مدیریت گازهای فلر با استفاده از روش های بازیابی

محمدتقی ابدی[1] ، محمد ایرانی[2*]، احمد توسلی[3]

۱- ایران، تهران، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی انرژی، دانشکده‌ی محیط‌زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

۲- ایران، تهران، استادیار، پژوهشگاه صنعت نفت* (مسوول مکاتبات)

۳-ایران، تهران، دانشیار ،گروه مهندسی انرژی، دانشکده‌ی محیط‌زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

نویسنده مسئول، ایمیل: iranim@irpi.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۲/۱۵

چکیده:

با توجه به روند رشد صنعتی جهان و نیاز به مصرف بیشتر سوخت‌های فسیلی، در پالایشگاه‌ها، پتروشیمی و...، همواره یکی از خواسته های مدیریت انرژی، پیرامون راهکارهای بهینه‌سازی ساختار واحدهای صنعتی و بازیابی گازهای فلر است. شبیه سازی می تواند یکی از مهم‌ترین ابزارها جهت ارزیابی فنی و در نتیجه کمک به ارزیابی اقتصادی در فازهای مختلف مطالعاتی باشد. ارزیابی اقتصادی در هر پروژه نمایانگر سوددهی یا عدم آن است. هرچند ارزیابی فنی بسیار مهم و حائز اهمیت است اما بدون ارزیابی اقتصادی، آنالیز مساله کامل نیست و در تصمیم‌گیری تردید ایجاد می کند. شرط پذیرش راهکارهای فنی، اقتصادی بودن اجرای آن است. در این مقاله ارزیابی اقتصادی برمبنای شبیه سازی انجام شده و این موضوع بیان می‌شودکه واحد فشار افزایی با برگشت سرمایه‌ی سه ساله به‌عنوان گزینه‌ی اول برای استفاده‌ی مجدد از گاز فلر بوده و تبدیل گاز به مایع با برگشت سرمایه‌ی چهار ساله گزینه‌ی دوم و تولید انرژی الکتریسیته با برگشت سرمایه‌ی نه ساله گزینه سوم است

کلمات کلیدی: بازیابی گاز فلر، مدیریت انرژی، تولید برق، فشارافزایی گاز، تبدیل گاز به مایع، ارزیابی اقتصادی.

۱- مقدمه

انرژی به عنوان اصلی ترین نیاز ساختار صنایع مختلف، نقشی غیرقابل انکار را در جهان بازی می کند. همواره سوخت‌های فسیلی به عنوان مهمترین منبع انرژی در جهان مورد استفاده قرار گرفته اند. با توجه به اینکه مصرف این نوع انرژی با در نظر گرفتن قیمت آن نسبت به دیگر سوخت‌ها از جمله منابع تجدیدپذیر و ... بسیار مناسب است، کماکان استفاده از سوخت‌های فسیلی در رتبه‌ی اول مصرف قرار دارد و ایران نیز با توجه به وابستگی اقتصادی به سوخت‌های فسیلی در جهت به حرکت درآوردن صنعت کشور ناگزیر است در عمل به سمت اعمال دقیق سیستم مدیریت انرژی برای جلوگیری از هرز رفت انرژی و آلودگی های محیط‌زیست گام بردارد. در مقیاس جهانی نیز تنها صنایعی که اهمیت تحقیق و همکاری در این فرآیندها را به‌طور جدی مورد استفاده و حمایت خود قرار داده در عرصه‌ی رقابت باقی خواهند ماند و از روش‌های ارایه شده جهت بهبود سیستم و یا ایجاد قابلیت جدید استفاده کنند. صنایع پالایش نفت، گاز و پتروشیمی ایران یکی از مصرف‌کنندگان اصلی سوخت‌های فسیلی است که یکی از مهم‌ترین و متداول ترین تجهیزات ایمنی در این صنایع در زمینه‌ی فلرها وجود دارد. با توجه به اینکه سوختن گازها باعث جلوگیری از ارسال مواد سمی به اتمسفر می شود اما همچنان علل مختلفی از جمله احتراق ناقص، آلودگی زیادی ایجاد می کند. در عین حال این گازها دارای ارزش سوختی بالایی نیز هستند. موارد زیر اهمیت پژوهش درباره‌ی این موضوع را بیان می‌کند.

۱) سالانه بالغ بر ۱۵۰ میلیارد متر مکعب گاز در جهان تحت عنوان فلرینگ (یا سوزاندن گازها توسط مشعل) به مواد آلاینده تبدیل می‌شود که معادل ۱۵ تا ۲۰ میلیارد دلار اتلاف منابع تنرژی است. طبق آمارهای بانک جهانی، این رقم معادل یک سوم مصرف گاز کل اروپا و برابر با مصرف گاز بخش

مسکونی آمریکا است[۱].

۲)حدود دو سوم از حجم فلرینگ کشورهای حوزه‌ی خلیج فارس مربوط به ایران است در حالی‌که در یک، دو دهه‌ی گذشته عربستان سعودی به‌عنوان بزرگترین عامل فلرینگ منطقه شناخته می شد. این کشور برای جلوگیری از هدررفت گازهای فلر، با راه اندازی شبکه‌ی خطوط لوله، این گازها را در بازار داخلی مورد استفاده قرار داده است[۲].

۳) انجمن IEO[1] پیش‌بینی می‌کند که تقاضای الکتریسته در جهان در فاصله‌ی سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۳۵ سالانه به میزان ۲/۳ درصد افزایش پیدا کند، درحالی که خالص الکتریسته تولیدی با افزایش۸۴ درصدی از مقدار ۱۹/۱ trillion kWh در سال ۲۰۰۸ به مقدار ۲۵/۵ trillion kWh در سال ۲۰۲۰ و به مقدار ۳۵/۲ trillion kWh در سال ۲۰۳۵ مواجه خواهد بود[۳].

۲- اهمیت انرژی

اقتصاد انرژی به‌عنوان یکی از زیر مجموعه های اقتصاد، دارای تاریخچه‌ای طولانی است اما جایگاه و اهمیت آن از لحاظ اقتصادی عموماً به‌وسیله‌ی بحران ها (بحران های واقعی یا بحران های موهوم[2]) شدیداً دچار تغییر می شوند. شروع مباحث اقتصادی انرژی به عرضه‌ی زغال‌سنگ و قدرت اقتصادی انگلستان در قرن گذشته مربوط می‌شود (جونز، ۱۸۶۶). اما شوک اول نفتی در سال ۱۹۷۳، انرژی را به‌عنوان یک سرفصل به مباحث اقتصاد دانان بازگرداند. اخیرا نیز مباحث محیط‌زیستی، علاقه به این موضوع را افزایش داده است. انرژی همواره یک مسأله‌ی حایز اهمیت است اما متأسفانه در برخی از ادوار به‌دلیل خوش‌بینی کاذب ناشی از قیمت نزولی و عرضه‌ی فراوان، اهمیت آن نادیده گرفته شده است[۴].

