Iran Occupational Health

Iran Occupational Health. 2023 (01 Aug);20: 11

Original Article

http://ioh.iums.ac.ir

Separation Distance of Petrol and LPG Cargo Tankers in Parking Lot: A Consequence Modeling Study

Mohammad Reza Fallah Ghanbari, Ph.D. Student of Health in Disasters and Emergencies, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences(SBMU), Tehran, Iran.

Katayoun Jahangiri, (*Corresponding author), Full professor of Health in Disasters and Emergencies Department, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences(SBMU), Tehran, Iran. k.jahangiri@sbmu.ac.ir

Mostafa Pouyakian, Associate Professor of Department of Occupational Health and safety Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Science.

Farid Ghaffari, Ph.D. Student of Health in Disasters and Emergencies, Department of Health in Disasters and Emergencies, Aja University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Abstract

Background and aims: Parking areas, which serve as gathering places for tank trucks, are potentially dangerous. This study aims to analyze the accident consequences of oil product carriers, checking and comparing the hazard radius with recommended separation distances.

Methods: This descriptive-analytical study was conducted in five stages: scenario selection, determination of accident source parameters, determination of atmospheric conditions, selection of reference values, and modeling the analysis of scenarios and their consequences. The Process Hazard Analysis Software Tool (PHAST) was utilized to analyze the consequences of accidents involving liquid petroleum gas and gasoline tankers.

Results: Based on average values, the appropriate separation distances are 50±25.8 m and 361.4±184.8 m for leakage and catastrophic rupture of a liquefied petroleum gas (LPG) tanker, respectively. For a petrol tanker, these distances are 28.3±14.9 m and 571.2±137.6 m for leakage and catastrophic rupture, respectively. The separation distance based on catastrophic rupture is so large that it is impractical for the design and management of road tanker parking areas. According to the leakage scenario, a safety distance of 28.3-50 m is required.

Conclusion: Given the existing separation criteria, an accident involving a tanker may spread to other parts of the parking lot, potentially leading to a disaster. Therefore, it appears necessary to review and update guidelines and standards related to parking lot design, separation distances, and emergency planning.

Conflicts of interest: None

Funding: None

Keywords

Cargo tanker

Accident

Consequence Modeling

Separation distance

Parking lot

Received: 2022/05/4

Accepted : 2023/03/1

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-12-27]

[DOI: 10.61186/ioh.20.1.138]

EXTENDED ABSTRACT

INTRODUCTION

Today, a significant number of trucks and trains transport large quantities of hazardous materials, such as petroleum products. Several studies have indeed indicated an increase in the number of accidents involving the handling of these hazardous materials. In Iran, between 2008 and 2012, the majority of road tanker accidents involved liquefied gas, gasoline, and diesel tankers.

While the number of accidents occurring in parking areas is less compared to those on the road, their consequences can be more severe due to the concentration of tankers. In these areas, unsafe acts such as smoking significantly increase the risk of fire.

Parking areas can be particularly vulnerable to significant damage related to road tankers. These areas often have numerous trucks carrying hazardous materials parked in close proximity. Therefore, an accident leading to a fire or explosion could have extensive consequences.

In this context, one of the mitigation strategies is to consider the separation distance between trucks to prevent the spread of an accident to other vehicles. This is a primary goal for transportation policymakers.

Documents pertaining to the safety limits of tankers carrying hazardous materials have primarily focused on safety considerations required in parking areas, rather than providing clearance distances. However, some codes have suggested values for separation distance in parking areas. For instance, for the storage parking of a bulk fuel-carrying vehicle, there should be a safe clearance around the hard standing, extending 10 m outwards in all directions. No facilities, vehicle parking areas, or buildings, including control rooms, are permitted within this safe clearance. Under normal circumstances, a one-way traffic system incorporating an exit and access gate is approved; if the distance to exit the park exceeds 24 m, a personnel emergency exit should be included in the design. The area provided by The Joint Service Publication (JSP) 317 is 2 m between vehicles, 5 m between the next group of 9 vehicles, and 2 m between vehicle and edge of hard standing. A 45-m separation distance applies to living accommodations and public highways.

In New Zealand's dangerous goods regulations, Liquefied petroleum gas (LPG) separation distances for tanks with a capacity of 20,000 - 50,000 are l0 m from public places and l7 m from protected work. The separation distance in the United States, based on the National Fire Protection Association (NFPA) 58 for an LPG tank with a capacity of 7,600 - 114,000 is 15 m. In the United Kingdom, based on the HS/G34 document, the minimum separation distance for LPG tanks with a capacity of 9,000 -¬135,000 liters is 15 m.

Risk mitigation in parking areas requires measures like separation distance to reduce the consequences of accidents. Given the hazards of road tankers, this study analyzed the accident consequences of trucks carrying petroleum products in parking areas to determine hazard zones and compare them with recommended separation distances to investigate whether existing separation distances are appropriate to reduce accident consequences.

METHODOLOGY

This study was an analytical endeavor aimed at evaluating safety distances in tank truck parking areas based on consequence modeling. The tool utilized for modeling accident scenarios was the Process Hazard Analysis Software Tool (PHAST), Version 7.2.

Accident Scenario

The accident scenario was chosen based on two typical road tankers that transport LPG and petrol. A scenario tree was utilized to explore different accident routes. While accidents can be triggered by a variety of factors, such as loss of containment, collision, terrorist attack, equipment failure, or other incidents, this study focused on the consequences of the accident, irrespective of its root causes. Leakage and catastrophic rupture of tankers were selected as critical events. Dangerous phenomena and effects were assigned in the scenario tree, and their consequences were analyzed using Phast software.

Accident source parameters

Two types of tankers were selected for assessment: LPG and oil product tankers. These are based on the regulation of Motor Carrier (MC) 331, Class 8 commercial vehicle (with a Gross Vehicle Weight Rating (GVWR) of greater than 33,001 pounds), and Department of Transportation (DOT) 406/407. The materials involved in the accident scenarios are LPG and petrol.

Meteorological parameters

For meteorological parameters, it is advisable to analyze site-specific data if available. In the absence of meteorological data for the site, the following set of meteorological conditions should be considered by default:

- Pasquill class D for calculations that refer to neutral meteorological conditions: little sun and high wind or overcast/windy night
- Average wind speed: 1.5, 5, and 20 m/s
- Average air temperature: 20 °C
- Relative humidity: 70٪
- Solar radiation flux: 0.5 kW/m²

Reference/target values

Reference values are based on fire zones for

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-12-27]

[DOI: 10.61186/ioh.20.1.138]

