Iran Occupational Health

Iran Occupational Health. 2021 (01 Jan);18: 10

Original Article

http://ioh.iums.ac.ir

Fire and Explosion Risk Analysis, Using Bow-Tie Method and Fuzzy-Bayesian Network in the Process Industries

Tahereh Eskandari, MSc, Department of Occupational Health, Occupational Health and Safety Research Center, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran.

Mostafa Mirzaei Aliabadi, Associate Professor, , Department of Occupational Health, Occupational Health and Safety Research Center, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran.

Iraj Mohammadfam, (*Corresponding author), Professor, Department of HSE Management, Occupational Health and Safety Research Center, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran. mohammadfam@umsha.ac.ir

Abstract

Background and aims: Process industries are categorized as complex systems due to the hazardous materials, large number of employees and the complexity of the processes. For this reason, it is necessary to design an appropriate risk assessment system to control and manage the risks associated with such places. Therefore, the purpose of this study is to provide a comprehensive and quantitative risk analysis of the explosion, using the integration of modern approaches of Bayesian networks and fuzzy theory in a process industry.

Methods: In this study, compressor gas leakage was selected as the scenario to evaluate the probabilistic risks of explosion. For the cause-consequence analysis of the selected scenario and reducing the uncertainty of the occurrence of basic events probability, Bow-Tie method and fuzzy logic approach was used, respectively.

Results: By using the Bow-Tie method, the compressor gas leak analysis have detected 24 basic events and 11 intermediate events. With regard to performance of the safety barriers, i.e. success and failure of these safety barriers, led to the determination of 9 consequences that included a flash fire, jet fire, and the vapor cloud explosion that results in the release of materials.

Conclusion: The results of this study showed that, based on the fuzzy Bayesian network analysis, the filtering failure was identified as the most important event in the occurrence of gas compressor leakage. Therefore, in designing the preventive and control strategies for the accident risk management, attentions should be paid to these root events.

Conflicts of interest: None

Funding: None

Keywords

Risk Analysis

Explosion

Bow-Tie Analysis

Fuzzy-Bayesian Network

Received: 15/08/2018

Accepted : 30/05/2019

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

[DOI: 10.52547/ioh.18.1.139]

EXTENDED ABSTRACT

INTRODUCTION

Process industries, due to the high density of equipment, hazardous materials, large number of employees, complexity of the processes, and eventually high potential for accident occurrence and catastrophic consequences, are classified as complex systems. A large amount of flammable hydrocarbon that is usually stored in these industries, increases the potential of catastrophic, financial, life-threatening, and environmental consequences. Meanwhile, fire and explosions, pose many damages(1).

The occurrence of these accidents, persuaded the safety experts to emphasize the necessity for upgrading the safety systems and conducting risk-based studies to find appropriate control measures. Based on the large number of fire and explosion accidents in process industries and their significant losses, determining a standard for decision-making and prioritizing the hazards, seems to be necessary. For this reason, nowadays, decision-making and managements are based on the risk assessment(2).

Risk analysis is an important tool for defining and developing the accident prevention strategies and risk mitigation measures that are very important and practical in complex systems. On the other hand, the main goal of the risk analysis, is to achieve the results that can be used as a basis for preventing accidents or reducing the severity of the consequences of the accidents(3). Different techniques are used to identify and assess risks. The selection of an appropriate method, depends on the available data, the nature of the industry, the needed output, the financial and time constraints, etc.The Fault Tree Analysis (FTA), Event Tree Analysis (4), and Bow-tie (BT) diagram, are among the conventional risk assessment methods used in process industries. These methods rely on generic defective data that may cause uncertainty in the results, due to the lack of specificity of the data for the plan being studied, and not being up-to-date. Thus, finding a method to reduce the uncertainty of the prior failure rate of the Basic Events (BEs) is of high significance. The fuzzy logic approach is recommended to reduce the uncertainty of the probability of the basic events occurrence. Different studies showed that, the fuzzy approach can help to reduce uncertainty or solve the problem in the events that lack the data for occurrence probability in their databases. Staticity is another important problem that most of the conventional risk assessment methods are faced. Therefore, these methods are not able to analyze the risk of the dynamic systems. The Bayesian network is a perfect tool for quantitative analysis in process industries. The BN is a probabilistic inference approach of reasoning about the uncertainty, and can reduce the limitations of the conventional methods. It considers the conditional dependencies, common defects, and different modes of basic events in a risk assessment process. The main advantage of BN, is the ability to perform a probability update, which makes it an excellent method to analyze the risk factors of the dynamic systems(5).

The main purpose of the present study is to render a comprehensive and quantitative approach for the explosion risk analysis, using the integration of new approaches to the Bayesian network and fuzzy theory in the process industry. The Bow-tie diagram for the cause-consequence analysis of the selected scenario, the fuzzy approach for quantification of basic events' probability, and the BN approach to determine the type and model of the relationship between the effective causes of catastrophic events, were used for this study.

METHODOLOGY

The present cross-sectional study was conducted to the process industry. The studied system was a gas compressor, and it was selected as a unit of study based on the records of previous events and the critical role of its function in the proccesse's normal continuation. In this study, the compressor gas leakage was considered in the explosive probabilistic risk assessment, using the Bow-tie model and fuzzy-Bayesian network. The BT is a graphical method of illustrating a complete accident scenario. It starts with the causes of the accident, and ends with its consequences. This model actually employs two methods for the Fault Tree Analysis (FTA) and Event Tree Analysis (ETA) (4, 6). The methods used in this study, were executed through direct observations, interviews with experts, and review of the documents and operational maps.

In this study, the fuzzy logic approach is used to reduce the uncertainty of the probability of basic events occurrence in the developed FTA model.

After creating the scenario by the BT model and calculating the probability of the basic events and safety barriers using the fuzzy logic, the developed model was transferred to the Bayesian network to overcome the deficiencies and limitations. Algorithm of transfer (mapping) from the BT model to the BN, was done based on the study conducted by Khakzad, Khan(7). In this study, Bayesian Bow-tie model was developed and analyzed in GeNIe software. Algorithm of the BT transfer to BN, is shown in Fig. 1. As can be seen, the basic events, intermediate events, central events, safety barriers and consequences in the BT model, are considered to be root nodes, intermediate nodes, central nodes, safety barriers nodes, and consequences nodes in the BN model, respectively(7).

To quantify the model, the probability values of the basic events that were obtained based on the fuzzy approach, were considered as the probability of the root nodes occurrence. The BN model uses the

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

[DOI: 10.52547/ioh.18.1.139]

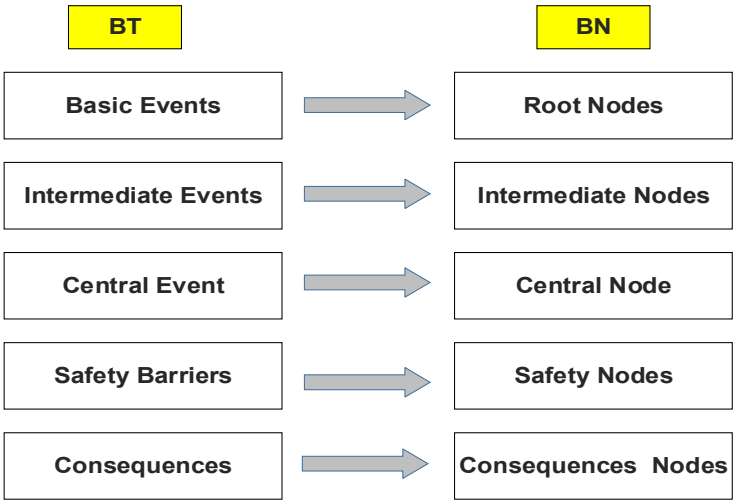


Fig. 1. Algorithm of the transfer from the Bow-tie (BT) model to the Bayesian Network (BN) .

Conditional Probability Distribution Tables (CPTs) to calculate the probability of the intermediate events. In this case, the probability of the intermediate node is based on the conditional dependencies associated with the root nodes, and is determined based on the probabilistic conditional relations for all conditions of the node variables. Finally, the probability of the central node was determined in the same way. Equation 1 was applied to the BN, to compute the common probability distribution of a set of variables $U = (x_1, ..., x_n)$.

$$P(U) = \Pi P(A_i \mid Pa(A_i)) \quad (1)$$

Where, $Pa(A_i)$ is the parent set of A_i in BN, and P (U) represents the properties of the BN(7).

The most effective basic events were identified after developing the BN qualitative and quantitative model of the selected scenario, using the probability update features (nodes and consequences) and the BN sensitivity analysis. In the diagnostic analysis, the BN uses the Bayes theorem for updating the prior events with new observations of a different set of variables, called the E's evidence. The probability distribution can be calculated using various types of inference algorithms, such as connection tree or variable elimination, based on the Bayes theorem (Equation 2).

$$P(U \mid E) = \frac{P(U \mid E)}{P(E)} = \frac{P(U \mid E)}{\sum_U P(U \mid E)} \quad (2)$$

RESULT

Based on Cooke et al. (2008), four qualified experts, including a senior manager, a process engineer, and two operational technicians, were selected to evaluate the probability of the basic events occurrence. Experts' opinions about the failure's probability of the basic events and safety barriers against the scenario occurrence, were collected using the linguistic terms. Then, subjected to the de-fuzzy operation of the experts' opinions, the number obtained by de-fuzzing of each basic event, was considered as the Fuzzy Probability Score (FPS). In the end, the probabilistic numbers (de-fuzzing) were converted into Probability Values (PV). This calculation was applied to each basic event (24 events), and led to the compressor gas leakage scenario and safety barriers against the occurrence of the scenario. Finally, the failure probability related to each basic event, was calculated using the fuzzy logic.

