

“Research article”

Investigating the Probable Safety and Invironmentally Consequences of Propane Reservoir Incidents in Behran Oil Refinery by using PHAST Software

Hamid Ansari¹, Fatemeh Ardestani^{2*}

¹ Department of Chemical Engineering, QaS.C., Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran

² Department of Chemical Engineering, QaS.C., Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran

*Corresponding author: Fatemeh.Ardestani@iau.ac.ir

(Received: 04 February 2025, Accepted: 03 June 2025)

Abstract

Leakage of flammable substances from storage tanks of petroleum products is a dangerous factor of fire and explosion. The consequences of the explosion of propane tanks were evaluated. The stages of study was determining the objectives of outcome assessment, unit description, risk identification, scenario analysis, modeling the consequences and determining the methods of controlling and reducing the consequences. Five causes and two consequences were investigated in three scenarios to create the BLEVE phenomenon using PHAST software. By creating an explosion wave from the origin to a radius of 80 meters with a power of more than 0.3 bar, the person in the closed or open space is 100% damaged and from a radius of 80 to 150 meters at a pressure of less than 0.3 to 0.1 bar, the person was 25% injured indoors and unharmed outdoors. In case of inlet line leakage, flame length, radiation power and eruption speed were estimated to be 56.34 m, 190.48 kW/m² and 278.89 m/s, respectively. The strength of the BLEVE phenomenon from the origin to a radius of 30 meters was equal to 0.2068 bar, from a radius of 30 to 40 meters, 0.1379 bar and from a radius of 40 to 155 meters 0.02068 bar. Enclosing the reservoir area, periodic technical inspections, forming an emergency response team, rapid evacuation of people, detect gas leaks, controlling fire sources and ignition shutting down the system can reduce the risk of manpower and invironmental damages to a safe level.

Conflict of interest: None declared.

Keywords: Explosion, PHAST, Process incidents, Propane reservoir, Risk assessment.



"مقاله پژوهشی"

ارزیابی پیامدهای احتمالی ایمنی و زیست محیطی حوادث مخزن پروپان پالایشگاه نفت

بهران به کمک نرم افزار PHAST

حمید انصاری^۱، فاطمه اردستانی^{۲*}

^۱ گروه مهندسی شیمی، واحد قائم شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم شهر، ایران

^۲ گروه مهندسی شیمی، واحد قائم شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم شهر، ایران

* نویسنده مسئول مکاتبات Fatemeh.Ardestani@iaui.ac.ir

(دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۱۱/۱۶، پذیرش نهایی: ۱۴۰۴/۰۳/۱۳)

چکیده

نشت مواد آتش گیر از مخازن ذخیره فرآورده‌های نفتی علاوه بر ایجاد آلودگی‌های زیست محیطی، یکی از عوامل خطر آتش سوزی و انفجار نیز می‌باشد. در این تحقیق، پیامدهای مرتبط با ایمنی و محیط زیست ناشی از انفجار مخازن پروپان در پالایشگاه نفت ارزیابی گردید. مراحل این پژوهش شامل تعیین اهداف ارزیابی پیامدها، شرح واحد، شناسایی خطر، تحلیل سناریوها، مدل‌سازی پیامدها و تعیین روش‌های کنترل و کاهش پیامدها انجام شد. پنج علت و دو پیامد در قالب سه سناریو جهت ایجاد پدیده BLEVE با استفاده از نرم‌افزار PHAST بررسی شد. نتایج نشان داد که با ایجاد موج انفجار از مبدا تا شعاع ۸۰ متر با قدرت بیش از ۰/۳ بار، فرد در فضای بسته یا آزاد ۱۰۰٪ آسیب دیده و همچنین از شعاع ۸۰ تا ۱۵۰ متری در فشار کم‌تر از ۰/۳ تا ۰/۱ بار، فرد در فضای بسته ۲۵٪ آسیب دیده و در فضای آزاد بدون آسیب بود. در صورت نشت لاین ورودی، طول شعله، قدرت تابش و سرعت فوران آن به ترتیب ۵۶/۳۴ متر، ۱۹۰/۴۸ کیلووات بر مترمربع و ۲۷۸/۸۹ متر بر ثانیه برآورد گردید. قدرت پدیده BLEVE از مبدا تا شعاع ۳۰ متر معادل ۰/۲۰۶۸ بار، از شعاع ۳۰ تا ۴۰ متری، ۰/۱۳۷۹ بار و از شعاع ۴۰ تا ۱۵۵ متری ۰/۰۲۰۶۸ بار تخمین زده شد. با اجرای اقدامات کاهش‌دهنده پیامدها شامل محصور کردن، بازرسی‌های ادواری، تیم واکنش در شرایط اضطراری، تخلیه سریع افراد، شناسایی نشت گاز، کنترل منابع حریق و خاموش کردن سیستم می‌توان ریسک آسیب‌های ایمنی و زیست محیطی را به محدوده ایمن کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی پیامد، انفجار، حوادث فرایندی، مخزن گاز پروپان، PHAST

