Iran Occupational Health

Iran Occupational Health. 2024 (01 Apr);20: 38

Original Article

http://ioh.iums.ac.ir

Quantitative Risk assessment of Gasoline Storage Tank Farm Unit using by Fuzzy Set Theory and Consequence modeling

Zohreh Fazli , Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Bam University of Medical Sciences, Bam, Iran .

Fereydoun Laal, Department of Occupational Health Engineering, Social Determinants of Health Research Center, Birjand University of Medical Sciences, Birjand, Iran.

Elham Keighobadi, Msc Student of Health,Safety and Enviroment Management, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Hossein Ebrahimi, PhD, Associate Professor, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Rohullah Falah Medvari, Department of Occupational Health Engineering, school of Health, Yazd University of Medical Sciences, Yazd, Iran.

Saber Moradi Hanifi, (*Corresponding author), Occupational Health Research Center Department of Occupational Health Engineering,School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran. sabermoradi22@yahoo.com

Abstract

Background and aims: Storage tanks consistently pose serious risks to industries and adjacent units due to complex process conditions. The release of substances from these tanks can result in consequences such as fiery explosions and the dispersion of toxic substances. Therefore, identifying the causes and modeling their consequences is considered essential.

Methods: In this study, the authors used the bow tie diagram to identify the cause-and-effect diagram of gasoline tanks, and fuzzy theory to determine the failure rate of basic events. To determine the probability of basic events, the authors considered fuzzy theory and expert opinions. Finally, the authors used phast8.2 software for modeling possible scenarios.

Results: The results of the bow tie analysis revealed a total of 45 basic events and 4 consequences, including pool fire, eruption fire, sudden fire, and explosion. The consequence modeling showed that the maximum intensity of the thermal radiation caused by the pool fire for the diesel tank was equal to 23 kW/m2, and the maximum increase in the blast wave was estimated to be 19.7 bar. The risk evaluation for the consequences of pool fire, eruptive fire, and steam explosion showed that the estimated risk number is more than 104 and falls in the unacceptable range.

Conclusion: Using the bow tie method in combination with consequence modeling can provide experts with a more comprehensive view of the accidents, along with their causes and consequences, which occur for storage tanks.

Conflicts of interest: None

Funding: None

Keywords

Bow Tie Diagram

Quantitative Risk Assessment

Diesel Tanks

Consequence Modeling

Received: 2023/04/24

Accepted : 2024/01/14

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/ioh.20.2.18]

EXTENDED ABSTRACT

INTRODUCTION

Tanks are consistently one of the pieces of equipment that can pose serious risks to industries and nearby units due to complex process conditions. Incidents can inflict substantial financial, human, and environmental damage on societies. The successful prevention of such incidents necessitates quantitative risk assessment and modeling studies so that preventive and control strategies can be designed and implemented based on risk. It appears that the application of several risk assessment methods in a complementary manner is necessary in industrial processes because it provides a clear picture of the work process and also the accident scenarios. Two parameters play a pivotal role in risk analysis. The first parameter is the probability of occurrence and the second parameter is the severity of the consequence. The occurrence probability is the likelihood of an incident or failure leading to an accident over a period of time. The severity of the consequences of an incident refers to the harmful effects caused by that incident. Each scenario can have multiple consequences, which are determined and simulated through the models presented for "release and spread of substances in the environment" and "fire" and "explosion". In the fault tree analysis, databases such as OREDA, CCPS, and Lee can be utilized to determine the probability of basic events. To overcome the limitations of the conventional fault tree method, uncertainties should be minimized. One of the significant approaches in minimizing uncertainties is the use of expert opinions in conjunction with the fuzzy logic theory to estimate the occurrence probability of basic events. To determine the damage radius in accidents related to the release of toxic gases and the consequences of the accident, there are several modeling methods such as PHAST, DEGADIS, SLAB, HGSYSTEM, and ALOHA. This study aims to provide a method to assess the risk of gasoline tanks. To determine the probability of the main events caused by a gasoline spill, the authors selected the bow tie diagram and fuzzy theory, and PHAST7.2 software was used as a tool to determine the severity of the consequences caused by a gasoline spill.

METHODOLOGY

This study was conducted in the Tank Farm gasoline Unit. In this study, the authors utilized the bow tie method and fuzzy theory for designing the cause-and-effect diagram and also determining the failure rate of basic events for gasoline tanks. To determine the probability of basic events, fuzzy theory and experts' opinions were taken into account, and finally, phast8.2 software was employed as a tool for modeling possible scenarios. Gasoil in French (or oil gas or diesel fuel) is used as a fuel for diesel engines and thermal facilities. The results of the FMEA technique were used to identify the main event. The spill of chemicals is the primary cause of accidents in the power plant industry, especially in the gasoline tank unit, which leads to dangerous consequences such as poisoning, fire, and explosion(8). Also, the fault tree and the event tree method were considered as a technique to identify the basic events in the occurrence of chemical spills and the order of potential scenarios involved in the accident. In this study, the information for the identified basic events was not available. Therefore, the probability of the primary event was estimated by using the expert's opinions and fuzzy theory. To quantify the opinion of experts and determine the weight of their opinion in the failure rate of basic events, based on the study of Saaty and Ozdemir, seven items including "very low, low, relatively low, medium, relatively high, high and very high" were used. It is necessary to convert experts' judgments, which are in the form of linguistic terms, into fuzzy numbers. Then they become a final number called FPS. In this study, the sum product algorithm and equation 1 were used for consensus among experts.

$$Z_i = \sum_{j=1}^{n} w_j f_{ij}, \qquad \text{i=1,2,....,m} \qquad \text{j=1,2,...n} \qquad (1)$$

In this equation, Z_i is the failure probability of basic events

W_i : Expert weight

j, f_ij: the occurrence possibility of the phase failure for the basic event i expressed by the experts

j and n: the total number of experts and m the number of base events

In order to de-fuzzily in this study, the max-min method presented by Chen and Hwang was used. This method is presented in equation 2 and 3.

$$f_{max}(x) = \begin{cases} x. & 0 \le x \le 1 \\ 0. & (\text{otherwise}) \end{cases} \qquad (2)$$

$$f_{min}(x) = \begin{cases} 1-x. & 0 \le x \le 1 \\ 0. & (\text{otherwise}) \end{cases} \qquad (3)$$

CFP is the number obtained from the defuzzification step for each event.

The number obtained from the previous step should be converted from possibility to probability. in order to calculate the failure probability (FP) of events, equation 4 was used.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/ioh.20.2.18]

Table 1. Risk profile results

Consequences	Affected area (m^2)	Population density (people/m^2)	Probability of death	Number of casualties	Reproducibility of the result (incident/year)	Mortality (person/incident)	Collective risk
Pool fire	58934	0.0001	0.08	0.47	0.00768	0.47	0.0020952
sudden fire	264074	0.0001	1	26	0.008489	26	0.125190
Explosion	2827887	0.0001	0.1	28	0.012734	28	0.202216

$$FP = \begin{cases} \frac{1}{10^{K}} & CFP \neq 0 \\ 0 & CFP = 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$K = \left[\frac{1-CFP}{CFP}\right]^{1/3} \times 2.301$$

FP: the probability rate of each basic event, CFP :a possible number resulting from the de-fuzzification step, K, an intermediate variable that is based on CFP.

Consequence evaluation using PHAST software

After considering all factors influencing the occurrence of the scenario, the scenario was simulated and the sequence of events was predicted using mathematical models and the effective factors. In this study, PHAST7.2 software will be employed as a tool for modeling the consequences of a gasoline tank spill. To estimate the consequences of fire on humans, the dose-response curve is typically used. However, the method that is widely used today is the probit equation, which is in the form of equation 5. Finally, according to the probit value, the mortality rate was calculated using equation 6.

$$Y = -14.9 + 2.56\ln(t.q^{4/3}) \quad (5)$$

$$N = D_p AP \quad (6)$$

Y: The probit variable

q: The amount of radiation caused by the fire (measured in kilowatts per square meter)

t: Time in seconds (24 seconds was considered based on the studies)

N: The number of deaths (calculated as the number of deaths per incident)

Dp: Population distribution (measured in persons per square meter)

A: The area of the region affected by the accident (measured in square meters)

P: Probability of death

RESULTS

Design a Bowtie diagram

A Bowtie diagram was designed based on the data related to the fault tree and event tree, and then this information was analyzed. To determine the probability of the main event, it is necessary to calculate the probability of basic events. For this reason, a seven-scale approach was utilized.

Initially, to determine the occurrence probability of basic events, three qualified experts, including process experts and academic staff members, were selected. In the subsequent step, the fuzzy numbers equivalent to the experts' opinions were estimated separately. Then these fuzzy numbers were de-fuzzied and finally, the probability of each basic event was calculated. The results of the fault tree showed that the probability of a gasoline spill is 0.044579435 in one year. The probability of each of the final consequences, according to the failure or success probability of each protection layer based on the database, was estimated as follows: pool fire 0.004458, vapor cloud explosion 0.007222, sudden fire 0.004815, and no damage 0.040121.