Fig. 2 shows the modeling of the compressor gas leakage scenario by the BN. The probability values for the failure of the basic events and the safety barriers derived from the fuzzy logic, were introduced into the model, and continuation of the developed fuzzy Bayesian network was considered as a basis for the extraction of the probability values for the Intermediate Events (IE), the top event and its consequences. To update the presented model, the central node (compressor gas leakage) was considered as an evidence, and the prior probabilities of all basic events, intermediate events, and consequences were updated. The results of updating the BN model are shown in the fourth column of Table 1.

Table 1, shows the prior and posterior probability values of the intermediate event failure, the top event, and its consequences with the FBN approach. As can be seen, the probability of the high gas pressure (IE03) has the highest increase in update time of the top event's occurring probability from 5.25×10^{-2} to 7.8×10^{-1}, so this event is studied as the most effective intermediate event in the top event occurrence. The results also showed that the PRV failure (BE01) was identified as the most effective basic event in the top event occurrence. Among the identified consequences of the top event, a fire with moderate damage (C8) had the highest increase in the probability's update time, so it was identified as the most probability consequence of explosion and fire, due to the compressor's gas leakage.

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

[DOI: 10.52547/ioh.18.1.139]

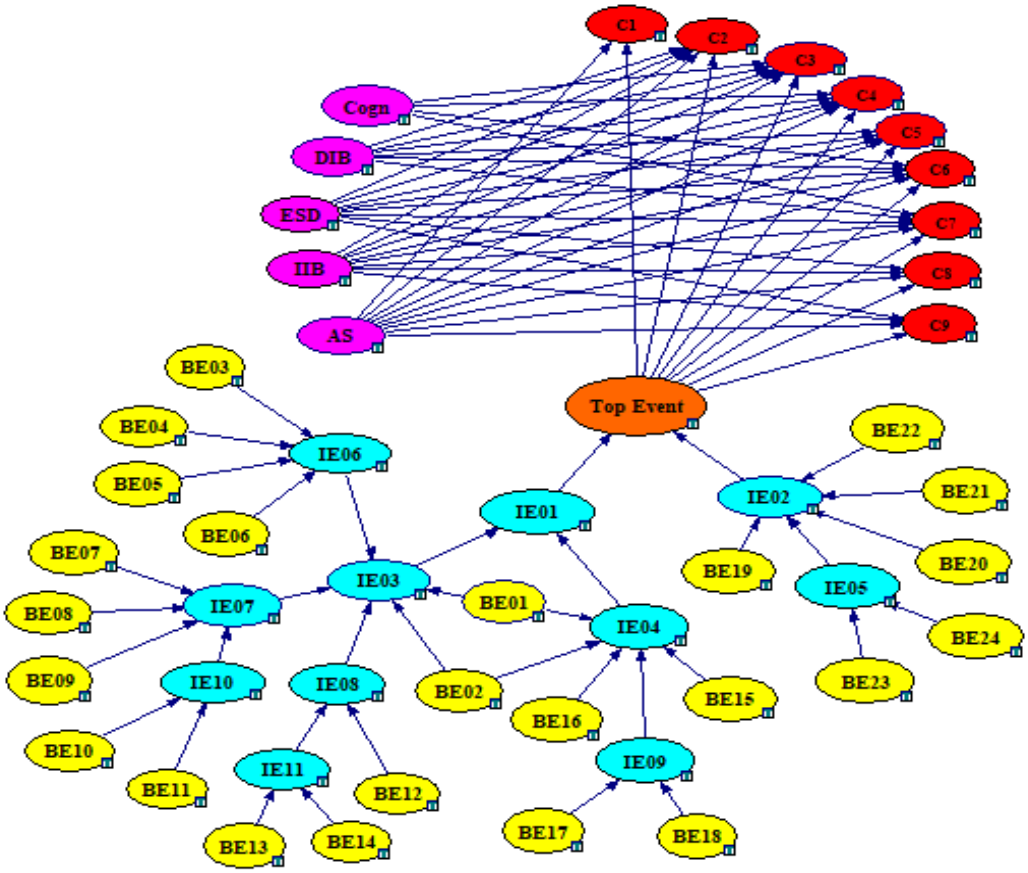


Fig. 2. Dynamic modeling of the compressor gas leakage scenario by the BN model.

Table 1. Symbols, Descriptions, and Possibilities of the compressor gas leakage consequences

Symbol	Description	Prior probability (FBN)	posterior probability (FBN)
C1	Near miss	$6/68\times10^{-2}$	$9/91\times10^{-1}$
C2	Moderate material release	$5/4\times10^{-4}$	$8/01\times10^{-3}$
C3	flash fire with minor damage	$1/79\times10^{-6}$	$2/65\times10^{-5}$
C4	Vapor cloud explosion with minor damage	$8/11\times10^{-9}$	$1/2\times10^{-7}$
C5	high material release	$5/83\times10^{-4}$	$8/65\times10^{-3}$
C6	flash fire with major damage	$1/93\times10^{-6}$	$2/68\times10^{-5}$
C7	Vapor cloud explosion with catastrophic damage	$8/76\times10^{-9}$	$1/3\times10^{-7}$
C8	jet fire with moderate damage	$4/74\times10^{-6}$	$7/03\times10^{-5}$
C9	jet fire with catastrophic damage	$4/58\times10^{-8}$	$6/77\times10^{-7}$

DISCUSSION

According to the results of this model's implementation in the studied scenario, 24 basic events and 11 intermediate events that resulted in the compressor gas leakage was identified. In this study, the immediate and delayed ignition systems, audio siren, emergency shutdown, and the presence of congestion and condensation factors of the release of flammable and explosive materials, were identified as safety barriers against the compressor's gas leakage, which include the consequences of explosion and fire.

According to studies conducted to determining the probability of the basic event's failure, with the aid of fuzzy, numbers will vary by different experts in the heterogeneous conditions. In this situation, the correctness of the selection of the fuzzy number to represent the basic event, is very basic. Ultimately, this method reduces the uncertainty, and improves the system's reliability. The fuzzy logic, instead of limiting the parameters of a problem (the occurrence rate of

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

[DOI: 10.52547/ioh.18.1.139]

the basic events and the top event of the accident scenario, etc.) to a number, represents them as fuzzy numbers in a range. So, the fuzzy logic provides a rigorous statement of reality.

The BN model, has the potential for deductive reasoning. The deductive reasoning, predicts the probability of the occurrence of a scenario and its outcomes. The results of the deductive reasoning of the BN method, showed that the probability of the top event's occurrence was 6.74×10-2, also the first consequence (near-miss) and the fifth consequence (high material release), respectively, with an occurrence probability of 6.68×10-2 and 5.83×10-4, are the most probable consequences of the compressor's gas leakage. Also, the consequence of C8 (jet fire with moderate damage) with the probability of occurrence of 4.74 × 10-6, would be the most probable consequence of the fire and explosion that is caused by the compressor's gas leakage. The BN, considers the conditional dependence between the events' type of defect with common causes, that the conventional risk analysis methods such as BT, do not have the ability of. This is represented in Fig. 6, as a dependency between IE02 and IE03, due to the subscription to BE01 and BE02.

The ability of BN's abductive reasoning is very important in the dynamic risk analysis. The abductive reasoning, provides the possibility of updating the probability of the basic events, and decreases the uncertainty in the model and the results obtained. By updating the probability of occurrence of the basic events and the final consequences, it will be possible to select the most critical (most effective) basic events that have the most contribution in the occurrence of the top event [6]. The updated probability of any basic event (BEi) is calculated by assuming the probability of occurrence of the basic event (BEi) under the condition of occurrence of the top event (compressor's gas leakage) P(BEi | compressor's gas leakage). In this study, based on the Tornado diagram, the BE01 (PRV failure) was identified as the most effective variable in the occurrence of the studied scenario. Also, the most probable consequence for updating the top event occurrence probability is C1. The main reason, is the correct performance of the audio siren when the gas is leaking from the compressor. C5, is the second most likely consequence, with a probability of 8.65×10-3, due to the failure of the audio siren and the emergency shutdown valve. Also, C8 is the most probable consequence of fire and explosion, with a probability of 7.03 ×10-5, due to the audio siren performance failure, the proper operation of the emergency shutdown valve and the presence of immediate ignition in the environment. Therefore, in the compressor system, the presence of barriers can significantly reduce the consequences of the gas leakage.

The combination of the fuzzy theory and Bayesian Network, which is known as Fuzzy-Bayesian Network (FBN), in addition to using fuzzy numbers in the probability of the basic events and safety barriers to reduce their uncertainty, will also benefit from deductive and abductive reasoning. Therefore, the Fuzzy-Bayesian Network provides a powerful and effective tool for reasoning of uncertainty in the risk analysis studies.

CONCLUSIONS

The present study was done to render a comprehensive and quantitative approach to the explosion risk analysis, using the integration of new approaches to the Bayesian network and fuzzy theory in a process industry. Based on the fuzzy Bayesian network analysis, the filtering failure was identified as the most effective basic event, and the jet fire with moderate damage was recognized as the most probable consequence of fire and explosion in the occurrence of the compressor's gas leakage.

