

تحلیل پیامد حوادث عمده و تعیین سطح یک پارچگی ایمنی فرایند در واحد آب ترش پالایشگاه گازی با استفاده از روش آنالیز لایه‌های حفاظتی LOPA

احسان‌الله حبیبی^۱، مهرزاد کشاورزی^۲، حسین‌علی یوسفی^۳، اکبر حسن‌زاده^۴

چکیده

مقدمه: توسعه منابع نفت و گاز، مخاطرات جدی فرایندی را به دنبال داشته و این صنایع را در زمره صنایع خطرناک قرار داده است. از این رو، امروزه رویکرد مبتنی بر پیش‌گیری، از طریق شناسایی و ارزیابی خطرهای ناشی از رویش‌های نوینی نظیر روش آنالیز لایه‌های حفاظتی (LOPA یا Layers of protection analysis) مورد استقبال قرار گرفته است. این مطالعه به بررسی و آنالیز پیامد حوادث عمده در واحد احیای آب ترش پالایشگاه‌های گازی پرداخته و کفایت تأثیر لایه‌های حفاظتی موجود در سیستم را بررسی کرده و در مواردی که تمهیدات ایمنی پیش‌بینی شده کافی نبوده است، پیشنهاداتی را در راستای ارتقای سطح ایمنی با استفاده از لایه‌های حفاظتی مستقل (فعال و واکنشی) و غیر مستقل ارائه کرده است.

روش‌ها: این تحقیق مطالعه‌ای توصیفی بود که با استفاده از روش LOPA، پیامدهای ناشی از خطرهای غیر قابل قبول بررسی شد تا وضعیت خطر، پس از اعمال لایه‌های کنترلی و حفاظتی مشخص شود و در نهایت برای نقاط با خطر بالا اقدامات اصلاحی در قالب لایه‌های حفاظتی پیشنهاد و به دنبال آن کد یک پارچگی ایمنی در موارد لازم تعیین شد.

یافته‌ها: بر اساس این مطالعه نقش لایه‌های حفاظتی موجود در کنترل خطرهای احتمالی تعیین و پیشنهادات لازم در قالب لایه‌های حفاظتی بیشتر تا کاهش میزان خطر به حد قابل قبول ارائه شد. همچنین تعیین سطح ایمنی یک پارچه مورد نیاز برخی تجهیزات نیز در موارد لازم انجام گردید.

نتیجه‌گیری: در برخی موارد اثربخشی لایه‌های حفاظتی پیش‌بینی شده کافی نیست و ضروری است تا از لایه‌های حفاظتی بیشتری برای ارتقای پتانسیل پیش‌گیری سیستم‌های ایمنی فرایند استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی خطر، LOPA، SIL، لایه مستقل حفاظتی، واحد احیای آب ترش.

نوع مقاله: تحقیقی

دریافت مقاله: ۸۷/۲/۲

پدیرش مقاله: ۸۸/۵/۲۰

مقدمه
در طول پنجاه سال گذشته، تغییرات قابل توجهی در مواد، فرایندها و نوع فعالیت‌ها در صنایع شیمیایی به خصوص صنایع نفت و گاز صورت گرفته است. پتانسیل و ذخایر گسترده نفت و گاز در ایران و صرفه اقتصادی قابل توجه در این بخش، ضرورت اولویت بخشی و سرمایه‌گذاری هر چه بیشتر در این

۱. دانشیار، عضو هیأت علمی، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران. (نویسنده مسؤول)
Email: habibi@hlth.mui.ac.ir

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران.

۳. مربی، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران.

۴. مربی مرکز تحقیقات امنیت غذایی، گروه آمار و اپیدمیولوژی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران.

بسته به نوع و ماهیت، هر یک، پیامدهای متفاوتی را به دنبال خواهند داشت. در این تحقیق مخاطرات موجود که در قبل با استفاده از روش شناسایی و ارزیابی خطر (HAZOP یا Hazard and operability study) مشخص و بر حسب شدت اثر و احتمال بروز و میزان تأثیر بر انسان‌ها، محیط زیست و منابع مادی اولویت‌بندی شده‌اند. به عنوان ورودی مطالعه LOPA (Layers of protection analysis) مورد استفاده قرار می‌گیرند، روشی که طی آن پیامدهای این احتمالات، مورد تجزیه و تحلیل نیمه کمی قرار می‌گیرند. اگر میزان خطر نیمه کمی که به روش LOPA برآورد می‌شود، بیش از حد قابل قبول باشد، بایستی به روش‌های فنی-مهندسی آن‌ها را کاهش داد، که استفاده از لایه‌های حفاظتی مختلف از این جمله است.

روش نیمه کمی آنالیز لایه‌های حفاظتی (LOPA) که برای شناخت و آنالیز لایه‌های حفاظتی به کار می‌رود، اولین بار در یک فرایند شیمیایی در سال ۱۹۹۳ و طی فرایند تدوین مفهوم سطوح یک‌پارچه ایمنی (Safety integrity level یا SIL) برای سیستم‌های ایمنی برقی، الکترونیکی قابل پایه‌ریزی شد (۴).

این روش در سال‌های اخیر به عنوان ابزاری مؤثر در ارزیابی خطرهای فرایندی مورد استفاده قرار گرفته است. روش یاد شده، این امکان را فراهم می‌آورد که در بررسی یک فرایند در مورد کفایت حفاظت‌های ایمنی یا نیاز به لایه‌های بیشتر حفاظتی تصمیم‌گیری شود.

به کمک روش LOPA، کاربر می‌تواند میزان کلی کاهش خطر مورد نیاز و کاهش خطری را که لایه‌های محافظ مختلف فراهم کرده‌اند، تعیین کند. اگر پس از طراحی فرایند اتخاذ تدابیر ایمنی در سیستم مورد مطالعه، نیاز به کاهش بیشتر خطرها مشاهده شد، می‌توان یکی از روش‌های تغییر در سیستم اصلی کنترل فرایند، وسایل اعلام خطر، تشریح وظایف متصدی، نصب شیرهای اضطراری و اطمینان و یا تهیه دستورالعمل‌های نظام‌مند ایمنی را مورد استفاده قرار داد و سپس میزان کلی سطح ایمنی سیستم را در سیستم محاسبه کرد. پیش‌نیاز انجام مطالعه LOPA، مطالعات HAZOP،

صنعت را برای مسؤولان روشن ساخته است؛ به طوری که میدان گازی پارس جنوبی، در منطقه عسلویه با دارا بودن بیش از ۱۴ تریلیون متر مکعب ذخایر گازی (در حدود ۴ درصد از کل ذخایر گاز دنیا) در اولویت‌های طرح‌های توسعه‌ای کشور قرار گرفته است (۱).