Consequence modeling using PHAST software

Based on the results of the bow-tie diagram, the authors carried out modeling of the consequences for the gasoline tank in the majority of 4 scenarios. These scenarios considered a spill size of 100 and 200 mm and the weather conditions of the first six months of the year and the second six months of the year (based on the information from the regional meteorological department). The air temperature and relative humidity in the first six months were considered to be 40 degrees Celsius and 3٪, and in the second six months, 25 degrees Celsius and 25٪, respectively. According to the results, at a distance of 30 meters from the center of the pool fire, with a spill size of 100 mm, the amount of heat flux is 23 kilowatts per square meter, and it reaches its lowest value at a distance of 150 meters. At a spill size of 200 mm, the heat flux is 20 kW/m^2 at a distance of 50 meters from the center of the pool fire, and it reaches its lowest value at a distance of 240 meters. The risk number was determined due to the modeling and estimating the mortality of the studied scenarios. According to

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/ioh.20.2.18]

studies, the threshold of radiation is 4 kW/m² (pain threshold limit in 20 seconds) and 37.5 kW/m² (100٪ death in 1 minute or 1٪ death in 10 seconds). The average population density in the studied industry is 100 people. The highest death probability is related to the explosion with the number of 28 deaths. The highest risk number is 0.20216 which is related to the explosion. The information presented in Table 1 shows the outcomes of evaluating the scenarios under study and their respective risk profiles. According to the table, the scenario that has the highest probability of causing casualties is the explosion scenario with 28 fatalities, which also has the highest risk number of 0.202216.

DISCUSSION AND CONCLUSION

The present study was conducted to evaluate human vulnerability caused by a diesel spill accident. The results of the Bowtie diagram showed that a total of 45 basic events are involved in a gasoline spill.

These results were then compared with the following studies. In the study by S. Rajakarunakaran et al., regarding the release of LPG gas from a truck tank, a fault tree was designed with a total of 16 basic events and 4 intermediate events. In the study by Refaul Ferdous et al., the fault tree was designed with 6 basic events, and in the study by Rachid Ouache et al., 6 basic events and 2 intermediate events were identified (13). The main reasons for the difference in the number of identified basic and intermediate events can be attributed to the different types of equipment in the tanks, the tank volume, the expansion of basic events, the consideration of different boundaries, the number of unauthorized events, and the level of concentration. According to the results, the nature of the chemical substance (occurrence probability 0.001871 per year), depreciation of equipment (probability 0.01954), and lightning (probability 0.0202302 per year) respectively play the most important roles in a gasoline spill. The probability of the main event (gasoline spill) was calculated as 0.044579435 (in one year). The results of the tank pool fire modeling showed that the maximum intensity of thermal radiation caused by this fire will be 23 kW/m².

Considering that the duration of people's exposure is considered to be 20 seconds, the results also showed that the affected area has a direct relation with the size of the spill. The largest area affected by a gasoline spill was due to the complete rupture of the tanks in the weather conditions of the second six months of the year, and the radius of the affected area was calculated as 2349 meters. In this radius, 1٪ of the people will lose their lives.

The results of the study showed that the affected area in three human damage levels of 1٪, 10٪, and 99٪ has no significant difference in both weather conditions. The assessment of human vulnerability showed that the explosion of the tank has the largest range in terms of human vulnerability with a probability of 99٪. In this area, almost the entire area of the facility, including the control rooms and the fire station, and a part of the road passing near the facility will be affected. Also, the bursting fire affects the largest area with damage levels of 1٪ and 10٪. In this study, the British risk standard was used for risk assessment. According to this standard, acceptable risk is equal to 10^{-6}, tolerable is equal to 10^{-5}, and unacceptable risk is equal to 10^{-4} [14]. The results of risk evaluation for the consequences of pool fire, eruption fire and steam explosion showed that they are in the unacceptable range.

As a result, the study shows that using the bow tie method in combination with consequence modeling can provide experts a more open view of the accidents along with causes and consequences which happen for storage tanks.

CONFLICT OF INTEREST

"The authors declare that there are no conflicts of interest regarding the publication of this manuscript."

How to cite this article:
Zohreh fazli, Fereydoun Laal, Elham keighobadi, Hossein Ebrahimi, Rohullah Falah Medvari, Saber Moradi Hanifi. Quantitative Risk assessment of Gasoline Storage Tank Farm Unit using by Fuzzy Set Theory and Consequence modeling . Iran Occupational Health. 2024 (01 Apr);20:38.

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

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/ioh.20.2.18]

سلامت کار ایران
دوره ۲۰ - ۳۸/۱۴۰۲

مقاله پژوهشی
http://ioh.iums.ac.ir

ارزیابی کمی ریسک واحد تانک فارم گازوئیل به کمک تئوری فازی و مدل سازی پیامد

زهره فضلی: مربی، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای ، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بم، بم ، ایران.
فریدون لعل: استادیار ، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بیرجند، بیرجند ، ایران.
الهام کیقبادی: دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت سلامت،ایمنی و محیط زیست، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.
حسین ابراهیمی: دانشیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهرا ، ایران.
روح اله فلاح مدواری: استادیار ، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی یزد، یزد ، ایران.
صابر مرادی حنیفی: (* نویسنده مسئول) استادیار، مرکز تحقیقات بهداشت کار، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ، ایران.
sabermoradi22@yahoo.com

چکیده

زمینه و هدف: مخازن بخاطر شرایط حاد فرایندی و پیچیدگی روزافزون در آنها همواره یکی از تجهیزاتی هستند که می تواند خطرات جدی برای صنایع و واحد های مجاور به وجود آورند. رهایش محتویات این مخازن می تواند به پیامدهایی مانند انفجارهای آتشین و پراکندگی مواد سمی منجر شود. بنابراین، شناسایی علل و مدل سازی پیامد های آن ها امری ضروری به حساب می آید.
روش بررسی: در این مطالعه جهت شناسایی ترسیم دیاگرام علت پیامد مخازن گازوئیل از دیاگرام پاپیونی و جهت تعیین نرخ نقص رویدادهای پایه از تئوری فازی استفاده شد. و به منظور تعیین احتمال رویدادهای پایه از تئوری فازی و نظران کارشناسان استفاده شد و در نهایت به منظور مدل سازی سناریوهای احتمالی از نرم افزار PHAST8.2 استفاده گردید.
یافته ها: در آنالیز دیاگرام پاپیونی در مجموع ۴۵ رویداد پایه و ۴ پیامد از جمله حریق استخری، حریق فورانی، حریق ناگهانی و انفجار شناسایی شد. نتایج مدل سازی پیامد نشان داد بیشترین شدت تشعشع حرارتی ناشی از آتش استخری برای مخزن گازوئیل برابر با ۲۳ کیلووات بر مترمربع و بیشترین میزان افزایش موج انفجار برابر با ۱۹/۷ بار برآورد شد. نتایج ارزشیابی ریسک برای پیامد های حریق استخری، حریق فورانی و انفجار بار بخار نشان داد که عدد ریسک برآورد شده بیش از 10^{-4} و در محدوده غیرقابل قبول قرار دارند.
نتیجه گیری: استفاده از روش پاپیونی در ترکیب با مدل سازی پیامد می تواند دید بازتری نسبت به فرایند رخداد حادثه در مخازن ، به همراه علل و پیامدها، برای متخصصین فراهم آورد.

تعارض منافع: *گزارش نشده است.*
منبع حمایت کننده: *ندارد.*

کلیدواژه‌ها
دیاگرام پاپیونی
ارزیابی کمی ریسک
مخازن گازوئیل
مدل سازی پیامد

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۲/۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۴

شیوه استناد به این مقاله:
Zohreh fazli, Fereydoun Laal, Elham keighobadi, Hossein Ebrahimi, Rohullah Falah Medvari, Saber Moradi Hanifi. Quantitative Risk assessment of Gasoline Storage Tank Farm Unit using by Fuzzy Set Theory and Consequence modeling . Iran Occupational Health. 2024 (01 Apr);20:38.

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

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.61186/ioh.20.2.18]