۳- وضعیت مدیریت انرژی آمریکا و اقدامات انجام شده

بخش صنعت به‌علت افزایش قیمت انرژی و همچنین تغییر قوانین و مقررات حفاظت محیط‌زیست در چند دهه‌ی اخیر، به موضوع مدیریت انرژی و صرفه جویی انرژی توجه خاصی نموده و برنامه ها و اقدامات مؤثری در این زمینه انجام داده است. شدت مصرف انرژی صنایع آمریکا در طی سی سال گذشته کاهش یافته است. سهم عمده ای از این کاهش شدت مصرف انرژی، ناشی از اقدامات و برنامه های مدیریت انرژی و صرفه‌جویی انرژی بوده است.

۳-۱- حمایت از آزمایشگاههای ملی

وزارت انرژی آمریکا DOE[3]، با حمایت از آزمایشگاه های ملی در امر تحقیق و توسعه‌ی فنآوری های انرژی و استفاده از این فنآوری ها در صنایع، به مدیران صنایع کمک می کند تا بازده‌ی انرژی در فرآیندهای خود را افزایش دهند.

۳-۲- برنامه های آژانس حفاظت از محیط‌زیست APE[4]

آژانس حفاظت محیط‌زیست با تدوین قوانین محیط‌زیستی و همچنین حمایت مالی از طرح های صرفه جویی انرژی، اقدامات مؤثری در زمینه‌ی مدیریت انرژی و صرفه جویی انرژی انجام می‌دهد.

۳-۳- تقویت آگاهی صنایع از نحوه‌ی مدیریت انرژی

مراکز دولتی فدرال و ایالتی با برگزاری کارگاه های آموزشی، سمینارهای تخصصی و استفاده از مطبوعات، سعی می کنند آگاهی صنایع از نحوه‌ی مدیریت انرژی را افزایش دهند. این امر باعث انتخاب روش صحیح مدیریت انرژی در کارخانجات شده و از اشتباهات آنان جلوگیری می کند. به‌عنوان نمونه اغلب صنایع، مدیریت انرژی را یک برنامه‌ی فنی یا تعمیر و نگهداری تلقی نموده و انجام فعالیت های مدیریت انرژی را در اختیار بخش تعمیر و نگهداری قرار می دهند. درحالی‌که این برنامه دارای وجهه‌ی مدیریتی بسیار برجسته ای است.

۳-۴- تهیه‌ی استاندارد مدیریت انرژی

در سال ۲۰۰۰ میلادی استاندارد مدیریت انرژی ANSI/MSE ۲۰۰۰، به‌عنوان یک استاندارد ملی در آمریکا تهیه و منتشر گردید[۵].

۴- فلر (مشعل)

کلمه‌ی مشعل برای توصیف یک شعله‌ی بی حفاظ (باز) که گازهای مازاد را می سوزاند به‌کار برده می شود. این فرآیند در تأسیسات بالادستی نفت و گاز، پالایشگاه های نفتی و گازی، صنایع پتروشیمیایی و برخی از صنایع معدنی اتفاق می افتد. مشعل‌ها در یک زمان کوتاه، مقدار زیادی گاز در هوا منتشر می کنند. میزان سوختن گاز در مشعل به بازدهی آن، زمان فرآیند احتراق و ... بستگی دارد که معمولاً به‌دلیل عدم وجود زمان کافی برای احتراق و بازدهی نامناسب مشعل‌ها، میزانی

1- International Energy Outlook
2- Real or Perceived
3- Department of Energy
4- Environmental Protection Agency

از گاز به‌صورت نسوخته وارد اتمسفر می شود. براساس حدود ۲۰۰۰ مقاله‌ی رسمی چاپ شده در کانادا، طی فرآیند سوزاندن گاز، حدود ۲۵۰ ماده‌ی سمی شناخته شده‌ی مختلف در هوا تخلیه می شود که این امر آثار زیان بار فراوانی برای محیط زیست خواهد داشت[۶].

تجهیزات اندازه گیری گاز در سیستم فلر، مهم‌ترین عامل در نظارت و کنترل این سیستم است که از پراهمیت‌ترین بخش‌های این سیستم، قسمت دبی‌سنج جریان گاز و قسمت آنالیز جریان گاز است. در بعضی از کشورها مانند نروژ، همه‌ی فلر مجهز به دبی‌سنج ها یا کنتورهای استاندارد هستند و همواره اپراتورها، موظف به ارایه‌ی گزارش به دولت در مورد میزان گازهای رها شده به اتمسفر هستند. استاندارد نروژی NORSOK مهم‌ترین استانداردی است که در زمینه‌ی اندازه‌گیری دبی گازهای فلر تدوین گردیده و مورد تأیید صنایع نروژ است[۷].

برای بازیافت گازهای فلر می توان با توجه به شرایط اقلیمی و شرایط گاز فلر، روش‌های مختلفی را بررسی کرد. این روش‌ها شامل فشار افزایی گاز جهت ارسال به خط لوله و یا تزریق آن به چاه های نفت جهت ایجاد توان برای برداشت، همچنین استفاده از این گازها برای تولید سوخت مایع و ... است.

۵- مروری بر مقالات

مقدم شیبانی، در سه پالایشگاه کشور (پارس جنوبی، پالایشگاه تبریز و پالایشگاه نفت شیراز) مطالعاتی را در جهت تولید برق با استفاده از سیستم CHP که آن را مکمل خوبی برای واحد یوتیلیتی می داند، انجام داد. نتایج نشان داد مقدار توان الکتریکی خروجی CHP برای پتروشیمی تبریز ۳۵/۶۹۵۵۶KWh، برای پالایشگاه نفتی شیراز ۳۶۰/۰۲۰۴KW و برای پالایشگاه پارس جنوبی ۴۹۹۷/۸۹۳۱۴KWh به‌دست آمده است. مقدم شیبانی انجام این پروژه را بسیار مقرون به‌صرفه دانسته و بیان می‌دارد که می توان برق تولیدی از گازها ی بازیافتی را به شبکه‌ی سراسری تزریق نمود که با توجه به تعداد زیاد تأسیسات نفتی، این امر موجب افزایش ظرفیت تولید برق در کشور می شود.

جوکار و همکاران مطابق مطالعات و شبیه سازی انجام گرفته در سه بخش تولید انرژی الکتریسیته، فشار افزایی و GTL در پالایشگاه پارسیان با استفاده از گازهای فلر نتایج زیر را به‌دست آوردند، با استفاده از سیکل برایتون (سیکلی ساده با بازده ای نسبتاً زیاد) و به‌کارگیری توربین گاز به عدد MW ۲۵ دست یافتند و برای فشارافزایی با استفاده از کمپرسور، به فشار ۱۲۹ بار جهت تزریق به خطوط لوله‌ی سراسری رسیدند. هم‌چنین در شبیه‌سازی GTL، به‌میزان ۵۶۳ بشکه فرآورده در روز، دست یافته اند و از نظر اقتصادی، مقایسه بین مدت زمان برگشت سرمایه به سه روش تولید جی تی ال و تولید الکتریسیته و فشار افزایی نشان می دهد که با روش فشار افزایی، این مدت ۲/۸ سال، با فرآیند تولید جی تی ال، این مدت ۴/۴۲ سال و با فرآیند تولید الکتریسیته، این مدت زمان ۲۴ سال طول خواهد کشید. در نتیجه فشار افزایی گاز حاصل و تزریق آن به خطوط لوله، مناسب ترین راه است.