از طرفی تعداد پالایشگاه‌ها و محصولات آن‌ها افزایش یافته، به طبع آن تعداد افراد شاغل در این صنایع و جمعیت‌های ساکن در اطراف آن که در معرض خطرات آن‌ها هستند، بیشتر شده است. به طور مثال حادثه سال ۱۹۷۴ کارخانه فلیکسبورو در انگلستان که منجر به کشته شدن ۲۸ نفر و مجروحیت ۲۶ نفر شد (۲). نمونه دیگری از این حوادث شیمیایی در روز سوم دسامبر سال ۱۹۸۴ در بوپال هند به وقوع پیوست. این حادثه منجر به مسمومیت بیش از ۲۵۰۰ نفر و مجروح شدن بیش از ده برابر این رقم شد (۳).

امروزه از روش‌های ارزیابی خطر در صنایع مختلف برای شناسایی، کنترل و کاهش پیامدهای خطرات استفاده می‌شود، که نتایج آن‌ها را می‌توان جهت تصمیم‌گیری مدیریت در خصوص کنترل و کاهش پیامدهای آن به کار برد. هر یک از صنایع، بسته به نیاز خود، می‌تواند از روش‌های مذکور بهره لازم را کسب کند. پس از انجام ارزیابی خطر و اولویت‌بندی آن‌ها نوبت به برنامه‌ریزی در راستای حذف مخاطرات و یا کاهش شدت اثر و احتمال وقوع آن‌ها می‌رسد. در صنایع فرایندی و در فاز طراحی سعی بر پیش‌گیری از مخاطرات بر اساس شناسایی آن‌ها در مرحله طراحی است؛ به طوری که یا از همان ابتدا منشأ خطر حذف می‌شود و یا با اعمال اقدامات کنترلی، اثر مربوط به آن تحت کنترل قرار می‌گیرد.

بررسی عوامل و تشخیص نقاط حادثه‌خیز و خطرآفرین در واحدهای پالایشگاهی به منظور پیش‌گیری از بروز حوادث اهمیت ویژه‌ای دارد. از این رو، ارزیابی خطر و شناسایی و تجزیه و تحلیل خطرات مستتر در آن، انحرافات و نقص‌های احتمالی، که ممکن است ناشی از نقص در طراحی، فرسودگی و یا هر گونه نقص احتمالی در تجهیزات باشد، را تعیین و راه‌کارهای لازم جهت رفع آن‌ها را پیشنهاد می‌کند.

در پالایشگاه‌های گازی، خطرهای متعددی وجود دارد که

در مواقع ذیل مورد استفاده قرار می‌گیرد:

- ۱- در مرحله ایده ذهنی طراحی یک فرایند
- ۲- در مرحله طراحی فرایند، زمانی که فلودیاگرام فرایند تکمیل می‌شود،
- ۳- در مقاطع دوره‌ای و به صورت متناوب در زمانی که فرایند شروع به کار می‌نماید.
- ۴- زمانی که برای استفاده از یک تجهیز جدید در سیستم نیاز به ارزیابی خطر ناشی از افزوده شدن آن به سیستم داریم.
- ۵- زمانی که واکنش‌های انسانی و پاسخ‌های افراد به بروز شرایط اضطراری به عنوان عاملی در کاهش خطر فرایند مورد تحلیل قرار می‌گیرد.

در مطالعه‌ای که توسط Raymond در مورد روش‌های اجرایی کنترلی در آنالیز لایه‌های حفاظتی انجام شد، با ارایه و تجزیه و تحلیل چند مثال فرایندی و بررسی نقش و تأثیر عملکرد اپراتورها به عنوان یک لایه مستقل حفاظتی، نتایج ذیل ارایه شد (۷):

اگر در نتیجه ارزیابی با روش LOPA، سطح خطر قابل تحمل شناخته شود، آنالیزت باید انتظار داشته باشد که احتمال خطای انسانی و خطر آن، از آن چه در محاسبات محاسبه کرده است، کمتر باشد و بالعکس. چنان چه خطر فرایند غیر قابل تحمل شناخته شود، ضروری است که آنالیزت نسبت به ارزیابی مجدد با ابزارهای دیگری نظیر روش (Quantitative risk assessment) QRA و یا پیشنهاد تغییرات در سیستم به منظور کاهش سطح خطر اقدام نماید. در واقع در این مطالعه به نقش و تأثیر عملکردهای انسانی در فرایند انجام LOPA و نتایج آن بسیار تأکید شده است.

در مطالعه Gowland در مورد معرفی روش ارزیابی خطر اتفاقی تحت عنوان ARAMIS (Accidental risk assessment methodology for industries) انجام شد، روش LOPA به عنوان ابزاری که به طور بالقوه قابلیت انجام ارزیابی موانع و حفاظ‌های مورد نیاز در روش ARAMIS را دارد، معرفی شده است (۸). در این متد جدید از روش LOPA برای تعیین حد قابل تحمل خطر و احتمال وقوع خطر قابل قبول یا Target factor و همچنین تدوین سناریوهای محتمل

Couse and effect analyziz و حضور کارشناسان فرایندها و ابزار دقیق در مراحل انجام کار می‌باشد.

