Journal of Health and Safety at Work 2026; 16(1): 119-145

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Identification and Prioritization of Key Factors Influencing Risk Management in Process Industries Using the Fuzzy DANP Method

Elham Keighobadi[1], Hossein Ebrahimi[2], Shahram Vosoughi[2], Farhad Asgharyan[3], Saber Moradi Hanifi[2*]

[1]Occupational Health Research Center, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
[2]Department of Occupational Health and Safety Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
[3]The Petroleum University of Technology, Abadan, Iran.

Received: 28-9-2025 Accepted: 25-2-2026

ABSTRACT

Introduction: Process industries are considered to be vital pillars of economic development, but the complexity of their performance and processes poses serious challenges to effective risk management. This study presents an integrated model based on Fuzzy DEMATEL and Fuzzy ANP methods to identify and prioritize key factors affecting risk management in these industries.

Material and Methods: First, in a systematic literature review, 54 eligible articles were selected from reliable sources between 1995 and 2024, and 23 initial factors affecting risk management were extracted. Then, in three rounds of Delphi technique with the participation of 13 experts with an average work experience of 12.6 years, 20 final factors were confirmed. Subsequently, the Fuzzy DEMATEL method was used to analyze the cause-and-effect relationships between the factors, and the Fuzzy ANP method was used to determine their weight and priority.

Results: The results indicated that 6 factors play a causal role, while 14 factors play an effect role. "Training" and "management commitment" were identified as the most effective causal factors, playing a pivotal role in strengthening other risk management measures. In contrast, "maintenance and repair" and "contractor and stakeholder participation" were the most influenced by other factors. Additionally, "safety culture and climate" obtained the highest weight in the fuzzy network analysis.

Conclusion: By providing a comprehensive picture of the influencing factors and their interactions, the proposed framework provides a practical and strategic tool for managers to improve process safety and manage risks more effectively by focusing on priority factors.

Keywords: *Risk management, Process industries, Fuzzy DEMATEL, Fuzzy network analysis, Safety*

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Keighobadi E., Ebrahimi H., Vosoughi Sh., Asgharyan F., Moradi Hanifi S. Identification and Prioritization of Key Factors Influencing Risk Management in Process Industries Using the Fuzzy DANP Method. J Health Saf Work. 2026; 16(1): 119-145.

1. INTRODUCTION

Process industries are high-risk environments due to the complexity of operations, the use of hazardous chemicals, and human-machine interactions, and any failure in safety management can have irreparable consequences at the human, financial, and environmental levels. Therefore, identifying hazards and assessing risks using qualitative and quantitative tools is essential to reduce these threats.

Risk management, as a structured process, includes identifying, analyzing, evaluating, and controlling risks, and in addition to reducing

* Corresponding Author Email: *sabermoradi22@yahoo.com*

Copyright © 2026 The Authors.
Published by Tehran University of Medical Sciences

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

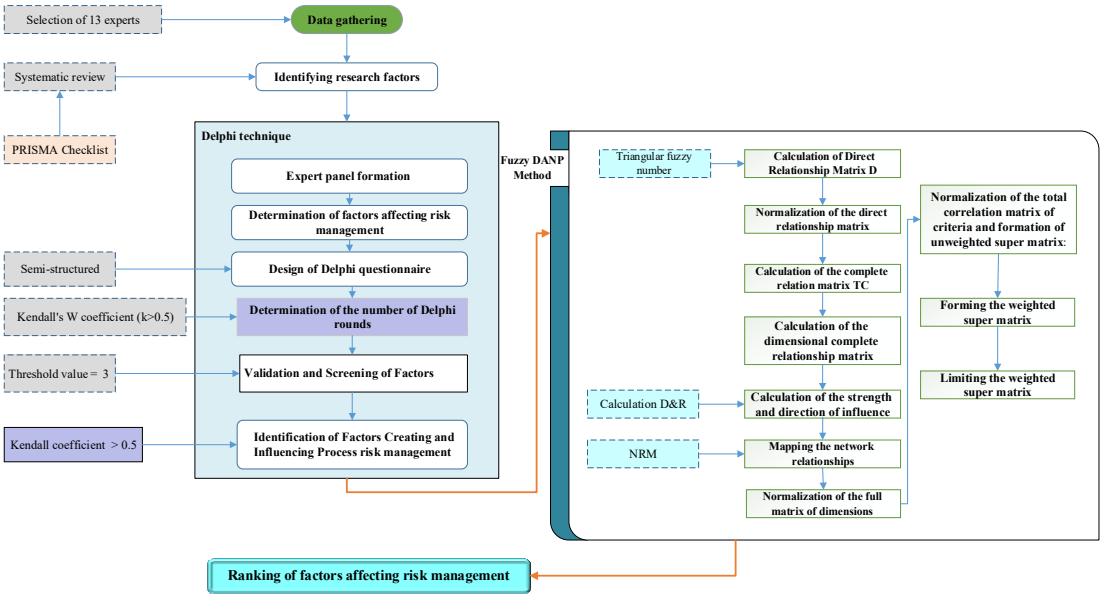


Fig. 1: Study Method

consequences, facilitates the achievement of organizational goals. In recent years, the approach to risk management has shifted towards a holistic and integrated approach, aligning strategies, technology and human capital to reduce uncertainty (5). Despite the importance of the topic, research on ranking the key factors affecting risk management in process industries is limited. Studies such as Abu Kwaik et al. have emphasized factors such as economic flexibility, organizational characteristics and organizational culture, while Zwetsloot et al. have emphasized the role of management commitment and safety culture.

In the meantime, multi-criteria decision-making (MCDM) methods have been widely used to analyze such complex factors. The DEMATEL-ANP (DANP) method, combining the advantages of DEMATEL and ANP, reveals both causal relationships and the priority of factors. Adding fuzzy logic also provides a more accurate analysis of uncertainties by converting qualitative judgments into numerical data. Previous findings have also confirmed the importance of this approach in improving safety perception, with Modiri et al. finding the role of managerial, equipment, and human factors to be crucial .

Therefore, the present study, relying on the Delphi method and the fuzzy DANP model, identifies and prioritizes key risk management factors in process industries to provide a scientific framework for safety promotion and evidence-based decision-making.

2. MATERIAL AND METHODS

This study was descriptive-analytical and aimed to identify and prioritize factors affecting safety risk management in process industries. In the first step, a systematic review was conducted in reputable databases including Google Scholar, Elsevier, Web of Science, and Springer between 1995 and 2024.

In the second step, the Delphi method was used to validate the identified factors. 13 experts in the field of process safety and HSE who had at least 5 years of work experience participated in this step. The Delphi process was implemented in three rounds, and opinions were collected using a semi-structured questionnaire and a five-level Likert scale, the final factors were selected and consensus was reached. In the third step, the Fuzzy DEMATEL method was used to analyze the relationships between factors and determine the causal-disability structure. In the final step, the Fuzzy ANP method was used to weight and prioritize the factors. The study method is shown in figure1.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Final factors affecting safety risk management

After conducting literature review and content analysis, 54 final articles were finally approved.

