lean aminea (to contactor)	53	1050	18654 <sup>b</sup> (kg mol/h)
Sweet gas (form air cooler)	38	1050	153000 (SCMH)
Rich amine (from contactor)	77	1050	19400 (kg mol/h)
Rich amine (from amine flash drum)	71	88.9	19854 (kg mol/h)
Acid gas (from amine flash drum)	71	88.9	3091 (SCMH)
Rich amine (to heat exchanger)	71	88.9	19854 (kgmol/h)
Rich amine (from heat exchanger)	99	88.9	19854 (kg mole/hr)
Lean amine (to heat exchanger)	121	27.9	19932.8 ( kg mol/h)
Lean amine (from heat exchanger)	93	27.9	19932.8 ( kg mol/h)
Acid gas (to air cooler)	120	27.9	2266 (kg mol/h)
Acid gas (form air cooler)	52	27.9	2266 (kg mol/h)
Stripper reflux stream	52	24.7	1436.4 (kg mol/h)

جدول ۲: اطلاعات و انرژی جریان‌های مورد نیاز جهت امکان‌سنجی استفاده از لوله‌ی گرمایی

نام جریان	$(\frac{\text{kg mole}}{\text{hr}})m$	$(\frac{\text{kJ}}{\text{kg mole } ^\circ\text{C}})c_p$	$(^\circ\text{C})\Delta T$	Q(KW)
Rich Amine	19854	89/22	28	13777/35
Lean Amine	19932/8	41/36	28	6412/160
Acid Gas (AC2)	2266	88/39	68	3783/28

جدول ۳: تغییرات دما و بار حرارتی جریان آمین غنی قبل (old) و بعد (new) از استفاده از لوله‌ی گرمایی

$Q_{\text{old}}$	$(^\circ\text{C})T_{\text{old}}$	$(^\circ\text{C})T_{\text{new}}$	$Q_{\text{new}}$
13777/35 KW	71	78/68	9998/42 KW

جدول ۴: استفاده‌ی مجدد از کولر هوایی AC2 به منظور خنک‌سازی جریان آمین تمیز خروجی از مبدل حرارتی

$Q_{\text{old}}$	$Q_{\text{new}}$	نسبت کارکرد به حالت اولیه	صرفه اقتصادی
3783/28	17779/37	0/47	بله

جدول ۵: شرط حداقل دمای نزدیکی پس از استفاده از لوله‌ی گرمایی در جریان‌ات ورودی و خروجی از مبدل گرمایی آمین

شرط حداقل دما	$\Delta T_{\text{cold}}(^\circ\text{C})$	$\Delta T_{\text{hot}}(^\circ\text{C})$
برقرار است	100.77-78.68=22.09	121-99=22

جدول ۶: خواص آب در دمای ۱۰۰ °C [۲]

$\sigma (\frac{N}{m})$	$\rho_v (\frac{kg}{m^3})$	$\rho_l (\frac{kg}{m^3})$	$h_{fg} (\frac{kJ}{kg})$	دمای عملکرد (°C)
0/0589	0/6	958	2256/4	100

جدول ۷: پارامترهای  $Q_{max}$  و تعداد لوله‌های گرمایی مورد نیاز

تعداد لوله گرمایی مورد نیاز	$(KW)Q_{need}$	$(KW)Q_{max}$	K	BO
3	3783/28	1243/33	2/79	119/73

جدول ۸: اطلاعات جریان‌های واحد SRU [۶]

$\dot{m} (\frac{kg}{hr})$	p (psia)	(°C)T	نام جریان
148300	17/8	318	ورودی به کندانسور اول
148300	17/8	162	خروجی از کندانسور اول
147900	17/5	162	ورودی به پیش گرم کن اول
147900	17/5	200	خروجی از پیش گرم کن اول
145000	16/4	227	ورودی به کندانسور دوم
145000	16/4	163	خروجی از کندانسور دوم
147500	16	163	ورودی به پیش گرم کن دوم
147500	16	190	خروجی از پیش گرم کن دوم
107081	14/9	193	ورودی به کندانسور سوم
107081	14/9	140	خروجی از کندانسور سوم
32883	299	214	بخار فشار بالا

جدول ۹: اطلاعات و انرژی جریان‌های مورد بررسی امکان‌سنجی

(KW)Q	(°C) $\Delta T$	$(\frac{kJ}{kg^{\circ}C})c_p$	$(\frac{kg}{hr})\dot{m}$	نام جریان
7840/12	156	1/223	148300	کندانسور اول
3157/77	64	1/225	145000	کندانسور دوم
1904/63	38	1/211	147900	پیش گرم کن اول
1341/88	27	1/213	147500	پیش گرم کن دوم



