مدلسازی پیامد رهایش ناگهانی وینیل کلراید در یک مجتمع پتروشیمی

محمدجواد جعفری [۱*]، رحمان بهمنی [۲]، مصطفی پویاکیان [۳]، یاسر خورشیدی‌بهزادی [۴]، سهیلا خداکریم [۵]

چکیده

مقدمه: هر ساله حوادث بسیار زیادی در صنایع فرآیندی نظیر نفت، گاز و پتروشیمی اتفاق می‌افتد. صنایع فرآیندی اغلب با مواد شیمیایی پر خطر و واحدهای عملیاتی تحت شرایط دما و فشار بالا نظیر راکتورها و مخازن ذخیره سازی سروکار دارند. هدف از انجام این مطالعه مدلسازی حوادث ناشی از پارگی کامل مخزن (انفجار و آتش‌سوزی) و مشخص کردن شدت پیامدهای ناشی از این حوادث می‌باشد.

روش بررسی: روش انجام این مطالعه بر اساس روش ارزیابی ریسک کمی (QRA) در فرآیندهای شیمیایی، نفت، گاز، پتروشیمی و صنایع حمل‌ونقلی بکار گرفته شد. ابتدا فرآیند مرتبط با مخزن ذخیره سازی مونومر وینیل کلراید به‌طور کامل شناسایی شد. در مرحله بعد، سناریوها و خطرات محتمل با روش FTA شناسایی و تعیین شد و برای مدلسازی پیامدها از نرم‌افزار تخصصی PHAST Risk 7.11 استفاده شد.

یافته‌ها: بکارگیری روش پیشنهادی نشان داد که خطرناک‌ترین پیامدهای واحد ذخیره‌سازی وینیل کلراید شامل آتش ناگهانی و انفجار می‌باشد. نتایج نشان داد که بیشترین میزان مرگ‌ومیر ناشی از آتش ناگهانی مربوط به سناریو دوم (شب تابستان) با شعاع تحت تأثیر ۳۴۶ متر می‌باشد که احتمال مرگ‌ومیر در این فاصله بین صفر تا یک در نظر گرفته شده است. در مورد انفجار کامل مخزن شعاع تحت تأثیر مربوط به موج انفجار ۱ بار ۷۹ متر برآورد گردید که احتمال مرگ‌ومیر در این فاصله بین ۰ تا ۹۹ درصد در نظر گرفته شد.

نتیجه‌گیری: هرگونه نشتی و پارگی احتمالی از مخازن مونومر وینیل کلراید ممکن است منجر به پیامدهای فاجعه باری گردد. فرآیند ذخیره سازی وینیل کلراید دارای سطح ریسک بالایی است که قابل تحمل نمی‌باشد. برای کاهش ریسک باید پارامترهای شدت پیامد و احتمال وقوع و یا میزان مواجهه را کم کرد. بدین منظور استفاده از مخازن کوچک‌تر، تعدیل متغیرهای عملیاتی (ظرفیت، فشار، دما و غیره) و کاهش سطح مواجهه در پروژه‌های جدید مشابه قویاً توصیه می‌شود.

کلیدواژه‌ها: مدل‌سازیPHAST، وینیل کلراید، ایمنی فرایند، FTA

مقاله پژوهشی

CC BY

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۲/۲۸

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۴/۱۲

ارجاع:

جعفری محمدجواد، بهمنی رحمان، پویاکیان مصطفی، خورشیدی‌بهزادی یاسر، خداکریم سهیلا. مدلسازی پیامد رهایش ناگهانی وینیل کلراید در یک مجتمع پتروشیمی . بهداشت‌کار و ارتقاء سلامت ۱۳۹۹; ۴(۴): ۳۱۴-۳۰۱.

[۱*] گروه بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
(نویسنده مسئول: jafari1952@yahoo.com)
[۲] کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای، پتروشیمی انتخاب، عسلویه، بوشهر، ایران
[۳] گروه بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران، ایران
[۴] گروه بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده علوم پزشکی آبادان،آبادان، ایران
[۵] گروه آمار و اپیدمیولوژی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

مقدمه

توسعه، پیشرفت و گسترش فناوری‌های بسیار پیچیده و پراهمیت در صنایع مختلف، سبب شده است که فلسفه ایمنی از رویکرد پس از وقوع به رویکرد پیش از وقوع تغییر یابد. به کار گیری روز افزون این رویکرد جدید در صنایع شیمیایی نشان‌دهنده اثرات مثبت این روند در کاهش حوادث می‌باشد (۱). ایمنی صرفاً یک وظیفه در کنار وظایف دیگر نیست، یک ضرورت برای بقاء، پایداری، پایه ریزی برای تولید مطابق برنامه، تولید هدفمند و بستری برای توسعه است. به بحث ایمنی باید از دیدگاه ضرورت نگاه کرد (۲). با توجه به تعداد زیاد حوادث محتمل در یک واحد فرآیندی و نیز محدود بودن منابع مالی، تعیین معیاری برای تصمیم‌گیری و اولویت‌بندی مخاطرات ضروری به نظر می‌رسد. به همین دلیل است که امروزه در ایمنی صنعتی، تصمیم‌گیری و مدیریت بر مبنای ارزیابی ریسک انجام می‌گیرد (۳). صنایع شیمیایی اغلب با مواد شیمیایی پرخطر و واحدهای عملیاتی تحت شرایط دما و فشار بالا نظیر راکتورها و تانک‌های ذخیره سروکار دارند، بنابراین احتمال وقوع حوادثی از قبیل انفجار، آتش‌سوزی و نشت مواد سمی در آن‌ها وجود دارد (۳). در میان تجهیزات صنایع شیمیایی مختلف، مخازن مواد شیمیایی حوادث فاجعه بار زیادی را در بر می‌گیرند. این مخازن مستعد انواع خطرات می‌باشند که ممکن است سبب اثرات شدید بر روی انسان، محیطزیست و تجهیزات باشند (۴). حادثه نیگاتا در ژاپن که ناشی از نشت مخازن وینیل کلراید مونومر بوده است باعث ۷۸۱ میلیون ین خسارت، آتش‌سوزی وسیع، یک کشته، ۲۳ نفر مجروح، تخریب کامل تأسیسات و... در سال ۱۹۷۳ شد (۵). حادثه فلیکس برو انگلستان که ناشی از نشت و انفجار گاز سیکلو هگزان بود ۲۷ نفر کشته، ۳۸ نفر زخمی و آتش‌سوزی به مدت ۱۰ روز را در ۱۹۷۴ باعث شد (۶). و حوادث دیگر در صنایع ازجمله سوسو در ایتالیا در سال ۱۹۷۶ (۷)، مکزیکوسیتی در سال ۱۹۸۴ (۸)، چنلیو (۸)، حادثه شرکت پلاستیک سازی فورموسا (۹)، جی‌پور (۸)، شازند اراک، پتروشیمی خارک، پالایشگاه اصفهان، پتروشیمی بندر امام، پالایشگاه آبادان و پتروشیمی بندر امام در سال‌های اخیر باعث مرگ کارکنان و آسیب زیادی به تجهیزات شده است.