در مطالعه Kikwood و Tibbs تحت عنوان پیشرفت‌هایی در تعیین SIL، روش LOPA به عنوان روشی موفق و کارا در شناسایی خطر و تعیین SIL معرفی شد، که توسط مؤسسه آمریکایی مرکز مهندسين شیمی برای ایمنی فرایندهای شیمیایی (Safety Process Chemical Center for یا CCPS) برای پاسخ به نیازهای ISA S84.01 گسترش یافته، به طور رسمی در سال ۲۰۰۱ تحت عنوان طبقه‌بندی آنالیز حفاظتی، ارزیابی خطرات فرایندهای ساده منتشر شده است (۵). این مطالعه روش LOPA را دارای نقاط قوت و ضعفی به شرح ذیل معرفی نموده است:

نقاط قوت	معایب
انعطاف‌پذیری این روش	صرف زمان بیشتر و تجربیات کم در استفاده از آن
دقیق بودن	نیاز به مهارت‌های تحلیلی بالای کاربران این روش
نیمه کمی بودن (در مقایسه با روش‌های مطلق کیفی)	ناتوانی در بررسی علل شکست میان انتهای یک لایه حفاظتی مستقل و شروع لایه مستقل بعدی

این روش همچنین سوالات و ابهاماتی را در مورد تعداد و قوت لایه‌های حفاظتی موجود در یک سیستم را با ارایه پاسخ‌هایی در موارد ذیل روشن می‌سازد (۶):

- ارایه نتایج نیمه کمی، مبتنی بر وضعیت خطر فرایند
- کاهش تأثیر هیجانانگیز و سلايق افراد در تصمیم‌گیری‌ها و قضاوت‌ها.
- شفاف‌سازی و تثبیت اقدامات انجام شده و پتانسیل‌های حفاظتی موجود در یک سیستم
- از ویژگی‌های روش LOPA این است که در هر مرحله از چرخه حیات، فرایند و یا تأسیسات قابل انجام است، ولی بیشتر

دارد، که به دلیل ماهیت فرایندی و حجم زیاد گازها و ترکیبات قابل اشتعال، همواره در معرض خطرات متعددی می‌باشد.

یک جریان داریم از آب‌های اسیدی واحد بازیافت گلایکول (MEG regeneration)، به علاوه چند جریان موقت و مقطعی از واحدهای تثبیت مایعات گازی (Condensate stabilization)، واحد بازیافت اتان (Ethan recovery)، سوخت گازی (Fuel gas) و تصفیه پساب صنعتی (Waste effluents disposal) و (Burn pit) خوراک ورودی این واحد را تشکیل می‌دهد. تمامی آب‌ها پس از جمع‌آوری جهت جداسازی گازهای اسیدی اغلب H_2S و SO_2 وارد برج Stripper (عریان کننده) می‌شود. اساس فرایند در این مقطع نیز بر اساس تبخیر و گرم نمودن آب به وسیله Reboiling می‌باشد (۱۱).

به دلیل ماهیت فرایندی این واحد، به عنوان ورودی مطالعه LOPA جهت ارزیابی خطر یک رویداد، شدت حادثه، علت رویداد و امکان وقوع آن از نتایج مطالعه کیفی HAZOP استفاده شد.

روش تجزیه و تحلیل لایه‌های محافظ (LOPA) یکی از ابزارهای تجزیه و تحلیل خطر فرایند است. قدم اول در این روش ترسیم یک سناریو است.

– سناریوی مورد نظر تحت عنوان Impact event در ستون LOPA در نظر گرفته می‌شود.

– تعیین فاکتور هدف LOPA

در ارزیابی نتایج حاصل از جدول LOPA نیاز به یک معیار برای سنجش میزان فاصله وضعیت موجود از نظر ایمنی با وضعیت مناسب و مورد قبول (حد خطر قابل تحمل) مدیریت ارشد سازمان/ شرکت داریم. این معیار تحت عنوان LOPA safety target factor یا فاکتور هدف LOPA عنوان می‌شود و بر اساس ملاک‌هایی نظیر میزان آسیب‌ها و جراحات انسانی، تخریب و زیان‌های زیست محیطی، زیان‌های مالی و یا تلفیقی از این‌ها قابل تعریف می‌باشد.

در این مطالعه، LOPA safety target factor بر اساس میزان آسیب‌ها و جراحات انسانی و تخریب و زیان‌های زیست محیطی در نظر گرفته شد. البته مقادیر مورد استفاده در این

ناشی از نقص عملکردی لایه‌های حفاظتی موجود استفاده کاربردی می‌شود.

Redmill و Consultancy، به کاربرد روش LOPA در ارزیابی خطر مواد شیمیایی واکنش‌زا، ابتدا به خطرات و پیامدهای شدیدی نظیر اشتعال و انفجار این مواد، نشر گازهای سمی، تهدید انسان‌ها، اموال و محیط زیست، که ممکن است در اثر کمبود کنترل‌های کافی بر خطرهای احتمالی ناشی از این مواد اتفاق بیفتد، اشاره کردند. این تحقیق آمار میانگین ۵ نفر کشته سالانه ناشی از حوادث چنین موادی را در آمریکا توسط مرکز تحقیق در مورد خطرات و ایمنی مواد شیمیایی آمریکا (Chemical safety and hazard investigation board) را ارایه می‌دهد. سپس به عنوان مطالعه موردی واحد تولید هیدروکسی آمین (HA) را که حداقل تجربه ۲ حادثه تأسف‌انگیز که چندین مورد کشته و زخمی داشته، را برای روشن شدن کاربرد روش LOPA در ارزیابی خطر مواد واکنش‌زا مورد بررسی قرار دادند (۹).

در نتیجه این تحقیق با تمرکز بر بررسی علت و اثر سناریوها توسط LOPA، مشخص شد که روش نیمه کمی LOPA، به عنوان روشی ساده‌تر و راحت‌تر نسبت به روش ارزیابی کمی خطر QRA می‌باشد. همچنین روش LOPA را برای آنالیز لایه‌های حفاظتی که نسبت به یکدیگر و همچنین نسبت به علت اولیه وقوع یک حادثه کامل مستقل هستند، مناسب می‌داند. به علاوه برای کاهش وابستگی ایمنی فرایند به فاکتورهای انسانی، استفاده و اجرای تجهیزات واکنش اتوماتیک نظیر سیستم‌های ایمنی ابزار دقیق (Safety instrumented system یا SIS) و سیستم‌های قفل داخلی Inter lock را پیشنهاد می‌نماید (۱۰).

