نقش مکمل CHPها در تاسیسات نفتی به منظور کاهش هزینه‌ها

داود مقدم شیبای

کارشناس ارشد، شرکت نفت و گاز پارس، D.M.Sheibai@Gmail.com

Archive of SID

چکیده

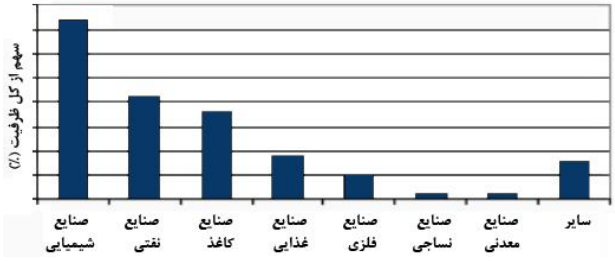
در صنایع نفتی، واحد یوتیلیتی وظیفهٔ تولید برق و بخار را به عهده دارد. در حالت کلی راندمان تولید برق حدود ۳۵٪ و راندمان تولید بخار حدود ۹۰٪ می‌باشد و این به معنی تلف شدن بیش از ۷۰٪ انرژی در واحد یوتیلیتی است، در حالی که یک سیستم CHP با تولید همزمان انرژی الکتریکی و حرارتی، راندمانی بیش از ۸۵٪ دارد. یعنی راندمان الکتریکی آن حدود ۳۵٪ و راندمان حرارتی آن حدود ۵۰٪ است و در مقایسه با سیستم‌های تولید برق و تولید حرارت مشابه و رایج که به صورت مجزا هستند حدود ۳۵٪ سوخت کمتری مصرف می‌کند. به علاوه مقداری از گاز ورودی به تاسیسات نفتی نیز از طریق فلر هدر می‌رود. لذا با استفاده از سیستم FGR جهت بازیافت گاز فلر و با استفاده از CHP به عنوان مکمل واحد یوتیلیتی می‌توان بازده کل تاسیسات نفتی را افزایش داد. در یک مطالعهٔ موردی نشان داده شده است که با بازیافت گاز فلر، چیزی در حدود ۸۹٪ آن را دوباره وارد چرخهٔ پروسس می‌شود و حدود ۲۵٪ آن را گاز سوختی تشکیل می‌دهد و می‌توان جهت سوخت CHPها از آن استفاده نمود. این امر موجب کاهش سوخت ورودی به تاسیسات نفتی شده و راندمان آن را افزایش می‌دهد. در این مقاله با استفاده از آنالیز گاز پتروشیمی تبریز و پالایشگاه نفت شیراز نشان داده می‌شود، که با استفاده از CHP به عنوان مکمل واحد یوتیلیتی، می‌توان راندمان تاسیسات مذکور را افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: واحد یوتیلیتی، فلر، CHP, CCHP, FGR

