



انتخاب تکنولوژی بازیافت گازهای پالایشگاه های گاز با در نظر گرفتن شرایط

دینامیک عملیات

ابوالقاسم نوبختی^۱، صدیق رئیسی^{۲*}، رویا سلطانی^۳، کاوه خلیلی دامغانی^۴

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، دانشکده مهندسی صنایع، تهران، ایران

۱- دانشجوی دکتری رشته مهندسی صنایع

۲- عهده دار مکاتبات، دانشیار دانشکده مهندسی صنایع و مرکز تحقیقات مدل سازی و بهینه سازی در علوم و مهندسی

۳- استادیار دانشگاه خاتم، دپارتمان مهندسی صنایع، تهران، ایران

۴- دانشیار دانشکده مهندسی صنایع

۲۸-۹-۱۳۹۹: تاریخ پذیرش ۸-۹-۱۳۹۹: تاریخ دریافت

چکیده: سوزاندن گازهای نامرغوب در پالایشگاه ها سبب آلودگی زیست محیطی با ترکیبات نیتروژن و گوگرد و گازهای گلخانه ای و هیدروکربن های نسوخته می شود و با تلفات انرژی حرارتی همراه است. حفظ محیط زیست و تعهد به پیمان های جهانی سبب شده است تا انتخاب یکی از دو تکنولوژی رایج هدف تحقیق حاضر شود تا گزینه ای معرفی شود که با کمترین از کارافتادگی، سبب بیشینه حفاظت از محیط زیست شود. چالش اصلی در انجام این تحقیق وابستگی از کارافتادگی گزینه ها به شرایط عملیاتی فشار و درجه حرارت و نبود اطلاعات تجربی ناشی از عدم تجربه عملی به کارگیری آنها است. برای این منظور، از روش آنالیز درخت خطا برای تعیین سناریوهای از کارافتادگی هر گزینه در حالت های مختلف استفاده شده و با بهره گیری از روش استنتاج فازی احتمال عدم از کارافتادگی هر تکنولوژی محاسبه شده است. همچنین این پژوهش حدود استاندارد را برای مقادیر فشار و دما مشخص می کند که به مهندسیین طراح این امکان را می دهد تا تصمیمی در مورد طراحی مجدد یا تحت کنترل درآوردن فشار و دما اتخاذ کنند. اطلاعات مورد نیاز این پژوهش از یکی از پالایشگاه های جنوب کشور استخراج شده است. نتایج نشان داد که گزینه سیستم سیل درام به طور متوسط ۸ درصد نسبت به سیستم شیر سریع مناسب تر عمل می کند و می تواند تحت سناریوهای بحرانی فشار و دما بعتر عمل کند و به عنوان گزینه برتر برای فلرینگ معرفی شده است.

واژه های کلیدی: انتخاب تکنولوژی، بازیابی گاز فلر، مخاطرات زیست محیطی، درخت خطا، استنتاج فازی

۱. مقدمه

پالایشگاه های گاز به عنوان یکی از تولیدکنندگان عمده در طی فرآیندهای پالایش مقدار زیادی گاز و مواد سوختی بدون استفاده، مستقیماً و از طریق فلر وارد اتمسفر می شود. انتخاب یک سیستم مناسب و دارای عملکرد و قابلیت اطمینان بالا برای سیستم فلرینگ و بازیافت گاز بسیار ضروری می باشد، به طوری که بتواند هم هزینه و هم ریسک سیستم را کاهش دهد. در صورتی که کشوری قرارداد آب و هوایی پاریس را امضا کرده باشد، برای اینکه بتواند مشارکت تعیین شده جهانی خود (NDC) را برآورده سازد، می بایست سیاست های اتخاذ کند تا در کاهش آزاد سازی گازهای گلخانه ای مشارکت لازم را داشته باشد و کاهش فلرینگ تاثیر بسیار موثری روی میزان NDC میگذارد. بدین منظور، دولت ها مقداری از بودجه خود را به این امر اختصاص میدهند که پالایشگاه هایی که بخش تصفیه ی گاز فلر (FGRU) ندارند را به آن مجهز کنند.

فلر جهت سوزاندن گاز های قابل احتراق که عمدتاً شامل هیدروکربن ها و گاز های آلوده ناشی از عملیات هستند، استفاده می شود با وقوع احتراق هیدروکربن های گازی در نتیجه واکنش با اکسیژن اتمسفر، تشکیل دی اکسید کربن و آب می دهند. شعله های گاز فلر به دلیل نوع سوختن آزاد آن می تواند به بین ۸ تا ۱۰ متر و دمای شعله ی حدود ۲۰۰۰ کلوین، برسد.

با توجه به توجهات اقتصادی، به کمک طراحی یک سیستم فشرده سازی گاز، می توان میزان فلرینگ پالایشگاه را به صورت چشمگیری کاهش داد. گازهایی که تاکنون سوزانده می شدند، بعنوان خوراک به سیستم های دیگر فرستاده می شوند. چنین سیستمی را به اصطلاح بازیابی گازهای ارسالی به فلر می نامند. از جمله مزایای این سیستم کاهش هزینه سوخت مصرفی، کاهش شعله آشکار، کاهش مصرف و هزینه تاسیسات مرتبط با سیستم فلرینگ، کاهش نور، صوت، بوی حاصل از عملیات فلرینگ، کاهش مصرف بخار، کاهش مصرف گاز پرچ، افزایش طول عمر نوک آتشخان فلر و همچنین بهره وری انرژی اشاره کرد.

پژوهش های متنوعی در حوزه ارزیابی روش های مختلف بازیافت گاز فلر، مقایسه سیستم های فلرینگ و ارزیابی عملکرد این سیستم ها بر اساس متدولوژی های مختلف انجام شده است که در ادامه به برخی از آنها اشاره خواهد شد.

در پژوهشی بهرامپور و همکاران (۱) به مدلسازی و ارزیابی اقتصادی بازیافت گاز فلر پرداختند. در این تحقیق، یک سیستم بازیابی گاز فلر که دارای عملکرد قابل قبول فنی و توجیه پذیری بالای اقتصادی می باشد، توسعه داده شد. کازرونی و همکاران (۲) در پژوهشی به بررسی چگونگی بازیابی گازهای ارسالی به فلر در یک پالایشگاه گاز و گاز مایع بر اساس مفهوم اکسرژی می پردازند. در این مطالعه روشهای مختلف بازیابی گازهای ارسالی به فلر در پالایشگاه گاز و گاز مایع شرکت نفت فلات قاره ایران از دیدگاه اکسرژی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان میدهد که تولید همزمان برق و گرما بوسیله گازهای ارسالی به فلر بیشترین اثر در صرفه جویی در مصرف گاز و کاهش تلفات اکسرژی را دارا میباشد.

داودی و همکاران (۳) شبکه های فلرینگ در پنج کارخانه پردازش گاز پارس جنوبی را مورد ارزیابی قرار داده و حداکثر بارهای فلرینگ برای این پالایشگاه ها را محاسبه نمودند.

فاول و همکاران (۴) در پژوهشی با عنوان گاز فلر و آلودگی مربوطه، مروری با تاکید بر کربن سیاه، به بررسی آلودگی های ناشی از گاز فلر در مقیاس های محلی، منطقه ای و جهانی پرداخته اند.