جدول ۱۰: ویژگی آب کندانسورهای اول و دوم [۶]

نام جریان	(°C)T	( $\frac{kg}{hr}$ ) $\dot{m}$
ورودی به کندانسور اول	148	15379/5
خروجی از کندانسور اول	153	15379/5
ورودی به کندانسور دوم	148	7822/5
خروجی از کندانسور دوم	153	7822/5

جدول ۱۱: مقدار آب صرفه جویی شده ی کندانسور اول

پیش گرم کن اول	کندانسور اول	(°C)T <sub>old</sub>	(°C)T <sub>new</sub>	( $\frac{kg}{hr}$ ) $\dot{m}_{old\ water}$	( $\frac{kg}{hr}$ ) $\dot{m}_{new\ water}$	مقدار آب صرفه جویی شده
1904/63 KW	7840/12 KW	318	280/2	15379/5	12260/5	3119 $\frac{kg}{hr}$

جدول ۱۲: مقدار آب صرفه جویی شده کندانسور دوم

پیش گرم کن دوم	کندانسور دوم	(°C)T <sub>old</sub>	(°C)T <sub>new</sub>	( $\frac{kg}{hr}$ ) $\dot{m}_{old\ water}$	( $\frac{kg}{hr}$ ) $\dot{m}_{new\ water}$	مقدار آب صرفه جویی شده
1341/88 KW	3157/77 KW	227	199/8	7822/5	5676/5	3119 $\frac{kg}{hr}$

جدول ۱۳: شرط حداقل دما

نام	$\Delta T_{hot}$ (°C)	$\Delta T_{cold}$ (°C)	شرط حداقل دما
لوله گرمایی کندانسور اول	318 - 200 = 118	280.2 - 162 = 118.2	برقرار است
لوله گرمایی کندانسور دوم	227 - 190 = 37	199.8 - 163 = 36.8	برقرار است

جدول ۱۴: خواص دو ترم (Dowtherm) در دمای ۲۴۰°C و ۱۹۵°C [۷]

دمای عملکرد (°C)	$h_{fg}$ ( $\frac{kJ}{kg}$ )	$\rho_l$ ( $\frac{kg}{m^3}$ )	$\rho_v$ ( $\frac{kg}{m^3}$ )	$\sigma$ ( $\frac{N}{m}$ )
240	304/5	868/9	2/768	0/0186
195	324/6	911/8	0/8984	0/02287

جدول ۱۵: پارامترهای  $Q_{max}$  و تعداد لوله های گرمایی مورد نیاز

نام	BO	K	(KW)Q <sub>max</sub>	(KW)Q <sub>need</sub>	تعداد لوله گرمایی مورد نیاز
کندانسور اول	202/66	2/22	183/38	1904/63	11
کندانسور دوم	187/42	2/62	155/34	1341/88	9

جدول ۱۶: اطلاعات جریان‌های فرآیند تقطیر میعانات گازی پالایشگاه گازی شهید هاشمی نژاد سرخس [۸]

نام جریان	(°C)T	$(\frac{kg}{hr})\dot{m}$
To H-301	253	22983/64
From H-301	340	22983/64
To E-301	57/45	7051/5
From E-301	50/6	7051/5
To E-302	50/6	141/57
From E-302	32/2	141/57
To E-303	57/6	3328/95
From E-303	32/22	3328/95
To E-304	241/2 Tube	988/1
To E-304	341/2 Shell	1118
From E-304	302/2 Tube	988/1
From E-304	286/9 Shell	1118
To E-305	244/51	1242
From E-305	35	1242
To E-306	287	560/121
From E-306	48/98	560/121

جدول ۱۷: اطلاعات و انرژی جریان‌های مورد بررسی امکان‌سنجی

نام جریان	$(\frac{kg}{hr})\dot{m}$	$(\frac{kJ}{kg^{\circ}C})c_p$	(°C)ΔT	(KW)Q
H-301	22983/64	2/41	87	1338/6
E-301	7051/5	3/14	6/85	42/130
E-302	141/57	2/15	18/4	1/56
E-303	3328/95	8/41	25/38	197/4
E-304(Hot Stream)	988/1	2/32	61	37/97
E-304(Cold Stream)	1118	2/36	54/3	39/79
E-305	1242	2/32	209/51	167/74
E-306	560/121	2/41	238/02	89/57



