تجزیه و تحلیل ریسک انفجار ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز شهری با استفاده از روش شناسایی حالات نقص و تحلیل اثرات آن (FMEA) و تکنیک تجزیه و تحلیل درخت خطا (FTA)

فاطمه خسروی راد[۱]، اسماعیل زارعی [۲]، ایرج محمد فام [۳]، اسماعیل شجاع[۴]، محسن مجیدی دارابانی[۵]

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۹/۱۸ تاریخ ویرایش: ۹۴/۰۴/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۵/۲۵

چکیده

زمینه و هدف: توجه به ایمنی سایت‌های فرآیندی مجاور اماکن مسکونی بخصوص در کلان‌شهرها از دیدگاه مهندسی ایمنی و مدیریت ریسک اهمیت زیادی دارد. این مطالعه با هدف شناسایی کانون‌های خطر انفجار در ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز شهری (TBS) و تجزیه و تحلیل کیفی و کمی علل وقوع آن‌ها و برآورد میزان احتمال وقوع نشتی در این ایستگاه‌ها انجام گرفت.

روش بررسی: جهت شناسایی کانون‌های خطر و تحلیل کیفی نقص‌ها از روش حالات شکست و تجزیه و تحلیل اثرات آن (FMEA) و برای تعیین احتمال بروز حوادث مرتبط از روش آنالیز درخت خطا (FTA) استفاده گردید. جهت برآورد میزان احتمال رویدادهای پایه درخت خطا از نظرات خبرگان و بانک‌های داده مرتبط استفاده گردید.

یافته‌ها: تعداد ده کانون خطر انفجار در ایستگاه‌های TBS شناسایی گردید. در مجموع ۶۷ نقص در وقوع نشتی گاز از سنسینگ که دارای بیشترین عدد اولویت ریسک (RPN= ۲۴) بود مشخص شد. همچنین سیستم ارت ایستگاه با عدد اولویت ۴ =RPN کمترین مقدار عدد اولویت ریسک را داشت. نتایج نشان داد که احتمال نشت گاز از سنسینگ برابر ۰/۵۲ در سال می‌باشد. نقص فرآیندی (FP= ۰/۳۳۴) بیشترین و علل مکانیکی (FP= ۰/۰۶۲) کمترین سهم در وقوع نشت گاز از سنسینگ را دارند.

نتیجه‌گیری: پیشگیری و کنترل نشتی گاز از سنسینگ و جلوگیری از وقوع نقص‌های فرآیندی و رفتارهای ناایمن در کاهش ریسک انفجار ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز شهری اهمیت قابل‌توجهی دارد.

کلیدواژه‌ها: انفجار، ریسک، حالات شکست و تجزیه و تحلیل اثرات آن، آنالیز درخت خطا، ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز شهری.

مقدمه

ریسک حوادث شدید (Severe accidents) یک معیار مهم برای تصمیم‌گیری رسمی و کمی‌سازی دقیق و جامع ریسک می‌باشد. در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی صورت گرفته است که نه تنها از وقوع حوادث شدید پیشگیری شود، بلکه شدت پیامد آن‌ها نیز کاهش یابد (۱، ۲). در سال ۱۹۹۶ ابتدا اصول کلی کاهش شدت پیامد حوادث بزرگ تدوین شده و سپس در سال ۲۰۰۱ به منظور تأمین ایمنی مناطق مسکونی و جلوگیری از خسارت به مناطق غیر صنعتی اطراف منابع مخاطره‌آمیز، فواصل بین منابع خطر و این مناطق مورد بررسی و انطباق قرار گرفت (۳). هدف از این اقدام، توجه هر چه بیشتر و تأمین ایمنی افراد ساکن در مجاورت مناطق صنعتی و یا سایت‌های مخاطره‌آمیز و کاهش هر چه ممکن فواصل تأثیرگذار (Effect Zone) حوادثی مانند حریق و انفجار ناشی این تأسیسات می‌باشد (۴).

امروزه ارزیابی ریسک دقیق و جامع و تدوین حریم

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.

۲- دانشجوی دکترای تخصصی بهداشت حرفه‌ای، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.

۳- (نویسنده مسئول) دانشیار مهندسی بهداشت حرفه‌ای، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.
mohammadfam@umsha.ac.ir

۴- اداره بهداشت، ایمنی و محیط زیست، شرکت ملی گاز، تهران، ایران.

۵- تکنسین تعمیرات (ابزار دقیق) دستگاه‌های گازرسانی، شرکت ملی گاز، تهران، ایران.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-03-29]

ایمن سایت‌های فرآیندی به امری اجتناب‌ناپذیر و ضروری تدوین شده است (۵، ۶)، توجه به این موضوع برای سایت‌هایی مانند ایستگاه‌های تقلیل فشار گازی شهری که در داخل شهر و در مناطقی با تراکم بالای جمعیت بخصوص در کلان‌شهرهایی مانند تهران قرار دارند، اقدام بسیار حیاتی می‌باشد.

حوادث اصلی در چنی ن ایستگاه‌های حریق و انفجار می‌باشد که از نظر بعد تلفات و خسارت‌های ایجاد شده و میزان وقوع، انفجار از اهمیت بیشتری برخوردار است. آمار انفجار و میزان خسارت آن در صنایع فرآیندی در متون علمی زیادی ذکر و بحث شده است (۴، ۷). با نگاهی مختصر تنها به بعد تلفات انسانی چند حادثه شدید مانند برخورد تانکر نفت به یک کشتی مسافربری سال ۱۹۸۷ در فیلیپین (۴۳۷۵ مرگ و میر)، انفجار کامیون حامل تانکر[1] در افغانستان در سال ۱۹۸۲ (۲۷۰۰ مرگ و میر)، انفجار در خطوط نفتی نیاگرا در سال ۱۹۹۸ (۹۰۰ مرگ و میر) (۱)، گسترده آسیب و خسارت‌های چنین حوادثی کاملاً آشکار می‌گردد، این در حالی است که خسارت اقتصادی و اجتماعی ناشی از این حوادث بسیار گسترده و شاید تخمین دقیق آن غیرممکن باشد.