شکل ۱: تصویر ماهواره‌ای از پتروشیمی اروند واقع در شهرستان ماهشهر

وینیل کلراید ماده‌ای گازی شکل، بی‌رنگ، با بوی شیرین، به شدت سمی، سرطان‌زا، آتش‌گیر و با ساختار شیمیایی $H_2C=CHCl$ است که به منظور تهیه پلی وینیل کلراید استفاده می‌شود (۱۰-۱۲). بر اساس مطالعات حیوانی و انسانی وینیل کلراید باعث آسیب و تخریب کبد می‌شود (۱۳،۱۴)، به طوری‌که بر اساس گزارش سازمان حفاظت محیطزیست آمریکا (EPA) وینیل کلراید می‌تواند باعث یک نوع سرطان نادر ریه شود (۱۵). آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان (IARC) طبق تحقیقات انجام‌شده در سال ۲۰۰۸ وینیل کلراید را به‌عنوان سرطان‌زای قطعی انسان (A1) دسته‌بندی می‌کنند (۱۶). مطالعات اپیدمیولوژی نشان می‌دهد که مواجهه با VCM باعث افزایش سرطان در انسان می‌شود (۱۷). این ماده در رده‌بندی

انجمن ایمنی و بهداشت شغلی در کلاس IA قرار می‌گیرد و انجمن ملی آتش‌نشانی امریکا (NFPA) نیز وینیل کلراید را در رده ۴ قابلیت اشتعال طبقه‌بندی کرده است حدود آتشگیری آن در هوا ۳/۶ درصد حجم (حد پایین) و ۳۳ درصد حجمی (حد بالا) است و در اثر سوختن موادی سمی همچون HCl و CO تولید می‌کند (۱۲). حد مجاز مواجهه شغلی با وینیل کلراید از سوی سازمان OSHA و انجمن ACGIH مساوی ۱ پی پی ام برای ۸ ساعت مواجهه تعین شده است. مقدار سقف مواجهه آن یعنی صوص غلظتی که مواجهه با آن بیش از ۱۵ دقیقه مجاز نیست ۵ پی‌پی‌ام تعیین‌شده است.

ارزیابی و مدیریت ریسک یکی از بخش‌های اصلی در مدیریت بهداشت، ایمنی و محیط‌زیست است (۱۸). ارزیابی ریسک به دو صورت کمی و کیفی انجام می‌شود . برای ارزیابی ریسک به‌صورت کمی نیاز به مدل‌سازی ریاضی بیان ریسک‌ها به‌صورت عدد است (۱۹). روش‌های کمی با در نظر گرفتن متغیرهای مؤثر و متعدد به‌دست‌آمده در پیش‌بینی رفتار مواد در سناریوهای مختلف، از مدل‌های متغیر و دقیق استفاده می‌کنند (۱۸). هدف این مطالعه مدلسازی حوادث ناشی از پارگی کامل مخزن است که در این مدلسازی برآورد و اولویت‌بندی سناریوهای مخاطره‌آمیز مخزن، برآورد میزان مرگ‌ومیر افراد، برآورد میزان غلظت گاز پخش‌شده در فضای اطراف نیز به دست می‌آید. روش ارزیابی ریسک کمی در این مطالعه یک روش جامع بوده در ابتدا از روش‌های کیفی مناسب جهت شناسایی اولیه کانون‌های خطر استفاده شد و در ادامه جهت برآورد میزان تکرارپذیری پیامدها از معادلات معتبر پرابیت و برای مدلسازی و ارزیابی پیامد نیز از بهترین نرم‌افزار موجود (PHAST Risk 7.11) که منطبق بر معادلات ریاضی می‌باشد، استفاده گردید اطلاعات این نرم‌افزار در مواد و روش در این مقاله آورده شده است.

روش بررسی

نرم‌افزار: PHAST

نرم‌افزار Phast یک نرم‌افزار جهت مدلسازی پیامد انفجار، حریق و انتشار مواد سمی است. به دلیل ماهیت شرکت‌های نفت، گاز و پتروشیمی (وجود مواد نفتی و انرژی) در این صنایع کاربرد دارد. نرم‌افزار phast توسط شرکت DNV طراحی و منتشرشده است. نرم‌افزار phast معروف‌ترین و توانمندترین نرم‌افزار مناسب متخصصین HSE در صنایع نفت گاز و پتروشیمی است. این نرم‌افزار یکی از بهترین مدل‌های ارائه شده برای مدلسازی پخش مواد در محیط می‌باشد. این مدل طیف وسیعی از مواد سبک‌تر یا سنگین‌تر از هوا را در برمی‌گیرد و توانایی مدل‌سازی مخلوطی از مواد را نیز داراست و شامل رهایش ناگهانی، دائمی و تبخیر از سطح حوضچه‌ها می‌باشد. ارتفاع رهایش و متوسط ناهمواری‌های سطح زمین در این مدل در نظر گرفته می‌شود. عوامل مؤثر بر مدل‌سازی توسط نرم‌افزار PHAST مدت‌زمان نشتی، پایداری جوی، سرعت باد، دمای محیط، عوارض محلی زمین، ارتفاع نقطه رها شدن مواد است. در فلوچارت زیر مراحل ارزیابی پیامد اوسط این نرم‌افزار آورده شده است.

روش انجام این پژوهش بر اساس روش مرسومی است که به‌منظور ارزیابی ریسک کمی در فرآیندهای شیمیایی، نفت، گاز، پتروشیمی و صنایع حمل‌ونقلی بکار گرفته می‌شود و توسط شرکت Det Norske Verities و انستیتو مهندسی شیمی آمریکا پیشنهاد گردیده است (۲۰). این روش شامل هفت مرحله می‌باشد که عبارتند از: شرح واحد فرآیندی موردمطالعه، شناسایی مخاطرات (FTA)، انتخاب سناریوها، تعیین سناریوها، ارزیابی پیامد سناریوها، تعیین احتمال و میزان تکرارپذیری وقوع یک سناریو و محاسبه ریسک سناریوها.

شناسایی مخاطرات (FTA)

ازجمله عمده‌ترین خطرات شناسایی‌شده در مخازن بر اساس اسناد موجود می‌توان به ترکیدگی مخازن و نشت محتویات مخزن به خارج اشاره کرد. اجرای روش ارزیابی ریسک با استفاده از درخت خطا توسط سرپرست تیم، مهندسی فرآیند، مهندس مکانیک آشنا به P&ID پروسه و مهندسی ایمنی و

آتش‌نشانی صورت پذیرفت. تیم با بررسی شرایط طراحی که در P&ID مشخص‌شده است، اطلاعات کتابچه‌ای راهنمای پروسه، توصیف پروسه، اطلاعات مربوط به مواد اولیه و بینابینی و خصوصیات تجهیزات کار خود را آغاز کرد.