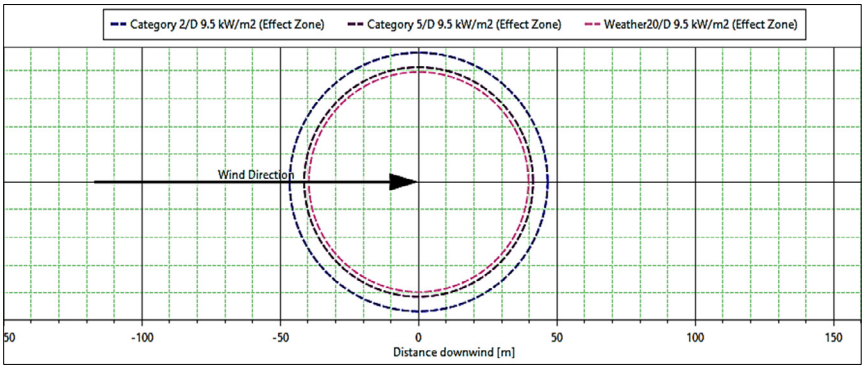


Fig. 1. Intensity radius for jet fire in LPG tanker leakage

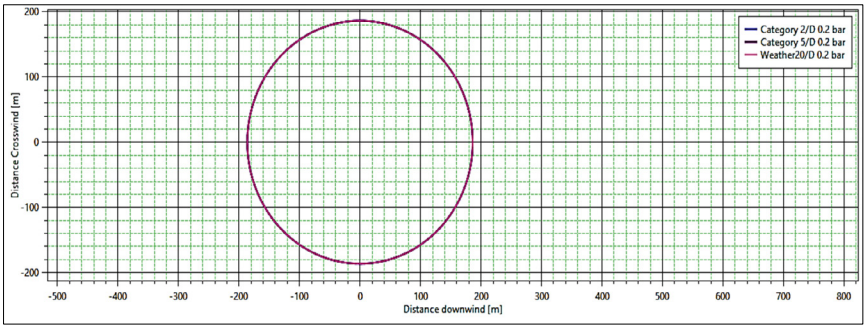


Fig. 2. Explosion affected zone in the case of leakage of an LPG tanker

installation design. A leakage diameter of 20 mm was selected based on credible events in fire zones. According to the fire zone criteria, the following reference values were selected for the study:

Target Pressure: 0.2 bar, equivalent to 3 Psi. This is the lower limit of severe structural damage, i.e., 50% destruction of brickwork of houses. Heavy machines in industrial buildings suffer minor damage; steel frame buildings become distorted and pooled.

Target Radiation: 9.5 Kilowatt per square meter (kw/m^2). This is the maximum radiant heat intensity at any location where urgent emergency action by personnel is required. Exposed structures must be protected if the exposure duration is more than 1 hour.

LFL (Lower Flammability Limit): This is the lower concentration of gas (by volume and expressed in percentage) in a gas-air mixture that will form an ignitable mixture.

RESULTS

LPG and petrol, due to their flammability and explosive properties, can cause fire and explosion in accidents. These properties are more critical than their toxicity. Therefore, the modeling focuses on the consequences of fire radiation and explosion overpressure. According to the scenario tree, 11 routes of the accident were identified. The dangerous phenomena comprise un-ignited flammable gas, jet fire, Vapor Cloud Explosion (VCE), fireball, and liquid pool vaporization. Flash fire is another dangerous phenomenon that exists in accidents but is not considered in fire zone area preparation.

Figures 1 and 2 illustrate the intensity radius of jet fire and explosion pressure waves, respectively. In the event of a catastrophic rupture of a petrol tanker, a distance of 586-776 m is under the influence of a 0.2-bar pressure wave. The wind speed does not have remarkable effects on explosive wave propagation. In a catastrophic rupture of an LPG tanker, the fireball-affected 9.5 kw/m^2 zone is 296.1 m, and the pressure wave of 0.2 bar extends to 279-728 m. In the case of a 20-mm orifice diameter leakage of the tanker, jet fire and explosion occurred.

The jet fire-affected 9.5-kw/h zone extends between 39.6-46.5 m. The pressure wave of 0.2 bar reaches between 47.2-102.8 m, depending on the wind speed of 2-20 m/s. These areas represent the distances affected by the adverse consequences of fire and explosion due to leakage in an LPG tanker.

Based on the intensity level of fire in the leakage scenario, the separation distance ranges from 20.1-46.5 m, while it is between 4.9-36.8 m according to LFL limits in the leakage scenario. According to the 0.2 bar overpressure and leakage scenario, the separation distance is between 39.3-102.8 m.

In the catastrophic rupture of tankers and

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-12-27]

[DOI: 10.61186/ioh.20.1.138]

Table 1. Summarized separation distances extracted from the study

Type of tanker, scenario	Separation distance(m) according to:			
	fire intensity level (m)	0.2 Bar overpressure (m)	Distance downwind to LFL (m)	Average value (m)
LPG, Leakage	39.6-46.5	47.1-102.8	18.1-38.1	50±25.8
Petrol, Leakage	20.1-26.2	39.3-54.5	4.9-36.8	28.3±14.9
LPG, catastrophic rupture	296.1	279.8-728.6	NA	380.8±174.7
Petrol, catastrophic rupture	NA	586.7-776.3	389.5-547.1	571.2±137.6

fire intensity, the separation distance is 296.1 m; considering LFL, the separation distance is between 134.7-591.2 m. According to the 0.2 bar overpressure and catastrophic rupture scenario, the separation distance is between 279.8-776.3 m.

Based on the average values of the scenarios, the separation distance for an LPG leakage is 50±25.8 m; this amount is 380.8±174.7 m for an LPG catastrophic rupture, 28.3±14.9 m for petrol tanker leakage, and 571.2±137.6 m for petrol tanker catastrophic rupture.

DISCUSSION

The separation distance based on the catastrophic rupture of a road tanker includes long distances that have no applicability in designing and managing parking areas. Based on a distance of 296.1-776.3 m, a parking area cannot be designed practically. In this case, an area the size of a town is needed. Catastrophic rupture is one of the most severe incidents that is the complete failure of the equipment leading to the complete and instantaneous release of the carried substance.

It seems that safety and security considerations for dealing with catastrophic rupture events can be considered in these cases, and separation clearance is not practical. According to the leakage scenario, a separation distance of around 4.9-102.8 m is needed. Compared to the distances presented in the standards (15-17 m) of Australia, the United States, and the United Kingdom, this figure is considerable, and during an accident, the fire spread to other parts, and a lot of trucks may catch fire and explosion (9).

In JSP 317, a separation distance between vehicles of 2 m and 15 m for the next group of 18 vehicles is proposed. In this case, fire in the longitudinal body of the vehicle can easily involve other vehicles and lead to a massive accident. In practice, the distances intended for truck parking areas are less than those extracted in this study (7 ,8). An exception for distances from living accommodations (45 m) in JSP 317 complies with the study results, although there is still a threat to the surrounding population beyond 45 m in the catastrophic rupture scenario. Shrapnel caused by tanker explosions, which may be thrown beyond the 45-m distances, pose another hazard for people.

CONCLUSION

The current study showed that with the existing separation distance regulations, an accident could have spread to other parts of a tanker parking lot. Therefore, taking mitigation measures, such as observing standards and safety or security criteria in the tanker parking lot, is more useful than designing based on separation distance. Preparing and increasing emergency response capacity is another measure for these cases. Limiting the number of parked tankers as well as reducing parking or unloading and loading times are other ways to reduce harmful consequences.

The result also shows that the separation distance of road tankers in a parking lot will not be determined based on the scenario of a tank catastrophic rupture. Although the results of this study for the leakage scenario can be used, in practice, they do not comply with existing criteria and guidelines.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

How to cite this article:
Mohammad Reza Fallah Ghanbari, Katayoun Jahangiri, Mostafa Pouyakian, Farid Ghaffari. Separation Distance of Petrol and LPG Cargo Tankers in Parking Lot: A Consequence Modeling Study. Iran Occupational Health. 2023 (01 Aug);20:11.

***This work is published under CC BY-NC 4.0 licence**

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-12-27]

[DOI: 10.61186/ioh.20.1.138]

سلامت کار ایران
دوره ۲۰ - ۱۱/۱۴۰۱

مقاله پژوهشی
http://ioh.iums.ac.ir

ارزیابی فاصله جداسازی تانکرهای حامل بنزین و گاز مایع در پارکینگ ها بر اساس مدلسازی پیامد

محمدرضا فلاح قنبری: دانشجوی دکتری، گروه سلامت در بلایا و فوریت ها، دانشکده بهداشت و ایمنی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران.
کتایون جهانگیری: (* نویسنده مسئول) استاد گروه سلامت در بلایا و فوریت ها، دانشکده بهداشت و ایمنی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران. k.jahangiri@sbmu.ac.ir
مصطفی پویا کیان: دانشیار گروه مهندسی بهداشت حرفه ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت و ایمنی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران.
فرید غفاری: دانشجوی دکتری سلامت در بلایا و فوریت ها، دپارتمان سلامت در بلایا و فوریت ها، دانشگاه علوم پزشکی ارتش.