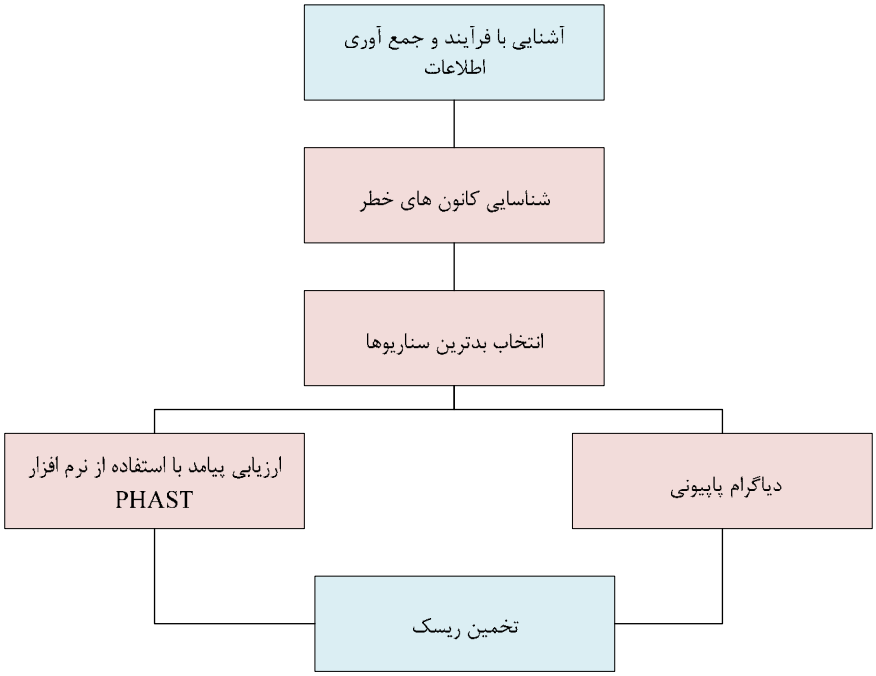
مقدمه

صنایع روز به روز در حال پیشرفت و توسعه هستند. تعداد کارخانه‌های تولید کننده مواد شیمیایی به شدت افزایش یافته و هر سال نیز محصولات جدیدی تولید و وارد بازار می‌شود(۱). در پنجاه سال گذشته تغییرات قابل توجهی در مواد شیمیایی، فرآیندها و نوع فعالیت ها در صنایع شیمیایی صورت گرفته است(۱۵). این افزایش به دلیل رشد جمعیت و نیز نیاز روزافزون بشر به مواد جدید و رفاه بیشتر است(۱۶). مخازن بخاطر شرایط حاد فرایندی و پیچیدگی روزافزون در آنها همواره یکی از تجهیزاتی هستند که می تواند خطرات جدی برای صنایع و واحد های مجاور به وجود آورند این حوادث در سال خسارات بسیار زیاد مالی، جانی و زیست محیطی به جوامع وارد میکند. کشور ما نیز از این مقوله مستثنی نیست و آمار حوادث حاکی از تکرار بالای حوادث در سیستم های فرایندی کشور دارد که از آن جمله می توان به حادثه انفجار مخازن یک شرکت تولید کننده حلال های صنعتی که منجر به کشته شدن ۳۵ نفر و مصدومیت ۵۴ نفر شد و آتش سوزی مخازن پتروشیمی بوعلی که منجر به خسارت ۶۰ میلیون یور شد اشاره نمود(۱۷). پیشگیری موفق چنین حوادثی مستلزم انجام به موقع مطالعات ارزیابی و مدلسازی کمی ریسک است تا بتوان استراتژی های پیشگیرانه و کنترلی بر مبنای ریسک طراحی و اجرا کرد (۱۸, ۱۹). اصولاً برای ارزیابی ریسک از تکنیک های خاصی استفاده شده و روش های متعددی برای شرایط مختلف توسط محققین ارائه و توسعه داده شده است که انتخاب روش مناسب با توجه به صنایع مورد بررسی و اهداف مطالعات متفاوت می باشد (۲۱). از روش های ارزیابی ریسک مورد استفاده در صنایع فرایندی می توان به روش های FMEA، FTA، HAZOP، What if? ، Dow Index و ETA اشاره نمود که هرکدام اهداف مشخصی را دنبال کرده و ارزیابی ریسک را با هدف خاصی انجام می دهند (۲۰). به نظر می رسد کاربرد چندین روش ارزیابی ریسک به صورت مکمل ، در فرایندهای صنعتی امری ضروری باشد چرا که تصویر روشنی از روند کار و نیز سناریوهای حادثه می دهد(۲۱). به عقیده Zarei و همکاران(۲۲) اولین اقدام مؤثر برای پیشگیری از چنین حوادثی ارزیابی کمّی ریسک است تا بتوان استراتژی‌های پیشگیرانه و کنترلی لازم را بر مبنای نتایج ارزیابی کمی ریسک طراحی و اجرا کرد. بر اساس نظر Marhavilas و همکاران (۲۳) در تحلیل ریسک دو پارامتر شامل احتمال رخداد و شدت پیامد نقش عمده‌ای ایفا می‌کنند. احتمال رخداد، امکان وقوع رویداد در یک بازه زمانی است. شدت پیامدهای یک حادثه به معنای اثرات مضر ناشی از آن حادثه است (۲۴). هر سناریو می‌تواند دارای چندین پیامد باشد که این پیامدها از طریق مدل‌های ارائه شده برای «رهایش و پخش مواد در محیط» و مدل‌های «آتش» و «انفجار» تعیین و شبیه سازی می‌شوند. آثار ناشی از آتش به صورت توزیع شدت تشعشع و آثار ناشی از انفجار به صورت توزیع موج انفجار تعیین گردیده و تأثیر این پیامدها بر جمعیت انسانی ارزیابی می‌شود (۲۴, ۲۵).

Markowski در مطالعه خود عنوان می کند که روشهای آنالیز ایمنی فرایندها از قبیل ETA و FTA می تواند بیشتر در رویکرد Bowtie برای ارزیابی ریسک سناریوهای حوادث استفاده شود(۲۶). در تکنیک درخت خطا به منظور تعیین احتمال رویداد های پایه می توان از بانک های اطلاعاتی از جمله (۲۷) OREDA[1]، CCPS[2] (۲۸) و Lee (۵) استفاده نمود. با این حال استفاده از بانک های اطلاعاتی به دلیل عدم داشتن نرخ نقص برای تمامی رویدادهای ریشه ای و همچنین پایین بودن اطمینان پذیری داده های مربوط به آن، دارای محدودیت می باشد. در برخی از منابع از جمله گزارش NOG-070 ذکر گردیده است در صورتیکه تعداد اجزای در معرض نقص کمتر از ۳۰ جزء باشد، نرخ نقص برآورد شده از اطمینان پذیری کافی جهت ارزیابی ایمنی سیستم برخوردار نخواهد بود (۲۹). لذا جهت غلبه بر محدودیت های رویکرد درخت خطای متعارف بایستی عدم قطعیت ها به حداقل رسانیده شود. یکی از رویکردهای مهم در به حداقل رسانی عدم قطعیت ها، استفاده از نظرات خبرگان در تلفیق با رویکرد منطق فازی جهت برآورد احتمال وقوع رویدادهای پایه می باشد. در این مطالعه به منظور رفع عدم قطعیت ناشی از نبود داده های مربوط به نرخ نقص رویداد های پایه از تئوری فازی استفاده شد . در مطالعاتی که در حوزه تخمین ریسک انجام شده است از قبیل مطالعه Jianxing و همکاران (۳۰) و Hosseini و همکاران(۳۱) تخمین ریسک بر اساس احتمال بوده و پارامتر شدت بررسی نشده است. به منظور تخمین شدت پیامد روش های متعددی در حوزه مدل سازی پیامد بر پایه معادلات تجربی و با استفاده از نرم افزار ارائه شده است (۳۲). از جمله این روش ها می توان به PHAST، DEGADIS ، SLAB ، HGSYSTEM و ALOHAاشاره کرد. (۶, ۳۳). در این مطالعه به منظور تعیین احتمال رویداد اصلی از دیاگرام پاپیونی فازی شده و تعیین شدت پیامد ها از مدل سازی پیامد با استفاده از

1 Odisha Renewable Energy Development Agency
2 Center for Chemical Process Safety

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.61186/ioh.20.2.18]



شکل ۱. چارچوب کلی اجرای مطالعه

نرم افزار HAST8.2 استفاده شد. این مطالعه با هدف ارائه روشی برای ارزیابی کمی ریسک واحد تانک فارم گازوئیل با استفاده از تئوری فازی ، دیاگرام پاپیونی و مدل سازی پیامد ارائه شده است.

روش کار

این مطالعه در سال ۱۴۰۱در واحد تانک فارم گازوئیل در یک جایگاه سوخت انجام شد در این مطالعه به منظور ترسیم دیاگرام علت پیامد از دیاگرام پاپیونی و تعیین احتمال رویدادهای پایه از تئوری فازی و به منظور مدل سازی پیامد و تعیین میزان شدت از نرم افزار PHAST استفاده شد. شکل ۱ روش اجرای ارزیابی این مطالعه را نشان می دهد.

آشنایی با فرایند و جمع آوری اطلاعات

گازوئیل به فرانسوی Gasoil (نفت گاز یا سوخت دیزل) بعنوان سوخت موتورهای دیزلی و تأسیسات حرارتی بکار می‌رود که دارای حداقل نقطه اشتعال ۵۴ درجه سانتیگراد و ماکزیمم نقطه ریزش صفر درجه سانتیگراد است. دانسیته آن در دمای ۱۵/۶ درجه سانتیگراد ۸۲۰ تا ۸۶۰ کیلوگرم بر مترمکعب است. مهمترین مشخصه آن عدد ستـان است این عدد یک معیار اندازه‌گیری برای نشان دادن زمان تاخیر احتراق سوخت در موتورهای دیزل است که زمان تاخیر میان شروع پاشش به داخل محفظه احتراق و شروع احتراق سوخت را نشان می‌دهد(۳۴) که باید بیشـتر از ۵۰ باشد تا موتور نرم و بیصدا کار کند. دمای مخزن مورد مطالعه ۳۰ درجه سانتیگراد در فشار اتمسفر و دارای حجم ۴۸ متر مکعب بود.

شناسایی کانون های خطر

به منظور شناسایی رویداد اصلی از نتایج مطالعات FMEA استفاده شد. با توجه به اینکه دلیل اصلی وقوع مخاطرات جایگاهای سوخت به ویژه واحد مخازن گازوئیل، نشت مواد شیمیایی بوده که منجر به پیامد شیمیایی از جمله ایجاد مسمومیت، آتش سوزی و وقوع انفجار می‌گردد، در راستای شناسایی کانون‌های خطر موجود در واحد مورد مطالعه، احتمال وقوع آتش، انفجار و مسمومیت ناشی از رهایش مواد شیمیایی در نظر گرفته شد.