Table 1: degree of the central role of D + R and D-R

Factors	Code	Fuzzy D			Fuzzy R			D	R	D+R	D-R	RESULT
Management commitment	C1	0.616	0.941	1.384	0.396	0.666	1.003	0.980	0.688	1.669	0.292	casual
Participation and communication	C2	0.412	0.661	1.035	0.485	0.763	1.170	0.703	0.806	1.508	-0.103	effect
safety Culture and climate	C3	0.614	0.936	1.372	0.487	0.770	1.185	0.974	0.814	1.788	0.160	casual
perception and awareness, skills and competency	C4	0.356	0.580	0.920	0.435	0.673	1.037	0.619	0.715	1.334	-0.096	effect
Contractors and stakeholders' participation	C5	0.322	0.526	0.836	0.458	0.725	1.127	0.561	0.770	1.331	-0.209	effect
Procedures and regulations	C6	0.554	0.856	1.290	0.453	0.701	1.071	0.900	0.742	1.642	0.158	casual
Reporting and accident analysis	C7	0.430	0.694	1.092	0.470	0.730	1.106	0.739	0.768	1.507	-0.030	effect
Implementation and follow-up of audits	C8	0.344	0.556	0.874	0.464	0.722	1.104	0.591	0.763	1.355	-0.172	effect
Incentive and punishment programs	C9	0.434	0.728	1.184	0.488	0.785	1.225	0.782	0.832	1.615	-0.050	effect
Project cost availability of financial resources	C10	0.439	0.707	1.123	0.451	0.724	1.131	0.756	0.769	1.525	-0.012	effect
Maintenance and repair	C11	0.478	0.767	1.219	0.598	0.956	1.503	0.821	1.019	1.840	-0.198	effect
Technical and technology issues	C12	0.603	0.943	1.470	0.613	0.962	1.494	1.005	1.023	2.028	-0.017	effect
Training and education	C13	0.770	1.192	1.806	0.504	0.835	1.332	1.256	0.890	2.146	0.366	casual
Responsibilities organization	C14	0.507	0.838	1.363	0.512	0.835	1.378	0.903	0.909	1.811	-0.006	effect
Complexity/flexibility	C15	0.461	0.735	1.163	0.461	0.756	1.213	0.787	0.810	1.597	-0.023	effect
Safety vs productivity	C16	0.502	0.807	1.278	0.587	0.945	1.490	0.862	1.007	1.870	-0.145	effect
Supervision/inspection	C17	0.617	0.975	1.528	0.533	0.870	1.383	1.040	0.929	1.969	0.111	casual
Process safety vs occupational safety	C18	0.521	0.889	1.360	0.556	0.892	1.402	0.923	0.950	1.873	-0.027	effect
Risk and hazard assessment	C19	0.667	1.057	1.649	0.591	0.940	1.448	1.125	0.993	2.117	0.132	casual
Combating the Normalization of Deviance	C20	0.472	0.784	1.276	0.578	0.920	1.421	0.844	0.973	1.817	-0.129	effect

Delphi method Results

Finally, 20 factors were included in the study.

Fuzzy DEMATEL Results

According to Table 1, among the main factors, education and training (C13) with a value of (D – R = 0.366) and management commitment (C1) with a value of (D – R = 0.292) were identified as the most important causal factors. These factors have a guiding role in the safety risk management system and have the greatest influence with the least dependence on other factors. In contrast, contractor and stakeholder participation (C5) with a value of (D – R = -0.209) and maintenance (C11) with a value of (D – R = -0.198) were identified as the most influential factors. These factors are more influenced by other variables and have less guiding power in the system.

According to the relationship network diagram (Figure 2), the high density of connections between factors showed that changing or modifying each factor can have a significant impact on other factors. In particular, factors with the highest number of input and output arrows, such as employee training and education, should be prioritized for management interventions.

Fuzzy Network Analysis Results

As illustrated in table 2, the factor "safety culture and climate" was ranked first with a weight of 0.058. After that, the factors "participation and communication", "Contractors and stakeholders' participation" are in the second to third priorities, respectively.

4. DISCUSSION

This study, with the aim of promoting safety and improving the risk management system in process industries, presented a fuzzy multi-criteria decision-making model based on the combination of Fuzzy DEMATEL and Fuzzy ANP. The findings showed that employee training and education and management commitment are the most important causal factors that have

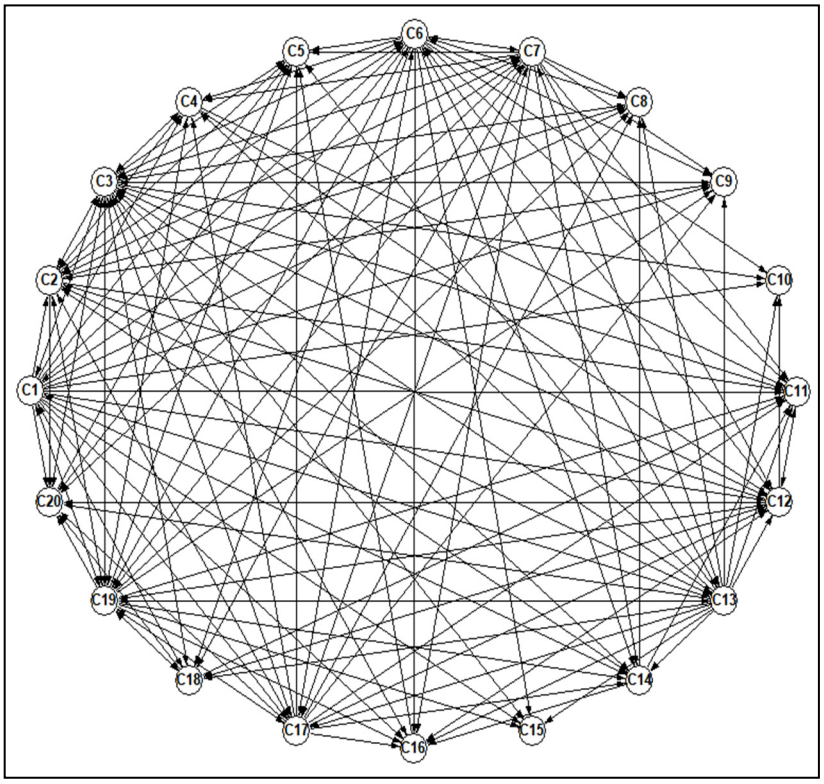


Fig. 2: Schematic of relationships between factors affecting risk management

Table 2: Ranking of factors affecting risk management based on the FDNAP method

Factors	Code	Final weight	Rank
Safety culture and climate	C3	0.058151	1
Participation and communication	C2	0.055095	2
Contractors and stakeholders' participation	C5	0.053523	3
Risk and hazard assessment	C19	0.053324	4
Maintenance and repair	C11	0.05284	5

the greatest direct impact on other criteria. In contrast, contractor and stakeholder participation and preventive maintenance as influential factors showed the greatest impact from other factors. These results emphasize the importance of investing in continuous training, strengthening the safety attitude of senior managers, and developing detailed instructions for contractors and key employees in reducing risks.

According to Henrich's theory, about 88 percent of accidents are caused by unsafe behaviors that can be controlled by training, increasing awareness, and promoting a safety culture. Research by Zahiri et al. (2020) also showed that inadequate safety management, inadequate training, and poor employee attitudes are among the main reasons for unsafe behaviors in petrochemical industries. These findings are consistent with the present results and indicate that employee training and active participation play a key role in reducing risks and improving safety performance.

