

خلاصه

در این مقاله، جهت کاهش آلاینده‌های زیست محیطی ناشی از سوختن گازهای زائد (Waste Gases) در فلر یک پالایشگاه و استفاده مجدد از این گازها به منظور صرفه‌جویی در سوخت مصرفی (Fuel Gas)، به تشریح پروژه انجام شده‌ای با استفاده از روش بازیابی گازهای فلر (Flare Gas Recovery) پرداخته می‌شود. از روش استفاده شده این مقاله می‌توان به عنوان یک راهنمای کلی (General Guideline) جهت اجرای سیستم‌های بازیابی گازهای فلر استفاده نمود.

مقدمه

به طور کلی برای کاهش خطر در شرایط اضطراری (Emergency Situations) در پالایشگاه نفت و گاز یا تاسیسات شیمیایی و پتروشیمیایی، استفاده از فلر برای سوزاندن گازهای موجود در سیستم راه حل نهایی می‌باشد. به این شکل که گازهای موجود در منطقه خطر به سرعت به سمت فلر ارسال می‌شوند تا به شکلی کنترل شده سوزانده شوند تا خطر کمتری برای محیط زیست، تجهیزات و کارکنان ایجاد شود. البته ممکن است در شرایط عادی و به‌طور پیوسته (Continuous Flaring) یا برای تعمیرات لازم باشد تجهیزات از سیال موجود در آنها تخلیه شوند. در این شرایط نیز لازم است گازفلر سوزانده شود.

پالایشگاه نمونه

برای بررسی گازهای فلر تحقیق کاملی در یک پالایشگاه به عمل آمده است، با توجه به مشابه بودن پالایشگاه‌ها، در این مقاله به صورت عملی از عنوان «پالایشگاه» استفاده می‌کنیم. در پالایشگاه مورد نظر از دو فلر مرتفع (Elevated Flare) استفاده شده است. یک دستگاه برای سرویس‌های فشار پایین (Low-Pressure Service) و یک دستگاه دیگر برای سرویس‌های فشار بالا (High-Pressure Flare). در کلیه شرایطی نظیر شرایطی که در بالا ذکر گردید، گازها از طریق یک سری خطوط اصلی (Piping Headers) به سمت فلرها هدایت می‌شوند تا به شکلی ایمن از سیستم خارج گشته و سوزانده شوند. در حالی که عملکرد اصلی فلرها حفاظت از تجهیزات، کارکنان و محیط اطراف است، سوزاندن گازهای فلر باعث تولید گازهای آلاینده محیط زیست نظیر اکسیدهای نیتروژن (NOX)، اکسیدهای گوگرد (SOX) و گازهای گلخانه‌ای CO_2 و CO می‌شود. ممکن است این ترکیبات همراه با هیدروکربن‌های نسوخته نیز در محیط زیست منتشر شوند. با هماهنگی و کمک مسئولین محیط زیست منطقه، در پالایشگاه مورد نظر پروژه‌ای جهت بررسی امکان کاهش کل گازهای منتشرشده توسط این تاسیسات تعریف شد. براساس نتایج حاصل از این بررسی مسئولین محیط زیست و پالایشگاه تصمیم گرفتند که طرح‌هایی برای کاهش انتشار گازهای آلوده‌کننده تاسیسات تهیه کنند. پس از تهیه تعدادی طرح، از بین این طرح‌ها، فناوری بازیابی گازهای فلر (Flare Gas Recovery Technology) به عنوان بهترین راهکار انتخاب گردید.

راهکار کاهش انتشار گازها

اصولاً سیستم‌های بازیابی گازهای فلر درست قبل از آنکه گازها

بازیابی گاز فلر Flare Gas Recovery

تهیه و تنظیم:

مهندس حامدحسین نوروزی



کرده و در عین حال طراحی از لحاظ هزینه‌های عملیاتی (Operating) و هم هزینه‌های اولیه ساخت (Capital Expenses) بهینه باشد.