انتخاب سناریو

سناریوها اتفاقاتی هستند که پتانسیل تبدیل به آتش‌سوزی، انفجار و یا رهایش مواد سمی را دارند. برای تعیین سناریوی مربوط به مطالعه حاضر، از روش FTA استفاده گردید. بر اساس نتایج ارزیابی ریسک به روش درخت خطا، سناریوها می‌توانند ایجاد نشتی یا پارگی در یک لوله یا مخزن حاوی ماده اشتعال‌پذیر یا سمی و یا تحت‌فشار و غیره باشند. برای این مخزن چهار سناریو در نظر گرفته‌شده و شبیه سازی‌ها برای شب، روز زمستان و تابستان انجام شد. تعداد نمونه (شبیه سازی‌ها) مساوی خواهد شد با:

$$Simulation\ Cases = 4 \times 1 \times 2 \times 2 = 16$$

از میان انحرافات شناسایی‌شده ۴ انحراف بیشترین تکرار را در صنعت داشت که سناریوی پژوهش بر اساس ۱۵۰، ۵۰، ۱۰ و پارگی کامل مخزن و مدلسازی پیامدهای ناشی از آن طراحی شد.

تعیین مشخصات سناریو

در این مرحله تمامی مشخصات فیزیکی تأثیرگذار بر سناریو نظیر چگالی ماده رهاشده نسبت به هوا، دمای ماده در هنگام انتشار، فشار، میزان ماده رهاشده، سرعت رهایش و نیز حدود مواجهه در شرایط خطرناک در نظر گرفته شد. یکی از مهم‌ترین بخش‌های مطالعات ارزیابی پیامد اندازه مناسب نشتی است. بر اساس استاندارد سه اندازه مختلف نشتی لوله‌های انتقال مواد برای تکمیل مطالعات مدل‌سازی در نظر گرفته‌شده است (جدول ۱).

جدول ۱. ابعاد مختلف نشتی برای استفاده در مدل‌های شدت تخلیه

ابعاد کیفی نشتی	قطر نشتی (mm)	اندازه نشتی نماینده
کوچک (small)	۳ تا ۱۰	۱۰
متوسط (medium)	۱۰ تا ۵۰	۵۰
بزرگ (large)	۵۰ تا ۱۵۰	۱۵۰
پارگی کامل مخزن (catastrophic rupture)	-	-

اطلاعات فرآیندی

دما و فشار مخزن که به ترتیب برابر با ۷۰ درجه سانتی‌گراد و ۹ بار به‌صورت فاز گازی است و همچنین نوع مخزن ذخیره از مخازن کروی است. حجم مخزن ۳۶۰۰ مترمکعب، طول، قطر و ارتفاع مخزن ۱۹ متر می‌باشد. ارتفاع از محل رهایش: با توجه به اینکه مخزن دو متر از سطح زمین فاصله دارد ارتفاع از سطح زمین را در بدترین حالت که نزدیک‌ترین فاصله به زمین می‌باشد. اطلاعات از یکی از پتروشیمی‌های شهر ماهشهر تهیه شد.

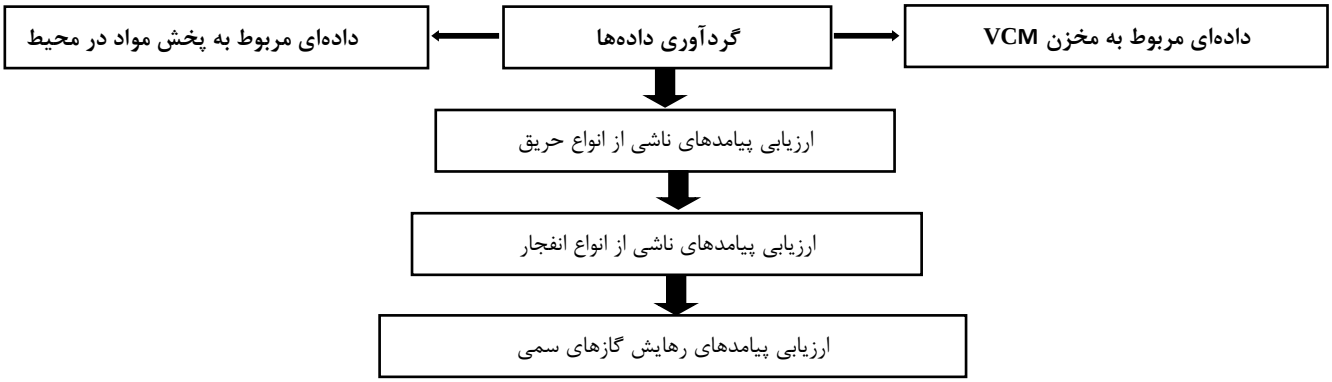
شرایط محیطی از اطلاعات هواشناسی

دمای محیط با توجه به سناریوهای تعریف‌شده به‌صورت میانگین در دو سال اخیر در شب و روز، فصل تابستان و زمستان در جدول ۲ ارائه‌شده است. عوارض محلی زمین در این مطالعه پارامتری زبری سطح با توجه به شرایط محیط اطراف (تجهیزات صنعتی و پالایشگاهی)، ۱ متر در نظر گرفته‌شده است. لازم به ذکر است که اطلاعات هواشناسی محل مورد مطالعه با مراجعه حضوری به سازمان هواشناسی منطقه موردمطالعه به‌صورت میانگین در دو سال اخیر جمع‌آوری گردید.

جدول ۲ شرایط آب و هوایی محل مطالعه

فصل	میانگین دمای هوای روزانه (°C)	میانگین دمای هوای شبانه (°C)	میانگین رطوبت نسبی (٪)	حداکثر سرعت باد در روز(M/S)	حداکثر سرعت باد در شب (M/S)	درجه پایداری هوا روز	درجه پایداری هوا شب
تابستان	۴۳/۷	۳۱	۵۱	۹	۹/۵	E	F
زمستان	۲۰/۷	۱۲	۸۱	۶/۸	۷/۵	E	F

ارزیابی پیامد



فلوچارت ۱: مراحل مدلسازی توسط نرم‌افزار **PHAST**

هدف از ارزیابی پیامد برآورد تقریبی از تأثیر رویدادهای مختلف حریق، انفجار و رهایش مواد سمی بر محیط اطراف و نیز برآورد احتمال مرگ و آسیب افراد در نواحی تحت تأثیر از این رویدادها هست. آتش ناگهانی بدون تشکیل موج انفجار ایجاد می‌گردد و بیشتر از چند دهم ثانیه بطول نمی‌انجامد. در ارزیابی پیامدهای ناشی از آتش ناگهانی فرض می‌شود افرادی که در محدوده این آتش یعنی فاصله بین غلظت‌های LFL و UFL ماده قابل اشتعال قرار می‌گیرند (در تماس مستقیم با شعله هستند)، به‌احتمال بسیار زیاد کشته می‌شوند (شعاع تحت تأثیر) و افرادی که در بیرون از این محدوده حضور دارند، به‌احتمال خیلی زیاد زنده می‌مانند.