ACKNOWLEDGMENT

This paper was extracted from the master's thesis on the Occupational Health Engineering, number 9512037370. This study was supported by the Hamedan University of Medical Sciences and National Oil Products Distribution Company in Hamedan. The authors would like to express their gratitude to the two mentioned organizations.

CONFLICT OF INTEREST

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

How to cite this article:

Tahereh Eskandari, Mostafa Mirzaei Aliabadi, Iraj Mohammadfam. Fire and Explosion Risk Analysis, Using Bow-Tie Method and Fuzzy-Bayesian Network in the Process Industries. Iran Occupational Health. 2021 (01 May);18:10.

***This work is published under CC BY-NC-SA 3.0 licence**

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

[DOI: 10.52547/ioh.18.1.139]

سلامت کار ایران
دوره ۱۸ - ۱۰/۱۴۰۰

مقاله پژوهشی
http://ioh.iums.ac.ir

بهینه سازی و مدل سازی جذب صوتی در کامپوزیت های الیاف طبیعی یوکا

طاهره اسکندری: کارشناس ارشد، گروه بهداشت حرفه‌ای، مرکز تحقیقات ایمنی و بهداشت شغلی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.
مصطفی میرزایی علی‌آبادی: دانشیار، گروه بهداشت حرفه‌ای، مرکز تحقیقات بهداشت و ایمنی شغلی ، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.
ایرج محمدفام: (* نویسنده مسئول) استاد، گروه مدیریت HSE، مرکز تحقیقات بهداشت و ایمنی شغلی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.
mohammadfam@umsha.ac.ir

چکیده

زمینه و هدف: صنایع فرآیندی به خاطر مواد شیمیایی مخاطره‌آمیز، تعداد بالای پرسنل و پیچیدگی زیاد فرآیندها، جز سیستم های پیچیده طبقه‌بندی می‌گردند. به همین دلیل، تعیین معیاری برای تصمیم‌گیری و اولویت‌بندی مخاطرات، ضروری به نظر می‌رسد. مطالعه حاضر باهدف ارائه یک رویکرد جامع و کمی تحلیل ریسک انفجار با استفاده از ادغام رویکردهای نوین شبکه بیزین و تئوری فازی در یک صنعت فرآیندی می اشد.

روش بررسی: در این مطالعه نشت گاز از دستگاه کمپرسور، به‌عنوان سناریو اصلی جهت ارزیابی ریسک احتمالی انفجار انتخاب شده است. برای آنالیز علت – پیامد سناریو از روش پاپیونی، جهت کاهش عدم قطعیت در کمی سازی احتمال رویدادهای پایه از رویکرد فازی و تعیین نوع و نحوه ی روابط علل مؤثر در بروز حادثه فاجعه‌بار از شبکه بیزین استفاده گردیده است..

یافته ها: تحلیل نشت گاز کمپرسور با استفاده از روش پاپیونی، ۲۴ رویداد پایه‌ای و ۱۱ رویداد میانی منجر به وقوع نشت گاز را مشخص کرده است. با توجه به عملکرد موانع ایمنی یعنی شکست یا عملکرد مورد انتظار، نشت گاز منجر به ۹ پیامد نهایی شامل انفجار و آتش‌سوزی می باشد.

نتیجه گیری: نتایج مطالعه نشان داده است که بر اساس تحلیل شبکه بیزین فازی، نقص در فیلترینگ به‌عنوان مهم‌ترین عامل در وقوع نشت گاز کمپرسور شناسایی گردیده است. بنابراین در طراحی استراتژی‌های پیشگیرانه و کنترلی وقوع حوادث برنامه مدیریت ریسک، توجه به این رویدادهای ریشه‌ای شناسایی‌شده باید در اولویت قرار گیرد.

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

کلیدواژه‌ها
آنالیز ریسک
انفجار
آنالیز پاپیونی
شبکه فازی – بیزین

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۹

شیوه استناد به این مقاله:
Tahereh Eskandari, Mostafa Mirzaei Aliabadi, Iraj Mohammadfam. Fire and Explosion Risk Analysis, Using Bow-Tie Method and Fuzzy-Bayesian Network in the Process Industries. Iran Occupational Health. 2021 (01 May);18:10.

*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: 10.52547/ioh.18.1.139]

مقدمه

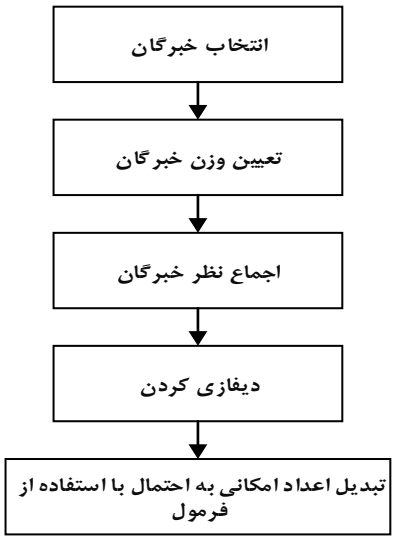
صنایع فرآیندی به خاطر تراکم بالای تجهیزات، مواد شیمیایی مخاطره‌آمیز، تعداد بالای پرسنل و پیچیدگی زیاد فرآیندها و درنتیجه دارا بودن پتانسیل بسیار بالا در وقوع حوادث و پیامدهای فاجعه‌آمیز، جزء سیستم‌های پیچیده طبقه‌بندی می‌گردند(۸, ۹). در این صنایع حجم‌های بالایی از هیدروکربن‌های قابل اشتعال ذخیره‌شده است که رها شدن آن‌ها پتانسیل وقوع پیامدهایی فاجعه‌آمیز مالی و جانی و زیست‌محیطی را دارا می‌باشند(۱۰, ۱۱). در این میان حوادث مربوط به انفجار و آتش‌سوزی بزرگ‌ترین میزان خسارت را در پی خواهد داشت(۱۲, ۱۳). از حوادث فاجعه‌بار اخیر درزمینه ی انفجار و آتش‌سوزی می‌توان به انفجار و آتش‌سوزی پالایشگاه تگزاس در مارس ۲۰۰۵ (۱۵ نفر کشته، ۱۸۰ نفر مجروح و ۱/۵ بیلیون دلار خسارات مالی)(۱۴) انفجار مهیب تأسیسات ذخیره پروپان در تورنتو در سال ۲۰۰۸ (۲ نفر کشته و تخلیه هزاران نفر)، انفجار و حریق مهیب در اثر نشت نفت در سکوی Deepwater Horizon شرکت BP در سال ۲۰۱۰ (۱۱ نفر کشته، تحمیل ۳۶/۹ بیلیون دلار خسارات اقتصادی و زیست‌محیطی)(۱۴) اشاره نمود. همچنین انفجار مخازن در شرکت تولیدکننده حلال‌های صنعتی و مواد شیمیایی شازند اراک در سال ۱۳۸۷ (۳۵ کشته، ۵۴ مصدوم)، نشت گاز فرآیندی و انفجار در پتروشیمی ماهشهر در سال ۱۳۹۱ (۸ نفر کشته، ۲نفر مصدوم)، آتش‌سوزی مهیب مخزن پتروشیمی بوعلی در سال ۱۳۹۵ (۶۰ میلیون یورو خسارت مستقیم بیمه‌ای) و آتش‌سوزی ایستگاه تقلیل فشار گاز در نیروگاه علی‌آباد کتول در سال ۹۶ (مصدومیت ۹ نفر) ازجمله حوادث انفجار و آتش‌سوزی در ایران می‌باشند(۱۵-۱۷). وقوع این حوادث سبب توجه و تأکید متخصصان ایمنی بر لزوم ارتقاء سیستم‌های ایمنی صنایع و لزوم انجام مطالعات دقیق تحلیل ریسک جهت اتخاذ اقدامات کنترلی مناسب گردید. با توجه به تعداد زیاد حوادث آتش‌سوزی و انفجار در صنایع و میزان خسارت بالای ناشی از این قبیل حوادث ، تعیین معیاری برای تصمیم‌گیری و اولویت‌بندی مخاطرات، ضروری به نظر می‌رسد. به همین دلیل است که امروزه تصمیم‌گیری و مدیریت بر مبنای ارزیابی ریسک انجام می گیرد(۱۰, ۱۸). آنالیز ریسک، یک ابزار بسیار مهم برای تعیین و توسعه ی استراتژی‌های پیشگیری از وقوع حوادث و به‌کارگیری اقدامات کاهنده ریسک می‌باشد که این امر در سیستم‌های پیچیده بسیار مهم و کاربردی است. به‌عبارتی‌دیگر، هدف اصلی از آنالیز ریسک، دست‌یابی به نتایجی است که اساس جلوگیری از وقوع حوادث یا کاهش شدت پیامد حوادث می‌باشد(۱۹). اصولاً برای شناسایی و ارزیابی ریسک از تکنیک‌های مختلفی استفاده می‌شود که انتخاب روش مناسب به عوامل متعددی نظیر ماهیت صنعت، داده‌های در دسترس، خروجی‌های موردنیاز، محدودیت‌های مالی و زمانی و ... بستگی دارد(۱۸). از روش‌های ارزیابی ریسک مرسوم و مورداستفاده در صنایع فرآیندی می‌توان به روش‌های تحلیل درخت خطا (FTA[1])، درخت رویداد (ETA[2])، دیاگرام پاپیونی (Bow-tie) و ... اشاره کرد(۲۰, ۲۱). روش‌های مرسوم از داده‌های نقص عمومی استفاده می‌کنند که به علت عدم اختصاصی بودن داده‌ها برای واحد موردمطالعه و به‌روز نبودن آن‌ها باعث ایجاد عدم قطعیت در نتایج می گردند(۲۰, ۲۲). پیدا کردن روشی جهت کاهش عدم قطعیت نرخ شکست پیشین رویدادهای پایه آنقدر ارزشمند است که، رویکرد منطق فازی برای کاهش عدم قطعیت احتمال وقوع رویدادهای پایه پیشنهادشده است(۲۲, ۲۳). از طرفی استاتیک بودن، ایراد مهم دیگری است که اکثر روش‌های مرسوم ارزیابی ریسک از آن رنج می‌برند، لذا قادر به تحلیل پویای ریسک سیستم‌ها نمی‌باشند(۲۴, ۲۵). شبکه بیزین (BN[3]) یک ابزار مناسب برای انجام آنالیز پویای ریسک در صنایع فرآیندی می‌باشد(۲۵). BN یک رویکرد استنتاج احتمالی برای استدلال در عدم قطعیت است که می‌تواند محدودیت روش‌های مرسوم را کاهش دهد و وابستگی‌های مشروط، نقص‌های مشترک و حالت‌های مختلف رویدادهای پایه در فرآیند ارزیابی ریسک را در نظر می‌گیرد. مزیت اصلی BN، توانایی انجام به‌روزرسانی احتمال است که آن را به یک روش عالی برای تحلیل ریسک سیستم‌های پویا تبدیل نموده است(۲۶, ۲۷). همچنین در مطالعات Barua و همکاران (۲۰۱۶)، John و همکاران (۲۰۱۶)، نوروزیان و همکاران (۲۰۱۸)، بر اهمیت کاربرد شبکه‌های بیزین در تجزیه‌وتحلیل ریسک پویا تأکید شده است(۱۹, ۲۸, ۲۹).