برای تعیین مقدار جریان گازهای فلر در زمان‌های متفاوت، مهندسین تجهیزات ابزار دقیقی در بالادست هر کدام از این فلرها نصب کردند. مقدار این جریان‌ها برای چند هفته اندازه‌گیری و به طور الکترونیکی ثبت شد تا الگوی جریان در طی عملیات معمول روزانه مشخص شود. در طی مدت مطالعه فلر، تکنسین‌های آزمایشگاه، نمونه‌هایی از این گازها را توسط کروموتوگرافی گازی مورد تجزیه و تحلیل قرار تا علاوه بر مقدار جریان، ترکیبات گازهای فلر نیز مشخص گردند.

همزمان گروه مهندسی طراحی و عملیات، فلرهای موجود را مورد بررسی قرار دادند تا امکان یکپارچه‌سازی فلرهای موجود را با واحد جدید بازیابی گازهای فلر برقرار کنند. این مرحله مهم باعث شد تا اصلاحات لازم بر روی سیستم فلر موجود و سیستم‌های کنترل مناسب برای یکپارچه‌سازی و عملکرد بهینه واحد بازیابی گازهای فلر تعیین شوند. نتایج این آزمایش‌ها نشان داد که ظروف آب‌بندی مایعات (Liquid Seal) موجود فلرها برای آنکه پارامترهای عملکردی جدید پالایشگاه را جوابگو باشند باید اصلاح ساختاری شوند.

شناخت شرایط و الزامات فرایندی، مهندسین را قادر ساخت که مبنای طراحی (Design Basis) را شکل داده و گزینه‌های فناوری اجزای کلیدی سیستم بازیابی را مورد ارزیابی (Evaluation) قرار دهند این ارزیابی شامل موارد زیر بود:

۱. بررسی دقیق انواع فناوری کمپرسورها
۲. تعیین دقیق هزینه‌های پروژه، هزینه‌های عملیاتی و تعمیراتی، هزینه‌های مواد جانبی مصرفی (Utility) پالایشگاهی و ارزش نهایی گازهای بازیابی شده
۳. ضمناً گروه مهندسی نحوه یکپارچه‌سازی سیستم کنترل بازیابی با سیستم‌های کنترل فرایندی موجود در تاسیسات را نیز ارزیابی کردند.
۴. پس از پایان طراحی اولیه، گروه مهندسی، نحوه بازیابی گازهای فلر، تخمین هزینه‌ها و زمان اجرای پروژه (Project Schedules) را تهیه و به پالایشگاه ارائه داد. در این مرحله همکاری بسیار نزدیک گروه مهندسی و پالایشگاه، عامل کلیدی برای طراحی سیستم بود تا انتظارات پالایشگاه از نظر کاهش انتشار آلودگی‌ها برآورده شود. اطلاعات حاصل از مطالعه و برنامه‌ریزی تفصیلی (Detailed Plan) پروژه کمک کرد تا از تحمیل هزینه‌های اضافه پیش‌بینی نشده (Unexpected Cost Overruns) و یا دیرکرد در پروژه (Project Schedule Delays) و مشکلات اجرایی (Implementation Problems) برای پالایشگاه جلوگیری شود.



شکل ۱: کمپرسور رینگ مایع مناسب سیستم‌های بازیافت گازفلر

جهت سوزاندن به فلر ارسال گردند، آنها را جمع‌آوری می‌کنند. در عمل، سیستم بازیابی گازهای فلر، گازها را از لوله اصلی فلر (Main Flare Header) درست قبل از آنکه به فلر برسند، جمع‌آوری، متراکم و پیش از استفاده در سیستم سوخت‌گازی پالایشگاه (Refinery Fuel Gas System) خنک می‌کند. البته بسته به نوع ترکیبات (Composition) گاز فلر، این گازهای بازیابی شده می‌توانند به‌عنوان خوراک (Feed-Stock) به بخشی از پالایشگاه که توانایی فرآورش آن را دارند نیز برگردانده شوند. سیستم بازیابی گازهای فلر همچنین باعث کاهش هزینه‌های سوخت‌گازی (Fuel Gas)، کاهش شعله‌های قابل دید، بو، صدا (Noise) و کاهش مواد مصرفی سیستم فلر نظیر بخار نیز می‌شود.

