واکاوی پیامدهای آتش‌سوزی و انفجار مخازن استوانه‌ای ذخیره گاز مایع در یک صنعت منتخب نفت و گاز

حمید کاریزنوی[۱]، علی‌اصغر فرشاد[۲]، رسول یاراحمدی[۳]، یحیی خسروی[۴]، پیمان یاری[۵]

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۲۵ تاریخ ویرایش: ۹۴/۱۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۵/۳۵/۱۹

چکیده

زمینه و هدف: با توجه به حوادث رخداده در اثر نشت گاز مایع (LPG)، موضوع واکاوی پیامد آتش‌سوزی و انفجار مخازن ذخیره حاوی این ماده از اهمیت زیادی برخوردار است. هدف از مطالعه حاضر واکاوی پیامدهای آتش‌سوزی و انفجار یک مخزن استوانه‌ای ذخیره LPG در یک صنعت منتخب نفت و گاز است.

روش بررسی: در این مطالعه تحلیلی، چهار سناریوی نقص، شامل گسیختگی یک مخزن استوانه‌ای ذخیره LPG، نشتی مخزن از محل لوله ورودی، نشتی مخزن از محل دریچه آدم‌رو و باز شدن شیر ایمنی و پیامدهای آتش‌سوزی و انفجار متناظر با آن‌ها توسط نرم‌افزار PHAST شبیه‌سازی شد. سپس نتایج به‌دست‌آمده با معیارهای موجود مقایسه شد و شدت آسیب رسانی پیامدها مشخص گردید.

یافته‌ها: با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، ناحیه اثر آتش کروی ناشی از سناریوی گسیختگی مخزن با شدت تشعشع۳۷/۵ تا شعاع ۲۹۰ متر از محل مخزن است که با توجه به خطوط راهنما، در این میزان شدت تابش، احتمال آسیب عمده به تجهیزات فرآیندی، تخریب سازه‌ها و مرگ‌ومیر قطعی افراد حاضر در این ناحیه وجود دارد. در پیامد آتش ناگهانی این سناریو، در محدوده‌ای به شعاع ۵۰۵ متر احتمالمرگ‌ومیرافرادصددرصداست. در پیامد انفجار ناشی از گسیختگی مخزن، موج انفجار bar 2/0 تا شعاع ۲۰۹۲ متری قابل مشاهده است. سناریوی نشتی از محل دریچه آدم‌رو نیز شامل پیامدهای آتش فورانی، انفجار و آتش ناگهانی است. هم‌چنین سناریوهای نشتی از محل لوله ورودی و باز شدن شیر ایمنی، پیامدهای آتش فورانی و آتش ناگهانی را به دنبال خواهد داشت.

نتیجه‌گیری: با توجه به شدت پیامدهای سناریوی اول و احتمال رخ دادن حوادث زنجیره‌ای در تأسیسات ذخیره گاز مایع، پیشنهاد می‌شود به‌جای مخازن استوانه‌ای افقی از مخازن کروی استفاده شود و هم‌چنین برنامه جامع واکنش در شرایط اضطراری در اولویت‌های نخست واحد ایمنی قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: واکاوی پیامد، آتش‌سوزی، انفجار، مخازن LPG، PHAST.