چکیده

زمینه و هدف: *پارکینگ هایی که محل تجمع تانکرهای حاوی فرآورده های نفتی هستند از مکان های بالقوه خطرناک به شمار می آیند. لذا مطالعه حاضر با هدف ارزیابی پیامدهای حوادث تانکرهای بنزین و گاز مایع به منظور ارزیابی معیارهای موجود فاصله گذاری تانکرها در محل پارک انجام شده است.

روش بررسی: این مطالعه توصیفی – تحلیلی شامل ۵ مرحله: انتخاب سناریو، تعیین پارامترهای منبع حادثه، تعیین شرایط جوی، انتخاب مقادیر مرجع و مدل سازی پیامدها و تحلیل سناریوهای محتمل است. برای تحلیل پیامد سناریوهای حادثه مرتبط با تانکرهای گاز مایع(LPG) و بنزین از نرم افزار ارزیابی حوادث فرآیندی (PHAST) استفاده شد.

یافته ها: *بر اساس مقادیر میانگین فواصل جداسازی مناسب m ۲۵±۵۰/۸ و m ۱۸۴/۸±۳۶۱/۴، برای نشتی و گسیختگی تانکر گاز مایع ۳/۹±۲۸/۱۴ متر و برای نشتی و گسیختگی تانکر بنزین m ۱۳۷/۶±۵۷۱/۲ است. فاصله جداسازی بر مبنای سناریوی گسیختگی به قدری زیاد است که برای طراحی و مدیریت محوطه پارکینگ تانکرهای جاده ای عملیاتی نیست. با توجه به سناریوی نشتی، فاصله ایمنی ۵۰–۲۸/۳ متر مورد نیاز است.

نتیجه گیری: *با معیارهای فاصله گذاری موجود، رخداد حادثه برای تانکر می تواند به دیگر بخش های پارکینگ سرایت کرده و منجر به ایجاد فاجعه گردد. لذا بازنگری دستورالعمل ها و روزآمد کردن استانداردهای موجود در طراحی پارکینگ و فواصل جداسازی و نیز طرح ریزی شرایط اضطراری ضروری به نظر می رسد.

تعارض منافع: *گزارش نشده است.*

منبع حمایت کننده: *ندارد.*

کلیدواژه‌ها
تانکر سوخت
حادثه
مدل سازی پیامد
فواصل جداسازی
محوطه پارکینگ

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۰

شیوه استناد به این مقاله:
Mohammad Reza Fallah Ghanbari, Katayoun Jahangiri, Mostafa Pouyakian, Farid Ghaffari. Separation Distance of Petrol and LPG Cargo Tankers in Parking Lot: A Consequence Modeling Study. Iran Occupational Health. 2023 (01 Aug);20:11.

*انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با CC BY-NC 4.0 صورت گرفته است

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-12-27]

[DOI: 10.61186/ioh.20.1.138]

مقدمه

امروزه مقادیر زیادی از مواد خطرناک مانند فرآورده های نفتی توسط تانکرها و از طریق جاده حمل می شوند. مطالعات نشان داده که تعداد حوادث مربوط به جابجایی مواد خطرناک افزایش یافته است. این‌گونه از حوادث می تواند در جاده ها و نیز در پارکینگ ها و محل های پارک خودروها رخ دهد[۲،۱]. با افزایش تقاضا برای مصرف انرژی نیاز به فرآورده های نفتی مانند بنزین و گاز مایع[1] بیش تر شده و به دنبال آن خطرات مربوط به این مواد افزایش یافته است[۱۶،۱۵]. در ایران نیز در فاصله سال های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ بیش تر حوادث تانکرهای جاده ای مربوط به گاز مایع، بنزین و گازوئیل بوده است[۳].

یک تانکر بنزین با ظرفیت ۳۰ تن حاوی انرژی شیمیایی و حرارتی معادل ۳۰۰ تن تی ان تی است. در حوادث این مقدار از انرژی می تواند همراه با پیامدهای ناگوار در مکان هایی نظیر پارکینگ ها و محل های تخلیه و بارگیری باشد [۱۷]. با اینکه فراوانی حوادث در محل های پارک تانکرها نسبت به حوادث جاده ای کمتر است، ولی پیامدهای آن بدلیل تجمع تانکرها می تواند شدیدتر باشد. در این محل ها به دلیل وجود برخی از اعمال نا ایمن نظیر کشیدن سیگار، خطر وقوع آتش سوزی قابل توجه است[۴]. به عنوان نمونه در ۱۳ فوریه ۲۰۲۱ یک تانکر جاده ای در گذرگاه اسلام قلعه (مرز افغانستان) و محل پارک تانکرهای نفتی منفجر شد. آتش به دلیل تجمع خودروها به سرعت گسترش یافت. بیش از ۶۰ نفر مجروح شدند و خودروهای زیادی در آتش سوخت. شدت حادثه به حدی بود که به بخش هایی از گمرک ایران نیز سرایت کرد و تیم هایی از ایران برای چند روز عملیات اطفاء حریق را انجام دادند[۱۸].

در حادثه دیگری در شهر سانژ کشور کنگو، نشتی در یک تانکر بنزین رخ داد. مردم برای جمع آوری بنزین در اطراف تانکر جمع شده بودند که آتش سوزی و انفجار بوقوع پیوست. در اثر حادثه حدود ۲۳۰ نفر جان باختند و ۱۹۶ نفر مجروح شدند[۱۹].

در محل توقف تانکرهای جاده ای نظیر بنادر، پایانه های نفتی، گمرک، پارکینگ ها و هر جایی که محل تجمع این وسایل باشد، وقوع حوادث همراه با خسارات قابل توجه است. در این محل ها عموما تعداد زیادی تانکر در کنار یکدیگر پارک شده اند که در این شرایط وقوع حادثه می تواند منجر به گسترش پیامدها به دیگر خودروها شود. از این رو نیاز به طرح ریزی اقدامات کنترلی در این نواحی ضروری است.

در این زمینه در نظر گرفتن فاصله جداساز در میان تانکرها از جمله راهکارهایی است که دستیابی به آن نیازمند تنظیم ضوابط است. در این خصوص چارچوب مقررات بین المللی حمل و نقل کالاهای خطرناک نظیر: توافقنامه اروپا برای حمل و نقل کالای خطرناک در آبراه های داخلی[2]، ضوابط بین المللی حمل و نقل ریلی کالای خطرناک[3]، توافقنامه اروپا برای حمل و نقل زمینی کالای خطرناک[4]، کد بین المللی کالاهای خطرناک دریایی[5] و ضوابط آژانس بین المللی حمل و نقل هوایی[6] الزامات فنی ایمنی، مقادیر مجاز برای حمل و نقل، الزامات آموزش پرسنل، تعهدات مربوط به اسناد حمل و نقل و غیره را تعریف کرده است. چارچوب Seveso نیز الزامات مربوط به مدیریت ریسک مواد شیمیایی را معرفی نموده و استاندارد بین المللی ایزو ۳۱۰۰۰ به موضوع مدیریت ریسک پرداخته است[۲۰].