تحلیل حوادث بزرگ[2] در صنایع فرآیندی دلالت بر این دارد که انفجار در اغلب این صنایع دارای بیشترین سهم می‌باشد و از طرفی هم در کشور ما این مسئله در سال‌های اخیر روند صعودی داشته است (۷، ۸)، به‌عنوان مثال، تحلیل ۱۴۷ حادثه بزرگ رخ داده طی سال‌های ۲۰۱۱-۱۹۹۶ در کره، نشان دهند این است که انفجار (۵۰٪) و آتش‌سوزی (۳۶٪) به ترتیب دارای بیشترین فراوانی می‌باشد. رایج‌ترین علت این حوادث تخلف یا نقص پروانه مجوز کار[3] (۳۶٪) بود و به ترتیب تانک‌ها (۲۵٪) و خطوط لوله (۲۴٪) بیشترین تجهیزات درگیر حوادث بزرگ بوده‌اند. این حوادث منجر به مرگ ۱۰۰ نفر و آسیب۳۶۲ نفر گردیده است که متوسط مرگ و آسیب سالیانه افراد به ترتیب ۹ و ۳۳ نفر در سال بوده است. بیشترین مواد درگیر در این حوادث بر اساس طبقه‌بندی انجام گرفته، به ترتیب گازوئیل/ نفت/ سوخت[4] (۱۶ مورد) و گازهای قابل اشتعال (۱۱ مورد) بوده است (۹).

متأسفانه در ایران نیز، اغلب شاهد وقوع حوادث حریق و انفجار، تأسف‌بار در صنایع فرآیندی می‌باشیم که متأسفانه به دلیل فقدان یک پایگاه قانونی جهت ثبت حوادث فرآیندی کشور، اطلاعات دقیق و علمی از آن‌ها موجود نمی‌باشد و یا دسترسی به اطلاعات محدود موجود بسیار مشکل می‌باشد. از آن جمله می‌توان به: مرگ ۸۰ نفر در انفجار نیتروگلسیرین در گچساران در سال ۱۳۵۹، مرگ ۲۹۵ نفر در انفجار خطوط ریلی در نیشابور در سال ۱۳۸۲، مرگ ۳۴ و ۹ نفر به ترتیب در پالایشگاه شازند در سال ۱۳۸۷ و خطوط انتقال گاز سرخس در سال ۱۳۸۹ (۱۰) و وقوع چندین انفجار و آتش‌سوزی در یک واحد هیدروکربوری در جزیره خارک (۱۱) در سال ۱۳۸۹ که منجر به مرگ ۴ نفر و آسیب تعداد زیادی از پرسنل و توقف ۸۰ روز واحد، اشاره کرده که تنها چند مورد از صدها حادثه فرآیندی ایران می‌باشد.

ارزیابی ریسک کمی خطراتی همچون رها شدن مواد شیمیایی قابل اشتعال و انفجار در محیط، یکی از ضروری‌ترین و اصلی‌ترین مراحل برای افزایش سطح ایمنی در واحدهای موجود یا در حال طراحی فرآیندی

[1]. Tanker trucks
[2]. Major Accident
[3]. Safety work permit (hot work)
[4]. Fuel/oil/gasoline

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-03-29]

است (۴، ۱۰). لذا آگاهی از حداکثر شعاع‌های ایمن آتش، انفجار بسیار مهم بوده و نقش بسیار با اهمیتی در مقابله با حوادث در شرایط اضطراری را می‌تواند بازی کند (۱۰).

در کشور ما نیز صنایع فرآیندی در دهه‌های اخیر رشد چشمگیری داشته است. جلوگیری از تکرار وقوع چنین حوادث بزرگ، فقدان قوانین جامع و دقیق ایمنی فرآیندی در کشور مانند مدیریت ایمنی فرآیندی (PSM[5])، نظارت ضعیف بر اجرای قوانین موجود و سطح فرهنگ ایمنی نه‌چندان بالای صنایع موجود در کشور، ضرورت توجه به اجرای مطالعات دقیق ارزیابی ریسک انفجار بخصوص در سایت‌های مانند ایستگاه‌های TBS که در داخل کلان‌شهرها قرار دارد، که در صورت وقوع تلفانی انسانی به مراتب بیشتری دارند، بیش‌ازپیش احساس می‌گردد.

مطالعاتی که در زمینه ارزیابی/ تحلیل/ برآورد ریسک انفجار در ایستگاه‌های TBS در داخل یا خارج کشور صورت گیرد مشاهده نشده است و به نظر می‌رسد این مطالعه، جزء محدود مطالعات علمی می‌باشد که با هدف شناسایی کانون‌های خطر انفجار، تجزیه و تحلیل ریسک و تحلیل علت و پیامد در یک ایستگاه TBS در شهر تهران در سال ۱۳۹۳ انجام گرفت. در فرایند مورد مطالعه گاز با فشارpsi ۲۵۰ و دمای ۶۰ درجه فارنهایت از طریق خطوط لوله ایستگاه CGS وارد ایستگاه TBS می‌گردد، خط گاز ورودی به ایستگاه به سه خط لوله تبدیل و در نهایت از طریق یک خط لوله از ایستگاه خارج می‌گردد.

روش بررسی

در این تحقیق پس از آشنایی با واحد مورد مطالعه یک الگوی چهار مرحله تدوین گردید و بر اساس آن و طبق اهداف از پیش تعیین شده مطالعه حاضر به‌صورت زیر انجام شد:

مرحله نخست: جمع‌آوری اطلاعات مربوطه و شناخت کامل ایستگاه TBS: در این مرحله تمام اطلاعات مربوط به واحد فرآیندی موردنظر که برای ارزیابی ریسک انفجار موردنیاز بود جمع‌آوری گردد. این اطلاعات شامل: موقعیت جغرافیایی ایستگاه، نقشه‌های فرآیندی (Plot plan, P&IDs[6], PFDs[7])، نقشه‌های جانمایی و مکان‌یابی ایستگاه، رویه‌های عملیاتی و تعمیرات ایستگاه، خواص فیزیکی و شیمیایی مواد موجود در فرآیند (MSDS) و ... است.