مطالعه حاضر باهدف ارائه یک رویکرد جامع، کمی و پویا جهت تحلیل ریسک ایمنی از طریق ادغام رویکردهای تکنیک پاپیونی، شبکه بیزین و تئوری فازی است که در آن برای آنالیز علت - پیامد سناریو موردنظر از دیاگرام Bow-tie، جهت کاهش عدم قطعیت رویدادهای پایه از رویکرد فازی و تعیین نوع و نحوه روابط علل مؤثر در بروز حادثه فاجعه‌بار موردنظر از رویکرد BN استفاده خواهد شد.

1 Fault Tree Analysis
2 Event Tree Analysis
1 Bayesian Network3

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

[DOI: 10.52547/ioh.18.1.139]



شکل ۱. مراحل مختلف استفاده از منطق فازی

روش بررسی

مطالعه مقطعی حاضر در یک صنعت فرآیندی انجام شده است. سیستم موردمطالعه یک دستگاه کمپرسور بوده که با توجه به سوابق حوادث قبلی (انفجار و آتش‌سوزی کمپرسور حاوی هیدروژن در کانادا (اوایل دهه ۱۹۸۰)، انفجار کمپرسور بر اثر نشت گاز در استرالیا (۲۰۱۱) و هند (۲۰۱۴)، آتش‌سوزی بر اثر نقص عملکرد کمپرسور در چین (۲۰۱۷))(۳۰-۳۳) و همچنین حیاتی و بحرانی بودن کار آن در روند ادامه طبیعی فرآیند به‌عنوان واحد موردمطالعه انتخاب گردیده است. در صنایع فرآیندی افزایش فشار مایعات و تراکم گازها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، چراکه ماشین‌آلات بسیاری ابداع و اختراع‌شده‌اند که با گاز یا سیال متراکم و تحت‌فشار کار می‌کنند. کمپرسورها وظیفه فشرده‌سازی گازها و مایعات را بر عهده‌دارند. اکثر کارشناسان کمپرسور را به‌عنوان قلب سیستم‌های فرآیندی می‌دانند. به‌طورکلی کمپرسورها به دودسته تقسیم می‌گردند: نوع اول را جابجایی مثبت و نوع دوم را دینامیکی می‌نامند. کمپرسور موردمطالعه از نوع جابجایی مثبت و مدل رفت و برگشتی بوده و فشار گاز در خروجی آن به حدود bar۲۵۰ می‌رسد. در این پژوهش نشت گاز از کمپرسور برای ارزیابی ریسک احتمالی انفجار با استفاده از مدل پاپیونی و شبکه بیزین فازی مدنظر قرار گرفته است. مراحل مطالعه به شرح زیر می باشد:

۱. ترسیم دیاگرام Bow-tie (BT)

BT یک روش گرافیکی برای نشان دادن سناریوی کامل حادثه است که از علل حادثه شروع و با عواقب آن پایان می‌یابد. این مدل درواقع از ترکیب دو روش تحلیل درخت خطا (FTA) و تحلیل درخت رویداد تشکیل‌شده است(۳۴, ۳۵). اجرای روش‌های بکار گرفته در این مطالعه، از طریق مشاهدات مستقیم، مصاحبه با کارشناسان، بررسی اسناد و نقشه‌های عملیاتی صورت گرفته است.

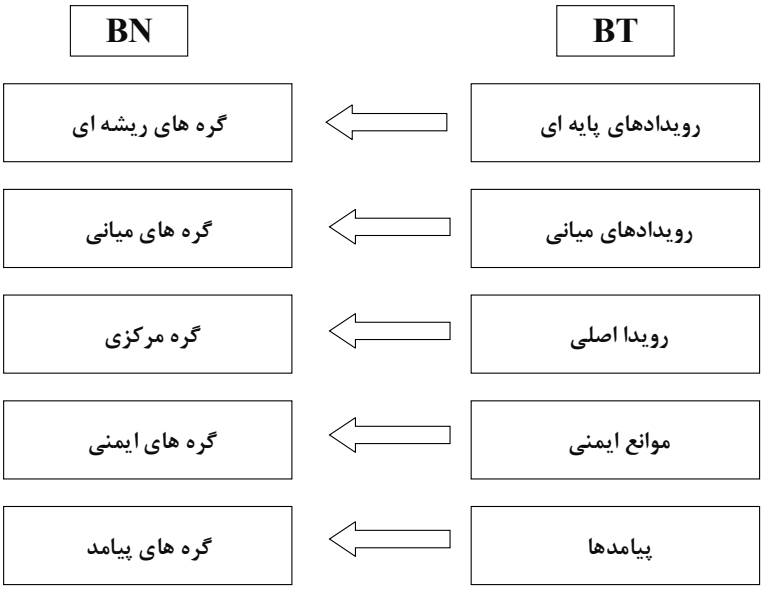
۲. رویکرد فازی

در این مطالعه، از رویکرد منطق فازی برای کاهش عدم قطعیت احتمال وقوع رویدادهای پایه در مدل ساخته‌شده FTA استفاده شده است. مراحل پنج‌گانه محاسبه‌احتمال وقوع نقص برای هر یک از رویدادهای پایه در شکل ۱ قابل‌مشاهده است. این مراحل با انتخاب تیمی متشکل از خبرگان مربوطه شروع و به برآورد احتمال ختم می گردد. برای برآورد احتمال از فرمول مرکز گرانیگاه (فرمول ذوزنقه‌ای) و فرمول Onisawa استفاده شده است.

۳. شبکه بیزین

بعد از ساخت سناریو موردمطالعه با مدل BT و محاسبه‌احتمال رویدادهای پایه و موانع ایمنی با استفاده از منطق فازی، جهت برطرف کردن نواقص و محدودیت‌های آن، این مدل به داخل شبکه بیزین انتقال داده می شود. الگوریتم انتقال (نقشه‌برداری) از مدل پاپیونی (BT) به شبکه بیزین بر اساس مطالعه خاکزاد و همکاران انجام پذیرفت.(۷). در این مطالعه مدل پاپیونی بیزین شده در نرم‌افزار GeNIe ساخته و آنالیز گردید. الگوریتم انتقال مدل پاپیونی (BT) به شبکه بیزین در شکل ۲ نشان داده‌شده است. همان‌طوری که قابل مشاهده است،

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.52547/ioh.18.1.139]



شکل ۲. الگوریتم انتقال مدل پاپیونی (BT) به شبکه بیزین

رویدادهای پایه‌ای، میانی، اصلی، موانع ایمنی و پیامدها در مدل BT به ترتیب به‌عنوان گره‌های ریشه، میانی، اصلی، موانع ایمنی و پیامدها در مدل BN در نظر گرفته می‌شود(۷).

سپس نوبت کمی سازی مدل می‌باشد. برای این منظور، ابتدا مقادیر احتمال های رویدادهای پایه‌ای بدست آمده بر اساس رویکرد فازی به‌عنوان احتمال وقوع گره‌های ریشه‌ای در نظر گرفته شده است. در مدل BN جهت محاسبه‌احتمال رویدادهای میانی از جداول توزیع احتمال شرطی (CPT[1]) استفاده می‌شود. در این حالت احتمال گره میانی برحسب وابستگی‌های شرطی که با گره‌های ریشه‌ای وابسته به آن دارد طبق روابط احتمالی شرطی برای حالت‌های هر کدام از متغییرهای گره تعیین می‌شود. درنهایت احتمال گره مرکزی به همین صورت تعیین می‌گردد.