انتخاب سناریو

سناریوها در اکثر موارد به صورت نشتی و یا پارگی محتمل در تجهیزات فرآیندی در نظر گرفته می‌شوند، به طوری که منجر به رهایش مواد سمی و یا مواد قابل اشتعال شوند (۳۵، ۳۶). در اغلب مطالعات ارزیابی پیامد، سناریوها در سه اندازه نشتی کوچک، متوسط و بزرگ

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.61186/ioh.20.2.18]

جدول ۱. معیارهای تعیین امتیاز وزنی خبرگان

ردیف	عنوان	امتیاز	تجربه(سال)	امتیاز	تحصیلات	امتیاز	سن(سال)	امتیاز
۱	استادتمام	۵	≥۳۰	۵	دکتری	۵	≥۵۰	۴
۲	دانشگاهی جوان[1]	۴	۲۰-۲۹	۴	کارشناسی ارشد	۴	۴۰-۴۹	۳
۳	مهندس	۳	۱۰-۱۹	۳	کارشناسی	۳	۳۰-۳۹	۲
۴	تکنسین	۲	۶-۹	۲	دیپلم	۲	≤۳۰	۱
۵	کارگر	۱	≤۵	۱	زیر دیپلم	۱		

[1] Junior academic

تعیین و بررسی می‌گردند. اندازه نشتی بر اساس قطر تجهیزات فرآیند مورد مطالعه و لوله‌های ورودی و خروجی محل سناریوهای انتخاب‌شده، مشخص می‌شوند بدین مفهوم که قطر های نشتی احتمالی به عنوان نسبتی از قطر لوله های ورودی در نظر گرفته شد با توجه به اینکه یکی از مسیر های اصلی نشتی در مخازن شکستگی یا پاراگی لوله های ورودی است لذا سناریوهای نشتی بر این اساس انتخان شدند (۳۷). در این مطالعه دو سناریو نشتی با قطر ۱۰۰ و ۲۰۰ میلیمتر و یک سناریو پارگی کامل برای مخازن گازوئیل مورد بررسی قرار گرفت.

دیاگرام پاپیونی

تکنیک پاپیونی[1] به منظور شناسایی و ارزیابی ریسک در صنایع مختلفی به کارگرفته شده است. این تکنیک از موثرترین روش‌ها در زمینه مدیریت و ارزیابی ریسک می‌باشد. مطالعات متعددی از جمله Markowski و همکاران(۳۸)، Ouache و همکاران (۳۹) و Ruijter و همکاران(۴۰) از این تکنیک در ارزیابی ریسک استفاده کرده‌اند. در این مطالعه به منظور شناسایی رویدادهای مؤثر پایه در وقوع ریزش مواد شیمیایی از روش درخت خطا استفاده شد. پس از اتمام تجزیه و تحلیل کیفی درخت خطا با تمرکز بر علل وقوع رویداد اصلی، احتمال رخداد رویدادهای پایه با استفاده از تکنیک دلفی و نظرات کارشناسان بر اساس طوفان ذهنی، بررسی سابقه حوادث، داده‌های ارائه شده در انجمن مهندسی ریسک آمریکا (۴۱) و اطلاعات استخراج شده از کتب مرجع و مطالعات مشابه (۴۲-۴۵) برآورد گردیده و کمی سازی درخت خطا انجام شد. به منظور شناسایی و محاسبه ترتیب رخداد سناریوهای بالقوه دخیل در حادثه، از روش درخت رویداد استفاده گردید. تحلیل درخت رویداد نیز به دو صورت کمّی و کیفی انجام می‌شود. در تحلیل کیفی به تعیین حداقل برش‌ها پرداخته شد و در تحلیل کمّی احتمال هر برش نیز از طریق رابطه ۱ محاسبه گردید.

$$P_r = P_r(TE) \times \prod_{j=1}^{n} P_r(E) \qquad (۱)$$

در این رابطه P_r احتمال رخداد هر یک از پیامد ها، P_r (TE) احتمال رویداد اصلی، P_r (E) احتمال شکست یا موفقیت لایه های حفاظتی می باشد.

احتمال شکست یا موفقیت هر یک از لایه‌های حفاظتی با توجه به داده‌های BEVI[2] مشخص گردید (۴۶).

تئوری فازی

با توجه به اینکه در این مطالعه اطلاعاتی در برای رویداد های پایه شناسایی شده در دسترس نبود. به همین دلیل احتمال وقوع رویداد اولیه با استفاده از نظرات خبرگان و نظریه فازی برآورد گردید این مطالعه از نظر و استنباط خبرگان و تئوری فازی [3] برای تعیین احتمال رویداد های پایه استفاده شد. به عقیده Jafari و همکاران (۴۷) هنگامی که اطلاعات کافی وجود ندارد برای تعیین احتمال می‌توان از نظر خبرگان استفاده کرد. در این مطالعه با توجه به توصیه Ishikawa و همکاران (۴۸) سه خبره برای تعیین وزن انتخاب شدند. برپایه مطالعه Cooke و همکاران (۴۹) برای انتخاب خبرگان سه شاخص کلی شامل میزان مقالات منتشر شده توسط فرد، تجربه انجام مطالعات مشابه در گذشته و تائید صلاحیت فرد خبره توسط افراد دیگر در نظر گرفته شد (۵۰، ۵۱)، بر اساس معیارهای جدول ۱ فاکتور وزنی نسبی هر یک از خبرگان از طریق مجموع امتیازات کسب شده تقسیم بر مجموع امتیاز کسب شده توسط همه خبرگان محاسبه شد.

1 Bow- Tie(BT)

2 Besluit Externe Veiligheid Inrichtingen

3Fuzzy Set Theory(FST)

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/ioh.20.2.18]

تعیین وزن خبرگان و کمّی سازی نظرات آن‌ها

برای کمّی سازی نظر خبرگان و تعیین وزن نظر آنان در نرخ شکست رویدادهای پایه، براساس مطالعه Saaty و Ozdemir (۹)، از گویه‌های هفت تایی شامل «خیلی کم (۰/۲، ۰/۱، ۰، ۰)، کم (۰/۳، ۰/۲، ۰/۲، ۰/۱)، نسبتاً کم (۰/۵، ۰/۴، ۰/۳، ۰/۲)، متوسط (۰/۶، ۰/۵، ۰/۵، ۰/۴)، نسبتاً زیاد (۰/۸، ۰/۷، ۰/۶، ۰/۵)، زیاد (۰/۹، ۰/۸، ۰/۸، ۰/۷) و خیلی زیاد (۱، ۱، ۰/۹، ۰/۸)» استفاده شد. برای فازی کردن گویه‌ها توابع عضویت فازی مختلفی از جمله مثلثی، ذوزنقه‌ای، زنگوله‌ای و گوسی وجود دارد. در این مطالعه نیز براساس مطالعه Omidvari و همکاران (۵۲) از اعداد فازی ذوزنقه‌ای استفاده شد. نظرات خبرگان با استفاده از روش ارائه شده توسط Chen و Hwang (۵۳) کمّی سازی شد.

تبدیل ترم های زبانی به FPS

لازم است قضاوت کارشناسان که به شکل ترم های زبانی است به اعداد فازی تبدیل شوند. سپس به یک عدد نهایی تبدیل شوند که FPS نامیده می شود. در مطالعات انجام شده تکنیک‌های مختلفی برای اجماع نظر خبرگان وجود دارد مثل نظر سنجی خطی[1]، روش بیشینه-کمینه دلفی[2]، sum-product، max-product. در این مطالعه از الگوریتم sum-product و رابطه ۲ برای اجماع نظر خبرگان استفاده شد (۱۰).

$$Z_i = \sum_{j=1}^{n} w_j f_{ij}, \qquad i=1,2,....,m \quad j=1,2,...n \qquad (۲)$$

در این رابطه Z_i احتمال شکست رویداد های پایه، w_j : وزن خبره، j : f_{ij} امکان وقوع نقص فازی رویداد پایه i بیان شده توسط کارشناسان j و n: تعداد کل خبرگان و m تعداد رویداد های پایه

غیر فازی کردن

در این مطالعه از روش max-min که توسط Chen و Hwang (۱۱) ارائه شده است استفاده شد. روش مجموعه فازی Max-Min در مطالعات متعددی از جمله Sharma و همکاران (۵۴)، Shi و همکاران (۱۱) Yazdi و همکاران (۱۰) استفاده شده است. این روش به شکل روابط ۳ و ۴ارائه شده است.

$$f_{max}(x) = \begin{cases} x. & 0 \le x \le 1 \\ 0. & (otherwise) \end{cases} \qquad (۳)$$

$$f_{min}(x) = \begin{cases} 1-x. & 0 \le x \le 1 \\ 0. & (otherwise) \end{cases} \qquad (۴)$$

به منظور محاسبه عدد سمت چپ و راست مجموعه فازی از رابطه ۵ و ۶ استفاده می‌شود.

$$FPS_{Right} = \sup_x [f_z(x) \wedge f_{max}(x)] = {(1-d)}/{[1+(d-c)]} \qquad (۵)$$

$$FPS_{Right} = \sup_x [f_z(x) \wedge f_{min}(x)] = {(1-a)}/{[1+(b-a)]} \qquad (۶)$$

بنابراین احتمال عدد فازی Z_i از معادله ۷محاسبه می شود.

$$FPS(Z_i) = \left[FPS_{Right}(Z_i) + 1 - FPS_{Left}(Z_i)\right]/2 \qquad (۷)$$

تعیین احتمال رویدادهای پایه و رویداد اصلی

عدد بدست آمده از مرحله دی فازی کردن برای هر رویداد امکان وقوع نقص قطعی CFP[3] می‌باشد. عدد بدست آمده از مرحله قبل بایستی از حالت امکانی به احتمال تبدیل شود، به منظور محاسبه احتمال وقوع نقص (FP[4]) رویدادها از رابطه ۸ استفاده شد (۵۵).

$$FP = \begin{cases} \dfrac{1}{10^K} & CFP \neq 0 \\ 0 & CFP = 0 \end{cases} \qquad (۸)$$

$$K = \left[\frac{1-CFP}{CFP}\right]^{1/3} \times 2.301$$

FP، نرخ احتمال هر رویداد پایه ،
CFP، عدد امکانی حاصل از مرحله غیر فازی کردن ،
K ، یک متغیر حد واسط که تابع CFP است

ارزیابی پیامد با استفاده از نرم افزار PHAST

در این مرحله، پس از در نظر گرفتن تمام عوامل مؤثر در وقوع سناریو، اقدام به شبیه سازی سناریو شد. بدین معنی که با استفاده از مدل‌های ریاضی و در نظر گرفتن عوامل مؤثر، توالی رخدادهای پس از وقوع یک سناریو پیش‌بینی

1 Linear Opinion Pool
2 Max-Min Delphi
3 crisp failure possibility (CFP)
4 Failure Probability

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.61186/ioh.20.2.18]

گردید. پس از انتخاب سناریوهای منطقی، مهمترین عامل در انجام صحیح آنالیز پیامد، برگزیدن مدلی صحیح است که بتواند تا حد امکان حادثه را نزدیک به شرایط واقعی شبیه سازی کند. مراجع مختلف، مدل‌های معتبری را جهت مدل سازی رهایش، انتشار، انفجار و اشتعال معرفی کرده‌اند که در ادامه به آنها اشاره خواهد شد (۱۳، ۵۶، ۵۷). در این مطالعه به منظور مدل سازی پیامد های نشت مخازن گازوئیل از نرم افزار PHAST7.2 استفاده شد.