روش‌ها

واحد احیای آب ترش که در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفت، وظیفه جداسازی گازهای اسیدی از آب‌های فرایندهای مصرف شده در واحدهای پالایشگاه را بر عهده

پیش زمینه حادثه توسط لایه‌های مستقل محافظ صورت می‌پذیرد که خود شامل ۳ بخش می‌باشد (۱۲).

۱. طراحی عمومی فرایندها

۲. BPCS (Basic process control system)

۳. آلام‌ها: میزان اثر استفاده از وسایل اعلام خطری

است که توسط متصدی به کار گرفته می‌شود، میزان عددی آن 1×10^{-1} می‌باشد.

✓ کاهش احتمال اضافی به وسیله سیستم‌های ایمنی یا

SIS (۶).

✓ (Independent protection layer یا IPL) کاهش

بیشتر از طریق (دایک، ولو کاهش فشار و نظایر آن) برخی از لایه‌های یاد شده از نوع مستقل و فعال می‌باشند و در زمره تجهیزاتی قرار می‌گیرند که می‌توان آن‌ها را بر حسب کلاس کیفی دسته‌بندی نمود.

✓ احتمال کلی کاهش یافته: از حاصل ضرب احتمال

کاهش خطر، لایه‌های محافظ، کاهش احتمال اضافی، کاهش بیشتر از طریق (دایک، ولو کاهش فشار محدودیت دسترسی) به دست آمد.

مطالعه بر مبنای شرایط موجود است و تعمیم آن به جاهای دیگر نیازمند رجوع به استاندارد مربوطه و مطالعه بیشتر است. تأثیرات اقتصادی نیز می‌تواند به عنوان یک معیار مورد استفاده قرار گیرد (جدول ۲).

با توجه به خط مشی مدیریت ارشد، سطح پذیرش خطر و حد قابل تحمل خطر با استفاده از جداول ۱ و ۲، کد ۵ به عنوان LOPA target factor تعیین شد. احتمال متناظر آن (1×10^{-5}) به عنوان سطح قابل پذیرش از نظر بروز خطر تعیین گردید.

تکمیل گزارش LOPA با استفاده از داده‌هایی نظیر:

✓ میزان شدت حادثه به ترتیب: کم یا جزئی (M)، شدید (S) و یا گسترده (E) حوادث ثبت شد.

✓ علت شروع حادثه

احتمال وقوع یک حادثه: میزان احتمال وقوع یک حادثه در طول یک سال منظور شد. تجربه افراد حاضر در گروه برای تعیین میزان صحیح احتمال وقوع حادثه در طول یک سال بسیار حایز اهمیت است.

✓ لایه‌های محافظ: تدابیر موجود در سیستم جهت کاهش احتمال بروز یک حادثه و یا پیامد حادثه در هنگام وجود

جدول ۱: مقادیر گزینه‌های اهداف ایمنی

تأثیر روی انسان‌ها	تأثیر روی محیط زیست
on-site	off-site
یک جراحت جزئی از مواجهه، یک مورد پزشکی قابل گزارش یا یک مورد انفصال از کار فرد با نیاز به توان‌بخشی	یک رویداد زیست محیطی که آلودگی ناشی از آن به داخل سایت محدود می‌شود و برای احیای کامل محیط زیست یک سال زمان نیاز داشته باشد
آسیب جدی غیر قابل بازگشت	حادثه‌ای که باعث انتقال عموم مردم به پناهگاه شود
یک کشته	یک حادثه محیط زیستی که بتواند آب‌های سطحی را آلوده نماید.
رخدادی که باعث تخلیه اضطراری عموم افراد گردد	یک رویداد محیط زیستی که نیاز به پاک‌سازی محدوده خارج از سایت را داشته باشد.
چندین کشته	یک آسیب جدی غیر قابل بازگشت به عموم مردم
	یک نفر کشته از مردم عادی
	کشتار عموم مردم
رویداد فاجعه انگیز با بسیاری کشته	

جدول ۲: مقادیر اقتصادی تعیین فاکتور LOPA

فاکتور هدف	خسارت کلی و مالی احتمالی بر حسب دلار آمریکا
۴	کمتر از ۵ میلیون دلار
۵	۵ M-۵۰ M
۶	۵۰ M-۵۰۰ M
۷	۵۰۰ M-۵M M
۸	۵ M M-۵۰ M M
۹	۵۰ M M-۵۰۰ M M
۱۰	بالاتر از ۵۰۰ M M

LOPA: Layers of protection analysis

مقیاس با یک سری اعداد تک رقمی مشخص می‌شوند که این اعداد جایگزین احتمال‌هایی مانند $0/00000001$ یا $0/999999$ می‌شوند.

در روش SIL برای تجهیزات فرایند، سطح کیفی و ایمنی با نمرات SIL₁، SIL₂، SIL₃ و SIL₄ مشخص می‌شود؛ به طوری که نمره بیشتر SIL بیانگر سطح خطر بیشتر و نیاز به سطح بالاتر ایمنی لایه حفاظتی می‌باشد. در واقع SIL نمایش دهنده میزان توابع ایمنی است، که نیاز است در یک سیستم ریسک (Risk) به میزان مورد نظر کاهش یابد.

جدول ۳ نمایش دهنده سطوح ایمنی سیستم با توجه به میزان کاهش ریسک می‌باشد (۱۳).

جدول ۳: طبقه‌بندی SIL

Safety integrity level (SIL)	Probability of failure on demand
SIL1	۰/۱ تا ۰/۰۱
SIL2	۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۱
SIL3	۰/۰۰۰۱ تا ۰/۰۰۰۱
SIL4	< ۰/۰۰۰۱

یافته‌ها

در این مطالعه ۴۹ نقطه از واحد احیای آب ترش به عنوان نقاط پر خطر مورد ارزیابی قرار گرفتند، که از این تعداد ۲۰ نقطه نیاز به بازنگری و اقدام اصلاحی داشته، جزئیات مربوطه در جدول ۴ بیان شده است. به طور کلی نتایج این تحقیق موارد ذیل می‌باشد:

۱. در این مطالعه مشخص شد که عمده مخاطرات در این واحد ناشی از بروز حالت‌های ذیل می‌باشد که هر یک از آن‌ها می‌تواند نقطه شروع حوادث زنجیره‌ای با دامنه وسیع باشند:

- افزایش بیش از حد جریان سیالات در لوله‌ها (More flow)
- افزایش بیش از حد دما (More temprature)
- جریان معکوس سیال (Reverse flow)

اگر عدد به دست آمده از میزان مورد قبول استاندارد (LOPA safety target factor) از نظر شدت حادثه کمتر باشد، لایه‌های محافظ دیگری مورد نیاز نیست. البته در صورت وجود توجیه اقتصادی تدابیر بیشتر جهت کاهش میزان خطر اتخاذ می‌شود.