رحیم پور و همکاران اطلاعات خروجی گاز فلر پالایشگاه های عسلویه تا سال ۲۰۱۱ را به صورت تجمیعی مورد بررسی قرار دادند، پس از انجام شبیه سازی بر روی سه روش بازیابی گاز فلر به این نتیجه رسیدند که با توجه به دبی[1] MMSCF ۳۵۶/۵، امکان تولید MW ۲۱۳۰ الکتریسیته وجود دارد و یا می‌توان ۴۸۰۵۶ بشکه در روز محصولات GTL تولید کرد. بیشترین بازگشت سرمایه مربوط به GTL است اما بیشترین سرمایه گذاری نیز مربوط به آن می شود در حالی‌که فرآیند فشارافزایی، بیشترین بازگشت سرمایه را دارد و از سوی دیگر کمترین سرمایه گذاری را به خود اختصاص می دهد. در حالی‌که تولید برق نسبت به دیگر روش ها، هزینه‌ی سرمایه گذاری بیشتری داشته و سود سالانه‌ی بیشتری را نیز به خود اختصاص می دهد اما بازگشت سرمایه‌ی آن طولانی تر است. درنهایت روش فشار افزایی برای پارس جنوبی مثبت ارزیابی می شود.

ادکومایا و همکاران، بیان می دارند که ۴۲/۶ درصد از گاز استحصال شده در نیجریه روزانه فلر می شود که قابلیت استفاده در نیروگاه های حرارتی را دارد و ناکامی در تأمین برق در نتیجه‌ی کمبود گاز برای نیروگاها است. از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۹ برای تولید برق از ۳۱ تا ۴۶ درصد ظرفیت نیروگاه ها استفاده شده است. آنها بیان می دارند که با استفاده از گاز فلر، در تولید و توزیع برق به سطح پایداری خواهند رسید.

عبدالرحمان بیان می دارد که در اولین پالایشگاه نفت مصر که سالانه ۹۰۰/۰۰۰ تن محصول تولید می کند، در صورت استفاده از بازیابی گاز فلر با توجه به اینکه گاز فلر، گاز ترش است باید ابتدا شیرین‌سازی انجام شود و سپس به‌عنوان سوخت مصرفی جهت گرمایش واحدهای پالایشگاه استفاده گردد، محاسبات نشان می دهد که این روش سالانه ۱/۵ میلیون دلار بابت کاهش انتشار گازهای گلخانه ای، طبق CER[2] ارزش افزوده ایجاد خواهد نمود.

1- Million Metric Standard Cubic Feet per day
2- Certified Emission Reduction

۶- روش تحقیق

با استفاده از نرم افزار Aspen Hysys و پارامترهای بیان شده، داده های پالایشگاه سوم، فازهای ۴ و ۵ پارس جنوبی، شبیه سازی سه روش بازیابی گاز فلر (تبدیل گاز به مایع، تولید برق و فشار افزایی) انجام پذیرفت. سپس از نظر اقتصادی، روش‌ها مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته اند.

۶-۱- درصد ترکیبات گازها و مشخصات عملیاتی هریک از فلرها

مهمترین قسمت در شبیه سازی، داشتن آنالیز خوراک ورودی برای انتقال به واحد مورد نظر است که شبیه سازی آن انجام می‌گیرد.

جدول(۱)- درصد ترکیبات گاز فلر پالایشگاه

Composition	HP-Flare	MP-Flare	LP-Flare
Methane	88.28	85.55	88.18
Ethane	4.83	5.19	4.52
Propane	1.70	2.07	1.61
i-Butane	0.32	0.46	0.31
n-Butane	0.49	0.78	0.47
i-Pentane	0.04	0.07	0.00
n-Pentane	0.03	0.05	0.00
$C6^+$	0.05	0.45	0.05
CO_2	1.04	1.51	1.27
N_2	2.86	3.87	3.57

میزان H2S برابر[1] ppm ۱۰۰۰ است.

با فرض $C6^+ = C7$ و همچنین ثابت بودن دبی فلرها و مشخصات دیگر که در جدول (۲) آمده است شبیه سازهای پیش رو انجام گرفته است .

جدول (۲)- مشخصات عملیاتی پالایشگاه

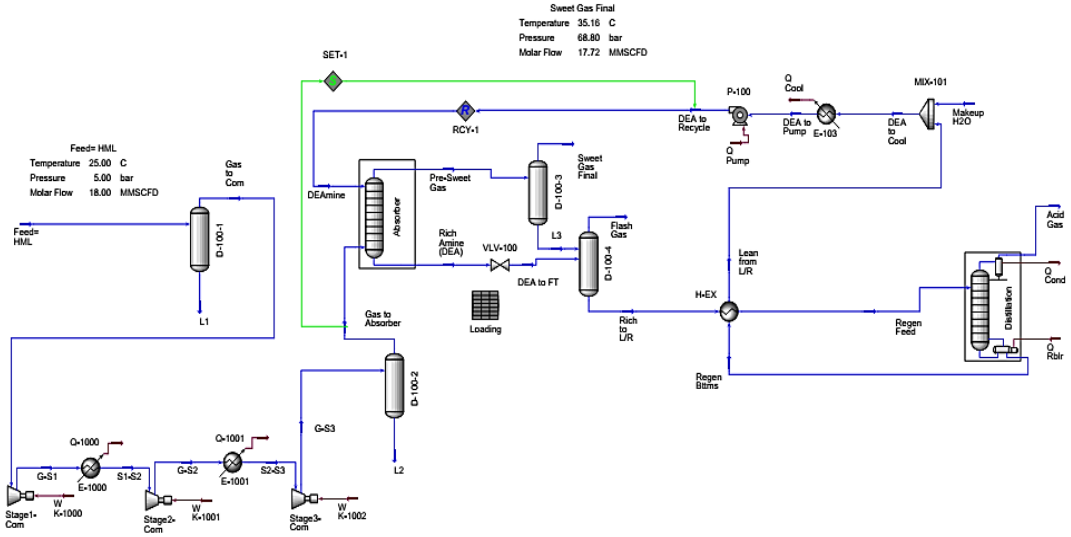
Description	Temperature	Pressure	Volumetric Flow Rate
HP-Flare	25 °C	5.01 bar	6 MMSCFD
MP-Flare	25 °C	1.71 bar	6 MMSCFD

۷- شبیه سازی واحد LTG[2]

۷-۱- شبیه سازی واحد شیرین‌سازی

در مرحله‌ی اول فرآیند شیرین سازی، گازهای حاصله از فلرها پس از عبور از جداکننده‌ی دو فازی (D-100-2)، راهی برج جذب می‌شود. پس از جداسازی گاز H_2S توسط فاز مایع (آمین)، گاز شیرین از بالای برج جذب به واحد تولید گاز سنتز ارسال می گردد. در این قسمت از شبیه سازی، شکل (۱) مقدار گاز شیرین سازی شده برابر با MMSCFD ۱۷/۷۲، با فشار ۶۸ بار و دمای ۳۵ درجه سانتی گراد تولید می‌شود. برای ادامه‌ی کار و داشتن چرخه‌ی مناسب (اقتصادی شدن طرح)، در این فرآیند از تجهیزات دیگری مانند برج دفع، مبدل حرارتی و غیره استفاده می‌شود.