در BN برای محاسبه توزیع احتمال مشترک مجموعه‌ای از متغیرها $U = \{x_{1,\ldots,} x_n\}$ از رابطه ۱ استفاده می شود:

$$P(U) = \Pi P(A_I \mid Pa(A_i)) \qquad (۱)$$

Pa (Ai) مجموعه والدین Ai در BN است، درحالی‌که P (U) نشان‌دهنده خواص BN است(۷، ۳۶).

درنهایت پس از ساخت مدل کمی و کیفی BN سناریو موردمطالعه، بااستفاده‌از قابلیت به‌روزرسانی احتمالی (گره‌ها، پیامدها)، مؤثرترین رویدادهای پایه شناسایی می شوند.

در تحلیل تشخیصی، BN از قضیه Bayes برای به‌روزرسانی رویدادهای پیشین با مشاهدات جدید، مجموعه دیگری از متغیرهایی که شواهد E نامیده می‌شوند، استفاده می کند. توزیع احتمال پسین را می‌توان با استفاده از انواع مختلفی از الگوریتم‌های استنتاج، مانند درخت اتصال یا حذف متغیر، بر اساس قضیه Bayes محاسبه کرد (رابطه ۲).

$$P(U \mid E) = \frac{P(U \mid E)}{P(E)} = \frac{P(U \mid E)}{\sum_U P(U \mid E)} \qquad (۲)$$

یافته‌ها

۱. ترسیم دیاگرام Bow-tie

شکل ۳ دیاگرام Bow-tie حاصل از سناریو نشت گاز از کمپرسور را نشان می‌دهد که سمت چپ آن دیاگرام FTA و سمت راست آن دیاگرام ETA می باشد. نمادها و توصیف‌های رویدادهای پایه و موانع ایمنی به ترتیب در جداول ۱ و ۲ ارائه‌شده است.

۲. تعیین احتمال وقوع رویدادهای پایه و موانع ایمنی بر پایه‌ی رویکرد فازی:

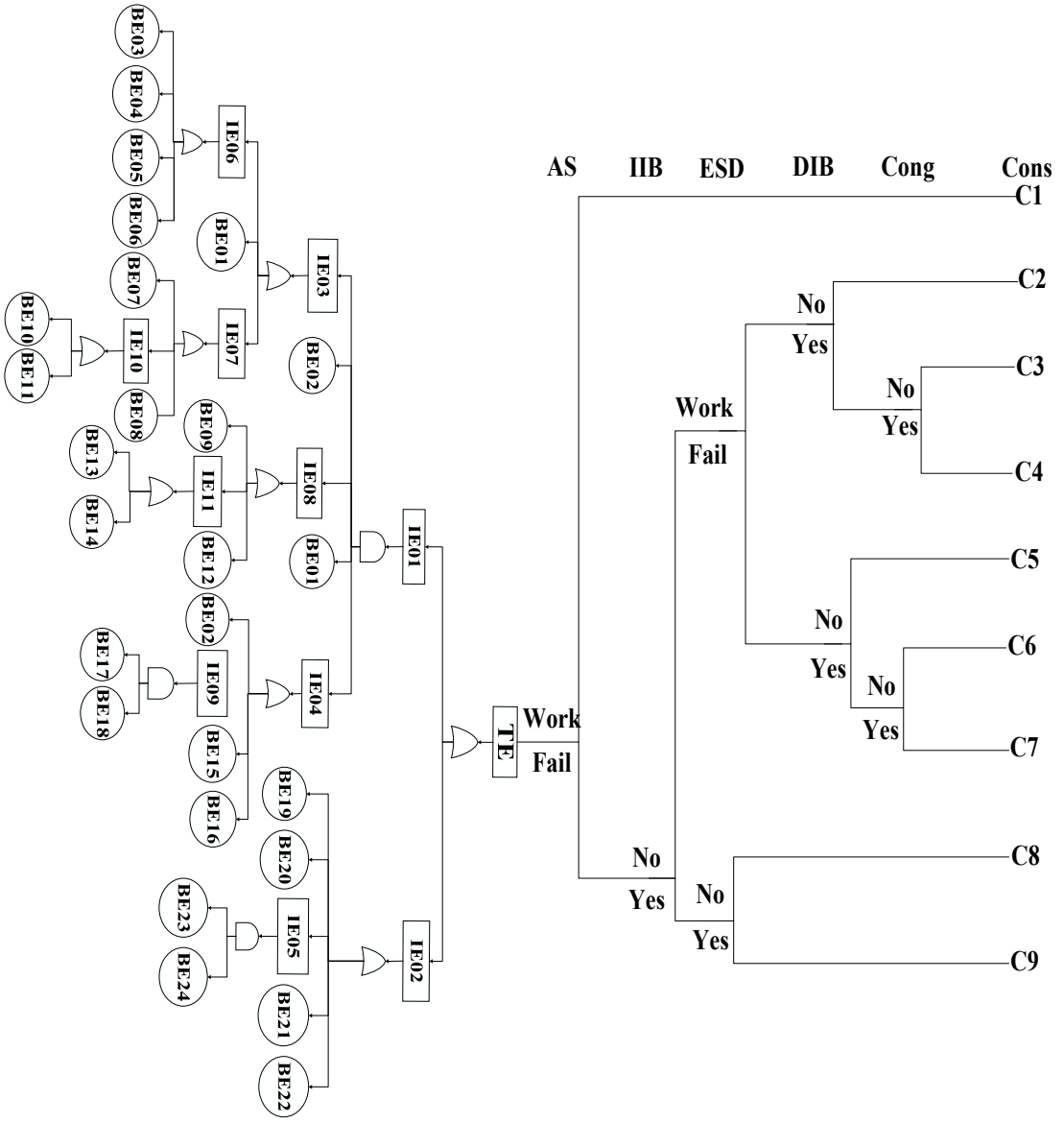
در این مطالعه بر اساس شاخص‌های مطالعه Cooke، چهار خبره ی واجد شرایط شامل: مدیر (مهندس ارشد)، مهندس فرآیند و دو نفر تکنسین عملیاتی به‌منظور ارزیابی احتمال وقوع BE[2] ها انتخاب شده اند.

1 Conditional probability table

2 Basic Event

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

[DOI: 10.52547/ioh.18.1.139]



شکل ۳. مدل‌سازی سناریو نشت گاز از کمپرسور با مدل Bow.tie

جدول ۱. نمادها، توصیف‌ها و احتمالات رویدادهای پایه (BE)

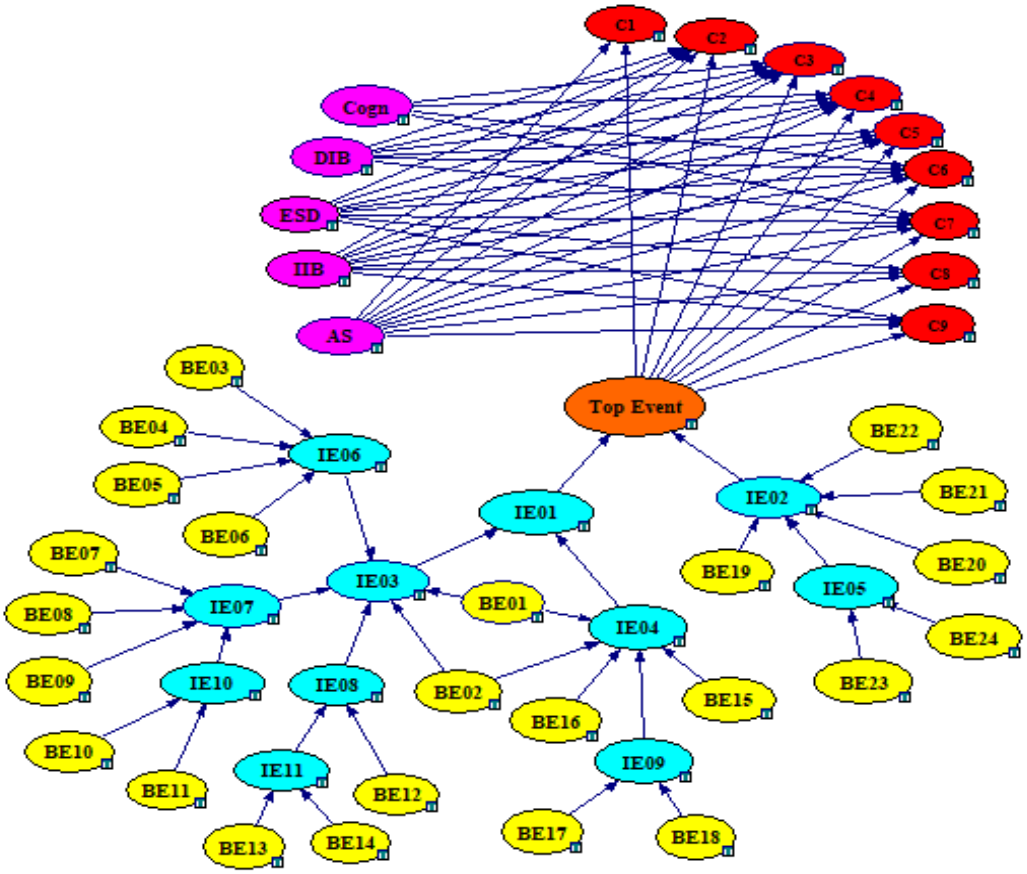
نماد	توصیف	احتمال	نماد	توصیف	احتمال
BE01	نقص PRV	۲/۴۷×۱۰$^{-۲}$	BE13	عملیات غیرمعمول	۲/۰۳×۱۰$^{-۲}$
BE02	نقص شیر اطمینان	۱/۶۲×۱۰$^{-۲}$	BE14	درک اشتباه آژیر صوتی ناشی از افزایش فشار داخل کمپرسور	۳/۹۹×۱۰$^{-۳}$
BE03	سوییچ فشار	۳/۲۹×۱۰$^{-۳}$	BE15	نقص شیر خروجی	۵/۱۴×۱۰$^{-۲}$
BE04	ترانسمیتر فشار	۳/۲۳×۱۰$^{-۳}$	BE16	نقص شیر یک‌طرفه	۶/۵۳×۱۰$^{-۲}$
BE05	نشانگر فشار	۴/۱۰×۱۰$^{-۳}$	BE17	افزایش فشار گاز داخل محفظه کمپرسور	۲/۰۸×۱۰$^{-۳}$
BE06	نقص عملکرد شیر قطع کن	۵/۸×۱۰$^{-۲}$	BE18	عدم تعمیرات مناسب و به‌موقع	۹/۷۲×۱۰$^{-۲}$
BE07	نقص سوییچ دما	۳/۲۳×۱۰$^{-۳}$	BE19	جوش نامناسب	۵/۲۳×۱۰$^{-۳}$
BE08	نقص ترانسمیتر دما	۲/۳۶×۱۰$^{-۳}$	BE20	نصب نامناسب	۵×۱۰$^{-۴}$
BE09	نقص عملکرد دماسنج معمولی	۳/۰۹×۱۰$^{-۴}$	BE21	نقص در فیلترینگ	۶/۳۵×۱۰$^{-۳}$
BE10	عدم دفع گرما توسط لوله‌ها و محفظه کارتل	۴/۳×۱۰$^{-۳}$	BE22	نقص جداکننده‌ها	۳/۶×۱۰$^{-۲}$
BE11	نقص عملکرد خنک‌کن‌ها	۳/۶۲×۱۰$^{-۲}$	BE23	نقص در سیستم انتقال (پوشش خارجی)	۳/۳۳×۱۰$^{-۳}$
BE12	معیوب بودن شیرها	۲/۲۳×۱۰$^{-۲}$	BE24	نقص سلول‌های کاتدی	۷/۸۲×۱۰$^{-۳}$

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

[DOI: 10.52547/ioh.18.1.139]

جدول ۲ . نمادها و توصیف‌ها و احتمالات نقص‌های موانع ایمنی

نماد	توصیف	احتمال
AS	آژیر صوتی	۸/۱۱×۱۰$^{-۳}$
IIB	جرقه آنی	۸/۷۶×۱۰$^{-۳}$
ESD	شیر قطع اضطراری	۹/۵۳×۱۰$^{-۳}$
DIB	جرقه تأخیری	۳/۳۲×۱۰$^{-۲}$
Cong	وجود موانع و تراکم	۴/۵۱×۱۰$^{-۲}$



شکل ٤. مدل‌سازی پویا سناریو نشت گاز از کمپرسور با مدل BN

نظرات خبرگان در مورد احتمال شکست رویدادهای پایه‌ای و موانع ایمنی در برابر وقوع سناریو با استفاده از ترم‌های زبانی تعیین‌شده جمع‌آوری گردید و سپس اجماع نظر خبرگان صورت پذیرفت. سپس عملیات دی فازی نظرات خبرگان انجام شد. عدد حاصل از دی فازی کردن هر رویداد پایه‌ای به‌عنوان نمره احتمال فازی FPS[1] آن منظورمی گردد درنهایت اعداد امکانی (دی فازی شده) بدست آمده، به‌احتمال PV[2] تبدیل می شوند. این محاسبات برای تک‌تک رویدادهای پایه‌ای (۲۴ رویداد) منجر به وقوع سناریو نشت گاز کمپرسور و همچنین موانع ایمنی در برابر وقوع سناریو انجام شده و نهایتاً احتمال شکست آن‌ها با استفاده از منطق فازی محاسبه گردیده است. نتایج منطق فازی در ستون سوم جداول ۱ و ۲ قابل مشاهده می باشد.

۳. شبکه بیزین

شکل ۴ مدل‌سازی سناریو نشت گاز کمپرسور با شبکه بیزین را نشان می‌دهد. مقادیر احتمال شکست رویدادهای پایه‌ای و موانع ایمنی حاصل از منطق فازی در مدل ساخته‌شده توسط شبکه بیزین وارد می گردد و ادامه شبکه بیزین فازی ساخته‌شده مبنای استخراج مقدار احتمال رویدادهای میانی (IE[3]) و رویداد اصلی

1 Fuzzy Probability score
2 Probability Valve
3 Intermediate Event

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.52547/ioh.18.1.139]

جدول ۳. نمادها، توصیف‌ها و احتمالات رویدادهای میانی (IE)

رویدادهای اصلی و میانی و پیامدها	توصیف	احتمال پیشین (FBN)	احتمال پسین (FBN)
Top Event	نشت گاز از کمپرسور	۶/۷۴×۱۰$^{-۲}$	۱
IE01	نقص عملکرد کمپرسور	۵/۲۵×۱۰$^{-۲}$	۷/۸×۱۰$^{-۱}$
IE02	نقص سیستم لوله‌کشی	۱/۵۶×۱۰$^{-۲}$	۲/۳۱×۱۰$^{-۱}$
IE03	فشار بالای گاز	۱/۴۷×۱۰$^{-۲}$	۸/۰۲×۱۰$^{-۱}$
IE04	نقص ابزارهای کنترلی	۱/۴۹×۱۰$^{-۲}$	۸/۰۲×۱۰$^{-۱}$
IE05	خوردگی	۲/۶×۱۰$^{-۵}$	۳/۸۶×۱۰$^{-۴}$
IE06	عدم عملکرد صحیح تنظیم‌کننده‌های فشار	۶/۷۹×۱۰$^{-۲}$	۱/۶۴×۱۰$^{-۱}$
IE07	افزایش دمای محفظه کمپرسور	۳/۰۲×۱۰$^{-۴}$	۷/۲۹×۱۰$^{-۴}$
IE08	بسته نشدن شیر ورودی مخزن	۴/۵۹×۱۰$^{-۲}$	۱/۱×۱۰$^{-۱}$
IE09	ترکیدن ناگهانی شیرها	۲/۰۲×۱۰$^{-۴}$	۴/۸۱×۱۰$^{-۴}$
IE10	نقص عملکرد مبدل حرارتی	۴/۰۳×۱۰$^{-۲}$	۴/۰۳×۱۰$^{-۲}$
IE11	خطای اپراتور	۲/۴۲×۱۰$^{-۲}$	۵/۸۴×۱۰$^{-۲}$

جدول ٤. نمادها، توصیف‌ها و احتمالات پیامدهای نشت گاز کمپرسور

نماد	توصیف	احتمال پیشین (FBN)	احتمال پسین (FBN)
C1	شبه حادثه	۶/۶۸×۱۰$^{-۲}$	۹/۹۱×۱۰$^{-۱}$
C2	رهایش متوسط مواد	۵/۴×۱۰$^{-۴}$	۸/۰۱×۱۰$^{-۳}$
C3	آتش ناگهانی همراه با خسارت جزئی	۱/۷۹×۱۰$^{-۶}$	۲/۶۵×۱۰$^{-۵}$
C4	انفجار ابر بخار همراه با خسارت جزئی	۸/۱۱×۱۰$^{-۹}$	۱/۲×۱۰$^{-۷}$
C5	رهایش زیاد مواد	۵/۸۳×۱۰$^{-۴}$	۸/۶۵×۱۰$^{-۳}$
C6	آتش ناگهانی همراه با خسارت زیاد	۱/۹۳×۱۰$^{-۶}$	۲/۶۸×۱۰$^{-۵}$
C7	انفجار ابر بخار همراه با خسارت فاجعه‌آمیز	۸/۷۶×۱۰$^{-۹}$	۱/۳×۱۰$^{-۷}$
C8	آتش فورانی همراه با خسارت متوسط	۴/۷۴×۱۰$^{-۶}$	۷/۰۳×۱۰$^{-۵}$
C9	آتش فورانی همراه با خسارت فاجعه‌آمیز	۴/۵۸×۱۰$^{-۸}$	۶/۷۷×۱۰$^{-۷}$

و پیامدهای ناشی از آن قرار می گیرد (جداول ۳ و ۴). به‌منظور به‌روزرسانی مدل ساخته‌شده، گره مرکزی (نشت گاز کمپرسور) به‌عنوان شاهد (Evidence) در نظر گرفته می شود و احتمالات پیشین همه رویدادهای پایه و رویدادهای میانی و پیامدها به‌روز شدند. نتایج به‌روزرسانی مدل BN در ستون چهارم جداول ۳ و ۴ نشان داده‌شده است.

جداول ۳و ۴ مقادیر احتمال پیشین (Prior) و پسین (Posterior)نقص رویدادهای میانی، رویداد اصلی و پیامدهای ناشی از وقوع آن را مورد با رویکرد FBN نشان می‌دهد، همان‌طوری که قابل مشاهده است، احتمال فشار بالای گاز (IE03)، دارای بیشترین افزایش در زمان به‌روزرسانی احتمال وقوع رویداد اصلی از ۵/۲۵ ۱۰$^{-۲}$× تا ۷/۸ ۱۰$^{-۱}$× است، لذا این رویداد به‌عنوان مؤثرترین رویداد میانی در وقوع رویداد اصلی موردمطالعه می‌باشد. همچنین نتایج نشان می دهد که نقص PRV (BE01) به‌عنوان مؤثرترین رویداد پایه‌ای در وقوع رویداد اصلی شناسایی گردید. از بین پیامدهای شناسایی‌شده ناشی از وقوع رویداد اصلی، آتش فورانی همراه با خسارت متوسط (C8)، دارای بیشترین افزایش در زمان به‌روزرسانی احتمال می باشد، بنابراین به‌عنوان محتمل‌ترین پیامد انفجار و آتش‌سوزی ناشی از نشت گاز کمپرسور شناخته می شود.