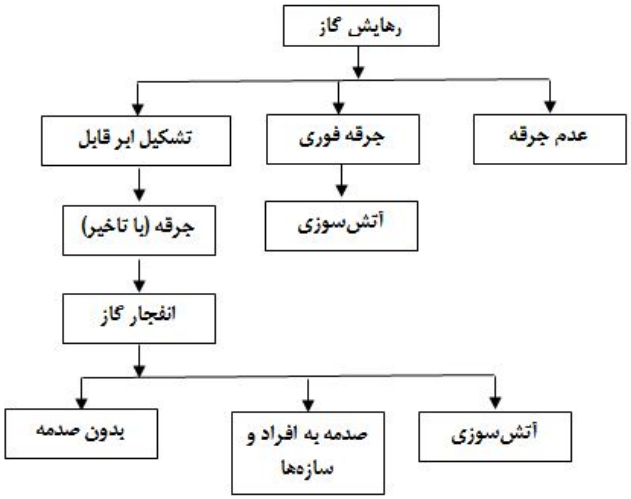
مقدمه

رهایش مواد شیمیایی از تأسیسات فرآیندی یکی از مهم‌ترین خطرات صنایع فرآیندی است که می‌تواند سلامت کارکنان و عموم مردم در همسایگی تأسیسات را در صورت وقوع حوادثی که منجر به رهایش این مواد شود در معرض خطر قرار دهد [۱، ۳]. علی‌رغم تلاش‌های فراوان صنایع و کارخانه‌ها در جهت کنترل و جلوگیری از رهایش این مواد و مدیریت ریسک عوامل شیمیایی مخاطره‌آمیز در محیط کار بروز حوادث فاجعه‌آمیز همواره وجود دارد که توجه به اولویت‌های پژوهشی در این زمینه را ضروری می‌سازد [۵-۳]. یکی از این مواد که قابلیت اشتعال و انفجار بالایی نیز دارد، گاز مایع (LPG) است. این ماده که به‌عنوان سوخت در وسایل گازسوز خانگی، سوخت جایگزین در خودروها، جایگزین گاز فرئون در قوطی‌های آئروسلی و... استفاده می‌شود، ماده‌ای اشتعال‌پذیر، سنگین‌تر از هوا، دارای نقطه‌جوش و انجماد پایین، فراریت بالا و محدوده اشتعال‌پذیری بین ۲ تا ۱۰ درصد حجم هوا است، ازاین‌رو در اثر نشت سریعاً تبدیل به بخار شده و تجمع آن باعث افزایش ریسک آتش‌سوزی و انفجار می‌گردد [۶]. ازجمله حوادث مرتبط با گاز مایع شامل حادثه مکزیکوسیتی (۱۹۸۴) که به علت نشت گاز از خط لوله و آتش‌سوزی و انفجار در پایانه LPG پمیکس سان جانیکو شهر مکزیکوسیتی باعث کشته شدن ۵۰۰ نفر و تخریب کامل پایانه شد [۷]، حادثه فیزین فرانسه که در سال ۱۹۶۶ در اثر نشت LPG و پدیده BLEVE،

۱- کارشناس ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.
۲- (نویسنده مسئول) مرکز تحقیقات بهداشت کار، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.fdgir@yahoo.com
۳- مرکز تحقیقات آلودگی هوا ،دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.
۴- مرکز تحقیقات بهداشت، ایمنی و محیط زیست (HSE)، دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران.
۵-کارشناس ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-19]

حدود ۲۰ کشته و ۹۰ مصدوم را در پی داشت [۸]، هم‌چنین وقوع ۴۱ حادثه مهیب در یک دهه اخیر در تأسیسات گاز مایع کشور کره و مرگ ۳۱ نفر در اثر نشت این گاز در ایتالیا و تخریب گسترده ساختمان‌های مجاور، جزء برخی از حوادث مهم ناشی از عملیات حاوی گاز مایع است [۹]. با توجه به حوادث ذکرشده فوق در اثر نشت این ماده، درمی‌یابیم که علاوه بر ایمنی ذخیره‌سازی، مواجهه شغلی و زیستی با پتانسیل‌های منتشره پس از حوادث صنعتی و زیست‌محیطی از اهمیت زیادی برخوردار است [۱۰]. در پالایشگاه‌ها پس از پالایش نفت خام، مقدار زیادی از این ماده قابل اشتعال، در کنار سایر فرآورده‌های نفتی تولید می‌شود. این ماده پس از تولید وارد مخازن ذخیره‌ای که در داخل پالایشگاه قرار دارند می‌شود؛ بنابراین وقوع حوادث آتش‌سوزی و انفجار براثر نشت این ماده در واحدهای ذخیره‌سازی و پالایشگاه‌ها بسیار محتمل است. ایجاد آتش‌سوزی یا انفجار پس از نشت مواد، بستگی به زمان ایجاد جرقه دارد، به‌طوری‌که جرقه زودهنگام پس از نشت، منجر به ایجاد آتش‌سوزی و جرقه تأخیری انفجار را در پی خواهد داشت (شکل ۱) [۱۱]. در مطالعه‌ای که درمحمدی و همکاران به‌منظور ارزیابی کمی ریسک بر روی یک ایستگاه سیلندرپرکنی گاز مایع انجام دادند؛ نتایج شبیه‌سازی پیامد با استفاده از نرم‌افزار PHAST نشان داد که مهم‌ترین پیامدهای این ایستگاه به ترتیب آتش فورانی، آتش ناگهانی و آتش کروی است که دراین‌بین آتش فورانی دارای بیش‌ترین و آتش استخری دارای کم‌ترین گرمای تابشی بود. در این مطالعه مشخص شد که بیش‌ترین فاصله اثر و انرژی تابشی ناشی از آتش فورانی به ترتیب ۱۰۴۰ متر و $۴۰۰ kw/m^2$ است، هم‌چنین فاصله ایمن ۲۲۵ متر محاسبه شد که خارج از حدومرز ایستگاه است [۹]. لی و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای حوادث مخازن LPG را که در اثر زمین‌لرزه‌ی سال ۲۰۱۱ در توکیو رخ داد ارزیابی نمودند؛ بر اساس این مطالعه در یک پالایشگاه، ۱۷ مخزن ذخیره گاز مایع در اثر آتش‌سوزی و انفجار آسیب دیدند یا به‌طور کامل از بین رفتند. حجم این مخازن بین ۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ مترمکعب بود. درنتیجه این حادثه پنج BLEVE اتفاق افتاد که پیامد آن آتش کروی به قطر حدود ۵۰۰ متر بود [۱۲]. این نتایج نشان‌دهنده شعاع خطر بالا برای تأسیسات گاز مایع است. جهت تعیین حریم خطر آتش‌سوزی و انفجار، از روش‌های مدل‌سازی پیامد استفاده می‌شود. مدل‌سازی پیامد شامل مدل‌سازی رهایش مواد در محیط و به دنبال آن