Based on the results of the fuzzy network analysis method, safety culture and climate gained the highest importance with a weight of 0.058151. This factor is closely related to management commitment and its improvement can lead to a reduction in accidents and risks. Also, employee participation and communication (0.055095) and contractor and stakeholder participation (0.053523) have a high position in strengthening

safety processes. Risk assessment and hazard identification (0.05324) were also recognized as the foundation of risk management, as they enable organizations to focus their resources to control critical risks. The literature review shows that the results of the present study are consistent with the findings of Ajslev (2017) and Berhan (2020) that showed management commitment has a direct impact on risk reduction and safety improvement.

In addition, preventive maintenance was introduced as one of the important factors in risk reduction. Studies such as Wang (2020) showed that using equipment data and implementing preventive programs can minimize the likelihood of sudden failures and the resulting safety consequences. However, the present study had limitations, including reliance on expert judgment, complexity of the fuzzy model, and focus solely on process industries, which limits the generalizability of the results to other industries. For future research, it is suggested that the presented model be applied to other high-risk industries. In addition, a deeper examination of the human and organizational dimensions and their role in strengthening risk management strategies can lead to the creation of a more comprehensive and sustainable framework for promoting organizational safety.

5. CONCLUSIONS

By providing a comprehensive picture of the influencing factors and their interactions, the proposed framework provides a practical and strategic tool for managers to improve process safety and manage risks more effectively by focusing on priority factors

6. ACKNOWLEDGMENT

This study was conducted under the ethics code IR.IUMS.REC.1402.292 and was supported by the School of Public Health, Iran University of Medical Sciences. The research team would like to express its gratitude to all colleagues who collaborated in this study.

فصلنامه بهداشت و ایمنی کار جلد ۱۶/ شماره ۱/ بهار ۱۴۰۵ صفحات ۱۱۹-۱۴۵

شناسایی و اولویت‌بندی عوامل کلیدی مؤثر بر مدیریت ریسک در صنایع فرایندی با استفاده از روش دنپ فازی

الهام کیقبادی[۱]، حسین ابراهیمی[۲]، شهرام وثوقی[۲]، فرهاد اصغریان[۳]، صابر مرادی حنیفی[۲*]

[۱]مرکز تحقیقات بهداشت کار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران
[۲]گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی‌کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران
[۳]دانشگاه صنعت نفت، آبادان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۷/۶، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۶

چکیده

مقدمه: صنایع فرایندی از ارکان حیاتی توسعه اقتصادی به شمار می‌روند، اما پیچیدگی عملکرد و فرآیندهای آن‌ها مدیریت مؤثر ریسک را با چالش‌های جدی مواجه می‌سازد. این پژوهش مدلی یکپارچه مبتنی بر روش‌های دیمتل فازی (Fuzzy DEMATEL) و فرآیند تحلیل شبکه‌ای فازی (Fuzzy ANP) ارائه می‌دهد تا عوامل کلیدی مؤثر بر مدیریت ریسک در این صنایع شناسایی و اولویت‌بندی شوند.

روش‌کار: ابتدا در مرور نظام‌مند متون، ۵۴ مقاله واجد شرایط از میان منابع معتبر بین سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۲۴ انتخاب شد و ۲۳ عامل اولیه مؤثر بر مدیریت ریسک استخراج گردید. سپس در سه دور اجرای تکنیک دلفی با مشارکت ۱۳ خبره دارای میانگین سابقه کاری ۱۲.۶ سال، ۲۰ عامل نهایی تأیید شدند. در ادامه، روش دیمتل فازی برای تحلیل روابط علّی و معلولی میان عوامل و روش تحلیل شبکه‌ای فازی برای تعیین وزن و اولویت آن‌ها به‌کار گرفته شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که ۶ عامل نقش علّی و ۱۴ عامل نقش معلولی دارند. «آموزش و توانمندسازی» و «تعهد مدیریت» به‌عنوان مؤثرترین عوامل علّی شناسایی شدند و نقش محوری در تقویت سایر اقدامات مدیریت ریسک ایفا می‌کنند، در حالی که «تعمیر و نگهداری» و «مشارکت پیمانکاران و ذی‌نفعان» بیشترین تأثیرپذیری را از سایر عوامل دارند. همچنین، «فرهنگ و جو ایمنی» بیشترین وزن را در تحلیل شبکه ای فازی کسب کرد.

نتیجه‌گیری: چارچوب پیشنهادی با ارائه تصویری جامع از عوامل اثرگذار و تعاملات آن‌ها، ابزاری عملی و راهبردی برای مدیران فراهم می‌کند تا با تمرکز بر عوامل اولویت‌دار، ایمنی فرایند را بهبود داده و ریسک‌ها را به‌طور مؤثرتر مدیریت کنند

کلمات کلیدی: *مدیریت ریسک، صنایع فرآیندی، دیمتل فازی، تحلیل شبکه ای فازی، ایمنی*

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول مکاتبه: *sabermoradi22@yahoo.com*

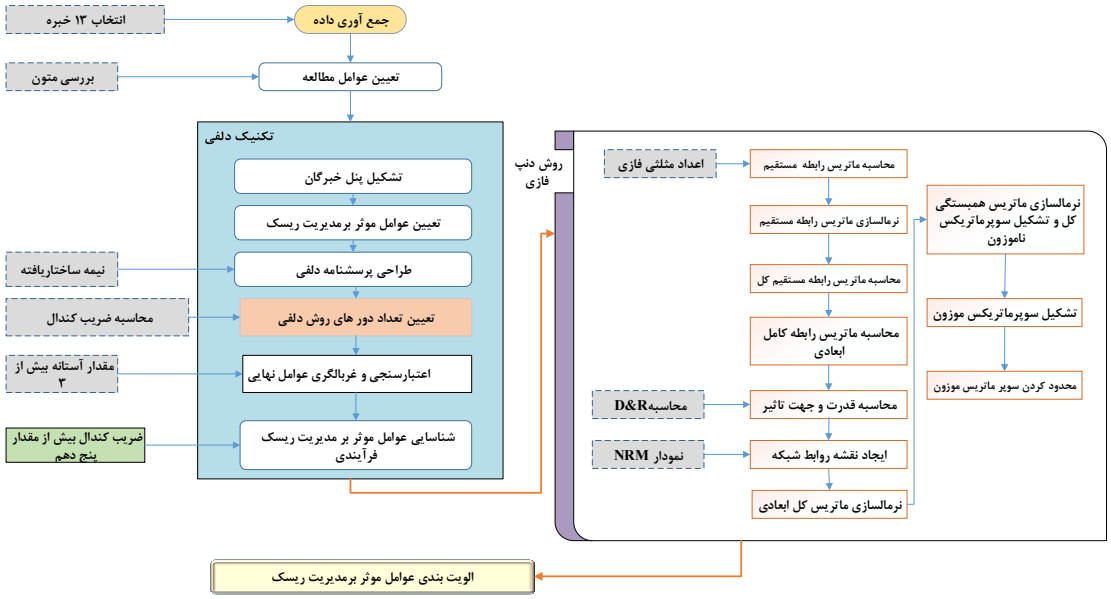
مقدمه

صنایع فرایندی از ارکان اصلی رشد و توسعه اقتصادی به شمار می‌روند، اما ماهیت پیچیده فرایندها، استفاده از مواد شیمیایی خطرناک، تجهیزات پیشرفته و تعاملات انسان _ ماشین، این صنایع را به محیط‌هایی پرخطر تبدیل کرده است. بهره‌برداری ایمن از این صنایع نیازمند درک کامل از خطرات بالقوه و استقرار نظام‌های مدیریت ریسک کارآمد است، چرا که هرگونه کاستی در این حوزه می‌تواند منجر به پیامدهای جبران‌ناپذیر انسانی، مالی و زیست‌محیطی شود (۱, ۲). بر اساس گزارش انجمن ایمنی و بهداشت حرفه‌ای (OSHA)، بین سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷، ۴۸۹ نفر از کارکنان صنعت نفت و گاز بر اثر حوادث شغلی و خطرات مرتبط با ایمنی و سلامت محیط کار جان خود را از دست داده‌اند (۱۸).