بخش بهره‌برداری پالایشگاه به این نتیجه رسید که اجرای سیستم بازیابی نیاز به دو عامل دارد:

۱. بررسی دقیق مقدار فلرینگ موجود در عملیات
۲. طراحی واحد بازیابی

سیستم بازیابی، باید توانایی فرآورش گازهای فلر را به شکلی ایمن و موثر به طوری که بر عملکرد سیستم فلر موجود تاثیر منفی نگذارد، داشته باشد. بنابراین، مسئولین پالایشگاه یک راهبردی کلی برای اجرای پروژه تعریف کردند که شامل موارد زیر بود.

۱. آنالیز اطلاعات فرایندی تجهیزات
۲. بازنگری مجموعه تجهیزات فلر موجود
۳. مطالعه و انتخاب فناوری
۴. انتخاب شرکت‌های دارنده فناوری (Suppliers)
۵. طراحی تفصیلی سیستم
۶. ساخت (Fabrication) و نصب (Installation)
۷. آماده‌سازی برای راه‌اندازی (Commissioning)
۸. آموزش پرسنل
۹. تست عملکرد تجهیزات (Test Performance)

طراحی اولیه (Preliminary Design)

تیم پروژه با گروهی متشکل از مهندسین متخصص بازیابی گازهای فلر که تجربه کافی در فناوری فلر و روش‌های بازیابی داشتند، تماس برقرار کردند تا یک ارزیابی اولیه مهندسی (Engineering Assessment) و مطالعه امکان‌سنجی (Feasibility Study) را در این مورد انجام دهند. گروه مهندسی مذکور، آزمایش‌هایی جهت جمع‌آوری اطلاعات عملیاتی انجام دادند، طراحی تجهیزات موجود را مورد بررسی (Review) قرار دادند تا بتوانند نوعی سیستم بازیابی گازهای فلر طراحی کنند که بتواند همزمان به‌طور موثری انتشار گازهای آلاینده را کنترل

کل عملیات سیستم را تامین کند و فشار مشخص (Back Pressure) را در خط اصلی ورودی به فلر (Flare) (Header) ثابت نگهدارد که برای عملکرد بهینه واحد بازیابی گازهای فلر ضروری است. واحد بازیابی گازهای فلر در محلی مابین Knock-out Vessel و Liquid Seal به خط اصلی گاز فلر متصل می شود تا هر زمان که جریانی در خط اصلی باشد، آن را جذب کند. بدین شکل احتمال ورود مایعات (Condensate) به واحد بازیابی گازهای فلر کاهش می یابد زیرا که Knock-out Vessel بدین منظور طراحی شده است. واحد بازیابی گاز فلر، بطور موازی (Parallel) با سیستم موجود فلر نصب می شود و هر دو به طور پیوسته (Continuous) در سرویس هستند. کل مقدار جریانی که سیستم موجود فلر می تواند دریافت کند بیشتر از ظرفیت طراحی اقتصادی واحد بازیابی گاز فلر است. توجه داشته باشید که اگر مقدار جریان گاز فلر کمتر از ظرفیت طراحی بازیابی باشد، تمام گازها وارد واحد بازیابی می شوند و گازی در فلر سوزانده نمی شود. اگر مقدار جریان گاز فلر بیشتر از ظرفیت طراحی سیستم بازیابی گازهای فلر باشد، این واحد در حداکثر ظرفیت طراحی خود کار می کند و باقی مانده گازها از طریق فلر سوزانده می شوند. ظرفیت طراحی بهینه واحدهای بازیابی گازهای فلر معمولاً از حداکثر جریان گازهای فلر کمتر است.