شکل ۱- پیامدهای ناشی از رهایش تصادفی گاز قابل اشتعال(۸)

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-19]

مدل‌سازی پیامدهای ناشی از آتش‌سوزی یا انفجار این مواد است. این کار به دلیل پیچیدگی معادلات و زمان‌بر بودن حل آن‌ها، توسط نرم‌افزارهای کامپیوتری انجام می‌گیرد. نرم‌افزار تحلیل خطرات فرآیندی PHAST، یکی از قوی‌ترین و مشهورترین نرم‌افزارهایی است که از سوی مؤسسه DNV به این منظور عرضه شده است. ازجمله ویژگی‌های این نرم‌افزار شامل بانک اطلاعاتی قدرتمند از مواد و مدل‌های شبیه‌سازی، امکان تعریف مخلوط مواد، توانایی تطبیق نتایج روی نقشه و امکان رسم نمودارهای متغیر با زمان است [۱۳]. مطالعات متعددی در داخل کشور درزمینه مدل‌سازی و ارزیابی پیامد حریق و انفجار به طور مجزا یا به‌عنوان بخشی از تحلیل کمی ریسک (QRA) انجام شده است که از جمله برخی از آن‌ها می‌توان به مطالعه محمدفام و زارعی در رهایش گاز طبیعی و هیدروژن در سال ۲۰۱۵ [۱۴]، مطالعه پروینی و همکاران [۱۵] و بدری و همکاران [۱۶] در ایستگاه‌های CNG، به ترتیب در سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۱، مطالعات زارعی و همکاران در واحدهای تولید هیدروژن در سال ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ [۱۷،۱۸] و مطالعه حق‌نظرلو در ذخیره‌سازی تولوئن در سال ۲۰۱۵ [۱۹] اشاره کرد. از آن جا که اغلب مطالعات انجام گرفته در سایر فعالیت‌های صنعتی، خدماتی و یا بیمارستانی مورد توجه محققین بوده است [۲۲-۲۰]. لذا مخازن ذخیره‌سازی گاز مایع کمتر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. لذا مطالعه حاضر با هدف شناسایی و تحلیل سناریوهای محتمل رهایش گاز مایع از یک مخزن استوانه‌ای ذخیره در یک صنعت منتخب نفت و گاز از طریق واکاوی پیامدهای آتش‌سوزی و انفجار ناشی از این سناریوها است.