www.SID.ir

مقدمه

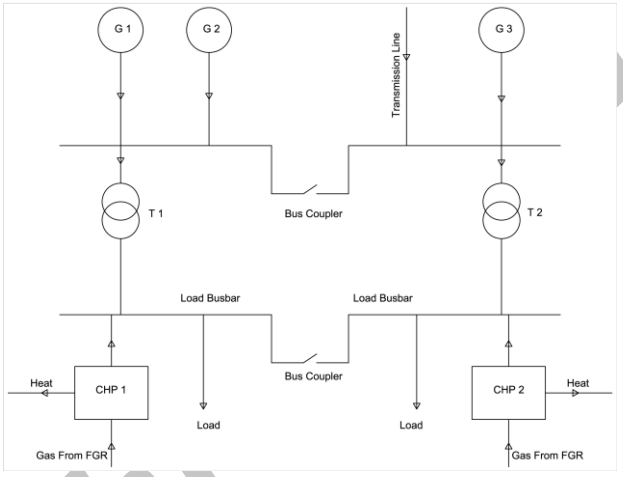
در طی سالهای گذشته به علت ارزان بودن انرژی در پالایشگاه‌ها و پتروشیمی‌ها، صنعت نفت کشور نیازی به کاهش انرژی ورودی و افزایش راندمان تجهیزات خود احساس نمی‌کرد. این در حالی است که کشورهای پیشرفتهٔ جهان راندمان تک تک تجهیزات خود را برآورد کرده و سعی در کاهش تلفات آنها دارند. امروزه با افزایش چشمگیر قیمت انرژی، ما نیز باید به فکر کاهش تلفات و افزایش راندمان سیستم‌ها در کشور خود باشیم. یکی از راه حل‌ها، استفاده از سیستم‌های تولید همزمان (Cogeneration) است. تولید همزمان، عبارت است از تولید توام ترمودینامیکی دو یا چند شکل انرژی از یک منبع سادهٔ اولیه [۱]. یعنی انرژی را از یک منبع سوختی مانند گاز طبیعی به دو شکل از انرژی مکانیکی و حرارتی تبدیل می‌کند. این فناوری از ابتدای قرن بیستم به عنوان یک روش اقتصادی برای رفع نیاز به انرژی در کارخانه‌ها به کار گرفته شد [۱]. تولید همزمان حرارت و برق برای اولین بار در نیروگاه‌های سیکل بخار به کار رفت و از بخار استخراج شده از سیکل برای مصارف گرمایشی کارخانه و واحدهای اطراف آن استفاده می‌شد. این عمل گرچه باعث کاهش راندمان نیروگاه بوده اما با تامین حرارت مورد نیاز واحد، از مصرف حجم زیادی سوخت جلوگیری می‌کرد. در بسیاری از کارخانجات صنعتی، بخار داغ خروجی در فرآیندهای صنعتی بکار گرفته می‌شد، به طوری که در اوایل ۱۹۰۰ در آمریکا، حدود ۵۸٪ از کل توان تولید شده در نیروگاه‌ها در محل، به شکل تولید همزمان بوده است. هنگامی که نیروگاه‌های برق مرکزی و شبکه‌های قابل اطمینان برق ساخته شدند، هزینه‌های تولید و تحویل کاهش یافت و بدین سبب بسیاری از کارخانجات صنعتی از این شبکه‌ها، برق خریداری می‌شود و تولید برق خود را متوقف کردند. در نتیجه استفاده از تولید همزمان که ۱۵٪ از مجموع ظرفیت الکتریسیته تولیدی آمریکا در سال ۱۹۵۰ را به خود اختصاص داده بود، در سال ۱۹۷۴ به ۵٪ کاهش یافت. سایر عوامل کاهش استفاده از تولید همزمان عبارت بودند از: سهم اندک هزینه‌های خرید برق از شبکه در مجموع هزینه‌های جاری کارخانه‌ها، پیشرفت فناوری‌هایی نظیر دیگ‌های بخار نیروگاهی، در دسترس بودن سوخت‌های مایع و گازی با قیمت پایین و عدم توجه به مسائل زیست محیطی. در سال ۱۹۷۳ پس از بروز بحران انرژی در اغلب کشورهای جهان، روند مذکور در تولید همزمان شکل معکوس به خود گرفت. در اثر کاهش منابع سوخت فسیلی و افزایش قیمت‌ها، این سامانه‌ها که بازده انرژی بیشتری داشتند، بسیار مورد توجه قرار گرفتند. تولید همزمان علاوه بر کاهش مصرف سوخت، گازهای آلاینده را نیزکاهش می دهد. به همین دلیل بیشتر کشورهای اروپایی و آمریکا و ژاپن اقداماتی در زمینه افزایش استفاده از تولید همزمان انجام دادند. یکی از روش‌های تولید همزمان استفاده از ایستگاه‌های CHP (Combined Heat and Power) بود. ولی بازده آنها پایین بود تا اینکه در اوایل سال‌های ۱۹۸۰ بازدهی و قابلیت اطمینان توربین‌های گازی کوچک (یک تا ۴۰ مگاواتی) تا اندازه‌ای افزایش یافت که برای کاربرد در ایستگاه‌های CHP صنعتی بزرگ مناسب شناخته شدند. شکل ۱ نحوه‌ی توزیع ظرفیت تولید همزمان برق و حرارت صنعتی در بخش‌های مختلف صنعتی در اتحادیه اروپا را نشان می‌دهد.