زاداکبر، وطنی و کریم پور (۵) در مقاله ای با عنوان بازیابی گاز فلر در پالایشگاه های نفت و گاز، به بررسی روش هایی برای رسیدن به فلر صفر در چندین پالایشگاه در ایران پرداخته اند. برای تحقق این مساله بررسی جامعی از فرآیندها در پالایشگاه ها مخصوصاً واحد هایی که فلر تولید می کنند، مانیتورینگ جامع جریان و ترکیب گاز فلر، بازرسی سیستم های فلر موجود و سیستم های جایگزین برای استفاده مجدد گازهای فلر در یازده پالایشگاه صورت گرفته است.

امام (۶) در مقاله ای با عنوان مروری بر گاز فلر در صنعت، به بررسی گاز فلر در صنعت و ترکیبات آن، تاثیرات زیست محیطی آن و روش های اندازه گیری فلر و راه های کاهش آن با بررسی سیستم های بازیابی فلر مختلف و در نهایت تکنولوژی های خاص اندازه گیری آلاینده های

فلرینگ گاز پرداخته است. وطنی و همکاران (۷) در پژوهشی با عنوان آنالیز ریسک شرایط خاموشی یا سوختن ناقص فلر در یک مجموعه پالایش گاز، به بررسی پیامدهای خاموشی یا سوختن ناقص فلر در یک پالایشگاه در خانگیران پرداخته اند و برای بررسی قابلیت اطمینان فلر از مدلسازی توزیع فلر در شرایط معمولی و شرایط جوی نامساعد استفاده شده است.

حق پرست و همکاران (۸) در پژوهشی به امکان سنجی سیستم طراحی و بازیابی گازهای ارسالی به فلر پالایشگاه چهارم مجتمع گاز پارس جنوبی (عسلویه) پرداختند. در این پژوهش برای مقابله با هدر رفتن گازهای ارسالی به فلر سناریوهای مختلف پیشنهاد شد تا به نحوی استفاده بهینه به عمل آید. برای این کار ابتدا به طراحی لاین های شبکه فلر از جمله Header و لاین های مرتبط با آن تا GTG پالایشگاه پرداخته و سپس به بحث بازیابی گازهای فلر و تبدیل آن به انرژی برق از طریق مقایسه با چند روش مشابه پرداختند.

گوگل و همکاران (۹) در پژوهشی به مدیریت پسماند گازی ارسالی به فلر در پالایشگاه گاز شهید هاشمی نژاد پرداختند. در این تحقیق براساس دانش عملیات و بهره برداری همچنین با تبعیت از سلسله مراتب علم مدیریت پسماند به بررسی امکان بازیافت گازهای ارسالی به فلر پالایشگاه گاز شهید هاشمی نژاد پرداخته شده است. از جمله نتایج این پژوهش امکان بازیافت ۶۰۰۰۰ مترمکعب گازهای اسیدی هنگام خاموشی یکی از واحدهای گوگرد و ۷۰۰۰ مترمکعب گازهای ارسالی به فلر در شرایط عملیات نرمال پالایشگاه با پتانسیل اقتصادی مطلوب بوده است.

برازاده و ستاری (۱۰) در پژوهشی به بررسی کاهش تلفات ناشی از سوزاندن گازهای فلر در پالایشگاه های گاز پرداختند. آنها در این پژوهش به معرفی استفاده از سیستم های حفاظتی با قابلیت اطمینان بالا (HIPS) پرداخته و در پایان نیز یک مطالعه موردی روی میزان واحد تثبیت میعانات گازی فاز ۹ و ۱۰ عسلویه با در نظر گرفتن این سیستم انجام دادند. علاوه بر معرفی این سیستم، در این پژوهش با رویکرد قابلیت اطمینان و به منظور کاهش میزان گاز فلر شده، روشی کاربردی برای انتخاب افزودنی مناسب برای دستیابی به سطح قابلیت اطمینان بالا و ترکیب مناسب برای سیستم HIPS معرفی گردید. این طرح نه تنها موجب افزایش قابلیت اطمینان سیستم شده بلکه از هدر رفتن حجم قابل توجهی از هیدروکربن ها که جهت تصفیه آنها مراحل متعدد و پیچیده ای طی شده و یک منبع غنی کربن و انرژی به شمار می رود، جلوگیری می کند. علاوه بر این یا اجرای این سیستم پیشنهاد شده، شبکه فلر کوچکتر شده، اندازه خطوط و تجهیزات کاهش یافته و همچنین شعله حاصل از سوختن مواد تخلیه کوتاهتر شده است.

بروان و لونیس (۱۱) در پژوهشی با عنوان ارزیابی امنیت سیستم های فلر با تحلیل درخت خطا، چندین مشخصه عملکردی با استفاده از درخت خطا بدست آورده اند و سپس این مشخصه های عملکردی با استفاده از روش های آماری امنیت و قابلیت اطمینان سیستم استفاده شده اند. در این پژوهش یک واحد LNG در الجزیره مورد مطالعه قرار گرفته است.

پی یانگ و همکاران (۱۲) در پژوهشی یک رویکرد جدید برای طراحی یک سیستم شبکه فلرینگ را ارائه می دهند که با استفاده از تجزیه و تحلیل شبیه سازی پویا، امکان سنجی اقتصادی و ایمنی را تضمین می کند. از آنجا که سیستم شبکه فرایند اصلی و فلرینگ به صورت پویا شبیه سازی شده بود، اثرات فشار، دما و تغییرات سطح مایع در باز شدن شیر ایمنی فشار (PSV) مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت اندازه PSV ها، خطوط شعبه و هدرهای اصلی برای به حداقل رساندن هزینه های کل سرمایه و اطمینان از ایمنی سیستم شبکه فلرینگ بهینه شده اند. این روش می تواند برای کلیه سیستم شبکه فلرینگ موجود و تازه طراحی شده به منظور افزایش ایمنی و کاهش هزینه های سرمایه اعمال شود. کبیر و همکاران (۱۳) قابلیت اطمینان دینامیکی سیستم های فلرینگ را با ترکیب تجزیه و تحلیل درخت خطا و شبکه های بیسی مورد ارزیابی قرار دادند. در این مطالعه، ۴۰ ترکیب مختلف از رویدادهای اصلی که می تواند باعث شعله ور شدن فلرینگ شود، برای تعیین واقعه با بیشترین تأثیر در خرابی سیستم تجزیه و تحلیل شده است. در تجزیه و تحلیل کمی از هر دو میزان شکست ثابت و وابسته به زمان اجزای سیستم استفاده شده است. نتایج نشان می دهد که ترکیب این دو رویکرد می تواند به بهبود ایمنی و قابلیت اطمینان فرآیندهای فلرینگ کمک کند.

ستینکایا (۱۴) در پایان نامه ی ارشد خود با عنوان تحلیل قابلیت اطمینان سیستم های کنترل و جمع آوری اطلاعات استفاده شده در صنایع نفت و گاز فراساحلی، به بررسی روش های ارزیابی قابلیت اطمینان این سیستم ها و روش های اندازه گیری و پارامتر های مهم پرداخته است

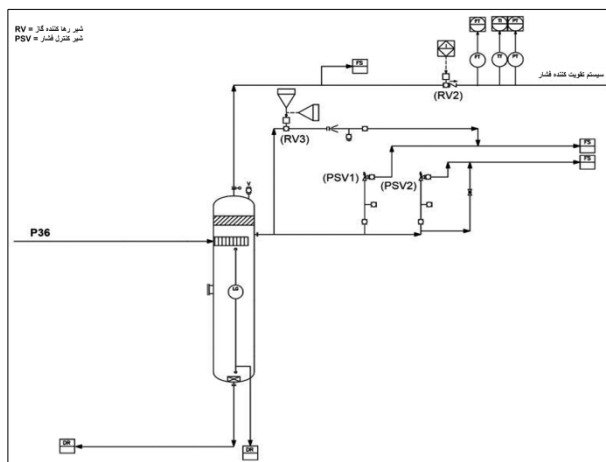
که می توان از آنها برای اندازه گیری قابلیت اطمینان سیستم های فلر نیز استفاده کرد. روش هایی که وی در این پژوهش از آن استفاده کرده روش درخت خطا و روش نظریه قابلیت اطمینان می باشد.