شناسایی خطر و ارزیابی ریسک به عنوان ابزاری کلیدی، امکان شناسایی نظام‌مند خطرات بالقوه و اجرای اقدامات کنترلی متناسب با سطح ریسک را فراهم می‌سازد. پس از شناسایی خطرات، بهره‌گیری از روش‌های کمی و کیفی ارزیابی ریسک برای تعیین سطح اهمیت آن‌ها ضروری است (۳). مدیریت ریسک در این چارچوب به عنوان فرآیندی هماهنگ و ساختاریافته تعریف می‌شود که با شناسایی، تحلیل، ارزیابی، پایش و کنترل ریسک‌ها، علاوه بر کاهش پیامدهای نامطلوب، دستیابی به اهداف سازمانی را تسهیل می‌کند (۴, ۱۹). علیرغم گسترش چشمگیر نظام‌های رسمی مدیریت ریسک در صنایع فرایندی، استمرار وقوع حوادث جدی نشان‌دهنده وجود شکاف ساختاری در رویکردهای موجود است. این رویکردها، که غالباً بر ارزیابی‌های کمّی منفرد و تحلیل‌های بخشی متکی‌اند، قادر به بازنمایی پویایی‌های سیستمیک و روابط علّی ـ معلولی پیچیده میان عوامل انسانی، سازمانی و فنی نیستند (۲۰).

در سال‌های اخیر، رویکرد مدیریت ریسک از حالت بخشی و محدود فراتر رفته و به سوی نگرش جامع و یکپارچه حرکت کرده است. این تغییر پارادایم با هدف همسوسازی استراتژی‌ها، فرایندها، فناوری و سرمایه انسانی در جهت ارتقای عملکرد و کاهش عدم قطعیت‌ها دنبال می‌شود (۵). با این حال، ادبیات موجود در زمینه رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر مدیریت ریسک ایمنی در زمینه فرایندی محدود است و شناخت بهتر این عوامل برای تقویت نظام‌های ایمنی ضرورت دارد. پژوهش ابو کواییک و همکاران عوامل کلیدی مؤثر بر مدیریت ریسک را شامل انعطاف‌پذیری نسبت به شرایط اقتصادی، ویژگی‌های سازمانی، قوانین و مقررات، اثربخشی حسابرسی داخلی و فرهنگ سازمانی معرفی کرده‌اند (۶). همچنین، زوتسلووت و همکاران بر نقش رهبری، تعهد مدیریت و ارتقای فرهنگ ایمنی در بهبود ایمنی فرایندها تأکید داشته‌اند (۷, ۲۱).

برای تحلیل این عوامل پیچیده، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌طور گسترده در مدیریت ایمنی و ریسک مورد استفاده قرار گرفته‌اند(۸, ۹, ۲۲). در میان آن‌ها، روش دنپ(DANP) به دلیل توانایی در شناسایی روابط علّی و تعیین اولویت میان عوامل کلیدی جایگاه برجسته‌ای دارد (۱۰, ۱۱). از آنجا که مقایسه‌های زوجی در روش تحلیل شبکه ای می‌تواند پیچیدگی زیادی ایجاد کند، ترکیب آن با روش دیمتل این مشکل را تا حد زیادی برطرف می‌سازد (۲۳). علاوه بر این، به‌کارگیری منطق فازی در روش‌های تصمیم‌گیری با تبدیل قضاوت‌های زبانی و ذهنی به مقادیر عددی، امکان تحلیل دقیق‌تر عدم قطعیت‌ها و ابهامات انسانی را فراهم می‌کند. بنابراین، مدل دنپ فازی ابزاری کارآمد برای تحلیل تعاملات میان عوامل و تعیین وزن‌های واقع‌گرایانه‌تر است (۲۴). یافته‌های مطالعات پیشین نیز اهمیت این رویکرد را در الویت بندی عوامل موثر بر درک ایمنی نشان می‌دهد. به عنوان نمونه، مدیری و همکاران گزارش کردند که عوامل مدیریتی، تجهیزاتی و انسانی نقش محوری در ارتقای ادراک ایمنی دارند و در میان زیرعوامل، انگیزه کارکنان، سیستم‌های کنترل و پیشگیری و روحیه تیمی در اولویت قرار گرفته‌اند (۱۲). در ادبیات پژوهش، اغلب مطالعات پیشین به‌صورت توصیفی و تک‌بعدی به یکی از مولفه های موثر در مدیریت ریسک پرداخته‌اند و کمتر به تحلیل روابط علّی و متقابل میان عوامل کلیدی کلی توجه



شکل ۱: مراحل اجرای دنپ فازی

شده است. فقدان مدل‌های تحلیلی یکپارچه که بتوانند تعامل میان عوامل انسانی، مدیریتی و فنی را به‌صورت هم‌زمان تبیین کنند، یکی از شکاف‌های اصلی دانش در حوزه مدیریت ایمنی صنایع فرایندی محسوب می‌شود.

درنتیجه، پژوهش حاضر با بهره‌گیری از روش دلفی و مدل ترکیبی دنپ فازی(Fuzzy DANP) ، چارچوبی نوین برای شناسایی و اولویت‌بندی عوامل کلیدی مؤثر بر مدیریت ریسک ارائه می‌دهد. این رویکرد ضمن ادغام تحلیل روابط علّیمعلولی و تعیین وزن نسبی عوامل، تصویری جامع و دقیق از ساختار درونی و تعاملات میان مؤلفه‌های مدیریت ریسک فراهم می‌سازد.نتایج این مدل می‌تواند به مدیران صنایع فرایندی در تمرکز بر عوامل اثرگذارتر، تخصیص بهینه منابع ایمنی و ارتقای تصمیم‌گیری مبتنی بر شواهد کمک کند. در مجموع، این پژوهش با ارائه چارچوبی تحلیلی و داده‌محور، گامی مؤثر در جهت بهبود کارایی و اثربخشی نظام‌های مدیریت ریسک در صنایع پرخطر کشور به‌شمار می‌آید.

روش کار

این مطالعه یک مطالعه توصیفی تحلیلی می باشد.

