مجله مهندسی بهداشت حرفه‌ای
مقاله پژوهشی
دوره ۳، شماره ۱، بهار ۹۵

ارزیابی پیامد حریق مخازن گاز متان در یک پالایشگاه گاز

سارا شاهدی علی آبادی [۱]، محمد جواد عصاری [۲]، امید کلات پور [۲]، اسماعیل زارعی [۳]، ایرج محمدفام [۴]*

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
[۲] استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
[۳] دانشجوی دکترای مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان. همدان، ایران.
[۴] استاد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

* **نویسنده مسئول:** ایرج محمدفام، استاد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران. ایمیل: mohammadfam@umsha.ac.ir

DOI: 10.21859/johe-03017

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۴/۰۶
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۶/۰۹

واژگان کلیدی:
مدل سازی پیامد
آنالیز ریسک
حریق
پالایشگاه گاز

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

چکیده

هدف: کاربرد سوخت‌های فسیلی در پالایشگاه‌ها همواره احتمال بروز خطراتی چون حریق و انفجار را به همراه خواهد داشت. وقوع چنین حوادثی همواره آثار جدی بر منابع مالی و جانی داشته است. در همین راستا این مطالعه با ارزیابی پیامد حریق مخازن گاز متان با استفاده از تجزیه و تحلیل خطر و مدل سازی و ارزیابی پیامدهای احتمالی انجام شد.

روش کار: در راستای انتخاب بدترین سناریو، از روش تجزیه و تحلیل مقدماتی خطر PHA استفاده شد. سپس علل وقوع سناریو با کمک روش FTA تعیین گردید. در نهایت مدل سازی و ارزیابی پیامد وقوع سناریو انتخابی با استفاده از نرم افزار PHAST انجام گرفت.

یافته‌ها: بر اساس معیارهای مدنظر، حریق مخزن گاز متان V-100 به عنوان بدترین سناریو در پالایشگاه انتخاب شد. درخت خطا سه عامل مکانیکی، انسانی و فرآیندی را در نشت گاز مؤثر نشان داد. با استفاده از مدل سازی پیامد، تشعشع حرارتی ناشی از حریق به عنوان پیامد اصلی وقوع حادثه در نظر گرفته شد. شرایط آب و هوایی و اندازه نشتی در فاصله تحت تأثیر تشعشع مؤثر بودند. در نهایت از معادلات پرابیت برای ارزیابی میزان خسارات انسانی حادثه استفاده گردید. حداکثر تعداد تلفات ناشی از حریق برابر با ۲۳ نفر بود.

نتیجه گیری: در این مطالعه مخزن گاز متان به عنوان کانون اصلی خطر معرفی شد. در همین راستا اجرای قوانین ایمنی، برطرف کردن نقایص مکانیکی در اسرع وقت، برگزاری دوره‌های آموزشی، اقدامات مؤثر در پیشگیری و اطفاء حریق در راستای کاهش تعداد تلفات پیشنهاد شد.

مقدمه

انرژی، اساس زندگی و یکی از ارکان اساسی در راستای تأمین رفاه و آسایش انسان است [۱, ۲] در بین اشکال مختلف انرژی، نفت و گاز طبیعی از قرن ۲۰ بیشترین توجه را به خود اختصاص داده‌اند [۲]. نفت و گاز به عنوان سوختی پاک، کارآمد و با کیفیت بالا، به طور گسترده‌ای در صنایع شیمیایی، برق، تأمین سوخت شهری، و سایر زمینه‌های صنعتی و مدنی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. با گسترش شهرها و صنایع در ایران، به عنوان یکی از بزرگترین تولید کننده‌های نفت و گاز در جهان، نیاز به این سوخت هر روزه بیش از پیش احساس می‌شود [۳]

برای تولید گاز، پالایش گاز استخراج شده در پالایشگاه یک گام اساسی بوده بنابراین عملیاتی بودن پالایشگاه‌های گاز در ایران امری حیاتی است. این صنایع اغلب با مواد شیمیایی پر خطر و واحدهای عملیاتی تحت شرایط دما و فشار بالا نظیر راکتورها و تانک‌های ذخیره سروکار دارند، در نتیجه با وجود تمام مزایای شناخته شده، تولید، ذخیره سازی، حمل و نقل و استفاده از گاز طبیعی به عنوان سوخت همیشه خطراتی از قبیل انفجار و آتش سوزی را با خود به همراه دارند [۴]. خطرات گاز طبیعی ناشی از قابلیت اشتعال بسیار زیاد و مقادیر بالای انرژی آزاد شده درصورت اشتعال یا انفجار است [۵]. بعلاوه پیشروی مناطق مسکونی شهری به سمت پالایشگاه‌ها، رشد این صنایع و افزایش تعداد افراد شاغل در آن، منجر به افزایش تعداد و شدت حوادث و به جای ماندن

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-10-26]
[DOI: 10.21859/johe-03017]

خسارات سهمگین و جبران ناپذیر می‌شوند. بررسی تاریخچه حوادث پالایشگاه‌ها نیز گویای این مطلب است که حوادث مرتبط با گاز کم نبوده و در طول تاریخ بارها چنین حوادثی رخ داده است [۶-۱۱]. در نتیجه امروزه ایمنی پالایشگاه‌ها جهت جلوگیری از حوادث و حفظ ایمنی پرسنل، اموال و محیط، بطور جدی مورد توجه قرار گرفته است [۱۲, ۱۳]. در سال‌های اخیر مطالعات متعددی به جنبه‌های مختلف ایمنی صنایع به ویژه صنایع فرایندی وابسته به گاز متان با اهداف گوناگون و با به کارگیری روش‌های مختلف پرداخته‌اند که شامل: ارزیابی ریسکLPG [۱۴, ۱۵] در وسایل نقلیه [۱۶]، گاز متان در معادن زیر زمینی [۱۷] گاز هولدر ها [۱۸]، خطوط لوله توزیع گاز طبیعی [۱۹]؛ آنالیز و مدل سازی حوادث LNG [۲۰, ۲۱] ؛ خطوط لوله گاز زیرزمینی [۲۲]، مخازن ذخیره تولوئن [۳]؛ و... می‌باشد. واضح است که در مطالعات اخیر توجه به ایمنی پالایشگاه‌های گاز طبیعی کمتر از سایر بخش‌ها صورت گرفته است. این در حالی است که پتانسیل خطر پالایشگاه‌ها و نیز گاز متان بسیار بالا بوده و در صورت وقوع حادثه، خسارات مالی و جانی بسیاری در پی خواهند داشت.