مرحله دوم: تجزیه و تحلیل حالات نقص و تحلیل اثرات آن (FMEA[8]): شناسایی نشدن یک سری از خطرات محتمل؛ یعنی ارزیابی نشدن پیامدهای آن‌ها می‌باشد، به همین خاطر این مرحله از اهمیت زیادی برخورد باشد. بعد از شناخت کامل و جمع‌آوری اطلاعات فرآیندی ایستگاه نوبت به شناسایی مخاطرات و تحلیل پیامد و علت آن‌ها می‌گردد. ابتدا با استفاده از روش FMEA ضمن شناسایی اجزاء اصلی سیستم، نقص‌های احتمالی آن‌ها نیز شناسایی شده و با استفاده از روش‌های معمول، درجه ریسک هر نقص تعیین شد. فرایند انجام این فاز در ده مرحله زیر اجرا گردید (۱۲):

۱. جمع‌آوری اطلاعات مربوط انفجار در فرآیند
۲. تعیین خطرات بالقوه
۳. بررسی اثرات هر خطر
۴. تعیین علل خطر
۵. چک کردن فرایندهای کنترل

[5]. Process safety management (of OSHA)

[6]. Process instrumentation diagrams
[7]. Process flow diagrams
[8]. Failure Mode & Effect Analysis

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-03-29]

۶. تعیین نرخ وخامت
۷. احتمال وقوع
۸. نرخ احتمال کشف خطر
۹. محاسبه عدد اولویت ریسک
۱۰. تعیین فعالیت‌هایی برای کاهش ریسک

برای رتبه‌بندی شدت خطر بر اساس نظر خبرگان و متخصصان از یک مقیاس ۷ رتبه‌ای که رتبه ۱ یعنی هیچ‌گونه اثر سوء شناخته‌شده‌ای برای کارکنان، محیط‌زیست و دارایی سازمان ندارد و رتبه ۷ نشان‌دهنده این است که خطر باعث ازکارافتادگی دائم و یا فوت حداقل یک نفر از کارکنان می‌گردد و خسارات مالی بیش از یک‌صد میلیون ریال به بار می‌آورد. جهت رتبه‌بندی احتمال وقوع خطر نیز از یک مقیاس ۷ رتبه‌ای که رتبه ۱ نشان‌دهنده‌ی وقوع خطر یا رخ داد شکست حتمی است / سابقه نشان داده که خطر همیشه وجود داشته است / بیش از یک واقعه در روز یا بیش از یک واقعه در هر ده بار کارکرد سیستم رخ می‌دهد و رتبه ۷ نشان‌دهنده این است وقوع خطر بعید به نظر می رسد / سوابق حوادث نشان داده که شکست به وقوع نمی‌پیوندد / یک واقعه در بیش از ۱۰ سال رخ می‌دهد. جهت تعیین درجه کشف خطرات (کشف عیب) نیز از یک مقیاس ۷ رتبه‌ای که رتبه ۱ نشان‌دهنده اینکه، با کنترل‌های موجود و جاری در سیستم خطرهای بالقوه به‌طور صد درصد ردیابی و آشکار می‌گردد و رتبه ۷ نشان‌دهنده، مطلقاً امکان تشخیص ندارد و هیچ‌گونه کنترلی وجود ندارد و یا در صورت وجود قادر به کشف خطر بالقوه و شکست‌های احتمالی نیست، می‌باشد.

مرحله سوم: اجرایی تکنیک تجزیه و تحلیل درخت خطا (FTA[9]): با توجه به عدد اولویت ریسک‌های بدست آمده، خطراتی که درجه ریسک آن‌ها غیرقابل‌قبول باشد انتخاب‌کرده و در ادامه روند به کمک تکنیک FTA علل وقوع رویداد نامطلوب و تعیین نرخ آن انجام می‌گیرد. روش تجزیه و تحلیل درخت خطا یک ابزار مناسب برای تجزیه و تحلیل نقص‌ها و تعیین نرخ آن‌ها می‌باشد (۱۲). در این فاز ضمن شناسایی عوامل مؤثر در بالفعل درآمدن هر خطر غیرقابل‌قبول، احتمال بالفعل درآمدن آن نیز به‌صورت کمی برآورد می‌شود.

تکنیک تجزیه و تحلیل درخت خطا در سه مرحله زیر انجام خواهد شد:

۱. ساخت درخت خطا برای هر خطر غیرقابل‌قبول
۲. تجزیه و تحلیل کیفی درخت خطا برای هر خطر غیرقابل‌قبول
۳. تجزیه و تحلیل کمی درخت خطا برای هر خطر غیرقابل‌قبول

جهت ساخت درخت خطا، بعد از شناسایی کانون‌های خطر ایستگاه مورد مطالعه و به دست آوردن عدد اولویت ریسک (RPN)، درخت خطا با برگزاری پنل‌های تخصصی با حضور متخصصان ایمنی و افرادی که دارای دانش فرآیندی از ایستگاه تقلیل فشار گاز بودند، برای مخاطراتی که عدد الویت ریسک آن‌ها بالا بود ترسیم گردد. برای استخراج احتمال وقوع رویدادهای پایه[10] که نقطه شروع کمی‌سازی درخت کمی است، از نظرات خبرگان و (۱۴، ۱۵) استفاده گردید. در ادامه بر اساس ارتباط منطقی بین رویدادهای پایه با رویدادهای میانی[11]، احتمال رویدادهای میانی و در نهایت احتمال رویداد اصلی[12] از طریق قوانین ترکیت دروازها طبق

[9]. Fault Tree Analyses

[10] . Basic Events
[11]. Intermediate Events
[12]. Top Events

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-03-29]

روابط زیر محاسبه گردید.

$$P = 1 - e^{-\lambda t} \quad , \quad \lambda = -Ln(1-P)$$

قوانین ترکیب دروازه‌ها:

AND Gate: $P(B) \times P(A.B) = P(A)$

OR Gate: $P(A+B) = P(A) + P(B) - P(A).P(B)$

برای بیش از دو حادثه نیز نتایج مشابهی برقرار است. به‌طور مثال ترکیب سه حادثه A، B و C با دروازه OR به‌صورت زیر است:

$$P(A+B+C) = P(A) + P(B) + P(C) - P(A).P(B) - P(A).P(C) - P(B).P(C) + P(A).P(B).P(C)$$

مقدار λ یا نرخ نقص در واحد سال به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

یافته‌ها

نتایج شناسایی حالات نقص و تحلیل اثرات آن در ایستگاه TBS در جدول ۱ ارائه شده است. در پایان اجرای فاز شناسایی خطر انفجار، ده کانون خطر شناسایی گردید و روش FMEA برای تک‌تک مخاطرات شناسایی شده اجرا گردید. در جدول ۱ سه کانون خطر انفجار (سنسینگ، لوله و اتصالات و فیلتر) که از الویت بیشتری برخوردار بود نشان داده شده است. اجرای FMEA نشان داد که عملکرد سنسینگ نقش حیاتی در ایمنی ایستگاه TBS دارد.