روش بررسی

در یکی از تأسیسات ذخیره گاز مایع که فرآورده‌ی LPG پس از تولید در پالایشگاه، جهت ذخیره‌سازی وارد آن می‌شود، تعداد ۹۶ مخزن استوانه‌ای افقی وجود دارد که هر کدام ظرفیت نگهداری ۱۵۹ تن گاز مایع را دارند. هیچ‌گونه برنامه‌ای جهت واکاوی پیامد در این واحد انجام نگرفته است. به‌منظور اجرای برنامه واکاوی پیامد در این تأسیسات از نرم‌افزار PHAST.6.7 استفاده شد. این نرم‌افزار، قادر به مدل‌سازی انواع سناریوها، شامل گسیختگی مخزن ذخیره، پارگی خط لوله، پارگی صفحه پاره شونده، نشتی، شکست سقف مخزن، خط لوله طولانی، باز شدن دریچه ایمنی و غیره است. در این مطالعه با توجه به نتایج شناسایی خطرات، بررسی حوادث گذشته و با استفاده از تجربیات متخصصان، ۴ سناریوی نقص، شامل گسیختگی مخزن استوانه‌ای، نشتی مخزن از محل لوله ورودی، نشتی مخزن از محل دریچه آدم‌رو و باز شدن دریچه ایمنی انتخاب شد. جهت شبیه‌سازی این سناریوها، پارامترهای موردنیاز، تعیین شد. پارامترهای مربوط به مخزن و سناریوها که شامل نوع مخزن، ظرفیت مخزن، دما و فشار عملیاتی مخزن، اندازه نشتی، ارتفاع محل نشتی از سطح زمین و فاز رهایش ماده، است؛ با مطالعه و بررسی مستندات موجود در واحد و با توجه به نمایشگرهای نصب‌شده بروی مخزن به دست آمد (جدول ۱ و ۲). در پارامترهای محیطی نیز متوسط دمای محیط، سرعت جریان باد و میزان رطوبت محیط با توجه به تغییر آن در ماه‌های گرم و سرد سال، بر اساس داده‌های موجود در سایت هواشناسی مشخص شد. درجه پایداری جوی با توجه به بدترین حالت ممکن شرایط منطقه، برای ماه‌های سرد، کلاس G و برای ماه‌های گرم، کلاس C درنظر گرفته شد، ناهمواری نسبی نیز با توجه به موقعیت جغرافیایی منطقه، ۲۵ سانتی‌متر لحاظ گردید (جدول ۳). سپس داده‌های موردنظر، وارد نرم‌افزار PHAST شد. پیامدهای محتمل برای هر سناریو به‌وسیله‌ی نرم‌افزار مورد بررسی قرار گرفت و نتایج خروجی آن به‌صورت نمودار نمایش داده شد که خلاصه‌ی نتایج این خروجی‌ها برای هر سناریو در جدول جداگانه‌ای آورده شده است. درنهایت این نتایج با معیارهای موجود مقایسه و شدت آسیب‌رسانی پیامدها مشخص گردید.

سناریوی اول، گسیختگی مخزن: این سناریو وضعیتی

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-19]

جدول ۱- پارامترهای مربوط به منبع انتشار در وضعیت عادی

پارامتر	
نوع مخزن	استوانه‌ای – افقی
ظرفیت مخزن (kg)	۱۵۹۰۰۰
فشار مخزن (psi)	۵۰
دمای مخزن ($^{\circ}F$)	۷۰

جدول ۲- پارامترهای مربوط به سناریوها

پارامتر	سناریوی اول	سناریوی دوم	سناریوی سوم	سناریوی چهارم
اندازه نشتی(mm)	–	۷۶	۵۰۸	۸۵
فاز رهایش	مایع	گاز	گاز	گاز
ارتفاع محل نشتی(m)	۲/۲	۱/۱	۲/۲	۱/۴

جدول ۳- میانگین پارامترهای محیطی تأسیسات ذخیره گاز مایع

پارامتر	ماه‌های سرد	ماه‌های گرم
دمای محیط (c)	۷	۳۶
رطوبت نسبی (%)	۵۲	۲۵
سرعت باد ($\frac{m}{s}$)	۴	۵
درجه پایداری جوی	G	C
ناهمواری نسبی (m)	۰/۲۵	۰/۲۵

جدول ۴- مقادیر معیار اندازه نشتی ارائه‌شده توسط DNV(۲۳)

تجهیزات	مقدار معیار برای مدل‌سازی
لوله‌های با قطر کم‌تر از ۱/۵ اینچ	۵ میلی‌متر و گسیختگی کامل
لوله‌های با قطر بین ۲ تا ۶ اینچ	۵ میلی‌متر، ۲۵ میلی‌متر و گسیختگی کامل
لوله‌های با قطر بین ۸ تا ۱۲ اینچ	۵ میلی‌متر، ۲۵ میلی‌متر، ۱۰۰ میلی‌متر و گسیختگی کامل
مخازن	گسیختگی کامل خطوط ورودی و خروجی و تخلیه ناگهانی
پمپ‌ها	بسته به قطر لوله‌های ورودی و خروجی، نشتی از درزگیر به قطرهای ۵، ۲۵ و ۱۰۰ میلی‌متر

است که امکان ایجاد حادترین پیامدها را بـه دنبـال دارد. در ایـن سـناریو مخـزن مـوردنظر بـا ظرفیـت ۱۵۹۰۰۰ کیلوگرم گاز مایع (حالتی که ۸۵٪ مخـزن پـر اسـت)، بـا دمای ۷۰ درجه فارنهایت و فشار psi ۵۰ دچار گسیختگی شده و محتویات آن به‌طور ناگهانی در فاز مایع به بیـرون رها می‌شود.

سناریوی دوم، نشتی مخزن از محل لوله ورودی: این سناریو به دلیل ایجاد سوراخ یا شکاف در بدنـه مخـزن از محل لوله ورودی ایجادشده کـه در اثـر آن گـاز مـایع در محیط رها می‌شود. اندازه نشتی در این سناریو مطـابق بـا جدول ۴، ۷۶ میلی‌متر (گسیختگی کامل لولـه ورودی) در نظر گرفته شد. فاز رهایش نیز به‌صورت گاز است.

