



وزارت نیرو
معاونت امور برق و انرژی
دفتر برنامه ریزی کلان برق و انرژی

سامانه بازیافت گاز فلر

گروه نوآوری و توسعه فناوری های برق و انرژی

تیر ۹۳

فهرست مطالب

۳	.....مقدمه
۳	.....شمای کلی سامانه
۶	.....مفهوم بازیافت گازهای فلر
۶	.....کاربرد های مختلف گاز فلر بازیابی شده
۶	.....عوامل موثر در انتخاب و طراحی سیستم بازیابی فلر
۸	.....وضعیت گازهای فلر در کشور
۱۰	.....تولید برق از گاز فلر
۱۰	.....فناوری های جدید تولید برق از گاز فلر
۱۲	.....مطالعه موردی بازیافت گاز فلر در پالایشگاه
۱۳	.....نتیجه گیری
۱۴	.....منابع مورد استفاده

سامانه بازیافت گاز فلر

Flare Gas Recovery System

مقدمه

با توجه به حجم قابل توجه گازهای همراه که بطور عمده در تأسیسات نفت و گاز به دلایل متعددی از جمله عدم وجود سیستم جمع آوری گاز، اقتصادی نبودن جمع آوری ناشی از پراکندگی و دور دست بودن میادین و یا کم بودن مقدار گاز تولیدی، کیفیت گاز تولیدی و عدم امکان مصرف گاز توسط مشترکین سوزانده می شوند، می توان جهت جلوگیری از هدر رفت سرمایه های کشور و در عین حال کنترل آلاینده های زیست محیطی و اثرات جبران ناپذیر و بلند مدت آنها به ویژه انتشار گازهای گلخانه ای تدابیر مناسبی اندیشید. یکی از این روش ها اعمال روشهای بازیابی گاز فلر به جای سوزاندن و تبدیل آن به فراورده های باارزش همانند فرآورده های میان تقطیر و میعانات گازی است. این امر علاوه بر جنبه های اقتصادی، از نقطه نظر زیست محیطی و ایجاد اشتغال مولد هم با مبانی توسعه پایدار و هم امنیت انرژی کشور همسو خواهد بود.

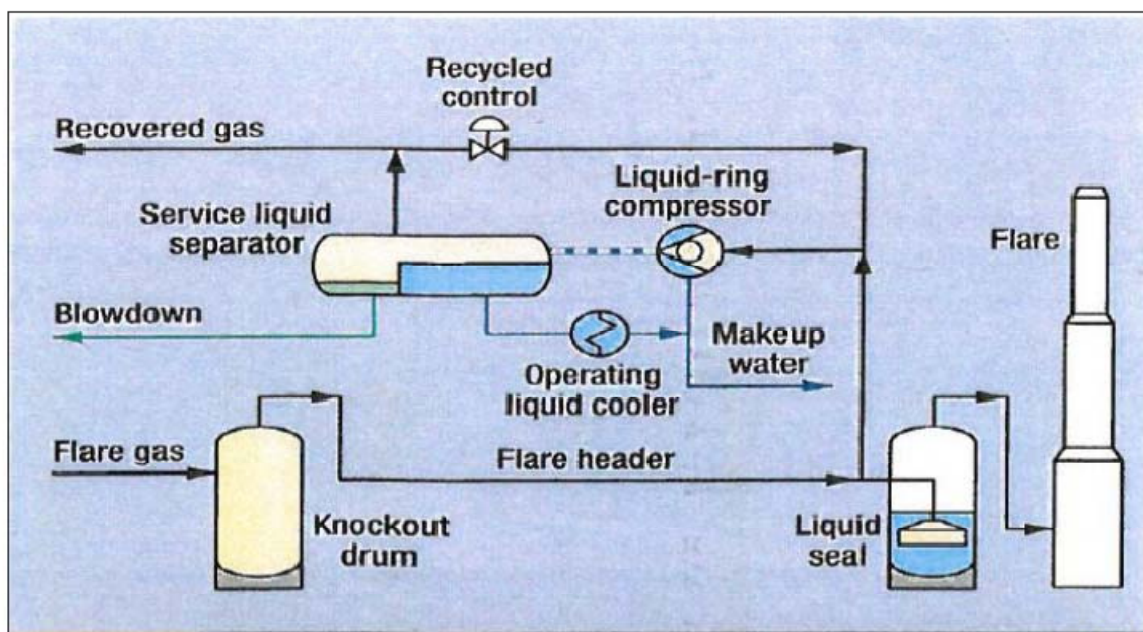
سامانه بازیافت گازهای فلر موجب حذف یا کاهش سوزاندن گاز فلر در تأسیسات تولید نفت و گاز و پالایشگاه ها می شود. این روش موجب صرفه جویی در مصرف گاز و کاهش انتشار گازهای گلخانه ای و آلاینده می گردد. مشعل قابل رؤیت، نمادی از هدررفت منابع و آلودگی، محسوب می گردد. در صورت بهره برداری از این سیستم، مشعل در حالت کارکرد عادی سیستم خاموش خواهد بود. این فناوری دوستدار محیط زیست، همچنین قادر به افزایش طول عمر مشعل نیز خواهد بود. از این فناوری در برخی از تأسیسات نفت و گاز خشکی و دریایی و پالایشگاه ها در جهان استفاده شده است.