تخمین ریسک

به منظور برآورد پیامدهای آتش بر انسان معمولا از منحنی دز – پاسخ استفاده می‌شود. روش‌های بسیاری برای باز تولید منحنی دز - پاسخ وجود دارد (۵۸). اما روشی که امروزه به طور گسترده استفاده می‌شود معادلات پرابیت است که به شکل رابطه ۲ است (۱۲، ۵۹). در نهایت با توجه به مقدار پروبیت میزان مرگ و میر با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد در این روابط Y متغیر پروبیت ، q: میزان تشعشع ناشی از حریق (کیلوات بر مترمربع)، t:زمان برحسب ثانیه (بر اساس مطالعات فرض ۲۴ ثانیه در نظر گرفته شد)، N تعداد مرگ و میر (تعداد مرگ ومیر/ حادثه)، Dp توزیع جمیعت (نفر/مترمربع)، A مساحت ناحیه تحت تاثیر پیامد (متر مربع) و P احتمال مرگ و میر می باشد.

$$Y = -14.9 + 2.56\ln(t.q^{4/3}) \quad (۲)$$

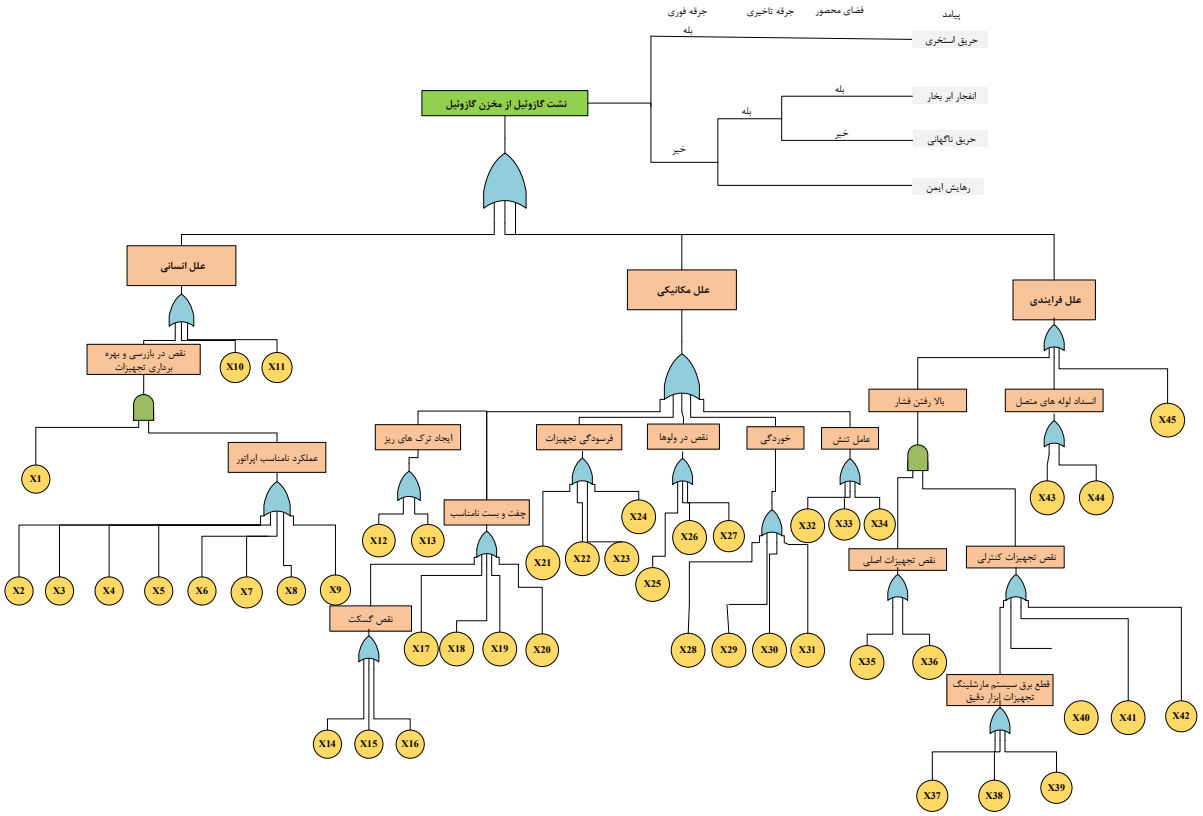
$$N = D_p AP \quad (۳)$$

در این مطالعه جهت ارزیابی ریسک از معیار ریسک انگلستان که کاربرد بیشتری در مطالعات ریسک داخلی و خارجی دارد استفاده شد. بر اساس این معیار، ریسک قابل قبول برابر $۱۰^{-۶}$، قابل تحمل برابر $۱۰^{-۵}$و ریسک غیر قابل قبول $۱۰^{-۴}$ می باشد (۶۰).

یافته ها

ترسیم دیاگرام Bowtie

دیاگرام Bowtie با کمک داده ها و اطلاعات مربوط به درخت خطا و درخت رویداد ترسیم شده و اطلاعات آن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همانگونه که در شکل ۲ مشخص می باشد عوامل بوجود آورنده رویداد اصلی همراه با شاخه ها و دروازه های منطقی در سمت چپ دیاگرام و لایه های حفاظتی همراه با شکست یا موفقیت این لایه ها و پیامدها در سمت راست دیاگرام Bowtie قرار گرفته



شکل ۲. دیاگرام پاپیونی نشت گازوئیل از مخزن و پیامد های نهایی ناشی از نشت

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.61186/ioh.20.2.18]

جدول ۱. توصیف رویداد های پایه و میزان احتمال آن ها

علامت	رویداد پایه	احتمال شکست	علامت	رویداد پایه	احتمال شکست
X1	عملکرد نامناسب مدیریت	۰.۰۰۱۳۴۸۹۶	X24	نقص بازرسی در تشخیص فرسودگی	۰.۰۰۱۵۸۴۸۹
X2	ترس از انفجار و آتش سوزی	۰.۰۰۱۵۹۹۵۶	X25	آسیب وارده به گسکت	۰.۰۰۱۰۷۸۹۵
X3	عدم اطلاع رسانی به موقع اتاق کنترل	۰.۰۰۱۷۲۵۸۴	X26	نقص تعمیر و نگهداری	۰.۰۰۱۲۸۲۳۳
X4	ضعف شنوایی	۰.۰۰۱۲۰۷۸۱	X27	ضربات خارجی	۰.۰۰۱۴۹۹۶۸
X5	نداشتن مهارت و تجربه کافی	۰.۰۰۱۲۸۲۳۳	X28	نقص حفاظت کاتدیک	۰.۰۰۱۷۲۵۸۴
X6	خستگی	۰.۰۰۱۰۷۸۹۵	X29	از بین رفتن لایه ضد خوردگی	۰.۰۰۱۷۷۰۱۱
X7	استرس	۰.۰۰۱۱۹۶۷۴	X30	ساییدگی	۰.۰۰۱۷۷۰۱۱
X8	نوبت کاری	۰.۰۰۱۰۷۸۹۵	X31	نقص در بازرسی خوردگی	۰.۰۰۱۶۱۴۳۶
X9	آموزش ناکافی و غیر اثربخش	۰.۰۰۱۵۸۴۸۹	X32	تنش برشی	۰.۰۰۱۶۱۴۳۶
X10	خطای عمدی در اجرای دستورالعمل ها	۰.۰۰۱۳۴۸۹۶	X33	تنش محوری	۰.۰۰۱۳۴۸۹۶
X11	تجهیزات با ولوها برخورد ناخواسته	۰.۰۰۱۴۹۹۶۸	X34	تنش مماسی	۰.۰۰۱۴۹۹۶۸
X12	نقص جوشکاری	۰.۰۰۱۳۴۸۹۶	X35	بسته شدن ولو بعد از مخزن	۰.۰۰۱۱۹۶۷۴
X13	تغییرات دمایی	۰.۰۰۱۶۱۴۳۶	X36	عمل نکردن سوئیچ های ورودی	۰.۰۰۱۰۵۴۳۹
X14	جایگذاری نامناسب گسکت	۰.۰۰۱۴۹۹۶۸	X37	نقص در کارایی سیستم ارت	۰.۰۰۱۲۸۲۳۳
X15	ایجاد انحنا در گسکت	۰.۰۰۱۴۹۹۶۸	X38	فرسودگی تجهیزات	۰.۰۰۱۳۴۸۹۶
X16	فرسودگی و استهلاک تجهیز	۰.۰۰۱۹۵۴۳۴	X39	رعد و برق	۰.۰۰۲۰۲۳۰۲
X17	خراب بودن اتصالات رزوه	۰.۰۰۱۱۹۶۷۴	X40	نقص نرم افزاری	۰.۰۰۱۱۹۶۷۴
X18	نقص در نشت یابی	۰.۰۰۱۵۸۴۸۹	X41	نقص در ولو های کنترلی	۰.۰۰۱۵۸۴۸۹
X19	باز طراحی غیر اصولی	۰.۰۰۱۲۸۲۳۳	X42	کالیبره نبودن سیستم های ابزار دقیق	۰.۰۰۱۲۸۲۳۳
X20	مونتاز نامناسب تجهیزات	۰.۰۰۱۵۸۴۸۹	X43	برودت هوا	۰.۰۰۰۸۳۹۴۶
X21	استفاده نادرست از تجهیزات	۰.۰۰۱۲۸۲۳۳	X44	نقص در فیلترینگ ناخالصی ها	۰.۰۰۰۹۴۸۴۲
X22	ناتوانی در جایگزینی تجهیزات فرسوده	۰.۰۰۱۲۸۲۳۳	X45	طراحی اولیه نادرست	۰.۰۰۱۵۲۷۵۷
X23	ماهیت ماده شیمیایی	۰.۰۰۱۸۷۰۶۸	TE	رویداد نهایی(نشت گازوئیل)	۰.۰۴۴۵۷۹۴۳۵
IIB	مانع جرقه فوری	۰.۱	Con	فضای محصور	۰.۶
DIB	مانع جرقه تاخیری	۰.۳			

است. همانگونه که در شکل ۲ مشاهده می شود رویداد های پایه با علامت X نشان داده شده است و توصیف این رویداد ها در جدول ۱ ارائه شده است.