1- Parts Per Million
2-Gas to liquid



شکل(۱)- شماتیک شبیه سازی واحد شیرین‌سازی گازهای فلر

۲- ۷- شبیه سازی واحد گاز سنتز

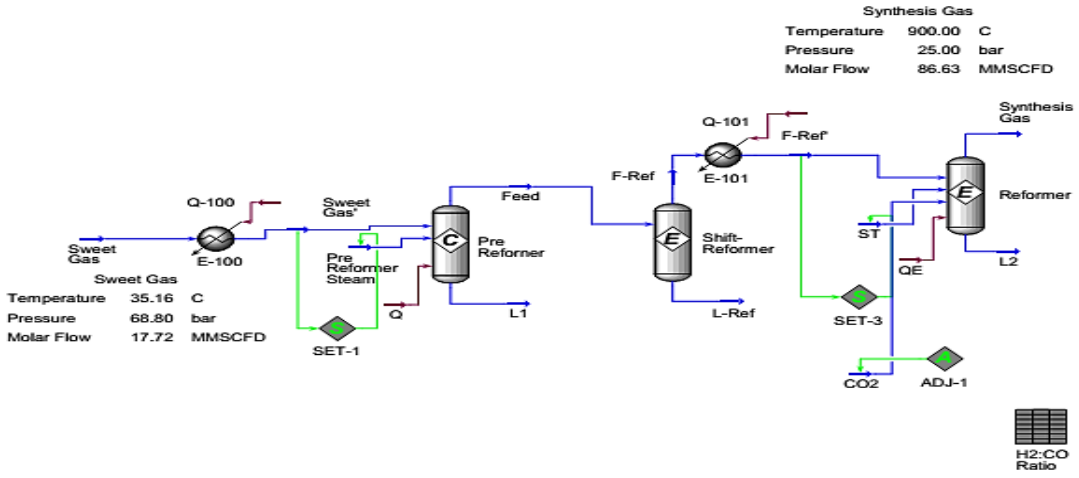
در این مرحله، از رفرمینگ با بخار برای سیستم تولید گاز سنتز استفاده شده است که شامل سه رآکتور؛ یک رآکتور تبدیلی و دو رآکتور تعادلی (به‌عنوان واحد پیش رفرمینگ و واحد رفرمینگ) جهت شبیه سازی است. در این مرحله، هیدروکربن های سنگین به متان تبدیل می شوند. محدوده‌ی دمایی در رآکتور (که از نوع تبدیلی است) بین ۳۵۰ تا ۵۵۰ درجه‌ی سانتی گراد [۱۳] و محدودهی فشار بین ۲۰ تا ۴۰ بار [۱۴] باید در نظر گرفته شود، واکنش های مورد استفاده در پیش رفرمینگ بیان شده است:

$$C_2H_6 + H_2 \rightarrow 2CH_4 \qquad C_3H_8 + 2H_2 \rightarrow 3CH_4$$
$$C_4H_{10} + 3H_2 \rightarrow 4CH_4 \qquad C_5H_{12} + 4H_2 \rightarrow 5CH_4$$
$$C_7H_{16} + 6H_2 \rightarrow 7CH_4$$

واکنش های که در فرآیند رفرمینگ اتفاق می افتد به قرار زیر است:

$$CO + 3H_2 \leftrightarrow CH_4 + H_2O \qquad \Delta H_{298K} = +206\ kJ\ mol \qquad CO + H_2O \leftrightarrow CO_2 + H_2 \qquad H_{298K} = -41\ kJ/mol\Delta$$

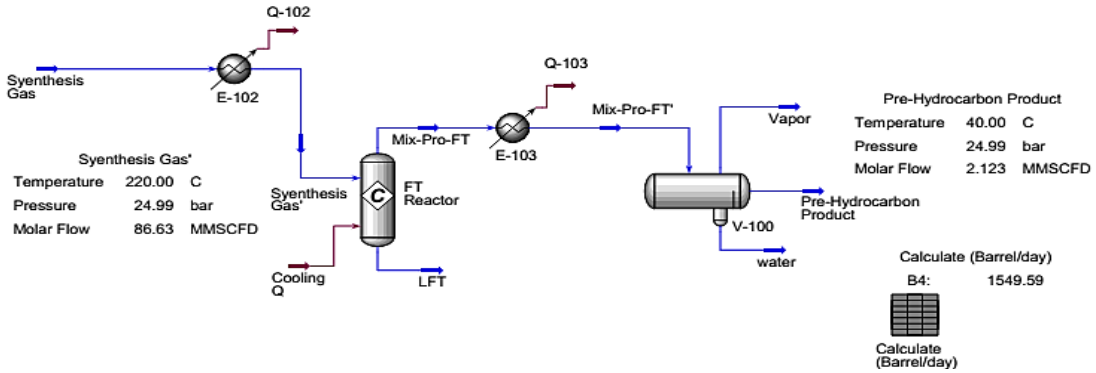
با مد نظر قراردادن اکسیداسیون گاز طبیعی که فرآیندی گرماگیر است و با اعمال جریان گرمایی متناسب با فرآیند و تنظیم دمایی جریان خروجی، میزان تولید گاز سنتز خروجی نیز افزایش می یابد. مطابق شکل (۲) در نهایت گاز سنتز با مشخصات دمای ۹۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد، فشار ۲۵ بار و دبی مولی ۸۶/۳۶ میلیون فوت مکعب در روز به رآکتور فیشر تراپش وارد می شود.



شکل(۲)- شماتیک شبیه سازی واحد تولید گاز سنتز

۳-۷- شبیه سازی واحد فیشرتراپش

با درنظرگرفتن فرآیند فیشرتراپش یک فرآیند گرمازا است، هرچه دمای خوراک ورودی کاهش پیدا کند میزان تبدیل نهایی افزایش می‌یابد. با وارد کردن واکنش ها C1-C30 در نرم افزار Hysys و همچنین وارد کردن شرایط عملیاتی، خروجی رآکتور TF[1] به یک خنک کننده (E-103) فرستاده می شود و پس از آن برای جداسازی ترکیبات سبک، سنگین و آب به جداکننده‌ی سه فازی (V-100) ارسال می گردد. شکل(۳) نشان می دهد که در این فرآیند معادل ۱۵۴۹/۵۹ بشکه در روز GTL می تواند تولید شود، با توجه به واحدهایی که در این فرآیند در نظر گرفته می شود، کیفیت محصول GTL افزایش خواهد یافت. .



