Shahid Beheshti University of Medical Sciences

Irtiqa Imini Pishgiri Masdumiyat (i.e., Safety Promotion and Injury Prevention) Original Article
2024; Vol. 12; No. 4; 234-247 Journals.sbmu.ac.ir/spip

Consequences of the Explosion and Fire of Pelletizing Fuel Tanks using PHAST Software

Behnoush Khoshmanesh*, Fatemeh Razavian, Naser Bakhtiari

Department of Environmental Sciences and Engineering, WT.C, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Received: 2025/02/04 Accepted: 2025/09/26

Abstract

Background and Aim: This descriptive cross-sectional study was conducted in 2024 to model the consequences of accidents in the diesel tank and provide corrective and control measures in Gol Gohar Industrial and Mining Company, pellet factory using PHAST software.

Methods: In the first step, information about the reservoirs such as the operational and physical conditions of the reservoirs, geographical and climatic information, location and site plan of the reservoirs, and process maps were collected. In the next step, possible scenarios were identified and after modeling and evaluation of the consequences using the software, the outputs were analyzed to provide appropriate control measures.

Results: Findings and Conclusion: In examining the scenario related to the leakage of 10 mm and 100 mm in the diesel tank the minimum dangerous distance observed in the 10 mm leakage is 21.94 meters and the maximum dangerous distance is 49.24 meters, considering the weather condition of Sirjan city. Also, in the scenario of 100 mm leakage, the lowest dangerous distance is 16.16 meters and the highest dangerous distance is 275.67 meters from the diesel storage tank. In the explosion scenario, the minimum and maximum dangerous distance was 590.51 meters and 1053.87 meters respectively, which is the highest damage related to this scenario.

Conclusion: Therefore, it is suggested that the surroundings of these tanks be declared free of personnel up to a radius of at least 590.51 meters, and a safe gathering place should be considered at a distance of 1060 meters to protect the personnel from possible injuries.

Keywords: *Consequence assessment; eruptive fire; diesel storage tank; consequence modeling; PHAST*

Please cite this article as:
Khoshmanesh B, Razavian F, Bakhtiari N. Consequences of the Explosion and Fire of Pelletizing Fuel Tanks using PHAST Software. Irtiqa Imini Pishgiri Masdumiyat .2024;12(4):234-247. https://doi.org/10.22037/iipm.v11i3.47473

* **Corresponding Author:** Khoshmanesh@iau.ac.ir

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

ارتقای ایمنی و پیشگیری از مصدومیت‌ها

مقاله پژوهشی

سال ۱۴۰۳، دوره ۱۲، شماره ۴، ۲۳۴- ۲۴۷

Journals.sbmu.ac.ir/spip

مدل‌سازی انفجار مخازن سوخت گندله‌سازی با استفاده از نرم‌افزار PHAST

بهنوش خوش‌منش*، فاطمه رضویان، ناصر بختیاری

گروه علوم و مهندسی محیط زیست، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۰۴

چکیده

سابقه و هدف: این مطالعه توصیفی - مقطعی در سال ۱۴۰۳ با هدف مدلسازی پیامد حوادث در مخزن گازوئیل و ارائه اقدامات اصلاحی و کنترلی در شرکت صنعتی و معدنی گل گهر، کارخانه گندله سازی با استفاده از نرم افزار PHAST انجام گرفت.

روش کار: در گام اول اطلاعات مربوط به مخازن از قبیل شرایط عملیاتی و فیزیکی مخازن، اطلاعات جغرافیایی و آب‌وهوایی، جانمایی و سایت پلان مخازن و نقشه‌های فرایندی جمع‌آوری گردید و در گام بعدی سه سناریو شناسایی و مورد تحلیل قرار گرفت.

یافته‌ها: نشت گازوئیل از مخزن به قطر ۱۰ میلی‌متر به عنوان سناریوی اول، نشت گازوئیل از مخزن به قطر ۱۰۰ میلی‌متر به عنوان سناریوی دوم و انفجار ناگهانی مخزن به عنوان سناریو سوم شبیه سازی گردید و پیامدهای ناشی از سناریوهای ذکر شده شامل آتش استخری، آتش فورانی و آتش ناگهانی مشخص گردید. در بررسی سناریو مربوط به نشتی ۱۰ میلی‌متر و ۱۰۰ میلی‌متر در مخزن گازوئیل در شرایط آب و هوایی شهرستان سیرجان، حداقل فاصله خطرناکی که در نشتی ۱۰ میلی‌متر مشاهده گردید ۲۱/۹۴ متر و حداکثر فاصله خطرناک ۴۹/۲۴ متر است. همچنین در سناریو مربوط به نشتی ۱۰۰ میلی‌متر، کمترین فاصله خطرناک در ۱۶/۱۶ متر و بیشترین فاصله خطرناک در۲۷۵/۶۷ متر از مخزن ذخیره گازوئیل می‌باشد. در سناریو انفجار به ترتیب حداقل و حداکثر فاصله خطرناک در ۵۹۰/۵۱ متر و ۱۰۵۳/۸۷ متر از مخزن ذخیره گازوئیل بود که بالاترین میزان خسارت مربوط به این سناریو می‌باشد.

نتیجه‌گیری: باتوجه‌به شرایط موجود پیشنهاد می‌گردد اطراف این مخازن حداقل تا شعاع ۵۹۰/۵۱ متر خالی از پرسنل اعلام گردد و جهت جانمایی مکان تجمع ایمن، فاصله بیش از ۱۰۶۰ متر لحاظ شود تا پرسنل از آسیب‌های احتمالی محافظت گردند.

واژگان کلیدی: *ارزیابی پیامد، آتش فورانی، مخزن ذخیره گازوئیل، مدل‌سازی پیامد، PHAST*

به این مقاله، به صورت زیر استناد کنید:

Khoshmanesh B, Razavian F, Bakhtiari N. Consequences of the Explosion and Fire of Pelletizing Fuel Tanks using PHAST Software. Irtiqa Imini Pishgiri Masdumiyat .2024;12(4):234-247. https://doi.org/10.22037/iipm.v11i3.47473

***نویسنده مسئول مکاتبات:** Khoshmanesh@iau.ac.ir

 • This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

مقدمه

با توسعه صنعت حوادث ناگوار ناشی از فعالیت‌های صنعتی نیز گسترش یافته به گونه‌ای که گاهی صنعت و یا کارکنان آن را به مخاطره می‌اندازد. به منظور کاهش تبعات احتمالی این حوادث باید قبل از راه‌اندازی صنایع نسبت به آنالیز پیامد حوادث احتمالی آنها اقدام نمود و با استفاده از مطالعات میدانی و همچنین نرم‌افزارهای شبیه‌سازی حوادث احتمالی را مورد ارزیابی قرار داد. صنایع نفت و گاز از قابلیت بالایی برای ایجاد بحران برخوردار هستند. داشتن آمادگی قبلی می‌تواند در به حداقل رساندن جنبه‌های بحران نقش بسزایی داشته باشد. اتخاذ تصمیمات عجولانه بر اساس اطلاعات ناقص و همچنین نداشتن یک طرح عملیاتی مدون و مناسب برای واکنش در شرایط اضطراری خسارات وارده را تا چند برابر افزایش خواهد داد (۱). اغلب حوادثی که در صنعت ایجاد می شوند معمولا به دلیل نشت یک ماده قابل اشتعال یا سمی در محیط می‌باشد که این نشت می‌تواند به علت پارگی خطوط یا اشکال در اتصالات رخ دهد. عوامل مختلفی از قبیل مقدار و فاز ماده نشت شده، شکل انتشار و مسیر ترمودینامیکی آن جهت شبیه‌سازی تخلیه مؤثر می‌باشد (۲).