ابتدا، با مرور نظام‌مند متون ، عوامل مؤثر بر مدیریت ریسک در واحدهای فرایندی شناسایی و برای مطالعه انتخاب شدند. سپس، روش دلفی برای اعتبارسنجی این عوامل از طریق اجماع ۱۳ خبره با حداقل ۵ سال تجربه در ایمنی فرایند و HSE به‌کار گرفته شد و پرسشنامه‌های DEMATELو ANP تکمیل گردید. در مرحله بعد، روش DEMATEL فازی برای تحلیل روابط متقابل میان عوامل به‌منظور تعیین درجه تأثیر و روابط علی به کار گرفته شد. در نهایت، روش فازی ANP برای محاسبه وزن نسبی عوامل و اولویت‌بندی آن‌ها اعمال شد تا مدلی جامع و یکپارچه برای الویت بندی عوامل موثر بر مدیریت ریسک ایمنی ایجاد گردد.مراحل اجرای مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.

شناسایی عوامل پژوهش

به دلیل ماهیت فرایند مدیریت ریسک، اتخاذ رویکردی کاربردی و قابل اجرا در فرآیند تصمیم‌گیری ضروری است. از این رو، در این پژوهش از تکنیک تحلیل محتوای پنهان در قالب دو مرحله متوالی(بررسی نظام مند متون و تکنیک دلفی) استفاده شد تا عوامل مؤثر

جدول ۱: اطلاعات خبرگان

ویژگی	توضیحات	تعداد (نفر)
تخصص	ایمنی فرایند	۳
	مدیریت ایمنی و بهداشت و محیط زیست	۹
تحصیلات	کارشناسی ارشد	۵
	دکترا	۷
رسته شغلی	استاد دانشگاه	۷
	مدیر	۳
	سرپرست	۲
سابقه(سال)	۵-۱۰	۵
	۱۰-۲۰	۵
	بالای ۲۰	۲

شناسایی و روابط میان آن‌ها به‌صورت نظام‌مند مورد بررسی قرار گیرد.

فرآیند مرور نظام مند متون

در مرحله ابتدایی جستجو، تمرکز بر شناسایی مقالاتی بود که به بررسی عوامل مؤثر بر مدیریت ریسک پرداخته یا چارچوب‌ها و دیدگاه‌هایی در این زمینه ارائه کرده بودند. برای اطمینان از جامعیت مرور، جستجو در پایگاه‌های دادهScopus ، Web of ScienceوGoogle Scholarانجام شد. بازه زمانی جستجو از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۲۴ در نظر گرفته شد تا طیف گسترده‌ای از مطالعات کلاسیک و معاصر پوشش داده شود.کلیدواژه‌های جستجو بر اساس واژگان تخصصی حوزه ایمنی و مدیریت ریسک طراحی گردید و شامل ترکیب‌هایی از واژه‌های زیر بود:

(“safety risk management” OR “industrial risk management” OR “process safety management” OR “occupational safety risk” OR “risk assessment” OR “safety performance”) AND (“influencing factors” OR “key factors” OR “determinants” OR “critical factors “)

معیارهای ورود به مطالعه به‌گونه‌ای تعریف شد که از ارتباط مستقیم و کیفیت علمی منابع اطمینان حاصل شود. بر این اساس، مقالاتی واجد شرایط ورود بودند که:

۱. به زبان انگلیسی منتشر شده باشند؛۲.دسترسی به متن کامل آن‌ها امکان‌پذیر باشد.

در مقابل، معیارهای خروج به‌منظور حذف منابع نامرتبط یا کم‌اعتبار شامل موارد زیر بود:

مطالعات مروری (Review Papers) ، فصل‌های کتاب (Book Chapters)و سایر منابع غیرژورنالی.

روش دلفی

در این پژوهش، از تکنیک دلفی برای تایید نهایی عوامل مؤثر بر مدیریت ریسک براساس نظر خبرگان در صنایع فرایندی استفاده شد . هدف دلفی تجمیع و ایجاد اجماع میان نظرات خبرگان در چندین دور پرسشنامه است و ویژگی‌های آن شامل ناشناس بودن پاسخ‌دهندگان، فرآیند تکراری و بازخورد کنترل‌شده است (۲۵). در گام نخست، ۱۲ نفر از خبرگان دارای حداقل پنج سال سابقه کار تخصصی در حوزه ایمنی فرایند و HSE (جدول ۱) به پنل دلفی دعوت شدند. فرآیند اجرای پنل دلفی به‌صورت آنلاین و از طریق تماس تلفنی و تبادل فایل‌های الکترونیکی (Excel و Google Form) انجام گرفت تا

جدول۲: مقیاس‌های زبانی جهت مشخص کردن اهمیت معیارها

متغیر زبانی	اعداد نسبی	معادل فازی
بدون تأثیر	۰	(۰و۰و۰/۲۵)
تأثیر خیلی پایین	۱	(۰و۰/۲۵و۰/۵)
تأثیر پایین	۲	(۰/۲۵و۰/۵و۰/۷۵)
تأثیر بالا	۳	(۰/۵و۰/۷۵و۱)
تأثیر خیلی بالا	۴	(۰/۷۵و۱و۱)

امکان مشارکت خبرگان از مناطق مختلف فراهم شود.

در مرحله نخست، ۲۳ عامل اولیه شناسایی‌شده از مرور متون در اختیار ۱۲ خبره قرار گرفت. در این مرحله، مقادیر میانگین نشان دادند که اکثر عوامل از دید خبرگان اهمیت متوسط تا زیاد دارند، با این حال پراکندگی پاسخ‌ها (واریانس بالا) در برخی شاخص‌ها مشاهده شد.

در مرحله دوم، خروجی مرحله اول به‌صورت تجمیع‌شده در اختیار همان گروه از خبرگان قرار گرفت تا با اطلاع از نظرات جمع، ارزیابی مجدد خود را انجام دهند. در این مرحله، میزان همگرایی در ارزیابی‌ها افزایش یافت و شاخص‌های با میانگین پایین‌تر از ۳ مورد بازنگری قرار گرفتند.

در مرحله سوم، پس از حذف یا ادغام برخی شاخص‌های کم‌اهمیت، فهرست نهایی ۲۰ عامل مورد تأیید خبرگان قرار گرفت. در نهایت، پس از سه دور متوالی و با دستیابی به ضریب توافق کندال (Kendall's W) بالاتر از ۰٫۵، اجماع قابل‌قبولی حاصل گردید و عوامل نهایی مؤثر بر مدیریت ریسک تعیین و تأیید شدند.

روش دنپ فازی

روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) امکان مدل‌سازی روابط دوطرفه بین خوشه‌ها و درون خوشه‌ها را فراهم می‌کند، در حالی که روش دیمتل با مقایسه زوجی و قضاوت خبرگان، روابط علی- معلولی بین معیارها را شناسایی می‌کند. نمودار دیمتل شدت اهمیت و نقش علت یا معلول هر معیار را نشان می‌دهد. با ترکیب ANP و DEMATEL، وابستگی دوطرفه معیارها در نظر گرفته شده و وزن‌ها با استفاده از ماتریس کامل دیمتل محاسبه می‌شوند. این ترکیب منجر به تعیین دقیق‌تر وزن معیارها و بازتاب واقعی تعاملات بین آن‌ها می‌شود (۲۳).اعداد فازی در این مطالعه براساس جدول ۲ درنظر گرفته شده اند.مراحل اجرای این روش به شرح ذیل می باشد(۲۶):

۱- در این مرحله، ماتریس ارتباط مستقیم D با استفاده از ارزیابی خبرگان از میزان تأثیر معیار i بر معیار j تشکیل شد و میانگین حسابی نظرات تمامی خبرگان مطابق رابطه (۱) محاسبه گردید.

$$z = \frac{x^1 \oplus x^2 \oplus x^3 \oplus \dots \oplus x^p}{p} \qquad (۱)$$

در این فرمول P تعداد خبرگان و x^1و x^2و x^3 به ترتیب ماتریس مقایسه زوجی خبره۱ ،خبره ۲و خبره p می باشد و عدد فازی مثلثی به صورت $Z_{ij} = (\acute{l}_{ij}, \acute{m}_{ij}, \acute{u}_{ij})$ است.