شکل ۱- توزیع ظرفیت CHPهای صنعتی

Archive of SID
www.SID.ir

با عنایت به اینکه در تمام تاسیسات نفتی کشور واحد یوتیلیتی وجود دارد که به منظور تولید برق و بخار از آن استفاده می‌شود، و از طرفی در سیستم CHP، فرآیند تولید به گونه‌ای است که ابتدا برق تولید می‌شود و سپس حرارت تولید شده به صورت بخار داغ یا گازهای اگزوز بازیافت شده و به صورت انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد، از اینرو CHPها (منظور CHPهایی با سوخت گاز طبیعی) مکمل بسیار خوبی برای واحدهای یوتیلیتی صنایع نفتی محسوب می‌شوند. در ضمن هزینه‌های متوسط تبدیل یک واحد انرژی در واحدهای CHP پایین‌تر از سایر روش‌ها است. شکل ۲ یک طرح ساده از شبکه برق پست اصلی پالایشگاه گاز را نشان می‌دهد. با تزریق توان الکتریکی از طریق CHP به باس مصرف، توان مورد نیاز خروجی مولدها کاهش می‌یابد و چون توان اکتیو خروجی مولد برق رابطه مستقیم با میزان سوخت ورودی آن دارد، در نتیجه با کاهش توان اکتیو مولد برق، میزان سوخت ورودی نیز کاهش خواهد یافت.



شکل ۲- دیاگرام تک خطی پست با CHP مکمل

با وجود CHPها در باس مصرف قابلیت اطمینان انرژی الکتریکی پست نیز افزایش می‌یابد و می‌توان هزینه‌ای که بابت دیماند به شبکه سراسری جهت افزایش قابلیت اطمینان پست، پرداخت می‌شود را کاهش و یا حتی حذف نمود.

ایستگاه‌های CHP یکی از مهمترین کاربردهای تولید پراکنده هستند و باید توجه داشت که سیستم CHP به تنهایی در صنایع نفتی کاربردی ندارند زیرا ایستگاه‌های CHP، نیروگاه‌های کوچکی هستند که جریان باری تا حدود ۵ کیلو آمپر را برآورد می‌کنند.

امکان سنجی

در صورتی که مصرف مربوطه مناسب باشد و نیاز همزمان برق و حرارت بیش از ۴۵۰۰ ساعت در طول سال باشد، نصب CHP می‌تواند مقرون به صرفه باشد. یعنی در صورتی که مصرف کننده خصوصیات زیر را داشته باشند به هنگام نصب CHP صرفه‌جویی قابل توجهی در هزینهٔ انرژی به دست می‌آید. مشخصات یک سیستم ایده‌ال برای نصب و اجرای CHP:

۱- نیاز حتمی به توان الکتریکی

www.SID.ir

۲- افزونی موارد استفادهٔ انرژی حرارتی نسبت به انرژی الکتریکی

۳- الگوی بار پایدار و ثابت انرژی حرارتی و الکتریکی

۴- طولانی بودن ساعات بهره‌برداری فرآیند

۵- قیمت بالای برق شبکه یا عدم دسترسی به شبکه

دستورالعمل فروش برق

در حوالی سال‌های ۱۹۸۰، تولید همزمان برق و حرارت اغلب به پروژه‌های فروش قدرت به شرکت‌های برق آمریکا در کنار تهیهٔ دیگر کالاها مطابق قانون ساماندهی PURPA مصوب ۱۹۷۸ اطلاق می‌شد [۱]. در ایران نیز در بهمن ماه سال ۱۳۸۷ دستورالعملی تهیه شده که بر اساس آن مولدهای مقیاس کوچک می‌توانند برق خود را به شبکهٔ سراسری بفروشند. همچنین بر اساس ماده ۴-۱۹- تبصرهٔ ۲ دستورالعمل، اینگونه مولدها مشمول رعایت حداقل بازده الکتریکی موثر نمی‌باشند و می‌توانند با توانیر عقد قرارداد تضمینی فروش برق منعقد نمایند.

سوخت ورودی CHP

سوخت ورودی CHPها را می‌توان از دو روش تامین نمود. یکی گاز ورودی به نیروگاه‌های داخل واحد یوتیلیتی و دیگری از خروجی سیستم FGR (Flare Gas Recovery) است. در این مقاله اولویت اول استفاده از خروجی سیستم FGR می‌باشد و سوخت ورودی به نیروگاه یوتیلیتی جهت افزایش قابلیت اطمینان سوخت در نظر گرفته می‌شود.