جدول ۲ نتایج محاسبات عدد الویت ریسک کانون‌های خطر شناسایی شده در ایستگاه TBS را

جدول ۱- نتایج شناسایی حالات نقص و تحلیل اثرات آن (FMEA) در ایستگاه TBS

ش	تجهیز	وظیفه	نقص	علت نقص	اثر روی سیستم	احتمال رخداد	پیامد	ردیابی
۱	سنسینگ (Sensing)	انتقال فشار از خروجی ایستگاه به رگلاتور و Shut off Valve	پارگی سنسینگ	لرزش خطوط لوله تحمیل فشار بیش از حد. خستگی سنسینگ.	عدم انتقال فشار گاز بر رگلاتور و Shut off Valve	دو سال یکبار	نشتی گاز احتمال وقوع حریق و انفجار	بررسی مشاهده‌ای نشتی و فوران مشخص
۲	لوله‌ها و اتصالات (فلنج‌ها)	انتقال جریان گاز رابط تجهیزات بهم	خوردگی سائیدگی سوراخ شدگی ترک خوردگی گرفتگی لوله	فرسودگی ضربه‌خوردن وجود ناخالصی در سیال جوشکاری نامناسب جنس نامرغوب و کیفیت نامناسب لوله‌ها	قطعی جریان گاز افت فشار جریان گاز	هر سه سال یکبار	ضخامت داخلی لوله کم و لوله سوراخ می‌شود در نتیجه سیستم دچار نشت و فوران گاز می‌شود.	بازدید های مشاهده‌ای نشتی و فوران مشخص گزارشات افت فشار
۳	فیلتر	فیلتراسیون گاز ورودی	پرشدن مش‌ها مچاله شدن المنت شکستن المنت	وجود ناخالصی و کثیف بودن گاز ورودی نامناسب بودن سایز مش‌ها با فشار گاز سرعت زیاد گاز ورودی برخورد اجسام و ابزار آلات	افت فشار در خروجی سیستم خرابی تجهیزات پائین دست فیلتر.	در حالت عادی سالی ۲الی۳ بار در حالت غیر عادی(زمستان) سالی ۳۰ بار	افت فشار خروجی گرفتگی در فیلتر. شکست در فیلتر.	گزارشات افت فشار بررسی مشاهده‌ای قطعی گاز

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-03-29]

جدول ۲- نتایج محاسبات عدد اولویت ریسک(RPN) کانونهای خطر شناسایی شده

نام تجهیزات	شدت وقوع خطر	نرخ وقوع خطر	درجه تشخیص (کشف عیب)	RPN
سنسینگ‌ها	۶	۴	۱	۲۴
لوله‌ها و اتصالات(فلنج‌ها)	۷	۳	۱	۲۱
فیلتر	۴	۵	۱	۲۰
Shut off Valve	۶	۳	۱	۱۸
عایق‌های الکتریکی	۶	۳	۱	۱۸
رگلاتور	۴	۴	۱	۱۶
شیر اطمینان	۵	۳	۱	۱۵
ولوها	۳	۴	۱	۱۲
گیج فشارسنج	۳	۳	۱	۹
گیج حرارت‌سنج	۳	۳	۱	۹
سیستم ارت	۲	۲	۱	۴

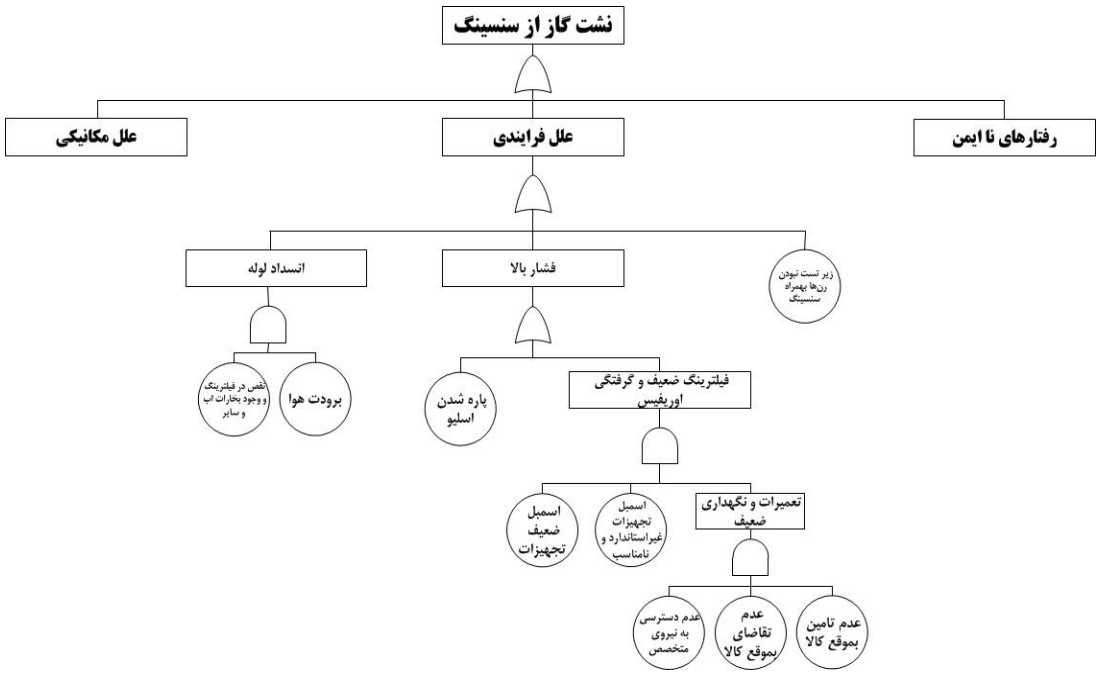
جدول ۳- نتایج محاسبات احتمال و نرخ وقوع نقص‌ها در ایستگاه‌های TBS