شمای کلی سامانه

این سامانه به طور کلی از سه فرآیند جذب، تراکم و جداسازی تشکیل شده است (تصویر ۱). شکل ۱ شمای کلی نمونه از واحد بازیافت گازهای مشعل را نشان می دهد. گاز فلر از یک جداکننده جهت جداسازی مایعات همراه گاز، عبور داده می شود سپس گاز فیلتر شده از طریق یک شیرکنترل اتوماتیک به

ورودی کمپرسور فرستاده می شود. مهمترین بخش از سیستم بازیابی گاز های فلر کمپرسور می باشد. کمپرسور مورد استفاده در این واحدها عمدتاً از نوع مارپیچی یا کمپرسور با رینگ مایع و در مواردی نیز از نوع رفت و برگشتی چند مرحله ایی می باشد. بررسیها نشان می دهد که از میان انواع کمپرسورها، مناسب ترین نوع برای بازیابی گازهای فلر، نوع رینگ مایع است. علت آن است که ترکیبات گازهای فلر نسبت به حرارت حساس بوده و امکان انفجار در نتیجه اصطکاک وجود دارد. کمپرسورهای با رینگ مایع با شرایط کارکرد دما ثابت (ایزو ترمال) ایمن ترین تجهیزات جهت فشرده سازی گازها می باشد. هزینه تعمیر و نگهداری پایین و عدم ایجاد مشکلات بهره برداری از جمله عواملی است که این نوع کمپرسور را نسبت به انواع دیگر آن ارجحیت بخشیده است. سپس از جداکننده نیز جهت جداسازی هیدروکربورهای متراکم شده از گاز فلر و تخلیه آنها به سامانه سوخت رسانی یا خوراک استفاده می شود.

از این فناوری می توان در تأسیسات تولید نفت و گاز (به دلیل اینکه گاز طبیعی در سکوهای تولید نفت عمدتاً محصول جانبی بوده و قابل انتقال به بازار جهت فروش نمی باشد بنابراین در محل سوزانده می شود)، پالایشگاه ها، پتروشیمی ها، واحدهای تصفیه گاز (گازهای اضافی فرآیندها یا تولید شده شده طی فرآیند خروج اضطراری، جمع آوری و جهت سوزاندن به مشعل ها هدایت می شود) و دفنگاه های زباله (گاز تولیدی از این دفنگاه ها معمولاً دارای ارزش حرارتی پایین بوده و به همین دلیل در برخی موارد سوزانده می شود) استفاده نمود.