بعلاوه در مطالعات محدود صورت گرفته در حیطه پالایشگاه، عمده توجه بر ارزیابی و آنالیز ریسک معطوف شده و مدل سازی و ارزیابی پیامد حوادث کمتر مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته است. از طرف دیگر در بیشتر مطالعات صورت گرفته، یک روش به تنهایی جهت دستیابی به میزان ریسک و یا ارزیابی پیامد مورد استفاده قرار گرفته است. این در حالی است که در مطالعه حاضر، با استفاده از تکنیک‌های PHA، FTA و نیز نرم افزار PHAST تحلیل ریسک، مدل سازی و ارزیابی پیامد در یک پالایشگاه انجام شد.

برای کم کردن ریسک حوادث صنایع شیمیایی، ارزیابی احتمال وقوع و شدت پیامدهای آنها امری الزامی است. در همین راستا این مطالعه با هدف تحلیل کمی ریسک حریق مخازن گاز متان در یک پالایشگاه گاز صورت گرفت. در پالایشگاه مورد مطالعه، ابتدا گاز حاوی میعانات با فشار ۱۲۰ بار از چاه دریافت شده، و وارد جدا کننده ۳ فازی V-۱۰۰ می‌گردد. این مخزن گاز در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین، با حجم ۱۹ مترمکعب نصب شده و محتوی گاز دارای فشار ۱۲۰ بار و دمای ۴۵ درجه سانتی گراد با دبی ۳/۵ تا ۴ مترمکعب در روز می‌باشد و وظیفه آن جدا کردن گاز از مایعات همراه آن است. پس از جداسازی اولیه گاز و میعانات، گاز خروجی به مبدل حرارتی E-۱۰۰ وارد شده و پس تبادل حرارت به دومین جداکننده وارد می‌گردد. گاز خروجی از جداکننده دوم نیز بعد از جدا سازی گاز از میعانات به سومین جداکننده منتقل می‌گردد تا مرحله نهایی جداسازی گاز از میعانات انجام گیرد. گاز خروجی از جداکننده سوم مجدداً برای تبادل دما به E-۱۰۰ منتقل و در نهایت برای مصارف تعیین شده از پالایشگاه خارج می‌شود. لازم به ذکر است واحد مورد مطالعه تنها در ۴ ماه پایانی سال به عنوان واحد کمکی در تولید گاز، فعال می‌باشد.

روش کار

در راستای اجرای مطالعه حاضر یک چهارچوب متشکل از ۴ مرحله متناسب با شرایط واحد فرآیندی تدوین گردید. این چهارچوب شامل تکنیک PHA به منظور شناسایی نقاط خطر، تکنیک FTA جهت تجزیه و تحلیل کیفی علل وقوع نشت مواد خطرناک و اجرای نرم افزار PHAST جهت مدلسازی و ارزیابی پیامد است.

شناسایی مخاطرات و انتخاب بدترین سناریو

شناسایی مناطق آسیب پذیر و مخاطرات خاص، اهمیت بالایی در تجزیه و تحلیل نتیجه دارد. شناسایی نشدن یک سری از خطرها، ارزیابی نشدن پیامدهای آنها را به همراه دارد. روش‌های مختلفی برای شناسایی مخاطرات ارائه شده است. یکی از روش‌های مقدماتی جهت شناسایی مخاطرات PHA است [۲۳, ۲۴]. برای این منظور با استفاده از روش PHA، شناسایی و به کمک آنالیزهای خطر از پیش انجام شده، چک لیست‌های خطر موجود، نظر کارشناسان و بررسی سوابق حوادث، کانون‌های خطر شناسایی و اولویت بندی شدند.

انتخاب سناریو

سناریو، واقعه یا مجموعه‌ای از وقایع است که سبب ایجاد حادثه می‌شود و اکثراً به صورت پارگی و یا نشتی از تجهیزات فرایندی (مخزن، تانک، لوله و ...) حاوی مواد خطرناک (سمی، قابل اشتعال) تعریف می‌شود [۲۵] در این مرحله سناریویی که بیشترین احتمال وقوع و نیز بیشترین پیامد را داشته باشد انتخاب شد. در نهایت پس از غربالگری نتایج به دست آمده از برگه PHA نشت گاز از مخزن گاز متان V-۱۰۰ به عنوان بدترین سناریو محتمل موجود در پالایشگاه انتخاب گردید. قطر لوله‌های ورودی و خروجی در این تجهیز (V-۱۰۰) بین ۵۰-۲۵۰ میلی متر بود. بر همین مبنی، سناریو انتخابی به چهار گروه شکستگی کوچک (۵۰ mm) شکستگی متوسط (۱۰۰ mm)، شکستگی بزرگ (۲۵۰ mm) و نیز پارگی کامل تجهیز تقسیم شد [۵, ۲۶, ۲۷].

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-10-26]

[DOI: 10.21859/johe-03017]

تجزیه و تحلیل کیفی سناریو انتخابی

یکی از مرسوم‌ترین و قابل اعتماد ترین روش‌ها جهت تجزیه و تحلیل کیفی علل وقوع یک سناریو در مطالعات ریسک استفاده از تحلیل درخت خطا (Fault Tree Analysis) است [۲۸]. با استفاده از روش مذکور، تمام علل مؤثر در وقوع سناریو انتخاب شده شناسایی گردید. تحلیل کیفی علل وقوع سناریو، در واقع روشی مؤثر جهت شناسایی نقایص در راستای حذف یا کاهش احتمال وقوع آنها بوده که در نهایت منجر به کاهش احتمال وقوع سناریو انتخابی می‌شود.

مدل سازی پیامد سناریو

هدف از مدل سازی پیامد در این مطالعه تعیین میزان خسارت‌های ناشی از تشعشع حرارتی حریق در فواصل مختلف نسبت به محل وقوع سناریو می‌باشد. مدل سازی بهینه شرایط شبیه سازی شده را تا حد امکان به شرایط واقعی نزدیک می‌سازد.

مدل سازی پیامد شامل مرحله مدل سازی تخلیه، مدل سازی انتشار و مدل سازی اثرات سناریو است [۵].

مدل سازی تخلیه

هدف این مرحله، محاسبه دبی تخلیه مواد بر حسب اندازه نشتی‌های مختلف بوده و با توجه به شرایط عملیاتی (فشار ۱۲۰ بار و دمای ۴۵ درجه سانتی گراد) انجام شد.

مدل سازی انتشار

این مرحله با درنظر گرفتن میانگین پارامترهای آب و هوایی منطقه با هدف تعیین غلظت مواد در محیط‌های تحت تأثیر حادثه انجام شد[۱۲]. داده‌های هواشناسی مورد استفاده در این مطالعه مربوط به یک دوره عملیاتی مخزن V-۱۰۰ در طول ۴ ماه سرد سال می‌باشد. پارامترهای جوی محل مورد مطالعه از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی تهیه گردید. داده‌های مذکور شامل میانگین دمای هوا ($10^{o}C$)، رطوبت نسبی (۶۷%)، پایداری جو (دو کلاس D و F) و سرعت باد (۱/۲ m/s و ۵) بود. کلاس F و D نمایانگر دو وضعیت آب و هوایی غالب در منطقه مورد مطالعه بود.