راهنماها و الزامات ایمنی تانکرهای حامل مواد خطرناک در پارکینگ ها بیش تر به ضوابط ایمنی مورد نیاز در این نواحی اشاره دارد تا در نظر گرفتن فاصله پارک تانکرها نسبت به یکدیگر [۶، ۵]. با این حال، برخی از منابع مقادیری را برای فاصله جداسازی در پارکینگ تانکرهای جاده ای پیشنهاد کرده اند [۷ ، ۹، ۸]. به عنوان مثال در محل پارک این وسایل باید یک فاصله ایمنی در کلیه جهات تا شعاع ۱۰ متری رعایت شود و احداث هرگونه تأسیسات از جمله اتاق کنترل در این محدوده مجاز نخواهد بود. در داخل پارکینگ، مسیرها بایستی یک طرفه بوده و دارای یک خروجی به همراه کنترل دسترسی باشد. همچنین اگر فاصله خروج خودرو از پارکینگ بیش از ۲۴ متر باشد، یک خروج اضطراری بایستی برای پرسنل پیش بینی شود. در این محل‌ها فاصله توصیه شده بین دو تانکر مقدار ۲ متر و بین مجموعه ۹تایی از تانکرها ۵ متر است. همچنین محوطه پارکینگ بایستی از بزرگراه و مناطق مسکونی ۴۵ متر فاصله داشته باشد[۸].

در ضوابط حمل و نقل کالاهای خطرناک نیوزلند، فواصل جداسازی برای مخازن گاز مایع با ظرفیت ۲۰۰۰۰-۵۰۰۰۰ لیتر در حدود ۱۰ متر از اماکن عمومی و ۱۷ متر از محل کار افراد است. فاصله جداسازی در ایالات

1 LPG: Liquid Petroleum Gas

2 AND: European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Inland Waterway
3 RID: Regulation concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Rail
4 ADR: European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road
5 IMGD: International Maritime Dangerous Goods Code
6 IATA: The International Air Transport Association

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-12-27]
[DOI: 10.61186/ioh.20.1.138]

متحده بر اساس استاندارد ملی حفاظت حریق شماره ۵۸[1] برای مخازن گاز مایع با ظرفیت ۱۱۴۰۰۰- ۷۶۰۰ لیتر در حدود ۱۵ متر است. در انگلستان نیز حداقل فاصله جداسازی مخازن گاز مایع با ظرفیت ۱۳۵۰۰۰-۹۰۰۰ لیتر؛ ۱۵ متر پیشنهاد شده است[۹].

برای کاهش اثرات حوادث در مناطق پرخطر و تعیین فواصل جداساز اقدامات کنترلی را می توان با استفاده از مدل‌سازی پیامدها طرح ریزی نمود. در این راستا از ابزارهایی نظیر نرم افزار ارزیابی خطر در صنایع فرآیندی(PHAST[2]) می توان بهره برد و نتایج را برای تدوین الزامات ایمنی نظیر رعایت فواصل جداسازی در محل پارک مورد بررسی قرار داد[۲۱].

با توجه به موارد یاد شده این مطالعه پیامدهای حوادث تانکرهای حامل فرآورده های نفتی در محل پارک آن ها را برای تعیین مناطق خطر و مقایسه آن با فواصل جداسازی توصیه شده مورد تجزیه و تحلیل قرار می دهد تا به این سوال پاسخ دهد که آیا فواصل توصیه شده ایمنی لازم را به منظور جلوگیری از گسترش حادثه به دیگر تانکرها و ایجاد یک بحران گسترده فراهم می آورد؟

روش بررسی

این مطالعه تحلیلی با استفاده از مدل سازی پیامد به ارزیابی فواصل ایمنی در محل پارک تانکرهای جاده ای می پردازد. نرم افزار PHAST نسخه ۷،۲ ابزار مورد استفاده برای مدل‌سازی سناریوهای حادثه در این مطالعه بود [۱۰، ۱۱]. مراحل این مطالعه به شرح ذیل است:

- تعیین سناریوی حادثه
- تعیین پارامترهای منبع حادثه(ویژگی های تانکرهای جاده ای)
- تعیین پارامترهای جوی
- انتخاب مقادیر مرجع
- مدل سازی و تحلیل سناریوها بر اساس پارامترها و داده های مراحل قبل

سناریوی حادثه

دو تانکر جاده ای متداول گاز مایع و بنزین مبنای ارزیابی سناریوهای حادثه گردید. برای بررسی مسیرهای مختلف حادثه از درخت سناریو استفاده شد. حادثه می تواند بر اثر از دست رفتن مهار خودرو، تصادف، حمله تروریستی، خرابی تجهیزات و یا علل دیگر رخ دهد. اما مطالعه حاضر بر پیامدهای حادثه، صرف نظر از علل آن متمرکز است. نشتی و گسیختگی مخازن جزء شرایط اولیه حادثه است که اثرات ناشی از آن در درخت سناریو مشخص گردید و نهایتا پیامدها با نرم افزار PHAST ارزیابی شد.

پارامترهای منبع حادثه

با توجه به مقررات حمل و نقل وسایل موتوری شماره ۳۳۱[3] (وزن ناخالص خودرو[4] بیش از ۳۳۰۰۱ پوند) [۱۲، ۱۳] و کد شماره ۴۰۶/۴۰۷ از مقررات دپارتمان حمل و نقل امریکا[5] دو نوع تانکر گاز مایع و بنزین در کلاس ۸ کامیون های تجاری انتخاب شد. در شکل ۱ تصویر مربوط به این تانکرها نشان داده شده و در جدول ۱ مشخصات طراحی آن ها آمده است[۲۲]. حادثه شامل آتش سوزی و انفجار گاز مایع و بنزین است. گاز مایع اشتعال پذیری بالایی داشته و از مخلوطی از هیدروکربن های اشباع C3 و C4 تشکیل شده است.

اجزای تشکیل‌دهنده گاز مایع شامل پروپان، بوتان و درصد کمی از سایر هیدروکربن ها است . بنزین مایعی شفاف، مشتق از نفت و قابل اشتعال است. بنزین از مخلوط همگن از هیدروکربن های کوچک و نسبتا سبک متشکل از ۴ تا ۱۲ اتم کربن تشکیل شده است. مشخصات و ویژگی های این دو ماده برای مدل سازی در نرم افزار بکارگرفته شد[۲۳، ۲۴، ۲۵].

پارامترهای جوی

برای پارامترهای جوی با توجه به نیاز به تعمیم پذیری بیش‌تر داده و عدم نیاز به استفاده از داده های مربوط به یک سایت خاص، شرایط جوی زیر به طور پیش‌فرض در نظر گرفته شد:

- کلاس پاسکوییل D که به شرایط آب و هوایی خنثی اشاره دارد.
- سرعت باد متوسط ۱،۵، ۵ و ۲۰ متر بر ثانیه
- میانگین دمای هوا ۲۰ درجه سانتی گراد
- رطوبت نسبی ۷۰٪
- شدت تشعشع خورشید: ۰/۵ کیلووات بر متر مربع [۱۴].

مقادیر مرجع

مقادیر مرجع بر اساس منطقه حریق[6] برای طراحی تجهیزات انتخاب گردید. منطقه حریق مناطقی هستند

1 NFPA: The National Fire Protection Association
2 Process Hazard Analysis Software Tool
3 Regulation of motor carrier (MC)
4 GVWR: Gross Vehicle Weight Rating
5 DOT: Department of Transportation
6 Fire zone

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-12-27]
[DOI: 10.61186/ioh.20.1.138]

شکل ۱. تانکر جاده ای گاز مایع (تصویر سمت چپ) و فرآورده نفتی مایع (تصویر سمت راست) در مطالعه حاضر[۲۳].