تصویر ۱: فرآیند کلی سیستم بازیافت گاز فلر

مفهوم بازیافت گازهای فلر

مفهوم بازیافت گازهای فلر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به ویژه دی‌اکسید کربن و افزایش گاز تولیدی است. در واقع ایده اصلی، بازیافت محصولات با ارزش به جای تخلیه آنها به جو از طریق سوزانده یا رها سازی^۱ است.

اهداف اصلی بازیافت گازهای فلر عبارتند از:

- کاهش انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای،
- کاهش آثار زیست محیطی مشعل (شعله قابل رویت، بو، حرارت)،
- افزایش گاز قابل ارائه به سیستم فروش،
- افزایش عمر مشعل
- قابلیت یکپارچه شدن با سیستم های فعلی مورد استفاده در مشعل

کاربرد های مختلف گاز فلر بازیابی شده

برای گاز فلر بازیافت شده کاربرد های مختلفی وجود دارد که مهم ترین آنها عبارتند از:

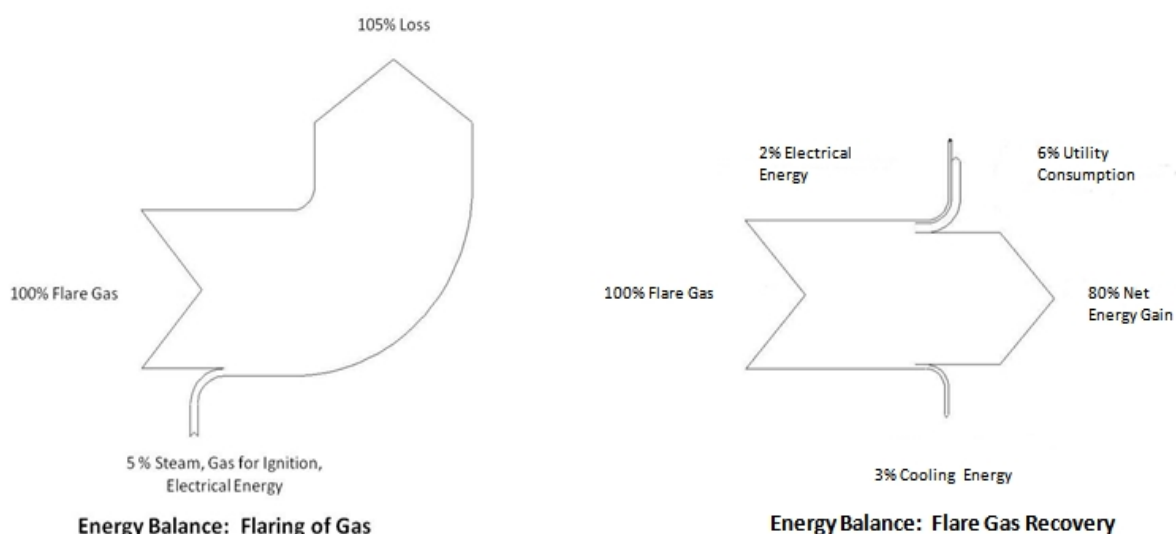
- تأمین سوخت به شکل گاز، *LPG*
- تأمین گاز تزریقی به چاه نفت به منظور انجام اقدامات بهره برداری صیانتی
- تبدیل به خوراک پتروشیمی ها
- تولید برق
- تبدیل به *LNG* و *LPG* و انتقال آن با استفاده ازتانکر
- تبدیل به سایر اشکال انرژی مانند حرارت و استفاده از آن در گرمایش منطقه ای

عوامل موثر در انتخاب و طراحی سیستم بازیابی فلر

در یک نگاه کلی، عوامل موثر در انتخاب و طراحی سیستم بازیابی فلر عبارتند از :