ارزیابی پیامدهای ناشی از حریق

حریق فورانی: درصورتی‌که مواد قابل اشتعال از منفذ کوچکی از منابع تحت‌فشار به بیرون راه یابند، جتی از سیال تشکیل می‌دهند که در صورت وجود منبع جرقه، نوعی حریق به نام حریق فورانی یا جت را به وجود می‌آورد. زمان تداوم این حریق تا ۲۰ ثانیه است. ارزیابی احتمال مرگ‌ومیر در اثر حریق فورانی از طریق روابط پروبیت در نرم‌افزار محاسبه می‌گردد. اثرات ناشی از مواجهه با این نوع حریق بر حسب شدت حرارت متفاوت می‌باشد. حریق ناگهانی نوع دیگر از پیامدهای ناشی از حریق است و این حریق وقتی رخ می‌دهد که گاز قابل اشتعالی از منبع نشت کند و در محدوده قابل اشتعال به یک منبع جرقه (مانند الکتروموتور یا سطوح داغ) برخورد نماید. زمان تداوم این حریق در حد چند دهم ثانیه است. در ارزیابی پیامدهای ناشی از آتش ناگهانی فرض می‌شود افرادی که در محدوده این آتش یعنی فاصله بین غلظت‌های LFL و UFL ماده قابل اشتعال قرار می‌گیرند (در تماس مستقیم با شعله هستند)، به‌احتمال بسیار زیاد کشته می‌شوند و افرادی که در بیرون از این محدوده حضور دارند، به‌احتمال خیلی زیاد زنده می‌مانند.

ارزیابی پیامدهای ناشی از انفجاریکی از خطرات ناشی از ذخیره، فرآوری و حمل‌ونقل مواد قابل اشتعال در صنایع فرآیندی، انفجار هست که می‌تواند پیامدهای همچون آسیب به

تجهیزات، انسان‌ها و محیط‌زیست در پی داشته باشد. جدول ۳ پیامدهای مخرب موج فشار بر تجهیزات، ساختمان‌ها و افراد بر اساس میزان افزایش فشار ذکرشده است. مهم‌ترین و اصلی‌ترین پیامد انفجار، موج فشار ایجادشده در اثر رها شدن ناگهانی انرژی نهفته در ماده انفجاری هست. در اثر ایجاد انفجار و انتشار آن در محیط، عوارض مختلفی مانند پارگی پرده گوش، آسیب به قسمت‌ها مختلف بدن و یا مرگ در اثر آسیب به شش‌ها به وجود می‌آید(۸).

جدول۳: اثرات موج فشار بر تجهیزات، ساختمان‌ها و افراد

موج فشاری ایجادشده (بار)	پیامد مخرب
۲ - ۱	۱ تا ۹۹ درصد مرگ‌ومیر جمعیت در معرض به علت موج انفجار
۰/۶۸	تخریب کامل ساختمان‌ها
۰/۳۴	خسارت شدید به سازه‌های اصلی و سنگین
۰/۲	آسیب غیرقابل‌جبران به تجهیزات اصلی
۰/۱۷	پارگی پرده گوش و خسارت به سازه‌های سبک
۰/۱۳	ایجاد خسارت قابل جبران، فروریختن سازه‌های سبک
۰/۰۶۸	احتمال شکستن پنجره‌ها و آسیب در اثر برخورد قطعات آن
۰/۰۴۸	شکسته شدن ده درصد شیشه‌ها
۰/۰۲	آسیب جزئی به ساختمان‌ها

معیارهای اندازه‌گیری ریسک

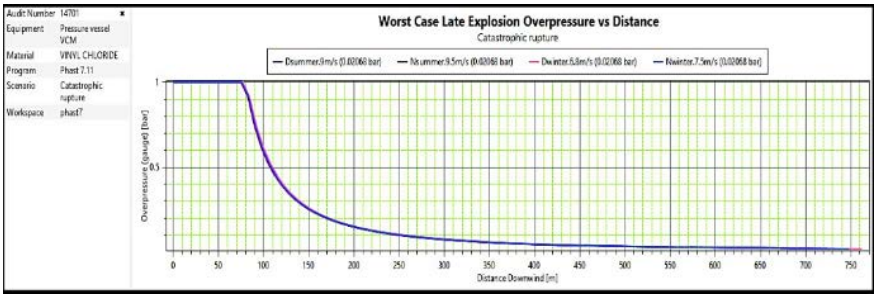
ریسک فردی (Individual Risk) و ریسک جمعی (Social Risk) (۲۱): ریسک فردی به معنی احتمال کشته شدن یک شخص در نزدیکی محل حادثه می‌باشد و تابع عوامل مختلفی نظیر نوع صدمه ایجاده شده، احتمال اتفاق افتادن حادثه و شدت حادثه مورد نظر می‌باشد، و از آنجا که به غیر از مرگ، برای سایر صدمات اطلاعات کافی در اختیار نمی‌باشد لذا منظور از صدمه در این تعریف، صدمات جبران‌ناپذیر و در اکثر موارد مرگ می‌باشد. برای نمایش ریسک فردی اغلب از دو نمودار استفاده می‌شود، که نوع اول آن موسوم به نمودارهای کانتور (Contour) هستند، در این نمودارهای ریسک فردی در هر نقطه جغرافیایی بر روی نقشه ترسیم شده است. . نوع دیگر از این نمودارها، موسوم به نمودار برشی هستند. در این نمودارها ریسک فردی به‌صورت تابعی از فاصله تا محل حادثه رسم شده است. کلیه روابط و متغیرهای مورد نیاز ریسک فردی و جمعی در نرم‌افزار PHAST تعریف‌شده و با تعیین مقادیر مربوط به مشخصات هر سناریو، نرم‌افزار مقادیر ریسک فردی و جمعی را برای تک‌تک پیامدهای حاصل و مجموع آن‌ها همراه با نموداری متنوع ارائه می‌دهد.

یافته‌ها

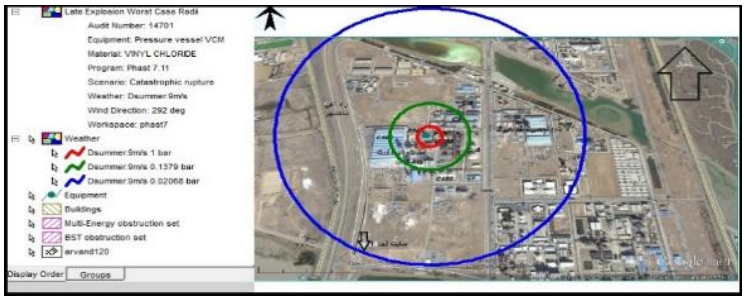
برآورد میزان موج فشار ناشی از انفجار ابر بخار برحسب فاصله در سناریوهای تعریف‌شده از مخزن:

مهم‌ترین و اصلی‌ترین پیامد انفجار، موج فشار ایجادشده در اثر رها شدن ناگهانی انرژی نهفته در ماده انفجاری (ابر بخار) می‌باشد. در شکل‌های زیر میزان موج فشار انفجار برحسب بار و فاصله طی شده در سناریوهای مختلف آورده شده است. اثرات مربوط به موج فشار در جدول ۳ ارائه شده است. شکل ۲ نشان می‌دهد بیشترین موج فشار ایجاد شده (یک بار) در سناریوهای مختلف ناشی از پارگی کامل مخزن در فاصله بین ۰ تا ۷۹ متری از مرکز ابر بخار می‌باشد.