اصلاحات (Modifications) روی سیستم موجود

کنترل موثر ظرفیت جریان واحد بازیابی به Back Pressure خط اصلی فلر بستگی به عمق مایع موجود در Liquid Seal دارد. ارتفاع حدودی ۱۶ اینچ (تقریباً ۱۶ میلیمتر)، برای Liquid Seal موجود پالایشگاه،

انتخاب شرکت دارنده فناوری (Supplier)

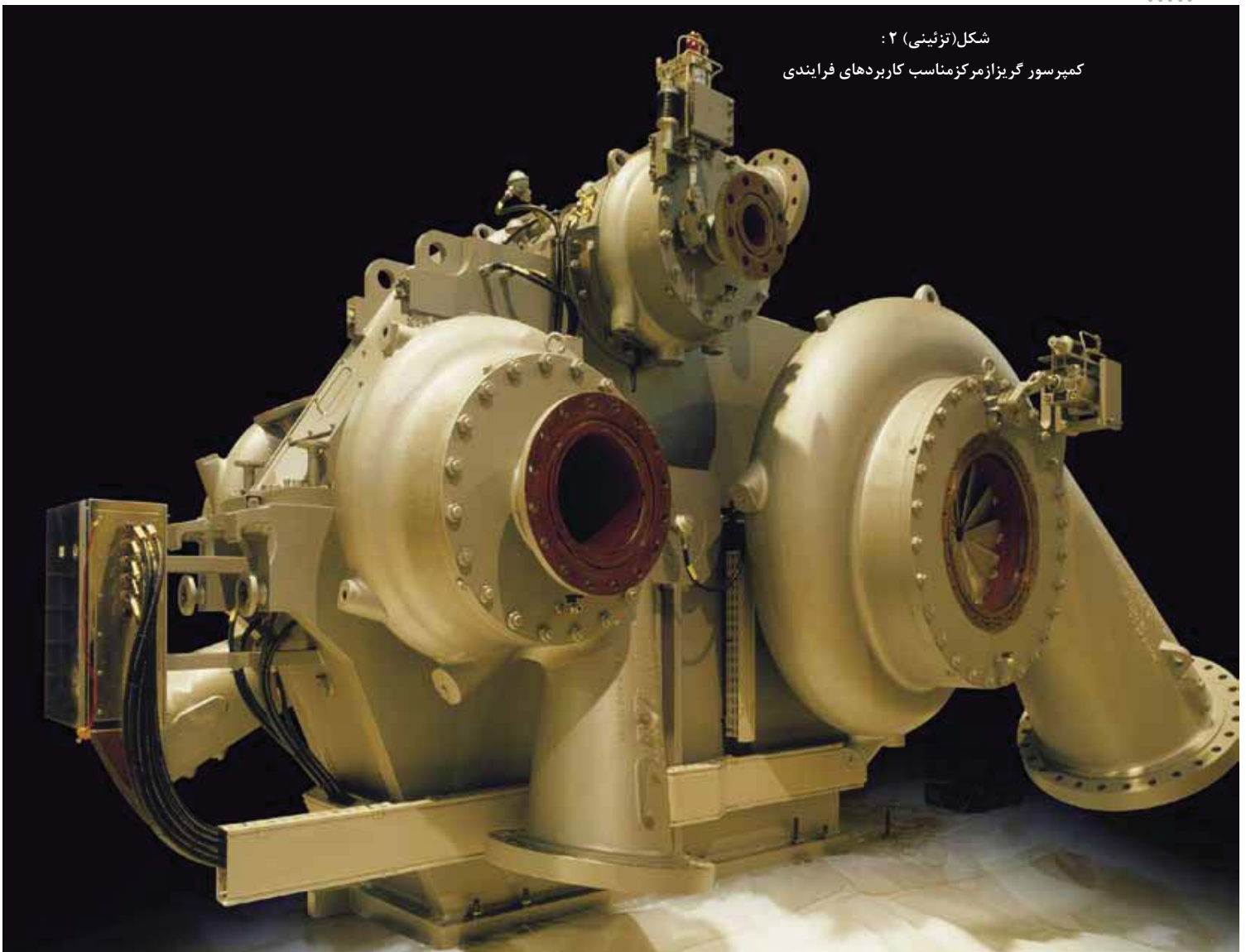
با پذیرش طرح از سوی پالایشگاه با گروه مهندسی بازیابی گازهای فلر جهت تهیه دو سیستم کامل بازیابی قراردادی منعقد گردید. این تصمیم پالایشگاه براساس ارزیابی طرح گروه مهندسی از لحاظ قیمت و زمان اجرا، تجربیات مشاهده شده از این گروه در مهندسی سیستم فلر و توانایی های ارائه شده گروه در مورد فناوری های بازیابی فلر انجام شد. در ضمن پالایشگاه تشخیص داد که کار با یک سازنده واحد برای هر دو سیستم سبب عملکرد بهتر در اجرای پروژه و یکپارچه سازی دقیق (Critical Integration) بین عملیات واحد جدید و تاسیسات موجود می گردد.