اگر احتمال کلی کاهش یافته بالاتر از حد استاندارد (LOPA safety target factor) باشد، باید روش‌های دیگری نظیر استفاده از لایه‌های حفاظتی بیشتر، جهت کاهش خطر مورد توجه قرار گیرد.

این لایه‌های جدید از ۴ گروه اصلی ذیل اقتباس شده است: الف) واکنش‌های انسانی به عنوان یک لایه حفاظتی مستقل (IPL)

ب) لایه‌های حفاظتی غیر فعال به عنوان یک لایه حفاظتی مستقل (IPL)

ج) لایه‌های حفاظتی فعال و واکنشی به عنوان یک لایه حفاظتی مستقل (IPL)

د) حفاظت‌های ایمنی (Safeguards)، که اغلب به عنوان لایه‌های مستقل حفاظتی در نظر گرفته نمی‌شوند.

ملاک و معیاری که از منظر ایمنی مورد اهمیت است و در اصطلاح سطح یک پارچه ایمنی یا SIL اطلاق می‌شود. اساس کار بر حسب احتمال شکست در دستورات PFD (Probability of failure on demand) می‌باشد و این

است. نکته حایز اهمیت در این بین، اهمیت و تعریف واژه استقلال لایه‌های حفاظتی است که به طور مشخص یک لایه مستقل می‌بایستی قادر به پیش‌گیری از پیشرفت سناریوی محتمل باشد، خواه این که حادثه شروع شده باشد یا نه و نیز بایستی مستقل از عملکرد سایر لایه‌ها باشد. در این مطالعه با توجه به مفهوم ذکر شده استقلال لایه‌های پیشنهادی مورد وجه بوده است و در مواردی که یک لایه حفاظتی به تنهایی قادر به کنترل حادثه نبوده، به عنوان حفاظ ایمنی ذکر شده است. حال این که در بررسی برخی حوادث فرایندی عدم رعایت این مهم به عنوان یک نقص مورد توجه قرار گرفته است.

از نقاط قوت این تحقیق این است که ضمن حفظ نقش و جایگاه لایه‌های مستقل فعال، بر اطمینان از واکنش مؤثر و مناسب نیروی انسانی و ایفای نقش اپراتورها با ارایه پیشنهادهای نظیر بازنگری در روش‌های اجرایی و چک لیست‌های بازرسی و مهم‌تر از آن آموزش نیروی انسانی تأکید می‌نماید؛ به طوری که در ۱۵ درصد موارد حفاظ‌های ایمنی یا Safeguards که اغلب به عنوان IPL در نظر گرفته نمی‌شوند ولی PFD برای آن‌ها در نظر گرفته می‌شود و در ۱۵ درصد از موارد واکنش‌های انسانی با حداکثر زمان واکنش ۱۰ دقیقه را توصیه نموده است.

وجه تمایز دیگر این تحقیق این است که سابقه استفاده از این روش در ارزیابی خطر پالایشگاه‌های واقع در خشکی کمتر است و بیشتر در سکوها و سازه‌های فرایندی دریایی مورد استفاده قرار گرفته است و این مطالعه از معدود پژوهش‌های انجام شده در حوزه پالایشگاهی در داخل کشور می‌باشد.

Redmill و Consultancy در مطالعه‌ای در مورد کاربرد روش LOPA در ارزیابی خطر مواد شیمیایی واکنش‌زا، در نهایت علاوه بر کاهش وابستگی ایمنی فرایند به فاکتورهای انسانی، استفاده و اجرای تجهیزات واکنش اتوماتیک نظیر سیستم‌های ایمنی ابزار دقیق (SIS) و سیستم‌های قفل داخلی یا Inter lock را پیشنهاد می‌نماید، ولی در وضعیت موجود در پالایشگاه‌ها به دلایل مختلف امکان حذف نقش نیروی انسانی وجود ندارد و توجه به بهبود عوامل مؤثر در بهبود نقش آن‌ها الزامی است (۹).

- نشت گاز سمی H₂S

- قطع جریان سیال (No flow)

- خوردگی (Corrosion)

۲. در مورد آنالیز پیامد خطرهای تعیین شده با استفاده از روش نیمه کمی LOPA و مقایسه با استاندارد، با تعیین معیار مقایسه با استاندارد تحت عنوان فاکتور هدف LOPA و با مطالعه و در نظر گرفتن لایه‌های حفاظتی موجود در هر یک از نقاط مورد بررسی (نظیر استفاده از تجهیزات BPCS، آلارم‌ها و سایر تدابیر کنترلی) میزان PFD کلی مجموع لایه‌های حفاظتی موجود محاسبه و به عنوان احتمال کاهش یافته ثبت شد.

۳. در مرحله مقایسه با استاندارد مقایسه با استفاده از داده‌های پیش گفته انجام شد، که نتایج آن در چهار ستون اول از جدول ۱ درج گردید.

در همین راستا برای ردیف‌هایی که میزان PFD لایه‌های حفاظتی موجود از احتمال متناظر با فاکتور هدف LOPA (1×10^{-5}) / yr بیشتر بود، اقدامات کنترلی بیشتر به عنوان لایه‌های حفاظتی جدید پیشنهاد شد.