- دبی گازهای ارسالی به فلر در حالت پیوسته (*CONTINUOUS GAS FLOW*)
- دبی گازهای ارسالی به فلر مهمترین عامل در تعیین مقیاس و اندازه تجهیزات سیستم بازیافت می باشد. این دبی در عملیات نرمال فلر لحاظ می گردد.
- حداکثر فشار مجاز در جدا کننده (*K.O.DRUM*)
- برای تعیین حداکثر فشار مجاز باید تمامی جریان های منتهی شده به فلر در حالی که فلر بسته است مورد بازرسی قرار گیرند. به منظور کاهش مصرف انرژی در فرایند بازیابی گازهای فلر، فشار لازم جهت باز شدن شیر باید در بیشترین مقدار باشد.
- ترکیب گاز یا جرم مولکولی گاز
- ترکیب گاز در انتخاب تجهیزات بازیافت اهمیت دارد. ترکیب گاز همچنین مبین ارزش حرارتی و اقتصادی گاز می باشد. به عنوان نمونه گازهای حاوی H_2S و CO_2 یا ترکیبات ناخواسته دیگر در نوع تجهیزات بازیافت و همچنین ارزش اقتصادی گاز بازیافت شده تاثیر دارد.
- دمای گاز
- دمای گاز نیز در انتخاب تجهیزات بازیافت موثر است. اگر دمای گاز بالا باشد جهت فشرده سازی گاز به مبدل حرارتی از نوع سرمایشی نیاز می باشد.
- فشار خروجی واحد بازیافت
- فشار خروجی واحد بازیافت از آن جهت حائز اهمیت است که تصمیم گیری برای استفاده از تجهیزاتی نظیر کمپرسور، دمنده ، اجکتور و غیره را تسهیل می نماید.
- دمای گاز خروجی از سیستم بازیافت
- دانستن دمای گاز خروجی کمک خواهد نمود تا بتوان تجهیزات گرمایشی یا سرمایشی لازم را برای دستیابی به گازی با شرایط دلخواه تعبیه نمود. به عنوان مثال اگر دمای گاز خروجی بالا باشد از یک مبدل حرارتی سرمایشی جهت کاهش دمای آن استفاده می شود.
- قطر و جنس لوله انتقال گازهای فلر
- به منظور تخمین هزینه تجهیزات و شیرهای دستی احتیاج به دانستن قطر و جنس لوله انتقال گاز فلر می باشد.
- ارزش گاز فلر

ارزش گازهای فلر ، درآمد حاصل از فروش گازهای بازیابی شده را تعیین می کند که در بررسی اقتصادی کل طرح اهمیت دارد. این گازها می تواند به عنوان سوخت ارزش گذاری شده و یا به عنوان خوراک یک واحد فرایندی و یا حتی گاز تزریقی جهت افزایش برداشت از مخازن نفتی مورد توجه قرار گیرد. پتانسیل انرژی گاز فلر قابل توجه بوده و بر اساس مطالعات انجام شده تا ۸۹٪ قابل بازیافت می باشد. (تصویر ۳) در شرایط نرمال گاز فلر پالایشگاه ها حاوی ۲۰ تا ۲۵٪ سوخت گاز، ۳۵ تا ۴۵٪ LPG و ۳۵ تا ۴۵٪ نفتا می باشد. بر اساس مطالعات انجام شده ۷۰ تا ۸۰٪ گاز فلر از نظر اقتصادی قابلیت تبدیل به میعانات هیدروکربوری از قبیل LPG و نفتا را دارا می باشد.



تصویر ۳: تراز انرژی در فلر با و بدون سامانه بازیافت

وضعیت گازهای فلر در کشور

به طور کلی در کشور، سوزاندن گازهای فلر را در دو بخش اصلی تولید نفت و گاز و پالایشگاهی می توان مشاهده نمود. بر اساس آمار ارائه شده توسط بانک جهانی و بر اساس اطلاعات ماهواره ای، میزان سوزاندن گاز فلر در سال ۲۰۱۱ برای کشور حدود ۱۱.۴ میلیارد متر مکعب تخمین زده شده است (جدول ۱). بر

اساس این جدول جایگاه کشور در سوزاندن گازهای فلر سومین کشور در جهان پس از روسیه و نیجریه می باشد.