علاوه بر شبیه‌سازی تخلیه مواد، چگونگی و نحوه پخش ماده در محیط نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هدف اصلی از شبیه‌سازی در نشت مواد تخمین میزان ماده منتشر شده در محیط در یک فاصله معین و زمان خاص است (۳). برای آنالیز پیامد روش‌های مختلفی وجود دارد که ساختار نسبتاً مشابهی دارند. یک روش مناسب برای آنالیز پیامدهای ناشی از حوادث از سه مرحله انتخاب سناریو، شبیه‌سازی سناریو و ارزیابی خسارت تشکیل شده است (۴). از مدل‌های ریاضی موجود می توان در تخمین میزان ماده استفاده کرد که این معادلات میتوانند تشعشع گرمایی ناشی از آتش، حداکثر فشار ناشی از بخار، میزان موج انفجار و پرتاب اشیا را پیش‌بینی کنند (۵). بررسی دقت هر یک از مدل هایی که به منظور مدل سازی آتش استفاده می شود، اعم ازمدل زیرشبکه، مدل احتراقی، مدل دوده، مدل تشعشع و غیره عامل مهمی در کارایی نرم افزارهای شبیه سازی آتش است. (۶) ارزیابی ریسک کمی و مدل سازی پیامد یکی از مهمترین راه‌های بررسی محدوده اثر و تخمین اثرات تابش‌های گرمایی ناشی از اشتعال موج فشار ناشی از انفجار و اثرات سمی ناشی از رهایش مواد سمی در محیط است (۷). یکی از اقدامات پیشگیرانه، مطالعه پیامد حوادث با استفاده از روش‌های ارزیابی، بمنظور مدلسازی پخش مواد سمی و ارزیابی ریسک پخش اتمسفری است (۸). امروزه نرم افزارهای ALOHA و PHAST توسعه یافته که هر یک با ویژگی‌های خاص در هماهنگی با مدلهای پخش مواد، در مشخص نمودن محدوده متاثر از نشت مواد سمی و خطرناک، تعیین ارزیابی ریسک ناشی از آنها و تدوین برنامه واکنش در شرایط اضطراری می توانند مورد استفاده قرار گیرند (۹). در این بین نرم افزار PHAST محصولی از DNV نروژ که از پیشگامان ارزیابی مخاطرات و حوادث صنعتی است، بعنوان یکی از مجهزترین نرم افزارهای موجود در اینگونه مدل سازی ها عرضه شده است (۱۰). جورج و رنجیت در سال ۲۰۲۱ بیان نمودند از نرم افزار PHASTبرای مدل سازی نتیجه برای تعیین مناطق تأثیر حوادث اولیه و ثانویه شناسایی شده استفاده می‌شود (۱۱). نتایج مطالعه موردی نشان می‌دهد که چنین تجزیه‌هایی می‌تواند در تعیین اقدامات ایمنی و امنیتی مناسب برای اجرا یا تقویت به منظور کاهش جذابیت آن در برابر عوامل تهدید خارجی، به سود پروژه‌های میدان سبز و میدان قهوه ای باشد (۱۲). اوزای و همکاران در سال ۲۰۲۱ در پژوهشی از نرم افزارهای ALOHA و PHAST برای مدلسازی سناریوها و تخمین اثرات یک انفجار استفاده کردند با استفاده از نرم افزار ALOHA دو سناریوی نشت از مخزن و فرار مواد شیمیایی قابل اشتعال بررسی و محاسبه شد. علاوه بر آن سناریوهای انفجار از طریق نشت از مخزن و پارگی با استفاده از نرم افزار PHAST محاسبه شد. و با توجه به نتایج نتیجه گیری شد استفاده از نرم افزارها و مدلهای مختلف میتواند برای درک نتایج احتمالی انفجارهای نیروگاه بسیار مفید باشد (۱۳). بوفیا و همکاران در سال ۲۰۲۰ در تحقیقی تحت عنوان تجزیه و تحلیل ریسک ایمنی و مدلسازی حوادث انتشار بنزین درکارخانه پتروشیمی به بررسی، تجزیه و تحلیل خطر انتشار تصادفی بنزین در مخزن ذخیره بنزین TK-158-59 واقع در مجتمع GL1/K Skikda با استفاده از ارزیابی کمی ریسک بر اساسHAZOP پرداختند سپس با استفاده از نرم افزار PHAST نسبت به شبیه سازی مناطقی که در معرض اثرات تصادفی مختلف صنعتی مانند (حرارتی، قابل اشتعال و فشار بیش از حد) قرار دارند اقدام کردند. نتایج شبیه سازی بیشتر فواصل مناطق آسیب دیده را نشان داد تا انکه پیامدهای خطر مرتبط با محیط آسیب دیده هر سناریو را درک کند (۱۴). مالویه و رشدید در سال ۲۰۱۸ در تحقیقی تحت عنوان تجزیه و تحلیل

 • This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

خطرات مخزن ذخیره سازی LPG به بررسی و تجزیه و تحلیل پیامدهای مخازن کره LPG توسطPHAST پرداختند و نتایجی را از رخ داد سناریوها با توجه به تأثیر آنها بر افراد یا دارایی‌ها توصیف کردند (۱۵). وانگ و ما در سال ۲۰۲۱ در تحقیقی تحت عنوان تحلیل کنترل ریسک حادثه ایمنی در ایستگاه سوختگیری هیدروژن توسط نرم افزار PHAST، شبیه سازی فاصله انتشار هیدروژن انفجار و فاصله ایمنی تابش جت فایر در ایستگاه سوخت گیری هیدروژن تحت شرایط خاص را انجام دادند (۱۶). نتایج نشان داد در شرایط خاص با افزایش سرعت باد و در مناطق پر جمعیت، لازم است فاصله از محل تجمع جمعیت افزایش یابد و اقدامات لازم توسط ایستگاه سوخت گیری هیدروژن جهت جلوگیری از خطرات ناشی از نشت سورت پذیرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش تحقیق توصیفی - مقطعی در سال ۱۴۰۳ در استان کرمان، شهرستان سیرجان در شرکت معدنی و صنعتی گل گهر اجرا گردید. محدوده کاری مورد نظر صرفاً سوخت (گازوئیل) کوره‌های گندله سازی بود که می‌تواند به صورت آتش فورانی، آتش استخری، آتش ناگهانی و انفجار ابر گاز نمود پیدا کند.

در گام اول اطلاعات کلی شامل فشار و دمای گازوئیل، دما و رطوبت هوا، جهت و سرعت وزش باد و شرایط نگهداری مخازن جهت ورود اطلاعات به نرم‌افزار PHAST در نظر گرفته شد. سپس باتوجه‌به سناریوهای موردمطالعه پیامد حادثه مدل‌سازی گردید و نتایج آن به‌صورت نمودارها و نقشه‌های الکترونیکی نشان داده شد. مراحل انجام کار در این تحقیق شامل مراحل زیر است.

تعیین اهداف ارزیابی ریسک

هدف تعیین شده، ارزیابی برخی از حوادث فرایندی که وقوع آن در این صنعت محتمل است، است.

شرح واحد فرایندی

در این مرحله تمام اطلاعات مربوط به مخزن ذخیره گازوئیل که برای ارزیابی کمی ریسک مورد نیاز است، جمع‌آوری گردید. این اطلاعات به‌طورکلی شامل مواردی نظیر موقعیت جغرافیایی برگرفته از نرم‌افزار (Google Earth) شرایط آب‌وهوایی نظیر جهت باد، سرعت باد، رطوبت هوا، دمای محیط (تهیه شده از اطلاعات ثبت شده در اداره هواشناسی شهرستان سیرجان)، اطلاعات محیطی که مخزن در آن واقع شده است، انواع نقشه‌های فرایندی و خواص فیزیکی گازوئیل است.

داده‌های مربوط به منبع انتشار مواد

جهت مدل‌سازی پیامد به کمک نرم‌افزار PHAST کلیه مشخصات منبع انتشار ثبت گردید.

مشخصات مخزن ذخیره گازوئیل

در جدول ۱ مشخصات مخزن ذخیره گازوئیل به شرح زیر اعلام می‌گردد.

جدول ۱. مشخصات مخزن ذخیره گازوئیل

عنوان	مقدار
ارتفاع	۱۲/۷۷ متر
قطر	۲۴/۳۸ متر
حجم	۵۲۰۰۰۰۰ لیتر
نوع مخزن	عمودی
فشار داخل مخزن	۱ بار

یافته‌ها

شرایط آب‌وهوایی

ازآنجایی‌که یکی از مهم‌ترین عوامل در انتشار مواد، شرایط آب‌وهوایی منطقه است، لذا در تمامی سناریوهای مدل‌های مطالعه اطلاعات حاصل از نمودارهای گلباد منطقه‌ای طی یک دوره یک‌ساله مدل‌سازی شد. همچنین پارامترهای جوی محل مورد مطالعه از طریق نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی در سال ۱۴۰۳ تهیه گردید که در جدول ۲ مشخص شده است.