جدول ۱. مشخصات طراحی تانکر جاده ای در مطالعه حاضر[۱۲، ۱۳، ۱۴]

نوع تانکر	طول (mm)	عرض (mm)	ظرفیت (lit)	فشار طراحی (bar)
گاز مایع	۱۱۵۰۰	۲۵۵۰	۵۰۰۰۰	۷
مایع نفتی	۱۲۰۰۰	۲۳۹۰	۴۲۰۰۰	فشار محیط

که در آن تجهیزات بر اساس ماهیت و سطح خطر همگن ناحیه بندی می شوند. تقسیم بندی یک تأسیسات به منطقه حریق منجر به کاهش قابل توجه در سطح خطر می شود. قطر نشتی بر اساس رویدادهای محتمل در این مناطق ۲۰ میلی متر پیشنهاد شده است. با توجه به معیار منطقه حریق، مقادیر مرجع زیر برای مطالعه انتخاب شد:

• فشار مرجع ۰/۲ بار معادل Psi ۳؛ حد پایین وقوع آسیب های شدید سازه ای است که در آن تخریب ساختمان ها و تجهیزات صنعتی رخ می دهد.

• میزان تشعشع مرجع ۹/۵ کیلووات بر مترمربع؛ مقدار شدت گرمای تابشی است که نیازمند اجرای اقدامات اضطراری توسط افراد است. اگر مدت زمان مواجهه بیش از ۱ ساعت باشد، سازه ها و ساختمان ها بایستی محافظت شوند.

• حد پایین اشتعال پذیری[1]، کمترین غلظت گاز در مخلوط گاز و هوا بر حسب درصد حجمی است که قابلیت اشتعال دارد[۱۴].

نتایج

در حوادث بنزین و گاز مایع پیامدهای ناشی از اشتعال پذیری و انفجار مهم تر از سمیت است. بنابراین مدل‌سازی این مطالعه بر تشعشع ناشی از حریق و فشار ناشی از انفجار تمرکز دارد. در شکل ۲ درخت سناریوی مربوط به حادثه نشان داده شده است. بر مبنای نوع ماده، فشار، دما و سایر پارامترها، وقوع گسیختگی و نشتی در تانکرها محتمل است.

بر اساس درخت سناریو پانزده حالت حادثه شناسایی شد. این حالات شامل انتشار گازهای قابل اشتعال[2]، آتش فورانی[3]، انفجار ابر بخار[4]، توپ آتش[5]، تبخیر استخر مایع[6] و آتش استخری[7] است. آتش آنی[8] یکی دیگر از پدیده هایی است که معمولا در حوادث وجود دارد اما در طرح ریزی منطقه حریق در نظر گرفته نمی شود. در شکل ۳ منطقه تحت تأثیر موج انفجار در گسیختگی تانکر بنزین آمده است.

در صورت گسیختگی تانکر بنزین، شعاع ۷۷۶-۵۸۶ متر تحت تأثیر موج فشار ۰/۲ بار قرار می گیرد. سرعت باد تأثیر قابل توجهی بر انتشار موج انفجار ندارد. در شکل ۴ شعاع تحت تأثیر تشعشعات آتش فورانی در نشتی با قطر ۲۰ میلی متری تانکر بنزین نشان داده شده است. در این حالت منطقه متأثر از آتش فورانی ۹/۵ کیلووات بر مترمربع در حدود ۲۶/۲- ۲۰/۱ متر است. شکل ۵ شعاع تحت تأثیر موج انفجار ۰/۲ بار که بر اثر توپ آتش و انفجار ابر بخار در یک تانکر گاز مایع رخ داده را نشان می دهد.

در حالت گسیختگی تانکر گاز مایع، شعاع تحت تأثیر تشعشعات ۹/۵ کیلووات بر مترمربع متأثر از توپ آتش، در حدود ۲۹۶/۱ متر است و موج فشار ۰/۲ بار در فاصله ۲۷۹-۷۲۸ متر گسترش می‌یابد. در صورت نشتی ۲۰ میلی متری، آتش فورانی و انفجار رخ می دهد.

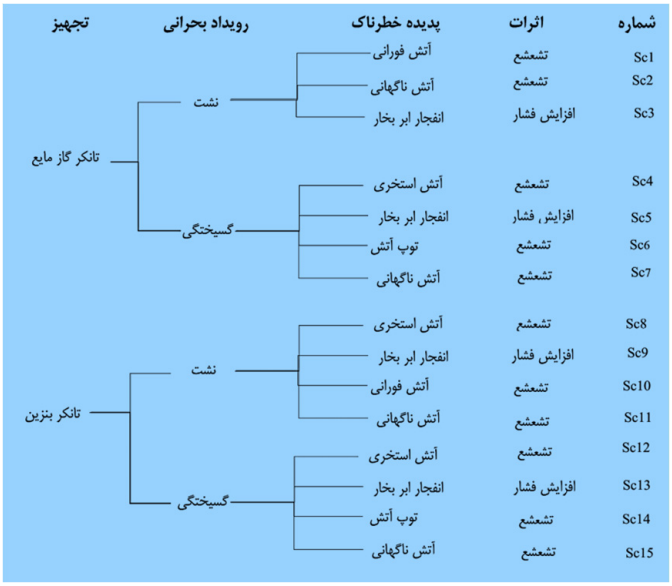
شکل ۶ تشعشعات ناشی از حریق در حادثه نشتی تانکر گاز مایع را نشان می‌دهد. در صورت وقوع نشتی در تانکر گاز مایع شعاع تحت تأثیر تشعشعات۹/۵ کیلووات بر

1 LFL: Lower Flammability Limit

2 un-ignited flammable gas
3 jet fire
4 VCE: Vapor Cloud Explosion
5 fire ball
6 liquid pool vaporization
7 Pool fire
8 Flash fire

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-12-27]

[DOI: 10.61186/ioh.20.1.138]



شکل۲. درخت سناریوی مربوط به حادثه تانکرها

جدول۲. خلاصه نتایج مربوط به حالت گسیختگی و نشتی تانکرها

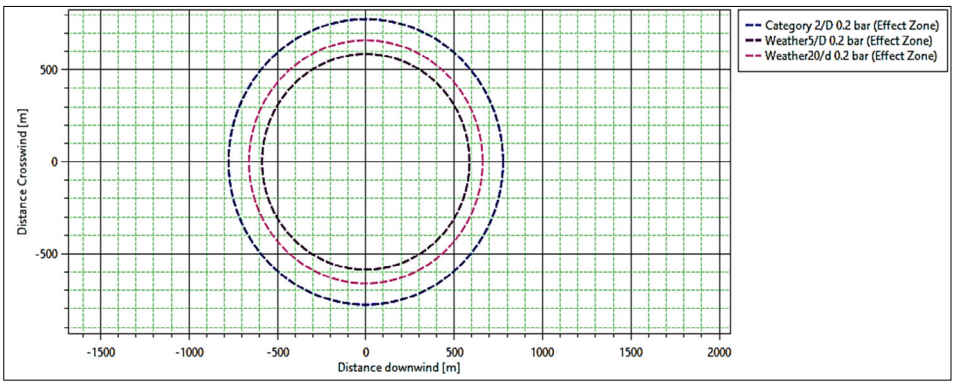
معیار	شرایط جوی	سناریو	نشتی تانکر گاز مایع	سناریو	گسیختگی تانکر گاز مایع	سناریو	نشتی تانکر بنزین	سناریو	گسیختگی تانکر بنزین	سناریو
شعاع تحت تأثیر بر حسب متر در حالت:										
	2/D[1]		۱۰۲/۸		۲۷۹/۸		۵۴/۵		۷۷۶/۳	
فشار ۰/۲ بار	۵/D	سناریو۳	۸۱/۵	سناریو۵	۳۸۸/۳	سناریو۹	۳۹/۳	سناریو۱۳	۵۸۶/۷	سناریو۱۳
	۲۰/D		۴۷/۱		۷۲۸/۶		نامشخص		۶۶۰/۹	
حد پایین	۲/D	سناریو۲	۳۸/۱	سناریو۷	نامشخص	سناریو۱۱	۳۶/۸	سناریو۱۴، ۱۵	۵۴۷/۱	سناریو۱۴، ۱۵
اشتعال	۵/D		۳۵/۱		نامشخص		۲۲/۹		۳۸۹/۵	
پذیری	۲۰/D		۱۸/۱		نامشخص		۴/۹		۴۶۷/۲	
شدت تشعشع	۲/D		۴۶/۵		۲۹۶/۱		۲۶/۲		نامشخص	
۹/۵کیلووات	۵/D	سناریو۱	۴۱/۳	سناریو۶،۵،۴	۲۹۶/۱	سناریو۱۰	۲۲/۴		نامشخص	
بر مترمربع	۲۰/D		۳۹/۶		۲۹۶/۱		۲۰/۱		نامشخص	
میانگین/ انحراف معیار			۵۰±۲۵/۸		۳۸۰/۸±۱۷۴/۷		۲۸/۳±۱۴/۹		۵۷۱/۲±۱۳۷/۶	-