در این پژوهش قصد داریم تا دو سیستم متفاوت فلرینگ پالایشگاهی را مورد مطالعه قرار دهیم و از لحاظ میزان قابلیت اطمینان مورد مقایسه قرار دهیم.

۲. تشریح دو سیستم

۲-۱- سیستم واتر سیل درام

این سیستم شامل شبکه مخازن و سیستم کنترلی و ایمنی می باشد. گاز های خروجی قبل از انتقال به فلر می باید از داخل این مخازن که دارای ارتفاعی از آب یا مخلوط آب و گلایکول می باشد عبور داده شود. عبور گاز از داخل مخزن باعث جداسازی مایعات گازی سنگین از گاز های عبوری به فلر می شود که از پایین مخزن تخلیه می شود. عبور گاز از داخل مخزن دارای ارتفاع مقدار مشخص آب موجب جلوگیری از بروز پدیده ای به نام فشار منفی (Back Pressure) به مفهوم جلوگیری از ورود گاز یا هوا به داخل سیستم می شود. ارتفاع آب داخل مخزن به صورتی تنظیم می شود که گاز عبوری به طرف مشعل دارای فشار مثبت باشد و از پدیده فشار منفی جلوگیری کند. فشار آب داخل مخزن برای بدست آوردن فشار مثبت بین ۷۰ تا ۱۵۰ سانتیمتر تنظیم می شود. نکته بسیار مهم این است که ارتفاع آب داخل مخزن و یا به عبارت دیگر فشار ستون آب می باید به نحوی محاسبه و تنظیم شود که کل گاز ورودی به مخزن ظرف مدت مشخصی که بسیار هم کم می باشد تخلیه شود. سیستم سیل درام با توجه به حجم مخازن، نسبتاً حجیم بوده و به فضای بیشتری نیاز دارد اما تعمیرات این سیستم ساده تر و قابل حصول تر و زمان کمتر می باشد. شکل ۱ نمایی از این سیستم را نمایش می دهد.

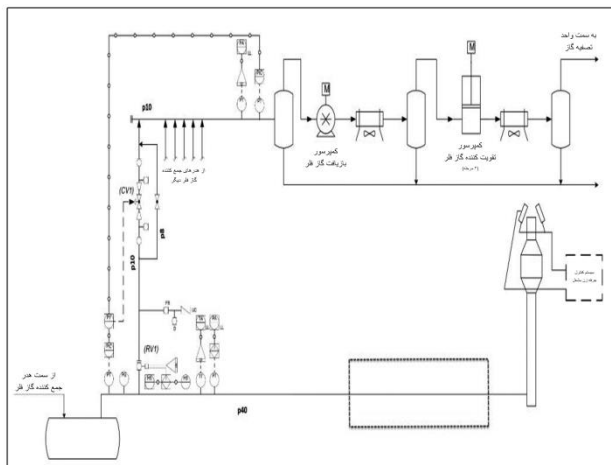


شکل ۱. نمایی از سیستم واتر سیل درام

۲-۲- سیستم شیر سریع

این سیستم که به صورت شبکه ای از شیرهای مختلف همراه با لوازم کنترلی می باشد در مسیر خط اصلی گاز های زائد پالایشگاه به سمت فلر قرار می گیرد. با توجه به اینکه اندازه این شیرها همراه با متعلقات مورد نیاز از قبیل عمل کننده آن (Actuator) برای کار در بدترین شرایط طراحی می شود، یعنی بیشترین حجم گاز های زائد، به صورتی که در شرایط اضطراری بتواند کل گاز را از

خود عبور و ظرف مدت مشخصی به فلر بفرستد، دارای حجمی بزرگ می باشد. عملکرد این سیستم در حالت عادی (Fail to Open) یعنی بسته می باشد و در شرایط اضطراری می باید ظرف مدت مشخصی باز و گاز خروجی را به فلر بفرستد. تعمیرات این سیستم سختتر و زمان آن نیز بیشتر می باشد. در شکل ۲، نمایی از سیستم شیر سریع نمایش داده شده است.



شکل ۱. نمایی از سیستم شیر سریع

قابلیت اطمینان به عنوان یک فاکتور تصمیم مناسب برای نشان دادن توانایی هر سیستم برای جلوگیری از آسیب انتخاب شده است. گرچه، این واقعیت که قابلیت اطمینان با تغییرات زمان، دما و فشار تغییر میکند را نمیتوان نادیده گرفت. با بررسی تغییرات قابلیت اطمینان تحت تاثیر این فاکتورها مقایسه انجام شده جامع تر و معتبرتر خواهد بود. سوال اینجاست که داده‌ها برای استفاده در محاسبات به چه صورت باید جمع آوری شوند و از چه تکنیکی میتوان برای انجام چنین محاسباتی استفاده کرد.

۳. روش شناسی پژوهش

نیاز این پروژه آن است که مقادیر احتمالات عددی برحسب تمام ترکیبات سطوح فاکتورهای تاثیرگذار برای وقایع پایه‌ای درخت خطا فراهم باشند تا با هر ترکیب دلخواه از سطوح فاکتورها یک احتمال برای وقایع کلی بدست آید. قدم اول ترسیم درخت خطا است. برای دستیابی به مقادیر احتمالی گفته شده برای جایگذاری در درخت خطا باید از تکنیک سیستم استنتاج فازی استفاده کنیم. بنابراین قدم دوم تشکیل بلاک‌های محاسباتی سیستم استنتاج فازی است. قدم نهایی قدمی است که سیستم استنتاج فازی را به درخت خطا ارتباط میدهد.

۴. ترسیم آنالیز درخت خطا (FTA)

قدم اول در پروسه پیشنهادی ترسیم درخت خطا است. درخت خطا روشی است گرافیکی برای نمایش وقایع بحرانی که موجب وقوع یک حادثه میشوند که به آن top-event گفته میشود. درخت خطا ابزاری است که قادر به انجام آنالیزهای کمی و کیفی برای سیستم تحت مطالعه است. با استفاده از قوانین احتمال و جبر بول میتوان این روابط گرافیکی را به صورت فرمول‌های ریاضی به نمایش درآورد. پس از رسم درخت خطا، امکان‌پذیری‌های بدست آمده از پرسشنامه‌ها که توسط خبرگان پالایشگاهی پر شده را توسط روش استنتاج فازی، که در بخش بعدی توضیح داده خواهد شد، به مقادیر احتمالی تبدیل خواهند شد و در فرمول مرتبط با FTA جایگذاری میشوند تا احتمال Top-event بدست آید.