بحث

هدف اصلی از انجام این مطالعه، رفع مشکل کمبود داده‌های معتبر و دقیق و همچنین حل محدودیت استاتیک بودن و عدم سازگاری با حوادث پویا درزمینه ی مطالعات ارزیابی ریسک می باشد. در مطالعه حاضر یک چهارچوب کاربردی بر پایه‌ی منطق فازی و شبکه بیزین به‌منظور حل این مشکلات ارائه گردیده است. تحلیل ریسک پویا، دینامیک (پویا) بودن متغیرهایی مانند: دما، فشار، مقدار ماده، سطح کارایی و عملکرد اپراتوها و... را در نظر می‌گیرد، درحالی‌که تحلیل ریسک استاتیک فاقد این توانایی است و در بین روش‌های تحلیل ریسک حوادث، مدل پاپیونی (BT) به‌خوبی به‌عنوان یک روش کارآمد و

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.52547/ioh.18.1.139]

قابل اعتبار ثابت‌شده است(۲۴). این مدل به‌طور گسترده درزمینه های مختلف ایمنی و تحلیل ریسک ازجمله، تحلیل ایمنی فرآیندی، ارزیابی ریسک حادثه، مدیریت ریسک و اجرای موانع ایمنی بکار گرفته‌شده است(۳۶, ۳۷).

طبق نتایج اجرای این مدل در سناریو موردمطالعه، ۲۴ رویداد پایه‌ای و ۱۱ رویداد میانی منجر به وقوع نشت گاز کمپرسور شناسایی شده است. در این پژوهش، سیستم‌های جلوگیری از جرقه آنی و تأخیری، آژیر صوتی، کلید قطع اضطراری و وجود تراکم و عوامل احتقان کننده، رهایش مواد قابل اشتعال و انفجار به‌عنوان موانع ایمنی در برابر نشت گاز از کمپرسور شناسایی شده اند. با توجه به عملکرد موانع ایمنی یعنی شکست یا عملکرد صحیح و مورد انتظار، نشت گاز کمپرسور منجر به ۹ پیامد نهایی گردیده است که پیامدهای انفجار و آتش‌سوزی را نیز شامل می‌شود.

مطالعات Jozi و همکاران در سال ۲۰۱۴، سمیه میرزا و همکاران در سال ۲۰۱۴ و میرزایی علی‌آبادی در سال ۲۰۱۶ وجود مشکل کمبود داده‌های نرخ نقص و نبود قطعیت در صنایع فرآیندی را گزارش کرده اند، لذا وجود این مشکلات استفاده از منطق فازی را توجیه می‌کند(۳۴, ۳۸, ۳۹). استفاده از منطق فازی در درخت خطا و درخت رویداد، هم می‌تواند ارزیابی را ساده نموده و هم دقت را بالا ببرد(۴۰, ۴۱). منطق فازی، به‌جای محدود کردن پارامترهای نرخ وقوع رویدادهای پایه‌ای و رویداد اصلی سناریو حادثه و ... به یک عدد، آن‌ها را به‌صورت اعداد فازی در یک محدوده ارائه می‌کند. بنابراین منطق فازی یک بیان دقیق از واقعیت را ارائه خواهد داد(۴۲, ۴۳).

مطالعات Wu و همکاران (۲۰۱۷)، Rezaee و همکاران (۲۰۱۸)، Zhang Q و همکاران (۲۰۱۸) اهمیت کاربرد شبکه بیزین فازی درزمینه ی تحلیل و مدیریت ریسک پویای صنایع فرآیندی جهت غلبه بر مشکلات روش‌های مرسوم تحلیل ریسک و کاهش عدم قطعیت آن‌ها را نشان دادند(۴۴-۴۶).

مدل BN توانایی استدلال استقرایی را دارا می‌باشد. استدلال استقرایی احتمال وقوع سناریو و نتایج آن را پیش‌بینی می‌کند(۴۱). نتایج استدلال استقرایی روش BN نشان می دهد که احتمال رخداد رویداد اصلی برابر $۶/۷۴ \times ۱۰^{-۲}$ و همچنین پیامد اول (شبه حادثه) و پیامد پنجم (رهایش زیاد مواد) به ترتیب با احتمال رخداد $۱۰^{-۲} \times ۶/۶۸$ و $۱۰^{-۴} \times ۵/۸۳$ محتمل‌ترین پیامدهای ناشی از نشت گاز کمپرسور خواهند بود. همچنین پیامد C8 (آتش فورانی همراه با خسارت متوسط) با احتمال رخداد $۱۰^{-۶} \times ۴/۷۴$ محتمل‌ترین پیامد آتش‌سوزی و انفجار ناشی از نشت گاز کمپرسور خواهد بود. BN وابستگی شرطی بین رویدادهای از نوع نقص با علل مشترک را در نظر می‌گیرد که روش‌های مرسوم تحلیل ریسک ازجمله BT این توانایی را ندارند(۴۷). این مورد در شکل ۲ به‌صورت وابستگی بین IE02 و IE03 به علت اشتراک در BE01 و BE02 قابل مشاهده است.

توانایی استدلال قیاسی مدل BN اهمیت زیادی در تحلیل ریسک پویا دارد. استدلال قیاسی امکان به‌روزرسانی احتمال رخدادهای پایه را فراهم می‌آورد و باعث کاهش عدم قطعیت در مدل و نتایج بدست آمده خواهد شد(۴, ۴۸). با به‌روزرسانی احتمال رخداد رویدادهای پایه و پیامدهای نهایی، امکان انتخاب بحرانی‌ترین (تأثیرگذارترین) رویدادهای پایه که بیشترین سهم در وقوع رویداد اصلی را دارند، وجود خواهد داشت(۷). در این مطالعه، BE01 (نقص PRV) به‌عنوان تأثیرگذارترین متغیر در وقوع سناریو موردمطالعه شناخته شده است. همچنین محتمل‌ترین پیامد در زمان به‌روزرسانی، احتمال وقوع رویداد اصلی C1 است که علت اصلی آن عملکرد صحیح آژیر صوتی به هنگام نشت گاز از کمپرسور می باشد. C5 دومین پیامد محتمل با احتمال $۸/۶۵ \times ۱۰^{-۳}$ است که علت وقوع آن نقص در عملکرد آژیر صوتی و شیر قطع اضطراری است. همچنین C8 محتمل‌ترین پیامد آتش‌سوزی و انفجار با احتمال $۷/۰۳ \times ۱۰^{-۵}$ است که علت وقوع آن نقص در عملکرد آژیر صوتی و در عملکرد صحیح کلید قطع اضطراری و وجود جرقه آنی در محیط می باشد. بنابراین در دستگاه کمپرسور وجود موانع می‌توانند به‌طور قابل‌توجهی پیامدهای وقوع نشت گاز را کاهش دهند.

نتیجه‌گیری

ترکیب تئوری فازی و شبکه بیزین که بنام شبکه بیزین فازی (FBN) معروف است، علاوه بر استفاده از اعداد فازی در احتمال رویداد های پایه و موانع ایمنی جهت کاهش عدم قطعیت آن‌ها، از استدلال استقرایی و استدلال قیاسی نیز بهره‌مند خواهد بود(۴۹, ۵۰). بنابراین شبکه بیزین فازی یک ابزار قدرتمند و مؤثر برای استدلال درزمینه ی عدم قطعیت در مطالعات تحلیل ریسک را فراهم می‌آورد(۴۳).

مطالعه حاضر یک رویکرد جامع تحلیل کمی و پویای ریسک انفجار و آتش‌سوزی در صنایع فرآیندی از طریق ترکیب رویکرد فازی و شبکه بیزین ارائه می‌دهد. بر اساس

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

[DOI: 10.52547/ioh.18.1.139]

تحلیل شبکه بیزین فازی، نقص در فیلترینگ به‌عنوان مهم‌ترین عامل و آتش فورانی همراه با خسارت متوسط به‌عنوان مهم‌ترین پیامد انفجار و آتش‌سوزی در وقوع نشت گاز کمپرسور شناخته شده اند.

تقدیر و تشکر

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای به شماره ۹۵۱۲۰۳۷۳۷۰ می‌باشد که با پشتیبانی دانشگاه علوم پزشکی همدان و واحد CNG شرکت ملی پخش فراورده های نفتی انجام‌شده است. بدین‌وسیله از دو سازمان مذکور تشکر و قدردانی می‌شود.