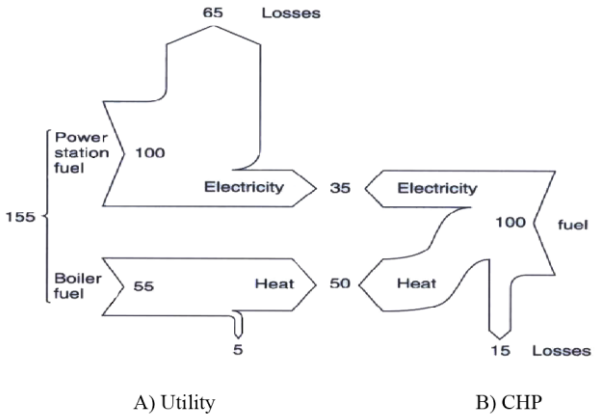
گاز ورودی به نیروگاه‌های واحد یوتیلیتی

درحـــــالی که تعدادی از نیروگاه‌های مدرن به بازده تبدیل انرژی حدود ۶۰٪ دست یافته‌اند ولی کارآیی مولدهای تولید برق با سوخت‌های پایه فسیلی به طور معمول و به روش متمرکز بین ۲۷٪ تا ۵۵٪ است (در ایران بین ۳۰٪ تا ۴۰٪) و بیشتر راندمان نیروگاهی مربوط به نیروگاه سیکل ترکیبی است و این یعنی اتلاف بیش از نیمی از انرژی سوخت که عمدتا به صورت انرژی حرارتی است که بالاخره به ترتیبی مستهلک خواهد شد. انرژی دور– ریز گاهی به آب خنک کـــــاری افزوده می‌گردد، اما اغلب موارد به اتمسفـــــــر پخش می‌شود، که این گرما را می‌توان نوعی آلاینده تلقی کرد. هیچ یک از فرآیندهای تبدیل انرژی ترمودینامیکی یا الکتروشیمیایی حتی از نظر تئوریک نمی‌توانند در ۱۰۰٪ بازده انجام شوند و بازده‌های عملی تبدیل انرژی همیشه پایین‌تر از حدود نظری است و تلفات انرژی اجتناب ناپذیر است.

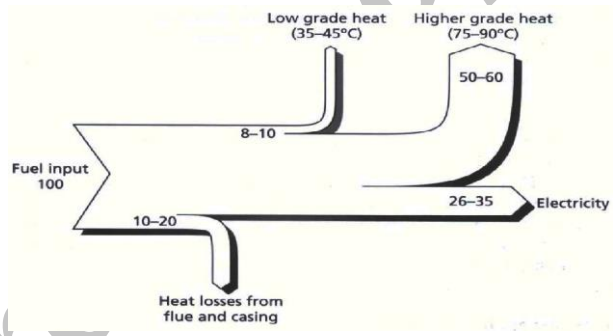
دستگاه CHP بیشترین بهره‌وری را در مصرف سوخت دارد. به گونه‌ای که متوسط راندمان یک مولد الکتریکی به طور متوسط در حدود ۳۵٪ و متوسط راندمان یک بویلر ۹۰٪ است. در حالی که یک سیستم CHP با تولید هر دوی این محصولات راندمانی بیش از ۸۵٪ را دارد. یعنی راندمان الکتریکی آن حدود ۳۵٪ و راندمان حرارتی آن حدود ۵۰٪ است و در مقایسه با سیستم‌های

Archive of SID
www.SID.ir

تولید برق و تولید حرارت مشابه رایج که به صورت مجزا هستند حدود ۳۵٪ سوخت کمتری مصرف می‌کند [۳]. در شکل ۳ میزان راندمان یک CHP با مولد بخار و برق که به طور جداگانه این انرژی را تولید می‌کنند، مقایسه شده است. همچنین در شکل ۴ بالانس انرژی برای CHP نشان داده شده است.



شکل ۳- مقایسهٔ یک CHPبا مولد برق و مولد بخار



شکل ۴- مقایسهٔ بالانس انرژی یک CHP

فلرها

برج‌های فلر (Flare) در صنایع نفتی به عنوان سیستم رهاساز گازهای اضافی مورد استفاده قرار می‌گیرند که از لحاظ ایمنی و کنترل فشار بسیار با اهمیت‌اند. پرداختن به موضوع فلرها از دو جهت دارای اهمیت می‌باشد، اولی از لحاظ زیست محیطی و دومی از لحاظ اقتصادی.