۲-ماتریس ارتباط مستقیم به دست آمده در مرحله قبل با استفاده از فرمول‌های (۲) و (۳) نرمال‌سازی شده و به‌عنوان ماتریس H استفاده گردید.

$$\widetilde{H}_{ij} = \frac{z_{ij}}{r} = \left[\frac{\acute{l}_{ij}}{r}, \frac{\acute{m}_{ij}}{r}, \frac{\acute{u}_{ij}}{r}\right] = (\acute{l}_{ij}, \acute{m}_{ij}, \acute{u}_{ij}) \qquad (۲)$$

که r از رابطه زیر به دست می آید:

$$r = max_1 \le i \le n \left(\sum_{i=1}^{n} \acute{u}_{ij} \sum_{i=1}^{n} u_{i\acute{j}} \right) \quad (۳)$$

۳- پس از نرمال‌سازی، ماتریس روابط کامل فازی TC با استفاده از فرمول‌های (۴) تا (۷) محاسبه شد.

$$T = \left(\tilde{H}^1 \oplus \tilde{H}^2 \oplus \ldots \oplus \tilde{H}^K \right) \quad (۴)$$

که هر درایه آن عدد فازی به صورت $t_{ij} = (l^t{}_{ij}, m^t{}_{ij}, u^t{}_{ij})$ است و به صورت زیر محاسبه گردید

$$\left[l^t{}_{ij} \right] = (H_I \times I - H_I)^{-1} \quad (۵)$$

$$\left[m^t{}_{ij} \right] = (H_m \times I - H_m)^{-1} \quad (۶)$$

$$\left[u^t{}_{ij} \right] = (H_u \times I - H_u)^{-1} \quad (۷)$$

Hدر این فرمول ها Iماتریس یکه و H_I, H_m, H_u ، و هرکدام ماتریس $n \times n$ هستند که درایه های آن را به ترتیب عدد پایین ،عدد میانی و عدد بالایی اعداد فازی مثلثی ماتریس H تشکیل می دهد.

۴- محاسبه ماتر یس ارتباط کامل ابعاد- نخست ماتریس T_D را از ماتریس ارتباط کامل معیارها T_C استخراج شدد. بدین جهت هر درایه ماتریس T_D به شرح زیر قابل محاسبه گردید.

هر درایه ماتریس T_D را اگر t_{ij} بدانیم، هر T_C^{ij} از میانگین هر از میانگین هر T_C^{ij} حاصل می گردد.

۵-محاسبه شدت و جهت تاثیر-مطابق با رابطه (۸) و(۹) میزان شاخص riو cjمحاسبه شد. شاخص ri بیانگر مجموع سطر ith و شاخص cj بیانگر مجموع ستون jth از ماتریس Tc با توجه به بعد مربوطه میباشد. شاخص Ri بیانگر مجموع سطر ith و شاخص Cj بیانگر مجموع ستون jth از ماتریس TD می باشد. جهت ترسیم و تحلیل نمودار نیاز به ۲ شاخص شدت اثرگذاری و اثرپذیری و جهت تاثیرداشتیم که با استفاده از ri و cj به دست آورده شد. برای هر$i=j$ خواهیم داشت:

$$\tilde{D} = \left(\tilde{D}_i \right)_{n\times 1} = \left[\sum_{j=1}^{n} T_{ij} \right]_{n\times 1} \quad (۸)$$

$$R = \left(R_i \right)_{n\times 1} = \left[\sum_{j=1}^{n} T_{ij} \right]_{1\times n} \quad (۹)$$

که R و D به ترتیب ماتریس $n\times 1$ و $1\times n$ هستند

مرحله بعدی میزان اهمیت شاخص ها $(\tilde{D}_i + R_i)$ و رابطه بین معیارها $(\tilde{D}_i - R_i)$ مشخص گردید. اگر $\tilde{D}_i - R_i > 0$.باشد معیارمربوطه اثرگذار و اگر $\tilde{D}_i - R_i < 0$ ۰باشد معیار مربوطه اثرپذیر بود.

$r_i + d_j$=شدت اثرگذاری و اثر پذیری(به عبارت دیگر هرچه مقدار $r_i + d_j$، عاملی بیشتر باشد،آن عامل تعامل بیشتری با سایر عوامل سیستم دارد.)

$r_i - d_j$=جهت تاثیرگذاری یا تاثیر پذیری (بدین صورت که اگر $r_i - d_{j>}$. بود معیار مربوطه علت و اگر $r_i - d_{j<}$.معیار مربوطه معلول در نظر گرفته شد.)

۶- ترسیم نقشه روابط شبکه_جهت تعیین نقشه روابط شبکه ارزش آستانه محاسبه شد. با این روش میتوان از روابط جزئی صرف نظر کرده و شبکه روابط قابل اعتنا را ترسیم کرد. تنها روابطی که مقادیر آنها در ماتریس TC و TD از مقدار آستانه بزرگتر شد در NRM نمایش داده شد. برای محاسبه مقدار آستانه روابط،کافی است تا با استفاده ازنظر خبرگان و یا میانگین مقادیر، برای هر T_C^{ij} (T_C^{ij}در ماتریسTC)و همچنین میانگین مقادیر ماتریس TD (برای ترسیم نقشه روابط ابعاد)محاسبه شد. بعدازآن که شدت آستانه تعیین شد، تمامی مقادیری که کوچکتر از آستانه باشد صفر شدند یعنی آن رابطه علی، در نظر گرفته نمی شود. بدین منظور ماتریس ارتباط کامل ابعاد و معیارها با استفاده از رابطه ۱۰فازی زدایی گردید.

$$defuzzy = \frac{((u-1)+(m-1))}{3} + l \quad (۱۰)$$

۷-نرمالسازی ماتریس ارتباط کامل ابعاد (T_D^{∞}) _(T_D^{∞})با توجه به رابطه ۱۱ اقدام به نرمالسازی ماتریس TDگردید، به این طریق که مجموع هر سطر از ماتریس را با توجه به بعد مربوطه محاسبه، سپس عنصر هر سطر را بر مجموع عناصر همان سطر تقسیم شده و در پایان جای سطر و ستون ا عوض گردید.