شکل(۳)- شماتیک شبیه سازی واحد فیشر تراپش

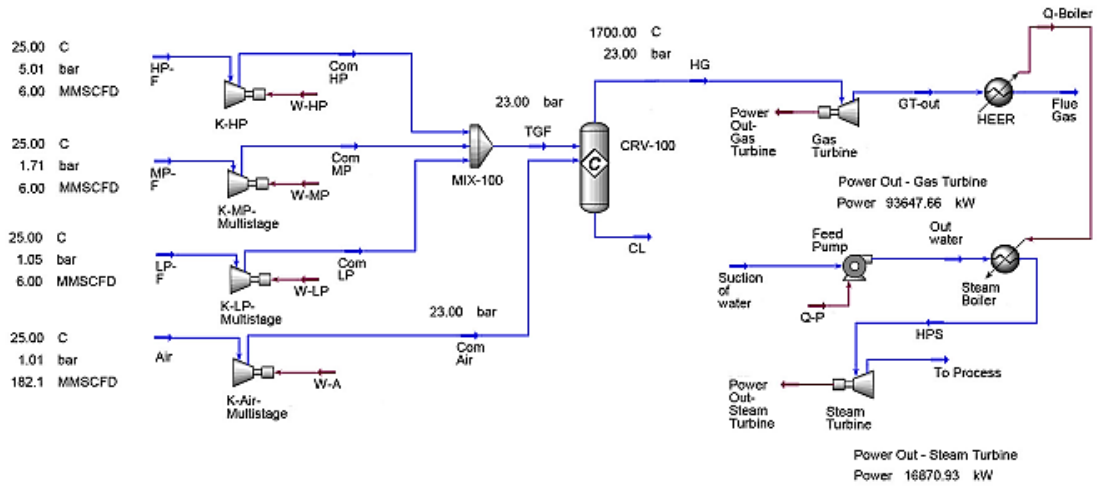
۸- شبیه سازی واحد تولید برق از گازهای فلر

سیکل مورد استفاده در ابتدا سیکل برایتون است. این سیکل چرخه‌ای ترمودینامیکی است که پایه‌ی عملکرد توربین‌های گاز و موتورهای جت است. مطابق سیکل برایتون از مسیر ۱، هوای دریافت شده از اتمسفر به میزان مورد نیاز در کمپرسور، فشرده‌سازی شده (هوای مورد نیاز برای این سیستم توسط کمپرسور چند مرحله ای به فشار مورد نظر (۲۳بار) می‌رسد که این میزان هم‌فشار با گازهای ارسالی است [۹] و در مسیر ۲ با گاز مخلوط می شود و در محفظه‌ی احتراق عملیات سوختن انجام می گیرد. برای شبیه سازی محفظه‌ی احتراق در محیط Hysys، از رآکتور تبدیلی (Conversion) که استوکیومتری تمام واکنش ها است باید استفاده شود. واکنش هایی که در این رآکتور رخ می دهد بیان شده که مهم‌ترین واکنش، واکنش متان است.

$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2\ H_2O$	$n\text{-}C_5H_{12} + 8O_2 \rightarrow 5CO_2 + 6\ H_2O$
$2C_2H_6 + 7O_2 \rightarrow 4CO_2 + 6\ H2O$	$n\text{-}C_7H_{16} + 11O_2 \rightarrow 7CO_2 + 8\ H_2O$
$C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4\ H_2O$	$H_2S + O_2 \rightarrow 2\ SO_2 + 2H_2O$
$i\text{-}C_4H_{10} + 6.5O_2 \rightarrow 4CO_2 + 5\ H_2O$	$N_2 + O_2 \rightarrow 2\ NO$
$n\text{-}C_4H_{10} + 6.5O_2 \rightarrow 4CO_2 + 5\ H_2O$	$O_2 + 0.5\ N_2 \rightarrow NO_2$

پس از انجام واکنش ها، گازهای گرم خروجی وارد توربین گاز شده و انرژی خود را به توربین منتقل می کند توان محاسبه شده ۹۳/۶۴۷۶۶ WM است. می‌توان با استفاده از تکنولوژی سیکل ترکیبی، گرمای خروجی را به سمت سیکل تولید بخار هدایت کرد. پس از تزریق بخار فشار بالا به توربین بخار و انتقال انرژی به پره های آن، توان تولیدی در حدود ۱۶/۸۷۰۹۳ WM به‌دست می آید. در مجموع ۱۱۰/۵۱۸۵۹ WM توانایی تولیدی دو توربین گاز و بخار است که در شکل (۴) مشخص شده است. با کسر مصرف برق داخلی واحد سیکل ترکیبی که در حدود ۲۷/۲۷۱ WM به‌دست آمده، میزان تولید خالص توان، ۸۳/۲۴۶۸۱ WM است.

1-Fischer-Tropsch

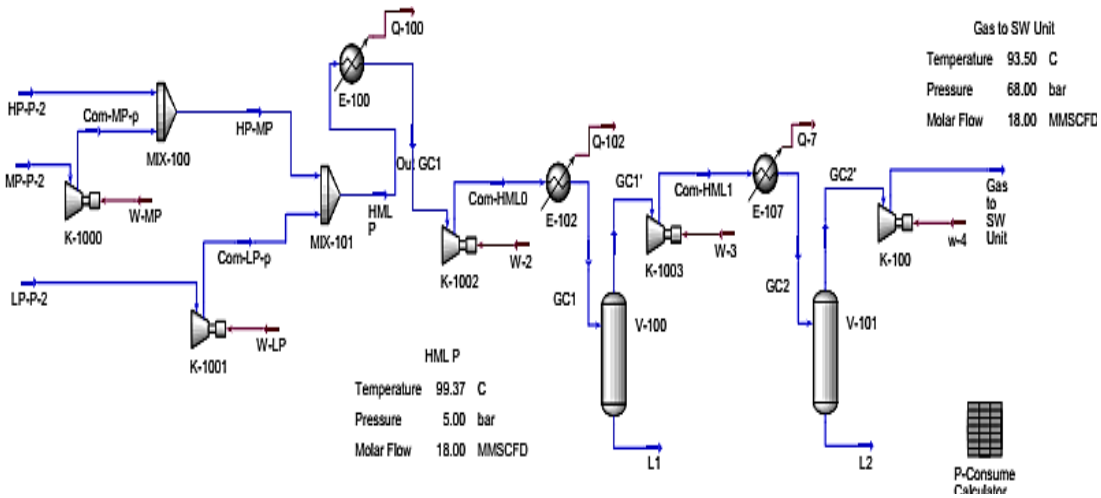


شکل(۴)- شماتیک شبیه سازی واحد تولید انرژی الکتریسیته از گازهای فلر

با در نظرگرفتن کندانسور در خروجی توربین بخار، می‌توان آب را به سیستم برگرداند تا به طور متوالی از آب استفاده شده و در صورت لزوم آب به سیستم تزریق شود.