در شکل ۳ میزان موج فشار انفجار ابر بخار بر روی نقشه پتروشیمی مشخص‌شده است. در سمت چپ نقشه میزان فشار انفجار بر حسب بار با رنگ‌های مختلف نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشخص شده است محدوده موج فشار ۰/۰۲ بار از سایت پتروشیمی فراتر رفته و در شمال به پتروشیمی فجر ۲، شرق به پتروشمی تندگویان و در غرب به مسیر راه‌آهن استان بوشهر می‌رسد.



شکل ۲: موج فشار انفجار ابر بخار برحسب بار نسبت به فاصله طی شده در پارگی کامل مخزن



شکل ۳: موج فشار انفجار ابر بخار برحسب بار ناشی از پارگی کامل مخزن

در جدول ۴ شعاع تحت تأثیر نسبت به موج فشارهای ایجادشده و پیامدهای مرتبط با آن‌ها در سناریوهای مختلف با هم مقایسه شده‌اند. بیشترین شعاع تحت تأثیر مربوط به پارگی کامل مخزن می‌باشد.

برآورد میزان تشعشع آتش ناگهانی در سناریوهای تعریف‌شده

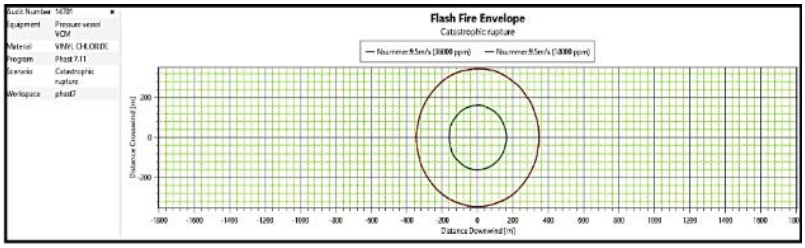
مدت زمان این نوع آتش بسیار کوتاه و در حد چند دهم ثانیه است، ولی شدت تابشی آن زیاد (بیشتر از ۱۰۰ کیلو وات بر مترمربع) می‌باشد. در شکل‌های زیر پیامدهای مربوط به سناریوهای مختلف ناشی از پارگی کامل مخزن وینیل کلراید آورده شده است.

بررسی اثر آتش ناگهانی در پارگی کامل مخزن

در شکل ۵ محدوده‌های آتش ناگهانی که در آن غلظت مواد رها شده برابر با حد پایین اشتعال‌پذیری و نصف حد پایین اشتعال‌پذیری است، در سناریو دوم (شب تابستان) نشان داده شده است.

جدول ۴: مقایسه شعاع تحت تأثیر نسبت به موج فشار ایجاد شده در سناریوهای مختلف

اندازه نشتی (mm)	موج فشار (بار)	شعاع تحت تأثیر (متر)	پیامدها
	۱	۷۹	۱ تا ۹۹ درصد مرگ‌ومیر جمعیت در معرض مواجهه، تخریب کامل ساختمان‌ها
پارگی کامل مخزن	۰/۱۴	۲۱۴	ایجاد خسارات قابل جبران و فرو ریختن سازه‌های سبک
	۰/۰۲	۷۶۲	آسیب جزعی به ساختمان‌ها



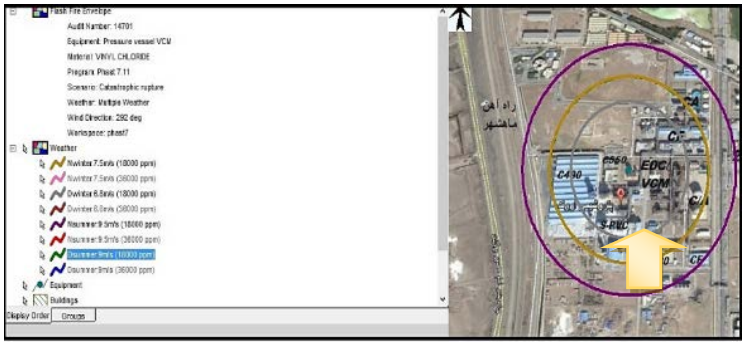
شکل ۵: ناحیه تحت تاثیر آتش ناگهانی بر حسب فاصله در جهت باد و خلاف جهت باد ناشی از پارگی کامل مخزن در سناریو دوم (شب تابستان)

در شکل ۶ مساحت تحت تـأثیر ناشـی از آتـش ناگهـانی بـر روی نقشه مجتمع پتروشیمی آورده شده است. در سمت چـپ، فصول مختلف سال و حد بالای اشـتعال بـا رنـگ‌هـای مختلـف نشان داده شده است.

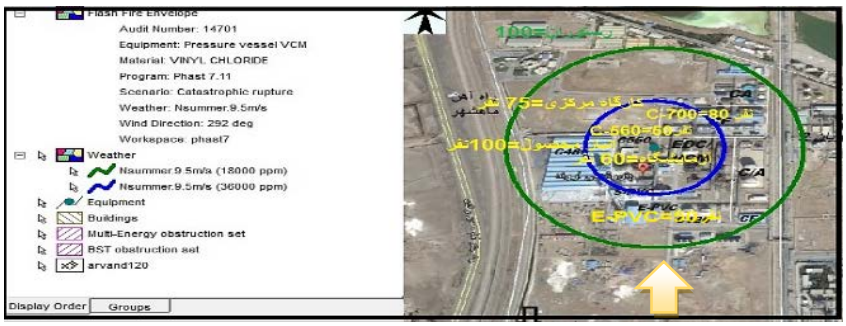
با توجه به خروجی نرم افزار بدترین سـناریو مربـوط بـه پـارگی کامل مخزن در شب تابستان (شکل ۵) می‌باشد. شعاع تحت تـأثیر در این سناریو ۳۴۶ متر می‌باشـد. کمتـرین مسـاحت تحـت تـأثیر مربوط به روز زمستان (سناریو سوم) با شعاع ۱۸۹ متر می‌باشد.