تعیین احتمال رویدادهای پایه با استفاده از منطق فازی

به‌منظور تعیین احتمال رویداد اصلی لازمست میزان احتمال رویدادهای پایه‌ای محاسبه شود. به منظور تعیین احتمال وقوع رویدادهای پایه از رویکرد هفت مقیاسی[1] استفاده شد. بر اساس شاخص‌های مطالعه Ishikawa و همکاران (۴۸) ابتدا به منظور تعیین احتمال وقوع رویدادهای پایه سه نفر خبره واجد شرایط شامل کارشناس فرایند و اعضای هئیت علمی به منظور ارزیابی احتمال رویداد های پایه انتخاب شدند. در مرحله بعد اعداد فازی معادل نظریات ذهنی هر خبره به تفکیک برآورد گردید. سپس این اعداد فازی دی‌فازی شدند و در نهایت احتمال وقوع هر رویداد پایه محاسبه گردید. این نتایج در جدول 3ارائه شده است. همانگونه که در جدول مشاهده می‌شود کمترین میزان احتمال مربوط X43 (آب سرد) می باشد. جدول ۱ توصیف رویداد های پایه، موانع ایمنی و میزان احتمال آن ها را نشان می دهد.

بعد از اینکه ترسیم کیفی درخت خطا با تمرکز بر نشت گازوئیل از مخزن به اتمام رسید احتمال رخداد رویدادهای پایه استخراج شده و کمی سازی درخت خطا انجام گرفت. نتایج درخت خطا نشان داد که احتمال نشت گازوئیل از مخزن 0.044579435 در یک سال می باشد. با توجه به احتمال شکست یا موفقیت هر یک از لایه های حفاظتی بر اساس پایگاه داده ها (۴۶)، سپس احتمال هر یک از پیامدهای نهایی یعنی حریق استخری ۰/۰۰۴۴۵۸، انفجار ابر بخار ۰/۰۰۷۲۲۲، حریق ناگهانی ۰/۰۰۴۸۱۵ و بدون آسیب ۰/۰۴۰۱۲۱ برآورد گردید.

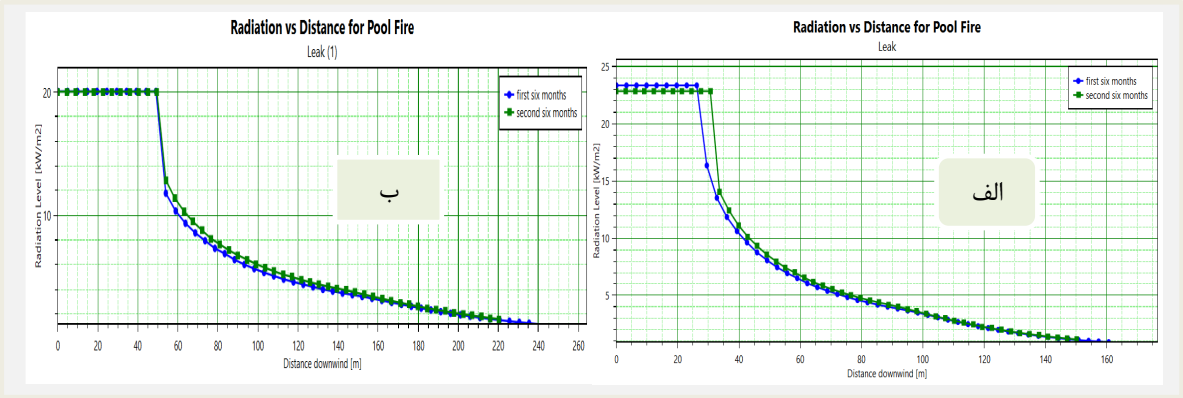
مدل سازی پیامد با استفاده از نرم‌افزار PHAST

بر اساس نتایج دیاگرام پاپیونی، مدل سازی پیامد برای مخزن گازوئیل در غالب ۴ سناریو با اندازه نشتی ۱۰۰ و ۲۰۰ میلیمتر و در و وضعیت آب و هوایی شش

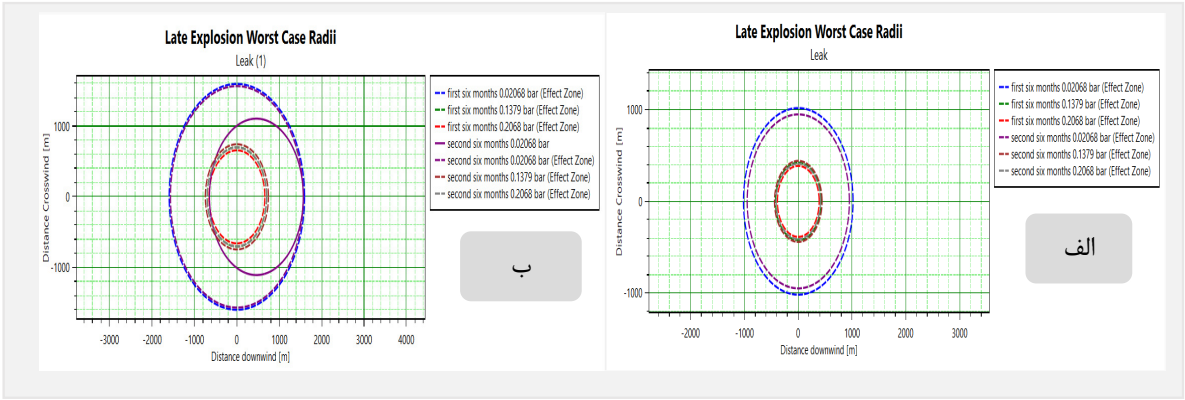
1 7-term linguistic scale

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/ioh.20.2.18]



شکل ۳. میزان شار گرمایی ناشی از آتش استخری برحسب فاصله از محل وقوع نشتی در اندازه نشتی ۱۰۰ و ۲۰۰ میلیمتر



شکل۴. آسیب پذیری انسانی ناشی از انفجار از محل وقوع نشتی در اندازه نشتی ۱۰۰ (الف)و ۲۰۰ (ب) میلیمتر

ماهه اول سال و شش ماهه دوم سال (بر اساس اطلاعات اداره هواشناسی منطقه) انجام شد. میانگین سرعت باد در شش ماهه اول ۶ و در شش ماهه دوم ۷ متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. دمای هوای و رطوبت نسب در شش ماهه اول به ترتیب ۴۰ درجه سانتیگراد و ۳۰ درصد و در شش ماهه دوم به ترتیب ۲۵ درجه سانتیگراد و ۲۵ درصد در نظر گرفته شد. شکل۳ میزان شار گرمایی بر حسب فاصله از محل حریق استخری در اندازه نشتی ۱۰۰ میلیمتر (الف) و در اندازه نشتی ۲۰۰ میلیمتر (ب) را نشان می دهد همانگونه که مشاهده می شود تا فاصله ۳۰ متری از مرکز حریق استخری در اندازه نشتی ۱۰۰ میلیمتر میزان شار گرمایی ۲۳کیووات بر متر مربع است و در فاصله ۱۵۰ متری به کمترین مقدار خود می رسد. در اندازه نشتی ۲۰۰ میلیمتر تا فاصله ۵۰ متری از مرکز حریق استخری میزان شار گرمایی ۲۰کیووات بر متر مربع و در فاصله ۲۴۰ متری به کمترین مقدار خود می رسد.

شکل۴ میزان آسیب پذیری انسانی ناشی از انفجار در اندازه نشتی ۱۰۰ (الف)و ۲۰۰ (ب) میلیمتری مخزن در۲ وضعیت آب و هوایی منتخب، در سه سطح موج انفجار ۰/۰۲، ۰/۱۳۷ و ۰/۲۰۶ بار را نشان می دهد.

تخمین ریسک

بعد از مدل سازی و تخمین میزان مرگ‌ومیر ناشی از سناریوهای مورد مطالعه عدد ریسک برآورد شد. بر اساس مطالعات، میزان تشعشع ۴ کیلووات بر متر مربع (حد آستانه درد در مدت ۲۰ ثانیه) و ۳۷/۵کیلو وات بر متر مربع (۱۰۰ درصد مرگ در ۱ دقیقه یا ۱ درصد مرگ در ۱۰ ثانیه) می باشد. تراکم جمعیت در صنعت مورد مطالعه بطور متوسط ۱۰۰ نفر می‌باشد. جدول۴ نتایج ارزیابی سناریوهای مورد مطالعه و پروفایل ریسک را نشان می دهد. همانگونه که در جدول مشاهده می‌شود بیشترین احتمال مرگ و میر و عدد ریسک مربوط به سناریو انفجار با تعداد تلفات ۲۸ نفر و عدد ریسک ۰/۲۰۲۱۶می باشد..