 • This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

جدول ۲. اطلاعات آب و هوایی شهرستان سیرجان

پارامتر جوی	روز	شب
طبقه‌بندی آب‌وهوایی	5D	2F
سرعت باد	5m/s	2 m/s
دما	45 C^0	8C^0
رطوبت نسبی	70	70

تعیین و تحلیل سناریوها

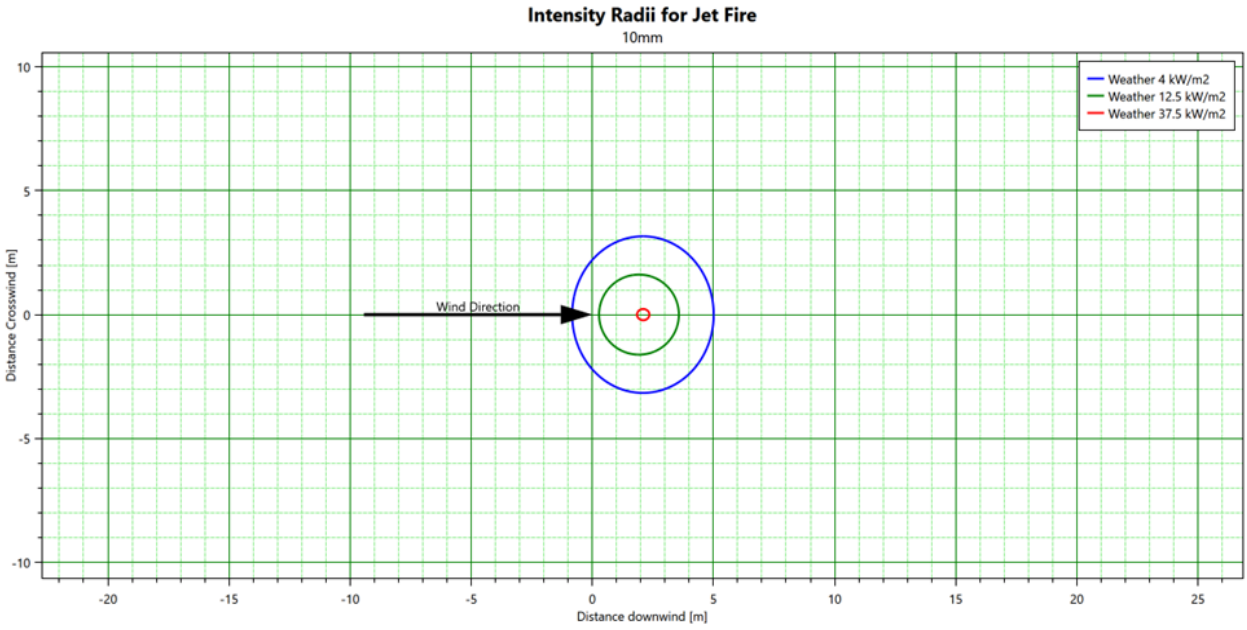
باتوجه‌به اهداف پروژه از شواهد و اطلاعات میدانی، بررسی‌های مهندسی، تجزیه‌وتحلیل حالات خطا از میان ریسک‌های شناسایی شده، نشتی مخازن دارای بیشترین تکرار در صنعت، مورد بررسی قرار گرفت و سناریوی این پژوهش بر اساس دو اندازه مختلف نشتی (۱۰ میلی‌متر و ۱۰۰ میلی‌متر) در مخزن گازوئیل و انفجار ناگهانی مخزن گازوئیل طراحی گردید جدول ۳. سپس پیامدهای ناشی از آتش فورانی، آتش استخری، اتش ناگهانی از طریق مدل‌های ارائه شده برای آتش در محیط تعیین گردید.

جدول ۳. اطلاعات سناریوها

سناریو	محل سناریو	اندازه نشتی	دما	ارتفاع
الف	مخزن ذخیره گازوئیل	10mm	45 C^0	1m
ب	مخزن ذخیره گازوئیل	100mm	45 C^0	1m
ج	مخزن ذخیره گازوئیل	انفجار	45 C^0	-

آتش فورانی

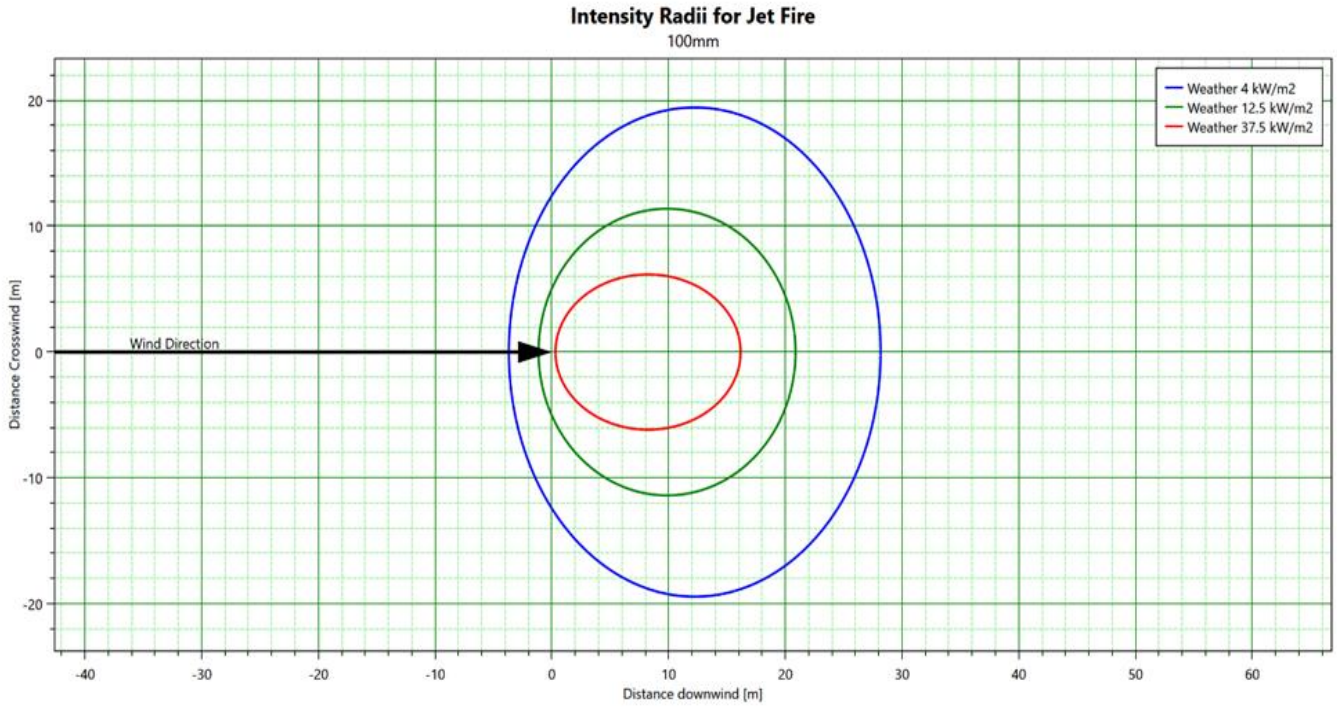
در نمودار ۱. در سناریو اول قطر نشتی ۱۰ میلی‌متر در ارتفاع ۱متری مخزن اتفاق افتاده و در گراف زیر محدوده یا شعاع تشعشع تا فاصله ۵ متری مخزن اتفاق می‌افتد. این میزان از تشعشع سبب وارد آمدن خسارات بر وسائل شیشه‌ای و پلاستیکی موجود می‌گردد.



نمودار ۱. شعاع تشعشع آتش فورانی برای نشتی ۱۰ میلی متر

 • This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

در نمودار ۲. در سناریو دوم قطر نشتی ۱۰۰ میلی‌متر در ارتفاع ۱متری مخزن اتفاق افتاده و شعاع تشعشع تا فاصله ۲۸/۱۲ متری مخزن اتفاق می‌افتد که این میزان از تشعشع نیز سبب وارد آمدن خسارات بر وسائل موجود می‌گردد.



نمودار ۲. شعاع تشعشع آتش فورانی برای نشتی ۱۰ میلی متر

در نمودار ۲. در سناریو دوم قطر نشتی ۱۰۰ میلی‌متر در ارتفاع ۱متری مخزن اتفاق افتاده و شعاع تشعشع تا فاصله ۲۸/۱۲ متری مخزن اتفاق می‌افتد که این میزان از تشعشع نیز سبب وارد آمدن خسارات بر وسائل موجود می‌گردد.