میزان مرگ‌ومیر ناشـی از آتـش ناگهـانی در پـارگی کامل مخزن

در شکل ۷ شعاع تحت تأثیر و میزان مرگ‌ومیر افراد بر روی نقشه سایت پتروشیمی نسب به محدوده‌های قابل اشتعال نشان داده شده است. شکل زیر بیان می‌کند، افرادی کـه در محـدوده بین دو حد بالا و پایین اشتعال قرار دارنـد احتمـال مـرگ‌ومیـر آن‌ها ۱ و افرادی که در خارج از این محدوده قرار دارند احتمال مرگ‌ومیر آن‌ها صفر می‌باشد. با توجه بـه ایـن اینکـه جمعیـت افراد حاضر در سایت در روز نسبت به شب بیشتر است، میـزان مرگ‌ومیر در روز نسبت به شب بیشتر می‌باشد.



شکل ۶: ناحیه تحت تأثیر آتش ناگهانی در ناشی از پارگی کامل مخزن بر روی نقشه



شکل ۷: میزان مرگ‌ومیر ناشی از آتش ناگهانی بر روی نقشه در سناریو دوم (شب تابستان)

در جدول ۴ میزان مرگ‌ومیر ناشی از آتش ناگهانی در پارگی کامل نسبت به واحدهای تحت تأثیر آورده شده است. لازم به ذکر است که میزان مرگ‌ومیر بر حسب شعاع تحت تاثیر در سناریوهای مختلف تخمین زده می‌شود. افرادی که در شعاع تحت تأثیر این نوع آتش قرار دارند احتمال مرگ‌ومیر آن‌ها ۱ و افرادی که بیرون از این شعاع قرار دارند احتمال مرگ‌ومیر آن‌ها صفر در نظر گرفته می‌شود. شدت تشعشع این نوع آتش بیش از ۱۰۰ کیلو وات بر مترمربع برآورد شده است.

جدول ۵ میزان مرگ‌ومیر ناشی از آتش ناگهانی نسبت به شعاع تحت تأثیر در پارگی کامل مخزن

اندازه نشتی	کد سناریو	شعاع تحت تأثیر (متر)	واحدهای تحت تأثیر مجتمع (جمعیت هر واحد)	درصد مرگ‌ومیر در واحدهای نسبت به جمعیت مجتمع در شب و روز (٪)
پارگی کامل	S1	۲۵۸	C-560 (۵۰نفر)، C-۷۰۰ (۸۰نفر)، آزمایشگاه (۶۰نفر)، انبار محصول (۱۰۰ نفر)، کارگاه مرکزی (۷۵ نفر) و E-PVC (۵۰ نفر)-(مجموع=۴۱۵ نفر)	۳۱ درصد
	S2	۳۴۶	C-560 (۲۵ نفر)، C-۷۰۰ (۴۰ نفر)، آزمایشگاه (۳۰ نفر)، انبار محصول (۵۰ نفر)، کارگاه مرکزی (۳۰ نفر) و E-PVC (۲۵ نفر)- (مجموع=۲۰۰ نفر)	۵۷ درصد
	S3	۱۸۹	C-560 (۵۰نفر)، C-۷۰۰ (۸۰نفر)، آزمایشگاه (۶۰نفر)، انبار محصول (۵۰ نفر)، کارگاه مرکزی (۳۰ نفر) و E-PVC (۵۰ نفر)- (مجموع=۳۲۰ نفر)	۲۳ درصد
	S4	۲۵۸	C-560 (۲۵ نفر)، C-۷۰۰ (۴۰ نفر)، آزمایشگاه (۳۰ نفر)، انبار محصول (۵۰ نفر)، کارگاه مرکزی (۳۰ نفر) و E-PVC (۲۵ نفر)- (مجموع=۲۰۰ نفر)	۵۷ درصد

بحث

صنایع شیمیایی اغلب با مواد شیمیایی پرخطر و واحدهای عملیاتی تحت شرایط دما و فشار بالا نظیر راکتورها و تانک‌های ذخیره سر و کار دارند، بنابراین احتمال وقوع حوادثی از قبیل انفجار، آتش‌سوزی و نشت مواد سمی در آن‌ها وجود دارد. اشتعال‌پذیری (درجه اشتعال‌پذیری ۴) و انفجار مونومر وینیل کلراید بسیار بالا است. گلبابایی و نورالدین آور در مدل‌سازی انتشار پروپان در یک صنعت نشان داد که در این مخزن تحت‌فشار امکان ایجاد آتش ناگهانی، فورانی و انفجار وجود دارد (۲۲). جعفری و زارعی نشان داد که پیامدهای محتمل فرآیند تولید هیدروژن شامل آتش فورانی، آتش ناگهانی و انفجار می‌باشد (۲۳). در مطالعه دیگر شاکری و عباسی نشان دادند که مخزن LPG در حوزه آتش و انفجار از بقیه موارد خطرناکتر و احتیاج به مراقبت بیشتری دارد (۲۴). مطالعه سینجیو و جی ها کیم در آتش‌سوزی و انفجار در فرآیند مایع کردن LNG نشان داد که احتمال آتش فورانی و ناگهانی و انفجار وجود دارد (۲۵). نتایج مدل‌سازی توسط نرم افزار PHAST نشان داد که هر چه اندازه نشتی بزرگ‌تر باشد پیامدهای مرتبط به آن خطرناک‌تر و متعاقباً تلفات بیشتری را در پی خواهد داشت. به‌طوری‌که در سناریوی مربوط به پارگی کامل مخزن تحت‌فشار، بیشترین مخاطرات و تلفات مشاهده شد. در حالت پارگی کامل با توجه به اینکه حجم ماده خروجی به نسبت سایر سناریوهای دیگر بیشتر بوده مخاطرات و تلفات ناشی از آن بیشتر است. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که به ترتیب سناریوهای پارگی کامل و نشتی از شکاف ۱۵۰ میلی‌متر پرمخاطب‌ترین سناریوهای مخزن نگهداری VCM می‌باشند. همچنین نتایج مدلسازی نشان داد با توجه به شرایط محیطی، پایداری جوی، سرعت باد و دمای محیط، در فصل زمستان نسبت به فصل تابستان احتمال وقوع مخاطرات شدیدتری وجود دارد. مدل‌سازی آتش فورانی در سناریوهای مختلف