ملاحظات طراحی و عملیاتی

به طور کلی یک سیستم فلر باید شامل یک دستگاه Knock-out Vessel و یک Liquid Seal باشد. Knock-out Vessel از ورود مایعات به فلر و واحد بازیابی گازهای فلر محافظت به عمل می آورد. Liquid Seal می تواند ایمنی

شکل (تزیینی) ۲:

کمپرسور گریز از مرکز مناسب کاربردهای فرایندی



قابلیت اعتماد (Reliability)، هزینه کلی و ویژگی‌های کمپرسور یک سازنده خاص، انتخاب شد. کمپرسورهای رینگ مایع در چنین سرویس‌هایی بسیار قابل اعتماد (Reliable) بوده، دارای راندمان بالا در شدت جریان‌های پایین، زمان کارکرد بالاتر و هزینه‌های تعمیر و نگهداری پایین‌تری نسبت به دیگر انواع کمپرسورها دارند. مهندسین این کمپرسورها را مخصوصاً برای استفاده در این پالایشگاه و برای کار در سرعت‌های مناسب جهت اتصال مستقیم به الکتروموتور انتخاب کردند. این کمپرسورها از نوع دومرحله‌ای بودند که به‌طور خاص با یک ساختار Overhung-Impeller طراحی شدند، این ویژگی سبب می‌شود که عملکرد (Operability) بالایی داشته باشند که خود شامل افزایش قابلیت اعتماد و تسهیل عملیات تعمیر و نگهداری می‌شود. گازهای فلر بازاریابی شده مخلوط با مایع داخل کمپرسور مستقیماً به یک جداکننده سه‌فازی فرستاده می‌شوند.

راهکار استفاده از جداکننده سه‌فازی

(Three Phase Separator)

گروه مهندسی؛ طراحی، ساخت و نصب تجهیزاتی را به منظور تامین اهداف زیر انجام داد:

۱. جداسازی گازهای بازاریابی شده از سیال عملیاتی کمپرسور
۲. برگرداندن این گازها و مایعات به فرایند
۳. به گردش درآوردن سیال عملیاتی کمپرسور

خیلی کم است. گروه مهندسی ملاحظات طراحی لازم برای افزایش ارتفاع مایع را مورد مطالعه خاص قرار داد. در صورت طراحی نادرست ارتفاع مایع در Liquid Seal اشکالات زیر به وجود می‌آید.

۱. ایجاد نوسان در جریان ورود به واحد بازاریابی که باعث می‌شود نوسان در شعله فلر بوجود آورد (شعله‌ور شدن، خاموش شدن و دوباره شعله‌ور شدن شعله) که باعث ایجاد دود (Smoking) و سروصدای شدید (Noise) می‌گردد.
 ۲. اشکال در کنترل ظرفیت واحد بازاریابی که می‌تواند باعث توقف‌های متوالی در واحد و عملیات ناقص واحد شود.
- بازایی گازهای فلر به‌صورت ایمن، موثر و قابل اعتماد بستگی به تثبیت سیستم Liquid Seal از لحاظ ایمنی عملیاتی و یکپارچگی مکانیکی دارد. برای حفظ کارکرد ایمن فلر، مهندسین دو گزینه جهت اصلاح Liquid Seal در نظر گرفتند.