ترسیم FTA باید به شیوه خاصی انجام شود تا بتواند شکست های سیستم را توصیف کند. در سیستم های ساده تر روابط قطعات و زیرسیستم ها با کل سیستم شناسایی شده و سپس درخت خطا شاخه بندی میشود اما از آنجایی که سیستم های مورد مطالعه در این پژوهش، به شرایط مختلف واکنش نشان میدهند تا از شکست جلوگیری کنند، دارای طبیعتی دینامیکی هستند و باید درخت خطایی برایشان ترسیم شود که این حالت دینامیکی را در برگیرد تا بتوانیم شکست ها را مدل کنیم. این بدان معناست که برای مدل کردن این حالت دینامیکی سیستم، باید درخت خطا را بر حسب سناریوهای خطرناک ترسیم کنیم تا امکان تعریف شکست برایمان فراهم شود. شکست زمانی رخ میدهد که هر سه واقعه زیر رخ دهند:

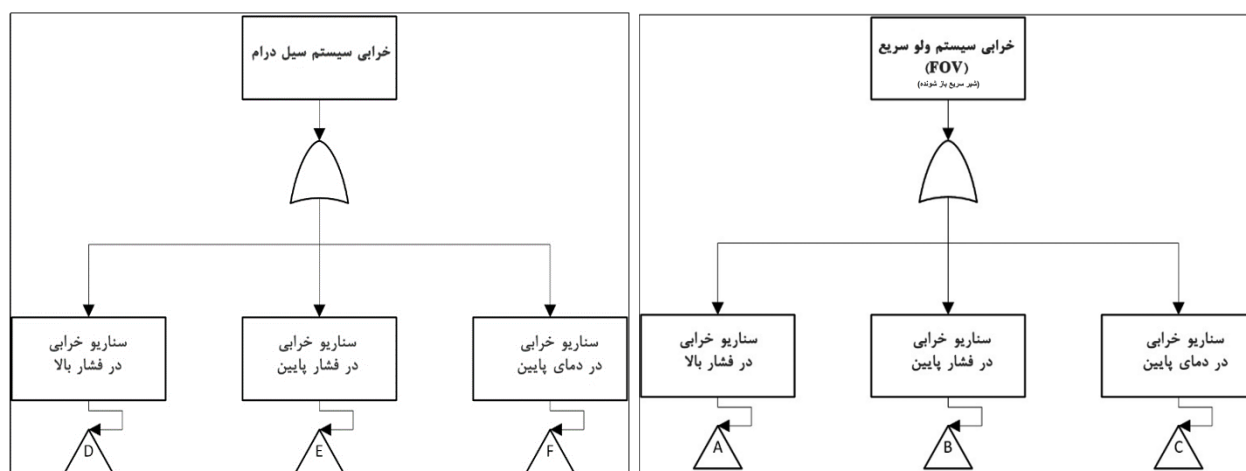
(الف) رخ دادن یک سناریوی بحرانی.

(ب) شکست سیستم اتوماتیک که همان عدم عملکرد ولوها میباشد (عدم پاسخ مناسب سیستم در مقابل سناریوی بحرانی)

(ج) آسیب دیدن قطعه

درخت خطا برای هر دو سیستم، برحسب تعریفی که از شکست ارائه شد ترسیم شده است. ابتدا در اشکال ۳ و ۴ سطوح اول درخت خطا ارائه شده که بیان میدارد شکست تحت یکی از سناریوهای بحرانی اتفاق میافتد. این سطح مربوط به قسمت الف از تعریف شکست است.

در سطح بعدی شکست های هر یک از سناریوها تشریح شده اند.



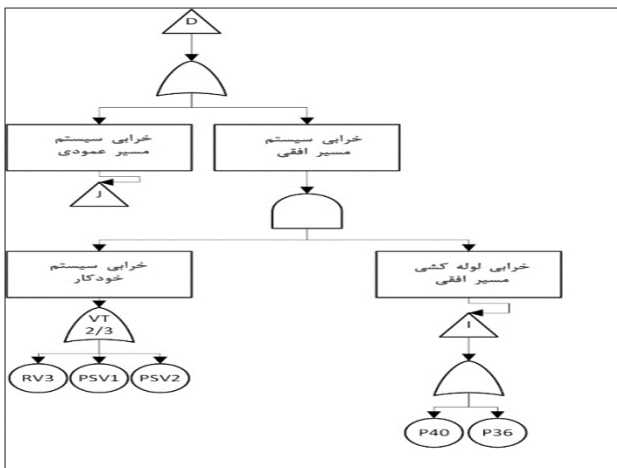
شکل ۴. سناریوهای بحرانی برای سیستم سیل درام

شکل ۳. سناریوهای بحرانی برای سیستم ولو سریع بازشونده

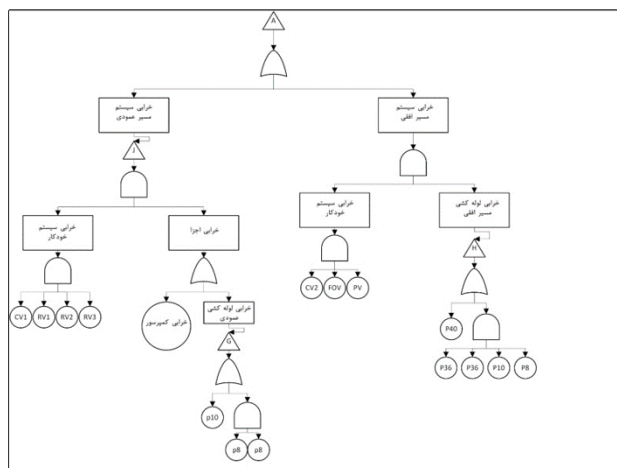
۴-۱- سناریوی فشار بالا

فشار بالای گاز در ورودی سیستم میتواند به کمپرسور آسیب برساند یا به ترکیبگی لوله ها منجر شود. ۳ سطح مختلف برای فشار توسط مهندسین طراح در نظر گرفته شده است. فشار بالا (H)، فشار بسیار بالا (HH) و فشار بیشتر از حد ($>HH$). اگر فشار به سطح سوم برسد به احتمال بسیار زیادی منجر به آسیب خواهد شد.

بنابر این هدف پاسخ به این سناریو جلوگیری از آسیب ناشی از سطح سوم فشار است. در این حالت باید مسیر عمودی بسته شود تا به کمپرسور آسیبی نرسد و ظرفیت بیشتری از مسیر افقی باید باز شود تا گاز اضافی تخلیه گردد. شکل های ۵ و ۶، سناریوهای شکست سیستم ها را در حالت فشار زیاد نمایش می دهند.