این در حالی است که بر اساس آمار ارائه شده در ترازنامه هیدروکربوری سال ۹۱، میزان گاز سوزانده شده (گاز باقی مانده برای طرح های توسعه جمع آوری گاز) حدود ۲۵.۲۳ میلیون متر مکعب در روز برابر ۹.۲۱ میلیارد مترمکعب در سال برآورد گردیده است. بر اساس اطلاعات ارائه شده توسط کمیسیون انرژی اتاق بازرگانی ایران این رقم حدود ۴۴ میلیون متر مکعب در روز برابر ۱۶.۱ میلیارد مترمکعب در سال برای سال ۹۱ اعلام شده است.

جدول ۱: برآورد میزان گاز سوزانده شده توسط فلر بر اساس داده های ماهواره ای در کشورهای مختلف

Volumes in bcm	2007	2008	2009	2010	2011	Change from
Russia	52.3	42.0	46.6	35.6	37.4	1.8
Nigeria	16.3	15.5	14.9	15.0	14.6	-0.3
Iran	10.7	10.8	10.9	11.3	11.4	0.0
Iraq	6.7	7.1	8.1	9.0	9.4	0.3
USA	2.2	2.4	3.3	4.6	7.1	2.5
Algeria	5.6	6.2	4.9	5.3	5.0	-0.3
Kazakhstan	5.5	5.4	5.0	3.8	4.7	0.9
Angola	3.5	3.5	3.4	4.1	4.1	0.0
Saudi Arabia	3.9	3.9	3.6	3.6	3.7	0.1
Venezuela	2.2	2.7	2.8	2.8	3.5	0.7
China	2.6	2.5	2.4	2.5	2.6	0.1
Canada	2.0	1.9	1.8	2.5	2.4	-0.1
Libya	3.8	4.0	3.5	3.8	2.2	-1.6
Indonesia	2.6	2.5	2.9	2.2	2.2	0.0
Mexico	2.7	3.6	3.0	2.8	2.1	-0.7
Qatar	2.4	2.3	2.2	1.8	1.7	-0.1
Uzbekistan	2.1	2.7	1.7	1.9	1.7	-0.2
Malaysia	1.8	1.9	1.9	1.5	1.6	0.2
Oman	2.0	2.0	1.9	1.6	1.6	0.0
Egypt	1.5	1.6	1.8	1.6	1.6	0.0
Total top 20	132	124	127	118	121	3.1
Rest of the world	22	22	20	20	19	(1.1)
Global flaring level	154	146	147	138	140	1.9

Source: NOAA Satellite data

تولید برق از گاز فلر

جهت محاسبه میزان برق تولیدی از گاز فلر نیاز به محاسبه ارزش حرارتی گاز فلر می باشد که بر اساس جرم ملکولی و بر اساس نمونه گاز فلر پالایشگاه نفت شیراز حدود ۷۵۶۰ کیلوکالری بر متر مکعب محاسبه گردیده است. با تبدیل این عدد به واحد کیلووات (با فرض هر کیلوکالری برابر ۱.۱۶۲۷ وات) ارزش حرارتی گاز برابر ۸.۷۹ کیلووات خواهد بود.

با لحاظ نمودن راندمان حدود ۴۲٪ و با استفاده از فرمول $P_{out}=3.69Kw$ ، هر مترمکعب از این گاز قادر به تولید ۳.۶۹ کیلووات برق است با فرض ورود ۴۳۶ مترمکعب در ساعت گاز بازیابی شده به سیستم (۳.۶۹*۴۳۶) حدود ۱۶۰۸.۸۴ کیلووات برق می توان تولید نمود. با احتساب ۸۴۰ ساعت در سال خروج اضطراری این واحد قادر به تولید $10^6 * 12.7$ کیلووات ساعت برق در سال خواهد بود.