بحث

مطالعه حاضر در راستای ارزیابی آسیب پذیری انسانی

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.61186/ioh.20.2.18]

جدول۴. نتایج پروفایل ریسک

پیامد	ناحیه تحت تاثیر(مترمربع)	تراکم جمعیت (نفر/متر مربع)	احتمال مرگ و میر	تعداد تلفات	تکرار پذیری پیامد(رویداد/سال)	مرگ‌ومیر (نفر/رویداد)	ریسک جمعی
حریق استخری	۵۸۹۳۴	۰/۰۰۰۱	۰/۰۸	۰/۴۷	۰/۰۰۷۶۸	۰/۴۷	۰.۰۰۲۰۹۵۲
حریق ناگهانی	۲۶۴۰۷۴	۰/۰۰۰۱	۱	۲۶	۰/۰۰۸۴۸۹	۲۶	۰.۱۲۵۱۹۰
انفجار	۲۸۲۷۸۸۷	۰/۰۰۰۱	۰/۱	۲۸	۰/۰۱۲۷۳۴	۲۸	۰.۲۰۲۲۱۶

ناشی از وقوع حوادث ناشی از نشت گازوئیل انجام شد. در این مطالعه مراحل مختلف ارزیابی پیامد پیاده سازی گردید.نتایج مرحله ترسیم کیفی دیاگرام Bowtie در شکل ۲ نشان داد که در مجموع ۴۵ رویداد پایه در رخداد نشت گازوئیل دخیل هستند در درخت خطای ترسیم شده مربوط به مطالعه S. Rajakarunakaran و همکاران در ارتباط با رهایش گاز LPG از مخزن یک کامیون در مجموع ۱۶رویداد پایه و ۴ رویداد میانی، در درخت خطای ترسیم شده مربوط به مطالعه Refaul Ferdous و همکاران ۶ رویداد پایه و در مطالعه مربوط Rachid Ouache و همکاران نیز ۶ رویداد پایه و ۲ رویداد میانی شناسایی شده است (۳۶, ۴۸, ۴۹). وجود تجهیزات جانبی مختلف در هر یک از انواع مخازن، حجم مخزن، گسترش دادن رویدادهای پایه، در نظر گرفتن مرزهای فیزیکی مختلف در انواع مطالعات، تعداد رخدادهای غیرمجاز و سطح تمرکز دلایل عمده تفاوت در تعداد رویدادهای پایه و میانی شناسایی شده می تواند باشد.

با توجه به جدول ۳ ماهیت ماده شیمیایی (احتمال رخداد ۰/۰۰۱۸۷۱ در سال)، فرسودگی و استهلاک تجهیزات (با احتمال ۰/۰۰۱۹۵۴) و رعدو برق (با احتمال ۰/۰۰۲۰۲۳۰۲ در سال) به ترتیب بیشترین نقش را در نشت گازوئیل از مخزن دارا می باشند. احتمال رخداد رویداد اصلی(نشت گازوئیل از مخزن) نیز ۰/۰۴۴۵۷۹۴۳۵(در یک سال) محاسبه گردید. ندر مطالعه رحیمی و همکاران (۴۴) در ارزیاب خطر انفجار مخازن نفت کوره، خطاهای مدیریتی به عنوان عامل اصلی بروز انفجار و خطاهای فرآیندی به عنوان عامل دوم معرفی شدند. در مطالعه دیگری که توسط علی سخاوتی و همکاران انجام شده است، احتمال نقایص انسانی در توقف عملیات ایستگاه‌های تقویت فشار گاز برابر 0/031 محاسبه شده است (۶۱)، که با نتایج به دست آمده با مطالعه حاضر مطابق ندارد این عدم تطابق متواند ناشی از سطح فرهنگ ایمنی ، دانش افراد واحد تانک گازوئیل باشد.

نتایج مدل سازی آتش استخری مخزن نشان داد که حداکثر شدت تشعشع حرارتی ناشی از این آتش ۲۳ کیلووات بر مترمربع خواهد بود. با توجه به اینکه مدت زمان مواجهه افراد با این شدت تشعشع ۲۰ ثانیه در نظر گرفته شده است، همچنین نتایج نشان داد مساحت تحت تاثیر با اندازه نشتی ارتباط مستقیمی دارد. بیشترین مساحت تحت تأثیر این حادثه ناشی از پارگی کامل مخزن در شرایط آب و هوایی شش ماهه دوم بوده و شعاع منطقه تحت تأثیر برابر با ۲۳۴۹ متر محاسبه شد. در این شعاع ۱٪ افراد حاضر جان خود را از دست خواهند داد. نتایج مطالعه نشان داد که مساحت تحت تاثیر در سه سطح آسیب انسانی ۱٪، ۱۰٪ و ۹۹٪ تفاوت قابل توجهی در هر ۲ وضعیت آب و هوایی ندارد. ارزیابی آسیب پذیری انسانی نشان داد که انفجار مخزن بیشترین محدوده را از لحاظ میزان آسیب پذیری انسانی با احتمال ٪۹۹ داراست. در این محدوده، تقریبا تمام محوطه تاسیسات، شامل اتاق های کنترل و ایستگاه آتش نشانی در برگرفته می شود. بعلاوه بخشی از جاده‌ی گذر کرده از کنار تاسیسات را نیز تحت تاثیر قرار می دهد.

همچنین آتش فورانی مخزن بیشترین مساحت را با سطح آسیب ۱٪ و ۱۰٪ ایجاد می کند. در این محدوده، تمام بخش عملیاتی و اداری، از جمله ایستگاه آتش نشانی، کمپ اسکان کارکنان، انبارها، سالن غذاخوری و نیز جاده تحت تاثیر قرار می گیرد. با توجه به برنامه های آتی در راستای گسترش بخش عملیاتی و درنتیجه گسترش مرزهای بخش اداری و عملیاتی، احتمالا محدوده های خطر شناسایی شده در آینده گسترش خواهند یافت.

نتایج ارزشیابی ریسک برای پیامد های حریق استخری، حریق فورانی و انفجار بار بخار در مقایسه با معیار ریسک انگلستان نشان داد که ریسک های برآورد شده در این مطالعه در محدوده غیرقابل قبول قرار دارند.

برای کنترل این مدل از حوادث، اقداماتی باید انجام شود تا خسارت به حداقل رسیده و صدمات جانی جلوگیری شود. از جمله می توان به نصب سیستم اعلام و اطفاء حریق متناسب با نوع حریق ، مدیریت حرارت شامل کنترل دمای محیط و گرمای ناشی از حریق های خارجی برای کاهش این اثر می توان از سیستم های رینگ خنک کننده در مخازن استفاده نمود. همچنین کارکنان باید

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.61186/ioh.20.2.18]

در خصوص اقدامات پیشگیری و کنترل حریق در مخازن گازوئیل آموزش دیده و با روش‌های امنیتی و ایمنی آشنا شوند. هم از طرفی، نظارت و بازرسی منظم بر مخازن گازوئیل به منظور تشخیص و رفع مشکلات پتانسیلی همچون نشتی و زنگ زدگی، نیز بسیار مهم است. این اقدامات، می‌توانند به کاهش احتمال بروز حریق و کنترل صدمات جانی و مالی در صورت بروز حریق، کمک شایانی کنند.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل طرح مصوب شورای پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی مرکز بم به شماره ثبت IR.MUBAM.REC.1402.084 می باشد. از معاونت تحقیقات و فن آوری دانشگاه علوم پزشکی بم قدردانی می‌شود.