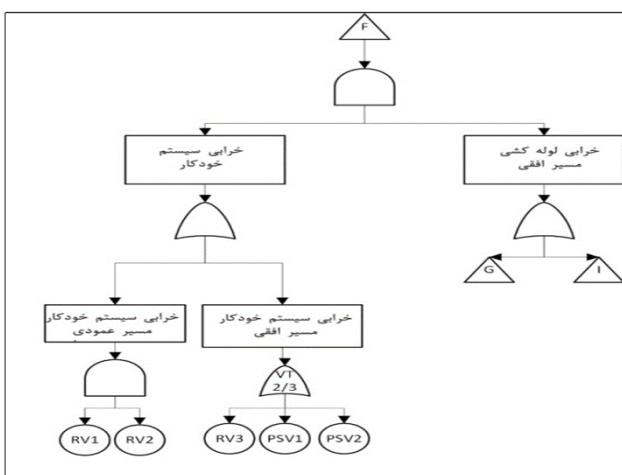
شکل ۶. شکست سیستم سیل درام در حالت فشار زیاد



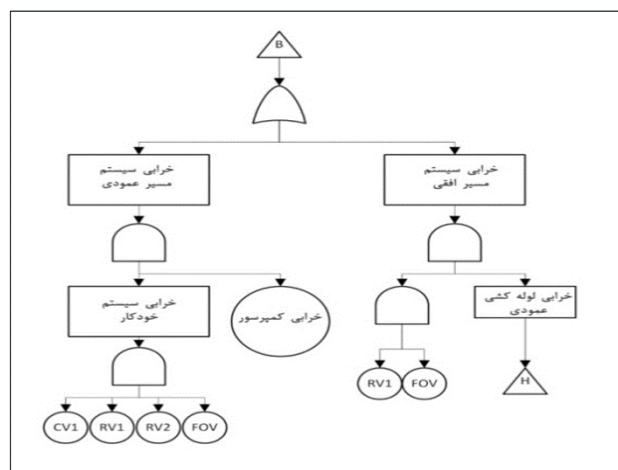
شکل ۵. شکست سیستم ولو سریع باز شونده در حالت فشار زیاد

۴-۲- سناریوی فشار کم

سطح خطرناکی از فشار کم وجود دارد (LL) که میتواند در قسمت افقی، باعث back pressure از برج فلر شده که باعث ترکیبگی لوله هایی میشود که گاز را به سمت برج فلر هدایت میکنند و قطع شدن این مسیر به شکست سیستم منجر میشود. اما آسیب دیگری نیز به دلیل فشار کم رخ میدهد و آن آسیب به کمپرسو است، زیرا فشار کم آنرا تحت تنش بسیار زیادی قرار میدهد و به احتمال بسیار زیاد منجر آسیب دیدگی آن میشود. در صورتی که فشار گاز ورودی به سیستم به این سطح برسد، پاسخ مناسبی باید از طرف سیستم اعمال شود. در این حالت با بستن مسیر عمودی از ورود فشار پایین به کمپرسور جلوگیری شده و گاز بیشتری به مسیر افقی وارد میشود تا از back pressure جلوگیری شود. شکل های ۷ و ۸، سناریوهای شکست سیستم ها را در حالت فشار کم نمایش می دهند.



شکل ۸. شکست سیستم سیل درام در حالت فشار کم

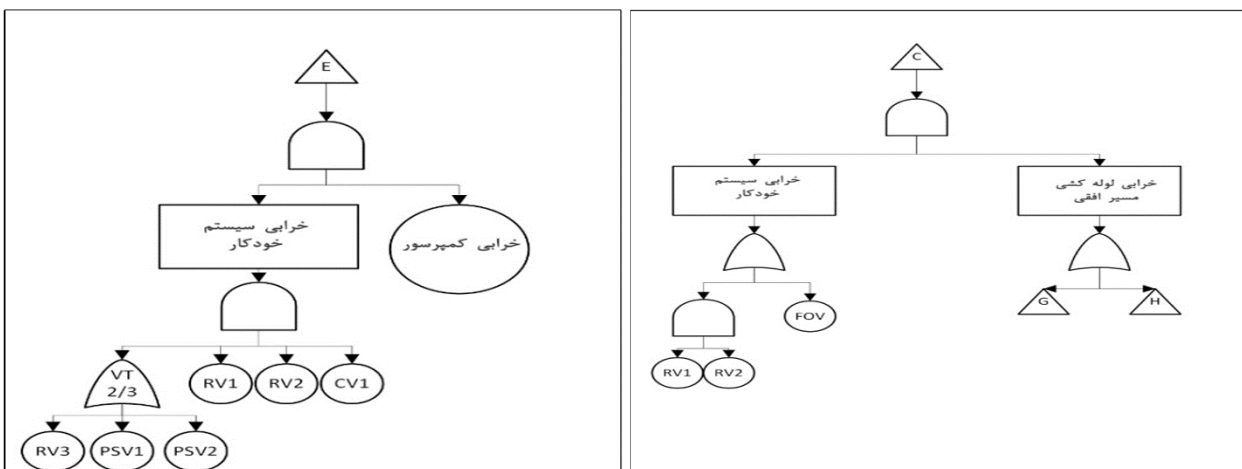


شکل ۷. شکست سیستم ولو سریع بازشونده در حالت فشار کم

۴-۳- سناریوی دمای پایین

سطح پایینی از دمای گاز وجود دارد که میتواند برای سیستم مشکل ساز شود. یخ زدگی لوله‌ها میتواند بالانس سیستم را به هم زده و گاز اضافی یا کمتری به سمت یکی از بخش‌ها هدایت کند. همچنین احتمال ترکیدگی لوله‌ها به دلیل تغییر قطر لوله‌ها و افزایش فشار ناشی از آن افزایش خواهد یافت. در این حالت باید ولوها به گونه‌ای باز و بسته شوند که گاز را به گونه‌ای هدایت کنند که یخ‌زدگی باعث ترکیدگی لوله‌ها نشود.

شکل‌های ۹ و ۱۰، سناریوهای شکست سیستم‌ها را در حالت دمای کم نمایش می‌دهند.

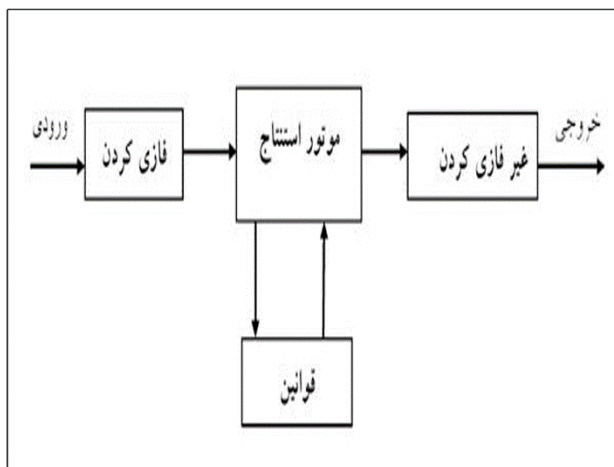


شکل ۱۰. شکست سیستم سیل درام در حالت دمای کم

شکل ۹. شکست سیستم ولو سریع بازشونده در حالت دمای کم

۵. تشکیل سیستم استنتاج فازی

قدم دوم تشکیل سیستم استنتاج فازی است. دلیل استفاده از این تکنیک این است که همانطور که گفتیم لازم است بررسی قابلیت اطمینان بر حسب تغییرات همزمان سطوح فاکتورهای تاثیرگذار صورت گیرد؛ بنابراین داده‌های بیانی که جمع‌آوری می‌کنیم بر حسب تمام ترکیبات سطوح فاکتورهای تاثیرگذار خواهد بود. یعنی وقتی فاکتورهای تاثیرگذار زمان، فشار و دما هستند و هر کدام دارای سه سطح کم و متوسط و زیاد می‌باشند، ۲۷ ترکیب از سطوح آنها بوجود می‌آید که برای هر کدام از آنها باید یک برچسب فازی توسط متخصصین تعیین شود که نمایانگر امکان‌پذیری شکست قطعه مربوطه در آن ترکیب می‌باشد. برای مثال اگر متخصصی درخانه‌ای برچسب فازی زیاد را در نظر گرفته باشد، این مقدار ممکن است مربوط به زمان با سطح زیاد و فشار با سطح کم و دما با سطح متوسط باشد. این بدین مفهوم است که با یک داده ۴ بعدی سروکار داریم که سه ورودی (فاکتورهای تاثیرگذار) و یک خروجی (امکان‌پذیری) دارد. در مقالات قبلی داده‌ها به صورت یک بعدی جمع‌آوری شده بودند به این مفهوم که امکان‌پذیری شکست در یک بازه زمانی مشخص بیان شده بود. سیستم استنتاج فازی این امکان را خواهد داد تا داده‌هایی با تعداد ورودی و خروجی دلخواه را عددی کنیم. ساختار سیستم استنتاج فازی را در شکل ۱۱ مشاهده می‌کنید.