فناوری های جدید تولید برق از گاز فلر

مبدل گاز *Wartsila*، (تصویر ۴)، محصول جدیدی است که قابلیت تبدیل گاز تولیدی فرآیند تولید نفت را که ماهیتاً غنی از هیدروکربورهای سنگین است را به محصولی غنی از متان جهت استفاده در موتورهای گازسوز *Wartsila* را دارا می باشد.



تصویر ۴: مبدل گاز *Wartsila*

در شرایط نرمال گاز همراه نفت به عنوان سوخت قابل مصرف نمی باشد اما با استفاده از این تجهیز که دارای ابعادی در اندازه یک کانتینر است می توان از این گاز استفاده نمود. کاربرد دیگر این تجهیز، بازیابی مواد آلی فرار انتشار یافته حین استخراج نفت خام نیز می باشد.

گاز همراه ترکیبی از انواع مختلف هیدروکربورهای سنگین مانند اتان، پروپان، بوتان، پنتان، هگزان و متانمی باشد. این گاز دارای محتوی کمی از متان بوده که این امر منجر به کاهش راندمان موتور می گردد. این تجهیز هیدروکربورهای سنگین را به گاز سنتز ($H_2 + CO$) و سپس به متان تبدیل می کند محصول نهایی صرف نظر از ترکیب گاز همراه اولیه غنی از متان خواهد بود. مبنای عملکرد فرآیند کاتالیستی بوده که طی آن کلیه هیدروکربورهای غیر متانی گاز همراه در ابتدا به هیدروژن و منواکسید کربن تبدیل و سپس به متان تبدیل می شوند. در این فرآیند کیفیت گاز تولیدی وابسته به دما، فشار و میزان بخار تزریقی به سیستم خواهد بود. محصول نهایی گازی با حدود ۸۰٪ متان، حداکثر ۱۱٪ هیدروژن و حدود ۱۰٪ یا کمتر دی اکسید کربن است. استفاده از این تجهیز برای بیوگاز یا گازهای دارای محتوی گوگرد بالا (بالتر از ۴۰ ppm) مناسب نمی باشد.

اولین واحد پایلوت ۸ مگاوات مبدل گازی در بهار سال ۲۰۱۳ در یک سکوی نفتی واقع در دریای چین نصب گردیده است. ابعاد این واحد در حدود 5.3m x 3m x 3.3m و وزن آن حدود ۱۷ تن می باشد. جدول ذیل مشخصات این فناوری آورده شده است.

جدول ۲: مشخصات مبدل گازی ۸ مگاواتی wartsila

Product Specification for 8 MW*) GasReformer		
Pressure	5-9.5 barg	
Desulfurization adsorbent (ZnO)	1.5 m ³	
Desulfurization Temperature	200-400 °C	
Reformer Catalyst (Ni/MgAl ₂ O ₄)	1.3 m ³	
Reformer Temperature	50-420 °C	
Electrical Heater	99 kW	
Steam Flow rate	233 kg/h/MW*)	
Flow values (for an example case)	Inlet Gas	Product
MN	46	104
LHV	46 MJ/kg	35 MJ/kg
Flow rate	207 kg/h/MW*)	271 kg/h/MW*)