جدول ۱۸: کارکرد کولر هوایی E-301

صرفه اقتصادی	نسبت کارکرد به حالت اولیه	$Q_{new}$	$Q_{lod}$
بله	0/099	4/18	42/130

جدول ۱۹: کارکرد کولر هوایی E-301

$Q_{new}$	$(^{\circ}C)T_{new}$	$(^{\circ}C)T_{old}$	$Q_{Total}$	$Q_{E-306}$	$Q_{E-305}$	$Q_{Cold Stream}$	$Q_{E-303}$	$Q_{E-302}$
842/55 KW	285/24	253	496/06 KW	89/57 KW	167/74 KW	39/79 KW	197/40 KW	1/56 KW

جدول ۲۰: شرط حداقل دما پس از استفاده از لوله‌های گرمایی

نام	$\Delta T_{hot}(^{\circ}C)$	$\Delta T_{cold}(^{\circ}C)$	شرط حداقل دما
لوله گرمایی E-301	$302.2 - 57.45 = 244.75$	$214.2 - 51.28 = 189.92$	برقرار است
لوله گرمایی E-301	$285.24 - 196.182 = 89.058$	$253 - 87.06 = 165.94$	برقرار است

جدول ۲۱: خواص دوترم در دمای،  $175^{\circ}C$  و  $582^{\circ}C$  [۷]

دمای عملکرد $(^{\circ}C)$	$h_{fg}(\frac{kJ}{kg})$	$\rho_1(\frac{kg}{m^3})$	$\rho_v(\frac{kg}{m^3})$	$\sigma(\frac{N}{m})$
175	333/1	930	0/4984	0/024
285	282/3	823	6/920	0/014

جدول ۲۲: پارامترهای  $Q_{max}$  و تعداد لوله‌های گرمایی مورد نیاز

نام	BO	K	$(KW)Q_{max}$	$(KW)Q_{need}$	تعداد لوله گرمایی مورد نیاز
E-301	184/82	2/86	136/37	37/97	1
H-301	226/74	1/15	114/56	496/06	5

جدول ۲۳: هزینه‌ی صرفه‌جویی شده برق کولر هوایی AC2

نام	توان جدید	توان قدیم	مصرف برق قدیم	مصرف برق جدید	قیمت برق ۲۰۱۳	هزینه‌ی صرفه‌جویی شده
AC2	1779/37 KW	3783/28 KW	536/61 KW	252/38 KW	$0/02 \frac{\$}{KWh}$	$44216/976 \frac{\$}{year}$



جدول ۲۴: هزینه‌های پرداختی و صرفه‌جویی شده‌ی استفاده از لوله‌ی گرمایی در ۵ واحد GTU

تعداد لوله‌ی گرمایی	قیمت لوله‌ی گرمایی	هزینه‌ی خرید لوله‌ی گرمایی	هزینه‌ی صرفه‌جویی شده	صرفه‌ی اقتصادی
15	4500 \$	67500 \$	221084/88 \$	بله

جدول ۲۵: هزینه‌ی آب صرفه‌جویی شده‌ی کندانسورهای اول و دوم

قیمت آب سرد ۲۰۱۳	مقدار آب صرفه‌جویی شده	هزینه‌ی صرفه‌جویی شده
0/13 $\frac{\$}{m^3}$	5/27 $\frac{m^3}{hr}$	6001/476 $\frac{\$}{year}$

جدول ۲۶: قیمت پیش گرم‌کن‌های اول و دوم در سال ۲۰۱۳

قیمت پیش گرم‌کن اول	قیمت پیش گرم‌کن دوم	مجموع دو پیش گرم‌کن
191781/984 \$	135117/271 \$	326899/255 \$

جدول ۲۷: هزینه‌ی سوخت پیش گرم‌کن‌های اول و دوم

سوخت مصرفی پیش گرم‌کن اول	سوخت مصرفی پیش گرم‌کن دوم	مجموع سوخت مصرفی	هزینه‌ی سوخت	هزینه‌ی صرفه‌جویی شده
0/7029 $\frac{m^3}{hr}$	0/4959 $\frac{m^3}{hr}$	1/1988 $\frac{m^3}{hr}$	0/067 $\frac{\$}{m^3}$	702/552 $\frac{\$}{year}$