علل	شماره	رویداد پایه	احتمال نقص	احتمال نهایی	نرخ وقوع (در سال)
علل	۱	خاموشی هیتر	۰/۳	۰/۰۶	۱۶/۷
مکانیکی	۲	فلوی بالای گاز	۰/۴		
	۳	نقص در تشخیص خوردگی	۰/۰۱		
	۴	تخریب لایه ضدخوردگی(داخلی)	۰/۰۱		
	۶	ارتعاش	۰/۵		
	n	--	--		
علل	۱	برودت هوا	۰/۳	۰/۳۴	۲/۴
فرآیندی	۲	عدم دسترسی به نیروی متخصص	۰/۷۵		
	۳	پاره شدن اسلیو	۰/۰۸		
	۴	اسمبل ضعیف تجهیزات	۰/۶		
	n	--	--		
	۱	ارزیابی نادرست خطر	۰/۰۰۰۹	۰/۱۲	۷/۷
علل	۲	عدم اجرای Permit	۰/۰۰۷		
انسانی	۳	عدم اخذ Permit	۰/۰۰۷		
	n	--	--		
احتمال رویداد اصلی (نشت گاز از سنسینگ) = ۰/۵۲					۱/۳= نرخ کلی وقوع

نشان می‌دهد. بعدازاینکه کانون‌های خطر شناسایی گردید، بر اساس جداول روش FMEA از طریق برگزار پنل‌های تخصصی با حضور متخصصان ایمنی و افرادی عملیاتی مربوطه میزان شدت وقوع خطر، نرخ وقوع خطر و درجه تشخیص خطر برای تک‌تک کانون‌های شناسایی شده تعیین گردید و از حاصل‌ضرب سه پارامتر مذکور، عدد الویت ریسک استخراج گردید. نتایج مطالعه نشان داد که بیشترین عدد الویت ریسک ایستگاه TBS مربوط به سنسینگ (RPN= ۲۴) می‌باشد که نقش حیاتی در تنظیم فشار ایستگاه دارد.

در این مقاله ترسیم درخت خطای سنسینگ که دارای بیشترین عدد اولویت ریسک بود، انجام گرفت. نتایج مرحله ترسیم کیفی درخت خطا نشان داد که سه عامل، علل انسانی (رفتارهای ناایمن)، علل فرآیندی و علل

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-03-29]



شکل ۱- ترسیم درخت خطای نشتی گاز از سنسینگ در ایستگاه‌های TBS

مکانیکی در نشت گاز از سنسینگ دخیل می‌باشد و در مجموع ۶۷ علل یا نقص (۴۸ علل پایه‌ای و ۱۹ علل میانی) در وقوع نشتی گاز از سنسینگ دخیل می‌باشند. به خاطر حجم زیاد درخت خطای کامل نشت گاز از سنسینگ، بخشی از درخت خطای که دارای نقش بیشتری در نشت گاز از سنسینگ (علل فرآیندی) بود در شکل ۱ نشان داده شده است.

بعد از اینکه تجزیه و تحلیل کیفی درخت خطا با تمرکز بر علل وقوع نشتی از سنسینگ به اتمام رسید، احتمال رخداد رویدادهای پایه با استفاده از نظر خبرگان و (۱۴، ۱۵) استخراج شد و کمی‌سازی درخت خطا انجام گرفت. جداول ۳، ۴ و ۵ احتمال نقص رویدادهای پایه را نشان داده است که به ترتیب احتمال رویدادهای پایه، علل نقص‌های مکانیکی، علل رفتارهای ناایمن و علل نقص‌های فرآیندی را نشان می‌دهد. طبق توضیحات و روابط ذکر شد در بخش روش کار، احتمال رویدادهای میانی محاسبه گردید و در نهایت احتمال وقوع رویداد اصلی محاسبه گردید. در جدول ۳ احتمال برخی رویدادهای پایه هر سه علل مؤثر در وقوع نشتی گاز از سنیسنگ به همراه احتمال وقوع رویداد اصلی (نشت گاز از سنسینگ) و نرخ نقص‌ها نشان داده شده است. نتایج نشان داد که علل فرآیندی (FP[۱۳]= ۰/۳۳۴) بیشترین و علل مکانیکی (FP= ۰/۰۶۲) کمترین سهم در وقوع نشت گاز از سنسینگ را دارند (جدول۳). جدول ۳ نتایج محاسبات احتمال و نرخ وقوع نقص‌ها را در ایستگاه TBS نشان می‌دهد، نقص‌های میانی و پایه‌ای شناسایی شده برای هرکدام سه علل انسانی، فرآیندی و مکانیکی زیاد بود و لذا جهت عدم افزایش جداول و حجم مقاله، تنها بعضی از رویدادهای پایه و احتمال نقص مربوطه در جدول ۳ نشان داده شده است. درحالی‌که در برآورد احتمال نهایی و نرخ نقص هرکدام

[13]. Failure Probability

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-03-29]

از علل انسانی، فرآیندی و مکانیکی، احتمالات تمام رویدادهای پایه و میانی مربوطه در نظر گرفته شده است. نتایج نشان داد که احتمال نشت گاز از سنسینگ برابر ۰/۵۲ و نرخ نشتی گاز از سنسینگ ایستگاه‌های TBS برابر ۱/۳ سال می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

جهت شناسایی و تحلیل مخاطرات در این مطالعه از روش FMEA استفاده گردید. این روش با تمرکز بر شناسایی و تحلیل خطر انفجار در اثر نشتی یا پارگی تجهیزات انجام گرفت و ابتدا کانون‌های خطر انفجار در ایستگاه‌های TBS شناسایی گردید که خروجی این مرحله، شناسایی ده کانون خطر بود که شامل: (۱) سنسینگ (۲) لوله و اتصالات (فلنج) (۳) فیلتر (۴) شیرهای دستی (۵) رگلاتور (۶) شیر تخلیه ایمنی[14] (۷) شیر قطع کنند اضطراری[15] (۸) نشانگرهای دما (۹) نشانگرهای فشار (۱۰) سیستم ارت بود. بعدازاینکه ده کانون خطر شناسایی گردید موارد زیر برای هرکدام از کانون‌ها مشخص گردید (جدول۱).

الف) نقص‌های احتمالی هرکدام از کانون‌های خطر ب) علل نقص‌ها ج) اثرات وقوع نقص بر روی سیستم د) احتمال رخداد نقص‌ها ه) پیامد نقص‌ها و) نحو ردیابی نقص‌های احتمالی.