در ۵۰ درصد از موارد ۲۰ گانه پیشنهادات لایه‌های حفاظتی مستقل با نیاز به کد SIL₁ ارایه شد، که از این تعداد ۶۰ درصد از موارد SIL₁ و ۴۰ درصد SIL₂ تعلق گرفت، ولی در هیچ یک از موارد پیشنهاد کد SIL₃ و SIL₄ ارایه نشد. ۹۰ درصد از موارد پیشنهادات لایه‌های حفاظتی از نوع IPL یا لایه‌های حفاظتی مستقل می‌باشند که از این تعداد ۱۵ درصد از نوع واکنش‌های انسانی، ۴۰ درصد از نوع لایه‌های حفاظتی غیر فعال، ۳۰ درصد از نوع لایه‌های حفاظتی فعال و مابقی یعنی ۱۵ درصد باقیمانده به عنوان حفاظ‌های ایمنی یا Safeguards که اغلب به عنوان IPL در نظر گرفته نمی‌شوند، ولی PFD برای آن‌ها در نظر گرفته می‌شود.

بحث

در متدولوژی روش LOPA از این روش به عنوان ابزاری در راستای ارزیابی نقش و عملکرد لایه‌های حفاظتی در پیش‌گیری از تحقق سناریوهای محتمل در یک فرایند یاد شده

جدول ۴: نتایج مربوط به آنالیز نقاط خطرناک، لایه‌های حفاظتی لازم (نوع، PFD و کد SIL مربوطه)

نقاط مرجع	احتمال کاهش یافته	فاکتور هدف LOPA	کاهش مورد نیاز	اقدام اصلاحی		PFD _(ave)	SIL of IPL	توضیحات	وضعیت خطر*
				شرح	نوع				
۱۰۹ ^{-۴}	۱۰ ^{-۳}	۱۰ ^{-۵}	۱۰ ^{-۲}	Open vent تخلیه گاز به بیرون	IPL	۱×۱۰ ^{-۲}	۲		غ ق ق
۱۰۹ ^{-۱۱}	۱۰ ^{-۴}	۱۰ ^{-۵}	۱۰ ^{-۱}	Human action with 10 minutes response واکنش اپراتور ظرف ۱۰ دقیقه	IPL	۱×۱۰ ^{-۱}	NA	NA = Not sIL is required	غ ق ق
۱۰۹ ^{-۱۲}	۱۰ ^{-۴}	۱۰ ^{-۵}	۱۰ ^{-۱}	Underground drainage system سیستم تخلیه زیر زمینی	IPL	۱×۱۰ ^{-۲}	NA		غ ق ق
۱۰۹ ^{-۱۶}	۱۰ ^{-۴}	۱۰ ^{-۵}	۱۰ ^{-۱}	Human action with 10 minutes response واکنش اپراتور ظرف ۱۰ دقیقه	IPL	۱×۱۰ ^{-۱}	NA		غ ق ق
۱۰۹ ^{-۱۶}	۱۰ ^{-۴}	۱۰ ^{-۵}	۱۰ ^{-۱}	Normal testing and inspection آزمایش نرمال بودن سیستم و بازرسی	Safe Guard	۱×۱۰ ^{-۱}	NA	Safeguard not consider IPL به عنوان حفاظ ایمنی است نه IPL	غ ق ق
۱۰۹ ^{-۲۰}	۱۰ ^{-۳}	۱۰ ^{-۵}	۱۰ ^{-۲}	Human response to BPCS indications واکنش انسانی به شاخص‌های BPCS	IPL	۱×۱۰ ^{-۱}	NA		غ ق ق
۱۰۹ ^{-۲۰}	۱۰ ^{-۳}	۱۰ ^{-۵}	۱۰ ^{-۲}	BPCS سیستم کنترل فرایند پایه	IPL	۱×۱۰ ^{-۲}	۱		غ ق ق
۱۰۹ ^{-۲۱}	۱۰ ^{-۴}	۱۰ ^{-۵}	۱۰ ^{-۱}	Relief valve شیر کاهنده	IPL	۱×۱۰ ^{-۲}	NA		غ ق ق

جدول ۴: نتایج مربوط به آنالیز نقاط خطرناک، لایه‌های حفاظتی لازم (نوع، PFD و کد SIL مربوطه) (ادامه)

نقاط مرجع	احتمال کاهش یافته	فاکتور هدف LOPA	کاهش مورد نیاز	اقدام اصلاحی		PFD _(ave)	SIL of IPL	توضیحات	وضعیت خطر*
				شرح	نوع				
۱۰۹-۲۲	۱۰ ^{-۴}	۱۰ ^{-۵}	۱۰ ^{-۱}	Basic process control system سیستم کنترل فرایند پایه	IPL	۱×۱۰ ^{-۲}	NA		غ ق ق
۱۰۹-۲۳	۱۰ ^{-۴}	۱۰ ^{-۵}	۱۰ ^{-۱}	Normal testing and inspection آزمایش نرمال بودن سیستم و بازرسی	IPL	۱×۱۰ ^{-۲}	۱		غ ق ق
۱۰۹-۲۶	۱۰ ^{-۳}	۱۰ ^{-۵}	۱۰ ^{-۲}	Basic process control system سیستم کنترل فرایند پایه	IPL	۱×۱۰ ^{-۲}	۲		غ ق ق
۱۰۹-۲۶	۱۰ ^{-۳}	۱۰ ^{-۵}	۱۰ ^{-۲}	Procedures/normal testing and inspection روش‌های اجرایی / آزمایش نرمال بودن سیستم و بازرسی	IPL	۱×۱۰ ^{-۱}	NA	Safeguard not IPL consider به عنوان حفاظ ایمنی است نه IPL	غ ق ق
۱۰۹-۲۸	۱۰ ^{-۴}	۱۰ ^{-۵}	۱۰ ^{-۱}	Open vent (no valve) تخلیه گاز به بیرون	IPL	۱×۱۰ ^{-۲}	۲	Only selected pump trips. فقط پمپ مورد نظر بایستی مورد کنترل قرار گیرد.	غ ق ق

جدول ۴: نتایج مربوط به آنالیز نقاط خطرناک، لایه‌های حفاظتی لازم (نوع، PFD و کد SIL مربوطه) (ادامه)