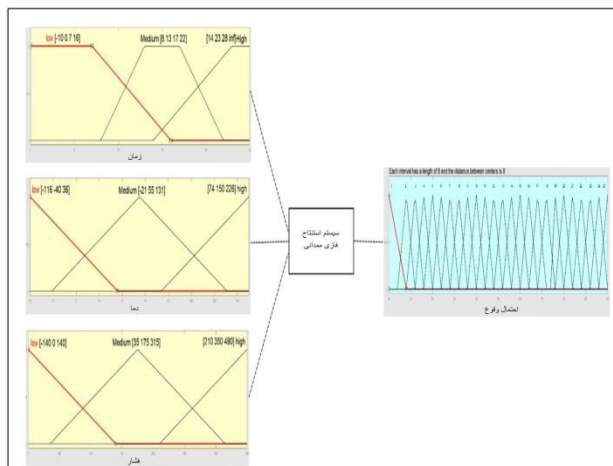
شکل ۱۱. بلاک های عملکردی سیستم استنتاج فازی

پس از تعیین ورودی ها و خروجی ها، می بایست بازه تغییرات هر کدام مشخص شود. سپس تعداد برچسب های فازی (که همان سطوح بیانی هستند برای مثال متوسط و کم و زیاد) برای هر متغیر مشخص می گردد. توابع عضویت برچسب های فازی که شکل تابع و میزان گستردگی تابع بر روی بازه تغییرات متغیر مورد نظر هستند در مرحله بعدی تعیین میشوند. این توابع عضویت در بلاک دیتابیس ذخیره میشوند. مقادیر حاصل از پرسشنامه ها (که برچسب های فازی متغیر خروجی هستند) توسط متخصصین تعیین شده و قوانین فازی را فراهم میکنند که در بلاک قوانین ذخیره میشود. هنگامی که مقادیر خاصی از بازه های تغییرات متغیرهای ورودی را وارد سیستم استنتاج فازی میکنیم، در باکس فازی سازی تعیین میشود که با هر کدام از برچسب های فازی چه میزان مطابقت دارد و فازی میشود. این مقادیر با عبور از باکس تصمیم گیری روی توابع عضویت متغیر خروجی تصویر میشوند و در نهایت در باکس غیرفازی سازی، عددی میشوند و یک خروجی عددی تحویل میدهند.

در صورت تشکیل شدن بلاک های قوانین و دیتابیس، عملاً سیستم استنتاج فازی را تشکیل داده ایم و میتوانیم داده های عددی خود را بر حسب سطوح فاکتورهای تاثیرگذار دریافت کنیم. ۵ نوع لوله و ۱۰ قطعه وجود دارند که شامل ۹ ولو و یک کمپرسور هستند. برای هر کدام از این قطعات (که شکستشان منجر به وقوع یک واقعه پایه ای میشود) باید یک سیستم استنتاج فازی تشکیل شود. نتایج حاصله از این سیستم ها را که برای هر واقعه پایه ای بدست آمده اند، در مرحله نهایی وارد درخت خطا میکنیم.

۵-۱- تشکیل بلاک دیتابیس

برای تشکیل بلاک دیتابیس پس از مشاوره با دپارتمان های مربوطه، فاکتورهای تاثیرگذار که همان متغیرهای ورودی هستند زمان، دما و فشار در نظر گرفته شدند و متغیر خروجی امکان پذیری در نظر گرفته شد. بازه های تغییرات هر کدام از این متغیرها طبق طراحی قطعات سیستم ها تعریف شدند. تعداد برچسب های فازی مورد نیاز برای متغیرهای ورودی سه تایی و برای متغیر خروجی ۲۵ تایی در نظر گرفته شد. شکل و میزان گستردگی این برچسب ها بر روی بازه تغییرات هر متغیر نیز در این مرحله با مشورت دپارتمان های مربوطه تعیین گشتند. بدین ترتیب توابع عضویت متغیرهای ورودی و خروجی ترسیم شدند و بلاک داده ها که در تمام سیستم های فازی مشترک است تشکیل شد. در شکل ۱۲ میتوان گستردگی هر برچسب فازی بر روی بازه تغییرات متغیرها مشاهده کرد.



شکل ۱۲. نمایی از سیستم استنتاج فازی طراحی شده

۵-۲- تشکیل بلاک قوانین

همانطور که در قسمت قبل بیان شد ۱۵ قطعه وجود دارند که با شکستشان باعث رخ دادن وقایع پایه‌ای درخت خطا میشوند. همچنین گفته شد که متغیر خروجی سیستم فازی امکان‌پذیری است. این بدان معنی است که در هر یک از خانه‌های پرسشنامه که نشان‌دهنده ترکیب خاصی از سطوح فاکتورهای تاثیرگذار هستند، باید مقداری بیانی ارائه شود که نشان دهنده امکان‌پذیری شکست قطعه موردنظر در آن ناحیه است. بنابراین برای هر قطعه ۲۷ امکان‌پذیری شکست بدست خواهد آمد. این مقادیر بیانی قوانین سیستم استنتاج فازی را تشکیل خواهند داد که ۳ ورودی را به یک خروجی مرتبط میکنند. ورودی‌ها همان فاکتورهای تاثیرگذار زمان، فشار و دما هستند که به امکان‌پذیری‌ها مرتبط میشوند و در بلاک قوانین ذخیره خواهند شد.

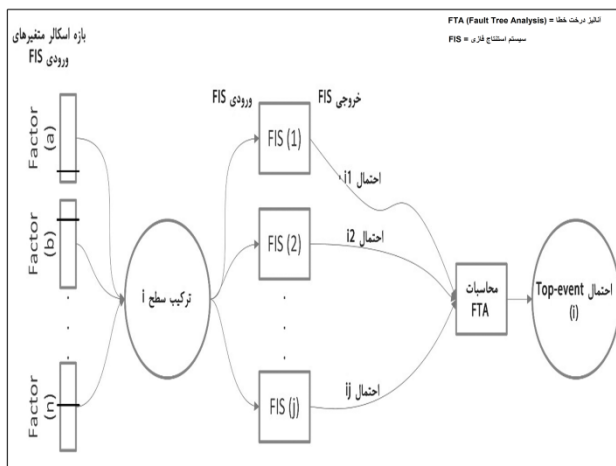
به منظور جمع‌آوری داده‌ها بر حسب تمامی سطوح فاکتورهای تاثیرگذار، یک پرسشنامه مناسب طراحی شد تا داده‌های مورد نیاز را در اختیارمان بگذارد. به دلیل لحاظ شدن تمامی سطوح فاکتورها، ۲۷ ناحیه تولید شده که برای مقایسات انسانی بسیار زیاد است. به منظور کاهش تعداد نواحی و همچنین فراهم کردن یک خط راهنما برای متخصصین این نواحی را با استفاده از یک سیستم ناحیه بندی ریسک آنها را به ۵ ناحیه کاهش دادیم. برای ترکیباتی که قطعات را تحت ریسک بیشتری از نظر عدم عملکرد قرار میدهند سطح ریسک بالاتری در نظر گرفته شده است. هرکدام از این ۵ ناحیه ریسک مجموعه برچسب‌های فازی مناسب خود را دارد که در جدول زیر نمایش داده شده است. تعداد برچسب‌های فازی هر ناحیه ریسک ۵ عدد است که در کل ۲۵ برچسب فازی را برای متغیر خروجی ایجاد میکند که در بخش تشکیل بلاک دیتابیس اشاره شد.

نواحی ریسک	سطح ریسک	برچسب فازی
سبز	خیلی کم	(۵و۱)
آبی	کم	(۱۰و۶)
زرد	متوسط	(۱۵و۱۱)
نارنجی	زیاد	(۲۰و۱۶)
قرمز	خیلی زیاد	(۲۵و۲۱)

جدول ۱. برچسب های فازی که نواحی ریسک را نشان می دهند

۶. اتصال سیستم استنتاج فازی و آنالیز درخت خطا

این مرحله آخرین قدم اصلی در پروسه است که سیستم استنتاج فازی را به درخت خطا مرتبط میکند. در این روش، برای هر واقعه پایه‌ای درخت خطا یک سیستم استنتاج فازی تشکیل شده‌است. ترکیبی دلخواه از بازه تغییرات اسکالر متغیرهای ورودی انتخاب میشود و ترکیب 1 نامگذاری میشود. این ترکیب به عنوان ورودی به تمام سیستم های استنتاج فازی داده شده و هر کدام یک مقدار عددی احتمال برای هر واقعه پایه‌ای تحویل میدهند. این مقادیر عددی وارد فرمول مربوط به درخت خطا میشوند و یک مقدار احتمالی غیر فازی برای top-event ایجاد میکنند که احتمال \bar{z} نامیده خواهد شد. سپس این سطوح تغییر کرده و ترکیب جدیدی بوجود می آورند که خروجی جدیدی را حاصل خواهند کرد و به همین ترتیب پیش میرود تا تعداد مناسبی نقطه برای رسم یک رویه n بعدی ($n-1$: تعداد فاکتور های تاثیر گذار) بدست آید که در محور افقی آن فاکتورهای تاثیرگذار و در محور عمودی آن خروجی مورد نظر (که در اینجا مورد قابلیت اطمینان است) نمایش داده خواهد شد. شکل ۱۳ همین پروسه را نمایش میدهد. این کار توسط جعبه سیستم استنتاج فازی نرم افزار MATLAB انجام شده است.

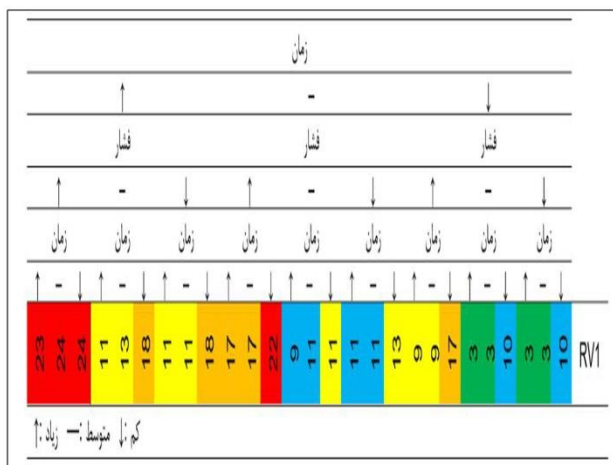


شکل ۱۳. سیستم استنتاج فازی مبتنی بر آنالیز درخت خطا با ز واقعه پایه ای

در این مرحله برای هر قطعه (یا برای هر واقعه پایه‌ای) یک بلاک قوانین بدست آمده است. از آنجاییکه بلاک دیتابیس برای تمام قطعات مشترک بود حال میتوان برای هر واقعه پایه‌ای یک سیستم استنتاج فازی تشکیل داد.

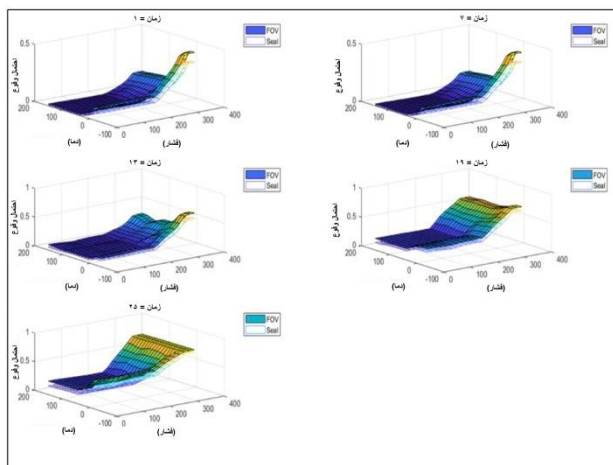
۷. مطالعه کاربردی و یافته ها

در این پژوهش برای جمع آوری اطلاعات از سیستم های فلر موجود در پالایشگاه دوم پارس جنوبی استفاده شده است. برای این منظور یک گروه دوازده تایی از مهندسين با دانش مناسب و مرتبط از بخش‌های مختلف مانند مدیریت، تعمیرات و نگهداری و طراحی انتخاب شدند تا نظرات خود را در مورد امکان پذیری های شکست در پارامترهای مختلف زمان، دما و فشار در اختیارمان بگذارند. از آنجایی که نظرات متفاوتند، نیازمند تجميع آنها هستیم تا برای هر ترکیب از سطوح فاکتورهای تاثیرگذار یک امکان پذیری واحد بدست آید و در نهایت ۲۷ داده بیانی برای هر قطعه داشته باشیم. در همین راستا، یک فاکتور وزنی برای هر مهندس محاسبه شد تا بتوان یک میانگین وزنی از نظراتشان گرفت. نتایج میانگین وزنی نظرات متخصصین برای یکی از قطعات را میتوان در شکل ۱۴ مشاهده نمود.



شکل ۱۴. میانگین وزن دار امکان پذیری شکست حاصل پاسخ ۱۲ متخصص

پس از جمع آوری اطلاعات و تکمیل پرسشنامه توسط خبرگان، سیستم استنتاج فازی برای هر قطعه تشکیل و سپس با استفاده از آنالیز درخت خطای ترسیم شده، رویه پاسخ برای هر دو سیستم در مورد قابلیت اطمینان ترسیم شده است که در شکل ۱۵ مشاهده میکنید. زمان به عنوان بعد چهارم جدا شده است. تاثیر زمان و دو فاکتور تاثیرگذار دیگر روی قابلیت اطمینان را میتوان مشاهده کرد. مزیت این نمودارها آن است که میتوانند تغییرات قابلیت اطمینان را با تغییرات همزمان سطوح فاکتورهای تاثیرگذار نمایش دهند.



شکل ۱۵. رویه پاسخ برای تابع توزیع تجمعی شکست دو سیستم FOV و Seal Drum

۸. بحث

هر نمودار وضعیت سیستم را در مرحله ی خاصی از عمرش نمایش میدهد به این صورت که اگر ترکیب فشار و دما به صورت خاصی باشد در آن سال تحت چه میزان خطری قرار دارد. سال های خاصی برای نمایش نمودار ها انتخاب شده اند که به بهترین صورت تغییرات معنادار را در شکل نشان میدهند.