مقدمه

نشت مواد سمی خطرناک و آتش گیر در صنایع فرآیندی و شیمیایی همواره یکی از مخاطراتی است که افراد شاغل، ساکنین اطراف این صنایع و همچنین محیط زیست را تهدید می نماید. خطر آتش سوزی و انفجار به ترتیب از اولین و دومین خطرات اصلی در صنایع فرآیندی محسوب می شوند (۱). مخازن ذخیره ساز فرآورده های نفتی یکی از منابع مهم به وجود آورنده حوادث فرآیندی می باشد. امروزه اتخاذ تصمیم های کلیدی در صنعت بدون شناسایی و ارزیابی مخاطرات احتمالی مرتبط با ایمنی کارکنان و ایجاد آلودگی های زیست محیطی امکان پذیر نمی باشد. روش های شناسایی عوامل بالقوه خطر و بکارگیری صحیح آن ها، عامل مهمی در مسیر پیاده سازی سیستم های مدیریت ایمنی و کاهش هزینه های تولید خواهد شد. آنالیز پیامد ابزار مهمی است که مهندسین ایمنی و محیط زیست با هدف ارزیابی ریسک ناشی از فعالیت های صنعتی به منظور تعیین میزان خطرات احتمالی ناشی از حوادث آن به کار می گیرند (۲). حوادث فرآیندی عمده ترین و بارزترین علل ایجاد کننده هزینه های هنگفت در صنایع و پالایشگاه ها و مگا- پروژه های کشور ما هستند. به منظور اجرای اقدامات حفاظتی در خصوص مناطق اطراف و محدوده های پالایشگاهی گازی بایستی طرحی به منظور بررسی منابع مخاطرات از جمله خطوط لوله فرآیندی، مخازن کروی، برج های تقطیر و غیره وجود داشته باشد و سپس آنالیز پیامد سناریوهای مختلف ایجاد کننده بحران مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت مرزبندی نقاط و محدوده های تاثیرگذار و تاثیرپذیر ناشی از وقوع این سناریوها تعیین و اقدامات کنترلی صورت

پذیرد (۳ و ۴). نرم افزارهای زیادی جهت تسهیل مدل سازی وجود دارد. نرم افزار PHAST از شرکت DNV GL نروژ از جمله این نرم افزارهاست که می تواند تخلیه و انتشار مواد را مدل سازی کرده و در ادامه آثار ناشی از پیامدهای آتش، انفجار و نشر مواد سمی در محیط زیست اطراف را بررسی نماید. این نرم افزار چگونگی حرکت و تغییرات فیزیکی و شیمیایی توده ی مواد از هنگام تخلیه به محیط تا مکان تأثیرگذاری را به دقت مدل سازی کرده و پیامدهای محتمل را پیش بینی می نماید (۵). تحقیقی در واحد مخازن نفتی شرکت پالایش و پخش نفت شهید تندگویان تهران مطالعاتی به منظور مشخص نمودن شعاع خطر حریق و انفجار مخازن و نشر گازهای سمی در محیط زیست با هدف اجرای تمهیدات ایمنی و زیست محیطی برای ایجاد حریم ایمن اطراف این مخازن انجام گرفت (۶). همچنین در پژوهشی دیگر در شرکت پالایش نفت تبریز با استفاده از نرم افزار PHAST نتایج به دست آمده از آنالیز سناریوهای منتخب نشان داد که آستانه ایجاد سوزش و درد در اثر حرارت ناشی از آتش فورانی و استخری در افراد در هر دو شرایط تقریباً یکسان بوده و در مورد آتش استخری پس از نشت مواد به مدت ۱۰ دقیقه شعاع این استخر به ۲۲ متر رسیده و پس از مشتعل شدن تا فاصله ۹۰ متری از این حریق معادل با مرگ آنی پرسنل می باشد (۷). اولین قدم در بررسی و ارزیابی پیامدهای حوادث احتمالی همانند رهایش مواد خطرناک در یک واحد فرآیندی، مدل سازی این رهایش می باشد. پس از انجام این مرحله می توان به مدل سازی پیامدهای بعدی که ممکن است ایجاد گردد مثل آتش سوزی و یا انفجار پرداخت و نیز در صورت

سمی بودن مواد پخش شده، میزان آسیب وارد شده بر اثر پخش مواد را تخمین زد (۸).

بخش عمده انفجارهای مربوط به گسترش بخارهای مایع در حال جوش (BLEVE)^۱ در هنگام تصادف تانکرهای خودرویی و یا در خطوط ریلی حمل گازهای مایع^۲ رخ داده است. از مهم‌ترین عوامل موثر در بروز این پدیده می‌توان به فشار مخزن، خرابی مکانیکی و یا خوردگی در مخزن تحت فشار و یا قرار گرفتن یک مخزن تحت فشار در معرض حرارت و آتش سوزی اشاره نمود. زمانی که یک مخزن حاوی موادی در دمایی بالاتر از دمای نقطه بحرانی در فشار اتمسفر بوده و چنین مخزنی در معرض حرارت قرار گیرد یا به هر نحوی مایع درون مخزن شروع به جوشش کند این مخزن می‌تواند دچار رخداد BLEVE شود. در نهایت به سبب عدم پایداری مخزن در فشار بالا، مخزن از یک نقطه منفجر می‌گردد و حجم بالایی از مواد قابل اشتعال به محیط انتقال می‌یابد که به سبب داغ و سبک بودن به سمت بالا حرکت کرده و در صورتی که در مسیر حرکت به سمت بالا دچار حریق شود پدیده آتش گلوله ای^۳ را ایجاد می‌کند (۵ و ۶). از سال ۱۹۵۱ تا سال ۱۹۸۴ بیش از ۱۹ مورد از انفجارهای نوع BLEVE رخ داده که مهم‌ترین و بزرگ‌ترین انفجار رخ داده در ۱۹ نوامبر سال ۱۹۸۴ انفجار مخازن کروی و استوانه‌ای افقی در ترمینال نگهداری گازهای مایع در مکزیکوسیتی مکزیک بوده که ۶۴۰۰ مصدوم و ۶۵۰ کشته بر جا گذاشته است (۹).