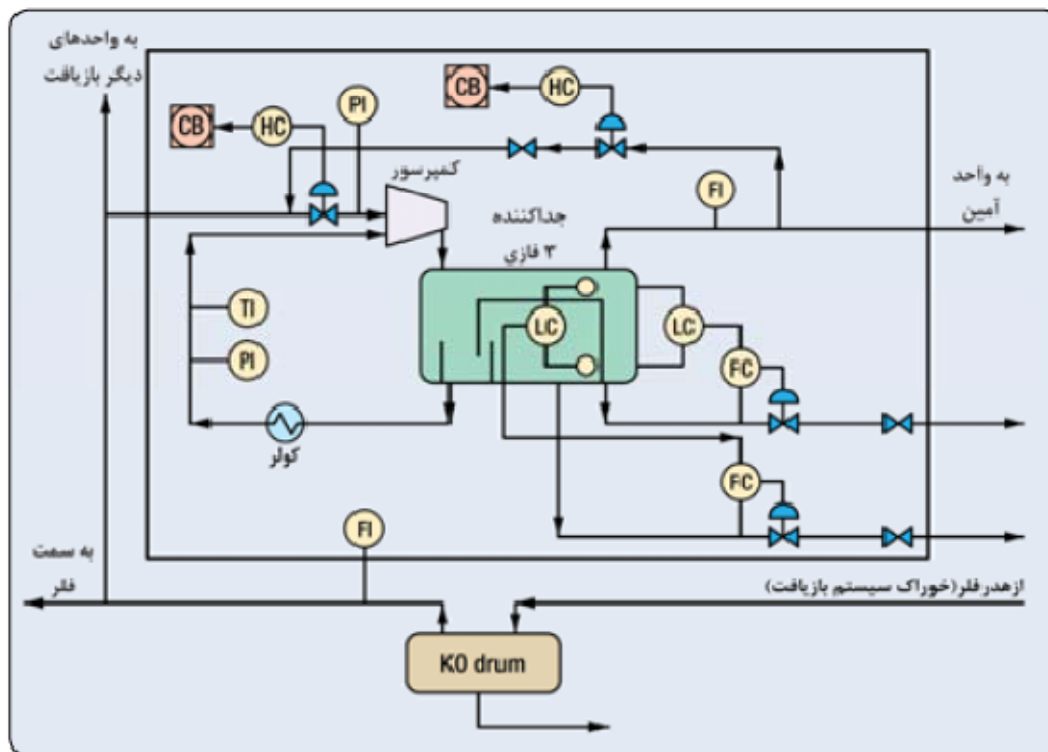
*) Shaft power of DF engine

مطالعه موردی بازیافت گاز فلر در پالایشگاه

با استفاده از سیستم بازیافت گاز فلر در پالایشگاه، علاوه بر کاهش آلودگی ناشی از احتراق از لحاظ اقتصادی نیز می توان صرفه جویی نمود. استفاده از این سیستم منجر به کاهش سر و صدای حاصل از اشتعال گاز، تشعشعات حرارتی، کاهش هزینه های تعمیر و نگهداری، کاهش آلودگی هوا، کاهش مصرف سوخت گاز و بخار و افزایش پایداری فرآیند و طول عمر دهانه فلر پالایشگاه می شود.

در حال حاضر بازیابی گازهای فلر یکی از بهترین روش های کاهش هزینه های پالایشگاه می باشد. بر اساس مطالعات انجام شده در یک پالایشگاه نمونه در کشور مشخص گردید استفاده از گازهای فلر به عنوان منبع سوخت گازی، گاز فلر را به میزان ۲۱۰۰۰ مترمکعب در ساعت را کاهش داده و پتانسیل جایگزینی سوخت گاز معادل ۴۸۱۰ مترمکعب در ساعت را دارا می باشد. مزیت دیگر استفاده از این سیستم، کاهش انتشار گازهای CO_2 ، NOx ، SOx ، CO و H_2S به میزان ۹۰٪ در این پالایشگاه نمونه بوده است. سیستم پیشنهادی در این پالایشگاه به شرح تصویر شماره ۵ می باشد.