میتوان در نگاه اول به نمودار ها دریافت که هر دو سیستم به طور مشابه به ترکیبات سطوح فاکتور ها واکنش نشان میدهند، یعنی تغییرات قابلیت اطمینان بر حسب فشار و دما برای هر دو سیستم مشابه است در حالی که مقدار قابلیت اطمینان برای سیستم ها متفاوت است.

۸-۱- یک ناحیه ی صاف در سال ۲۵ ام میتوان دید که احتمال خرابی بسیار پایینی را برای هر دو سیستم نمایش میدهد. احتمال خرابی در آن ناحیه در سال های قبل حتی از آن مقدار نیز پایین تر است. مرز هایی که در این ناحیه میتوان برای فشار و دما مشاهده کرد میتوانند به عنوان استاندارد هایی در نظر گرفته شوند که در صورت تصمیم بر تحت کنترل درآوردن فاکتور ها استفاده شوند. این مرز ها عبارتند از: فشاری کمتر از ۲۰۰ بار و دمایی بیشتر از صفر درجه.

۸-۲- نتیجه گیری گلی در مورد فاکتور ها در صورت مطالعه ی جدگانه ی آنها این است که فشار زیاد و دمای پایین باعث افت قابلیت اطمینان میشوند.

۸-۳- وقتی فاکتور ها به طور همزمان بررسی میشوند، میتوان نتیجه گرفت که قابلیت اطمینان در موارد زیر دچار افت میشود:

۸-۴- افزایش معنادار فشار و کاهش شدید دما (دمایی کمتر از صفر درجه و فشاری بیشتر از ۲۰۰ بار) که زمانی است که سیستم در آسیب پذیر ترین حالت خود قرار دارد.

۸-۵- افت شدید فشار و دما (دمایی کمتر از صفر و فشاری کمتر از ۲۰۰ بار). که زمانی است که کمپرسور در خطر آسیب دیدن به دلیل فشار پایین قرار دارد و لوله ها در معرض آسیب ناشی از back pressure از برج فلر قرار دارند. با استفاده از سیستم سیل درام بهتر مدیریت میشود که منجر به مقادیر بهتر قابلیت اطمینان در نمودار ها شده است.

۸-۶- آخرین ترکیب خطرناک زمانی است که گاز با فشار و دمایی بالا از داخل لوله ها گذر میکند. قابلیت اطمینان در این ترکیب به این دلیل پایین است که دمای بالا گاز با فشار بالا را هرچه بیشتر خطرناک میکند و باید از این سناریو جلوگیری شود.

۸-۷- با گذر زمان، احتمال شکست سه مورد ذکر شده (۱-۴ و ۲-۴ و ۳-۴) در هر دو سیستم بیشتر میشود و قابلیت اطمینان کاهش پیدا میکند. این پدیده ای طبیعی است که به دلیل استهلاک رخ میدهد.

۸-۸- در سال ۲۵م، هر دو سیستم احتمال شکست های بالایی برای دمای پایین صفر درجه دارند که باید اقدامات لازم در این زمینه انجام شود. از آنجایی که این دمای پایین برای هر دو سیستم خطرناک است، میتوان از سیستم های گرمایشی داخل یا بیرون لوله برای این مورد استفاده کرد.

۹. نتیجه گیری

با پیاده سازی متدلوژی مطرح شده، امکان بررسی و آنالیز دو سیستم متداول فلرینگ محقق گردید و استفاده از این سطوح امکان مطالعه جامع گزینه های پیشنهادی را برایمان فراهم کرده اند و میتوان تصمیمی نهایی برای انتخاب یکی از آنها اتخاذ کرد. با توجه به مقدار قابلیت اطمینان که برای سیستم سیل درام همیشه بالاتر است، میتوان آنرا به عنوان گزینه مناسب که مقاومت بیشتری در برابر سناریو های خطرناک فشار و دما از خود نشان میدهد انتخاب کرد.

در صورتی که قابلیت اطمینان سیستم ها از نظر تصمیم گیرنده تفاوت معناداری با یکدیگر نداشته باشند، میتوان فاکتور های تصمیم دیگری نیز مانند هزینه های نصب، تعمیرات و نگهداری، در دسترس پذیری و دیگر فاکتور ها را در نظر گرفت. همچنین میتوان مدل تصمیمی چند معیاره برای آنها گسترش داد که تمام این فاکتور های تصمیم را دربر میگیرد که از طریق آن میتوان تصمیمی نهایی اتخاذ کرد.

مراجع

1. Bahrapour, L., et al. (2015). "Modeling and Economic Evaluation of Flare Gas Recovery Systems." National Conference on Mechanics - Advanced Materials and Technologies.
2. Soheyl Mohebkhodayee , Ferdinando Chiacchio, Yiannis Papadopoulos. "A Novel Approach Based on Stochastic Hybrid Fault Tree to Compare Alternative Flare Gas Recovery Systems. " IEEE Xplore, April 8, 2021.
3. Davoudi, M., A. Aleghafouri and A. Safadoost (2014). "Flaring networks assessment in South Pars Gas processing plant." Journal of Natural Gas Science and Engineering 21: 221-229.
4. Fawole, O. G., et al. (2016). "Gas flaring and resultant air pollution: A review focusing on black carbon." Environmental pollution 216: 182-197.
5. Zadakbar, O., et al. (2011). "Risk analysis of flare flame-out condition in a gas process facility." Oil & Gas Science and Technology- Revue d'IFP Energies nouvelles 66(3): 521-530.

6. Emam, E. A. (2015). "GAS FLARING IN INDUSTRY: AN OVERVIEW." *Petroleum & Coal* 57.(۵)
7. Vatani, A., Zadakbar, O., Abbassi, R., Khan, F., Karimpour, K., Golshani, M., & (2011). Risk analysis of flare flame-out condition in a gas process facility. *Oil & Gas Science and Technology–Revue d'IFP Energies nouvelles*, 66(3), 521-530.
8. Haghparast, Hossein, Samiepour, Mohammad, Esmaeili, Akbar (2013). Feasibility Study of Design and Recovery of Photos Submitted to Flair Fourth South Pars Gas Refinery Company.
9. Amirhossein Khalili-Garakani, Mona Irvaninia, Mahya Nezhadfar. "A review on the potentials of flare gas recovery applications in Iran." *Journal of Cleaner Production*, Volume 279, 10 January 2021.
10. Bararzadeh, Masoumeh, Sattari, sourena. (2012). Reduce abnormal flaring rates using high reliability protection systems. *First Process Engineering Conference in Oil, Gas, Petrochemical and Energy Industries*.
11. Berrouane, M. T., & Lounis, Z. (2016). SAFETY ASSESSMENT OF FLARE SYSTEMS BY FAULT TREE ANALYSIS. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 51(2), 229-234.
12. Jo, Y.-p., Y. Cho and S. Hwang (2020). "Dynamic analysis and optimization of flare network system for topside process of offshore plant." *Process Safety and Environmental Protection* 134: 260-269.
13. Kabir, S., M. Taleb-Berrouane and Y. Papadopoulos (2019). "Dynamic reliability assessment of flare systems by combining fault tree analysis and Bayesian networks." *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*: 1-18.
14. Çetinkaya, E. K. (2001). "Reliability analysis of SCADA Systems used in the offshore oil and gas indu