References

1. Nouri J, Azadeh A, Mohammad Fam I, Azam Azadeh M. Integrated health, safety, environment and ergonomic management systems for industry. Journal of research in health sciences. 2007;7(1):32-42.
2. Azadeh A, Fam IM, Azadeh MA. Integrated HSEE management systems for industry: A case study in gas refinary. Journal of the Chinese Institute of Engineers. 2009;32(2):235-41.
3. Ghasemi F, Kalatpour O, Moghimbeigi A, Mohhamadfam I. A path analysis model for explaining unsafe behavior in workplaces: the effect of perceived work pressure. International journal of occupational safety and ergonomics. 2018;24(2):303-10.
4. Nadkarni S, Shenoy PP. A Bayesian network approach to making inferences in causal maps. European Journal of Operational Research. 2001;128(3):479-98.
5. Mohammadfam I, Ghasemi F, Kalatpour O, Moghimbeigi AJAe. Constructing a Bayesian network model for improving safety behavior of employees at workplaces. 2017;58:35-47.
6. Azadeh M, Keramati A, Mohammadfam I, Jamshidnedjad B. Enhancing the availability and reliability of power plants through macroergonomics approach. 2006.
7. Khakzad N, Khan F, Amyotte P. Dynamic safety analysis of process systems by mapping bow-tie into Bayesian network. Process Safety Environmental Protection. 2013;91(1-2):46-53.
8. Khakzad N, Khan F, Amyotte P. Quantitative risk analysis of offshore drilling operations: A Bayesian approach. Safety science. 2013;57:108-17.
9. Shirali GA, Motamedzade M, Mohammadfam I, Ebrahimipour V, Moghimbeigi A. Assessment of resilience engineering factors based on system properties in a process industry. Cognition, Technology & Work. 2016;18(1):19-31.
10. Kalantarnia M, Khan F, Hawboldt K. Modelling of BP Texas City refinery accident using dynamic risk assessment approach. Process Safety and Environmental Protection. 2010;88(3):191-9.
11. Nezhad AZ, Mortazavi SB, Mahabadi HA, Khavanin A. Identification and Safety Assessment of the Hazardous Zones (Unwanted Energy Flows) in an Construction Project at the National Petrochemical Company by Application of ET and BA Method. Journal of Applied Sciences. 2007;7(19):2769-75.
12. Bjerketvedt D, Bakke JR, Van Wingerden K. Gas explosion handbook. Journal of hazardous materials. 1997;52(1):1-150.
13. Lees F. Lees' Loss prevention in the process industries: Hazard identification, assessment and control: Butterworth-Heinemann; 2012.
14. Smith LC, Smith M, Ashcroft P. Analysis of environmental and economic damages from British Petroleum's Deepwater Horizon oil spill. Albany Law Review. 2011;74(1):563-85.
15. Amiri M, Ardeshir A, Zarandi MHF. Risk-based analysis of construction accidents in Iran during 2007-2011-meta analyze study. Iranian journal of public health. 2014;43(4):507.
16. Yazdi M, Adesina KA, Korhan O, Nikfar F. Learning from fire accident at bouali sina petrochemical complex plant. Journal of failure analysis prevention. 2019;19(6):1517-36.
17. Naderi M, Mohammadfam I, Kalatpour O. Determining training needs of emergency response team's using task criticality analysis at Bouali Sina Petrochemical Co. and comparison with the HAZWOPER standard. Iran Occupational Health. 2020;17(1).
18. Marhavilas PK, Koulouriotis D. A risk-estimation methodological framework using quantitative assessment techniques and real accidents' data: Application in an aluminum extrusion industry. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2008;21(6):596-603.
19. John A, Yang Z, Riahi R, Wang J. A risk assessment approach to improve the resilience of a seaport system using Bayesian networks. Ocean Engineering. 2016;111:136-47.
20. Li X, Chen G, Zhu H. Quantitative risk analysis on leakage failure of submarine oil and gas pipelines using Bayesian network. Process Safety Environmental Protection. 2016;103:163-73.
21. Parvini M, Kordrostami A. Consequence modeling of explosion at Azad-Shahr CNG refueling station. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2014;30:47-54.
22. Arunraj N, Mandal S, Maiti J. Modeling uncertainty in

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

[DOI: 10.52547/ioh.18.1.139]

industry using Bow-Tie Analysis. Iran Occupational Health. 2019;15(6):16-24. [Persian].
36. Abimbola M, Khan F, Khakzad N, Butt S. Safety and risk analysis of managed pressure drilling operation using Bayesian network. Safety science. 2015;76:133-44.
37. Khan FI, Abbasi S. Techniques and methodologies for risk analysis in chemical process industries. Journal of loss Prevention in the Process Industries. 1998;11(4):261-77.
38. Jozi S, ESMAT SS, MAHMOUDI KJZ. Environmental risk assessment of the olefin plant in Arya Sasol petrochemical complex using fault tree analysis method. 2014.
39. Mirza S, Omidvari M, Lavasani SMRMJSp. The application of Fuzzy logic to determine the failure probability in Fault Tree Risk Analysis. Safety promotion and injury prevention. 2014;2(2):113-23. [Persian].
40. Aqlan F, Ali EM. Integrating lean principles and fuzzy bow-tie analysis for risk assessment in chemical industry. Journal of Loss Prevention in the process Industries. 2014;29:39-48.
41. Jahanbani Z, Sereshki F, Ataei M, Ghanbari K. Risk Assessment of Fire by using Fuzzy Fault Tree Analysis Case study: Eastern Alborz Coal Mines. Iran Occupational Health. 2017;14(3):46-57.
42. Vinnem J, Bye R, Gran B, Kongsvik T, Nyheim O, Okstad E, et al. Risk modelling of maintenance work on major process equipment on offshore petroleum installations. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2012;25(2):274-92.
43. Zhang L, Wu X, Qin Y, Skibniewski MJ, Liu W. Towards a Fuzzy Bayesian Network Based Approach for Safety Risk Analysis of Tunnel-Induced Pipeline Damage. Risk Analysis. 2016;36(2):278-301.
44. Rezaee MJ, Yousefi S, Valipour M, Dehdar MM. Risk analysis of sequential processes in food industry integrating multi-stage fuzzy cognitive map and process failure mode and effects analysis. Computers & Industrial Engineering. 2018;123:325-37.
45. Wu J, Zhou R, Xu S, Wu Z. Probabilistic analysis of natural gas pipeline network accident based on Bayesian network. Journal of Loss Prevention in The Process Industries. 2017;46:126-36.
46. Zhang Q, Zhou C, Tian Y-C, Xiong N, Qin Y, Hu B. A fuzzy probability Bayesian network approach for dynamic cybersecurity risk assessment in industrial control systems. IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2017;14(6):2497-506.
47. Yuan Z, Khakzad N, Khan F, Amyotte P. Risk analysis of dust explosion scenarios using Bayesian networks. Risk analysis. 2015;35(2):278-91.
48. Li H-L, Kao H-Y. Constrained abductive reasoning with risk assessment: An integrated approach with fuzzy set theory and Monte Carlo simulation. Accident Analysis Prevention. 2013;55:242-55.
23. Sa'idi E, Anvaripour B, Jaderi F, Nabhani N. Fuzzy risk modeling of process operations in the oil and gas refineries. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2014;30:63-73.
24. Abimbola M, Khan F, Khakzad N. Dynamic safety risk analysis of offshore drilling. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2014;30:74-85.
25. Yang X, Mannan MS. The development and application of dynamic operational risk assessment in oil/gas and chemical process industry. Reliability Engineering System Safety. 2010;95(7):806-15.
26. Falahati M, Karimi A. Development and ranking of safety performance indicators using Bayesian network and analysis hierarchical process: Case of work at height of the oil and gas refinery construction phase. Iran Occupational Health. 2018;15(3):172-85. [Persian].
27. Mohammadfam I, Ghasemi F, Kalatpour O, Moghimbeigi A. Constructing a Bayesian network model for improving safety behavior of employees at workplaces. Applied ergonomics. 2017;58:35-47.
28. Ali Noroozian RBK, Seyed Taghi Akhavan Niaki. System-risk sensitivity analysis in Bayesian networks. Industrial Engineering & managment. 2018.
29. Barua S, Gao X, Pasman H, Mannan MS. Bayesian network based dynamic operational risk assessment. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2016;41:399-410.
30. Ilbahar E, Karaşan A, Cebi S, Kahraman C. A novel approach to risk assessment for occupational health and safety using Pythagorean fuzzy AHP & fuzzy inference system. Safety science. 2018;103:124-36.
31. Behera C, Bodwal J, Sikary AK, Chauhan MS, Bijarnia M. Deaths due to accidental air conditioner compressor explosion: a case series. Journal of forensic sciences. 2017;62(1):254-7.
32. Guo Q, Pang Z, Wang Y, Tian J. Fluid geochemistry and geothermometry applications of the Kangding high-temperature geothermal system in eastern Himalayas. Applied geochemistry. 2017;81:63-75.
33. Kelly BD. Investigation of a hydrogen compressor explosion. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 1998;11(4):253-6.
34. Mohammad Fam I, Kalatpour O. Risk assessment of liquefied petroleum gas (LPG) storage tanks in the process industries using the Bowtie technique. Journal of Occupational Hygiene Engineering. 2016;3(2):1-11. [Persian].
35. Mirzaee Aliabadi M, Mohammadfam I. Root causes analysis of the Blow out of oil and gas wells in the drilling

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

[DOI: 10.52547/ioh.18.1.139]

fuzzy parameters in Bayesian networks. Computers Operations Research. 2005;32(1):87-105.

49. Ghasemi A, Mahmoudzadeh S. Assesment of economic projects in uncertain conditions (fuzzy approach). Journal of Economic Research. 2011;45(4):83-108. [Persian].

50. Markowski AS, Mannan MS, Kotynia A, Pawlak H. Application of fuzzy logic to explosion risk assessment. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2011;24(6):780-90.

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

[DOI: 10.52547/ioh.18.1.139]