(۱۱)

$$T_D=\begin{bmatrix} t_{11}^{D_{11}} & \cdots & t_{1j}^{D_{ij}} & \cdots & t_{1m}^{D_{1m}} \\ \vdots & & \vdots & & \\ t_{i1}^{D_{i1}} & \cdots & t_{ij}^{D_{ij}} & \cdots & t_{im}^{D_{im}} \\ \vdots & & \vdots & & \\ t_{m1}^{D_{m1}} & \cdots & t_{mj}^{D_{mj}} & \cdots & t_{mm}^{D_{mm}} \end{bmatrix} \Rightarrow$$

$$\begin{cases} d_1=\sum_{j=1}^{m} t_{1j}^{D_{1j}} \\ d_i=\sum_{j=1}^{m} t_{ij}^{D_{ij}}, \quad id_1=\sum_{j=1}^{m} t_{ij}^{D_{ij}}=1,\dots,m, \\ d_m=\sum_{j=1}^{m} t_{mj}^{D_{mj}} \end{cases}$$

$$T_D=\begin{bmatrix} t_{11}^{D_{11}}/d_1 & \cdots & t_{1j}^{D_{ij}}/d_1 & \cdots & t_{1m}^{D_{1m}}/d_1 \\ \vdots & & \vdots & & \\ t_{i1}^{D_{i1}}/d_i & \cdots & t_{11}^{D_{ij}}/d_i & \cdots & t_{im}^{D_{im}}/d_i \\ \vdots & & \vdots & & \\ t_{m1}^{D_{m1}}/d_m & \cdots & t_{mj}^{D_{mj}}/d_m & \cdots & t_{mm}^{D_{mm}}/d_m \end{bmatrix}$$

$$=\begin{bmatrix} t_{11D}^{a_{11}} & \cdots & t_{D}^{a_{ij}} & \cdots & t_{D}^{a_{1m}} \\ \vdots & & \vdots & & \\ t_{D}^{a_{i1}} & \cdots & t_{D}^{a_{ij}} & \cdots & t_{D}^{a_{im}} \\ \vdots & & \vdots & & \\ t_{D}^{a_{m1}} & \cdots & t_{D}^{a_{mj}} & \cdots & t_{D}^{a_{mm}} \end{bmatrix}$$

۸- نرمالسازی ماتر یس ارتباط کامل معیارها (T_C^{∞}) و تشکیل سوپرماتر یس ناموزون _ماتریس Tcرا با استفاده از رابطه ۱۲تا رابطه۱۴ نرمال گردید؛ به این طریق که در این گام مجموع هر سطر T_C^{ij} را با توجه به بعد مربوطه محاسبه و سپس در هر T_C^{ij}، هر عنصربر مجموع عناصر سطر مربوط به خود تقسیم میگردد. برای مثال اگر هر T_C^{∞} را شامل مجموعه ای از $T_C^{\infty ij}$ بدانیم، از نرمال سازی T_C^{11} به دست می آید. با ترانسپوز ماتریس T_C^{∞}، سوپر ماتریس ناموزون حاصل می شود:

(۱۲-۱۴)

$$\begin{array}{cc} & \begin{matrix} D_1 & & D_j & & D_n \\ c_{11}\cdots c_{1m_1} & \cdots & c_{j1}\cdots c_{jmj} & \cdots & c_{n1}\cdots c_{nm_n} \end{matrix} \\ \begin{matrix} D_1 \\ \vdots \\ \\ D_i \\ \\ \vdots \\ \\ D_n \end{matrix} & \begin{matrix} c_{11} \\ c_{12} \\ \vdots \\ c_{1m_1} \\ \vdots \\ ci1 \\ ci2 \\ \vdots \\ c_{im_i} \\ \vdots \\ c_{n1} \\ cn2 \\ \vdots \\ c_{nm_n} \end{matrix} \end{array} T_c^{\,a}=\begin{bmatrix} t_{11}^{D_{11}}/d_1 & \cdots & t_{1j}^{D_{ij}}/d_1 & \cdots & t_{1m}^{D_{1m}}/d_1 \\ \vdots & & \vdots & & \\ t_{i1}^{D_{i1}}/d_i & \cdots & t_{11}^{D_{ij}}/d_i & \cdots & t_{im}^{D_{im}}/d_i \\ \vdots & & \vdots & & \\ t_{m1}^{D_{m1}}/d_m & \cdots & t_{mj}^{D_{mj}}/d_m & \cdots & t_{mm}^{D_{mm}}/d_m \end{bmatrix}$$

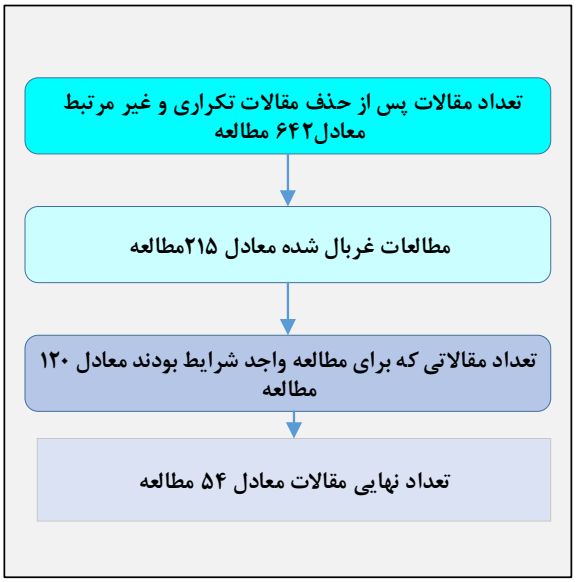
$$id_{ci}^{\,11}=\sum_{j=1}^{m_1} t_{cij}^{11}=1,2\dots,m$$

$$\begin{array}{cc} & \begin{matrix} D_1 & & D_j & & D_n \\ c_{11}\cdots c_{1m_1} & \cdots & c_{j1}\cdots c_{jmj} & \cdots & c_{n1}\cdots c_{nm_n} \end{matrix} \\ \begin{matrix} D_1 \\ \vdots \\ \\ D_i \\ \\ \vdots \\ \\ D_n \end{matrix} & \begin{matrix} c_{11} \\ c_{12} \\ \vdots \\ c_{1m_1} \\ \vdots \\ ci1 \\ ci2 \\ \vdots \\ c_{im_i} \\ \vdots \\ c_{n1} \\ cn2 \\ \vdots \\ c_{nm_n} \end{matrix} \end{array} T_c^{\,a}=\begin{bmatrix} t_{11}^{D_{11}}/d_1 & \cdots & t_{1j}^{D_{ij}}/d_1 & \cdots & t_{1m}^{D_{1m}}/d_1 \\ \vdots & & \vdots & & \\ t_{i1}^{D_{i1}}/d_i & \cdots & t_{11}^{D_{ij}}/d_i & \cdots & t_{im}^{D_{im}}/d_i \\ \vdots & & \vdots & & \\ t_{m1}^{D_{m1}}/d_m & \cdots & t_{mj}^{D_{mj}}/d_m & \cdots & t_{mm}^{D_{mm}}/d_m \end{bmatrix}$$

$$=\begin{bmatrix} t_{c1}^{\propto_{11}} & \cdots & t_{c1j}^{\propto_{11}} & \cdots & t_{c1m1}^{\propto_{11}} \\ \vdots & & \vdots & & \\ t_{ci1}^{\propto_{11}} & \cdots & t_{cij}^{\propto_{11}} & \cdots & t_{cim1}^{\propto_{11}} \\ \vdots & & \vdots & & \\ t_{cm11}^{\propto_{11}} & \cdots & t_{cm1j}^{\propto_{11}} & \cdots & t_{cm1m1}^{\propto_{11}} \end{bmatrix}$$

۹- تشکیل سوپرماتر یس موزون -در این مرحله ماتریس T_D^{∞} در ماتریس Wضرب گردید. به این طریق که هر $T_D^{\infty ij}$ در نظیر W_{ij} ضرب می شود.