مدل سازی اثرات

تشعشع ناشی از حریق به عنوان اثر اصلی رخ داد حادثه در نظر گرفته شد. بهترین مدل شناخته شده برای تخمین اثرات مذکور، مدل Cone model بود و در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت[۲۹]. جهت ارزیابی اثرات حوادث در مدت زمان مواجهه ۲۰ ثانیه [۳۰] در آتش فورانی، میزان تشعشع حرارتی در سه گروه kw/m^2 ۴ (حد آستانه درد)، kw/m^2 ۱۲/۵ (حداقل انرژی برای ذوب لوله‌های پلاستیکی و...) و kw/m^2 ۳۷/۵ (تشعشع کافی برای مرگ آنی افراد)، و در آتش ناگهانی در دو گروه LFL ۰/۵ (مشکلات تنفسی) و LFL (مرگ آنی) طبقه بندی شد[۵].

امروزه با توجه به پیچیدگی زیاد روابط و زمان بر بودن محاسبات دستی، مدل سازی با استفاده از نرم افزارهای تخصصی مربوط انجام می‌شود. چندین نرم افزار اختصاصاً جهت ارزیابی پیامد با استفاده از مدل سازی در صنایع فرآیندی معرفی شده‌اند. مناسب‌ترین نرم افزار جهت مدل سازی، نرم افزار PHAST بوده که از دقت بالایی برخوردار است [۵، ۱۲، ۱۳، ۲۰، ۳۱-۳۳].

بدترین سناریو انتخابی در سه اندازه نشتی ۵۰، ۱۰۰، ۲۵۰ میلی متر و نیز پارگی کامل مخزن، با استفاده از نرم افزار PHAST ۷,۱۱ مدل سازی شد.

ارزیابی پیامد

در این گونه مطالعات پس از مدلسازی، آثار حوادث ارزیابی پیامد می‌شوند. برای این منظور ابتدا میزان تلفات و خسارت‌های ناشی از پیامد نهایی سناریو (تشعشع) محاسبه می‌گردد. هدف از ارزیابی پیامد در این مطالعه تعیین میزان مرگ و میر است. در این مطالعه به منظور محاسبه درصد افرادی که تحت تأثیر سناریو تشعشع ناشی از حریق گاز متان نشت کرده از مخزن V-۱۰۰ قرار می‌گیرند از معادلات Probit استفاده شده است [۳۴]

معادلات پرابیت را به صورت کلی می‌توان با رابطه ۱ نشان داد [۲۷، ۳۵]

رابطه ۱:

$$Y = -\frac{36}{38} + \frac{2}{56} Ln\left(t * i^{\frac{4}{3}}\right)$$

Y میزان پرابیت، t زمان مواجهه بر حسب ثانیه و i میزان تشعشع حرارتی برحسب وات بر مترمربع است

بعد از محاسبه مقدار پرابیت (Y)، با استفاده از رابطه ۲ احتمال مرگ و میر این افراد (P) بدست می‌آید [۲۷]

رابطه ۲:

$$P = 0/5\left[1 + \frac{Y-5}{|Y-5|} erf\left(\frac{|Y-5|}{\sqrt{2}}\right)\right]$$

با ترکیب معادله ۲ با توزیع جمعیت (D_p) در محل وقوع حادثه، تعداد افرادی که کشته خواهند شد (N) بر اساس رابطه ۳ بدست می‌آید [۳۶]

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-10-26]

[DOI: 10.21859/johe-03017]

رابطه ۳:

$$N = \int_A P * dA$$

N: تعداد مرگ و میر، P: توزیع جمعیت (نفر/مترمربع)، A: مساحت ناحیه تحت تأثیر (متر مربع)،

یافته‌ها

پس از بررسی تمام سیستم‌های اصلی و فرعی موجود در پالایشگاه، از نظر ریسک ایمنی با استفاده از روش کیفی PHA، در نهایت نقاط خطر بالقوه موجود در سایت شناسایی گردید. نتایج حاصل از آنالیز مقدماتی خطر به همراه بررسی سوابق حوادث موجود و تجربیات متخصصین، ۴ بخش را به عنوان کانون خطر با ریسک بالا شناسایی و معرفی کرد. جهت رتبه بندی ریسک موجود از استاندارد MIL-STD-۸۸۲ استفاده شد [۳۷]. جدول ۱ تعدادی از نقاط خطر با درجات ریسک متفاوت را نشان می‌دهد.

پس از بررسی چک لیست‌های خطر موجود و آنالیزهای خطر از پیش انجام شده، مخزن تحت فشار گاز متان تحت عنوان V-۱۰۰ با فشار ۱۲۰ بار و دمای ۴۵ درجه سانتی گراد به عنوان کانون خطر اصلی و زمینه استخراج سناریوی محتمل معرفی شد.

با مطالعه فرایند، سوابق حوادث و بازدید از سایت، سناریو انتخابی، حریق مخزن مذکور ناشی از نشت گاز متان در نظر گرفته شد.

اندازه لوله‌های متصل به مخزن V-۱۰۰ بین ۵۰ تا ۲۵۰ میلی متر بوده و بر این اساس سناریو محتمل در ۳ اندازه نشتی و ۵۰، ۱۰۰ و ۲۵۰ میلی متر و نیز پارگی کامل مخزن مورد بررسی قرار گرفت [۵، ۲۶، ۲۷]. تحلیل علل وقوع سناریو با استفاده از روش FTA عوامل اصلی اثرگذار در وقوع سناریو انتخابی را مشخص کرد. نتایج حاصل از ترسیم کیفی درخت خطا با استفاده از نرم افزار Microsoft Visio نشان داد که سه عامل نقص مکانیکی، نقص فرایندی و نقص انسانی (رفتار نا ایمن) از عوامل اصلی نشت گاز از مخزن V-۱۰۰ می‌باشند. به علت حجم بالای درخت خطای ترسیم شده، در تصویر ۱ بخشی از FTA نشت گاز از مخزنV-۱۰۰آورده شده است.