۹- شبیه سازی واحد فشار افزایی

می توان با افزایش فشار گازهای فلر، از آنها برای تزریق به چاه های نفت استفاده کرد. با توجه به بعد مسافت می‌توان این گازها را به‌صورت مستقیم و یا با تجمیع گازهای سایت های مجاور (گازهای فلر یا گازهای ترش پالایش نشده) به چاه های نفت تزریق کرد. راه دوم ابتدا شیرین سازی گاز در صورت ناخالصی زیاد و تزریق آن به خطوط لوله‌ی سراسری است. با توجه به ناخالصی و هزینه بر بودن شیرین سازی، شبیه سازی با در نظر گرفتن این موضوع صورت پذیرفت که پالایشگاه مذکور دارای واحد شیرین سازی است. ابتدا فشار ۵ بار برای فلر در نظر گرفته شد. مسیر فلرهای MP وLP نیز فشارافزایی صورت گرفت تا فشار به ۵ بار برسد. سپس تجمیع فشار سه مسیر صورت گرفت و میزان فشار به ۶۸ بار رسانده شد (مطابق شکل۵). سپس گاز در این شرایط به واحد شیرین سازی پالایشگاه ارسال می گردد تا به همراه گاز ترش ورودی پالایشگاه، شیرین سازی شود میزان فشار با توجه به شرایط خطوط لوله‌ی سراسری تا ۹۳ بار [۱۵] افزایش می‌یابد. معمولاً واحد فشارافزایی مستقر در پالایشگاه، فشار را به‌میزان ۹۰ بار و دمای گاز را به ۱۲۰ درجه‌ی سانتی گراد رسانده و سپس به خطوط لوله‌ی سراسری تزریق می گردد.



شکل(۵)- شماتیک شبیه سازی واحد فشار افزایی از گازهای فلر

* لازم به ذکر است با توجه به گازهای اسیدی، باید از روش های کنترل خوردگی استفاده کرد که عبارتند از استفاده از مواد مناسب، کنترل تنش ها، استفاده از مواد بازدارنده‌ی خوردگی و روش پوشش دهی [۱۶] تمامی لوله ها و قسمت های درگیر با گاز فلر با توجه به احتمال خوردگی باید از جنس Stainless Steel و یا Monel [۱۷] باشد و استاندارد NACE [۱۶] [1] در مورد تجهیزات و ... رعایت شود.

۱۰- ارزیابی اقتصادی

ویژگی اصلی صنایع حوزه‌ی انرژی، مقیاس بزرگ این صنایع و سرمایه بری بسیار زیاد آنها است. دلیل این مسأله، صرفه جویی اقتصادی نسبت به مقیاس در فعالیت های حوزه‌ی انرژی است. [۴] برای رسیدن به نقطه‌ی تصمیم گیری در فاز یک مطالعاتی، معمولاً از روش‌های دوره‌ی برگشت ساده[2] و نرخ ساده‌ی بازگشت سرمایه (ROR[3]) استفاده می شود[۱۸] که در این مقاله از سه روش ذیل جهت تشخیص اقتصادی بودن پروژه ها استفاده شده است.

۱- روش دوره‌ی بازگشت

۲- روش ارزش خالص فعلی

۳- روش نرخ بازگشت داخلی

۱۰-۱- روش دوره‌ی بازگشت

این روش بر مبنای معیار سوددهی است و به‌صورت دوره‌ی زمانی نشان داده می شود که کل عایدات مرتبط با کارکرد و نصب تأسیسات پس از کسر تمام مخارج شامل مالیات، معادل با میزان سرمایه گذاری مورد نیاز برای مشاوره، خرید و ساختن تأسیسات باشد. این مقدار، برابر با نسبت سرمایه گذاری اولیه به جریان نقدینگی عایدات سالانه در دوره‌ی بازیابی سرمایه است، یعنی :

(۱۰-۱)

$$\frac{\text{سرمایه گذاری اولیه}}{\text{صرفه جویی حاصل سالانه}}$$

۱۰-۲- روش ارزش خالص فعلی: NPV[4]

در این روش، تمامی درآمدها و هزینه های آتی، به ارزش فعلی تبدیل شده و با یکدیگر جمع می شوند، جهت ارزش‌گذاری پول در زمان فعلی از نرخ بهره استفاده می گردد[۱۹].

$$NPV = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{Ri - Ci}{(1+r)^n} - C0 \right) \qquad (۱۰-۲)$$

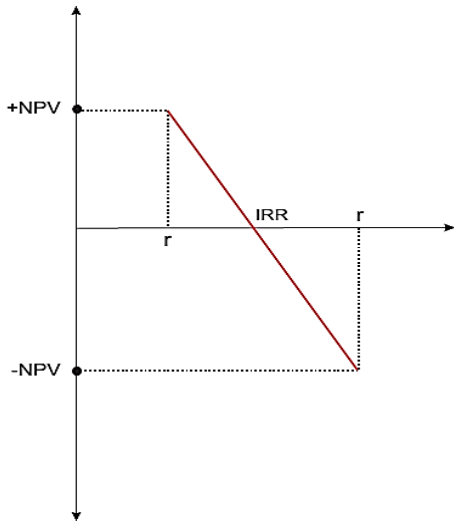
۱۰-۳- روش نرخ بازگشت داخلی: IRR[5]

این روش، هم بزرگی و هم زمان‌بندی مورد انتظار از جریان های نقدینگی در هر دوره‌ی عمر پروژه را در نظر می گیرد. نرخ بازگشت داخلی برای هر پیشنهاد سرمایه گذاری، نرخ تنزیل است که ارزش کنونی جریان نقدینگی هزینه ای مورد انتظار را با ارزش کنونی جریان نقدینگی عایدات مورد انتظار را برابر می سازد[۲۰].

$$NPV = 0 = \sum_{j=1}^{i} \left(\frac{Rj - Cj}{(1+r)^n} + I0 \right) \qquad (۱۰-۳)$$

به عبارتی نرخ بازده‌ی داخلی، نرخی است که ارزش خالص فعلی پروژه را برابر صفر می کند.

حال با توجه به روش درون یابی می توان میزان IRR را حال با توجه به روش درون یابی می توان میزان IRR را محاسبه کرد. نمودار (۱-۱۰) نحوه‌ی رسم این فرآیند را نشان می دهد.



نمودار(۱-۱۰)- نحوه‌ی رسم و پیدا کردن IRR در نمودار

1- National Association of Corrosion Engineers
2- Simple payback analysis
3- Simple rate of return
4-Net Present Value
5-Internal Rate of Return

با توجه به نمودار، نحوه‌ی فرمول نویسی آن به شرح زیر است که می توان میزان RRI را به سهولت به‌دست آورد.

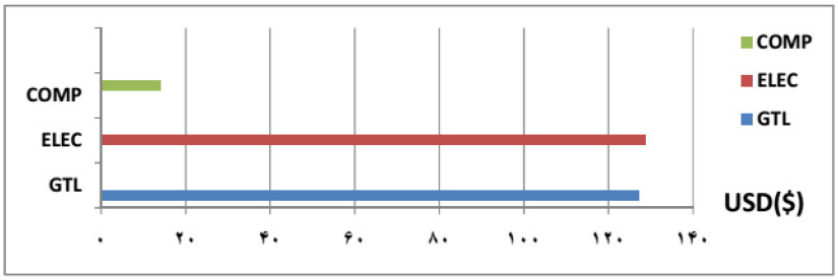
$$IRR = [r_{low} + (r_{high} - r_{low})\left(\frac{NPV^{+}}{-NPV^{-}+NPV^{+}}\right)] * 100 \qquad (۱۰-۳-۱)$$

برای بررسی این موارد، همواره با به‌دست آوردن هزینه‌ی سرمایه گذاری [۲۲،۱۲] ، میزان تولید، هزینه جاری، طول عمر واحدها و سود سالانه‌ی پروژه، می توان به این مهم دست یافت. نرخ تنزیل سالانه، شامل سه فاکتور است؛ ۱- نرخ تورم ۲- نرخ سود ۳- نرخ ریسک ، که در این محاسبات نرخ ریسک در نظر گرفته نشده است. جدول (۳) بیان کننده‌ی موارد ذکر شده است.