سناریوی سوم، نشتی مخزن از محل دریچـه آدم‌رو: در این سناریو، مخزن موردنظر از محـل دریچـه‌ی آدم‌رو که جهت لایه روبی داخل مخزن تعبیه شده اسـت، دچـار نشتی می‌شود. اندازه نشتی در ایـن سـناریو بـا توجـه بـه جدول ۴، ۵۰۸ میلی‌متر (گسیختگی کامل دریچه) در نظر گرفته شد. فاز رهایش نیز به‌صورت گاز است.

سناریوی چهارم، باز شدن شیر ایمنی: در این سناریو، شیر ایمنی تعبیه‌شده در قسمت انتهایی مخزن با قطر ۸۵ میلی‌متر، در اثر تغذیه بیش‌ازحد مخزن، افـزایش فشـار و افزایش دمای داخلی مخزن به دلیل افزایش مقدار پروپان

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-19]

جدول ۵- معیارهای ارزیابی پیامد حوادث واحد ذخیره‌سازی گاز مایع و توصیف آن‌ها(۲۴)

پیامد	شاخص		آسیب
آتش کروی – آتش فورانی	سطح اول	$۴\ kw/m^2$	حد آستانه درد و سوختگی درجه دوم
	سطح دوم	$۱۲/۵\ kw/m^2$	حداقل انرژی برای ذوب لوله‌های پلاستیکی
	سطح سوم	$۳۷/۵\ kw/m^2$	آسیب به تجهیزات فرآیندی و مرگ فوری افراد
آتش ناگهانی	سطح اول	$LFL\frac{1}{2}$	مشکلات تنفسی
	سطح دوم	LFL	مرگ فوری
انفجار	سطح اول	۰/۰۲bar	حریم ایمن
	سطح دوم	۰/۱۳bar	آسیب جزئی
	سطح سوم	۰/۲bar	آسیب متوسط

جدول ۶- پیامدهای ممکن در اثر سناریوی اول و نتایج عددی مربوط به آن

پیامد	بیش‌ترین شعاع پوشش داده‌شده در ماه‌های سرد(m)			بیش‌ترین شعاع پوشش داده‌شده در ماه‌های گرم(m)		
	سطح اول	سطح دوم	سطح سوم	سطح اول	سطح دوم	سطح سوم
آتش کروی	۱۱۵۰	۶۳۰	۲۹۰	۱۰۶۰	۵۸۰	۲۵۰
انفجار	۱۰۴۴۳	۲۷۰۴	۲۰۹۲	۱۰۴۴۳	۲۷۰۴	۲۰۹۲
آتش ناگهانی	۱۲۳۰	۵۰۵	-	۱۲۵۰	۵۲۰	-

جدول ۷- پیامدهای ممکن در اثر سناریوی دوم و نتایج عددی مربوط به آن

پیامد	بیش‌ترین شعاع پوشش داده‌شده در ماه‌های سرد(m)			بیش‌ترین شعاع پوشش داده‌شده در ماه‌های گرم(m)		
	سطح اول	سطح دوم	سطح سوم	سطح اول	سطح دوم	سطح سوم
آتش فورانی	۲۴	۶/۵	-	۲۴	۶	-
آتش ناگهانی	۳/۶	۱/۳	-	۳/۷	۱/۵	-

و... فعال‌شده و به‌منظور جلوگیری از گسیختگی مخزن مقداری از گاز مایع را به محیط بیرون رها می‌کند. فاز رهایش در این سناریو نیز به‌صورت گاز است.

یافته‌ها

در این مطالعه با توجه به این‌که از دیدگاه ایمنی، مواجهه افراد با مواد سمی بسیار ناچیز و کمتر از حد آسیب‌زایی هست، لذا از خطر مسمومیت افراد صرف‌نظر شده است و خطرات فقط از دیدگاه آتش‌سوزی و انفجار مورد بررسی و مدل‌سازی قرار گرفتند. در جدول ۵ معیارهای ارزیابی پیامد مورداستفاده در این مطالعه آورده شده است. پیامدهای ممکن در اثر وقوع سناریوهای اول، دوم، سوم و چهارم و نتایج عددی مربوط به مدل‌سازی در جداول ۶ تا ۹ ارائه‌شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که شرایط آب‌وهوایی تأثیر زیادی در شدت پیامدهای سناریوی اول دارد (شکل ۲ و ۳).