نتایج مدلسازی پیامد

جهت مدل سازی پیامد ناشی از وقوع سناریو انتخابی (نشت گاز متان از مخزن V-۱۰۰)، شرایط محیطی و نیز شرایط عملیاتی بررسی گردید. آتش فورانی و آتش ناگهانی ناشی از نشت گاز به عنوان مخاطرات اصلی نشت گاز از مخزن متان مدل سازی شد. نتایج محاسبات فاصله تحت تأثیر در جدول ۲ و ۳ نشان داده شده است. بیشترین مساحت تحت تأثیر تشعشع آتش فورانی مربوط به نشتی با قطر ۲۵۰ mm در تصویر ۲ نشان داده شده است. هر منحنی شدت تشعشع خاصی را در شرایط آب و هوایی F ۱/۲ نشان می‌دهند. همچنین تأثیر وزش باد در جهت مشخص، بر منحنی‌های ایجاد شده، در تصویر X نشان داده شده است. بر اساس تصویر ۲ الف فاصله‌های تحت تأثیر شدت تشعشع ۴، ۱۲/۵ و ۳۷/۵ kw/m^2 در شرایط آب و هوایی پیش فرض، به ترتیب برابر با ۲۴۸، ۳۲۸ و ۴۸۱ متر از محل وقوع حادثه است. احتمال مرگ و میر برای افرادی که داخل دایره قرمز رنگ قرار دارند برابر با ۱ است.

جدول ۱: تعدادی از مخاطرات شناسایی شده در پالایشگاه گاز به روش PHA

ردیف	مخاطره	سطح ریسک
۱	مخزن تحت فشار گاز متان	خیلی بالا
۲	مبدل حرارتی	بالا
۳	مخزن ذخیره میعانات	بالا
۴	خط لوله تحت فشار	بالا
۵	جدا کننده ۲ فازی میعانات	متوسط
۶	پکیج هوا	کم

جدول ۲: مساحت تحت تأثیر (m^2) ناشی از آتش فورانی مخزن متان V-100 در سه اندازه نشتی ۵۰، ۱۰۰ و ۲۵۰ میلی متر

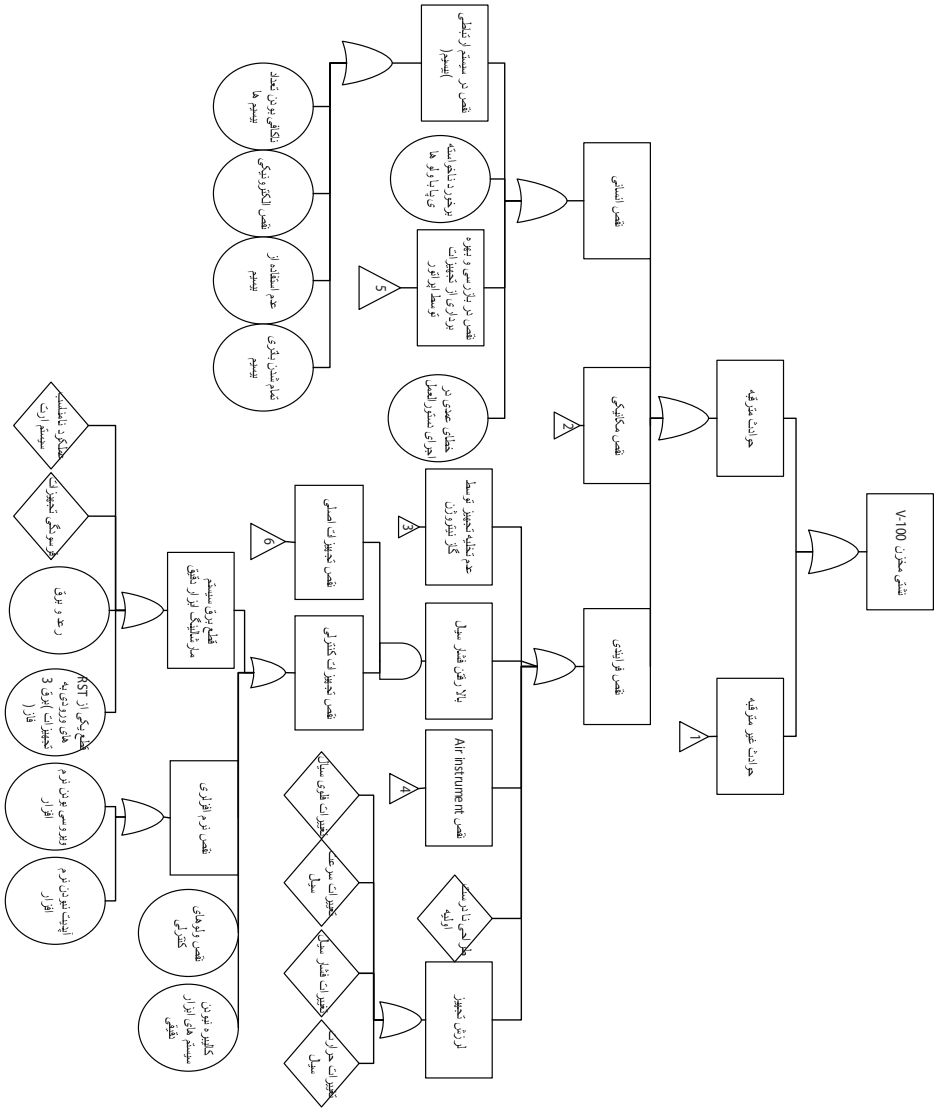
میزان تشعشع (kw/m^2)	۴			۱۲/۵			۳۷/۵		
	شرایط آب و هوایی								
اندازه نشتی (میلی متر)	F ۱/۲	D ۱/۲	D ۵	F ۱/۲	D ۱/۲	D ۵	F ۱/۲	D ۱/۲	D ۵
۵۰	۸۴۷۱/۷	۸۴۵۲	۷۸۴۹/۳	۲۸۶۵/۶	۲۸۵۹/۹	۲۹۲۸/۳	۸۹۹/۶	۸۹۷/۹	۱۰۲۰/۶
۱۰۰	۵۹۷۵۴/۸	۸۶۶۰۸/۸	۵۵۶۳۲/۵	۱۸۷۳۶/۲	۱۸۶۸۴/۵	۱۹۱۲۲/۲	۵۷۴۹/۹	۵۷۳۵/۵	۶۳۷۸
۲۵۰	۳۶۰۰۰۳/۸	۳۵۸۶۳۰/۶	۳۴۶۴۸۵/۶	۱۱۳۸۶۲/۷	۱۱۳۴۵۴/۵	۱۱۶۷۰۱	۳۴۳۲۰/۸	۳۴۲۰۵/۶	۳۷۱۰۴

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-10-26]

[DOI: 10.21859/johe-03017]

نتایج همچنین نشان داد که نشتی ۲۵۰ mm خطرناک‌ترین آتش ناگهانی را نیز به دنبال خواهد داشت. تصویر ۲ ب محدوده تحت تأثیر بدترین آتش ناگهانی را در شرایط آب و هوایی ۱/۲ D و ۵D نشان می‌دهد. شدت تشعشع بالای ناشی از این حادثه منجر به مرگ تمام افراد موجود تا فاصله ۳۳۰ متر در شرایط ۱/۲ D و ۳۶۰ متر در شرایط ۵D خواهد شد. وقوع این حادثه همچنین منجر به ایجاد مشکلات تنفسی در فاصله ۴۴۲ متر (۱/۲ D) و ۴۸۷ متر (۵D) می‌گردد.