۱. جایگزینی قطعات داخلی (Internals) با قطعات جدید در Liquid Seal

۲. نصب یک ظرف Liquid Seal جدید

گروه مهندسی به این نتیجه رسید که بهترین انتخاب از لحاظ هزینه اجرای گزینه اول یعنی جایگزینی قطعات داخلی جدید برای ظرف Liquid Seal بود. هر کدام از Stack فلرها حدود ۲۰ سال در سرویس بودند، با ارتفاع حدود ۱۶۶ فوت یا ۵۱ متر و با Liquid Seal با قطر ۱۰ فوت یا ۳ متر. در ادامه کار تجزیه و تحلیل و بازرسی مهندسی انجام شد تا مشخص شود که آیا Stack فلر استحکام کافی دارد تا در زمان انجام اصلاحات در پایین Stack مشکلی از نظر ایمنی بوجود نیاید. دریچه‌ای (Opening) به عرض حدود شش فوت یا ۱/۸ متر و ارتفاع ۱۰ فوت یا ۳ متر در پایین پایه هر یک از Stackها ایجاد شد تا امکان برداشتن تجهیزات داخلی قدیمی و نصب قطعات جدید تجهیزات Liquid Seal فراهم شود.

طراحی سیستم بازاریابی

طراحی سیستم بازاریابی گازهای فلر براساس پیش‌بینی شرایط فشاری در خط اصلی فلر انجام می‌شود. در این سیستم فشار خط اصلی (Header Pressure) اندازه‌گیری می‌شود و براساس آن ظرفیت عملیاتی کمپرسور با رینگ مایع (Liquid-Ring Compressor) مشخص می‌شود، به شکلی که فشار خط گاز فلر ثابت باقی بماند. ثابت نگهداشتن فشار مثبت در خط فلر باعث می‌شود که از ورود هوا به داخل فلر و یا واحد بازاریابی گازهای فلر جلوگیری شود.

اگر حجم گازهای آزاد شده به داخل سیستم فلر از ظرفیت واحد بازاریابی بیشتر شود، فشار در خط اصلی فلر افزایش می‌یابد تا زمانی که از فشار (Back Pressure) ایجاد شده توسط ارتفاع مایع درون Liquid Seal بیشتر شود. در چنین وضعیتی، حجم گاز اضافی از درون Liquid Seal به صورت حبابی عبور کرده و به سمت فلر هدایت می‌شود. واحد بازاریابی در حداکثر ظرفیت خود به کار ادامه می‌دهد. در صورت کاهش شدت جریان موجود در سیستم فلر، سیستم کنترل یکپارچه واحد بازاریابی گازهای فلر به طور اتوماتیک مقدار جریان مناسب جهت فرایند بازاریابی را تنظیم می‌کند.

انتخاب کمپرسور

با توجه به مبنای طراحی سیستم و ظرفیت موردنظر بازاریابی گاز فلر، گروه مهندسی نوع کمپرسور مناسب را انتخاب کرد. مناسب‌ترین نوع کمپرسور برای بازاریابی گازهای فلر بستگی به عوامل متفاوتی دارد از جمله:

۱. الزامات فرایندی (Process Requirements)
۲. بازدهی (Efficiency)
۳. قابلیت اعتماد از لحاظ کارکرد (Dependability) در چنین عملیاتی
۴. الزامات تعمیر و نگهداری (Maintenance Requirements)

بروه مهندسی برای هر واحد بازاریابی گازهای فلر سه کمپرسور از نوع رینگ مایع (Liquid-Ring Compressor) انتخاب کرد. هر کمپرسور برای ظرفیت 0.1 MMscfd با فشار خروجی 120 psig، با الکتروموتوری 400 hp و دور 200 rpm طراحی شدند.