جدول ۸- پیامدهای ممکن در اثر سناریویسوم و نتایج عددی مربوط به آن

پیامد	بیش‌ترین شعاع پوشش داده‌شده در ماه‌های سرد (m)			بیش‌ترین شعاع پوشش داده‌شده در ماه‌های گرم(m)		
	سطح اول	سطح دوم	سطح سوم	سطح اول	سطح دوم	سطح سوم
آتش فورانی	۱۷۳	۸۲	–	۱۶۸	۸۲	–
انفجار	۱۰۴۰	۲۹۱	۲۳۲	۱۰۸۹	۲۹۶	۲۳۴
آتش ناگهانی	۳۷	۱۳	-	۲۷	۱۲	-

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-19]

جدول ۹- پیامدهای ممکن در اثر سناریوی چهارمو نتایج عددی مربوط به آن

پیامد	بیش‌ترین شعاع پوشش داده‌شده در ماه‌های سرد(m)			بیش‌ترین شعاع پوشش داده‌شده در ماه‌های گرم(m)		
	سطح اول	سطح دوم	سطح سوم	سطح اول	سطح دوم	سطح سوم
آتش فورانی	۵۴	۱۹	-	۵۳	۱۸	-
آتش ناگهانی	۸/۷	۳/۳	-	۷/۸	۳/۲	-

بحث و نتیجه‌گیری

پیامدهای اصلی واحد ذخیره‌سازی گاز مایع شامل آتش کروی، آتش ناگهانی، آتش فورانی و انفجار است، با توجه به این‌که گاز مایع در شرایط فشار و دمای عادی به‌صورت گاز است، بنابراین امکان وقوع آتش استخری (Pool Fire) در این تأسیسات وجود ندارد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، در اثر سناریوی اول پیامدهای آتش کروی، انفجار و آتش ناگهانی محتمل هستند. در اثر پیامد آتش کروی در بدترین حالت ممکن تا شعاع ۲۹۰ متر از محل مخزن و در جهت‌های مختلف، شدت تشعشع ۳۷/۵ است که با توجه به خطوط راهنما، در این میزان شدت تابش، احتمال آسیب عمده به تجهیزات فرآیندی، تخریب سازه‌ها و مرگ‌ومیر قطعی افراد حاضر در این ناحیه وجود دارد. همان‌طور که در شکل ۲ و ۳ قابل مشاهده است، ناحیه اثر پیامد آتش کروی در سطح اول و دوم، خارج از حد و مرز تأسیسات گاز مایع است و نیروگاه گاز باقرشهر، جاده‌های اطراف تأسیسات و بخشی از روستای مجاور را نیز شامل می‌شود. در محدوده سطح دوم پیامد آتش ناگهانی (۵۰۵ متر) در بدترین حالت، ناحیه‌ای که غلظت گاز مایع برابر حد پایین اشتعال (LFL) است، احتمال مرگ‌ومیر افراد صددرصد است، لذا تمام افراد حاضر در این محدوده به دلیل مواجهه با تشعشع بسیار بالای آتش ناگهانی کشته خواهند شد. در محدوده سطح اول پیامد آتش ناگهانی (۱۲۳۰ متر)، ناحیه‌ای که غلظت گاز مایع برابر نصف حد پایین اشتعال (۰/۵LFL) است، افراد دچار مشکلات تنفسی و جراحت خواهند شد. در اثر پیامد انفجار، موج انفجار ۰/۲ bar تا شعاع ۲۰۹۲ متری قابل‌مشاهده است. همان‌طور که در جدول ۶ قابل مشاهده است، شرایط آب‌وهوایی تأثیری بر ناحیه اثر انفجار در این سناریو ندارد. نتایج مدل‌سازی سناریوی دوم و چهارم نشان داد که پیامدهای محتمل شامل آتش فورانی و آتش ناگهانی است. هم‌چنین پیامدهای سناریوی سوم شامل آتش فورانی، انفجار و آتش ناگهانی است. نتایج این مطالعه نشان داد که در سناریوی اول شدت تشعشع آتش کروی در فواصل یکسان در ماه‌های سرد بیش‌تر از ماه‌های گرم است هم‌چنین شدت تشعشع آتش ناگهانی، در فواصل یکسان در ماه‌های سرد بیش‌تر از ماه‌های گرم است (محدوده اشتعال‌پذیری در ماه‌های سرد در فاصله کم‌تری تحقق

شکل ۲- خطوط گسترش درصد مرگ‌ومیر درنتیجه آتش کروی(ماه‌های سرد)

شکل ۳- خطوط گسترش درصد مرگ‌ومیر درنتیجه آتش کروی (ماه‌های گرم)

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-19]