مطالعه حاضر به ارزیابی و مدل‌سازی پیامدهای مرتبط با ایمنی و ایجاد آلودگی‌های زیست محیطی حاصل از پدیده انفجار ناشی از انفجار بخارهای توسعه یافته مایع در حال جوش در مخازن نگهداری گاز پروپان پالایشگاه نفت بهران با استفاده از نرم‌افزار PHAST می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در شش مرحله طراحی و اجرا گردید. این مراحل شامل تعیین اهداف ارزیابی پیامد، شرح واحد فرایندی مورد مطالعه، شناسایی مخاطرات، تعیین و تحلیل سناریو، مدل‌سازی پیامد، کنترل و کاهش پیامد بود. با استفاده از نتایج این مطالعه می‌توان اثرات حاصل از موج انفجار را که پیامدهای جانی، مالی و زیست محیطی دارد، بررسی نموده و نگرش نوینی در ایمنی فرایندی مخازن تحت فشار در ایران ایجاد کرد. منظور از پیامدهای حاصل از انفجار تأثیر فشار حاصل از موج انفجار بر انسان، تجهیزات و محیط پیرامونی می‌باشد. نرم‌افزار مورد استفاده در این پژوهش، نرم‌افزار PHAST از شرکت DNV GL نروژ بوده که یکی از قوی‌ترین و مشهورترین جنرم‌افزارهای عرضه شده برای مدل‌سازی حوادث ناشی از رهائش مواد سمی در محیط‌زیست و پخش شدن مواد منفجره و یا ایجاد آتش و انفجار در پیامد آن‌ها می‌باشد. این نرم‌افزار به عنوان یکی از ابزارهای تصمیم‌گیری شرکت‌ها و دولت‌ها در امر مخاطرات صنعتی و ایمنی عمومی شناخته شده است.

^۱ Boiling liquid expanding vapor explosion

^۲ LPG

^۳ Fire ball

تعیین اهداف ارزیابی پیامد

هدف از بررسی و مدل سازی انفجار مخزن پروپان تعیین شدت پیامد، شعاع اثرات حاصل از BLEVE و آتش سوزی و همچنین تعیین محدوده منطقه نشر مواد سمی و ایجاد آلودگی های زیست محیطی می باشد. جهت مدل سازی پیامد انفجار بایستی بدترین سناریوهای ممکن مدنظر قرار گیرند.

شرح واحد فرایندی مورد مطالعه

شرکت پالایشگاه نفت بهران تولید کننده انواع روانکارهای صنعتی و خودرو با سابقه ۵۰ ساله در تولید این محصولات در ایران می باشد. فرایند تولید روغن در این شرکت بر پایه استخراج روانکار از لوب-کات (برشی از نفت خام که حاوی مواد روانکاری می باشد) صورت می گیرد. در این فرایند از حلال های مختلفی از قبیل فورفورال، متیل اتیل کتون و تولوئن استفاده می شود. پالایشگاه نفت بهران شامل دو بخش است. در بخش اول لوب کات با حلال فورفورال در تماس قرار می گیرد تا هیدروکربن های آروماتیک (ترکیبات حلقوی) از هیدروکربن های پارافینی جداسازی شود. در بخش دوم، پارافین های جدا شده با حلال های متیل اتیل کتون و تولوئن در تماس قرار می گیرد که نقطه ریزش^۱ تصحیح گردیده و محصول روغن پایه تولید شود (۷ و ۹).

جهت پیشگیری از آتش سوزی و انفجار در فرایند با توجه به میل ترکیبی زیاد تولوئن با اکسیژن هوا بایستی از هرگونه مجاورت تولوئن با اکسیژن جلوگیری شود. لذا از گاز بی اثر نیتروژن به علت در

دسترس بودن و ارزان بودن، برای ایجاد دیواره ای بین تولوئن و اکسیژن استفاده می شود. در هوا ۷۹٪ نیتروژن و ۲۱٪ اکسیژن وجود دارد و با سوزاندن گاز پروپان و استفاده از هوا جهت تامین اکسیژن می توان با تعبیه سیستمی، به جداسازی گاز نیتروژن که به صورت بی اثر در فرایند احتراق حضور دارد پرداخت (۹).

گاز پروپان در واحدی به نام واحد تولید گاز بی اثر^۲ با هوا ترکیب شده و فرایند احتراق صورت می گیرد. در نتیجه این فرایند دی اکسید کربن، آب و نیتروژن ایجاد می گردد. گازهای حاصل از احتراق به قسمت خشک کن هدایت شده و در آنجا توسط جاذب (کربن فعال)، آب تولید شده بر اثر فرایند احتراق حذف می گردد. ترکیب درصد گازهای خروجی تولید شده در واحد تولید گاز بی اثر عبارت از ۰/۵ تا ۱ درصد هیدروژن، ۰/۵ تا ۱ درصد مونوکسید کربن، ۱۰ درصد دی اکسید کربن، ۰/۰۰۱ درصد اکسیژن و تقریباً ۸۷ تا ۸۹ درصد نیتروژن است.

برای شروع مدل سازی و تعیین سناریوهای ارزیابی مخاطرات و حوادث صنعتی مخزن پروپان، اولین گام شناخت مشخصات گاز پروپان می باشد. پروپان^۳ یک ترکیب هیدروکربنی با سه اتم کربن است که به صورت عادی در حالت گاز بوده و تحت فشار و برودت، برای حمل ساده تر به حالت مایع در می آید. گاز پروپان معمولاً از محصولات چاه های نفت است. پروپان چگال تر از آب است. اگر در سیستم سوخت پروپان نشستی رخ دهد، این گاز تمایل به پایین آمدن را در هر منطقه محصور دارد و در نتیجه خطر انفجار و آتش زیاد می باشد. آنتالپی استاندارد سوختن گاز پروپان در

²Inert Gas Generation Plant

³Propane

¹Pour Point

لوله‌های انتقال به گره‌های مختلف تقسیم‌بندی می‌شود. در نهایت، خطرات فرآیندی با توجه به کلمات کلیدی انتخاب شده و برای پیشگیری از بروز آن‌ها پیشنهاد‌های کنترلی ارائه می‌شوند (۹ و ۱۰). در جدول ۱ تعاریف شدت پیامدها و در جدول ۲ تعاریف احتمال ارائه شده است. جداول ۳ و ۴ نیز راهنماهایی برای تعیین اولویت خطر و نیاز به اقدام اصلاحی بر اساس شدت و احتمال پیامدها و خطرات ارائه گردیده است.