نقاط مرجع	احتمال کاهش یافته	فاکتور هدف LOPA	کاهش مورد نیاز	اقدام اصلاحی		PFD _(ave)	SIL of IPL	توضیحات	وضعیت خطر #
				شرح	نوع				
۱۰۹ ^{-۲۹}	۱۰ ^{-۳}	۱۰ ^{-۵}	۱۰ ^{-۲}	Relief valve شیر کاهنده	IPL	۱×۱۰ ^{-۱}	NA	Safeguard not consider IPL به عنوان حفاظ ایمنی است نه IPL	غ ق ق
۱۰۹ ^{-۳۰}	۱۰ ^{-۴}	۱۰ ^{-۵}	۱۰ ^{-۱}	Basic process control system سیستم کنترل فرایند پایه	IPL	۱×۱۰ ^{-۲}	NA		غ ق ق
۱۰۹ ^{-۳۱}	۱۰ ^{-۴}	۱۰ ^{-۵}	۱۰ ^{-۱}	High alarm added آرام هشدار سطح بالا	IPL	۱×۱۰ ^{-۱}	۱		غ ق ق
۱۰۹ ^{-۳۲}	۱۰ ^{-۳}	۱۰ ^{-۵}	۱۰ ^{-۲}	“Inherently safe” Design طراحی ذاتا ایمن	IPL	۱×۱۰ ^{-۲}	۲	Offspec material containing H2S goes to atmospheric chamber مواد غیر مفید حاوی H2S به برج اتمسفریک	غ ق ق

جدول ۴: نتایج مربوط به آنالیز نقاط خطرناک، لایه‌های حفاظتی لازم (نوع، PFD و کد SIL مربوطه) (ادامه)

نقاط مرجع	احتمال کاهش یافته	فاکتور هدف LOPA	کاهش مورد نیاز	اقدام اصلاحی		PFD _(ave)	SIL of IPL	توضیحات	وضعیت خطر*
				شرح	نوع				
۱۰۹ ^{-۳۳}	۱۰ ^{-۳}	۱۰ ^{-۵}	۱۰ ^{-۲}	High and low flow alarms shall be added	IPL	۱×۱۰ ^{-۱}	۱	It needs high and low detectors دتکتور بالا و پایین مورد نیاز است	غ ق ق
				آلارم جریان زیاد و کم بایستی اضافه شود					
۱۰۹ ^{-۳۳}	۱۰ ^{-۳}	۱۰ ^{-۵}	۱۰ ^{-۲}	Procedures/normal testing and inspection	Safe Guard	۱×۱۰ ^{-۱}	NA	Safeguard not consider IPL به عنوان حفاظ ایمنی است نه IPL	غ ق ق
				روش‌های اجرایی / آزمایش نرمال بودن سیستم و بازرسی					
۱۰۹ ^{-۳۷}	۱۰ ^{-۴}	۱۰ ^{-۵}	۱۰ ^{-۱}	Check valve شیر کنترل	IPL	۱×۱۰ ^{-۲}	۱	It needs high and low detectors دتکتور بالا و پایین مورد نیاز است	غ ق ق
۱۰۹ ^{-۵۶}	۱۰ ^{-۳}	۱۰ ^{-۵}	۱۰ ^{-۲}	“Inherently Safe” Design طراحی ذاتا ایمن	IPL	۱×۱۰ ^{-۲}	۲		غ ق ق

غ ق ق: غیر قابل قبول

امکانات، از این روش برای ارزیابی خطرهای صنایع فرایندی استفاده بیشتری شود.

در تحقیقات قبلی به جز در یک مورد، تأکید محسوسی بر نقش و جایگاه نیروی انسانی، آموزش و استفاده از روش‌های اجرایی مدون و مکتوب مشاهده نشد؛ در حالی که در این مطالعه تأثیر این عامل بسیار مهم ارزیابی گردید؛ به طوری که در مجموع ۳۵ درصد لایه‌ها حفاظتی پیشنهادی مربوط به کنترل‌هایی بودند که به نوعی با عامل انسانی ارتباط داشتند (۱۶).

همان گونه که پیش‌بینی می‌شد، این روش در بررسی علل شکست میان انتهای یک لایه حفاظتی مستقل و شروع لایه مستقل بعدی، به عنوان مثال انسدادهایی که ممکن است در مسیر لوله‌ها اتفاق بیفتند، ناتوان است و از محدودیت‌های این روش محسوب می‌شود (۱۱).

به منظور عینیت بخشی به نقش اثرات زیست محیطی سناریوها بر تعیین فاکتور هدف و نیز تعیین سطح شدت پیامدها از نظر زیست محیطی سوابق و اطلاعات کافی یافت نشد که ضرورت تحقیق بیشتر و بومی‌سازی معیارها در این خصوص را روشن می‌سازد.

این مقاله حاصل پایان‌نامه دانشجویی با موضوع بررسی و آنالیز پیامد حوادث عمده در واحد احیای آب ترش پالایشگاه‌های گازی پارس جنوبی با استفاده از روش‌های ارزیابی خطر HAZOP و آنالیز پیامد LOPA و تعیین سطح یک‌پارچگی ایمنی فرایند (SIL) می‌باشد.

تشکر و قدردانی

در پایان از عزیزانی که در انجام این طرح این جانب را یاری نمودند، به ویژه سرکار خانم نغمه موسوی که زحمات زیادی را در این راستا متحمل شدند، کمال تشکر و قدردانی را می‌نمایم.

متأسفانه روش LOPA و به تبع آن این مطالعه، جایگاه و امکانات لازم را برای ترسیم نقشه‌های حوادث احتمالی و شبیه‌سازی آن در اختیار قرار نمی‌دهند؛ در حالی که Gowland در مطالعه‌ای تحت عنوان معرفی روش ارزیابی خطر اتفاقی تحت عنوان ARAMIS یا Accidental risk یا assessment methodology for industries روش‌ها و راه‌کارهایی را برای جبران این کمبودها ارائه نموده است (۸). به دلیل دخالت مستقیم نیروی انسانی در ارزیابی خطر و تازگی روش، مهارت تیم بررسی‌کننده در صحت و دقت نتایج بسیار مهم است و از این رو کالیبراسیون و ارزیابی مراحل انجام کار نیز مهم است (۱۴).