کمپرسورهای رینگ مایع از یک رینگ مایع (که اغلب آب است) برای تشکیل یک Seal به شکل یک حلقه بین انتهای پره‌ها و محفظه کمپرسور استفاده می‌کنند. نیروی گریز از مرکز پره‌های دورانی، مایع را به سمت دیواره‌ها می‌راند تا یک Seal تشکیل شود. ضمناً این مایع گرمای ناشی از تراکم را از گاز بازاریابی شده می‌گیرد و قطعات داخلی کمپرسور را برای ایمنی بیشتر مرطوب (Wet) می‌کند. انتخاب کمپرسور براساس



تکمیل پروژه

واحد‌های بازیابی گازهای فلر، از کارگاه‌های ساخت سازنده به پالایشگاه فرستاده شدند. نصب تجهیزات و آموزش بهره‌برداران تا یک ماه بعد کامل شد و آماده‌سازی سیستم جهت راه‌اندازی (Commissioning) نیز در ماه دوم کامل شد، طوری که برای هر سیستم پنج روز اختصاص یافت. مجموعه به شکلی طراحی شد تا نصب تجهیزات آسان باشد و دسترسی لازم برای تعمیر، نگهداری و عملیات نیز تسهیل گردد. در نهایت پروژه سیستم‌های بازیابی گازهای فلر طبق بودجه و زمان بندی پیش بینی شده صورت گرفت، و بازدهی آن نیز بیش از انتظار بود. هر دو سیستم بازیابی گازهای فلر، مقدار فلرینگ را تقریباً به صفر رساندند که بدین وسیله پالایشگاه به هدف خود جهت کاهش انتشار آلودگی‌ها رسید و توانست از منابع خود نیز حداکثر استفاده را ببرد.