جدول (۱): تعاریف شدت پیامدها (۱۰)

تعریف شدت پیامد	سطح شدت
شدید: وقوع آتش در نتیجه خطر محتمل بوده و آتش همه‌گیر و همراه با خسارت فراوان خواهد بود.	۳
عمده: در نتیجه خطری که وجود دارد امکان بروز آتشی هست که ممکن است به سرعت منتشر شود و آسیب‌ها و خسارت قابل توجهی ایجاد کند.	۲
جزئی: خطر حریق وجود دارد اما آسیب‌ها و شدت آن جزئی و محدود بوده و قابلیت مهار آتش وجود دارد.	۱

جدول (۲): تعاریف احتمال وقوع خطر (۱۰)

تعریف شدت پیامد	سطح شدت
بسیار محتمل: فعالیت یا موقعیتی آتش - زا که شاید به صورت روزانه و حتی بیش‌تر به وقوع می‌پیوندد و خسارت آن فراوان خواهد بود.	C
محتمل: موقعیت و فعالیتی آتش‌زا که ممکن است به صورت هفتگی اتفاق بیافتد.	B
غیر محتمل: موقعیت و فعالیتی آتش‌زا که هر چند ماه یک بار و یا بیش‌تر به وقوع می‌پیوندد.	A

شرایطی که همه محصولات بازگشت به حالت استاندارد دارند برابر با $2219/2 \pm 0/5$ کیلوژول بر مول یا $50/33 \pm 0/01$ مگاژول بر کیلوگرم و در شرایطی که محصولات را به حالت استاندارد بر نمی‌گرداند (برای مثال گازهای داغ خروجی از جمله بخار آب شومینه) برابر با $2043/455$ کیلوژول بر مول است. این مقدار گرما پایین‌تر از میزان حرارت در دسترس از سوختن ماده که در آن محصولات احتراق به فضای باز منتقل می‌شوند (به عنوان مثال، گرمای خروجی از یک شومینه زمانی که دودکش‌ها باز است) می‌باشد. بعد از وارد کردن اطلاعات لازم جهت مدل‌سازی سناریوی BLEVE می‌توان ابعاد موج انفجار را بر روی سازه‌ها و تجهیزات مجاور در سطح پالایشگاه بررسی نمود.

شناسایی مخاطرات

در این مطالعه از روش عملیات و خطر به منظور شناسایی خطرات و به کارگیری آن‌ها در مدل‌سازی استفاده گردید. از میان روش‌های متنوع ارزیابی ریسک، روش ^۱HAZID دارای توانمندی‌هایی از جمله کشف سیستماتیک مخاطرات بالقوه عملیاتی و فرایندی و ارائه راهکارهای مناسب به منظور ارتقاء سطح ایمنی و بهبود وضعیت عملیاتی تولید می‌باشد. اساساً در مطالعه HAZID، تعریفی کلی از فرایند مورد نظر صورت گرفته و سپس هر قسمت از طرح به صورت اصولی مورد سوال قرار می‌گیرد تا نحوه ایجاد انحراف در طراحی مورد نظر مشخص شود. همچنین در این مرحله مشخص می‌گردد که انحراف در طراحی چگونه منجر به بروز حادثه می‌شوند. بنابراین مطابق با نقشه‌های جانمایی، تجهیزات، ادوات، مخازن و خطوط

^۱ Hazard Identification

مخلوطی از هیدروکربن‌های پروپان و بوتان تشکیل شده باشد.

اصولا آتش گلوله‌ای و انفجار بخار مایع جوشان BLEVE زمانی رخ می‌دهد که یک مخزن محتوی مایع در معرض حرارت بیش از نقطه جوش مایع قرار گرفته و در نتیجه به دلیل افزایش فشار، انفجار صورت می‌گیرد. وقتی که فشار مخزن در اثر شکستن بطور ناگهانی کاهش یابد مایع داغ داخل مخزن سریعاً به جوش آمده و مقدار بسیاری بخار تولید می‌کند. به علت انفجار ناشی از افزایش فشار، آزاد شدن بخار و پرتاب تکه‌های مخزن خسارت زیادی به وجود می‌آید. اگر مایع قابل اشتعال باشد امکان ایجاد آتش‌سوزی به صورت حریق گلوله‌ای وجود دارد. BLEVE به علل مختلف از جمله فشار مخزن، خرابی مکانیکی و یا خوردگی در مخزن تحت فشار و یا در معرض قرار گرفتن یک مخزن تحت فشار با حرارت و آتش‌سوزی رخ می‌دهد و همچنین در حالتی که مخزن حاوی موادی در دمایی بالاتر از دمای نقطه بحرانی در فشار اتمسفر نگهداری شود امکان بروز این وضعیت وجود دارد. اگر چنین مخزنی در معرض حرارت قرار گیرد یا به هر نحوی مایع درون مخزن شروع به جوشش کند این مخزن می‌تواند دچار رخداد BLEVE شود. در این مطالعه نیز پدیده BLEVE مورد بررسی قرار گرفت است. در ادامه مسیر این حادثه به سبب عدم پایداری مخزن در فشار بالا، مخزن از یک نقطه منفجر می‌گردد و حجم بالایی از مواد قابل اشتعال به محیط به انتقال می‌یابد که به سبب داغ و سبک بودن به سمت بالا حرکت کرده و در صورتی که در مسیر حرکت بالا دچار حریق شود پدید حریق گلوله‌ای را ایجاد می‌کند (۱۱).

جدول (۳): ترکیب شدت پیامد و احتمال وقوع آن و تعیین

محدوده‌های رنگی مربوطه (۱۰)		
1A	1B	1C
2A	2B	2C
3A	3B	3C

جدول (۴): تعاریف ماتریس ریسک بر اساس ترکیب شدت پیامد و احتمال وقوع آن (۱۰)

ناحیه در ماتریس ریسک	اولویت خطر و اقدام اصلاحی
ناحیه خاکستری تیره	نیاز به اجرای اقدام اصلاحی فوری دارد
ناحیه خاکستری	در اولویت دوم واکنش و اقدام اصلاحی روشن
ناحیه سفید	با توجه به شرایط موجود در دوره فعلی نیاز به اقدام اصلاحی ضروری ندارد

تعیین و تحلیل سناریو

سناریو عبارت است از واقعه یا مجموعه‌ای از وقایع که سبب ایجاد حادثه شده و معمولاً به صورت پارگی و یا نشتی از تجهیزات فرایندی مانند مخزن، تانک، لوله و سایر تجهیزات حاوی مواد خطرناک سمی یا قابل اشتعال تعریف می‌شود. در این مرحله سناریویی که بیش‌ترین احتمال وقوع و نیز بیش‌ترین پیامد را داشته باشد انتخاب شد. مواردی که در سناریو باید مشخص گردد بستگی به هدف سناریو دارد. سناریوی مورد بررسی BLEVE مخزن کروی می‌باشد که محل وقوع سناریو، نوع ماده و فاز، دما، فشار و دبی در این سناریو مورد توجه قرار گرفت. با توجه به سناریوی انتخاب شده برای مخزن پروپان، اولین گام وارد نمودن مشخصات ماده شیمیایی می‌باشد. این مشخصات عبارتند از نوع ماده، جرم یا حجم ماده درون مخزن و شرایط فرایندی دما و فشار. گاز مایع شده پروپان شامل هر ماده‌ای به حالت مایع است که از یک یا

آزمایشگاهی و نظری و همچنین از مدل‌ها و نرم-افزارهای تجاری جهت مدل‌سازی موج انفجار ایجاد شده استفاده کرد.

کنترل و کاهش پیامد

پس از تعیین میزان شدت پیامدهای ایجاد شده و اولویت‌بندی خطرات می‌توان اقدامات لازم را جهت کنترل و کاهش اثرات آن‌ها از قبیل تحمل اثرات، انتقال اثرات به شرکت‌های بیمه‌گذار و کاهش پیامد حوادث انجام داد. جدول ۵ میزان اثرات موج انفجار بر روی انسان را نشان می‌دهد (۱۳). میزان فشار موج انفجار و مدت زمان اثر آن ممکن است سبب پاره شدن پرده گوش، مرگ بر اثر خونریزی داخلی ریه‌ها و شش‌ها و پرتاب افراد شود. همانطور که در جدول ۵ نشان داده شده اختلاف فشار ایجاد شده در اثر انفجار، در فضای بسته اثرات بیش‌تری بر شدت مصدومیت فرد دارد. لازم به ذکر است از آن جا که بعد از انفجار و در اثر پدیده توسعه بخارهای مایع در حال جوش در مخزن پروپان مورد مطالعه، آتش کروی به وجود می‌آید این نرم‌افزار قادر به مدل‌سازی این آتش نیز می‌باشد (۱۴). جدول ۶ اثر تشعشعات را بر روی انسان و تجهیزات نشان می‌دهد.

یکی از معیارهای پایداری جو، تقسیم‌بندی پاسکویل می‌باشد. در این روش، پایداری به شش سطح از A تا F تقسیم می‌گردد. در این تقسیم‌بندی، پایداری جو تابع سرعت باد، میزان ابری بودن آسمان و میزان تابش خورشید بر سطح زمین می‌باشد. در تقسیم‌بندی پاسکویل سطوح شرایط آب و هوایی، سطوح جوی A و B نشان دهنده جو ناپایدار، سطوح C و D نشان دهنده جو خنثی و سطوح E و F نشان دهنده جو پایدار است. با توجه به شرایط آب و هوایی و سرعت باد ۱/۵ متر بر ثانیه رده پایداری منطقه بین C و D و شرایط جوی خنثی برآورد شد و با فرض در نظر گرفتن بدترین حالت، شرایط D به عنوان شرایط غالب منطقه انتخاب گردید (۱۲).

مدل‌سازی پیامد

هدف از مدل‌سازی پیامد در این مطالعه تعیین میزان خسارت‌های ناشی از تشعشع حرارتی حریق در فواصل مختلف نسبت به محل وقوع سناریو می‌باشد. مدل‌سازی بهینه شرایط شبیه‌سازی شده را تا حد امکان به شرایط واقعی نزدیک می‌سازد. همان‌طور که پیش‌تر ذکر گردید، می‌توان از روش‌های

جدول (۵): تخمین اثرات اختلاف فشار ایجاد شده در انفجار بر انسان (شدت مصدومیت) (۱۰)

اختلاف فشار حداکثری (بار)	فرد در فضای بسته (شدت آسیب)	فرد در فضای باز (شدت آسیب)
بزرگ‌تر از ۰/۳	٪۱۰۰	٪۱۰۰
بین ۰/۱ تا ۰/۳	٪۲۵	٪۰
کم‌تر از ۰/۱ بار	٪۰	٪۰

جدول (۶): تخمین اثرات میزان تشعشعات ایجاد شده در انفجار بر انسان (شدت مصدومیت) (۱۰)

پیامدها	میزان تشعشع (کیلو وات بر متر مربع)
در اثر تماس طولانی ایجاد عوارض نسبتاً خفیفی می‌کند	۱/۶
ایجاد درد در افرادی که حداقل ۲۰ ثانیه در معرض آن می‌باشند، سوختگی درجه اول	۴/۵
حداقل انرژی لازم برای ایجاد جرقه در پایلوت‌های چوبی و ذوب شدن مواد پلاستیکی	۱۲/۵
آسیب جدی به افراد در معرض، در صورت نرسیدن تیم نجات که موجب مرگ می‌شود	۲۰
خسارت به واحدها و تجهیزات فرایندی، ایجاد مرگ آنی برای افراد در معرض آن	۳۷/۵

یافته‌ها

مخزن حاوی گاز مایع شامل پروپان در فشار عملیاتی نرمال و حداکثر ۲۵ تا ۳۵ psi و فشار طراحی ۲۵۰ psi، دمای عملیاتی بین ۱۲- تا ۴۳ درجه سانتی‌گراد و دمای طراحی ۴۵ درجه سانتی‌گراد از جنس کربن استیل با قطر ۱۴۲ سانتی‌متر، طول ۳۹۰ سانتی‌متر و حجم ۲۰۰۰ گالن بود. لازم به ذکر است گازهای مایع به صورت ترکیب درصدی از پروپان و بوتان، از شرکت پخش و پالایش تحویل گرفته شده و ضمناً دما و فشار آن نیز با هم مرتبط می‌باشد. به عنوان مثال اگر ترکیب آن شامل ۷۰٪ پروپان و ۳۰٪ بوتان باشد در دمای ۲۱ درجه سانتی‌گراد فشار عملیاتی معادل با ۸۲ psi خواهد بود. در این ارزیابی به طور کلی پنج علت و دو پیامد جهت ایجاد پدیده BLEVE مورد بررسی قرار گرفت. ارزیابی علت‌ها و پیامدهای حادثه در مخزن نگهداری پروپان در جدول ۷ ارائه شده است. برای مدل‌سازی پیامد ناشی از موج انفجار بعد از وارد نمودن داده‌های مورد نیاز بر اساس سناریوهای تعریف شده به شرح ذیل،

خروجی نرم‌افزار PHAST مطابق شکل‌های ۱ تا ۶ مشخص گردید.

سناریوی ۱

مدل‌سازی موج انفجار با فرض اینکه در صورت افزایش فشار مخزن، به انفجار خود مخزن بیانجامد به صورت گراف در شکل‌های ۱، ۲ و ۳ ارائه شده است. در شکل ۱ منحنی نمایش شعاع انفجار بر حسب مقادیر فشار تعریف شده نشان داده شده است. مطابق با شکل ۱ و مدل‌سازی پیامد، موج انفجار ایجاد شده از مبدا تا شعاع ۸۰ متر با قدرت بیش از ۰/۳ بار فرد در داخل فضای بسته یا آزاد ۱۰۰٪ آسیب خواهد دید و از ۸۰ تا ۱۵۰ متری مخزن در فشار کمتر از ۰/۳ تا ۰/۱ بار فرد در داخل فضای بسته ۲۵٪ آسیب دیده و در فضای آزاد بدون آسیب می‌باشد (جدول ۵). همانگونه که گفته شد، بعد از پدیده BLEVE آتش کروی ایجاد می‌شود. شکل‌های ۲ و ۳ نشان دهنده منحنی شعاع و نمودار تشعشعات ایجاد شده در آتش کروی می‌باشد. این منحنی‌ها در سه محدوده آسیب‌پذیری جزئی، متوسط و آسیب جدی و مرگ به ترتیب با تشعشعات ۴، ۱۲/۵ و ۳۷/۵ کیلووات بر مترمربع می‌باشند.

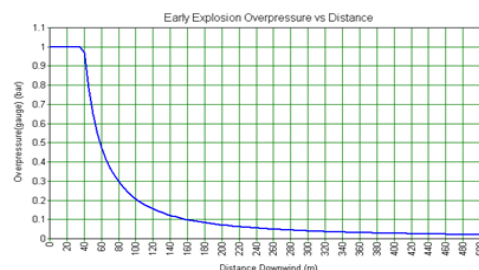
جدول (۷): ارزیابی علت‌ها و پیامدهای حادثه در مخزن گازهای مایع

خطر	منبع	علت	ریسک	پیامد	محافظ
گاز پروپان	مخزن گازهای مایع	نشستی از شیرآلات، اتصالات و واشر فلنچ‌ها	3A	صدمة جانی به اخذ گواهینامه سلامت	بازرسی دوره‌ای مخزن‌های تحت فشار و
		عدم رعایت فاصله مناسب با تجهیزات منبع جرقه/ منبع آتش	3B	پرسنل و تجهیزات	بازرسی دوره‌ای سیستم اتصال به زمین
		استعمال دخانیات	3C	مواد قابل آتش‌سوزی و اشتعال و انفجار	وجود آیین‌نامه حفاظتی مواد خطرناک و
		جریان الکتریسیته	3A	انفجار در محل استفاده از تجهیزات ضد انفجار	تجهیزات
		عوامل خارجی			
		(برخورد یا سقوط تجهیزات یا ماشین آلات با مخزن)	3C	وجود سیستم پاشش فوم و آب	

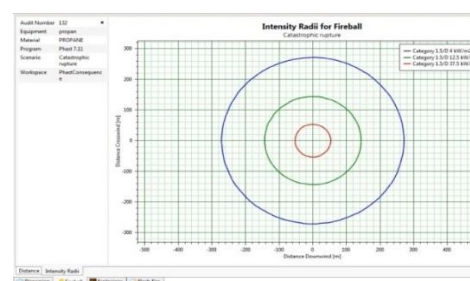
در محدوده آتش کروی ۵۰ در ۵۰ میزان تشعشع ۳۷/۵ کیلووات بر مترمربع، محدوده ۱۵۰ در ۱۵۰ میزان تشعشع ۱۲/۵ کیلووات بر متر مربع و محدوده ۲۷۰ در ۲۷۰ میزان تشعشع ۴ کیلووات بر متر-مربع را به وجود می‌آورد. در جدول ۶ شدت اثرات و آسیب بر انسان به عنوان راهنما آورده شده است.

سناریوی ۲

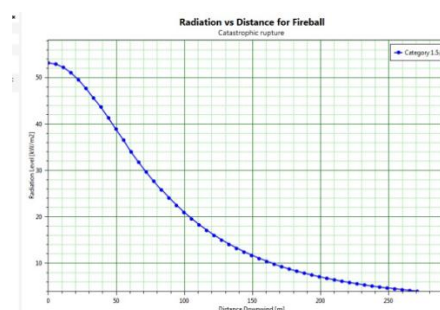
با فرض اینکه نشت لاین ورودی به مخزن پروپان به قطر ۲ اینچ را داشته باشیم در شکل‌های شماره ۴ و ۵ منحنی شعاع و نمودار تشعشعات ایجاد شده در احتراق جت مانند^۱ نشان داده شده است. این منحنی-ها در سه محدوده آسیب‌پذیری جزئی، متوسط و آسیب جدی و مرگ به ترتیب با تشعشعات ۴، ۱۲/۵ و ۳۷/۵ کیلووات بر مترمربع می‌باشند که محدوده احتراق جت مانند با طول ۷۰ متر و میزان تشعشع ۳۷/۵ کیلووات بر مترمربع، طول ۸۵ متر و میزان تشعشع ۱۲/۵ کیلووات بر مترمربع و طول ۱۰۵ متر و



شکل (۱): منحنی نمایش شعاع انفجار بر حسب مقادیر فشار



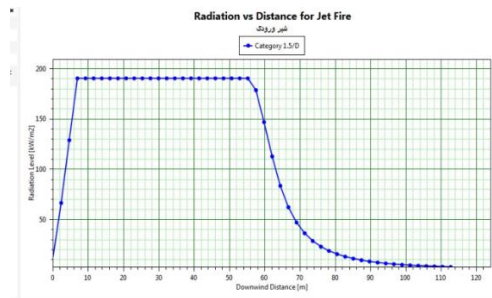
شکل (۲): منحنی شعاع تشعشعات ایجاد شده در آتش کروی



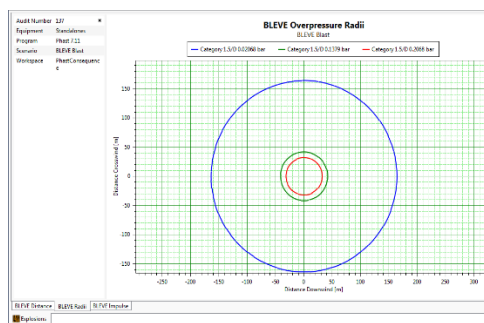
شکل (۳): منحنی نمودار تشعشعات ایجاد شده در آتش کروی

^۱ Jet Fire

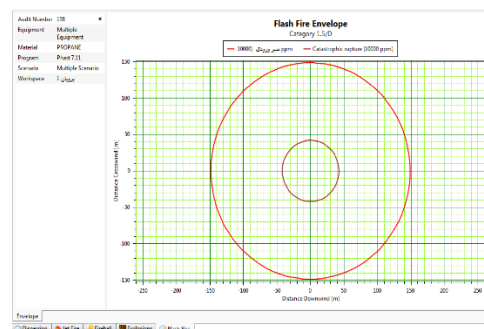
پروپان برابر با ۱۵۰ متر تخمین زده شده است. بنابراین شعاع آتش لحظه‌ای انفجار مخزن پروپان در حدود ۳ برابر نشی لوله ورودی می‌باشد.



شکل (۵): منحنی شدت تشعشعات ایجاد شده در احتراق جت-مانند

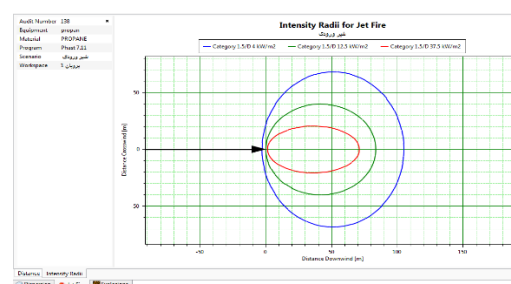


شکل (۶): منحنی شعاع پدیده BLEVE



شکل (۷): منحنی مقایسه آتش لحظه‌ای در نشی لوله ورودی با انفجار مخزن

میزان تشعشع ۴ کیلووات بر مترمربع برآورد شده است. در جدول ۶ شدت اثرات و آسیب بر انسان به عنوان راهنما آورده شده است. طبق جمع‌بندی خروجی نرم‌افزار، طول شعله حدود ۵۶/۳۴ متر، قدرت تابش شعله نزدیک به ۱۹۰/۴۸ کیلووات بر مترمربع و سرعت فوران برابر با ۲۷۸/۸۹ متر بر ثانیه برآورد گردید.



شکل (۸): منحنی شعاع تشعشعات ایجاد شده در احتراق جت-مانند

سناریوی ۳: پدیده BLEVE

در شکل ۶ منحنی نمایش شعاع پدیده BLEVE و انفجار بر حسب مقادیر فشار تعریف شده نشان داده شده است. مطابق با شکل ۶ و مدل‌سازی پیامد، شعاع پدیده BLEVE ایجاد شده از مبدا تا شعاع ۳۰ متر با قدرت ۰/۲۰۶۸ بار و از شعاع ۳۰ تا ۴۰ متری با قدرت ۰/۱۳۷۹ بار و از شعاع ۴۰ تا ۱۵۵ متری با قدرت ۰/۰۲۰۶۸ بار برآورد گردید. در جدول ۵ شدت اثرات و آسیب بر انسان به عنوان راهنما ارائه شده است. در شکل ۷ مقایسه آتش لحظه‌ای^۱ نشی لوله ورودی با انفجار مخزن پروپان به صورت منحنی نشان داده شده است که شعاع آتش لحظه‌ای در نشی لوله ورودی برابر با ۴۲ متر و شعاع آتش لحظه‌ای در انفجار مخزن

^۱ Flash Fire

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله مراتب سپاس خود را از معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائم‌شهر و همچنین مدیریت محترم پالایشگاه نفت بهران به جهت فراهم نمودن امکانات علمی و آزمایشگاهی در راستای اجرای این پروژه اعلام می‌نمایند.

بیان تضاد منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

ملاحظات اخلاقی

در مراحل انجام این پژوهش آزمونی بر روی نمونه انسانی انجام نشده است.