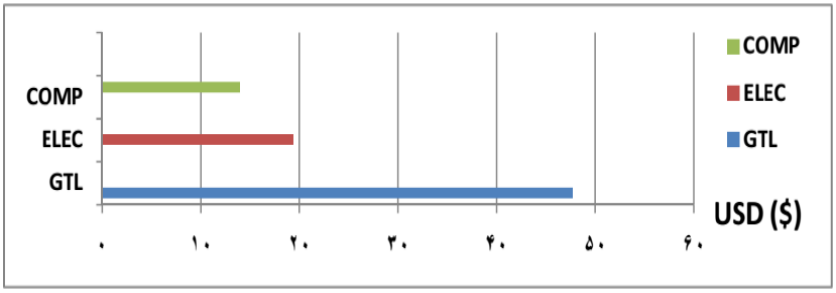
جدول (۳)- ارزیابی اقتصادی روش های بازیابی گاز فلر

روش بازیابی گاز فلر	هزینه‌ی سرمایه گذاری واحدها ($)	هزینه‌ی جاری واحدها ($)	میزان تولید محصول واحدها	میزان سود به‌دست آمده از واحدها ($/year)	مدت زمان برگشت سرمایه (Year)	NPV^{+} ($)	IRR (%)
تولید انرژی الکتریسیته (ELEC)	۱۲۸,۵۶۲,۷۶۳/۲۱۸	۲,۴۴۸,۳۷۶/۵۷	۶۴۳,۳۳۱,۳۴۷/۶۸ kw/year	۱۹,۲۹۹,۹۴۰/۴۳	۹	۸,۰۵۳,۲۸۱/۴۳۰	۱۳/۱۴۱
تبدیل گاز به مایع (GTL)	۱۲۷,۲۶۶,۲۴۱/۴۳۳	۹,۴۸۳,۴۹۰/۸۰	۵۵۷,۸۵۲/۴۰ bbl/year	۴۷,۶۹۶,۳۸۰/۲۰	۴	۱۷,۷۳۸,۰۶۱/۴۳۶	۳۰/۷۹
فشار افزایی (COMP)	۱۳,۹۸۱,۸۴۱/۶۵۶	۵,۴۰۶,۷۷۰/۰۶۲	۱۸۰,۲۲۵,۶۸۸/۷۴ M^3/year	۱۰,۸۱۳,۵۴۰/۱۲	۳	۱,۵۶۷,۶۲۳/۷۶۲	۳۹/۱۳۶

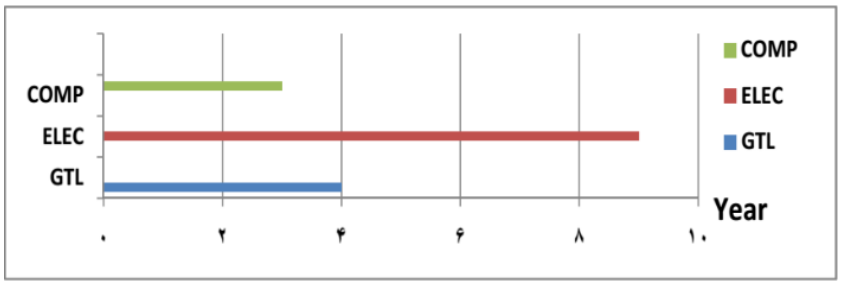
۱۱- نمودارهای ارزیابی اقتصادی



نمودار (۱-۱۱)- هزینه‌ی سرمایه گذاری سه روش بازی



نمودار(۲-۱۱)- مقایسه‌ی سود سالانه سه روش بازیابی



نمودار (۳-۱۱)- مدت زمان برگشت سرمایه‌ی سه روش بازیابی

۱۲- تحلیل و نتیجه‌گیری

همواره یکی از مهم‌ترین راهکارهای پیش‌رو جهت جلوگیری از هدر رفت انرژی، مدیریت آن است. باتوجه به شبیه سازی های انجام شده در مورد سه روش بازیابی گازهای فلر، خروجی هر کدام از شبیه سازی ها از نظر فنی باعث تولید محصول و در نتیجه کاهش آلودگی های محیطزیست می شود. اما نکته‌ی مهم در این قسمت، ارزیابی و مقایسه‌ی اقتصادی سه روش تولید انرژی الکتریسیته، فشار افزایی و تبدیل گاز به مایع است که با درنظر گرفتن خروجی محاسبات در جدول شماره (۳) از نظر اولویت اقتصادی به‌ترتیب روش‌های فشارافزایی، تبدیل مایع به گاز و تولید انرژی الکتریسیته قرار می‌گیرند.

با بررسی چند تحقیق انجام گرفته در این زمینه، می‌توان نتیجه گرفت که در اکثر موارد این فشار افزایی است که به‌عنوان اولویت اول در نظر گرفته می شود، در منطقه‌ی عسلویه این امر کاملاً صادق است. برای نمونه، رحیم پور و همکاران درصد برگشت سرمایه‌ی ۲۰۰ را برای فشارافزایی و ۱۲۵٪ را برای تولید فرآورده GTL و در نهایت ۲۱٪ را برای تولید برق نشان می دهند و جوکار برای پالایشگاه پارسیان، اولویت اول را فشارافزایی بیان می کند که این نتیجه با استفاده از روش های دوره‌ی برگشت ساده و نرخ ساده‌ی بازگشت سرمایه ارزیابی شده است. در برخی از پژوهش‌ها که به صورت تک روش، تحقیق صورت گرفته، تولید برق از گاز فلر را از نظر اقتصادی مناسب دانسته اند که از آن جمله می‌توان به نتایج تحقیق مقدم شیبانی اشاره کرد که سه پالایشگاه کشور (پارس جنوبی، پالایشگاه تبریز و پالایشگاه نفت شیراز) را مورد مطالعه قرار داده و انجام این پروژه را بسیار مقرون به‌صرفه می داند. ارزیابی چند روش بازیابی گاز فلر، کمک شایانی در جهت انتخاب راهکار مناسب از لحاظ فنی و اقتصادی برای یک پروژه نموده و به مدیران در زمینه‌ی مقایسه و اولویت‌بندی پروژه‌ها با توجه به میزان بودجه‌ی اختصاص یافته، کمک شایانی خواهد کرد. از طرف دیگر، قیمت فروش محصولات، سود بانکی، تورم، نرخ ریسک و ... تأثیر به‌سزایی در خروجی ارزیابی اقتصادی دارد. چنانچه یک طرح در یک بازه‌ی زمانی در اولویت اول نباشد با توجه به شرایط سیاسی، جغرافیایی و ... می‌تواند به‌عنوان اولویت اول در نظر گرفته شود. همواره در بررسی ارزش اقتصادی بازیابی گازهای فلر، دریافت مالیات کربن و افزایش آن، دریافت مالیات برای آلودگی محیطزیست از صنایع و هم‌چنین بالا رفتن قیمت جهانی نفت و گاز مورد توجه قرار می‌گیرد، که کمک شایانی به عملیاتی کردن این طرح ها خواهد نمود. اگر قیمت های فروش محصولات افزایش یابد پارامترهای NPV ، IRR و ... تغییر یافته و در جهت مثبت عمل خواهد نمود.