جدول ۳ نتایج اجرای این روش بر روی سه کانون خطر شناسایی شده را که از الویت بیشتری برخوردار بودند، نشان می‌دهد. بعدازاینکه مرحله کیفی سازی روش FMEA با تمرکز بر خطر انفجار در کانون‌های خطر شناسایی شده به پایان رسید (جدول۱)، مرحله کمی‌سازی، با محاسبه میزان شدت و نرخ وقوع و میزان کشف نقص و در نهایت عدد الویت ریسک کانون‌های شناسایی شده محاسبه گردید (جدول ۲). نتایج این مرحله نشان داد که نشتی گاز از سنسینگ دارای بیشترین عدد الویت ریسک (RPN= ۲۴) می‌باشد. علت این امر به خاطر نقش حیاتی آن در تنظیم فشار از طریق برقرار ارتباط فرآیندی با رگلاتور و شیر قطع کنند اضطراری و در نهایت تأمین ایمنی ایستگاه در مواقع افزایش بیش از حد فشار خطوط می‌باشد، به همین خاطر شدت وقوع خطر نشتی در سنسینگ بعد از نشتی از لوله و اتصالات در رتبه دوم مخاطره‌آمیز بودن قرار گرفت. ابعاد بزرگ لوله‌های ایستگاه، نشتی و پارگی لوله می‌توانند منجر به حوادث فاجعه‌آمیز[16] گردد که به همین دلیل، بیشترین نمره شدت وقوع خطر (نشتی گاز) به این تجهیزات اختصاص داده شده است. نرخ وقوع نشتی در سنسینگ به خاطر علل متعددی از جمله خستگی مکانیکی بالا در اثر وقوع تنش‌های مختلف و بارهای محوری (شکل ۲) نسبت به لوله و اتصالات بالا بوده و به همین دلیل در نهایت بیشترین عدد اولویت ریسک را به خود اختصاص داده است. نتایج تحلیل مخاطرات نشان داد که نشتی از فیلتر دارای بیشترین نرخ وقوع می‌باشد که علت این امر تعمیرات و نگهداری مکرر این تجهیزات به خاطر وجود ناخالصی‌های زیاد گاز ورودی به ایستگاه TBS، در مقایسه با سایر تجهیزات می‌باشد (جدول ۲).

روش‌های شناسایی مخاطرات مانند FMEA تحلیل کمی و دقیق از علل وقوع خطر را ندارند و به همین خاطر با این روش‌ها نمی‌تواند تحلیل دقیقی از احتمال و علل وقوع خطر بدست آورد، جهت رفع این مشکل از یک ابزار کمکی قوی بنام روش FTA در این مطالعه استفاده شده است (شکل ۲). روش FTA برای تمامی

[14]. Relief Valve
[15]. Shout off Valve
[16]. Major Accident

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-03-29]

کانون‌های خطر شناسایی شده به منظور تعیین و تحلیل علل و برآورد میزان احتمال وقوع انفجار اجرا گردید. شکل ۲ نتایج اجرای این روش برای خطر نشتی گاز از سنسنیگ که دارای بیشترین عدد اولویت ریسک بود (جدول ۲) نشان می‌دهد. نتایج مرحله ترسیم کیفی درخت خطا نشان داد که سه عامل، علل انسانی (رفتارهای ناایمن)، علل فرآیندی و علل مکانیکی در نشت گاز از سنسینگ دخیل می‌باشد و در مجموع ۶۷ علل یا نقص (۴۸ علل پایه‌ای و ۱۹ علل میانی) در وقوع نشتی گاز از سنسینگ دخیل می‌باشند که این نشان دهند در تحلیل دقیق علل وقوع رخدادهای نامطلوب با اجرای روش FTA می‌باشد. کلیه نقص‌های میانی و پایه‌ای که منجر به وقوع هرکدام از سه علل اصلی و در نهایت وقوع رویداد اصلی (نشتی گاز از سنسینگ) می‌گردد در شکل ۲ نشان داده شده است.

نتایج مطالعه نشان داد که احتمال نشتی گاز از سنسینگ برابر ۰/۵۲ و نرخ نشتی گاز برابر ۱/۳ سال می‌باشد (جدول ۳)، یعنی در ۱/۳ سال یا هر ۱۶ ماه، یک‌بار نشتی گاز از سنسینگ ممکن است رخ دهد. احتمال نقص‌های فرآیندی، رفتارهای ناایمن و مکانیکی منجر به وقوع نشتی گاز از سنسنیگ به ترتیب برابر ۰/۳۳، ۰/۱۲ و ۰/۰۶ است که نقص‌های فرآیندی بیشترین سهم و نقص‌های مکانیکی کمترین سهم را در رخ داد.

واقعه اصلی درخت خطا (نشتی گاز از سنسینگ) دارند (جدول۳). دلایلی مانند وجود ناخالصی در گاز وردی به ایستگاه، تغییرات فشار و انسداد لوله‌ها در اثر برودت هوا و نقص در فیلتراسیون گاز سبب شده که نقص فرآیندی سهم بیشتری در وقوع نشتی از سنسینگ داشته باشند و از طرفی هم به علت خستگی، خوردگی و لرزش کم سنسینگ، نقص‌های مکانیکی سهم کمتری در نشتی گاز از سنسینگ را دارند.

نتایج مطالعه نشان داد که نرخ نقص‌های فرآیندی ۲/۴ سال، نقص‌های انسانی ۷/۷ سال و نقص‌های مکانیکی ۱۶/۷ سال در ایستگاه TBS می‌باشد. به این معنا است که نشتی گاز از سنسینگ به علت نقص‌های فرآیندی به ازای هر ۲/۴ سال و نقص‌های انسانی به ازای هر ۷/۷ سال و نقص‌های مکانیکی به ازای هر ۱۶/۷ سال، یک‌بار ممکن است رخ دهد (جدول۳).