[1] Wind speed, Pasquill class of D

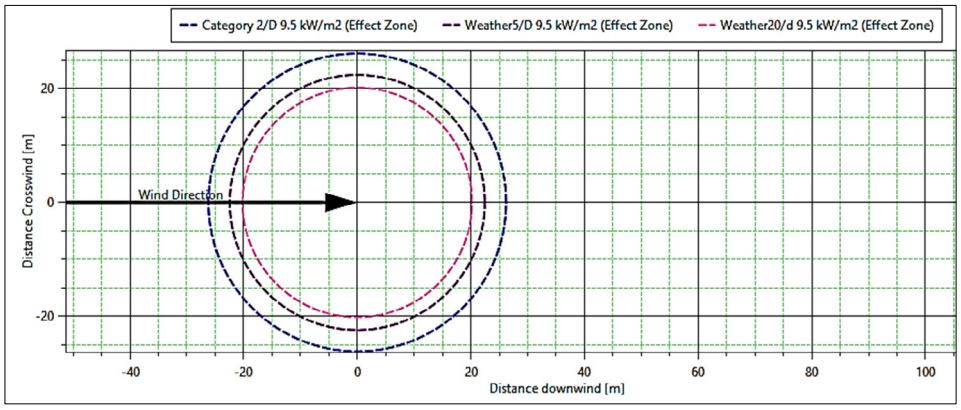
مترمربع ناشی از آتش فورانی در حدود ۴۶/۵-۳۹/۶ متر است. ناحیه تحت تأثیر موج فشار ۰/۲ بار با توجه به سرعت باد ۲۰-m/s۲ در حدود ۱۰۲/۸-۴۷/۲ متر است. در جدول ۲ نتایج مربوط به مسیرهای مختلف سناریوهای حادثه و در جدول ۳ فواصل جداسازی استخراج شده در مطالعه حاضر آمده است. در سناریوی نشتی در تانکرهای بنزین و گاز مایع و بر اساس شدت تشعشعات ناشی از حریق فاصله جداسازی ۴۶/۵ -۲۰/۱متر است، در حالی که با توجه به معیار حد پایین اشتعال پذیری در حدود ۳۸/۱-۴/۹ متر خواهد بود. در حالت نشتی در تانکرهای بنزین و گاز مایع و موج انفجار ۰/۲ بار، فاصله جداسازی ۱۰۲/۸-۳۹/۳ متر است. در حالت گسیختگی تانکرها و بر اساس معیار شدت تشعشعات ناشی از حریق، فاصله جداسازی ۲۹۶/۱متر است. در این حالت و با توجه به معیار حد پایین اشتعال پذیری، فاصله جداسازی ۵۴۷/۱-۳۸۹/۵ متر است. در حالت گسیختگی مخازن و با توجه به معیار فشار ۰/۲ بار، فاصله جداسازی ۸/۳-۲۷۹/۷۷۶ متر است. بر اساس مقادیر میانگین سناریوها، فاصله جداسازی برای نشتی تانکر گاز مایع در حدود ۲۵/۸± ۵۰ متر است. این مقادیر برای گسیختگی تانکر گاز مایع در حدود ۱۷۴/۷ ± ۳۸۰/۸ متر، برای نشتی تانکر بنزین۹ /۱۴ ± ۲۸/۳ متر و برای گسیختگی تانکر بنزین ۱۳۷/۶±۵۷۱/۲ متر است.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-12-27]

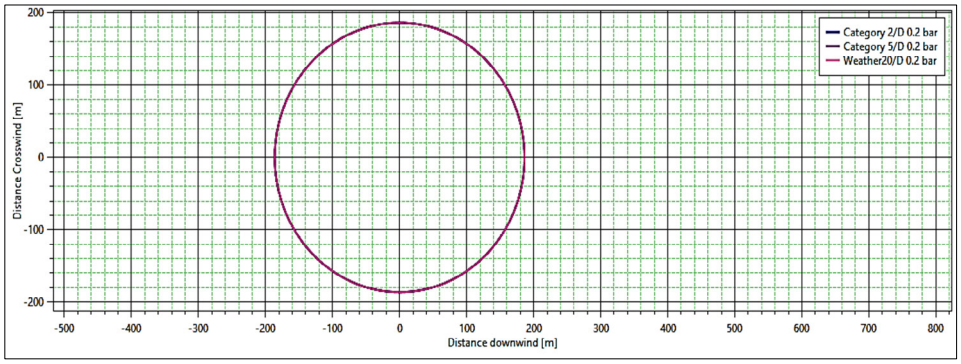
[DOI: 10.61186/ioh.20.1.138]



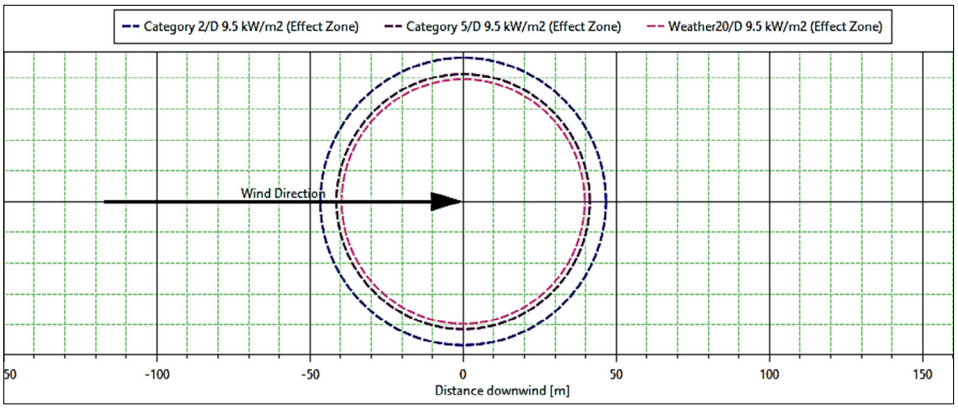
شکل ۳. شعاع تحت تأثیر موج انفجار ۰٫۲ بار در حادثه گسیختگی تانکر بنزین



شکل۴. شعاع تحت تأثیر تشعشعات آتش فورانی در حادثه نشتی تانکر بنزین



شکل ۵. شعاع تحت تأثیر موج انفجار ۰٫۲ بار در صورت گسیختگی تانکر گاز مایع



شکل ۶. شعاع تحت تأثیر تشعشعات ناشی از آتش فورانی در حادثه نشتی تانکر گاز مایع

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-12-27]
[DOI: 10.61186/ioh.20.1.138]