شکوفایی صنعت در کشور نیاز به برنامه‌ریزی بلندمدت دارد، از این رو کارگروه های کارشناسی همراه با تیم های پژوهشی در هر بخش و مدیریت یکپارچه بدون اعمال سلیقه‌ی شخصی، راه را برای مدیریت انرژی در جهت پیشرفت روزافزون و بالندگی در کشور هموار می سازد.

برنامه دارای وجهه‌ی مدیریتی بسیار برجسته ای است.

منابع:

1. F. Farina, Michael,2011, Flare Gas Reduction, GE Energy Global Strategy and Planning
2. World Bank Group in collaboration with the Government of Norway, GLOBAL GAS FLAR GREDUCTION INITIATIVE
3. Ekwonu,M.C, Perry, S, Oyedoh, E.A, 2013, Modeling and Simulation of Gas Engines Using Aspen Hysys, Journal of Engineering Science and Technology

۴. استیونسن، پل.۱۳۹۰، اقتصاد انرژی، ترجمه ی طاهری فرد، علی. و سید جعفر حسینی و جلال دهنوی، تهران، دانشگاه امام صادق (ع)

۵. رضاپور، کامبیز، شاکری، امید، عفت نژاد، رضا، اکبری، حشمت ا...،حسن بگی، شیرزاد،۱۳۹۰، مرجع کاربردی مدیریت انرژی در واحدهای صنعتی

۶. هادی ابراهیم فتح آبادی،۱۳۹۲، مدیریت گازهای مشعل در صنایع نفت و گاز، ماهنامه علمی- ترویجی اکتشاف و تولید نفت و گاز، شماره ۱۰۳

۷. شاهینی، محمد، ۱۳۸۶،مدیریت گازهای فلر، تهران، اتحاد- جهان نو

۸. مقدم شیبای، داود،۱۳۹۲، نقش مکمل CHP ها در تأسیسات نفتی به‌منظور کاهش هزینه‌ها، کنفرانس بین‌المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی

۹. جوکار، سیدمحمد، رحیم پور، محمدرضا، رضایی، مجتبی، جمشیدنژاد، زهرا، ۱۳۸۹، استفاده بهینه و اقتصادی از گازهای ارسالی به مشعل پالایشگاه، کنفرانس بین‌المللی مدیریت، نوآوری و کارآفرینی

10. Rahimpour, M.R, Jamshidnejad, Z, Jokar, S.M, Karimi, G, Ghorbani, A, Mohammadi, A.H,2012, A comparative study of three different methods for flare gas recovery of Asalooye gas refinery, Journal of Natural Gas Science and Engineering
11. Adekomaya,O,Jamiru,T, Sadiku.R,Huan,Z,-Sulaiman,M,2016,Gas flaring and its impact on electricity generation in Nigeria
12. Abdulrahman,Ahmed Osma,Huisingh,Donald,Hafkamp,Win,Sustainability Improvements in Egypt's oil & Gas Industry by Implementation of flare Gas recovery.

۱۳. نخعی پور، علی. و محمد ایرانی،۱۳۹۰، سنتز فیشر- تراپش راهی برای تولید سوخت های سنتزی، تهران، پژوهشکده‌ی صنعت نفت

۱۴. صابری مقدم، علی، زارع چاوشی،محمد، خبری، وحید، بحری رشت آبادی، محمد مهدی،۱۳۹۲، بررسی و انتخاب کاتالیست مناسب جهت فرآیند ریفرمینگ متان با بخار آب، اولین همایش ملی تکنولوژی‌های نوین در شیمی و پتروشیمی

۱۵. عسکری، محمد، ۱۳۹۴، تاسیسات تقویت فشار قلب تپنده صنعت گاز، ماهنامه الکترونیکی شرکت مهندسی و توسعه گاز ایران، شماره دوم

۱۶. عصار، نعمت اله، ۱۳۸۹، آشنایی با استاندارد NACE و کاربرد آن در ساخت مبدل های گرمایی، دومین همایش مبدل های گرمایی در صنایع نفت و انرژی

۱۷. سرایی، فرشاد. و اعظم فرزان، شیما.۲۰۱۰، مقدمه ای برشناخت لوله‌کشی صنعتی، شرکت مهندسی پترو پالامحور

۱۸. پارسا مقدم، محسن،۱۳۹۱. فناوری ها، اصول طراحی و بهره‌برداری از سامانه های تولید همزمان برق وگرما (CHP)، تهران، سازمان بهره وری انرژی ایران (سابا)، شرکت توانیر

19. Shankar, P.Uma, Mathur, Ajay, Singh, Devender, Shukla, Abha,2010, Energy Performance Assessment For Equipment and utility System

۲۰. گان چالک، چارلز.ام،۱۹۹۶، صرفه‌جویی انرژی در صنعت، ترجمه ی حسین قدمیان و آرش اژدری

21. Hill, McGrew, 1991, Design and Economics for Chemical Engineers
22. Seider,Warren.D,Seader ,J.D,Leain Danial,R, 2004, Product & process Design Principle

Flare Gases Management with Recovery Methods Utilization

Mohammad Taghi Abadi[1], Mohammad Irani[2*], Ahmad Tavassoli[3]

1-Iran, Tehran, MSc. Student of Energy Engineering, Faculty of Environment and Energy, science and Research Branch, Islamic Azad University.
mta1329enin@gmail.com

2 - Iran, Tehran, Assistant Professor, Research Institute of Petroleum Industry. *
Corresponding Author, Email: iranim@irpi.ir

3 - Iran, Tehran, Associate Professor, Department of Energy Engineering, Faculty of Environment and Energy, science and Research Branch, Islamic Azad University.
Tavassolia@khayam.ut.ac.ir

Abstract

Considering the process of industrial growth in the world and need to consume more of fossil fuels in the industry, including refineries, petrochemicals, etc, one of the energy management requirements is mainly on optimized structure of industrial units and recovery of flare gases. Simulation can be one of the main strategies for technical and economical evaluation of the various phases of the study. The economic evaluation which demonstrates profitability of the project is essential beside technical evaluation to make the right decision. In this paper, according to the Techno–economical evaluation of the proposed solutions, compression method with pay-back period of 3 years is the first choice. Gas to liquid conversion with pay-back period of 4 years and power generation from flare gas with 9 year pay-back period are recognized as the second & third options respectively.

Keywords: Flare Gas Recovery, Energy Management, Power Generation, Gas to Liquid, Compression, Economic Evaluation.