منابع

- [1] Offshore Petroleum Regulator for Environment and Decommissioning. 2020, Offshore Emergency Response Inspection Guide. Offshore Safety Directive Reg; 1-57.
- [2] Evrin V. Risk Assessment and Analysis Methods: Qualitative and Quantitative, 2021, ISACA Journal; 2:1-6.
- [3] Yuan, Sh., Yang, M., Reniers, G., Chen, Ch., Wu, J., 2022, Safety Barriers in the Chemical Process Industries: A State-of-the-art Review on Their Classification, Assessment, and Management. Safety Sciences; 148: 105647.
- [4] Forughi Nasab, F., Jabari Gharebagh, M., Halvani, Gh., Ghadrshenas, A., 2014, Fire Risk Management in Process Industries. 4th Conference on Safety and Inspection in Oil and Energy Industries; Hamandishan Energy Kimia, Tehran, Iran. [Persian]
- [5] Behvandpour, R., Golbabaie, F., 2045, Risk Management, Modeling and Evaluation of the Leakage Outcome of the Separator Tank of the new Norooz Oil Field. Oil & Gas Exploration and Production; 122: 30-34. [Persian]
- [6] Haji Esmail Najjar, F., Rashtchian, D., Badri, N., Jahangiri, M., 2014, Modeling the Consequences of Possible Accidents in

ایلام نیز در تطابق با نتایج تحقیق حاضر نشان داد تقریباً ۶۶ درصد فعالیت‌های انجام شده در پالایشگاه دارای ریسک بالا می‌باشند. بیش‌ترین مقادیر ریسک مربوط به چک نمودن سیل پاتها در واحد بازیافت گوگرد بوده است. همچنین بارگیری LPG نیز از جمله فعالیت‌های با ریسک بالا بود (۱۵).

نتیجه‌گیری

در خصوص پیامدهای حاصل از پدیده BLEVE و ارزیابی ریسک صورت گرفته می‌توان به این نتیجه رسید که با استفاده از نتایج حاصل از مدل‌سازی می‌توان اقداماتی جهت کاهش آسیب و اثرات به نیروی انسانی و تأسیسات و تجهیزات در نظر گرفت. این اقدامات شامل محصور کردن ناحیه مخزن، بازرسی‌های ادواری فنی مخازن (بازرسی خوردگی و ابزار دقیقی)، تشکیل تیم واکنش در شرایط اضطراری، تخلیه سریع افراد از محدوده، استفاده از گاز سنج جهت شناسایی نشت گاز، کنترل منابع حریق و اشتعال و خاموش کردن سیستم می‌باشد. با اجرای اقدامات کاهش‌دهنده پیامدها می‌توان ریسک آسیب به نیروی انسانی را از محدوده‌های غیر قابل قبول 3A، 3B و 3C به حدود قابل قبول 1A و 1B رسانید. از جمله دلایل ضرورت مدل‌سازی اثرات پیامد می‌توان به تعیین میزان شدت آسیب‌های وارده و حریم ایمن اشاره کرد. با توجه به ارزیابی ریسک به عمل آمده می‌توان دلایل ایجاد رویداد را مشخص و اقدامات لازم را جهت کنترل آن انجام داد. نتایج حاصل از مدل‌سازی و ارزیابی ریسک به عمل آمده امکان اجرای اقدامات کنترلی پیشگیرانه و ایجاد حریم ایمنی را با طراحی و جانمایی مناسب محل اسکان کارکنان، تجهیزات و ادوات مجاور فراهم می‌نماید.

- [15] Hajimohammdi, R., Eyvazzadeh, A., Hatami, A., 2020, Risk Assessment of Ilam Gas Refinery using Job Safety Analysis (JSA) Method and Its Modeling in PHA-pro Software. The Application of Chemistry in Environment ; 11(43): 19-30.
- NAFTA Reservoirs of Shahid Tondguyan Oil Refinery in Tehran by PHAST Software. 4th Conference on Safety and Inspection in Oil and Energy Industries; Hamandishan Energy Kimia, Tehran, Iran. [Persian]
- [7] Abbasi, Y., Dehghanzadeh Reyhani, R., 2015, Analysis of the Consequences of Process Accidents in LPG Storage Tank at Tabriz Oil Refining Company by PHAST Software. International Conference on New Research Findings in Chemistry and Chemical Engineering; Nikan Institute of Higher Education, Tehran, Iran. [Persian]
- [8] Bahrami, S., Sotoudeh, A., Jamshidi, N., Elmi, MR., Poorsoleiman, MS., 2021, Application of Fuzzy Fault Tree Analysis in Risk Assessment of Ammonia Tank Explosion Scenario. Journal of Health and Safety Work ; 11(4): 577-580.
- [9] Lees, F., 2012, Loss Prevention in the Process Industries Hazard Identification, Assessment and Control. 4th Edition. Butterworth-Heinemann. Elsevier.
- [10] Mohammadpoor, M., Torabi, F., 2020, Big Data Analytics in Oil and Gas Industry: An Emerging Trend. Petroleum; 6(4): 321-328.
- [11] Laamarti, EM., Heymes, F., Birk, AM., 2024, Consequences of Partial Vessel Failure in BLEVE and Liquid Full Fill Rupture Events. Chemical Engineering Transactions; 111: 331-336.
- [12] Hemmatian, B., Casal, J., Planas, E., 2017, A new procedure to estimate BLEVE overpressure. Process Safety and Environmental Protection; 111: 320-325.
- [13] Kristanto, K., Witono ,JA., Victor, I., Garmana, IA., Wongso, HH., Situmorang, A., 2019, Storage Tank Emergency Preparedness in a Modern Era: Incorporating Technology Advancement on a Mature Facility. SPE/IATMI Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition; Bali, Indonesia.
- [14] Dadashzadeh, M., Khan, F., Hawboldt, K., 2013, Amyotte P. An Integrated Approach for Fire and Explosion Consequence Modeling. Fire Safety Journal; 61: 324-337.