جدول۳. خلاصه نتایج مربوط به فاصله جداسازی استخراج شده در این مطالعه

نوع حادثه	فاصله جداسازی بر حسب متر بر مبنای:			
	تشعشع ۹/۵ کیلووات بر مترمربع	فشار ۰/۲ بار	معیار حد پایین اشتعال پذیری	مقادیر میانگین
نشتی تانکر گاز مایع	۳۹/۶-۴۶/۵	۴۷/۱-۱۰۲/۸	۱۸/۱-۳۸/۱	۵۰± ۲۵/۸
نشتی تانکر بنزین	۲۰/۱-۲۶/۲	۳۹/۳-۵۴/۵	۴/۹-۳۶/۸	۲۸/۳ ± ۱۴/۹
گسیختگی تانکر گاز مایع	۲۹۶/۱	۲۷۹/۸-۷۲۸/۶	نامشخص	۳۸۰/۸ ±۱۷۴/۷
گسیختگی تانکر بنزین	نامشخص	۵۸۶/۷-۷۷۶/۳	۳۸۹/۵-۵۴۷/۱	۵۷۱/۲ ±۱۳۷/۶

بحث

با توجه به نتایج، در نظر گرفتن فاصله جداسازی بر اساس سناریوی گسیختگی عدد بسیار بزرگی را به دست می دهد که نمی توان آن را برای طراحی و مدیریت پارکینگ ها استفاده نمود. بر اساس نتایج، در حالت گسیختگی مخازن کمترین مقدار بدست آمده مقدار ۲۹۶/۱ متر و مربوط به تانکر گاز مایع است و بیش ترین مقدار آن ۷۷۶/۳ متر و مربوط به گسیختگی تانکر بنزین است. این بدان معنی است که برای طراحی یک پارکینگ بر اساس سناریوی گسیختگی و به جهت جلوگیری از گسترش پیامدها از یک تانکر به تانکرهای مجاور نیاز است حداقل ۲۹۶/۱متر میان دو تانکر فاصله وجود داشته باشد. رعایت این فاصله نیازمند در اختیار داشتن زمینی بسیار بزرگ، ایجاد تأسیسات و هزینه خرید و نگهداری بسیار بالاست. استراتژی مدیریت ریسک در چنین شرایطی که راهکارهای کاهش پیامد قابلیت اجرا ندارد بر کاهش احتمال وقوع متمرکز می شود. در نظر گرفتن فاصله کم در بین مخازن در محل نگهداری مواد شیمیایی از نمونه های در نظر گرفتن چنین رویکردی است[۲۶]. این مسئله ممکن در تعارض با رویکرد پیامد محور مورد استفاده در مطالعه حاضر در تعیین فواصل جداسازی باشد و استفاده از رویکردهای دیگر نظیر ریسک محور را تأیید نماید. با این حال استفاده از رویکرد پیامد محور در این زمینه نیز مرسوم بوده و نتایج آن در طرح ریزی فواصل جداسازی قابل استفاده است[۲۷].

علاوه بر این در نظر گرفتن بدترین سناریو[1] در مدلسازی پیامدها، منجر به حصول نتایجی می شود که امکان مدیریت ریسک را دچار چالش می کند. در این مطالعه نیز گسیختگی یکی از شدیدترین سناریوهایی است که خرابی کامل تجهیزات را بدنبال داشته و منجر به رهاسازی کامل و آنی ماده می شود. بدیهی است برای مقابله با این سناریو، بکارگیری راهکار افزایش فاصله، انتخاب مقرون بصرفه ای نخواهد بود. لذا برای مقابله با گسیختگی مخازن در نظر گرفتن ملاحظات ایمنی و امنیتی به منظور کاهش احتمال وقوع حادثه، امکان پذیرتر است که این مسئله در مطالعات قبلی نیز اشاره شده است[۵].

بر طبق سناریوی نشتی، فاصله جداسازی در حدود ۱۰۲/۸ - ۴/۹ متر مورد نیاز است. در مقایسه با فواصل ارائه شده در استانداردهای استرالیا، ایالات متحده و انگلستان (۱۷-۱۵ متر) این رقم قابل توجه است[۹]. البته در مقادیر مربوط به حد پایین اشتعال پذیری در نشتی تانکر گاز مایع(۱۸،۱ متر) و نشتی تانکر بنزین(۴،۹ متر) و در شرایط جوی D۲۰ بنظر می‌رسد تطابق میان نتایج این مطالعه و مقادیر استانداردها وجود دارد. با این حال در سایر سناریوهای مربوط به مطالعه حاضر چنین تطابقی دیده نشد و عمدتا فواصل پیشنهادی توسط استانداردها مقادیر کمتری را شامل می شود.

در راهنمای انتشارات دفاعی سرویس مشترک انگلستان شماره ۳۱۷[2]، فاصله تفکیک بین وسایل نقلیه ۲ متر و ۱۵ متر برای هر دسته ۱۸ تایی تانکرها پیشنهاد شده است [۷، ۸] در مقایسه با مقادیر مطالعه حاضر فواصل جداسازی پیشنهاد شده جوابگو نبوده و آتش سوزی می تواند به راحتی سایر تانکرها را درگیر کرده و منجر به گسترش حادثه شود. تنها در یک حالت برای فاصله پارک تانکرها از نواحی مسکونی (۴۵ متر) در سند شماره ۳۱۷ انگلستان با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد[۸]، با این حال حوادث قبلی و نیز برخی از مطالعات نشان داده که در سناریوی گسیختگی تانکرها در فاصله بیش از ۴۵ متر نیز کماکان خطر ناشی از ترکش های حاصل از انفجار وجود دارد[۲۸]. لذا بنظر می رسد که فواصل جداسازی پیشنهاد شده در استانداردها در بهترین حالت بر اساس سناریوهای حداقلی است و در حوادث متوسط و یا بزرگ گسترش حادثه کاملا محتمل است.

در حالت کلی و بر اساس مدل سازی پیامد و مقایسه با استانداردها و راهنماهای موجود فواصل جداساز توصیه

1 Worst-case scenario

2 JSP: Joint Service Publication

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-12-27]

[DOI: 10.61186/ioh.20.1.138]

شده برای محل پارک تانکرها منجر به عدم گسترش حادثه به دیگر بخش ها نمی شود و وقوع یک حادثه براحتی دیگر تانکرها را درگیر حادثه خواهد کرد. این نتیجه تأییدکننده نتایج برخی از مطالعات قبلی است که ریسک بدست آمده در پارکینگ تانکرها را غیرقابل قبول دانسته است و به جهت این که اقدامات فنی مهندسی برای حذف و یا کاهش آن امکان‌پذیر نیست در نظر گرفتن راهبردهای مدیریتی برای کنترل آن پیشنهاد شده است[۲۹]. همچنین تأییدکننده برخی از دیگر مطالعات است که موضوع کفایت مقادیر توصیه شده موجود در کاهش پیامدهای حوادث را زیر سوال برده است. به دلیل آن که علارغم در نظر گرفتن فواصل جداسازی، وقوع برخی از حوادث شدید نشان‌دهنده آن است که مقادیر توصیه شده تأثیر چندانی در پیشگیری از وقوع و یا کاهش پیامدهای حادثه نداشته است[۲۷].