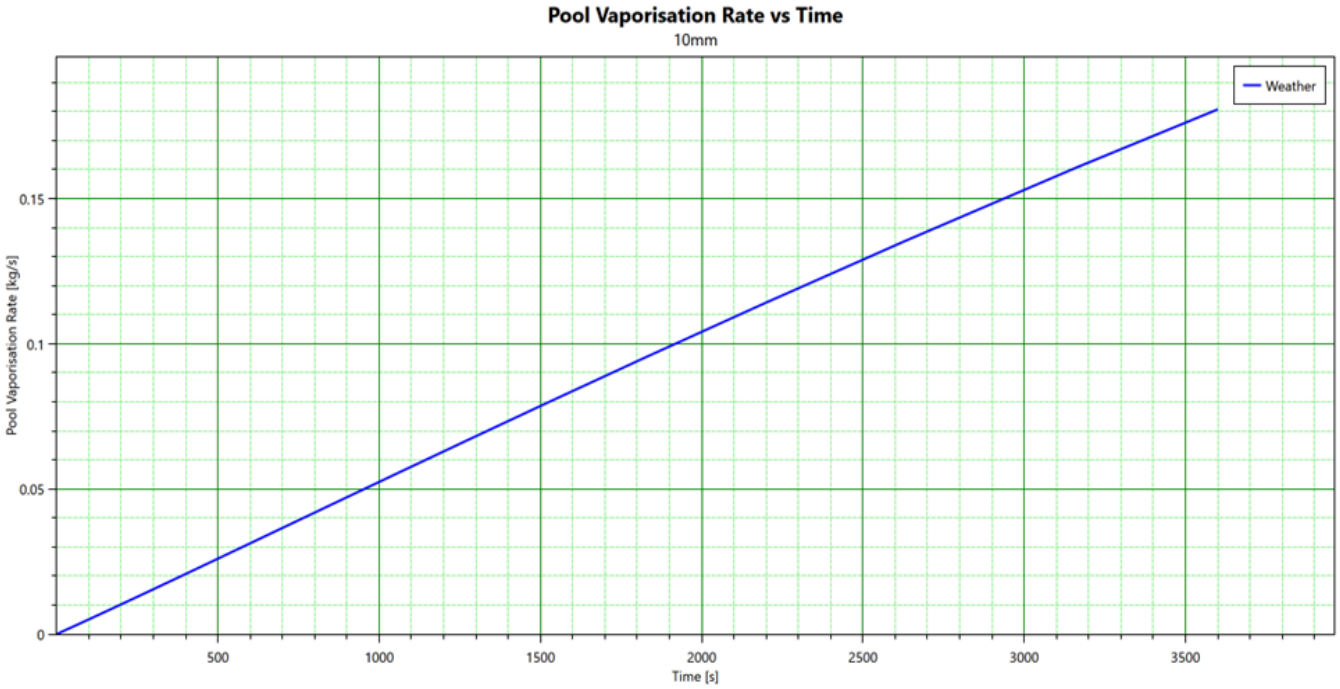
جدول ۴. بررسی وضعیت سناریو آتش فورانی JET FIRE

	فاصله (متر)	مقدار	پارامتر
سناریو الف (نشتی ۱۰ میلی متر)	2.35	37.5kw/m2	تشعشع
	3.57	12.5kw/m2	
	5	4kw/m2	
سناریو ب (نشتی ۱۰۰ میلی متر)	16.16	37.5kw/m2	تشعشع
	20.82	12.5kw/m2	
	28.12	4kw/m2	

آتش استخری

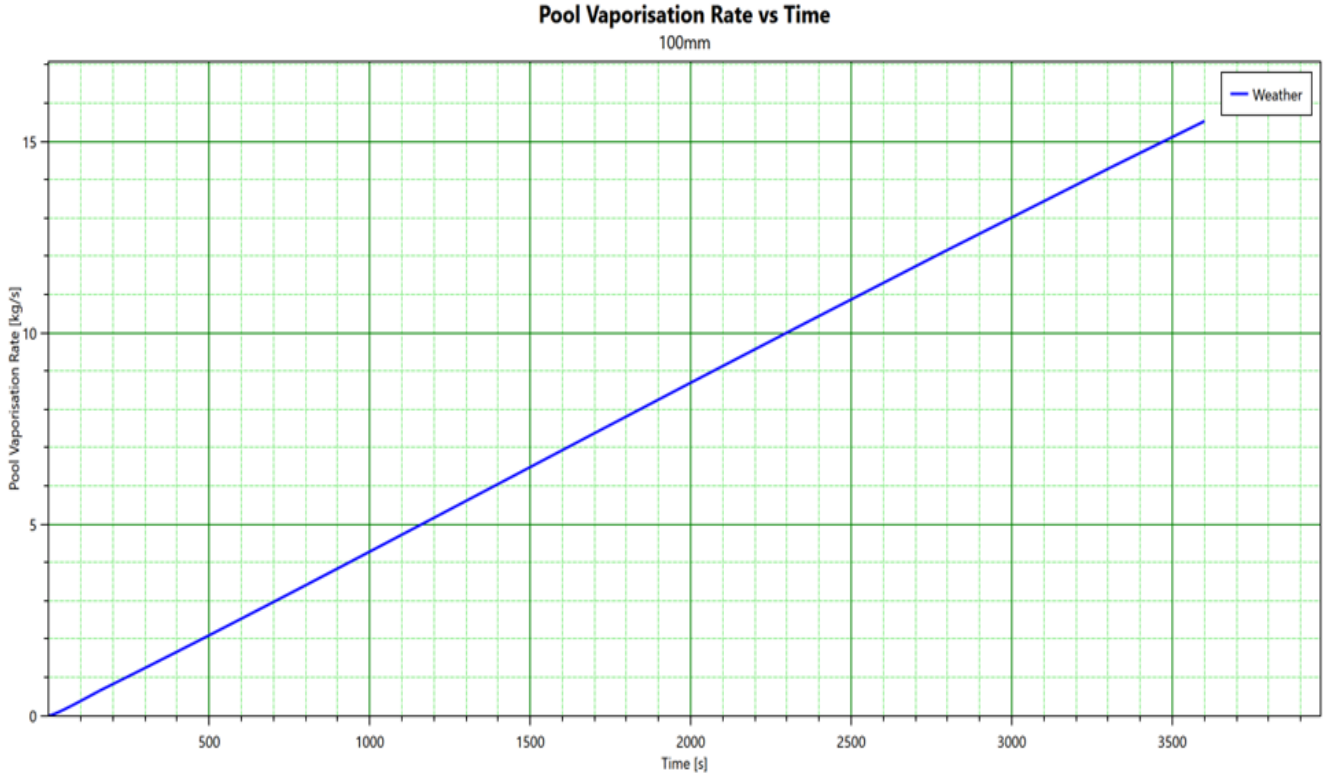
همان‌طور که در نمودار (۳)، مشاهده می‌گردد در صورت ایجاد آتش استخری با منبع جرقه ناشی از نشتی ۱۰ میلی متر تا شعاع ۶۰ متری تشعشع امواج به میزان ۴ کیلو وات برمترمربع است و تشعشع میـزان۱۲/۵کیلو وات بر مترمربـع از فاصـله تقـریبی ۲۸ متـر است و تشعشع ۳۷/۵ کیلو وات بر متر مربع در فاصله تقریبی ۲۲ متر است که این میزان تشعشع بسیار خطرناک بوده و احتمال مرگ آنی را نیز شامل می‌شود و پتانسیل آسیب رسانی به تمامی تجهیزات و ساختارهای موجود را دارا می‌باشد.