بر اساس نتایج جدول ۲ کمترین پیامدهای ایجاد شده ناشی از آتش فورانی در اندازه نشتی ۵۰mm و در شرایط آب و هوایی ۱/۲ D خواهد بود. همچنین پارگی کامل مخزن کمترین پیامد ایجاد شده ناشی از آتش ناگهانی را به دنبال خواهد داشت (جدول ۳).



تصویر ۱: بخشی از درخت خطا سناریو انتخاب شده

جدول ۳: فاصله تحت تأثیر (m) ناشی از آتش ناگهانی مخزن متان ؤV-۱۰۰

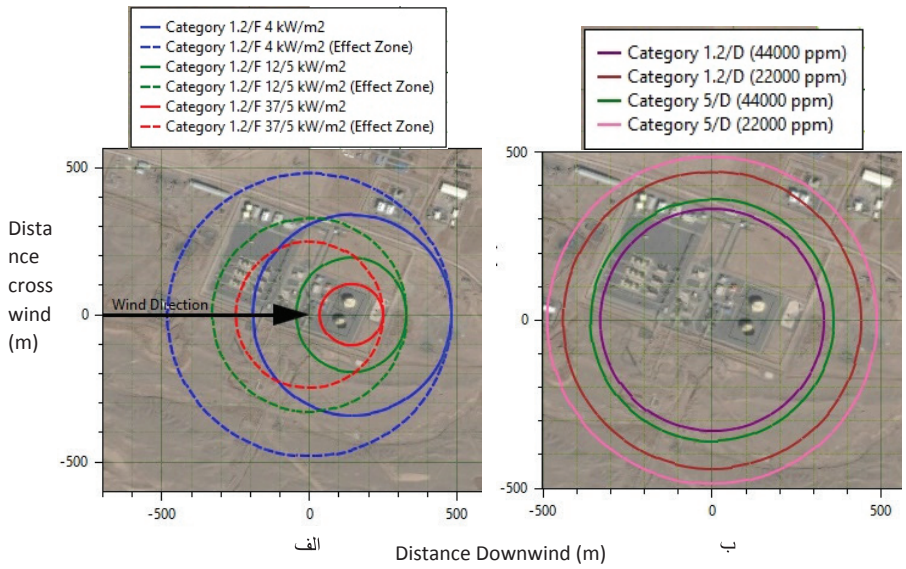
	۰/۵ LFL			LFL		
	۱/۲ F	**۱/۲ D**	**۵ D**	**۱/۲ F**	**۱/۲ D**	**۵ D**
۵۰	۱۲۴/۵	۱۱۸/۸	۱۲۷/۱	۵۶/۶	۵۴/۳	۵۴/۳
۱۰۰	۲۹۷/۴	۲۹۵/۶	۳۰۸	۱۶۷/۶	۱۵۸/۶	۱۶۷
۲۵۰	۴۳۹/۵	۴۳۹/۵	۴۸۷/۳	۳۰/۳	۳۳۰/۳	۳۵۹/۹
پارگی کامل	۲۵/۶	۲۵/۶	۳۷	۱۹/۲۷	۱۹/۲۷	۲۳/۴

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-10-26]

[DOI: 10.21859/johe-03017]

جدول ۴: ارزیابی خسارات ناشی از وقوع آتش فورانی در اندازه نشتی ۲۵۰ mm

شدت تشعشع	مساحت تحت تأثیر (m^2)	مقدار Probit	درصد مرگ و میر	تعداد مرگ و میر
۴	۳۴۶۴۸۵/۶	-۰/۴	۰	۰
۱۲/۵	۱۱۶۷۰۱	۳/۴۹	۶/۵۲	۵
۳۷/۵	۳۷۱۰۴	۷/۲۴	۹۸/۷۴	۲۳



تصویر ۲: مساحت تحت تأثیر آتش الف) آتش فورانی و ب) آتش ناگهانی در اندازه نشتی ۲۵۰ mm

نتایج ارزیابی خسارات ناشی از وقوع سناریوی انتخابی در اندازه نشتی ۲۵۰mm به عنوان خطرناک‌ترین اندازه نشتی در وقوع آتش فورانی در جدول ۴ آورده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده صورت وقوع حادثه در شدت تشعشع ۳۷/۵ kw/m^2 تعداد مرگ و میر برابر با ۲۳ نفر خواهد بود.

بحث

در مطالعه حاضر تحلیل کمی ریسک حریق مخازن گاز متان در یک پالایشگاه گاز مورد بررسی قرار گرفت. پیامد اصلی حادثه مذکور میزان مرگ و میر افراد ناشی از حریق در نظر گرفته شد. با توجه به ماهیت گاز تحت فشار موجود در مخزن مورد مطالعه، پیامدهای اصلی این مخزن در صورت نشت گاز، آتش فورانی و آتش آنی برآورد شد. عدم وجود مایعات قابل اشتعال در مخزن، وقوع آتش استخری و انفجار بخار مایع در حال جوش (BLEVE) را غیر ممکن می‌سازد. در این مطالعه احتمال وقوع انفجار مورد بررسی قرار نگرفت. نتایج حاصل از آنالیز مقدماتی خطر، مخزن گاز متان V-۱۰۰ با فشار عملیاتی ۱۲۰ بار و دمای ۴۵ درجه سانتی گراد را به عنوان اصلی‌ترین کانون خطر موجود معرفی کرد. در همین راستا سناریو حریق مخزن مذکور در سه اندازه نشتی و نیز حالت پارگی کامل مخزن بررسی شد. تحلیل علل وقوع سناریو مورد نظر، سه گروه نقایص مکانیکی، نقایص فرآیندی و نیز علل انسانی را به عنوان علل اصلی وقوع سناریو انتخابی معرفی کرد.

در این مطالعه جهت مدل سازی پیامد از نرم افزار PHAST ۷.۱۱.۳۳ استفاده شد. این نرم‌افزار یکی از پرکاربردترین و قابل اعتمادترین نرم‌افزارها در جهت مدل سازی نشت مواد است [۳۸].

میثمی و همکاران [۳۸] رویبز و همکاران [۳۹] و ویتلاکس و همکاران [۴۰] این نرم افزار را به عنوان ابزاری مفید و قابل اعتماد در جهت مدل سازی و مطالعه پیامدهای انتشار مواد قابل اشتعال و سمی معرفی کردند.