جدول ۲۸: هزینه‌های پرداختی و صرفه‌جویی شده‌ی استفاده از لوله‌ی گرمایی در ۴ واحد URS

تعداد لوله‌ی گرمایی	قیمت لوله‌ی گرمایی	هزینه‌ی خرید لوله‌ی گرمایی	هزینه‌ی صرفه‌جویی شده	صرفه‌ی اقتصادی
80	4500 \$	360000 \$	1334413/132 \$	بله

جدول ۲۹: هزینه‌ی صرفه‌جویی شده‌ی برق کولر هوایی E-301

نام	توان جدید	توان قدیم	مصرف برق قدیم	مصرف برق جدید	قیمت برق ۲۰۱۳	هزینه‌ی صرفه‌جویی شده
AC2	4/18 KW	42/13 KW	5/92 KW	0/587 KW	0/02 $\frac{\$}{KWh}$	102/84 $\frac{\$}{year}$



جدول ۳۰: قیمت کولرها و مبدل گرمایی [۸]

شماره دستگاه	سرویس	قیمت دستگاه در سال ۲۰۰۷ (\$)	قیمت دستگاه در سال ۲۰۱۳ (\$)
E-302	کولر نهایی حلال	27/81	29/86
E-303	کولر نهایی نفتا	708/99	761/45
E-304	مبدل گرمایی	195/955	210/45
E-305	کولر نهایی نفت سفید	483/32	519/08
E-306	کولر نهایی گازوئیل	483/32	519/08
	مجموع	2039/92	

جدول ۳۱: میزان آب سرد مورد نیاز و هزینه‌ی آب صرفه‌جویی شده کولرها [۸]

شماره دستگاه	دبی ( $\frac{m^3}{hr}$ )	قیمت آب سرد ۲۰۱۳ ( $\$/m^3$ )	هزینه‌ی صرفه‌جویی شده $\frac{\$}{year}$
E-302	1/32		
E-303	34/36		
E-305	28/567		
E-306	27/6		
		0/13	104419/2

جدول ۳۲: هزینه‌ی سوخت پیش گرم‌کن‌های اول و دوم

سوخت مصرفی قدیم کوره	سوخت مصرفی جدید کوره	مجموع سوخت مصرفی	هزینه‌ی سوخت	هزینه‌ی صرفه‌جویی شده
0/495 $\frac{m^3}{hr}$	0/311 $\frac{m^3}{hr}$	0/184 $\frac{m^3}{hr}$	0/067 $\frac{\$}{m^3}$	108 $\frac{\$}{year}$

جدول ۳۳: هزینه‌های پرداختی و صرفه‌جویی شده‌ی استفاده از لوله‌ی گرمایی در ۴ واحد Topping Plant

تعداد لوله‌ی گرمایی	قیمت لوله‌ی گرمایی	هزینه‌ی خرید لوله‌ی گرمایی	هزینه‌ی صرفه‌جویی شده	صرفه‌ی اقتصادی
80	4500 \$	54000 \$	213134/24 \$	بله





# Techno-Economical Feasibility Study on Heat Pipes Applications in Operational Units of Khangiran Gas Refinery

Mohammad Safari<sup>1</sup>, Alireza Gholamrezazadeh<sup>1</sup>, Mahdi Niknam Shahrak<sup>2\*</sup>

1-Iran, Quchan, Quchan University of Advanced Technology, Department of Chem. Eng. Undergraduate Student

2-Iran, Quchan, Quchan University of Advanced Technology, Department of Chem. Eng., Assistant Professor

Corresponding Author, Email: m.niknam.sh@qiet.ac.ir

## Abstract

Availability and greener combustion of natural gas (NG), as one of the biggest energy sources, has led to many attentions to NG in the world. Heat losses from various operation units of a gas refinery usually occurs. So the efficient recovery of the waste heats should be properly considered. In this article after a brief review on the specification and different types of heat pipes, their feasibility on the heat recovery in a typical gas refinery is investigated. Three units of Sarakhs' gas refinery, as a case study, have been chosen for this purpose. Heat recovery using heat pipes in gas treating unit (GTU), Sulfur recovery unit (SRU) and Topping plant of Sarakhs' refinery is investigated from technical and economical point of view. The obtained results indicate that waste heat recovery by heat pipes in various units of Sarakhs' refinery can be led to 1.8 million dollars saving per year.

*Keywords: Gas treating unit, Sulfur recovery unit, Topping Plant, Heat Pipe, Heat Recovery.*