سیستم پیشنهادی این پروژه شامل سه کمپرسور رینگ مایع، سه جداکننده افقی سه فازی، سه خنک کننده آبی همراه با لوله کشی ها و تجهیزات ابزار دقیق و کنترلی لازم است. بخش گازی تراکم یافته جهت جداسازی گاز H_2S به یک سیستم فرآوری آمین ارسال می شود. بخش مایع به عبارتی بخارات هیدروکربوری مایع شده نیز در کمپرسور به جداکننده فرستاده می شوند. در جداکننده سه فازی، میعانات هیدروکربوری از مایع مورد استفاده در کمپرسور جدا شده به مخازن نگهداری هدایت می شود.



تصویر شماره ۵: سیستم پیشنهادی بازیافت گاز فلر در یک پالایشگاه نمونه

سیستم پیشنهادی توانایی دریافت مقادیر و ترکیبات متغیر از گازهای فلر را دارا بوده و میزان سرمایه گذاری اولیه جهت نصب آن حدود ۱.۴ میلیون دلار برآورد شده است. با در نظر گرفتن قیمت ۰.۱۵ دلار به ازای هر مترمکعب سوخت گاز، ۶ دلار به ازای هر تن بخار مصرفی و ۰.۰۵ دلار به ازای هر کیلووات ساعت برق مصرفی، زمان بازگشت این هزینه با لحاظ نمودن هزینه های تعمیر و نگهداری، استهلاک در مدت ۴ ماه است.

نتیجه گیری

با توجه به عدم شفافیت آمار قطعی از میزان گاز فلر شده در تأسیسات نفتی کشور از ۲۵.۲ تا ۴۴ میلیون متر مکعب در روز در سال ۹۱، با یک محاسبه ساده حجم گاز همراه سوزانده شده در کشور بدون لحاظ نمودن حجم گاز سوزانده شده در فلر بخش پالایشگاهی کشور حدود ۹.۲ تا ۱۶.۱ میلیارد مترمکعب در سال برآورد می شود. با فرض بدبینانه توانایی بازیافت تنها یک سوم این حجم گاز و با لحاظ نمودن قیمت فروش گاز طبیعی به صنایع (هر متر مکعب حدود ۷۰۰ ریال) و با لحاظ نمودن حد پایین گاز سوزانده

شده، درآمدی در حدود ۲۱۴۶ میلیارد ریال در سال تنها از بازیافت گاز فلر عاید کشور خواهد شد. این در حالی است که استفاده از این سامانه علاوه بر منافع اقتصادی دارای منافع زیست محیطی و اجتماعی از قبیل حذف انتشار گازهای آلاینده و به ویژه گلخانه ای که از لحاظ عضویت ایران در پروتکل کیوتو و امکان متعهد نمودن کشور جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه ای حائز اهمیت می باشد. توجه به این نکته ضروری است که خاموشی مشعل ها علاوه بر کاهش آلودگی حرارتی، صوتی، نوری و.. از جنبه های اجتماعی از قبیل افزایش رضایت مندی ساکنین منطقه و همچنین پرسنل شاغل در بخش نفت و گاز از لحاظ بحث بهداشت و ایمنی بسیار قابل توجه است.

منابع مورد استفاده

1. http://www.laksel.com.sg/Why_the_Recovery_of_Flare_Gas.html
2. <http://5jre.persianblog.ir/post/659/>
3. <http://www.ramboll.com/projects/rog/cutting%20carbon%20footprints%20by%20using%20flare%20gas%20recovery>
4. <http://www.weber-unternehmensgruppe.com/en/weber-engineering/services/flare-gas-recovery-sys/>
5. <http://www.clarke-energy.com/gas-type/associated/>
6. <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPICS/EXTOGMC/EXTGGFR/0,,contentMDK:22137498~menuPK:3077311~pagePK:64168445~piPK:64168309~theSitePK:578069,00.html>
7. <http://www.wartsila.com/en/wartsila-gasreformer-transforming-flare-gas-to-fuel-for-efficient-power-generation>