با وجود اینکه رفتارهای ناایمن در رتبه دوم قرار دارد، اما نقش آن در بروز حوادث و سهیم بودن آن در افزایش یا کاهش نقص‌های فرآیندی و مکانیکی قابل‌چشم‌پوشی نیست (۱۶،۱۷) و نتایج این مطالعه نیز حاکی از نقش داشتن رفتارهای ناایمن در افزایش نرخ نقص‌های مکانیکی و فرآیندی بود. لذا قرار گرفتن آن‌ها در رتبه دوم را واقعاً نمی‌تواند دلیل قطعی برای سهم کمتر آن‌ها نسبت به علل فرآیندی در وقوع نشت گاز از سنسینگ دانست. در مطالعات متعددی به اهمیت و تأثیر علل انسانی در افزایش سطح ایمنی و کاهش بروز حوادث صنایع فرآیندی اشاره شده است (۱۸-۱۶).

در مطالعه‌ای که توسط علی سخاوتی و همکاران انجام شده است، احتمال و نرخ نقص علل انسانی در توقف عملیات ایستگاه‌های تقویت فشار گاز به ترتیب برابر ۰/۰۳ و ۲/۴ سال محاسبه شده است (۱۹) که تفاوت نتایج می‌تواند به دلایل مختلفی از جمله، تفاوت در روش محاسبه احتمال نقص‌های انسانی (روش TESEO در مطالعه سخاوتی)، عدم بسط درخت خطای علل انسانی و ماهیت کلی بودن رویداد پایه در مطالعه سخاوتی، عدم قطعیت موجود و تأثیر برآورد ذهنی در روش‌های بکار گرفته شده در این مطالعه و سایر روش‌های متداول ارزیابی ریسک و ... باشد. در مطالعه مرتضوی و همکاران (۲۰) میزان احتمال وقوع خطر

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-03-29]

حریق در ایستگاه‌های مترو شهر تهران، ۱۱ سال یک‌بار برآورد گردید است که نسبت به مطالعه متفاوت می‌باشد. در این مطالعه میزان احتمال وقوع انفجار و تنها از سنسینگ که دارای بیشترین عدد الویت ریسک بود محاسبه گردیده است و میزان احتمال نه کانون خطر دیگر در نظر گرفته نشده است و از طرفی هم محل مورد مطالعه در پژوهش حاضر یک سایت فرآیندی می‌باشد که احتمال خطراتی مانند انفجار و حریق در آن‌ها به دلایل مختلفی بسیار بیشتر از سایت‌های غیر فرآیندی مانند ایستگاه‌های مترو می‌باشد. به خاطر عدم انجام مطالعات مشابه، عدم امکان مقایسه نتایج مطالعات ریسک با یکدیگر به خاطر ماهیت این‌گونه مطالعات و فقدان ارزش علمی و وجود عدم قطعیت در نتایج چنین مطالعات، در این مطالعه مقایسه نتایج با نتایج سایر مطالعات بیشتر از موارد اشاره شده، امکان‌پذیر نمی‌باشد.

جهت کنترل رویدادهای نامطلوب بخصوص انفجار در صنایع فرآیندی، پیشنهاد می‌گردد طراحی ایمن تجهیزات به‌عنوان یک اصل مهم در نظر گرفته شود که تأثیر قابل‌توجهی در کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری و نیازمندی سیستم به تجهیزات ابزار دقیق می‌باشد (۱۸،۲۱).

از محدودیت‌های این مطالعه، فقدان اطلاعات تخصصی در مورد قابلیت اطمینان انسانی بخصوص در صنایع فرآیندی و عدم قطعیت در نرخ نقص تجهیزات، به همراه عدم قطعیت در تکنیک‌های استفاده شده می‌باشد و از نقاط قوت این مطالعه، جدید بودن انجام آن در یکی از مراکز مهم و حساس خطوط انتقال گاز کشور که سهمی قابل‌توجهی در تأمین گاز مشترکین بخصوص در کلان‌شهرها دارد و استفاده ترکیبی از دو روش که منجر به حصول تحلیل کمی و جامع از علل وقوع انفجار در ایستگاه‌های TBS گردید. جهت مطالعات بعدی مدل‌سازی انفجار در ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز شهری جهت برآورد حریم ایمن و میزان خسارت‌های مالی و جانی ناشی از وقوع انفجار و به‌کارگیری اصول و منطق فازی در تکنیک‌های استفاده شده جهت کاهش عدم قطعیت و افزایش دقت و صحت بالای نتایج و محاسبات انجام شده، پیشنهاد می‌گردد.

امروزه اهمیت ایمنی اشخاص ثالث[17] یا ایمنی عمومی[18] که تمرکز بر تضمین ایمنی افراد جامعه در برابر مخاطرات صنایع بخصوص صنایع مخاطره‌آمیز فرآیندی و به‌ویژه در هنگام مجاورت این صنایع با امکان مسکونی دارد از اهمیت بین‌المللی بسیار بالایی برخورد می‌باشد. به همین خاطر در این مطالعه ایمنی انفجار در ایستگاه‌های گاز شهری در تهران مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. نتایج مطالعه نشان داد که اجرای همزمان و ترکیبی روش‌های مانند FMEA و FTA می‌توانند نتایج مطلوبی جهت ایجاد نگرش دقیق و تحلیل در علل وقوع حوادث و برآورد کمی از میزان احتمال وقوع رویدادهای نامطلوب داشته باشد. در ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز شهری، توجه به ایمنی سنسینگ از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. علل فرآیندی و علل انسانی بیشترین تأثیر در وقوع حوادث دارند و پیشنهاد می‌گردد جهت کنترل رویدادهای نامطلوب در ایستگاه‌های TBS تمرکزی بیشتری بر روی شناسایی، پیشگیری و کنترل به‌موقع این علل صورت گیرد.

تقدیر و تشکر

این پژوهش با حمایت‌های مالی و معنوی دانشگاه علوم پزشکی همدان و شرکت ملی گاز ایران انجام شده

[17]. Third Parties
[18]. Public Safety

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-03-29]

است. نویسندگان مقاله بدین‌وسیله مراتب قدردانی خـود را اعلام می‌کنند.