 • This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License



نمودار ۳. میزان نرخ تبخیر استخری بر اساس زمان برای نشتی ۱۰ میلی متر

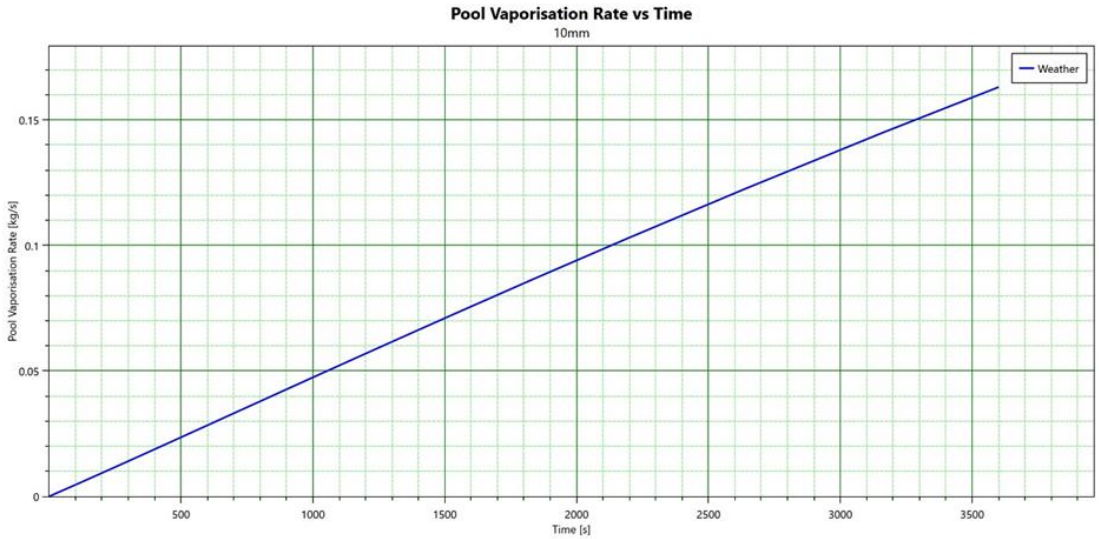
در این نمودار۴ نشتی ۱۰۰ میلی متر، مشاهده می‌گردد میزان دمای تشعشی به میزان 4 Kw/m در فاصله حدود ۲۶۰/۴۸ متر می‌باشد که در واقع فاصله مناسب جهت استقرار افراد است.



نمودار ۴. میزان نرخ تبخیر استخری بر اساس زمان برای نشتی ۱۰۰ میلی متر

 • This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

همچنان که در نمودار (۵) مشاهده می‌شود، در اثر آزاد سازی گازوییل، از مخزن و ایجاد استخر گازوییل، ۳۵۵۸ ثانیه یعنی معادل ۵۹ دقیقه و ۳ ثانیه طول می‌کشد که به حداکثر نرخ تبخیر برسیم و لذا باید تا زمان رسیدن به این حداکثر ترخ تبخیر عملیات فرونشانی گازوییل آزاد شده با فوم انجام شود. با توجه به شرایط موجود، در صورت اقدام سریع، زمان مذکور مطلوب است.



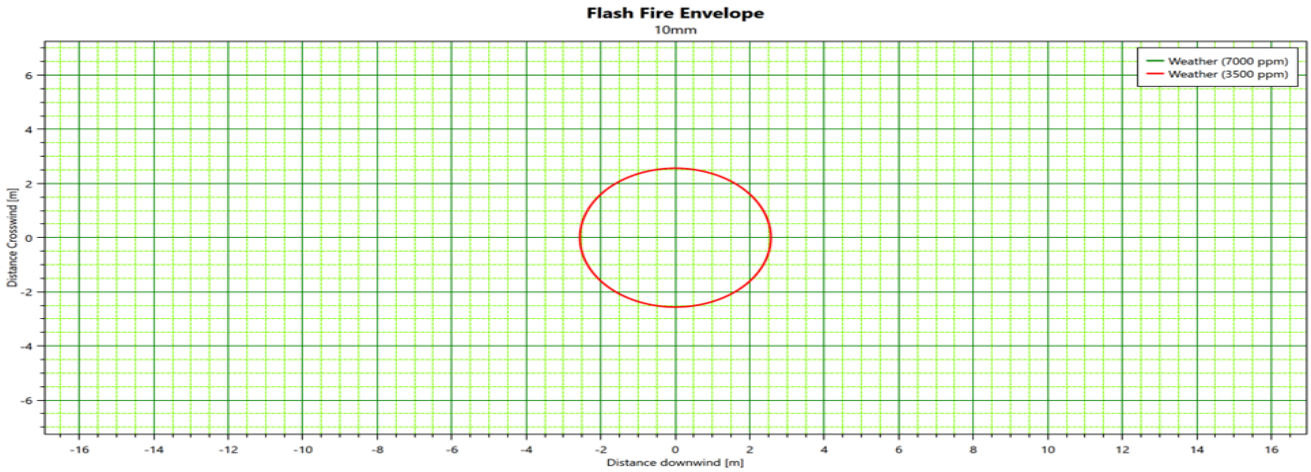
نمودار ۵. میزان نرخ تبخیر استخری بر اساس زمان برای نشتی ۱۰ میلی‌متر

جدول ۵. بررسی وضعیت سناریو آتش استخری (POOL FIRE)

	فاصله (متر)	مقدار	پارامتر
سناریو الف (نشتی ۱۰ میلی متر)	21.94	37.5kw/m2	تشعشع
	28.35	12.5kw/m2	
	49.24	4kw/m2	
سناریو ب (نشتی ۱۰۰ میلی متر)	147.86	37.5kw/m2	تشعشع
	174.08	12.5kw/m2	
	275.67	4kw/m2	

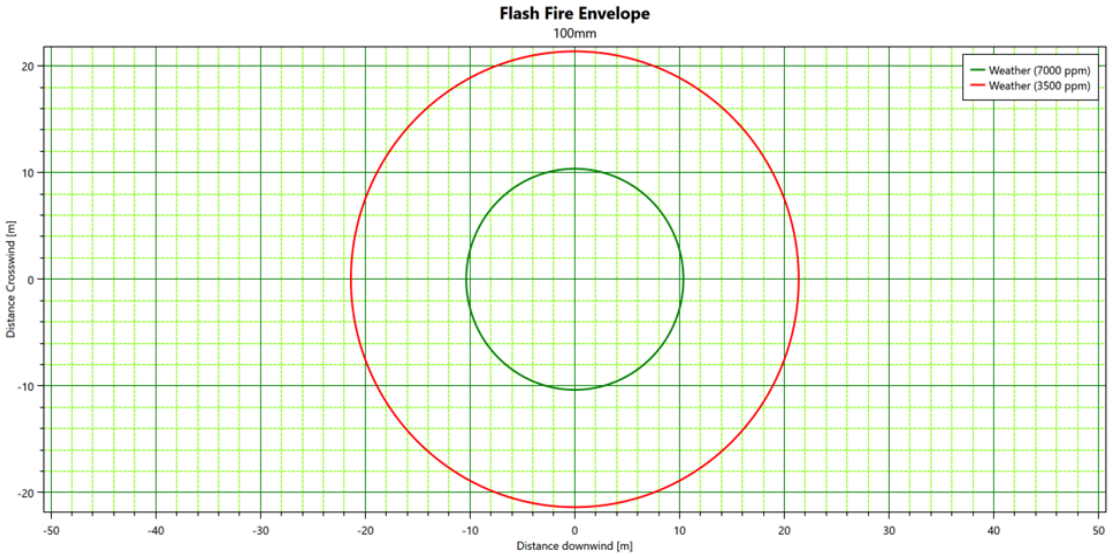
آتش ناگهانی

شعاع پیامد ناشی از آتش ناگهانی مخزن گازوئیل (۳۵۰۰ ppm) برای نشتی ۱۰ میلی‌متر (نمودار ۶) ۲/۵۵ متری و برای نشتی ۱۰۰ میلی‌متر (نمودار ۷) تا فاصله ۲۱/۳۶ متری از منبع انتشار گسترش خواهد یافت.



نمودار ۶. شعاع غلظت آتش گیری ناشی از آتش ناگهانی بر حسب فاصله از منبع رهایش برای نشتی ۱۰ میلی‌متر

 This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License



نمودار ۷. شعاع غلظت آتش گیری ناشی از آتش ناگهانی بر حسب فاصله از منبع رهایش برای نشتی ۱۰۰ میلی متر

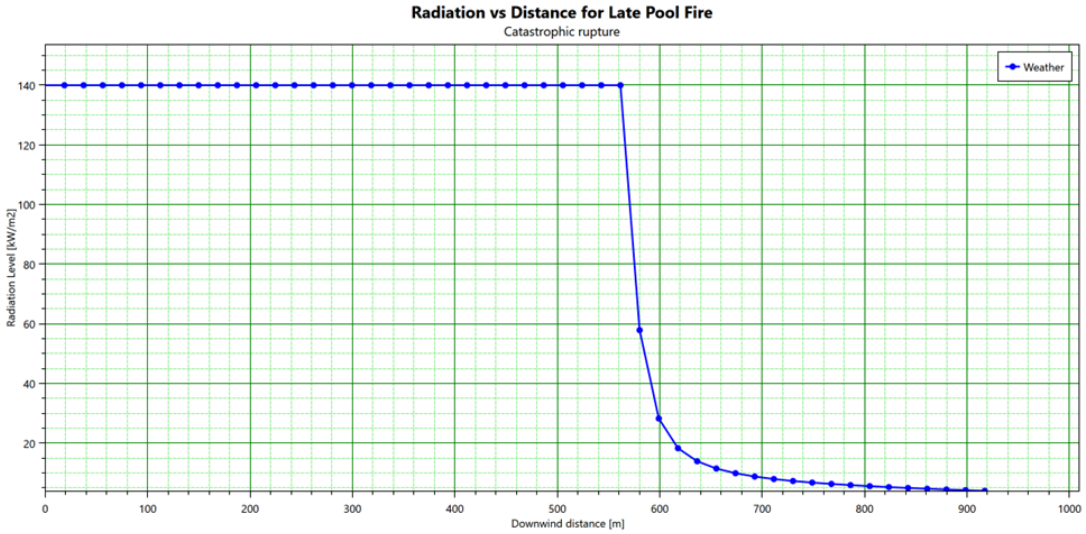
جدول ۶. بررسی وضعیت سناریو آتش ناگهانی (FLASH FIRE)

	فاصله (متر)	مقدار	پارامتر
سناریو الف (نشتی ۱۰ میلی متر)	2.77	12.5kw/m2	تشعشع
	4.02	4kw/m2	
سناریو الف (نشتی ۱۰۰ میلی متر)	14.18	37.5kw/m2	
	18.30	12.5kw/m2	
	24.59	4kw/m2	

انفجار

این نوع سناریو به مفهوم گسست ناگهانی یا متلاشی‌شدن مخزن و خروج یکباره یا ناگهانی مواد داخل مخزن است. باتوجه‌به اینکه بررسی پدیده انفجار فارغ از سناریوهای الف و ب است تکانه و فشار حاصل ازانفجار مخزن در نمودارها و نقشهٔ ذیل نمایش‌داده‌شده است.

در نمودار ۸. مشاهده می‌گردد میزان دمای تشعشی به میزان ۴۵ کیلو وات بر متر مربع در فاصله ۶۸۰ می‌باشد که در واقع فاصله مناسب جهت استقرار افراد است.

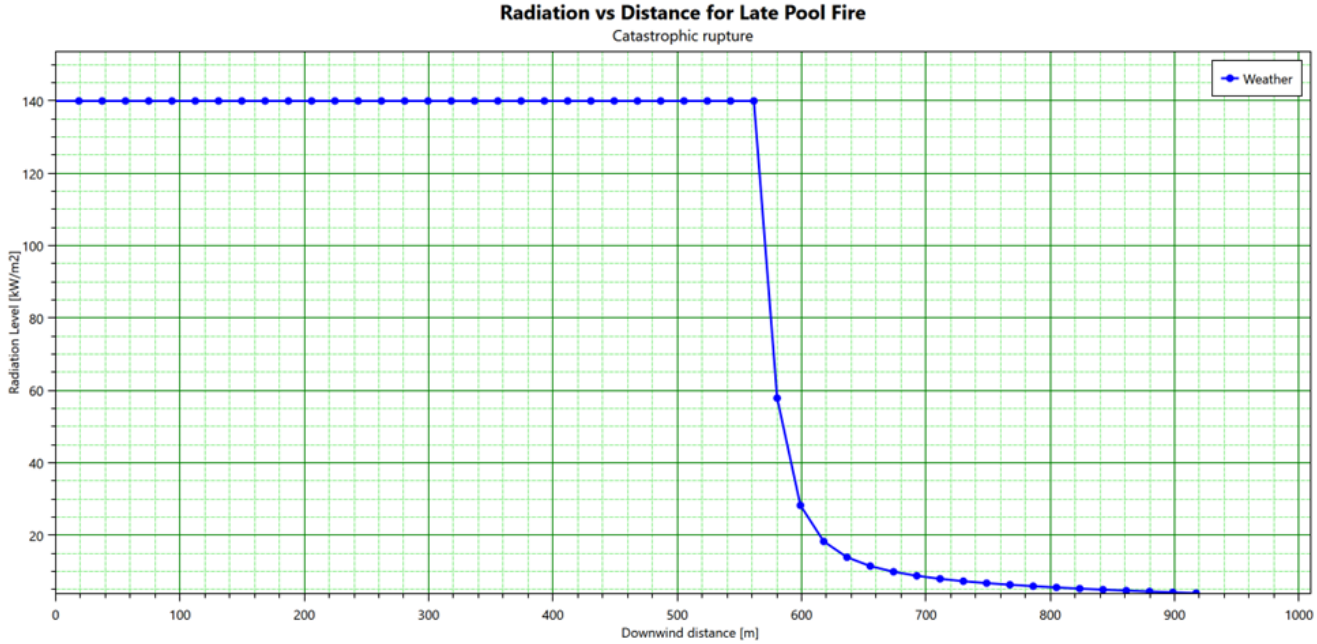


نمودار ۸. میزان دمای تشعشی بر اساس فاصله

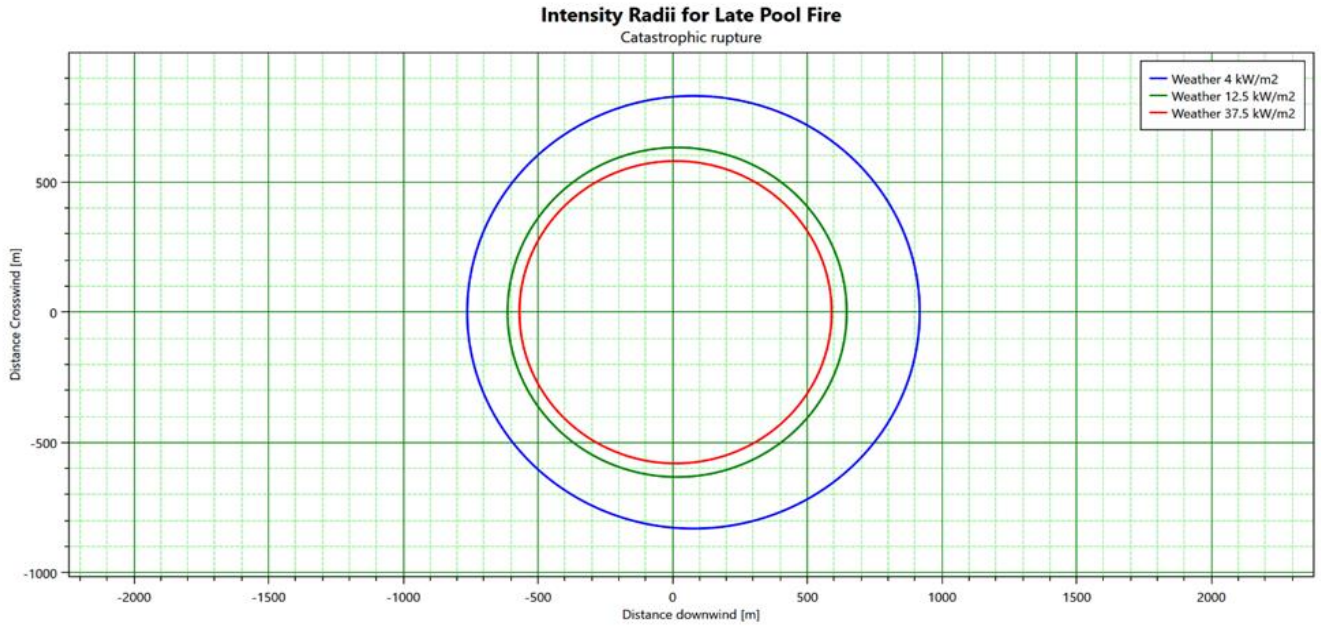
 • This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

در نمودار ۸، مشاهده می‌گردد میزان دمای تشعشی به میزان ۵۷/۸۹ کیلو وات بر متر مربع در فاصله ۵۸۰/۳۲ متر می‌باشد که در واقع فاصله مناسب جهت استقرار افراد است.

در نمودار ۹. انفجار میزان دمای تشعشی به میزان $4\ Kw/m^2$ در فاصله حدود ۱۰۵۳/۸۷ متر می‌باشد که فاصله مناسب جهت استقرار افراد می‌باشد.



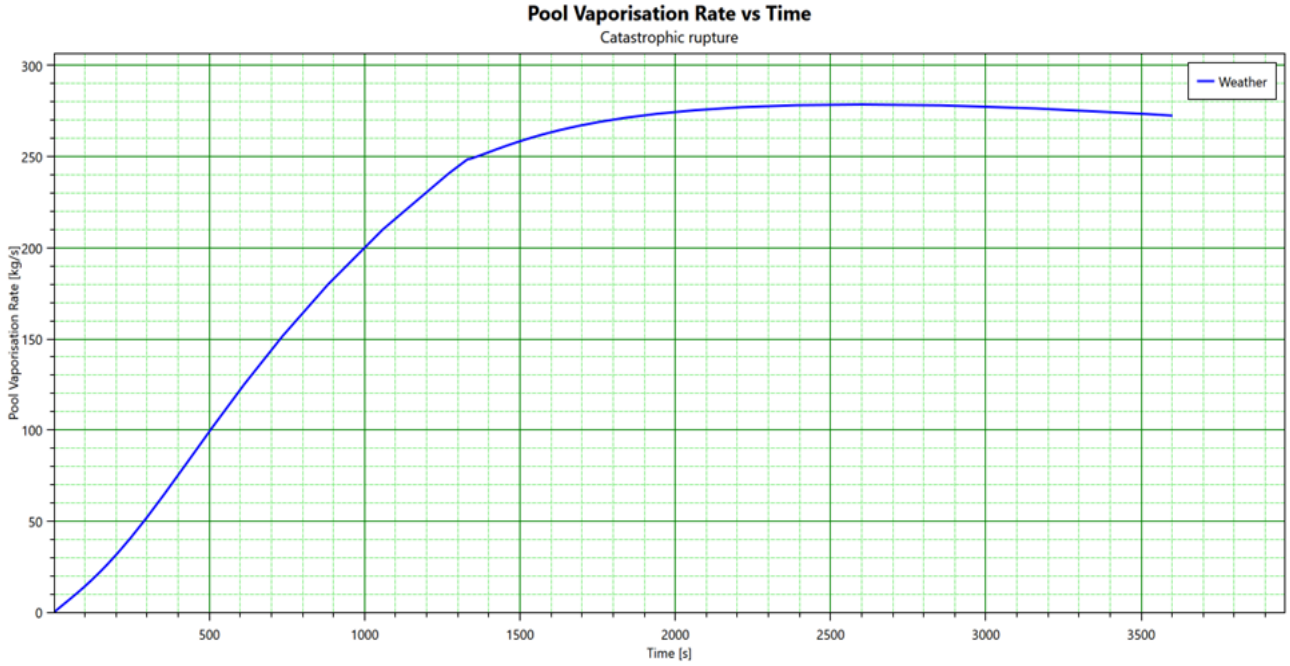
نمودار ۹. میزان دمای تشعشی بر اساس فاصله



نمودار ۱۰. شعاع فشار ناشی از انفجار از منبع رهایش

باتوجه به نمودار ۱۰ در اثر انفجار مخزن گازوئیل ۲۲۱۳ ثانیه (معادل ۳۶ دقیقه و ۸۸ ثانیه) طول می‌کشد که به حداکثر نرخ تبخیر برسد و باید تا زمان رسیدن به حداکثر ترخ تبخیر، عملیات فرونشانی گازوییل آزاد شده با فوم انجام شود.

 • This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License



نمودار ۱۱. میزان فشار ناشی از انفجار بر حسب زمان از منبع رهایش

نقشه ۱ . شعاع فشار ناشی از انفجار از منبع رهایش بر روی نقشه

جدول ۷. بررسی وضعیت سناریو انفجار

	فاصله (متر)	مقدار	پارامتر
سناریو ج (انفجار مخزن گازوئیل)	590.51	37.5kw/m2	تشعشع
	645.93	12.5kw/m2	
	1053.87	4kw/m2	

 • This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی نتایج حاصل از مدل‌سازی پیامد نشان می‌دهد در بدترین حالت، برای سناریو اول (نشتی ۱۰ میلی‌متر) حداقل و حداکثر فاصله خطرناک به ترتیب ۲۱/۹۴ و ۴۹/۲۴ متر است و پیامدهای ناشی از آتش فورانی (Jet Fire) درصورتی‌که زمان کافی برای دوری‌کردن از آن وجود نداشته باشد (۲۰ ثانیه)، می‌تواند به‌عنوان آستانه درد شدید در نظر گرفته شود و متناظر با مدت‌زمان اعمال آن می‌تواند عوارض شدید پوستی به دنبال داشته باشد به‌طوری‌که ۱ دقیقه قرارگرفتن در معرض آن حتی می‌تواند منجر به سوختگی از نوع درجه دوم شود. این میزان تشعشع معمولاً سبب آسیب رسیدن به تجهیزات دیگر نشده و تنها ممکن است سبب واردآمدن خسارات بر وسائل شیشه‌ای و پلاستیکی موجود گردد و در بدترین حالت، برای سناریو دوم (نشتی ۱۰۰ میلی‌متر) حداقل و حداکثر فاصله خطرناک به ترتیب ۱۶/۱۶ و ۲۷۵/۶۷ متر از مخازن گازوئیل است.

در سناریو ناشی از آتش ناگهانی مخزن گازوئیل (۳۵۰۰ ppm) که معادل LFL است برای سناریو اول (نشتی ۱۰ میلی‌متر) ۲/۵۵ متری و برای سناریو دوم (نشتی ۱۰۰ میلی‌متر) تا فاصله ۲۱/۳۶ متری از منبع انتشار گسترش خواهد یافت که در صورت بروز حادثه و ایجاد آتش استخری اگر نشتی ۱۰ میلی‌متر باشد تا فاصله ۲۱/۹۴ و اگر نشتی ۱۰۰ میلی‌متر تا فاصله ۱۴۷/۸۶ متری از مخزن گازوئیل باعث مرگ آنی پرسنل و آسیب به‌تمامی تجهیزات و ساختارهای موجود خواهد شد.

در سناریو سوم یعنی انفجار مخزن در شرایط آب‌وهوایی کاملاً پایدار خطرناک‌ترین سناریو است. پیامدهای ناشی از انفجار در شعاع ۱۰۵۳/۸۷ (۴ kW/m2)، متر مخزن گازوئیل را تحت‌تأثیر قرار خواهد داد که باتوجه‌به استانداردهای شار حرارتی تا فاصله ۵۹۰/۵۱ متری احتمال مرگ افراد ۱۰۰ درصد خواهد بود و پس از آن این احتمال روند کاهشی خواهد داشت و تا فاصله ۱۰۵۳/۸۷ متری که شار حرارتی به کمتر از ۴ kW/m2 خواهد رسید که حد مجاز برای انسان می‌باشد. این سناریو خطرناک‌ترین سناریو در این پژوهش بود و بیشترین میزان آسیب به پرسنل و تجهیزات در این سناریو مشاهده گردید.

باتوجه‌به داده‌های به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی بروز نشتی و انفجار می‌توان عنوان نمود، بزرگ‌ترین خطری که افراد و تجهیزات و به دنبال آن آتش‌نشان‌هایی که در سایت حضور دارند را تهدید می‌کند وقوع پدیده انفجار است که فاصله ۵۹۰/۵۱ متری را در برمی‌گیرد و باعث مرگ آنی و تخریب تمام سازه‌های فلزی و تجهیزات می‌شود. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که در هنگام وقوع شرایط اضطراری و حوادث فرایندی نظیر نشتی‌ها و حریق جهت استقرار آتش‌نشان‌ها در سایت باید فواصل ایمن را در نظر گرفت، زیرا در صورت عدم رعایت فاصله مناسب از سوی آتش‌نشان‌ها به علت بالارفتن تصاعدی درجه‌حرارت و احتمال افزایش آسیب به آتش‌نشان‌ها و تجهیزات عملیاتی آنها و در همین راستا کاهش کارایی آنها و امکان انجام عملیات ایمن و مؤثر از گروه اعزامی سلب شده و سبب گسترش حریق و صدمات جبران‌ناپذیر به نیروی انسانی، تجهیزات و تأسیسات مجاور می‌گردد که علاوه بر افزایش زمان اطفا حریق و نیاز به تجهیزات بیشتر، خسارت گزافی به سازمان تحمیل خواهد شد.

در مطالعه‌ای که طرفی علیوی و همکاران بر روی ارزیابی پیامد و تعیین حریم ایمن در ایستگاه تقلیل فشار گاز طبیعی با استفاده از نرم‌افزار PHAST (مطالعه موردی: ایستگاه برومی شهر اهواز) انجام دادند گزارش نمودند محدوده‌های با پتانسیل خطر بالا به ترتیب مربوط به نتایج انتشار و انفجار گاز بوده است که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد(۱۷).

در مطالعه‌ای که توسط پارک و همکاران بر روی تجزیه و تحلیل کمی خطر آتش سوزی و انفجار در فرایند LNG-FPSO و یارندی و همکاران بر روی ارزیابی پیامد حریق و انفجار مخازن گاز متان در یک جایگاه توزیع گاز طبیعی فشرده انجام دادند، مشخص گردید که اندازه نشتی عاملی تأثیرگذار بر مساحت تحت تاثیر انفجار و اتش ناگهانی است که با مطالعه حاضر همخوانی دارد (۱۸, ۱۹).

در مطالعه‌ای که یوسفی و همکاران بر روی ارزیابی پیامد رهایش آمونیاک از مخزن نگهداری در یکی از پالایشگاه‌های روغن سازی انجام دادند، مشخص گردید که سرعت باد و پایداری جوی به عنوان خطرناک‌ترین عامل در انفجار مخزن گاز می‌باشد که با مطالعه حاضر همخوانی دارد (۲۰).

پیشنهاد می‌گردد به‌منظور کاهش عواقب چنین پیش آمدهایی باید سازه‌های مجاور آنها را با استفاده از پوشش‌های مقاوم در برابر حریق در مقابل حرارت بالای ناشی از آتش فورانی ایمن نمود و همچنین با نصب گرند مانیتورهای آتش‌نشانی باقابلیت کنترل از راه دور در نقاط مختلف واحد به تعداد کافی امکان آسیب به آتش‌نشان‌ها را کاهش داد.

 • This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

همچنین جهت محافظت آتش‌نشان‌ها در مقابل حرارت بالای ایجاد شده در اثر حریق می‌توان با استفاده از تجهیز مخصوص آتش‌نشانی نسبت به ایجاد پرده آب اقدام نمود. علاوه بر این می‌توان جهت اطفا حریق قبل از گسترش، نسبت به پیاده‌سازی سیستم اطفا حریق اتوماتیک فوم اقدام نمود. آموزش نیروی انسانی نیز جهت آگاهی از شرایط اضطراری و بحران در چنین حوادثی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

تشکرو قدردانی

بدین‌وسیله نویسندگان از کلیه دوستانی که در راستای انجام این مطالعه، همکاری نموده‌اند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایند.

ملاحظات اخلاقی

در پژوهش حاضر هیچگونه کارآزمایی بالینی بر انسان و سایر موجودات زنده نداشته است و تجزیه و تحلیل اطلاعات از طریق فضای نرم‌افزاری بوده است؛ لذا نیازمند کسب کداخلاق نبوده است.

تضاد منافع

بنابر اظهار نویسندگان در این مطالعه هیچ‌گونه تضاد منافعی وجود ندارد.

منابع مالی

این پژوهش بدون هرگونه حمایت مالی به انجام رسیده است.

نقش نویسندگان

طراحی و اجرای پروژه (بهنوش خوش‌منش، ناصر بختیاری)، جمع‌آوری داده‌ها (ناصر بختیاری)، تجزیه و تحلیل و اعتبارسنجی (بهنوش خوش‌منش، ناصر بختیاری، فاطمه رضویان) و ویرایش و بازنگری مقاله را بهنوش خوش‌منش به عهده داشتند. همچنین همه نویسندگان نسخه نهایی مقاله را خوانده و تائید کردند.

References

1. Jafari M, Davazadeh Emammi S, Velayatzadeh M. Consequences of Fire and Explosion in Distillation Unit of Persian Gulf Star Gas Condensate Refinery Using PHAST Software. occupational hygine and health promotion journal. 2022;6(1):13-28.
2. Jafari M, Davazadeh Emammi S, Velayatzadeh M. Consequences of Fire and Explosion in Distillation Unit of Persian Gulf Star Gas Condensate Refinery Using PHAST Software. occupational hygine and health promotion journal. 2022;6(1):13-28.
3. Bazyari M GS. Risk Analysis of Petroleum Production Facilities Using PHAST Software to Develop Emergency Response Program. Fourth International Conference on Environmental Planning and Management; 2017; Tehran, Faculty of Environment, University of Tehran2017.
4. Bahmani R, Pouyakyan M, Khodakarim S, Bidel H, Salehi A. Risk assessment and consequence analysis of fire and explosion in a vinyl chloride monomer tank by PHAST. Journal of Safety Promotion and Injury Prevention. 2021;8(4):208-18.
5. Kamaei M, Alizadeh Ss, Keshvari A, Kheyr khah Z, Moshashaei P. Investigating and modeling of the effects of condensate storage tank fire in a refinery. Journal of Occupational Hygiene Engineering. 2015;2(3):29-37.
6. Jahani f, parvini m, shakib m. Consequence Analysis of Gas Condensate Leakage in a Gas Refinery to Develop an Emergency Response Plan. Journal of Occupational Hygiene Engineering. 2019;6(2):1-8.
7. Jafari m, pasdar, hadi. The effect of combustion model in predicting the behavior of pool fire and its resulting thermal furnace using large eddy simulation method. Fuel and combustion. 2019;12(3):87-105.
8. ghandehari Mt, momeni, Mansour. Identifying and quantitatively assessing the risk of urban gas pipelines and determining sensitive areas by providing an integrated model. New research in decision making2019. p. 139-66.
9. Cheraghi H, Soltanzadeh A, Ghiyasi S. Consequence modeling of the ethylene oxide storage tanks explosion using the PHAST software (a case study in a petrochemical industry). Iranian Journal of Health and Environment. 2018;11(2):261-70.
10. Shahedi ali abadi S, Assari MJ, Kalatpour O, Zarei E, Mohammadfam I. Consequence modeling of fire

 • This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

on Methane storage tanks in a gas refinery. Journal of Occupational Hygiene Engineering. 2016;3(1):51-9.

11. Naemnezhad A, Isari A, Khayer E, Olya M. Consequence assessment of separator explosion for an oil production platform in South of Iran with PHAST Software. Modeling Earth Systems and Environment. 2017;3:43.

12. George PG, Renjith VR. Evolution of Safety and Security Risk Assessment methodologies towards the use of Bayesian Networks in Process Industries. Process Safety and Environmental Protection. 2021;149:758-75.

13. Witlox H, Harper M, Pitblado R. Validation of PHAST Dispersion Model as Required for Usa Lng Siting Applications2013. 49-54 p.

14. Ensari Özay M, Güzel P, Can E. Consequence Modelling and Analysis of Methane Explosions: A prelimi-nary Study on Biogas Stations. Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences. 2021;7(1):132-44.

15. Bouafia A, Bougofa M, Rouainia M, Medjram M-S. Safety Risk Analysis and Accidents Modeling of a Major Gasoline Release in Petrochemical Plant. Journal of Failure Analysis and Prevention. 2020.

16. Malviya RK, Rushaid M. Consequence Analysis of LPG Storage Tank. Materials Today: Proceedings. 2018;5:4359-67.

17. Wang X, Ma X. Risk control analysis of safety accident in Hydrogen refueling station based on PHAST software. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;680(1):012119.

18. Torfi Alivi A, Shahraki F, Sardashti Birjandi MR, Khalilipour MM. Consequences modeling and determining of safe distance in the natural gas pressure reduction station using PHAST software (Case study: Borumi station in Ahvaz). Occupational Medicine Quarterly Journal. 2023;15(1):37-57.

19. 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 Safety and Environmental Protection. 2014;92(5):430-41.

20. Sadeghi Yarandi M, Karimi A. Evaluation of Consequence Modeling of Fire and Explosion on Methane Storage Tanks in a CNG refueling Station. Injury Control and Safety Promotion. 2019;6:237-46.

21. yousefi m, mahbob, javad. Assessing the consequences of ammonia release from a storage tank in an oil refinery. Research in safety, health and the environment. 2024;1(4):1-10.

 • This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License