پیشنهادها

به دلیل این که روش LOPA به دلیل ماهیت نیمه کمی، در مقایسه با روش‌های ارزیابی خطر دیگر نظیر روش HAZOP، در تخمین حدود فاصله از استاندارد دقت بیشتری دارد، ضروری است که در ارزیابی خطرهای صنایع فرایندی بیشتر مورد استفاده قرار گیرد. ضمن این که مطالعات بیشتری جهت تطبیق معیارهای این روش با صنایع داخلی مورد نیاز است.

در مقابل به دلیل تازگی این روش مهارت و تجربه نفرات انجام دهنده در صحت و دقت نتایج تعیین کننده است. ضمن این که تعیین فاکتور هدف LOPA خود تابع شرایط یک سازمان بوده، تعمیم معیارها از سازمانی به سازمان دیگر پیچیدگی‌های خاص خود را دارد (۱۵).

به دلیل محدودیت‌های مالی و زمانی این طرح بررسی تأثیر و اثربخشی اقدامات اصلاحی میسر نشد؛ در حالی که به طور اصولی بایستی با استفاده از برنامه زمانی- عملیاتی، تأثیر و نقش اقدامات پیشنهادی مورد ارزیابی و پایش قرار گیرد. همچنین توصیه می‌شود که در صورت فراهم شدن شرایط و

References

1. Arzandeh A. Evaluation of safety in chemical process units. Tehran: Fanavaran Publication; 2009.
2. Molavi H, Hasan Pour H, Sanandaji F. Design and simulation of chemical process with HYSYS. Tehran: Tarah Publication; 2006.

3. Karimi A. Safety in oil and gas industry. Tehran: Jahan now; 2006.
4. Mohamadfam E. Safety analyses techniques (HAZOP). Tehran: Fanavaran Publication; 2005.
5. Wei C, Rogers WJ, Mannan MS. Layer of protection analysis for reactive chemical risk assessment. J Hazard Mater 2008; 159(1): 19-24.
6. Baddersa NR, Weia C, Aldeeba AA, Rogersa WJ, Mannan MS. Predicting the Impact Sensitivities of Polynitro Compounds Using Quantum Chemical Descriptors. Journal of Energetic Materials 2006; 24(1): 17-33.
7. Freeman RR. Procedural-based controls in layer of protection analysis. Process Safety Progress 2008; 27(4): 306-12.
8. Gowland R. The accidental risk assessment methodology for industries (ARAMIS)/layer of protection analysis (LOPA) methodology: a step forward towards convergent practices in risk assessment? J Hazard Mater 2006; 130(3): 307-10.
9. Redmill F, Consultancy W. Understanding the Use, Misuse and Abuse of Safety Integrity Levels [Online]. 2000 [cited 2002 Apr]; Available from: URL: http://www.csr.ncl.ac.uk/FELIX_Web/3A.SILs.pdf.
10. ANSI/ISA-84.00.01-2004 Part 3 (IEC 61511-3 Mod). Functional Safety: Safety Instrumented Systems for the Process Industry Sector - Part 3: Guidance for the Determination of the Required Safety Integrity Levels - Informative (Downloadable) [Online]. 2004; Available from: URL: <http://www.isa.org/Template.cfm?Section=Standards2&template=/Ecommerce/ProductDisplay.cfm&ProductID=7764>.
11. Wei C, Rogers WJ, Mannan MS. Detection of autocatalytic decomposition behavior of energetic materials using APTAC. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry 2006; 83(1): 125-30.
12. Kirkwood D, Tibbs B. Developments in SIL determination. Computing & Control Engineering Journal 2005; 16(3): 21-7.
13. Tixier J, Dusserre G, Salvi O, Gaston D. Review of 62 risk analysis methodologies of industrial plants. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 2002; 15(4): 291-303.
14. Wei C, Rogers WJ, Mannan MS. Application of Screening Tools in the. Prevention of Reactive Chemical Incidents. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 2004; 17(2): 261-9.
15. Meyer PL. Introductory probability and statistical applications. New York: Addison-Wesley Pub. Co; 1970.
16. Krishna K, Wang Y, Saraf SR, Rogers WJ, Baldwin JT, Gupta JP, et al. Hydroxylamine production: will aQRAhelp youdecide? Reliability Engineering and System Safety 2008; 81: 215-24.

Outcome Analysis of Major Accidents and Determining the Safety Integrity Level of Processes in Sour Water Stripping Unit of Gas Refinery Using LOPA Technique

Ehsan Allah Habibi¹, Mehrdad Keshavarzi², Hossein Ali Yousefi Rizzi³, Akbar Hasanzadeh⁴

Abstract

Background: Development of oil and gas resources involves serious process hazards which put these industries among the most hazardous industries. Therefore, preventive approaches through risk identification and evaluation using new techniques such as layers of protection analysis (LOPA) are receiving vast attention these days. The present study aimed to analyze probable major accidents in sour water reduction unit of gas refineries. It also tried to investigate the adequacy of safeguard layers in the system and provide suggestions to promote the level of safety using dependent and independent (active and reactive) protection layers where recommended safety measures did not seem sufficient.

Methods: This descriptive study used LOPA to analyze the consequences of unacceptable risks to determine the risk situation after applying layers of control and protection. It also suggested protective layers as corrective actions for high-risk areas. Finally, in necessary cases, a safety integrity code was developed.

Findings: Based on the determined role of available protective layers in controlling the potential risks, the further protective layers were recommended as a way to reduce risk to acceptable levels. In addition, the safety integrity level required by some equipments was determined in necessary cases.

Conclusion: This study revealed that the effectiveness of available protective layers was not adequate in some. Therefore, additional protective layers are required to improve the preventive potential of process safety systems.

Key words: Risk Assessment, Layers of Protection Analysis, Safety Integrity Level, Independent Protective Layer, Sour Water Stripping Unit.

1- Associate Professor, Department of Occupational Health, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran. (Corresponding Author). Email: habibi@hlth.mui.ac.ir

2- MSc Student, Department of Occupational Health, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran.

3- Lecture, Department of Occupational Health, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran.

5- Lecture, Research Center for Food Security, Department of Biostatistics and Epidemiology, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran.