JOHE
Journal of Occupational Hygiene Engineering
J Occup Hyg Eng, 2024; 11(1): 62-73 Doi: 10.32592/joohe.11.1.62
https://johe.umsha.ac.ir

Original Article

Modeling the Fire Scenario in the Diesel Storage Tank of Iran's Specialized Hospital using PHAST Software

Fatemeh Musavi[1], Reza Hekmatshoar[1,*], Zakiyeh Delghandi[1], Majid Fallahi[1,2], Akbar Ahmadi Asour[1], Mahda Hekmatshoar[3]

1. Department of Occupational Health and Safety Engineering, Faculty of Health, Sabzevar University of Medical Sciences, Sabzevar, Iran
2. Non-Communicable Disease Research Center, Faculty of Health, Sabzevar University of Medical Sciences, Sabzevar, Iran
3. Department of Computer Science, Faculty of Technical and Engineering, Sabzevar Islamic Azad University, Sabzevar, Iran

Article history:
Received: 13 July 2024
Revised: 03 August 2024
Accepted: 11 September 2024
ePublished: 20 September 2024

*Corresponding author: Reza Hekmatshoar, Sabzevar University of Medical Sciences, Sabzevar, Iran

Email: rezahekmatshoar@yahoo.com.

Abstract

Background and Objective: Diesel storage tanks play a crucial role in hospitals and are constantly at risk of chemical release, explosion, and fire. The present study aimed to assess the consequences of a diesel tank leak in one of Iran's specialized hospitals.

Materials and Methods: This study utilized an applied research approach with scenario modeling using PHAST software (version 8.4). A discharge rate of 1000 L/min was employed for the fixed-duration release scenario. The necessary information for the software, including tank and meteorological data, was collected. The mortality rate and danger radius were calculated and analyzed for two tank volumes of 23600 and 12000 m^3 in conditions of Sabzevar region in winter and 1.5 F of the software.

Results: According to the tank type and substance released into the environment, the software displayed a pool fire. The most hazardous scenario was determined to be leakage from the 23600 m^3 tank in weather conditions of Sabzevar (26°C, wind speed 15 m/s in winter). The maximum and minimum radiation heat from the fire were calculated at 44.7 and 94.2 meters, respectively. The mortality rates for exposure levels of 37.5 kw/m^2, 12.5 kw/m^2, and 4 kw/m^2 were found to be 98.7%, 6.5%, and approximately zero, respectively.

Conclusion: Fire safety in hospitals is a critical issue that requires a thorough examination of the factors that can lead to ignition and explosion. To mitigate these risks, it is recommended to strategically place diesel tanks, develop safety models for roadways, construct dams and dikes near tanks, regularly inspect equipment for corrosion and deterioration, and install sensors to detect leaks. These measures are essential for ensuring the safety of patients, staff, and hospital facilities.

Keywords: Consequences, Fire, PHAST software, Pool fire, Tank leakage

Please cite this article as follows: Musavi F, Hekmatshoar R, Delghandi Z, Fallahi M, Ahmadi Asour A, Hekmatshoar M. Modeling the Fire Scenario in the Diesel Storage Tank of Iran's Specialized Hospital using PHAST Software. J Occup Hyg Eng. 2024; 11(1): 62-73 DOI: 10.32592/joohe.11.1.62

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-01-02]
[DOI: 10.32592/joohe.11.1.62]

Copyright © 2022 Journal of Occupational Hygiene Engineering. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cite

Extended Abstract

Background and Objective

Hospitals and healthcare service centers are valuable assets that, unfortunately, experience a significant number of fire incidents each year [1], which lead to extensive damage and impose high economic burdens [2]. Fire and explosion are among the most dangerous and critical events that cause considerable financial and human losses in hospitals [3][4,5][5][6].

For many years, hospitals have relied on industrial diesel generators, which are considered powerful generators. Diesel generators are one of the types of electrical motors used in hospitals and play a critical role in providing stable power and supporting the healthcare industry's facilities. Since medical equipment is sensitive to voltage fluctuations and drops, diesel generators must supply high-quality, stable, and fluctuation-free power. Improper maintenance and storage of fuel products can lead to leaks and releases, thereby seriously endangering the health of staff, patients, and the public in the vicinity of the hospital and resulting in catastrophic incidents [7,8]. Hospitals are the main pillar of the healthcare system; hence, preventing and addressing potential hazards in them is of great importance [9][1,4,5,10].

Additionally, no study has yet been conducted on the use of Process Hazard Analysis Software Tools (PHAST) to assess the consequences of diesel tank fires in hospitals. PHAST, the most comprehensive software available for modeling chemical process incidents and analyzing their outcomes, is used for quantitative risk assessment and financial risk analysis [11]. This software can predict the complex outcomes of incident scenarios resulting from the release of chemicals from storage tanks. The outputs of the software modeling include the radius of the fire and explosion, the extent of damage caused by the incident, the pressure from the explosion wave, the number of people at risk, and the safe zone around the chemical release site [8,11,12,14].

This research aims to fill the gap regarding the lack of use of PHAST software capabilities in risk analysis for hospital diesel storage tanks and to analyze the consequences of a diesel tank leak located in the premises of one of the country's specialized hospitals.

Materials and Methods

In the present study, the consequences of a diesel tank fire in one of the country's specialized hospitals were analyzed using PHAST software version 4.8. It is important to note that the hospital under study is located near urban residential and social areas. The total area studied is approximately one hectare, and more than 500 people work in the area under study. This research, based on its objective, is applied in nature, and the execution method is scenario modeling.

Meteorological data were extracted from the synoptic weather station at Sabzevar Airport. The parameters studied for field measurements and software implementation included tank data and meteorological data. For modeling the scenario of a fixed-duration release, a discharge time of 1000 cubic meters of diesel per minute was considered. The necessary information for inputting into the software, including tank data and the meteorological data of the region, was collected. The steps of the problem-solving algorithm in PHAST software were carried out as follows:

In the first step of the algorithm, the map of the hospital under study was loaded from Google Earth, and the map was scaled accordingly. In the second step, the diesel components and their percentages were defined in the software. The third step involved defining and placing the equipment on the map and completing its information. The atmospheric tank was selected as the equipment in question, placed on the map, and related data such as temperature, height, discharge duration, and so on were entered. Then, the substance information within the tank was defined for the equipment. Based on the study's objective, in the scenario definition step, a fixed-duration release scenario was selected.

Results

In the present study, the diesel tank was located in the southeast corner of the hospital in an enclosed space with metal walls, crowded and disorganized, and placed next to other equipment and tools. In the fixed-duration release scenario, the time considered for discharge was 1000 cubic meters. According to the software results, the vapor cloud radius from the leaking tank containing 12,000 cubic meters of diesel is 27.4 meters, and for a full tank, the vapor cloud radius is 38.4 meters. When a pool of flammable liquid and its resulting vapor cloud form, if a spark or an ignition source reaches the vapors and leaked fluid in the early stages, an initial or early pool fire occurs. The most significant and primary consequences of a pool fire are assessed based on the level of radiation it generates [12, 15].

The software analysis results for the initial pool fire and the weather conditions in Sabzevar, for both 12000 m^3 (metremokab) and 23600 m^3 (metremokab) tanks, estimated radiation of 37.5 kW/m^2 up to a radius of 14 meters. This radiation is sufficient to damage equipment and cause fatal injuries to individuals. The safe radius for firefighters to operate during the initial pool fire, for both tank volumes, was determined to be 29.9 meters. Firefighters equipped with personal protective equipment can only tolerate radiation

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-01-02]

[DOI: 10.32592/joohe.11.1.62]

up to 8 kW/m^2 , and exposure to higher levels would result in burns.

According to the PHAST software results, the highest total burn rate, flame diameter, and flame length pertain to the secondary pool fire in Sabzevar's weather conditions, particularly when the tank is full. The extent of the secondary pool fire in F 1.5 weather conditions and Sabzevar's defined weather shows a radiation intensity of 4 kW/m^2 for both the 23600 m^3 (metremokab) and 12000 m^3 (metremokab) tanks. When the tank is full, leaking, and discharging, the fire's impact encompasses the entire hospital area and even extends beyond the hospital's boundaries.

Based on the modeling results, the mortality rates at different radiation intensities of 37.5 kW/m^2 , 12.5 kW/m^2 , and 4 kW/m^2 were estimated to be 98.7%, 6.5%, and approximately zero, respectively. Naturally, at closer distances and higher radiation intensities, the mortality rate increases.

Discussion

The present study aimed to analyze the consequences of a diesel tank leak located within the premises of a specialized hospital in the country. PHAST software was used to model the diesel leakage and discharge. In the event of a hospital tank leak and discharge, a fluid pool with a depth of 5 millimeters would form, and the vapor cloud radius from a full tank would be 38.4 meters, which is larger than that from a half-full tank. After the fluid pool and vapor cloud form, if a spark reaches them along the path of wind dispersion, a pool fire will occur, with flame temperatures reaching 1726.85°C.

The fixed-duration release scenario (1000 cubic meters per minute) for a full tank with a volume of 23,600 cubic meters and a mass of 18,363 kilograms in Sabzevar's weather conditions (26°C with a wind speed of 15 meters per second in winter) is the most hazardous scenario for the hospital's diesel storage tank. The studies by Lee et al. (2019) [16] and Bahmani et al. (2021) [12] showed that the discharge and release of a larger volume of flammable material, in the presence of ignition sources, result in more dangerous incidents, which aligns with the findings of the present study.

The main consequence of the pool fire is thermal radiation. The maximum radiation intensity (37.5 kW/m^2) from the secondary pool fire in a full tank reaches an affected distance of 44.7 meters. According to the graphs and reports analyzed by the software, the fire would cover most of the hospital premises, posing a risk to personnel in the area, influenced by wind direction and the tank's fuel volume.

Based on meteorological data throughout the year, the wind generally blows from the east, northeast, and southeast. Given the diesel tank's location in the hospital's southeast corner, in the event of a fire risk, the wind can intensify the fire. As this study was conducted in the winter, it showed that stable atmospheric conditions in winter lead to higher vapor cloud concentration and density near the ground, increasing the likelihood of severe hazards. The findings of Bahmani et al. (2021), in analyzing the consequences of a vinyl chloride tank fire and explosion, also mirrored the results of this study [12].

Fire safety in hospitals is a serious challenge, and one of the strengths of this study is the examination of the fire risk posed by the hospital's diesel tank. To date, no study has modeled and evaluated the fire consequences of a hospital fuel tank.

Conclusion

The findings highlight the importance of proper placement of fuel tanks in hospitals to reduce the potential negative impacts of fire-related incidents. Considering the levels of damage caused by diesel leaks and releases in hospitals, to prevent losses, emphasis should be placed on implementing safety regulations, addressing safety deficiencies, applying S5 standards to storage tanks, and inspecting environmental parameters such as temperature and humidity conditions, which can significantly reduce the destructive consequences of storage tank incidents.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-01-02]

[DOI: 10.32592/joohe.11.1.62]

JOHE
مجله مهندسی بهداشت حرفه‌ای
دوره ۱۱، شماره۱، بهار ۱۴۰۳، صفحات:۷۳-۶۲
https://johe.umsha.ac.ir
UMSHA Press

مقاله پژوهشی

مدلسازی سناریوی حریق در تانکر ذخیره گازوئیل بیمارستان تخصصی کشور با استفاده از نرم‌افزار PHAST

سیده فاطمه موسوی[۱]، رضا حکمت شعار[۱*]، زکیه دلقندی[۱]، مجید فلاحی[۱،۲]، اکبر احمدی آسور[۱]، مهداء حکمت شعار[۳]

[۱] گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، سبزوار، ایران
[۲] گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، مرکز تحقیقات بیماری‌های غیرواگیر، دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، سبزوار، ایران
[۳] گروه علوم کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی سبزوار، سبزوار، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۴/۲۳
تاریخ ویرایش مقاله: ۱۴۰۳/۰۵/۱۳
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۲۱
تاریخ انتشار مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۳۰

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

* **نویسنده مسئول:** رضا حکمت شعار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، سبزوار، ایران
ایمیل:
rezahekmatshoar@yahoo.com

چکیده

سابقه و هدف: تانکرهای ذخیره‌سازی گازوئیل از مهم‌ترین تأسیسات صنعتی بیمارستان‌ها هستند که همواره در معرض ریسک انتشار مواد شیمیایی، انفجار و حریق قرار دارند. بنابراین هدف مطالعه حاضر، تحلیل پیامدهای ناشی از نشت تانکر گازوئیل واقع در محوطه یکی از بیمارستان‌های تخصصی کشور است.

مواد و روش‌ها: نوع پژوهش کاربردی و روش اجرا از نوع مدلسازی سناریو با استفاده از نرم‌افزار PHAST نسخه ۸/۴ است. برای مدلسازی سناریوی نشت با زمان تعیین‌شده با زمان تخلیه ۱۰۰۰ $\frac{lit}{min}$ در نظر گرفته شد. اطلاعات مورد نیاز نرم‌افزار شامل داده‌های مخزن و هواشناسی منطقه گردآوری شد. درصد مرگ‌ومیر و شعاع خطر در دو حجم پر مخزن با ۲۳۶۰۰ مترمکعب و حجم نیمه پر با ۱۲۰۰۰ مترمکعب در شرایط آب‌وهوایی منطقه سبزوار در فصل زمستان و F۱/۵ نرم‌افزار محاسبه و تحلیل شد.

یافته‌ها: بر اساس نوع تانکر و رهایش ماده در محیط، نتایج نرم‌افزار آتش استخری را نشان داد. سناریوی نشتی با زمان تعیین‌شده، در تانکر ۲۳۶۰۰ m^3 در شرایط آب‌وهوایی سبزوار (۲۶ °C، سرعت باد ۱۵ $\frac{m}{s}$ در زمستان)، پر مخاطره‌ترین سناریوی تانکر نگهداری گازوئیل بیمارستان بود. بیشترین و کمترین پوشش گرمای تابشی ناشی از حریق در فواصل شعاعی ۴۴/۷ و ۹۴/۲ متر محاسبه شد. درصد مرگ‌ومیر در شدت تشعشعات ۳۷/۵ $\frac{kw}{m^2}$ ، ۱۲/۵ و ۴ $\frac{kw}{m^2}$ به ترتیب ۹۸/۷٪، ۶/۵ ٪ و حدود صفر برآوردشد.

نتیجه‌گیری: ایمنی حریق در بیمارستان‌ها یک چالش جدی و بررسی ریسک فاکتورهای اشتعال و انفجار در یک محیط بیمارستانی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده پیشنهاد می‌شود استقرار مکانی مناسب تانکر گازوئیل، طراحی مدل‌های ایمنی در مسیر، سدسازی و ایجاد دایک در محدوده تانکر، بازدیدهای مستمر به‌منظور پیش‌بینی و پیشگیری از خوردگی و پوسیدگی اتصالات و تجهیزات، نصب سنسورهای حساس به نشت و مانورهای منظم و برنامه‌ریزی‌شده جهت آموزش کارکنان واحد در دستور کار قرار گیرد.

واژگان کلیدی: پیامد، حریق، آتش استخری، نشت مخزن، نرم‌افزار PHAST

استناد: موسوی، فاطمه؛ حکمت شعار، رضا؛ دلقندی، زکیه؛ فلاحی، مجید؛ احمدی آسور، اکبر؛ حکمت شعار، مهداء. مدلسازی سناریوی حریق در تانکر ذخیره گازوئیل بیمارستان تخصصی کشور با استفاده از نرم‌افزارPHAST. مجله مهندسی بهداشت حرفه‌ای، بهار ۱۴۰۳؛۱۱(۱): ۷۳-۶۲

مقدمه

بیمارستان‌ها و مراکز ارائه‌دهنده خدمات درمانی و سلامت، سرمایه‌های با ارزشی هستند که البته سالانه تعداد زیادی از حوادث حریق را به خود اختصاص می‌دهند [۱] که تخریب و آسیب آن‌ها بار اقتصادی بالایی به همراه دارد [۲]. حریق و انفجار از مهم‌ترین

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-01-02]
[DOI: 10.32592/joohe.11.1.62]

و خطرناک‌ترین حوادثی است که خسارات مالی و جانی بسیاری در بیمارستان بر جا می‌گذارد [۳]. بررسی آمار حوادث حریق بیمارستانی نشان می‌دهد که آتش‌سوزی سطل زباله، لباس و پرده در اتاق‌ها، جرقه وسایل الکتریکی یا نقص سیستم برق، آتش‌سوزی در آشپزخانه و وسایل گرم‌کننده، سیگار کشیدن در محل استراحت کارکنان و آتش‌سوزی در محل تجمع ضایعات از عوامل اصلی ایجاد حریق است [۴،۵]. عسگری و همکاران (۲۰۲۳) برخی حوادث حریق در بیمارستان‌های ایران و جهان را بررسی کردند که نشان داد طی سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۲۱ بیمارستانی در نیویورک آمریکا (بدون کشته)، بمبئی هند (۳۰ کشته)، سه بیمارستان در بغداد و ناصریه عراق (بیش از ۲۰۰ نفر کشته و زخمی)، مقدونیه شمالی (۱۰ کشته) [۱] و بیمارستانی در تهران (۱۹ کشته) [۵]دچار حریق و آتش‌سوزی شده‌اند. مطالعه دیگری در سال ۲۰۲۱ از خطرات آتش‌سوزی و انفجارهای مرتبط با اکسیژن در بیمارستان‌هایی که بیماران کووید-۱۹ را درمان می‌کردند، بحث کرده و حادثه حریق یک بیمارستان بغداد عراق را که منجر به مرگ ۸۲ نفر شد،برجسته و پر اهمیت شناخت و به مدیریت خطرات مرتبط با استفاده از اکسیژن در محیط‌های مراقبت‌های بهداشتی تأکید کرد [۶].

سال‌هاست که بیمارستان‌ها به مجموعه دیزل ژنراتور صنعتی که از جمله ژنراتورهای نیرومند به شمار می‌روند، متکی هستند. دیزل ژنراتورها، یکی از انواع موتورهای برق مورد استفاده در بیمارستان‌ها است و نقش بسیار مهمی در تأمین برق پایدار و پشتیبانی از امکانات صنعت بهداشت و درمان بیمارستانی ایفا می‌کنند تا در صورت قطع برق شهری یا پیش آمدن هر اتفاقی که به قطع برق منجر می‌شود مانند سیل، طوفان و ... بتوانند قطعی برق را مدیریت کنند. از آنجایی که تجهیزات پزشکی به نوسان‌ها و افت ولتاژ حساس هستند؛ بنابراین دیزل ژنراتور باید برق با کیفیت بالا، پایدار و بدون نوسان تولید کند.

ژنراتورها برای تولید برق اضطراری، از سوخت دیزل (گازوئیل) استفاده می‌کنند. تانکرهای ذخیره‌سازی سوخت بیمارستانی، تجهیزات مهمی هستند که بدون وجود آن‌ها فعالیت ژنراتورها مختل خواهد شد. در بیمارستان، تأمین سوخت به مقدار کافی و نگهداری از کیفیت سوخت بسیار اهمیت دارد و در نقطه مقابل، عملکرد نادرست در نگهداری و ذخیره‌سازی فرآورده نفتی باعث نشت و رهایش آن می‌شود و در نتیجه سلامت کارکنان، بیماران و عموم مردم که در اطراف بیمارستان حضور دارند به طور جدی در معرض خطر قرار می‌گیرد و منجر به حوادثی با پیامدهای فاجعه‌بار می‌شود [۷،۸]. تانکرهای ذخیره‌سازی گازوئیل یکی از مهم‌ترین تأسیسات صنعتی بیمارستان‌ها است که همواره در معرض ریسک انتشار مواد شیمیایی، انفجار و حریق قرار دارند. از آنجایی که این تانکرها در بیمارستان قرار دارند، ممکن است آتش‌سوزی آن‌ها، خسارات جبران ناپذیری را به همراه آورد.

بیمارستان‌ها به عنوان اصلی‌ترین پایه نظام سلامت هستند؛ بنابراین پیشگیری و مقابله با آسیب‌های بالقوه ناشی از حوادث در آن‌ها از اهمیت زیادی برخوردارند [۹]. در مطالعات محدودی که عوامل خطر حریق در بیمارستان و مراکز درمانی را بررسی کردند [۱، ۴، ۵، ۱۰]، تمرکز هیچ یک از آن‌ها بر تانکر سوخت بیمارستانی نبوده است. همچنین برطبق بررسی‌های انجام‌شده تاکنون درباره استفاده از نرم‌افزار (Process Hazard Analysis Software Tools) PHAST برای ارزیابی پیامد حریق تانکرهای گازوئیل در بیمارستان‌ها مطالعه‌ای انجام نشده است.

از نرم افزار PHAST که جامع‌ترین نرم‌افزار موجود برای مدلسازی حوادث فرایندهای شیمیایی و تجزیه و تحلیل پیامد آن است، برای ارزیابی ریسک کمی و ریسک مالی استفاده می‌شود [۱۱]. این نرم افزار محصول شرکت DNV است و به طور گسترده در صنایع فرایندی در دنیا استفاده می‌شود. از آن می‌توان هم در تجزیه و تحلیل یک حادثه فرایندی (آتش‌سوزی، انفجار، نشت ماده سمی و ...) و هم در جایابی واحد، جانمایی تجهیزات و ساختمان‌ها در داخل واحد، بررسی لزوم استفاده از عایق‌های حرارتی، دیوارهای محافظتی، حوضچه‌های زیر مخازن و ... استفاده کرد. در نرم‌افزار PHAST می‌توان نتایج و نمودارها را بر روی نقشه‌ها و تصاویر واقعی مونتاژ کرد تا دید بهتری از ابعاد حادثه حاصل شود [۱۱]. این نرم‌افزار می‌تواند پیامدهای پیچیده سناریوهای حوادث ناشی از رهایش مواد شیمیایی از مخازن را پیش‌بینی کند.

نرم‌افزار PHAST همچنین می‌تواند با در نظر گرفتن شرایط آب‌وهوایی (دما، باد، رطوبت)، پستی و بلندی‌های زمین را بر اساس نقشه‌ها، ویژگی‌های ماده و مخازن نگهداری، پیامدهای ناشی از رها شدن مواد خطرناک را کمی‌سازی و مدلسازی کند [۱۲، ۱۳]. از خروجی‌های حاصل از مدلسازی نرم‌افزار می‌توان به اندازه شعاع حریق و انفجار، میزان تخریب ناشی از وقوع حادثه، فشار ناشی از موج انفجار، تعداد افراد در معرض خطر حادثه و محدوده ایمن در اطراف محل نشت مواد شیمیایی اشاره کرد [۸، ۱۱، ۱۲، ۱۴]. پژوهشگران و مؤسسات مختلف بسته نرم‌افزاری PHAST را در برخی مطالعات، اعتباربخشی کرده‌اند [۱۱].

با توجه به اینکه بیشتر حوادثی که در مخازن ذخیره سوخت رخ می‌دهد به دلیل خروج یا نشت یک ماده قابل اشتعال یا سمی در اثر ایجاد پارگی در مخزن، خطوط لوله و اتصالات مخازن است، انفجار و آتش استخری از جمله خطراتی هستند که در نتیجه نشت و رهایش گازوئیل از مخازن ممکن است، رخ دهند.

پژوهش حاضر، جهت پر نمودن شکاف تحقیقاتی درباره استفاده نکردن از توانمندی نرم‌افزار PHAST در آنالیز ریسک تانکر ذخیره‌سازی گازوئیل بیمارستانی و با هدف تحلیل پیامدهای ناشی از نشت مخزن گازوئیل واقع در محوطه یکی از بیمارستان‌های تخصصی کشور انجام شده است.

روش کار

در مطالعه حاضر پیامدهای ناشی از آتش مخزن گازوئیل در

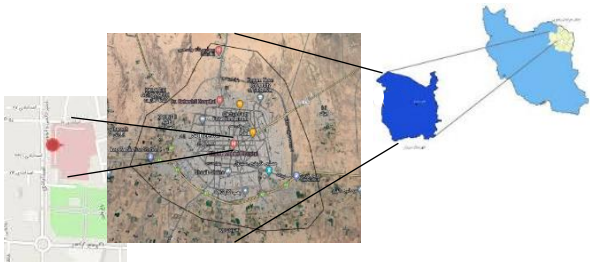
[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-01-02]

[DOI: 10.32592/joohe.11.1.62]

یکی از بیمارستان‌های تخصصی کشور با استفاده از نرم افزار PHAST نسخه ۸/۴ تحلیل شد. لازم به ذکر است بیمارستان مورد مطالعه در مجاورت فضاهای مسکونی و اجتماعی شهری قرار گرفته است. کل محدوده مورد مطالعه در حدود یک هکتار و تعداد افراد شاغل در منطقه مورد مطالعه بیش از ۵۰۰ نفر هستند. نوع پژوهش حاضر با توجه به هدف مطالعه، کاربردی و روش اجرا از نوع مدلسازی سناریو است.

۲.۱. ناحیه موردمطالعه

شهر سبزوار در ۵۷ درجه و ۴۴ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی واقع شده است (نقشه هوایی google earth). شکل (۱) موقعیت جغرافیایی بیمارستان مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی بیمارستان، سبزوار، خراسان رضوی، ایران

۲.۲. داده‌های هواشناسی منطقه

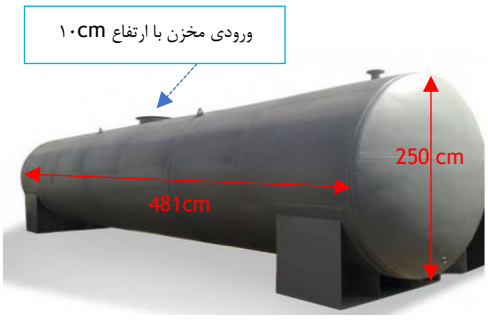
داده‌های هواشناسی از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک فرودگاه سبزوار استخراج شد. شهر سبزوار در تقسیمات اقلیمی کشور جزو اقلیم فلات مرکزی و نیمه‌بیابانی است که در زمستان نسبتاً سرد و در تابستان گرم و خشک است. در اثر وزش بادهای مهاجر که به طرف استوا در حال حرکت هستند، هوا بسیار خشک است. طبق گزارش‌های ایستگاه هواشناسی در بازه زمانی ۱۰ ساله (۲۰۲۲-۲۰۱۲) بیشترین درجه حرارت در مرداد ماه ۴۳ درجه سانتیگراد و کمترین درجه حرارت ۱۰- درجه در بهمن ماه بوده و میانگین درجه دما در طول سال حدود ۱۸/۸ درجه سانتیگراد است. جهت وزش باد غالب در سبزوار از شرق به غرباست. گلباد سبزوار، باد غالب موجود در این ناحیه را شرقی نشان می‌دهد اما درصد و سرعت وزش باد شمال شرقی قابل توجه است و به طور کلی در تمام سال جهت وزش بادها، عموماً از شرق، شمال شرق و جنوب شرق است. میزان رطوبت در سبزوار به طور میانگین بسیار پایین بوده و برطبق گزارش‌های ایستگاه هواشناسی شهر، حد متوسط بارندگی ۱۰ ساله ۶۴/۲ میلی‌متر بوده است. کمترین رطوبت ثبت‌شده هوا در این ناحیه حدود ۶٪ و متوسط ۴۲٪ گزارش شده است.

۲.۳. پارامتر مطالعه:

پارامترهای مورد مطالعه برای اندازه‌گیری‌های میدانی و اجرای نرم‌افزار شامل:

۱.داده‌های مخزن

مخزن مورد مطالعه (شکل ۲) به شکل استوانه دارای طولی در حدود ۴۸۱سانتی‌متر، قطر و ارتفاع ۲۵۰ سانتی‌متر با گنجایش ۲۳۶۰۰ مترمکعب گازوئیل است. در مطالعه حاضر دو حالت حجم پر ($۲۳۶۰۰ m^3$) و حجم نیمه‌پر ($۱۲۰۰۰ m^3$) بررسی شد.



شکل ۲. ابعاد مخزن گازوئیل

۲. داده‌های هواشناسی:

اطلاعات مورد نیاز برای منطقه سبزوار در فصل زمستان و شرایط آب‌وهوایی ۱/۵F نرم‌افزار در جدول (۱) نشان داده شده‌اند.

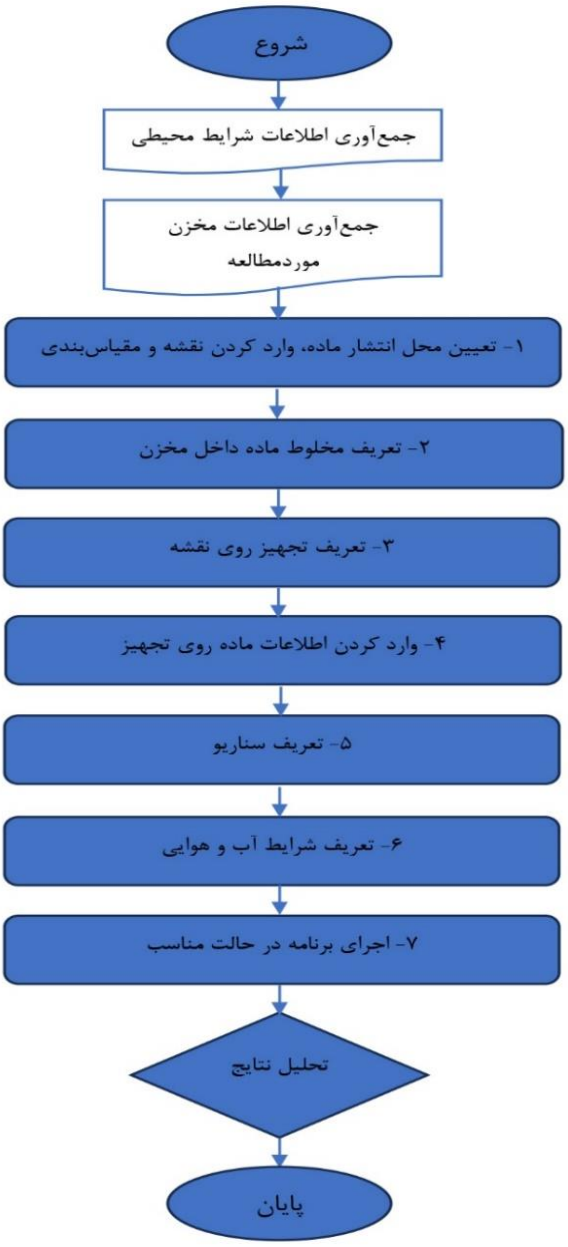
۲.۴. مدلسازی و زمان‌ها:

برای مدلسازی سناریوی نشت با زمان تعیین‌شده (Fixed Duration Release)، زمان تخلیه ۱۰۰۰ مترمکعب گازوئیل در هر دقیقه در نظر گرفته شد. نشت و تخلیه مخزن با فرض تراز نبودن و یا خوردگی بدنه مخزن می‌تواند اتفاق بیفتد. اطلاعات مورد نیاز برای ورود به نرم‌افزار که شامل اطلاعات مربوط به داده‌های مخزن و داده‌های هواشناسی منطقه هستند، گردآوری شد.

مراحل اجرایی الگوریتم حل مسئله در نرم‌افزار PHAST و روند اجرای آن در شکل (۳) نشان داده شده است. مطابق با مرحله اول الگوریتم، بارگیری نقشه بیمارستان مورد مطالعه از Google Earth انجام و مقیاس‌بندی نقشه صورت گرفت. در مرحله دوم، ترکیبات موجود در گازوئیل و درصد آن‌ها در نرم‌افزار تعریف شد. گام سوم تعریف و قرار دادن تجهیز در نقشه و تکمیل اطلاعات آن بود که مخزن اتمسفریک به عنوان تجهیز مد نظر انتخاب، در نقشه درج و اطلاعات مرتبط با دما، ارتفاع، مدت زمان تخلیه و ... ثبت شد. سپس اطلاعات ماده موجود در مخزن برای تجهیز تعریف شد. با توجه به هدف مطالعه در گام تعریف سناریو، سناریوی نشتی با زمان تعیین‌شده انتخاب شد. از الزامات مدلسازی، تعیین پارامترهای مشخص‌کننده وضعیت آب‌وهوا در گام ششم بود، به این منظور اطلاعات جدول (۱) در نرم‌افزار ثبت شد. پس از ورود اطلاعات مورد نیاز، در گام‌های نهایی برنامه اجرا و تحلیل نتایج حاصل از نرم افزار انجام شد.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-01-02]

[DOI: 10.32592/joohe.11.1.62]



شکل ۳. مراحل اجرایی الگوریتم حل مسئله در نرم افزار PHAST

جدول ۱. شرایط آب و هوایی تعریف‌شده مطالعه

	مشخصات تعریف شده برای آب‌وهوای سبزوار	مشخصات تعریف شده برای آب‌وهوای F ۱/۵
دما	۲۶ ^0C	۹/۸۵ ^0C
سرعت باد	۱۵m/s	۱/۵m/s
پایداری جوی پاسکوئیل	**E	F
رطوبت	%۳۸	%۷۰
میزان تشعشع خورشید	۰/۵kw/m^2	۰/۵kw/m^2

** با توجه به شرایط جوی بر پایه جدول پاسکوییل سرعت باد بالاتر از ۶m/s در کلاس پایداری D (خنثی) و یا C (کم و بیش ناپایدار) قرار می‌گیرد. اما از آنجایی که تانکر گازوئیل در فضای محصور با دیواره‌های فلزی قرار دارد، کلاس پایداری E انتخاب شد چون در شرایط محبوس امکان ترقیق توسط باد کاهش می‌یابد و شرایط به سمت تقریباً پایدار نزدیک می‌شود.

نتایج

در مطالعه حاضر تانکر گازوئیل در ضلع جنوب شرقی بیمارستان در فضای محصور با دیواره‌های فلزی، شلوغ و نامرتب و در مجاورت دیگر وسایل و تجهیزات قرار داده شده است. در سناریوی نشتی با زمان تعیین‌شده، زمان در نظر گرفته شده تخلیه ۱۰۰۰$\frac{lit}{min}$ بود که در حالت مخزن پر (۲۳۶۰۰ متر مکعب) زمان تخلیه ۱۴۱۶ ثانیه و مخزن ۱۲۰۰۰ مترمکعب زمان تخلیه ۷۲۰ ثانیه محاسبه شد.

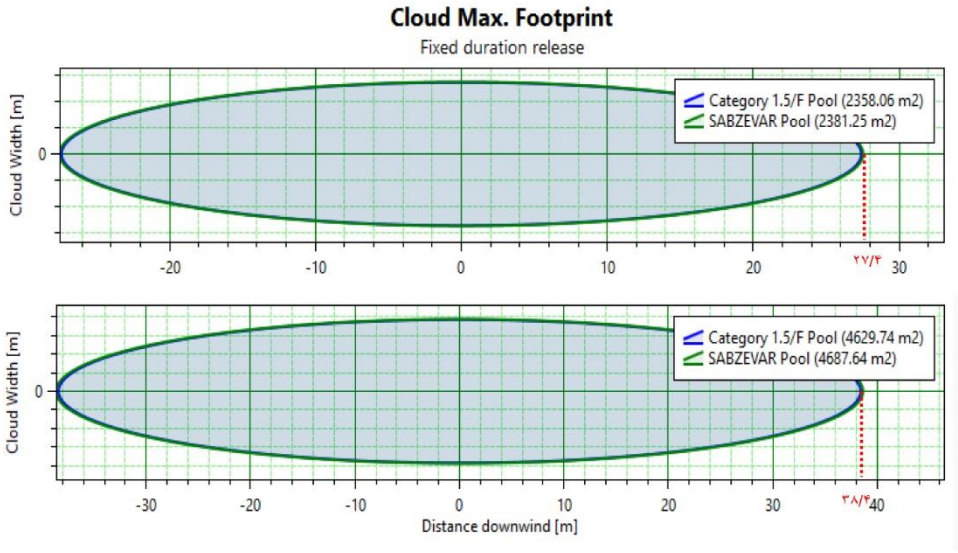
بر اساس نوع مخزن و نوع رهایش ماده در محیط، نتایج نرم‌افزار آتش استخری را نشان داد. در زمان ذخیره یا انتقال مایعات قابل اشتعال، چنانچه مخزن دچار شکستگی یا نشت شود، در نزدیکی آن حوضچه‌ای از ماده تشکیل می‌شود و بخار ناشی از تبخیر بر روی حوضچه، ابر گازی تشکیل می‌دهد. با توجه به نتایج حاصل از نرم‌افزار و و شکل (۴)،شعاع ابر بخار حاصل از نشتی مخزن دارای ۱۲ هزار مترمکعب گازوئیل ، ۲۷/۴ متر است و مخزن پر ۳۸/۴ متر شعاع ابر بخار خواهد داشت. چنانکه در شکل ۴ مشخص است، ابر بخار تشکیل‌شده در هر دو حالت آب‌وهوایی تقریباً یکسان و منطبق بر هم هستند.

هنگامی که حوضچه مایع قابل اشتعال و ابر بخار ناشی از آن حاصل می‌شود، مادامی که جرقه یا عامل ایجاد آتش در زمان‌های اولیه به بخارات و سیال نشت‌شده برسد، شاهد آتش استخری اولیه یا زود هنگام هستیم. مهم‌ترین و اصلی‌ترین پیامدهای آتش استخری، بر اساس میزان تشعشع ایجادشده از آن ارزیابی می‌شود. بر اساس نتایج تحقیقات قبلی، تاثیر نشت مخزن بر محیط اطراف، عمدتاً به شدت تابش حرارتی آن بستگی دارد، که سطح آسیب آن برای بدن انسان متفاوت است. تلفات ناشی از سطوح مختلف شدت تابش حرارتی در جدول (۲) نشان داده شده است [۱۲، ۱۵].

نتایج آنالیز نرم‌افزار برای آتش استخری اولیه و شرایط آب‌وهوایی سبزوار برای هر دو مخزن ۱۲۰۰۰ m^3 و ۲۳۶۰۰ m^3، تشعشع ۳۷/۵ $\frac{kw}{m^2}$ را تا شعاع ۱۴ متری برآورد کرد که با توجه به جدول (۲) این تشعشع برای آسیب به تجهیزات و مرگ افراد کافی است. با تشعشع ۱۲/۵ $\frac{kw}{m^2}$ به شعاع ۲۰/۲ متری خواهد رسید که این سطح تشعشع موجب آسیب شدید به انسان می‌شود. حریم امن افراد در تشعشع ۴ $\frac{kw}{m^2}$ تعیین می‌شود و تأثیر این سطح تشعشع بر انسان به گونه‌ای است که فرد قادر به فرار است این سطح برای هر دو حجم مخزن گازوئیل ۳۷/۶ متر محاسبه شده است (شکل ۵).

همچنین می‌توان از شکل ۵ حریم امن برای حضور آتش‌نشان‌ها را که دارای وسایل حفاظت فردی هستند، مشخص کرد.حریم حضور آتش‌نشان برای آتش استخری اولیه حاصل از هر دو حجم مخزن ۲۹/۹ متر به دست آمد.آتش‌نشان مجهز به وسایل حفاظت فردی، تنها توانایی حضور تا تشعشع ۸ $\frac{kw}{m^2}$ را دارد و با قرارگیری در معرض بیش از این تشعشع، دچار سوختگی و حتی صدمات بیشتری می‌شوند.

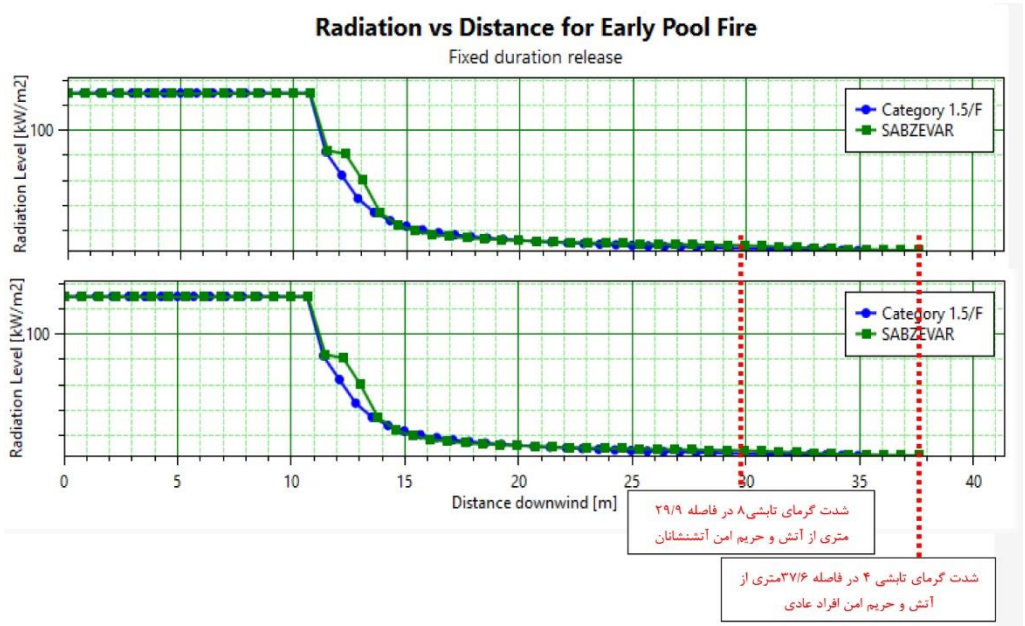
[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-01-02]
[DOI: 10.32592/joohe.11.1.62]



شکل ۴. حداکثر ابر بخار ایجاد شده بر حسب فاصله

جدول ۲. پیامد سطوح مختلف تابش حرارتی بر انسان، تجهیزات و ساختمان‌ها

شدت گرمای تابشی ($\frac{KW}{m^2}$)	پیامد، تخریب تجهیزات و آسیب به افراد
۳۷/۵	آسیب کامل به واحدها و تجهیزات فرایندی و عملیاتی، ۱٪ مرگ (۱۰ ثانیه)، ۱۰۰٪ مرگ (۱ دقیقه)
۲۵	حداقل انرژی مورد نیاز احتراق چوب در تشعشعات بدون شعله طی تماس طولانی مدت، سوختگی شدید (۱۰ ثانیه)، ۱۰۰٪ مرگ (۱ دقیقه)
۲۰	آسیب جدی به افراد در معرض (در صورت نرسیدن گروه نجات موجب مرگ می‌شود)
۱۲/۵	حداقل انرژی مورد نیاز برای احتراق چوب و ذوب پلاستیک در حضور شعله، سوختگی درجه یک (۱۰ ثانیه)، ۱٪ مرگ (۱ دقیقه)
۹/۵	آستانه درد بعد از ۸ ثانیه، سوختگی درجه ۲ بعد از ۲۰ ثانیه
۴/۵	ایجاد درد در افرادی که حداقل ۲۰ ثانیه در معرض آن باشند، سوختگی درجه اول



شکل ۵. نمودار شدت تابش بر حسب فاصله برای آتش استخری اولیه برای مخزن $12000\ m^3$ و $23600\ m^3$

زمانی که جرقه یا عامل ایجاد آتش، در همان ابتدا به بخارات و سیالات نشت شده نرسد، شاهد آتش استخری ثانویه یا دیرهنگام خواهیم بود. آتش استخری ثانویه در شرایط آب‌وهوایی سبزوار برای مخزن $12000\ m^3$ در تشعشع $37/5\ \frac{kw}{m^2}$، تا شعاع ۳۲/۸ متر را خطر

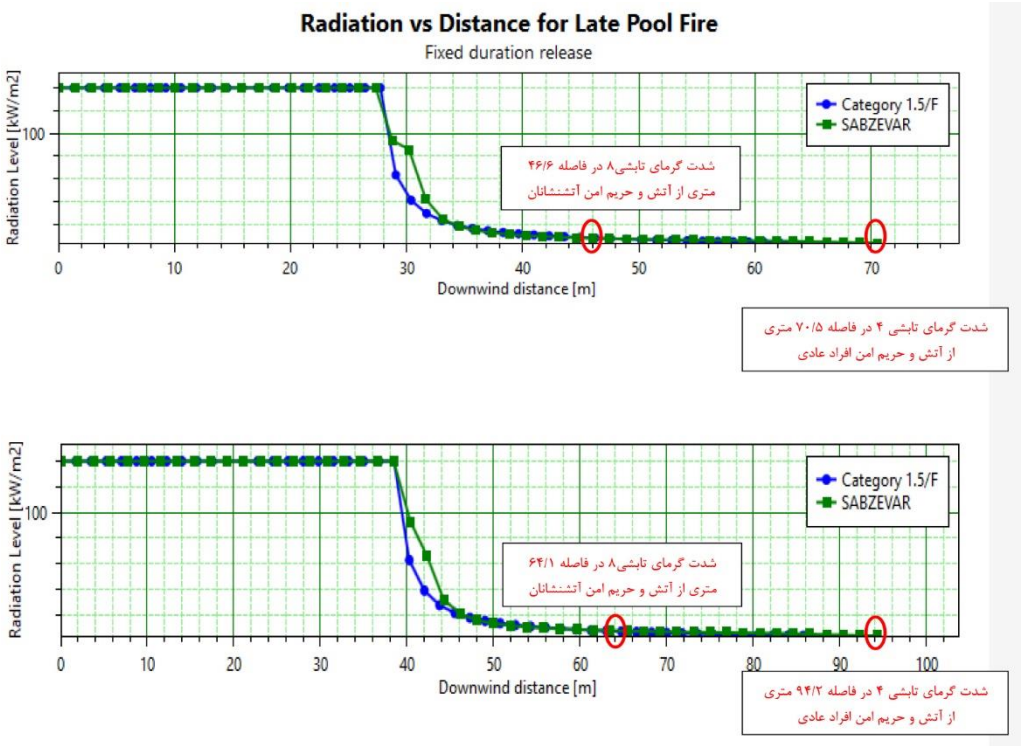
[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-01-02]
[DOI: 10.32592/joohe.11.1.62]

مرگ، تشعشع $\frac{kw}{m^2}$ ۱۲/۵ به شعاع ۴۲ متر با احتمال آسیب شدید به انسان و تشعشع $\frac{kw}{m^2}$ ۴ به عنوان حریم امن افراد در شعاع ۷۰/۵ متر نشان داده شد. برآوردها برای مخزن m^3 ۲۳۶۰۰ در تشعشعات $\frac{kw}{m^2}$ ۳۷/۵ ، $\frac{kw}{m^2}$ ۱۲/۵ و $\frac{kw}{m^2}$ ۴ به ترتیب در فواصل شعاعی ۴۴/۷، ۵۶/۴ و ۹۴/۲ متر محاسبه شد. حریم امن افراد در تشعشع $\frac{kw}{m^2}$ ۴ و حریم حضور آتش‌نشان‌ها با وسایل حفاظت فردی آتش استخری ثانویه مخزن نیمه‌پر و مخزن پر در شکل (۶) نشان داده شده‌اند.

مطابق با نتایج خروجی نرم افزارPHAST در جدول (۳)، بیشترین شدت جریان سوختن کل، قطر و طول شعله آتش مربوط به آتش استخری ثانویه در شرایط آب‌وهوایی سبزوار و در زمانی است که مخزن پر باشد.

شکل (۷) گستره آتش استخری ثانویه برای شرایط آب‌وهوایی F ۱/۵ و آب‌وهوای تعریف شده سبزوار تا شدت تشعشع $\frac{kw}{m^2}$ ۴ را در مخزن ۲۳۶۰۰ مترمکعب و ۱۲۰۰۰ مترمکعب نشان می‌دهد. هنگامی که حجم مخزن پر باشد، آنگاه نشت کند و تخلیه شود، پیامد حریق کل محدوده بیمارستان و حتی خارج از محدوده بیمارستان را نیز در بر می‌گیرد.

بر اساس نتایج مدلسازی، درصد مرگ‌ومیر در شدت تابش‌های مختلف تشعشعات $\frac{kw}{m^2}$ ۳۷/۵ ، $\frac{kw}{m^2}$ ۱۲/۵ و $\frac{kw}{m^2}$ ۴ به ترتیب ۹۸/۷ درصد، ۶/۵ درصد و حدود صفر برآورد شد. بدیهی است که در فواصل نزدیک‌تر و متراکم‌تر و شدت تابش بیشتر درصد مرگ‌ومیر افزایش می‌یابد.



شکل ۶. نمودار شدت تابش بر حسب فاصله برای آتش استخری ثانویه برای مخزن m^3 ۱۲۰۰۰ و m^3 ۲۳۶۰۰

جدول ۳. اطلاعات تکمیلی آتش استخری اولیه و ثانویه

اطلاعات تکمیلی آتش استخری	حجم ۱۲۰۰۰ مترمکعب		حجم ۲۳۶۰۰ مترمکعب	
	آب‌وهوای سبزوار (اولیه)	آب‌وهوای سبزوار (ثانویه)	آب‌وهوای سبزوار (اولیه)	آب‌وهوای سبزوار (ثانویه)
قطر آتش(m)	۲۱/۵	۵۵	۲۱/۵	۷۷/۳
طول شعله آتش(m)	۲۰/۹	۴۰/۲	۲۰/۹	۵۱
شدت جریان سوختن کل(kg/s)	۱۳	۸۴/۹	۱۳	۱۶۷/۱

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-01-02]
[DOI: 10.32592/joohe.11.1.62]

شکل ۷. گستره آتش استخری ثانویه شدت تشعشع ۴ $\frac{kw}{m^2}$

بحث

مطالعه حاضر با هدف تحلیل پیامدهای ناشی از نشت تانکر گازوئیل واقع در محوطه بیمارستان تخصصی کشور انجام شد. در این مطالعه از نرم‌افزار PHAST به‌منظور انجام مدلسازی نشت و تخلیه گازوئیل استفاده شد. در صورت نشت و تخلیه تانکر بیمارستانی، حوضچه‌ای از ماده سیال با عمق ۵ میلی‌متر تشکیل می‌شود که شعاع ابر بخار حاصل از آن برای مخزن پر ۳۸/۴ متر و بیشتر از شعاع ابر بخار مخزن نیمه‌پر است. پس از تشکیل حوضچه سیال و ابر بخار، در صورتی که جرقه به آن برسد در مسیر انتشار باد، حریق به صورت آتش استخری صورت گرفته که دمای شعله‌های حریق به ۱۷۲۶/۸۵ درجه سانتیگراد می‌رسد.

سناریوی نشتی با زمان تعیین‌شده (۱۰۰۰ $\frac{lit}{min}$)، در مخزن پر با حجم ۲۳۶۰۰ مترمکعب و جرم ۱۸۳۶۳ کیلوگرم در شرایط آب‌وهوایی سبزوار (۲۶ درجه سانتیگراد با سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه در زمستان)، پرمخاطره‌ترین سناریوی مخزن نگهداری گازوئیل بیمارستان است. مطالعه لی و همکاران (۲۰۱۹) [۱۶] و بهمنی و همکاران (۲۰۲۱) [۱۲] نشان داد، تخلیه و انتشار حجم بیشتر مواد قابل اشتعال در محیط، در صورت وجود منابع جرقه منجر به حوادث خطرناک‌تر می‌شود که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد.

پیامد اصلی ناشی از آتش استخری، تابش‌های گرمایی هستند. ماکزیمم شدت تابش تشعشع (۳۷/۵ $\frac{kw}{m^2}$) در آتش استخری ثانویه در مخزن پر تا فاصله تحت تاثیر ۴۴/۷ متر می‌رسد. این در حالی است که فاصله مخزن تا نزدیک‌ترین واحدهای بیمارستان از محدوده جنوب و جنوب شرق در حدود ۵ تا ۱۰ متر است. نزدیک‌ترین واحدها به مخزن در ضلع شرقی، اتاق برق و اتاق دیزل هستند که در محدوده حریق قرار گرفته و نشان‌دهنده وجود سطح ریسک بسیار بالا و غیر قابل قبول است.

پیامد سناریو با توجه به نمودارها و گزارش‌های تحلیل‌شده از نرم‌افزار نشان داد، آتش بیشتر محوطه بیمارستان را در بر می‌گیرد که تحت تاثیر وزش باد و مقدار موجودی حجم مخزن، افراد شاغل را در این ناحیه در معرض مخاطره قرار می‌دهد. همچنین در محدوده حریق در طبقه منفی یک موتورخانه، لانژری، آشپزخانه، انبار دارو، بخش رادیولوژی، سی‌تی اسکن و در طبقه اول بخش اداری، مدیریت، اورژانس، درمانگاه و ... هستند. ارتفاع ساختمان از طبقه همکف تا طبقه هفتم بیمارستان حدود ۴۵ متر است. با توجه به یافته‌ها، طول شعله‌های آتش به ۴۰-۵۰ متر می‌رسد و این نشان می‌دهد که شعله‌های آتش می‌تواند کل ارتفاع ساختمان بیمارستان را در برگیرد؛ بنابراین پیامد وقوع حریق می‌تواند اثرات جبران‌ناپذیری بر واحدهای بیمارستان، انسان‌ها و تجهیزات داشته باشد. همچنین لازم به ذکر است که بیمارستان نزدیک به ساختمان فرمانداری، و سایر ادارات و منازل مسکونی است.

با توجه به داده‌های هواشناسی در تمام سال جهت وزش بادها، عموماً از شرق، شمال شرق و جنوب شرق است که با توجه به قرارگیری تانکر گازوئیل در ضلع جنوب شرقی بیمارستان، در صورت وقوع ریسک حریق می‌تواند شدت آتش را تقویت کند. ذکر

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-01-02]
[DOI: 10.32592/joohe.11.1.62]

ایـن نکتـه ضـروری اسـت کـه بـا توجـه بـه وزش بـاد غالب (شرق و شمال شرق) و بـاد نائـب غالـب (جنوب شرق)، جانمایی مخزن در ضلع جنوب شرقی بیمارستان نامناسـب است.

از آنجایی که مطالعه حاضر در فصل زمستان انجام شد، نشان داد شرایط جوی ثابت در زمستان باعث می‌شود تا غلظت ابر بخار مواد نشتی در سطح زمین افزایش یافته و متراکم باشد و به وقوع خطرات شدیدتری منجر شود. نتایج مطالعه بهمنی و همکاران (۲۰۲۱) در تحلیل پیامد حریق و انفجار یک مخزن وینیل کلراید نیز نتایج مشابه با مطالعه حاضر را نشان داد [۱۲].

ایمنی در برابر حریق در بیمارستان‌ها یک چالش جدی است و از نقاط قوت این مطالعه، بررسی خطر حریق تانکر گازوئیل بیمارستانی است که تاکنون در هیچ مطالعه‌ای مدلسازی و ارزیابی پیامد حریق مخزن سوخت بیمارستانی انجام نشده است و حتی در مطالعات موجود، ارزیابی ریسک حریق در بیمارستان‌ها به مخازن سوخت اشاره‌ای نشده بود [۱، ۵، ۱۰].

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر یک بررسی جامع از خطرات مرتبط با آتش‌سوزی تانکر گازوئیل در تأسیسات بیمارستان را نشان داد. یافته‌ها اهمیت قرارگیری صحیح مخازن سوخت را در بیمارستان‌ها برای کاهش اثرات منفی احتمالی حوادث مربوط به آتش‌نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن سطوح آسیب ناشی از نشت و رهایش گازوئیل در بیمارستان جهت پیشگیری از میزان خسارات، تأکید بر اجرای قوانین ایمنی و برطرف کردن نقایص ایمنی، اجرای ۵S در مخزن نگهداری، بازرسی پارامترهای محیطی مانند شرایط دمایی و رطوبت می‌توانند تأثیر بسزایی در کاهش پیامدهای مخرب مخزن نگهداری داشته باشند. بایستی بازرسی‌های فنی و بازدیدهای مستمر از مخزن به‌منظور پیش‌بینی و پیشگیری از خوردگی و پوسیدگی اتصالات و تجهیزات انجام شود. فضای اطراف مخزن عایق‌کاری حرارتی شود و مانورهای منظم و برنامه‌ریزی‌شده جهت آموزش کارکنان واحد، در دستور کار قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این پژوهش از کارکنان و مسئولان محترم بیمارستان مورد مطالعه که ما را در انجام این پروژه یاری کردند، تشکر و قدردانی می‌کنند.

تضاد منافع

هیچ‌گونه تضاد منافعی بین نویسندگان در این مقاله وجود ندارد.

ملاحظات اخلاقی

در پژوهش حاضر تمام ملاحظات اخلاقی و حفظ محرمانگی اطلاعات بیمارستان رعایت شده است.

سهم نویسندگان

پژوهش حاضر حاصل طراحی و تنظیم رضا حکمت شعار است. مراحل اجرایی انجام مطالعه، جمع‌آوری داده‌ها و اجرای نرم‌افزار بر عهده زکیه دلقندی بود که نقش درخور توجهی در انجام مطالعه داشت. سیده فاطمه موسوی تفسیر نتایج و نسخه اولیه مقاله را تنظیم کرد. مجید فلاحی و اکبر احمدی آسور ویرایش نوشتار نسخه اولیه مقاله و مهداء حکمت شعار تنظیم متن را بر عهده داشتند.

حمایت مالی

پژوهش حاضر با بودجه شخصی نویسندگان انجام شده است.

REFERENCES

1. Asgary M, Zaroushani V, Ghalenoei M, Akbari Y. Fire risk analysis using the FSES method in a educational hospitals of Qazvin University of Medical Sciences in 2022. *Journal of Health and Safety at Work*. 2023;**13**(2):269-87. Link
2. WHO. Make hospitals safe in emergencies 2009.2024. Link
3. Daneshmandi M, Amiri H, Vahedi M, Farshi M, Saghafi AE, Zigheymat F. Assessing the level of preparedness for confronting crisis such as flood, earthquake, fire and storm in some selected hospitals of Iran. 2010;**12**(3):167-71. Link
4. Olsson F, Engineer FP. An engineering approach to determine acceptable risk. InProceedings of the SFPE Symposium on Risk, Uncertainty and Reliability in Fire Protection Engineering, Society of Fire Protection Engineers. USA. 1999. Link
5. Zaroushani V, Khajehnasiri F. Challenges on Hospital Fire Safety during COVID-19 Crisis. *Journal of Health and Safety at Work*. 2022;**12**(2):237-43. Link
6. Wood MH, Hailwood M, Koutelos K. Reducing the risk of oxygen-related fires and explosions in hospitals treating Covid-19 patients. *Process Saf Environ Prot*. 2021;**153**:278-88. PMID: 34188364 DOI: 10.1016/j.psep.2021.06.023
7. Kariznovi H, AsgharFarshad A, Yarahmadi R, Khosravi Y, Yari P. Consequence analysis of fire and explosion of a cylindrical LPG tanks in an oil and gas industry. *Iran Occupational Health*. 2017;**14**(3):37-45. Link
8. Jafari MJ, Mohammadfam I, Zarei E. Analysis and simulation of severe accidents in a steam methane reforming plant. *Int J Occup Hyg*. 2014;**6**(3):120-30. Link
9. Azadian S, Shirali GA, Saki A. Evaluation reliability and validity a questionnaire to assess crisis management based on seven principles of resilience engineering approach in hospitals. 2016;**13**(1):15-26. Link
10. Habibi E, Aslsani AM. Evaluation of fire risk by FRAME method and studying the effect of trained crisis management team of fire risk level in Hazrat Rasoul-e Akram hospital of Fereydunshahr in 2016. *jorar* . 2017;9(1):46-55. Link
11. Parvini M, Sharifisoudkolaei Z. Practical Application of PHAST Software for chemical engineers, safety, environment and HSE professionals. Tehran: Ideh Pardazan Sharif Documentation. 2022:260. Link
12. 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. *J Saf Promot Inj Prev*. 2021;**8**(4):208-18. Link
13. Malviya RK, Rushaid M. Consequence analysis of LPG storage tank. Materials Today: Proceedings. 2018;5(2):4359-67. DOI:10.1016/j.matpr.2017.12.003
14. Yang R, Gai K, Yang F, Zhang G, Sun N. Simulation of pressure tank leakage based on PHAST. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing.2019. Link
15. Khodadadi-Mousiri A, Yaghoot-Nezhada A, Sadeghi-Yarandi M, Soltanzadeh A. Consequence modeling and root cause analysis (RCA) of the real explosion of a methane pressure vessel in a gas refinery. *Heliyon*. 2023;9(4). Link

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-01-02]

[DOI: 10.32592/joohe.11.1.62]

16. Lee HE, Yoon SJ, Sohn J-R, Huh D-A ,Jang S-W, Moon KW. Suitability assessment of legal regulation of chemical concentrations according to vapor pressure and damage radius. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;**16**(3):347. DOI: 10.3390/ijerph16030347

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-01-02]

[DOI: 10.32592/joohe.11.1.62]