REFERENCE

1. Zarei E, Jafari M, Dormohammadi A, Sarsangi V. The role of modeling and consequence evaluation in improving safety level of industrial hazardous installations: A case study: Hydrogen production unit. Iran Occupational Health. 2013;10(6):54-69.
2. Moradi Hanifi S, Omidi L, Moradi G. Risk calculation and consequences simulation of natural gas leakage accident using ALOHA software. Journal of Health and Safety at Work. 2019;9(1):13-20.
3. Veritas DN. OREDA-offshore reliability data handbook. OREDA Participants, Norway. 2002.
4. CCPS. Guidelines for Process Equipment Reliability Data, with Data Tables: Wiley-AIChE; 1989.
5. Less FP. Loss prevention in the process industries: hazard identification, assessment and control: Butterworth-Heinemann; 1980.
6. Nazari S, Karami N, Moghadam H, Nasiri P. Consequence Analysis of BLEVE Scenario in the Propane Tank: ACase Study at Bandar Abbas Gas Condensate Refinery of Iran. International Journal of Scientific Engineering and Technology. 2015;4(9):472-5.
7. Hanna S, Britter R, Leung J, Hansen O, Sykes I, Drivas P, editors. Source emissions and transport and dispersion models for toxic industrial chemicals (tics) released in cities. Eighth Symposium on the Urban Environment, Room, Italy; 2009.
8. Jafari MJ, Pouyakian M, Mozaffari P, Laal F, Mohamadi H, Pour MT, et al. A new approach to chemicals warehouse risk analysis using computational fluid dynamics simulation and fuzzy Bayesian network. Heliyon. 2022;8(12).
9. Saaty TL, Ozdemir MS. Why the magic number seven plus or minus two. Mathematical and computer modelling. 2003;38(3-4):233-44.
10. Yazdi M, Kabir S. A fuzzy Bayesian network approach for risk analysis in process industries. Process Safety and Environmental Protection. 2017;111:507-19.
11. Shi L, Shuai J, Xu K. Fuzzy fault tree assessment based on improved AHP for fire and explosion accidents for steel oil storage tanks. Journal of hazardous materials. 2014;278:529-38.
12. Assael MJ, Kakosimos KE. Fires, explosions, and toxic gas dispersions: effects calculation and risk analysis: CRC Press; 2010.
13. Hort M, Robbins A. The dispersion of fugitive emissions from storage tanks. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 2002;90(11):1321-48.
14. Jones D, Berger S, editors. How to Select Appropriate Quantitative Safety Risk Criteria-Applications from the Center for Chemical Process Safety (CCPS) Guidelines on Quantitative Safety Risk Criteria. SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production; 2010: OnePetro.
15. Ghamari F, Mohammadfam I, Mohammadbeigi A, Ebrahimi H, Khodayari M. Determination of Effective Risk Factors in Incidence of Occupational Accidents in One of the Large Metal Industries, Arak (2005-2007). Iran Occupational Health. 2013;9(4).
16. Khoshakhlagh AH, Yazdanirad S, Kashani MM, Khatooni E, Hatamnegad Y, Kabir S. A Bayesian network based study on determining the relationship between job stress and safety climate factors in occurrence of accidents. BMC public health. 2021;21(1):1-12.
17. Heidari A, Shafiei Karaji F, Mousavi M. Evaluation the Factors that Affecting the Performance of HSE Unit in Pars Service Port. Iranian Journal of Marine Science and Technology. 2022;26(101):41-50.
18. Zarei E, Jafari M, Dormohammadi A, Sarsangi V. The role of modeling and consequence evaluation in improving safety level of industrial hazardous installations: A case study: Hydrogen production unit. Iran Occupational Health. 2014;10(6):29-41.
19. Khoshakhlagh AH, Sulaie SA, Yazdanirad S, Park J. Examining the effect of safety climate on accident risk through job stress: a path analysis. BMC psychology. 2023;11(1):1-9.
20. Fabbrocino G, Iervolino I, Orlando F, Salzano E. Quantitative risk analysis of oil storage facilities in seismic areas. Journal of hazardous materials. 2005;123(1-3):61-9.
21. Tixier J, Dusserre G, Salvi O, Gaston D. Review of 62 risk analysis methodologies of industrial plants. Journal of Loss Prevention in the process industries. 2002;15(4):291-303.
22. Zarei E, Jafari M, Dormohammadi A, Sarsangi V. The role

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/ioh.20.2.18]

of modeling and consequence evaluation in improving safety level of industrial hazardous installations: a case study: hydrogen production unit. Iran Occupational Health. 2013;10(6).
23. Marhavilas P-K, Koulouriotis D, Gemeni V. Risk analysis and assessment methodologies in the work sites: On a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000–2009. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2011;24(5):477-523.
24. Moradi Hanifi S, Omidi L, Moradi G. Risk calculation and consequences simulation of natural gas leakage accident using ALOHA software. Health and Safety at Work. 2019;9(1):13-20.
25. Mohammadi H, Laal F, Mohammadian F, Yari P, Kangavari M, Hanifi SM. Dynamic risk assessment of storage tank using consequence modeling and fuzzy Bayesian network. Heliyon. 2023;9(8).
26. Markowski AS, Mannan MS, Bigoszewska A. Fuzzy logic for process safety analysis. Journal of loss prevention in the process industries. 2009;22(6):695-702.
27. SINTEF O. Offshore Reliability Data Handbook. Høvik: Det Norske Veritas. 2002.
28. CCPS C. Guidelines for Process Equipment Reliability Data, with Data Tables. AIChE New York; 1989.
29. Association NOI. Application of IEC 61508 and IEC 61511 in the Norwegian Petroleum Industry. Norway: The Norwegian Oil Industry Association. 2004.
30. Jianxing Y, Haicheng C, Yang Y, Zhenglong Y. A weakest t-norm based fuzzy fault tree approach for leakage risk assessment of submarine pipeline. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2019;62:103968.
31. Hosseini N, Givehchi S, Maknoon R. Cost-based fire risk assessment in natural gas industry by means of fuzzy FTA and ETA. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2020;63:104025.
32. Jafari M, Pouyakian M, Hanifi S. Development of a framework for dynamic risk assessment of environmental impacts in chemicals warehouse using CFD-BN. International Journal of Environmental Science and Technology. 2021:1-16.
33. Hanna S, Britter R, Leung J, Hansen O, Sykes I, Drivas P. Source emissions and transport and dispersion models for toxic industrial chemicals (tics) released in cities. J14. 2009;1.
34. Murphy MJ, Taylor JD, McCormick RL. Compendium of experimental cetane number data. 2004.
35. King R. Safety in the process industries: Elsevier; 2013.
36. Badri N, Nourai F, Rashtchian D. The role of quantitative risk assessment in improving hazardous installations siting: a case study. Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering (IJCCE). 2011;30(4):113-9.
37. Jahangiri M, norozi ma, sareban zadeh k. Risk assessment and management: Fanavaran; 1392.
38. Markowski AS, Kotynia A. "Bow-tie" model in layer of protection analysis. Process Safety and Environmental Protection. 2011;89(4):205-13.
39. Ouache R, Adham A. Reliability quantitative risk assessment in engineering system using fuzzy bow-tie. Int J Curr Eng Technol. 2014;4(2):1117-23.
40. de Ruijter A, Guldenmund F. The bowtie method: A review. Safety science. 2016;88:211-8.
41. Safety CfCP. Guidelines for chemical process quantitative risk analysis: Center for Chemical Process Safety/AIChE; 2000.
42. Participants O. OREDA Offshore Reliability Data Handbook. DNV, PO Box; 2002.
43. Khosravirad F, Zarei E, Mohammadfam I, Shoja E, Majidi Daryani M. Explosion risk analysis on Town Border Stations (TBS) of natural gas using Failure Mode & Effect Analysis (FMEA (and Fault Tree Analyses (FTA (methods. Iran Occupational Health. 2016;12(6):16-27.
44. rahimi r, Mohammadfam I, varshosaz k. Fuel oil tank explosion risk assessment using fault tree analysis. the 2nd conference on environmental planing and management2012.
45. Tan Q, Chen G, Zhang L, Fu J, Li Z. Dynamic accident modeling for high-sulfur natural gas gathering station. Process Safety and Environmental Protection. 2014;92(6):565-76.
46. (RIVM) NIoPHatE, Safety CfE. Reference Manual Bevi Risk Assessments
Introduction. Version 3.2 ed2009.
47. Jafari mj, Mirza S, Omidvari M, Lavasani SMRM. The application of Fuzzy logic to determine the failure probability in Fault Tree Risk Analysis. Safety promotion and injury prevention (Tehran). 2014;2(2):113-23.
48. Ishikawa A, Amagasa M, Shiga T, Tomizawa G, Tatsuta R, Mieno H. The max-min Delphi method and fuzzy Delphi method via fuzzy integration. Fuzzy sets and systems. 1993;55(3):241-53.
49. Cooke RM, ElSaadany S, Huang X. On the performance of social network and likelihood-based expert weighting schemes. Reliability Engineering & System Safety. 2008;93(5):745-56.
50. Rajakarunakaran S, Kumar AM, Prabhu VA. Applications of fuzzy faulty tree analysis and expert elicitation for evaluation of risks in LPG refuelling station. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2015;33:109-23.
51. Lavasani SM, Yang Z, Finlay J, Wang J. Fuzzy risk assessment of oil and gas offshore wells. Process Safety and Environmental Protection. 2011;89(5):277-94.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/ioh.20.2.18]

of transportation of dangerous goods accidents. Environmental modelling & software. 2002;17(7):627-37.
58. Moradi Hanifi S, Laal F, Panjali Z, Khoubi J. Health risk Assessment of exposure to harmful chemical agents in a refinery. Archives of Occupational Health. 2019;3(1):299-306.
59. Cozzani V, Salzano E. The quantitative assessment of domino effects caused by overpressure: Part I. Probit models. Journal of Hazardous Materials. 2004;107(3):67-80.
60. Jones D, Berger S, editors. How to Select Appropriate Quantitative Safety Risk Criteria Applications from the Center for Chemical Process Safety (CCPS) Guidelines on Quantitative Safety Risk Criteria. SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production; 2010: Society of Petroleum Engineers.
61. sekhavati A, norozi H, shojaie A. application of fault tree analysis in a gas compressor unite. journal of explosion and production oil and gas. 2013.
52. Omidvari M, Lavasani S, Mirza S. Presenting of failure probability assessment pattern by FTA in Fuzzy logic (case study: Distillation tower unit of oil refinery process). Journal of Chemical Health and Safety. 2014;21(6):14-22.
53. Chen S-J, Hwang C-L. Fuzzy multiple attribute decision making methods. Fuzzy multiple attribute decision making: Springer; 1992. p. 289-486.
54. Sharma RK, Kumar D, Kumar P. Systematic failure mode effect analysis (FMEA) using fuzzy linguistic modelling. International Journal of Quality & Reliability Management. 2005.
55. Renjith V, Madhu G, Nayagam VLG, Bhasi A. Two-dimensional fuzzy fault tree analysis for chlorine release from a chlor-alkali industry using expert elicitation. Journal of hazardous materials. 2010;183(1-3):103-10.
56. Lees F. Lees' Loss prevention in the process industries: Hazard identification, assessment and control: Butterworth-Heinemann; 2012.
57. Tixier J, Dusserre G, Rault-Doumax S, Ollivier J, Bourely C. OSIRIS: software for the consequence evaluation

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/ioh.20.2.18]