(نشتی کوچک، متوسط و بزرگ) نشان داد، درصورتی‌که جمعیت حاضر در فاصله کمتر از ۷۵ متر با مخزن VCM فاصله داشته باشند بیشترین میزان مرگ‌ومیر مربوط به نشتی ۱۵۰ میلیمتر به ترتیب در سناریو یازدهم (روز زمستان)، سناریو دوازدهم (شب زمستان)، سناریو دهم (روز تابستان) و سناریو نهم (شب زمستان) می‌باشد. در نشتی ۱۵۰ میلی‌متر بیشترین مساحت تحت تأثیر مربوط به روز زمستان با مساحت حدود ۱۸۶۱ مترمربع و فاصله تحت تأثیر ۵۹ متر می‌باشد. همچنین نتایج مدل‌سازی آتش ناگهانی نشان داد که بیشترین میزان مرگ‌ومیر با توجه به مساحت تحت تأثیر و شعاع تحت تأثیر به ترتیب مربوط به سناریوهای پارگی کامل مخزن و نشتی از شکاف ۱۵۰ میلی‌متر می‌باشد. شدت مرگ‌ومیر مربوط به آتش ناگهانی وابسته به دلیل تراکم کمتر جمعیتی در شب نسبت به روز بیشترین میزان مرگ‌ومیر در روز تابستان (سناریو سیزدهم) با تلفات حدود ۴۱۵ نفر می‌باشد. مطالعه انجام شده توسط جعفری و زارعی تحت عنوان ارزیابی کمی ریسک یک واحد هیدروژن نشان داد که بیشترین میزان مرگ‌ومیر ناشی از آتش ناگهانی و فورانی مربوط به سناریوهای پارگی کامل می‌باشد (۲۶) که با این مطالعه همخوانی دارد. مدلسازی آتش ناگهانی در سناریوهای مختلف (پارگی کامل مخزن و نشتی ۱۵۰، ۵۰، ۱۰ میلی‌متر) نشان داد که بیشترین مساحت تحت تاثیر مربوط به پارگی کامل مخزن در سناریو چهاردهم (شب تابستان) با مساحت تحت تأثیر ۳۷۴۸۲۲ مترمربع برآورد شد. مطالعه انجام شده توسط جعفری و زارعی همانند مطالعه حاضر نشان داد که بیشترین فاصله تأثیر آتش فورانی ناشی از پارگی کامل می‌باشد و همچنین خطرناک‌ترین آتش ناگهانی ناشی از پارگی کامل است (۲۷). بیشترین فاصله تحت تأثیر به ترتیب مربوط به پارگی کامل مخزن و نشتی از شکاف ۱۵۰ میلی‌متر می‌باشد. مطالعه انجام شده توسط آلونسو و گونزالس نیز همانند مطالعه حاضر نشان داد که بین فاصله، ضربه و فشار بیش از حد ارتباط وجود دارد و وابسته به شدت تخلیه، نوع ماده، انرژی انفجاری و مشخصات محیط اطراف می‌باشد (۲۸). بیشترین پروفایل غلظتی در محدوده ERPG-1 مربوط به پارگی کامل مخزن در سناریو چهاردهم (شب تابستان) بود. مطالعه امینی تحت نیز نشان داد که تغییرات در فشار جریان مایع باعث تغییرات در غلظت آلاینده (آمونیاک) در فواصل مختلف می‌شود.

نتیجه‌گیری

وینیل کلراید در شرایط دما و فشار محیط به‌صورت گاز است پس در صورت وقوع نشتی، این ماده به صورت گاز در محیط پراکنده می‌شود. درصورتی‌که منبع جرقه بلافاصله در جوار مخزن نداشته باشد، ابر بخار تشکیل می‌شود و به‌محض رسیدن به یک منبع جرقه انفجار ابر بخار رخ می‌دهد. درصورتی‌که منبع جرقه در جوار مخزن، در هنگام رهایش امکان آتش فورانی یا ناگهانی وجود دارد. از جمله محدودیت‌های این مطالعه می‌توان به عدم دسترسی کامل به اطلاعات هواشناسی چند سال گذشته منطقه مورد مطالعه و عدم دسترسی آسان به لایسنس و دستورالعمل کار با بسته نرم‌افزاری در داخل کشور اشاره کرد. همانطور که در نتایج مدلسازی مشاهده شد، هرگونه نشتی احتمالی از مخازن پیامدهای فاجعه باری در بر خواهد داشت. این نشان‌دهنده وجود سطح ریسک بسیار بالا و غیرقابل‌تحمل است. برای کاهش ریسک باید یکی از پارامترهای شدت، احتمال و یا میزان مواجهه را کم کرد. می‌توان با استفاده از مخازن کوچک‌تر در فاز ساخت واحدهای مشابه و با تعدیل شرایط عملیاتی (فشار و دما) و درواقع با رعایت اصول ایمنی طراحی ذاتاً ایمن شدت پیامدها را به‌طور قابل‌توجهی کاهش داد. راهکار دیگر برای کاهش احتمال وقوع نشتی استفاده از مخازن دوجداره است، به این صورت که در فضای بین دوجداره مخزن، یک گاز خنثی مثل نیتروژن وارد می‌شود و این گاز به‌طور پیوسته نمونه‌برداری و آزمایش می‌شود. در صورت وجود وینیل کلراید در این گاز محتویات مخزن به‌طور خودکار به یک مخزن زیرزمینی منتقل می‌شود. این روش به‌عنوان یک روش به‌روز در

دنیا استفاده می‌شود (۲۹). ساختمان‌های اطراف باید پوشش گذاری حرارتی شود. همچنین باید از مصالح مقاوم در برابر انفجار و شیشه‌های کوچک و حمایت‌شده استفاده نمود. همچنین باید مانورهای منظم و برنامه‌ریزی‌شده را در جهت آموزش کارکنان واحد در دستور کار قرار داد. دستورالعمل‌های واکنش در شرایط اضطراری باید مشخص و مدون باشد.

تقدیر و تشکر

نویسندگان این مقاله از حمایت های دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی و پتروشیمی اروند کمال تشکر را دارد.

مشارکت نویسندگان

طراحی پژوهش: م.ج.ج

جمع‌آوری داده: ر.ب، ی.خ

تحلیل داده: ر.ب، س.خ، م.پ

نگارش و اصلاح مقاله: م.ج.ج، ی.خ

تضاد منافع

هیچ‌گونه تضاد منافعی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

منابع

1. Mannan S L, FP. Hazard identification, assessment, and control. 3rd ed. New york: Elsevier; 2005.
2. Drafshi S, Gholami, M., Alizadeh, A. Updates to oil industry healthcare hazards and biological attacks. Second International Conference on Comprehensive crises Management. Iran:Tehran. 2005feb13. Iran:Tehran: Promotional quality company; 2008. [Persain]
3. Canadian society of safety engineering NIOSH week Calgary. Canada; 2000.
4. Haji Abbasi M, Benhelal E, Ahmad A. Designing an Optimal Safe Layout for a Fuel Storage Tanks Farm: Case Study of Jaipur Oil Depot. Chemical, Nuclear, Metallurgical and Materials Engineering. 2014;8(2). [Persain]
5. Yorifuji T, Tsuda T, Harada M. Minamata disease: a challenge for democracy and justice. Late Lessons from Early Warnings: Science, Precaution, Innovation Copenhagen, Denmark. European Environment Agency; 2013.
6. Venart J. Flixborough: the Explosion and its Aftermath. Process Safety and Environmental Protection. 2004;82(2):105-27.
7. Centemeri L. Remembering the Seveso disaster. The controversial construction of a “discreet memory”; 2009.
8. Jahangiri M. Norouzi MA SK. Management and risk assessment; Quantitative assessment of risks in the process industry. Theran: Fanavaran; 2013. P.10-2. [Persain]
9. Visscher G, editor Some observations about major chemical accidents from recent CSB investigations. Institution of chemical engineers symposium series; 2008: Institution Of Chemical Engineers; 1999.
10. Dreher TR, Torkelson KK. Chlorethanes and Chloroethylenes. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry: Wiley-VCH, Weinheim; 2011.
11. Toxicological profile for vinyl chloride. Agency for Toxic Substances and Disease

Registry: Division of Toxicology and Human Health Sciences; 2006.