منابع

1. Eckle P, Burgherr P. Bayesian data analysis of severe fatal accident risk in the oil chain. Risk Anal. 2013;33(1):146-60.
2. Jafari MJ, Zarei E, Badri N. The quantitative risk assessment of a hydrogen generation unit. International Journal of Hydrogen Energy. 2012;37(24):19241-9.
3. Sklavounos S, Rigas F. Estimation of safety distances in the vicinity of fuel gas pipelines. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2006;19(1):24-31.
4. Dormohammadi A, Zarei E, Delkhosh MB, Gholami A. Risk analysis by means of a QRA approach on a LPG cylinder filling installation. Process Safety Progress. 2014;33(1):77-84.
5. Zarei E, Jafari MJ, Dormohammadi A, Sarsangi V. The Role of Modeling and Consequence Evaluation in Improving Safety Level of Industrial Hazardous Installations: A Case Study: Hydrogen Production Unit. Iran Occupational Health Journal. 2013;10(6):29-41.
6. Jafari M, Zarei E, Dormohammadi A. Presentation of a method for consequence modeling and quantitative risk assessment of fire and explosion in process industry (Case study: Hydrogen Production Process). Journal of Health and Safety at Work. 2013; 3 (1):55-68
7. Zarei E, Jafari MJ, Badri N. Risk assessment of vapor cloud explosions in a hydrogen production facility with consequence modeling. Journal of Research in Health Sciences. 2013;13(2):181-7.
8. Jafari MJ, Mohammadfam I, Zarei E. Analysis and Simulation of Severe Accidents in a Steam Methane Reforming Plant.. International Journal of Occupational Hygine. 2014;6. (Inpress).
9. Shin IJ. Major Industrial Accidents in Korea: The Characteristics and Implication of Statistics 1996–2011. Process Safety Progress. 2013; 32(1):90-5.
10. Zarei E, Dormohammadi A. Semi-quantitative and quantitative risk assessment in the process industries Focusing on methods on QRA, LOPA, DOW Index. Tehran: Fanavaran Co; 2012.
11. Abdolhamidzadeh B, Hassan CRC, Hamid MD, FarrokhMehr S, Badri N, Rashtchian D. Anatomy of a domino accident: Roots, triggers and lessons learnt. Process Safety and Environmental Protection. 2012;90(5):424-9.
12. Clifton A, Ericson I. Hazard Analysis Techniques for System Safety New Jersey: John Wiley & Sons, Inc; 2005.
13. Mirza S, Jafari Mj, Omidvari M, Lavasani SMRM. The application of Fuzzy logic to determine the failure probability in Fault Tree Risk Analysis. Journal of Safety Promotion and Injury Prevention. 2014;2(2).
14. CCPS. Guidelines for chemical process quantitative risk analysis. 2 ed. New York: American Institute of Chemical Engineers (AIChE); 2000.
15. Tan Q, Chen G, Zhang L, Fu J, Li Z. Dynamic accident modeling for high-sulfur natural gasgathering station. Process Safety and Environmental Protection. 2014;92(6):565-76.
16. Shirali GHA, Motamedzade M, Mohammadfam I, Ebrahimipour V. Moghimbeigi A.Challenges in building resilience engineering (RE) and adaptive capacity: A field study in a chemical plant. Process Safety and Environmental Protection. 2012;90(2):83-90.
17. Mohammadfam I, Azadeh A, Faridan M, Mahjub H. Safety behaviors assessment in process industry: A case study in gas refinery Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers. 2008;25(4):298-305.
18. Azadeh A, Mohammadfam I. A framework for development of integrated intelligent human engineering environment. Information Technology Journal. 2006;5(2):290-299.
19. Sekhavati A, Norozi H, Shojaei A. Application of Fault Tree Analysis in a Gas Compressor Unit. Journal of Exploration & Production Oil & Gas. 2013;10(97).
20. Mortazavi SB, Daneshvar S, Roshan SA. Fire risk assessment in Tehran metro line 1 (rectifier substation) with fault tree analysis. Iran Occupational Health. 2014;11(2).
21. Jafari M, Askarian A, Omidi L, Miri Lavasani SM, Taghavi L, Ashori AR. The Assessment of Independent Layers of Protection in Gas Sweetening Towers of Two Gas Refineries. Journal of Safety Promotion and Injury Prevention. 2014;2(2).

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-03-29]

Explosion risk analysis on Town Border Stations of natural gas using Failure Mode & Effect Analysis and Fault Tree Analyses methods

Fatemeh Khosravirad[1], Esmaeil Zarei [2], Iraj Mohammadfam [3], Esmaeil Shoja[4]
Mohsen Majidi Daryani[5]

Received: 2014/12/09 Revised: 2015/07/09 Accepted: 2015/08/16

Abstract

Background and aims: Attention to safety of process plants adjacent to residential area, especially in the big cities is extremely important from perspective of safety engineering and risk management. This study was carried out with the aims of identification of hazard points of explosion in Town Border Station (TBS) and qualitative and quantitative analysis of their occurrence causes and estimation of leak probability in this station.

Methods: Hazard points of the explosion and qualitative analysis of the failures conducted by means of Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) method. Occurrence probability of related accidents was estimated by means of Fault Tree Analysis (FTA) method. To determine of the basic event occurrence probability of FTA, we used the expert opinions and the related data banks.

Results: Hazard points of identified explosion in the TBS stations were ten. A total of 67 failures in gas leak of the Sensing that had highest Risk Priority Number (RPN= 24) were identified. Also Earth system of the station had the lowest RPN= 4. The results showed that the leak probability of the sensing was equal to 0.52 per year. Process failure (FP= 0.334) and mechanical failure had the highest and the lowest failure probability of the sensing gas leakage.

Conclusion: Prevention and control of the sensing gas leak and the prevention of both of the occurrence process failures and unsafe behavioral had considerable importance in the explosion risk reduction of TBS.

Keywords: Explosion, Risk, Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), Fault Tree Analysis (FTA), Town gas pressure reduction stations (TBS)

1. MSc student, Department of Industrial Hygiene Engineering, School of Public Health and Research Center for Health Sciences, Hamadan Medical Sciences University, Hamadan, Iran.
2. PhD student, Department of Industrial Hygiene Engineering, School of Public Health and Research Center for Health Sciences, Hamadan Medical Sciences University, Hamadan, Iran
3. (**Corresponding author**) Associate Professor, Department of Industrial Hygiene Engineering, School of Public Health and Research Center for Health Sciences, Hamadan Medical Sciences University, Hamadan, Iran. mohammadfam@umsha.ac.ir
4. Department of Health, Safety and Environment (HSE), National Gas Company, Tehran, Iran.
5. Maintenance Technician of Gas devices, Tehran, Iran.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-03-29]