فرانک و همکاران، نرم افزار PHAST را به عنوان مفیدترین نرم افزار جهت پیش بینی اثرات نشت مواد در خارج از محوطه ساختمان معرفی کردند [۴۱] در مطالعه دیگری توسط هنک و همکاران، نتایج ارائه شده توسط این نرم افزار با داده‌های واقعی بررسی شد. در این مطالعه اعتبار نتایج حاصل از نرم افزار PHAST تأیید گردید [۴۲]. همچنین در مطالعه لنگری و همکاران با هدف مقایسه کارایی نرم افزار

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-10-26]

[DOI: 10.21859/johe-03017]

PHAST و ALOHA، نتایج به دست آمده نشان داد که نرم افزار PHAST نتایج بهتری را نسبت به نرم افزار ALOHA به دست می‌دهد. در این مطالعه، مهم‌ترین ویژگی نرم افزار PHAST، توانایی تعریف جریان مخلوطی از مواد است که امتیاز بزرگی به ویژه در صنایع نفت و گاز محسوب می‌شود [۴۳]

با توجه به میزان تراکم تجهیزات، و فاز ماده تخلیه شده تنها آتش ناگهانی و آتش فورانی در صورت وقوع نشت گاز متان از مخزن محتمل بوده و این دو آتش به عنوان ۲ پیامد اصلی وقوع سناریو انتخابی در نظر گرفته شد. نتایج مدل سازی پیامد آتش فورانی نشان داد که اندازه نشتی تأثیر قابل توجهی در مساحت تحت تأثیر تشعشع داشته به طوری که نشتی ۲۵۰ میلی متر بیشترین مساحت و نشتی ۵۰ میلی متر کمترین مساحت را به خود اختصاص دادند (جدول ۲). پارگی کامل مخزن با توجه به تخلیه آنی مخزن گاز متان منجر به وقوع آتش فورانی نخواهد شد. در تمام اندازه نشتی‌های مورد بررسی، شعاع حریق، سایر مخازن تحت فشار گاز متان و نیز مخازن میعانات موجود در پالایشگاه را به عنوان منابع ثانویه حریق در بر می‌گیرد. تصویر ۲a خطرناک‌ترین حالت آتش فورانی را که ناشی از نشتی ۲۵۰ میلی متر است نشان می‌دهد. در این اندازه نشتی ساختمان اداری و نیز استراحت گاه کارکنان پالایشگاه نیز در محدوده خطر قرار می‌گیرند.

تحلیل شرایط آب و هوایی گویای این مطلب است که در تمام اندازه نشتی‌ها، به جز شدت تشعشع $۴\ kw/m^۲$ افزایش سرعت باد تأثیر مستقیمی در شعاع ایجاد شده داشت. هرچند میزان پایداری جو در تمام سناریو تأثیر قابل توجهی بر شعاع مذکور نداشت. (جدول ۲). همچنین جهت وزش باد بیشترین تأثیر را در تغییر ناحیه تحت تأثیر آتش فورانی داشت (تصویر ۲).

ارزیابی پیامد ناشی از آتش ناگهانی اندازه نشتی ۲۵۰mm را به عنوان مخرب‌ترین حالت وقوع سناریو و پارگی کامل مخزن را به عنوان کم خطرترین حالت وقوع معرفی کرد (جدول ۳). تحلیل شرایط آب و هوایی در هر دو وضعیت ۱/۲ LFL و LFL نشان داد که با افزایش سرعت باد، میزان مساحت تحت تأثیر افزایش می‌یابد. با این وجود، میزان پایداری جو تأثیر قابل توجهی در مساحت تحت تأثیر نخواهد داشت. هرچند در اندازه نشتی‌های ۵۰ و ۱۰۰ mm در وضعیت LFL، شرایط آب و هوایی F ۱/۲ به عنوان بدترین شرایط معرفی شد (جدول ۳).

سیونگ کیو و همکاران در سال ۲۰۱۴ در مطالعه‌ای با هدف مدل سازی پیامدهای نشت گاز طبیعی از مخازن، اندازه قطر نشتی را عاملی مؤثر در گسترش محدوده تحت تأثیر انفجار، آتش فورانی و آتش ناگهانی عنوان کردند [۲] که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد. در مطالعه‌ای دیگر توسط مرتضوی و همکاران با هدف بررسی نشت گاز کلر از مخازن، افزایش پایداری جو به عنوان عاملی در جهت افزایش محدوده تحت تأثیر معرفی شد [۴۴].

بیشترین میزان مرگ و میر ناشی از وقوع آتش فورانی مربوط به نشتی ۲۵۰ میلی متر و در شرایط 5D (۳۲ نفر) برآورد گردید. با توجه به سیاست گسترش پالایشگاه مورد مطالعه و نیز جذب نیروی کاری بیشتر و همچنین پیشرفت مرزهای شهری و مناطق مسکونی، در صورت وقوع حادثه در آینده، میزان مرگ و میر بیشتر از میزان محاسبه شده در مطالعه حاضر خواهد بود. در نتیجه، استفاده از دستگاه‌های مناسب برای تشخیص نشتی، حذف علل منجر به وقوع نشتی، و استفاده از اقدامات مناسب و عملی برای کاهش احتمال و شدت حوادث بالقوه برای کاهش تلفات احتمالی و مرگ و میر پیشنهاد می‌شود.

با توجه به این که بیشتر مطالعات صورت گرفته در این زمینه، مربوط به مخازن LPG، نفت، گاز هیدروژن و یا ایستگاه‌های گاز طبیعی فشرده (CNG) است [۵, ۹, ۲۱, ۴۵]، و وابستگی بسیار زیاد مدل سازی نشت مواد شیمیایی به ماهیت ماده، شرایط آب و هوایی و شرایط فرآیندی، مقایسه نتایج مطالعه با مطالعاتی که از نظر موارد ذکر شده با مطالعه حاضر تفائت داشته باشند، برآورد درستی به دست نمی‌دهد. در نتیجه به عدم انجام مطالعات مشابه، عدم امکان مقایسه نتایج مطالعات با یکدیگر به خاطر ماهیت این گونه مطالعات، و فقدان ارزش علمی و وجود عدم قطعیت در نتایج چنین مطالعاتی، در این مطالعه مقایسه نتایج با نتایج سایر مطالعات بیشتر از موارد اشاره شده، امکان پذیر نمی‌باشد.

سپاسگزاری

این مطالعه بخشی از پایان نامه نویسنده اول است که با پشتیبانی دانشگاه علوم پزشکی همدان انجام گردیده است. بدینوسیله نویسنده از دانشگاه علوم پزشکی همدان و گروه بهداشت حرفه‌ای این دانشگاه که در تحقق این امر همکاری داشته‌اند تشکر و قدردانی می‌نماید.