می‌یابد) (جدول ۶). دلیل این امر پایداری بیش‌تر جو یا تبادلات جوی عمودی کم‌تر در ماه‌های سرد نسبت به ماه‌های گرم است. شرایط آب‌وهوایی تأثیر قابل‌توجهی بر شدت پیامد سناریوهای دوم، سوم و چهارم ندارد. دلیل آن می‌تواند محدود بودن ناحیه اثر این سناریوها باشد. مطالعه درمحمدی و همکاران در سال ۲۰۱۳ نشان داد که در شرایط آب‌وهوایی سرد، شدت تشعشع آتش فورانی و آتش ناگهانی بیش‌تر است که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد؛ اما مطالعه ایشان نشان داد، شرایط آب‌وهوایی تأثیری بر شدت تشعشع ناشی از آتش کروی ندارد که با نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه همسو نیست [۷]. مطالعه زارعی و همکاران در سال ۲۰۱۳ نشان داد که در فواصل یکسان، شدت تشعشع ناشی از آتش ناگهانی در شرایط آب‌وهوایی گرم بیش‌تر است [۱۵] که با نتایج مطالعه حاضر هم‌خوانی ندارد. لازم به ذکر است که بررسی تأثیر شرایط آب‌وهوایی بر عواملی مانند شعاع خطر و شدت تشعشع به فاکتورهای مختلفی بستگی دارد که تحلیل دقیق اثرات آن نیاز به بکارگیری روش‌های تحلیل حساسیت است.

در بین ۴ سناریوی موردنظر، سناریوی اول (گسیختگی مخزن) پیامدهای بسیار قابل‌توجهی را نشان می‌دهد. با توجه به ناحیه اثر پیامدهای این سناریو، وجود مخازن طویل با فواصل نسبتاً کم از یکدیگر (حدوداً ۳ متر) و هم‌چنین وجود واحدهای فرآیندی در اطراف تأسیسات، احتمال رخ دادن حوادث زنجیره‌ای (Domino Effect) در این تأسیسات و واحدهای مجاور وجود دارد. لذا با توجه به معایبی که مخازن استوانه‌ای افقی دارند، پیشنهاد می‌شود به‌جای آن‌ها از مخازن کروی استفاده شود. هم‌چنین جهت افزایش سطح ایمنی تأسیسات، لازم است تمام قوانین ایمنی مربوط به ذخیره‌سازی گاز مایع با توجه ویژه‌ای مورد استقرار و پایش قرار گیرد و جهت کاهش شدت تلفات انسانی، برنامه جامع واکنش در شرایط اضطراری این تأسیسات با در نظر گرفتن نتایج حاصل از مطالعه حاضر در اولویت‌های نخست واحد ایمنی قرار گیرد.

تقدیر و تشکر

بدین‌وسیله از مسئولین و کارشناسان شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده‌های نفتی ایران و کارکنان تأسیسات ذخیره گاز مایع به خاطر حمایت همه‌جانبه در روند پیشرفت این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

1. Jahangiri M, Parsarad A. Determination of hazard distance of chemical release in a petrochemical industry by chemical exposure index (CEI). Iran Occupational Health. 2010;7(3):55-62.[Persian]

2. Khosravirad F, Mohammadfam E, Zarei E, Shoja E, Majidi Daryani M. Explosion risk analysis on Town Border Stations (TBS) of natural gas using Failure Mode & Effect Analysis FMEA (and Fault Tree Analyses FTA)methods. Iran Occupational Health. 2016;12(6):11-20. [Persian]

3. Mortazavi SB, 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 Occupational Health. 2011;8(3):68-77.[Persian]

4. Yarahmadi R, Moridi P, Roumiani Y. Health, safety and environmental risk management in laboratory fields. Med J Islam Repub Iran. 2016; 30:343.

5. Farshad AA, Mirkazemi R, Taheri F, Moridi P, Ghaemi Mood S, Alamdar M. Research priority in occupational health. IOH. 2017;14(1):123-133.

6. Turgut P, Gurel MA, Pekgokgoz RK. LPG explosion damage of a reinforced concrete building: A case study in Sanliurfa, Turkey. Engineering Failure Analysis. 2013;32:220-35.

7. Pietersen CM. Analysis of the LPG-disaster in Mexico City. Journal of hazardous materials. 1988;20:85-107.

8. Torok Zn, Ajtai N, Turcu AT, Ozunu A. Comparative consequence analysis of the BLEVE phenomena in the context on Land Use Planning; Case study: The Feyzin accident. Process Safety and Environmental Protection. 2011;89(1):1-7.

9. 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.