بررسی محیط زیستی

www.SID.ir

سوزاندن ترکیبات آلی از طریق ارسال گازها در فلر مشکلات زیست محیطی زیادی را به وجود می‌آورد که از جمله می‌توان به انتشار گازهای گلخانه‌ای مثل Co_xها، گازهای آلایندهٔ هوا مثل So_xها و No_xها و هیدرو کربن‌های نسوخته، بوی نامطبوع، نور و صدا را نام برد.

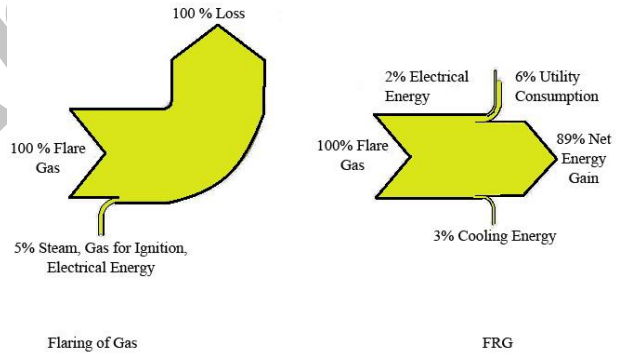
برنامهٔ ملی حفاظت از محیط زیست آلمان تدابیر مختلفی برای کاهش انتشار گاز دی اکسید کربن اندیشیده است. برای بخش صنعت ۷ راه کار به همراه اثر کاهشی پیش‌بینی شده و برای هر یک بر حسب میلیون تن تا سال ۲۰۰۵ پیشنهاد شده است. یکی از این طرح‌ها برنامهٔ دراز مدت تولید توام گرما و الکتریسیته است، که در این طرح با به کارگیری CHP مقدار گاز تا ۱۰ میلیون تن کاهش می‌یابد [۲].

بررسی اقتصادی

حجم زیادی از گازهای ارسالی به فلرها از ارزش سوختی بالایی برخوردارند و از لحاظ اقتصادی بسیار با ارزش‌اند و می‌توان از آن به عنوان خوراک برای واحدهای دیگر و یا از سیستم بازیابی گازهای ارسالی به فلر استفاده نمود، زیرا سوزاندن گازها در فلر باعث افزایش تلفات و کاهش راندمان سیستم نفتی می‌گردد.

در یک مطالعهٔ موردی می‌توان با بازیافت گاز فلر، چیزی در حدود ۸۹٪ از آن را دوباره مصرف نمود و چیزی در حدود ۲۰٪ تا ۲۵٪ آن را گاز سوختی تشکیل می‌دهد [۶]. در شکل ۵ بالانس انرژی فلر با گاز فلر بازیافت شده را نشان می‌دهد.

بر اساس اطلاعات بانک جهانی در سال ۲۰۰۵ کل گازهای گلخانه‌ای تولید شده توسط فلرها در دنیا ۲۱۳ میلیون تن بوده و ایران با تولید ۲۸٫۱ میلیون تن، سهم ۱۳٫۲ درصدی دارد که این مقدار معادل ۱۴ بیلیون متر مکعب گاز طبیعی به ارزش ۱۰ میلیارد دلار می‌باشد [۴].

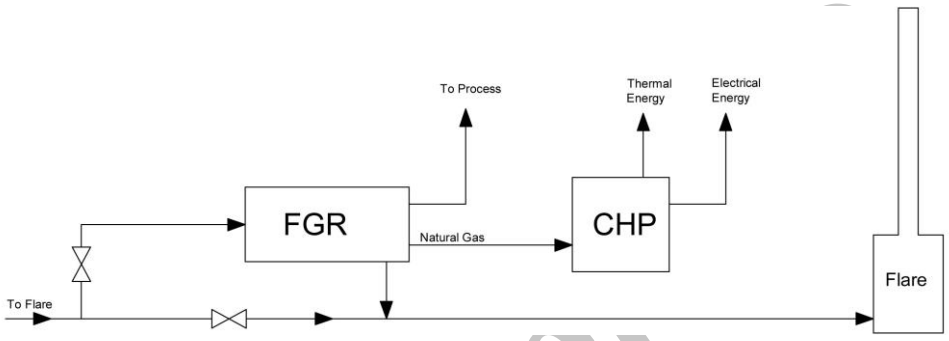


شکل ۵- مقایسهٔ بالانس انرژی فلر با گاز فلر بازیافت شده [6]

مدل‌سازی

Archive of SID
www.SID.ir

میزان گاز ارسالی به فلر از لحاظ حجمی و ترکیبات (ترکیبات سنگین و سبک) متغیر می‌باشد و در حال حاضر نیز امکان محاسبات دقیق وجود ندارد. برای برطرف کردن این موضوع از سیستم FGR استفاده می‌شود. در چند سال اخیر اکثر پالایشگاه‌های کشورهای پیشرفته به منظور مسائل زیست محیطی و افزایش راندمان از سیستم FGR استفاده می‌کنند. در این سیستم، بسته به ارزش ترکیبات گاز بازیافت شده، بخشی از این گاز دوباره به سیستم پروسس بازگردانده می‌شود و بخشی دیگر جهت سوخت گازی می‌تواند در ایستگاه‌های CHP مورد استفاده قرار گیرد. شکل ۶ شمای کلی از یک سیستم بازیابی گازهای ارسالی به فلر (FGRS) را نشان می‌دهد.



شکل ۶- نمای کلی از سیستم بازیابی گازهای ارسالی به فلر

سیستم FGR از چهار قسمت عمده تشکیل شده است:

۱- بخش آنالیز گازهای فلر (مقدار و نوع گازهای فلر)

۲- بخش آماده‌سازی گاز فلر (مثل فشرده‌سازی یا تجزیه)

۳- بخش انتقال گاز بازیافتی

۴- بخش مولدهای CHP

Archive of SID

بحث اقتصادی

اگر بخواهیم میزان انرژی تولید شده را محاسبه کنیم، باید حداکثر گاز قابل بازیابی فلرها را در نظر بگیریم. جهت بررسی از سه فلر با آنالیز گاز طبق جدول ۱ استفاده شده است. در محاسبات میزان جرم مولکولی هوای خشک ۲۸٫۹۷ $[gr/mol]$ و راندمان سیستم FGR را ۸۹٪ در نظر گرفته شده است.

اگر از یک CHP با راندمان الکتریکی ۳۵٪ و راندمان حرارتی ۵۰٪ استفاده کنیم، میزان توان الکتریکی و توان حرارتی برای سه تاسیسات نفتی به شرح جدول ۲ می‌باشد. به علت کمک گرفتن فلر از بخار آب برای اختلاط، در صورت بازیافت گازهای فلر این بخار هم به مصرف نرسیده و می‌توان هزینهٔ آنرا به عنوان درآمد در نظر گرفت. برای راحتی محاسبات، سود ناشی از صرفه‌جویی بخار را با هزینهٔ نگهداری و تعمیرات سیستم CHP برابر فرض می‌کنیم.

www.SID.ir

جدول ۱- آنالیز گاز در سه تاسیسات نفتی کشور

نوع گاز	مقدار بر درصد در پتروشیمی تبریز	مقدار بر درصد در پالایشگاه نفتی شیراز	در پالایشگاه گازی پارس مقدار بر درصد جنوبی
C_1H_4	۳/۶۲	۲۳/۹	۸۸
C_2H_6	۱/۱۸۵	۴/۱	۵/۶
C_2H_4	۱۶/۹۶	–	–
C_2H_2	۰/۰۷۵	–	–
C_3H_8	۰/۱۲	۴	۰/۵
C_3H_6	۱/۹۱	–	–
C_3H_4	۰/۰۳۵	–	–
C_3H_4	۱/۱۳۴	–	–
$n\text{-}C_4H_{10}$	۰/۶۱	۱/۸	–
$i\text{-}C_4H_{10}$	۰/۱۶۵	۱/۴	–
$1\text{-}C_4H_8$	۰/۷۳۵	–	–
$i\text{-}C_4H_8$	۰/۳۰۸	–	–
$Trans2\text{-}C_4H_8$	۰/۰۷۷	–	–
$1,3\text{-}C_4H_6$	۲/۸۳	–	–
$1,2\text{-}C_4H_6$	۰/۰۰۲	–	–
C_4H_4	۰/۰۰۴	–	–
C_4H_6	۰/۰۰۱	–	–
$n\text{-}C_5H_{12}$	۰/۳۴۵	۰/۶	–
$i\text{-}C_5H_{12}$	۰/۵۵	۱/۱	–
H_2	۳۰/۳	۵۵/۱	–
N_2	۳۹/۰۳۴	–	۳/۲
H_2S	-	۷/۲	۰/۶
سایر	–	۰/۸	۰/۲
CO_2	–	–	۱/۹

جدول۲- میزان تولید انرژی الکتریکی و حرارتی

تاسیسات نفتی	مقدار انرژی حرارتی خروجی (Kwh) CHP	مقدار توان الکتریکی خروجی (Kwh) CHP	ارزش حرارتی مقدار گاز طبیعی قابل استفاده (BTU/ft^3)	تخمین میزان گاز خروجی از فلر (Kg/hr)
پتروشیمی تبریز	۵۷/۳۲۹۲۴	۳۵/۶۹۵۵۶	۱۱/۷۵۲۴	۸۵۰
پالایشگاه نفتی شیراز	۵۷۸/۲۱۴۵۹	۳۶۰/۰۲۰۴	۲۳۷/۰۳۰۶	۲۷۵
پالایشگاه گازی پارس جنوبی	۸,۶۳۲/۷۲۴۵۱	۴,۹۹۷/۸۹۳۱۴	۸۷۲/۷۴۸۸	۱۲۰۰

Archive of SID
www.SID.ir

نتیجه‌گیری

با توجه به آلودگی‌های زیست محیطی ایجاد شده ناشی از گازهای فلرینگ تاسیسات نفتی، انجام این پروژه بسیار مقرون به صرفه بوده و حتی می‌توان برق تولیدی از گازهای بازیافتی را به شبکهٔ سراسری تزریق نمود که با توجه به تعداد زیاد تاسیسات نفتی این امر موجب افزایش ظرفیت تولید برق در کشور می‌شود. به طوری که با قیمت توان الکتریکی ۳۰۳ ریال در هر کیلووات، میزان صرفه جویی فقط برای برق تولیدی در پالایشگاه نفتی شیراز سالانه مبلغی بالغ بر ۹۵۲,۳۲۲,۳۴۷/۵ریال با ۳۰ روز فرصت تعمیراتی می‌باشد.

با کاربرد این طرح در مناطق گرمسیری جنوب کشور می‌توان از CCHP (Combined Cool, Heat and Power)ها نیز به منظور سیستم برودتی استفاده نمود.

مراجع

۱. رمضانی آقداش، مهدوی، "مطالعه و بررسی تولید همزمان در نیروگاه سیکل ترکیبی شریعتی مشهد"، هفتمین همایش ملی انرژی، ۱۳۸۸.

2. Germany's National Climat Protection Programme, Adopted on 18 Oct. 2000 by the German Federal Government, Report by the "Co2 Reduction" International working group, 2000.

۳. گروه مولفان سازمان بهره‌وری و انرژی ایران، "صرفه‌جویی و مدیریت انرژی در سیستم‌های حرارتی"، ISBN:۹۶۴-۶۵۵۳-۱۴-۱، ۱۳۸۳.

4. Marland and et all, "*Global, Regional and National Annual Co2 Emissions from fossil-Fuel Burning, Cement Manufacture and Gas Flaring: 1751-2003*", 2006.

۵. چاوشی باشی و همکاران، "مطالعه امکان سنجی سیستم بازیابی گازهای ارسالی به فلر پتروشیمی تبریز و کاهش عملیات فلرینگ تحت مکانیزم CDM"، شرکت سهامی پتروشیمی تبریز، تبریز، ۱۳۸۷.

6. WEBER group, "*Flare gas recovery system", WEBER Engineering*, (2012).

۷. مطلب میری و همکاران، "مقدمه‌ای بر سیستم‌های تولید مشترک برق و حرارت"، سازمان بهره‌وری انرژی ایران، ۱۳۸۳.

۸. نامداریان، "بازیافت گازهای ارسالی به فلر در پالایشگاه‌ها"، شرکت پالایش نفت شیراز، شیراز ، ۱۳۸۹

Archive of SID

www.SID.ir