نتیجه گیری

بر اساس نتایج این مطالعه و با در نظر گرفتن معیارهای فاصله گذاری استانداردها و راهنماهای موجود، وقوع حادثه می تواند دیگر تانکرها در محل پارک را درگیر نموده و آن ها را نیز دچار حادثه کند و نهایتا منجر به فاجعه شود. بنابراین لازم است در خصوص فواصل جداسازی توصیه شده بازنگری صورت پذیرد و در صورتی که در نظر گرفتن فواصل جداساز بیشتر امکان‌پذیر نباشد، اقدامات کاهش اثرات نظیر کاهش زمان توقف و تعداد خودروهای پارک شده و نیز اقدامات واکنش اضطراری در این محل ها تقویت شود. همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که در نظر گرفتن فاصله جداسازی برای تانکرهای حاوی فرآورده های نفتی در پارکینگ ها بر اساس سناریوی گسیختگی عملیاتی نیست. اگرچه نتایج این مطالعه برای سناریوی نشت قابل استفاده است، اما در عمل معیارها و دستورالعمل های موجود مقادیر کم تری را پیشنهاد کرده اند که تضمین‌کننده ایمنی لازم نیست.

REFERENCE

[1] Haastrup P، Brockhoff L. Severity of accidents with hazardous materials. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 1990؛ 3(4): 395-405.

[2] Vílchez J، Sevilla S، Montiel H، Casal J. Historical analysis of accidents in chemical plants and in the transportation of hazardous materials. Journal of loss prevention in the process industries. 1995؛ 8(2): 87-96.

[3] Jabbari M، Khodaparast E، hasan h. A survey on hazardous materials accidents during road transport in Iran. Iran Occupational Health. 2014؛ 11(5).

[4] Yong Liu، Lin-sheng Fan، Xiao Li، Shi-liang Shi، Yi Lu، Trends of hazardous material accidents (HMAs) during highway transportation from 2013 to 2018 in China، Journal of Loss Prevention in the Process Industries، Volume 66، 2020، 104150،
https: //doi.org/10.1016/j.jlp.2020.104150.

[5] Beddegenoodts S. Best practice guidelines for safe unloading of road freight vehicles، covering technical، behavioral and organizational Aspects. 2013. Available from: https: //cefic.org/app/uploads/2021/09/Best-practice-guidelines-for-safe-Un-Loading-of-road-freight-vehicles-Corrigendum-2021-guidelines-road.pdf

[6] UK health and safety executive، books، H. S. E. Safe use and handling of flammable liquids، (1996).

[7] UK defense safety authority، Fuel & gas safety assurance assessment. (FGSAA)؛ 2016 p. 86.

[8] UK ministry of defense. JSP 317 Joint service safety policy for the storage and handling of fuels، lubricants and associated products. 2020 p. 1-4-A-1.

[9] Bailey K. LPG road tank wagon parking risk assessment [Internet]. LPG & safety consultants Ltd؛ 2007، Available from: https: //www.epa.govt.nz/assets/fileapi/hsno-ar/HRE09001/86a3da3d40/HRE09001-application-appendix-2-tank-wagon-parking.pdf.

[10] Mashhadimoslem H، Ghaemi A، Palacios A، Comparison of experimental and simulations results of a large-scale propane jet fire using CFD and DNV-Phast software. Authorea Preprints. 2020.

[11] Witlox، H.W.M.، "Overview of consequence modelling in the hazard assessment package Phast"، Paper 7.2، 6th AMS conference on applications of air pollution meteorology، Atlanta، USA، 2010.

[12] Risk of commercial truck fires in the United States: an exploratory data analysis Published Date: 2012-06-29، Available from: https: //rosap.ntl.bts.gov/view/dot/96

[13] Liquid partners Group، DOT 406، DOT 407، DOT 412 and MC331 MC338 Codes، Available from: http: // liquidpartnersgroup.com.

from: https: //pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Propane.

[14] TOTAL، GS EP SAF 253: General Specification for Safety. TOTAL Publication، Paris 2012، Available from: https: //www.pogc.ir/portals/10/imeni/doc/GS_EP_SAF_253_EN.pdf

[15] Purdy G. Risk analysis of the transportation of dangerous goods by road and rail. Journal of Hazardous Materials. 1993؛ 33(2): 229-259.

[16] Oggero A، Darbra R، Munoz M، Planas E، Casal J. A survey of accidents occurring during the transport of hazardous substances by road and rail، Journal of Hazardous Materials. 2006؛ 133(1-3): 1-7.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-12-27]

[DOI: 10.61186/ioh.20.1.138]

https: //https: //cameochemicals.noaa.gov

[24] Gasoline and LPG MSDS، Online.petro-canada.ca. 2022. Available from: https: //www.online.petro-canada.ca/datasheets/en_US/w102e.pdf

[25] PubChem، Bethesda، National Library of Medicine (US)، National Center for Biotechnology Information؛ 2004-. PubChem Compound Summary for CID 6334، Propane؛ Available from: https: //pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Propane.

[26] Dai Jiang، Xu-Hai Pan، Min Hua، Ahmed Mébarki، Jun-Cheng Jiang، Assessment of tanks vulnerability and domino effect analysis in chemical storage plants، Journal of Loss Prevention in the Process Industries، 2019، Volume 60، Pages 174-182، https: //doi.org/10.1016/j.jlp.2019.04.016.

[27] Research Foundation report - Separation Distances in NFPA Codes and Standards، Available on: https: //www.nfpa.org/News-and-Research/Data-research-and-tools/Hazardous-Materials/Separation-Distances-in-NFPA-Codes-and-Standards، Date Accessed، 1/21/2023

[28] U. Hauptmanns، A Monte-Carlo based procedure for treating the flight of missiles from tank explosions، Probabilistic Engineering Mechanics، 2001، Volume 16، Issue 4، Pages 307-312، https: //doi.org/10.1016/S0266-8920(01)00023-6.

[29] Untao Li، Yumeng Wang، Yuying Lai، Jian Shuai، Laibin Zhang، Monte Carlo-based quantitative risk assessment of parking areas for vehicles carrying hazardous chemicals، Reliability Engineering & System Safety، 2022، Volume 231، 109010، https: //doi.org/10.1016/j.ress.2022.109010.

[17] Joint research centre، institute for energy and transport، land use planning and risk-informed decision making: proceedings of the 43rd ESReDA seminar hosted by INSA، Rouen، France، Christou، M.(editor)، Eid، M.(editor)، Publications Office، 2015، Available from: https: //data.europa.eu/doi/10.2790/28605

[18] Fuel tanker explosion on Afghanistan-Iran border injures at least 60، extinguished after three days. Hazardexonthenet.net. 2022 [cited 30 January 2022]. Available from: https: //www.hazardexonthenet.net/article/183470/Fuel-tanker-explosion-on-Afghanistan-Iran-border-injures-at-least-60--extinguished-after-three-days.aspx.

[19] Tasneem Abbasi، Ramyapriya Ramesh، S.M. Tauseef، S. A. Abbas، Accidents occurring during transportation of hazardous substances and modeling of their consequences، International journal of engineering، science and mathematics (UGC Approved)، December 2017، Vol. 6 Issue 8.

[20] United nations economic commission for europe. Inland transport committee. ADR، applicable as from 1 January، European agreement concerning the international carriage of dangerous goods by road. UN؛ 2010.

[21] Eric Stauffer، Julia A. Dolan، Reta Newman، Flammable and combustible liquids، fire debris analysis، academic press، 2008، Chapter 7، Pages 199-233، https: //doi.org/10.1016/B978-012663971-1.50011 7.

[22] Fuel Liquid and LPG tanker. Available from: http: //orumtrailer.com.

[23] Gasoline، CAMEO Chemicals، NOAA Available from:

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-12-27]

[DOI: 10.61186/ioh.20.1.138]