تضاد منافع

هیچ گونه تضاد منافعی برای نویسندگان این مقاله وجود ندارد.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-10-26]

[DOI: 10.21859/johe-03017]

REFERENCES

1. Mousavi J, Parvini M. Analyzing effective factors on leakage-induced hydrogen fires. J Loss Prev Process Ind. 2016;40:29-42. DOI: 10.1016/j.jlp.2015.12.002
2. Dan S, Lee CJ, Park J, Shin D, Yoon ES. Quantitative risk analysis of fire and explosion on the top-side LNG-liquefaction process of LNG-FPSO. Process Saf Environ Prot. 2014;92(5):430-41. DOI: 10.1016/j.psep.2014.04.011
3. Haghnazarloo H, Parvini M, Lotfollahi MN. Consequence modeling of a real rupture of toluene storage tank. J Loss Prev Process Ind. 2015;37:11-8. DOI: 10.1016/j.jlp.2015.06.007
4. Vinnem JE. On the development of failure models for hydrocarbon leaks during maintenance work in process plants on offshore petroleum installations. Reliability Eng Sys Saf. 2013;113:112-21. DOI: 10.1016/j.ress.2012.12.016
5. Mohammadfam I, Zarei E. Safety risk modeling and major accidents analysis of hydrogen and natural gas releases: A comprehensive risk analysis framework. Int J Hydrogen Energy. 2015;40(39):13653-63. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2015.07.117
6. Khan FI, Abbasi S. Towards automation of HAZOP with a new tool EXPERTOP. Environ Modell Softw. 2000;15(1):67-77. DOI: 10.1016/S1364-8152(99)00022-5
7. Azadeh A, Mohammad Fam I. A framework for development of integrated intelligent human engineering environment. Inf Technol J. 2006;5(2):290-9. DOI: 10.3923/itj.2006.290.299
8. Chang JI, Lin C-C. A study of storage tank accidents. J Loss Prev Process Ind. 2006;19(1):51-9. DOI: 10.1016/j.jlp.2005.05.015
9. Nouri J, Azadeh A, Fam IM. The evaluation of safety behaviors in a gas treatment company in Iran. J Loss Prev Process Ind. 2008;21(3):319-25. DOI: 10.1016/j.jlp.2007.11.006
10. Shaluf IM, Ahmadun F-R, Said AM. Fire incident at a refinery in West Malaysia: the causes and lessons learned. J Loss Prev Process Ind. 2003;16(4):297-303. DOI: 10.1016/S0950-4230(03)00021-4
11. Khan FI, Abbasi S. Major accidents in process industries and an analysis of causes and consequences. J Loss Prev Process Ind. 1999;12(5):361-78. DOI: 10.1016/S0950-4230(98)00062-X
12. Azadeh M, Keramati A, Mohammadfam I, Jamshidnedjad B. Enhancing the availability and reliability of power plants through macroergonomics approach. J Sci Ind Res. 2006;65(11):873.
13. Tong S-j, Wu Z-z, Wang R-j, Wu H. Fire Risk Study of Long-distance Oil and Gas Pipeline Based on QRA. Procedia Eng. 2016;135:368-74. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.01.144
14. Sovacool BK, Andersen R, Sorensen S, Sorensen K, Tienda V, Vainorius A, et al. Balancing safety with sustainability: assessing the risk of accidents for modern low-carbon energy systems. J Cleaner Prod. 2016;112:3952-65. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.07.059
15. Azadeh A, Mohammadfam I, Sadjadi M, Hamidi Y, Kianfar A. An Integrated and Multivariate Model along with Designing Experiments Approach for Assessment of Micro- and Macro- Ergonomic Factors: The Case of a Gas Refinery. J Res Health Sci. 2008;8(2):28-39. PMID: 23344071
16. Van den Schoor F, Middha P, Van den Bulck E. Risk analysis of LPG (liquefied petroleum gas) vehicles in enclosed car parks. Fire saf j. 2013;57:58-68. DOI: 10.1016/j.firesaf.2012.10.026
17. Krause E, Krzemień K. Methane risk assessment in underground mines by means of a survey by the panel of experts (SOPE). J Sustainable Min. 2014;13(2):6-13. DOI: 10.7424/jsm140202
18. Bernatík A, Libisova M. Loss prevention in heavy industry: risk assessment of large gasholders. J Loss Prev Process Ind. 2004;17(4):271-8. DOI: 10.1016/j.jlp.2004.04.004
19. Hendrick MF, Ackley R, Sanaie-Movahed B, Tang X, Phillips NG. Fugitive methane emissions from leak-prone natural gas distribution infrastructure in urban environments. Environ Pollut. 2016;213:710-6. DOI: 10.1016/j.envpol.2016.01.094 PMID: 27023280
20. Soltanzadeh A, Mohammadfam I, Moghimbeigi A, Ghiasvand R. Key factors contributing to accident severity rate in construction industry in Iran: a regression modelling approach. Arh Hig Rada Toksikol. 2016;67(1):47-53. DOI: 10.1515/aiht-2016-67-2687 PMID: 27092639
21. Rathnayaka S, Khan F, Amyotte P. Accident modeling approach for safety assessment in an LNG processing facility. J Loss Prev Process Ind. 2012;25(2):414-23. DOI: 10.1016/j.jlp.2011.09.006
22. Parvini M, Gharagouzlou E. Gas leakage consequence modeling for buried gas pipelines. J Loss Prev Process Ind. 2015;37:110-8.
23. Gressel MG, Gideon JA. An overview of process hazard evaluation techniques. Am Ind Hyg Assoc J. 1991;52(4):158-63. DOI: 10.1080/15298669191364514 PMID: 2069123
24. Nolan DP. Safety and Security Review for the Process Industries: Application of HAZOP, PHA, What-if and SVA Reviews: Elsevier; 2014.
25. Dadashzadeh M, Khan F, Hawboldt K, Amyotte P. An integrated approach for fire and explosion consequence modelling. Fire Saf J. 2013;61:324-37. DOI: 10.1016/j.firesaf.2013.09.015
26. Jafari M, Mohammadfam I, Zarei E. Analysis and simulation of severe accidents in a steam methane reforming plant. Int J Occup Hyg. 2015;6(3):120-30.
27. Grossel S. Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis. New York: Wiley; 2000.
28. Lavasani SM, Zendegani A, Celik M. An extension to Fuzzy Fault Tree Analysis (FFTA) application in petrochemical process industry. Process Saf Environ Prot. 2015;93:75-88. DOI: 10.1016/j.psep.2014.05.001
29. Soares CG, Teixeira A. Probabilistic modelling of offshore fires. Fire Saf J. 2000;34(1):25-45. DOI: 10.1016/S0379-7112(99)00051-X
30. Jo YD, Ahn BJ. A method of quantitative risk assessment for transmission pipeline carrying natural gas. J Hazard Mater. 2005;123(1-3):1-12. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2005.01.034 PMID: 15913887
31. Gant S, Narasimhamurthy V, Skjold T, Jamois D, Proust C. Evaluation of multi-phase atmospheric dispersion models for application to Carbon Capture and Storage. J Loss Prev Process Ind. 2014;32:286-98. DOI: 10.1016/j.jlp.2014.09.014
32. Parvini M, Kordrostami A. Consequence modeling of explosion at Azad-Shahr CNG refueling station. J Loss Prev Process Ind. 2014;30:47-54. DOI: 10.1016/j.jlp.2014.04.007
33. Dziubiński M, Frątczak M, Markowski A. Aspects of risk analysis associated with major failures of fuel pipelines. J Loss Prev Process Ind. 2006;19(5):399-408. DOI: 10.1016/j.jlp.2005.10.007
34. Lees F. Lees' Loss Prevention in the Process Industries: Hazard Identification, Assessment and Control: Butterworth-Heinemann; 2012.
35. Moonis M, Wilday A, Wardman M. Semi-quantitative risk assessment of commercial scale supply chain of hydrogen fuel and implications for industry and society. Process Saf Environ Prot. 2010;88(2):97-108. DOI: 10.1016/j.psep.2009.11.006
36. Fabbrocino G, Iervolino I, Orlando F, Salzano E. Quantitative risk analysis of oil storage facilities in seismic areas. J Hazard Mater. 2005;123(1-3):61-9. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2005.04.015 PMID: 15908107
37. Mohammadfam I, Kalatpour O, Golmohammadi R, Khotanlou H. Developing a process equipment failure knowledge base using ontology approach for process equipment related incident investigations. J Loss Prev Process Ind. 2013;26(6):1300-7. DOI: 10.1016/j.jlp.2013.07.013
38. Meysami H, Ebadi T, Zohdirad H, Minepur M. Worst-case identification of gas dispersion for gas detector mapping using dispersion modeling. J Loss Prev Process Ind. 2013;26(6):1407-14. DOI: 10.1016/j.jlp.2013.08.019
39. Ruiz-Sánchez T, Nelson PF, François J-L, Cruz-Gómez MJ, Mendoza A. Application of the accident consequence analysis in the emergency system design of an SI cycle hydrogen production plant. Int J Hydrogen Energy. 2012;37(8):6965-75. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2012.01.116
40. Witlox HW, Harper M, Oke A. Modelling of discharge and atmospheric dispersion for carbon dioxide releases. J Loss Prev Process Ind. 2009;22(6):795-802. DOI: 10.1016/j.jlp.2009.08.007
41. Renshaw FM. A major incident prevention program: Ten years of experience12. Process Saf Prog. 2004;23(2):155-62. DOI: 10.1002/prs.10023
42. Witlox HW, Oke A. Verification and validation of consequence models for accidental releases of hazardous chemicals to the atmosphere. Institution Of Chemical Engineers Symposium Series2008.
43. Langari M, Shamohammadi E, Rashtchian D. Consequence modeling analysis with PHAST and ALOHA computer software. First International Conference of inspection and safety in the oil and energy industries2011.
44. Mortazavi S, Parsarad M, Asilian Mahabadi H, Khavanin A. Evaluation of chlorine dispersion from storage unit in a petrochemical complex to providing an emergency response program. Iran Occup Health. 2011;8(3):68-77.
45. Koo J, Kim H, So W, Kim K, Yoon E, editors. Safety assessment of LNG terminal focused on the consequence analysis of LNG spills. Proceedings Of The 1st Annual Gas Processing Symposium; 2009.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-10-26]