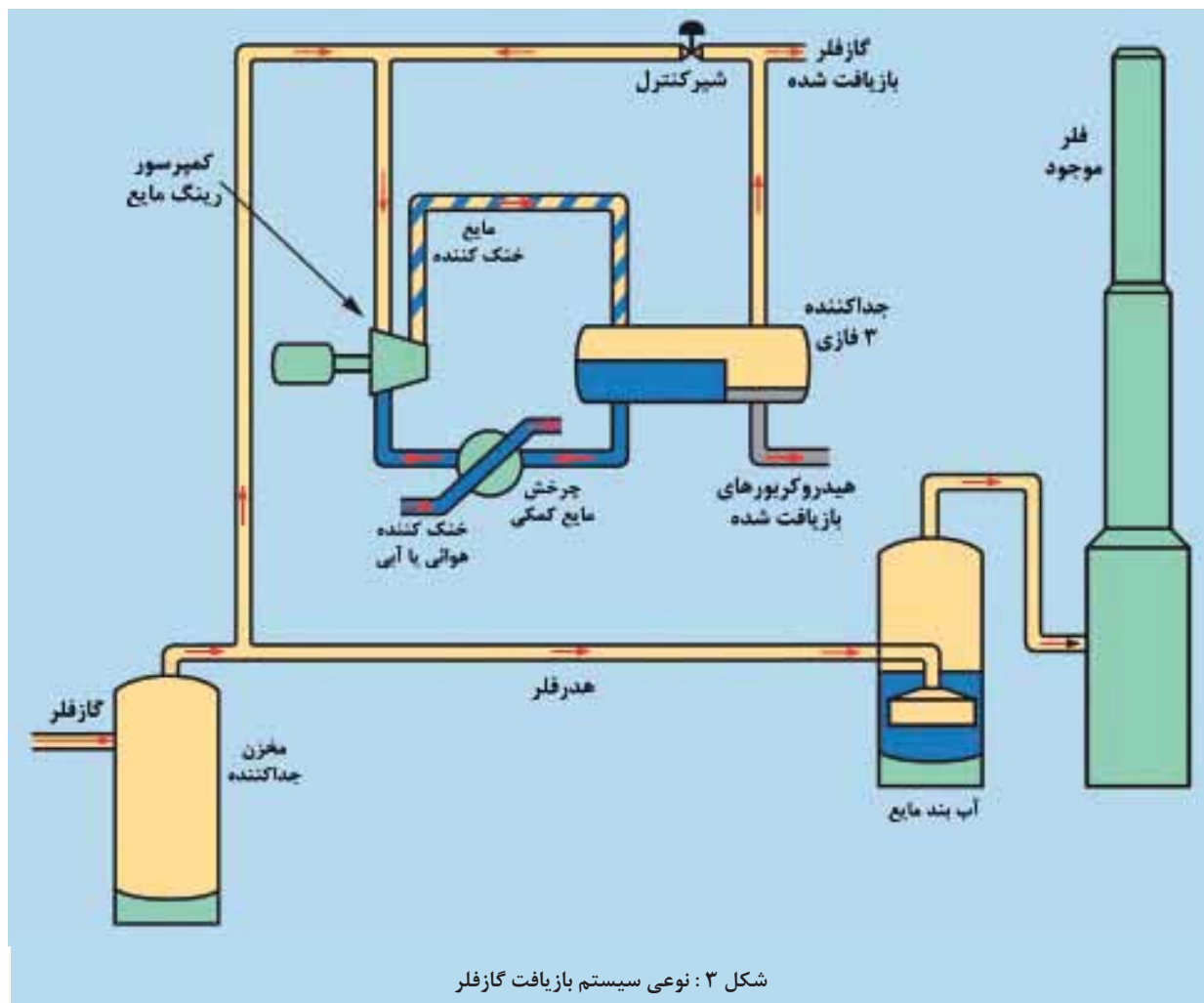
منبع: 1 : Hydrocarbon Processing

منبع:

گاز بازیابی شده از جداکننده خارج می‌شود و مستقیماً به تاسیسات برگردانده می‌شود تا به سیستم سوخت گازی (Fuel Gas) پالایشگاه تزریق شوند. از آنجا که مایع عملیاتی درون کمپرسور بیشتر گرمای ناشی از تراکم را جذب می‌کند، افزایش دمای گاز بازیابی شده در حین تراکم (Compression) به حداقل خود می‌رسد. بنابراین، این کمپرسورها نیازی به کولرهای خنک کننده گاز (Gas After-Cooler) ندارند. در عین حال جداکننده سه‌فازی مایعات هیدروکربنی میعان یافته را از سیال عملیاتی کمپرسور جدا می‌کنند؛ بنابراین مایعات هیدروکربنی نیز می‌توانند جهت فراورش بیشتر یا تزریق به خوراک ورودی به یکی از واحدها استفاده شوند.

پس از جداسازی مایع عملیاتی کمپرسور از مایعات و گازهای هیدروکربنی، مایع مزبور از جداکننده خارج شده و درون یک مبدل حرارتی خنک می‌شود. با توجه به محدودیت مقدار آب خنک کننده موجود در پالایشگاه، مهندسین از مبدل خنک کننده‌ای از نوع تبخیری (Evaporative Cooler) استفاده کردند. هنگامی که مایع عملیاتی خنک می‌شود، به کمپرسور برگردانده می‌شود که دوباره به عنوان Seal کمپرسور استفاده می‌شود. با توجه به طراحی خاص انجام‌شده سیستم نیازی به استفاده از پمپ تقویت کننده (Booster Pump) برای ارسال این مایع از جداکننده به کمپرسور ندارد.

برای حفظ کیفیت سیال عملیاتی، حتی در حضور گازهای ترش، مهندسین از سیستم خاصی جهت تخلیه مایع قدیمی (Liquid-Bleed) و تزریق مایع جدید (Make-up) استفاده کردند تا بتوانند به طور دائم کیفیت مایع در حال گردش را ممیزی نموده و در صورت نیاز کیفیت آن را تنظیم کنند. سیستم جدید بازیابی گازهای فلر از جریان دائم از مایع عملیاتی تازه (Fresh Operating Liquid) استفاده می‌کند تا از انباشت اسید و آلوده شدن مایع عملیاتی جلوگیری کند.



شکل ۳: نوعی سیستم بازیافت گاز فلر