12. "Occupational Safety and Health Guideline for Vinyl Chloride" O. 1988.
13. R. R. Sayers, W. P. Yant, C. P. Waite and F. A. Patty . " Acute Response of Guinea Pigs to Vapors of Some New Commercial Organic Compounds: I. Ethylene Dichloride: Report of the United States Bureau of Mines to the Carbide and Carbon Chemicals Corporation. Public Health Reports. 1930;45(5):225-239.
14. Tribukh SL, Tikhomirova NP, Levina SV. Working conditions and measures for their improvement in the production and use of vinyl chloride plastics. Gig Sanit. 1949;14:38-44.
15. Vinyl Chloride Subpart. National Emission Stanardds for Hazardous Air Pollutants (NESHAP). United States Environmental Protection Agency; 2001.
16. Jie Jiao N-nF, Yong Li, Yuan Sun, Wu Yao, Wei Wang. . Rela Estimation of a Safe Level for Occupational Exposure to Vinyl Chloride Using a Benchmark Dose Method in entral China. Occupational Health and Safety. 2012;54:263-70.
17. Vincent Lopez AC, Marion Tempier, Hélène Thiel, Sylvie Ughetto, Marion Trousselard, Geraldine Naughton, Frédéric Dutheil. The long-term effects of occupational exposure to vinyl chloride monomer on microcirculation: a cross-sectional study 15 years after retirement . Published by group.bmj.com. ; 2014 November 11.
18. Alizade SS, Taghdisi M. HSE management strategic approach in today's organizations. Tehran: Rayhan; Farvardin; 2012. [Persian]
19. Mohammadfam I. Safety Engineering. Tehran: Fanavaran; 2011. [Persian]
20. Bagheri M BN, Rshtchyan D, Eghbalian H. Determined by quantitative sour gas pipeline safety risk. Chemistry and Chemical Engineering. 2013;2(2). [Persian]
21. Madhu G. Individual and societal risk analysis and mapping of human vulnerability to chemical accidents in the vicinity of an industrial area. International Journal of Applied Engineering Research, Dindigul. 2010;1(2):135-48.
22. Golbabaei F. Propane Leak propagation modeling in an industry. humans and the environment. 2011;20(2). [Persian]
23. Jafari MJ, Zarei E, Dormohammadi A. Provide a method for modeling and evaluating the consequences of a risk of fire and explosion in the Process Industries (A Case Study of hydrogen production process). Occupational Health and Safety. 2012;3(1). [Persian]
24. Shakeri HR AF, Kashi E. Consequence analysis and accident processing modeling in a refinery Shiraz using software PHAST. First National Conference on Knowledge Based Development of Oil, Gas and Petrochemical Mahshahr; Razi Petrochemical Company; 2012. [Persian]
25. Seungkyu Dan JHK, Qiang Wang, Dongil Shin, En Sup Yoon, editor. A Study on

Quantitative Risk Analysis for Fire and Explosion in LNG-Liquefaction Process of LNG-FPSO. Proceedings of the 6th International Conference on Process Systems Engineering (PSE ASIA); 25 - 27 June 2013.

26. 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. [Persian]
27. Jafari MJ ZE, Dormohamadi A. Rfvrmyng process to determine the safety analysis based on the new approach to simulation results and low risk. 11th National Conference on Occupational Health and Safety on Tuesday. 2020 feb18-21; Tehran University of Medical Sciences and Health Services, Iran Scientific Association of Occupational Health; 2020. [Persian]
28. Alonso FD, Ferradás EG, Pérez JFS, Aznar AM, Gimeno JR, Alonso JM. Characteristic overpressure–impulse–distance curves for vapour cloud explosions using the TNO Multi-Energy model. Hazardous Materials. 2006;137(2):734-41.
29. Suciu I, Prodan L, Ilea E, Păduraru A, Pascu L. Clinical manifestations in vinyl chloride poisoning. Annals of the New York Academy of Sciences. 1975;246(1):53-69.

Modeling the Consequence of Vinyl Chloride Accidental Release from Tanks in a Petrochemical Plant

JAFARI Mohammad Javad[1*], BAHMANI Rahman [2], POYAKIAN Mostafa [3], KHORSHIDI BEHZADI Yaser [4], KHODAKRIM Soheila[5]

Abstract

Introduction: Each year, many accidents occur in processing industries such as oil, gas, and petrochemicals. Processing industries mostly work with hazardous chemicals and units in high temperature and high-pressure conditions like reactors and storage tanks. The study aimed to model the consequences of a complete tank rapture (explosion and fire) and specify the intensity caused by the events.

Materials and methods: The applied method in this study was based on the Quantitative Risk Assessment method. This method is used for risk assessment in chemical, petroleum, gas, and petrochemical processes and transport industries. Initially, the process associated with the monomer vinyl-chloride storage tank was identified. At the next stage, the scenarios and probable hazards were identified and defined and the PHAST Risk 7.11 was run for modeling the consequences.

Results: The most dangerous consequences of vinyl-chloride storage tanks include sudden fire and explosion in a complete tank rapture. In a full tank-explosion, the radiation of the explosion wave was once recorded as 79 meters with the death probability of 99 percent.

Conclusion: Each explosion or probable rapture in monomer vinyl-chloride tanks may cause terrible consequences. The vinyl-chloride monomer storage process is a high-risk process that is not tolerable. To reduce the risk, the consequence intensity, the consequence probability, and the exposure amount should be reduced. To this end, it is highly recommended to use smaller tanks, modify operational variables (capacity, pressure, temperature, etc.), and reduce the level of exposure in similar projects.

Keywords: PHAST Modeling, Safety Process, Vinyl-chloride, FTA

Original Article

Received: 2019/03/19
Accepted: 2019/07/03

Citation:

JAFARI MJ, BAHMANI R, POYAKIAN M, KHORSHIDI BEHZADI Y, KHODAKRIM S. Modeling the Consequence of Vinyl Chloride Accidental Release from Tanks in a Petrochemical Plant. Occupational Hygiene and Health Promotion 2021; 4(4): 301-314.

[1] Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Shahid Beheshti University of Medical Science, Tehran, Iran
*(Corresponding Author: jafari1952@yahoo.com)
[2] Master of Occupational Health Engineering, Select Petrochemical, Assaluyeh, Bushehr, Iran
[3] Department of Epidemiology, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
[4] Department of Occupational Health and Safety, Abadan of University Medical Sciences, Abadan, Iran
[5] Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Shahid Beheshti University of Medical Science, Tehran, Iran