[DOI: 10.21859/johe-03017]

Journal of Occupational Hygiene Engineering Original Article
No 9, Volume 3, Issue 1

Evaluation of Consequence Modeling of Fire on Methane Storage Tanks in a Gas Refinery

Sara Shahedi Aliabadi [1], Mohammad Javad Assari [2], Omid Kalatpour [2], Esmaeil Zarei [3], Iraj Mohammadfam [4,*]

[1] *Msc Student in Occupational Health Engineering, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran*
[2] *Assistant Professor, Department of Occupational Hygiene, School of Public Health and Research Center for Health Sciences, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan,Iran*
[3] *PhD Student of Occupational Health Engineering, Faculty of Health, Hamadan University of Medical Science, Hamadan, Iran*
[4] *Professor, Department of Occupational Health Engineering, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran*

** Corresponding author: Iraj Mohammadfam, Department of Occupational Health Engineering, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran. E-mail: mohammadfam@umsha.ac.ir*

DOI: 10.21859/johe-03017

Received: 26.06.2016
Accepted: 30.08.2016

Keywords:
Consequence Modeling
Risk Analysis
Fire
Gas Refinery

How to Cite this Article:
Shahedi Aliabadi S, Assari MJ, Kalatpour O, Zarei E, Mohammadfam I. Evaluation of Consequence Modeling of Fire on Methane Storage Tanks in a Gas Refinery. J Occup Hyg. 2016;2(4):51-59. DOI: 10.21859/johe-03017

© 2016 Hamedan University of Medical Sciences.

Abstract

Introduction: As a consequence of using fossil fuels, some hazards such as explosion and fire are probable. This study was aimed towards consequence modeling of fire on methane storage tanks in a gas refinery using risk analysis, as well as modeling and evaluating the related consequences.

Methods: Hazard analysis by PHA was used to choose the worst case scenario. Then, causes of the scenario were determined by FTA. After that, consequence modeling by the PHAST software was applied for consequence analysis.

Results: Based on some criteria, the fire of methane gas tank (V-100) was selected as the worst case scenario at the refinery. The qualitative fault tree showed three factors including mechanical, process, and human failure contributing in gas leakage. The leakage size and weather conditions were effective on the distance of radiation. Using consequence modeling, thermal radiation was considered as the major outcome of the incident. Finally, for outcome evaluation, probit equations were used to quantify losses and the percentage of fatalities due to methane gas leakage and fire occurrence. The maximum number of fatalities caused by fire was obtained as 23 persons.

Conclusions: In conclusion, the methane gas vessel in a refinery can be considered as the main center of hazard; therefore, the implementation of safety rules, eliminating mechanical failures, personal protection and education, and effective measures to prevent and fight fire are proposed for decreasing the probable losses and fatalities.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-10-26]
[DOI: 10.21859/johe-03017]