10. Moridi P, Atabi F, Nouri J, Yarahmadi R. Selection of optimized air pollutant filtration

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-19]

technologies for petrochemical industries through multiple-attribute decision-making. Journal of Environmental Management. 2017 Jul 15;197:456-63.

11. Bjerketvedt D, Bakke JR, Van Wingerden K. Gas explosion handbook. Journal of hazardous materials. 1997;52(1):1-150.

12. Li X, Koseki H, Mannan MS. Case study: Assessment on large scale LPG BLEVEs in the 2011 Tohoku earthquakes. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2014.

13. Jahangiri M, Norozi M, Sareban Zadeh K. Risk Assessment & Management: Fanavaran; 2013. 409 p.[Persian]

14. Mohammadfam I, Zarei E. Safety risk modeling and major accidents analysis of hydrogen and natural gas releases: A comprehensive risk analysis framework. International Journal of Hydrogen Energy. 2015;40(39):13653-63.

15. Parvini M, Kordrostami A. Consequence modeling of explosion at Azad-Shahr CNG refueling station. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2014;30:47-54.

16. Badri N, Nourai F, Rashtchian D. The role of quantitative risk assessment in improving hazardous installations siting: a case study. Iran J Chem Chem Eng Vol. 2011;30(4).

17. 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.

18. Zarei E, Jafari M, 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. 2013;10(6):54-69.[Persian]

19. Haghnazarloo H, Parvini M, Lotfollahi MN. Consequence modeling of a real rupture of toluene storage tank. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2015;37:11-8.

20. Yarahmadi R, Gholizade A, Jafari MJ, Kohpae A, Mahdinia M. Performance Assessment and analysis of national building codes with fire safety in all wards of a hospital. Iran Occupational Health. 2009 Apr 15;6(1):28-36.

21. Mahdinia M, Yarahmadi R, Jafari M J, Koohpaei A R. Presentation of a software method for use of Risk assessment in Building Fire Safety Measure Optimization. IOH. 2012;9(1):9-16.

22. Shirali G, Yarahmadi R, Kazemi. Fire risk assessment by Engineering Approach and Applied strategies for fire protection. ioh. 2015;12(5):75-82.

23. Zarei E, Dormohammadi A. Semi-quantitative and quantitative risk assessment in the process industries focusing on methods on QRA, LOPA, DOW Index. Fanavaran Press, Tehran; 2014. [Persian]

24. Casal J. Evaluation of the effects and consequences of major accidents in industrial plants: Elsevier; 2007.[Persian]

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-19]

Consequence analysis of fire and explosion of a cylindrical LPG tanks in an oil and gas industry

Hamid Kariznovi[1], Ali AsgharFarshad[2], Rasoul Yarahmadi[3], Yahya Khosravi[4], PeymanYari[5]

Received: 2016/01/15 Revised: 2016/03/10 Accepted: 2016/06/08

Abstract

Background and aims: Accidents happened as a result of LPG leakage emphasizesthe importance of the consequence analysis of fire and explosion in LPG storage tanks. The purpose of this study is to analysis the consequences of fire and explosion in a cylindrical LPG storage tank in an oil and gas industry.

Methods: In this analytical study, four possible failure scenarios including 1) rupture in the cylindrical LPG tank 2) leakage from the loading line 3) leakage from the tank manhole and 4) undesirable opening of the safety valve, and their fire and explosion consequences were simulated by PHAST software. Thenthe results were compared with existing standards

Results: The scenario of tank rupture leads to a radiation flux 37.5 kw/m2 affect a radius of 290 m from tank location that can cause major life and property losses. As the result of a flash fire due to the tanker rupture, there is a possibility of life-threatening to a radius of 520 m. An explosion (resulting from the tank rupture) with blast wave of 0.2 bar affect a radius of 2092 m that can cause the life and property losses. The scenario of leakage from the tank manhole leads to jet fire, explosion and flash fire. Also, the jet fire and flash fire will follow by the scenarios of leakage from the loading and undesirable opening of the safety valve.

Conclusion: With attention to severity the tank rupture and the likelihood of occurrence of the domino effect, it is recommended to substitute the horizontal cylindrical LPG tanks by the spherical ones. Also, an emergency response plan should be established based on the result of this study.

Keywords: Consequence Analysis, Fire, Explosion, LPG Tank, PHAST.

1. Department of Occupational Health Engineering, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
2. (**Corresponding author**) Occupational Health Research Center (OHRC), Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran. fdgir@yahoo.com
3. Air Pollution Research Center, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
4. Research Center for Health, Safety and Environment (RCHSE), Alborz University of Medical Sciences, Karaj, Iran.
5. Department ofOccupational Health Engineering, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-19]