۱۰- سوپرماتریس موزون تا توان‌های متوالی (اعداد فرد) افزایش داده می‌شود تا عناصر هر سطر به همگرایی



شکل ۲: خلاصه فرایند بررسی متون

برسند و سوپرماتریس حدی حاصل شود.

تحلیل حساسیت

تحلیل حساسیت با اجرای پنج سناریوی سیستماتیک شامل: افزایش ۱۰ درصدی مقادیر تأثیرگذاری عوامل اثرگذار، کاهش ۱۵ درصدی مقادیر تأثیرپذیری عوامل اثرپذیر، تغییرات ۲۰ درصدی در حساس ترین عامل، حذف کامل عوامل کلیدی، و اعمال نویز تصادفی ±۵ درصد بر کلیه پارامترها انجام شد تا پایداری ساختاری مدل و قابلیت اطمینان نتایج ارزیابی گردد.

یافته ها

عوامل نهایی مؤثر بر مدیریت ریسک ایمنی

در این پژوهش، پس از انجام جستجوی اولیه و حذف مقالات تکراری و غیرمرتبط، تعداد ۶۴۲ مطالعه باقی ماند. در مرحله غربال‌گری بر اساس عنوان و چکیده، این تعداد به ۲۱۵ مطالعه کاهش یافت. سپس، با بررسی دقیق‌تر معیارهای ورود، تعداد مقالات واجد شرایط برای مطالعه کامل به ۱۲۰ مقاله رسید. نهایتاً پس از ارزیابی متن کامل و اعمال معیارهای خروج، تعداد نهایی مقالات مورد استفاده در تحلیل برابر با ۵۴ مطالعه تعیین شد.

برای استخراج عوامل مؤثر، از روش کدگذاری باز (open coding) استفاده گردید؛ روشی که در آن عوامل بدون هیچ محدودیت از پیش تعیین‌شده نام‌گذاری و دسته‌بندی می‌شوند. در مجموع، 54 مقاله مرتبط به‌طور ویژه برای شناسایی عوامل موثر بر مدیریت ریسک بررسی شدند. این رویکرد موجب شد تا مجموعه‌ای جامع از عوامل مؤثر شناسایی شود و مبنای تحلیل‌های بعدی قرار گیرد. در نهایت ازبین عوامل استخراج شده ۲۳ عامل نهایی انتخاب و وارد تکنیک دلفی شدند.خلاصه فرایند بررسی نظام مند متون در شکل۲ نمایش داده شده است

نتایج روش دلفی

پنل خبرگان انتخاب شده برای این مرحله از پژوهش شامل ۱۲ نفر از افراد دانشگاهی و کارشناسان صنعتی بودند که در زمینه ایمنی فرآیند و HSE در حوزه صنایع فرایندی تخصص دارند. میانگین سنی کارشناسان ۲,۱۴± ۴۵,۸۲ سال و میانگین سابقه کار ۱,۸۶ ± ۱۲,۵۷سال بود. مطالعه دلفی سه دور اعمال شد. نتایج نشان داد که میزان همگرایی نظرات در طول سه مرحله به‌طور پیوسته افزایش

یافت. مقدار ضریب قابلیت اطمینان (Alpha s'Cronbach) برابر با ۰٫۸۲۵ و مقدار ثابت کندال (W s'Kendall) برابر با ۰٫۶۲۵ به دست آمد که بیانگر هماهنگی نسبتاً بالا و اجماع قابل‌قبول میان خبرگان است. جدول ۳ و ۴ نتایج نهایی شناسایی عوامل موثر بر مدیریت ریسک در صنایع فرایندی را بر اساس سه دورتکنیک دلفی نشان می دهد.

جدول۳: نتایج نهایی سه دور تکنیک دلفی

ردیف	مرحله اول دلفی	میانگین	مرحله دوم دلفی	میانگین	مرحله سوم دلفی	میانگین
۱	تعهد مدیریت	۴/۲۵	تعهد مدیریت	۴/۲۵	تعهد مدیریت	۴/۲۵
۲	هزینه پروژه	۲/۷۸	مشارکت و ارتباطات	۳/۸۴	مشارکت و ارتباطات	۳/۸۴
۳	مشارکت و ارتباطات	۳/۸۴	فرهنگ و جو ایمنی	۴/۱۲	فرهنگ و جو ایمنی	۴/۱۲
۴	فرهنگ و جو ایمنی	۴/۱۲	درک و آگاهی، مهارت و شایستگی	۳/۹۷	درک و آگاهی، مهارت و شایستگی	۳/۹۷
۵	درک و آگاهی، مهارت و شایستگی	۳/۹۷	مشارکت پیمانکاران و ذی‌نفعان	۴/۲۱	مشارکت پیمانکاران و ذی‌نفعان	۴/۲۱
۶	مشارکت پیمانکاران و ذی‌نفعان	۴/۲۱	رویه‌ها و قوانین	۳/۱۴	رویه‌ها و قوانین	۳/۱۴
۷	رویه‌ها و قوانین	۳/۱۴	گزارش و تجزیه‌وتحلیل رویداد	۳/۵۶	گزارش و تجزیه‌وتحلیل رویداد	۳/۵۶
۸	گزارش و تجزیه‌وتحلیل رویداد	۳/۵۶	اجرا و پیگیری ممیزی‌ها	۳/۹۴	اجرا و پیگیری ممیزی‌ها	۳/۹۴
۹	اجرا و پیگیری ممیزی‌ها	۳/۹۴	برنامه‌های تشویقی و تنبیهی	۴/۰۶	برنامه‌های تشویقی و تنبیهی	۴/۰۶
۱۰	برنامه‌های تشویقی و تنبیهی	۴/۰۶	دردسترس‌بودن منابع مالی	۴/۲۵	دردسترس‌بودن منابع مالی	۴/۲۵
۱۱	دردسترس‌بودن منابع مالی	۴/۱۵	تعمیر و نگهداری	۳/۵۸	تعمیر و نگهداری	۳/۵۸
۱۲	تعمیر و نگهداری	۳/۵۸	مسائل فنی و تکنولوژی	۴/۳۲	مسائل فنی و تکنولوژی	۴/۳۲
۱۳	مسائل فنی و تکنولوژی	۴/۳۲	آموزش و تربیت	۴/۲۱	آموزش و تربیت	۴/۲۱
۱۴	مقابله با پیچیدگی	۲/۴۶	سازماندهی مسئولیت‌ها	۳/۷۴	سازماندهی مسئولیت‌ها	۳/۷۴
۱۵	آموزش و تربیت	۴/۲۱	پیچیدگی/انعطاف‌پذیری	۳/۸۲	پیچیدگی/انعطاف‌پذیری	۳/۸۲
۱۶	سازماندهی مسئولیت‌ها	۳/۷۴	ایمنی در مقابل بهره‌وری	۳/۱۶	ایمنی در مقابل بهره‌وری	۳/۱۶
۱۷	پیچیدگی/انعطاف‌پذیری	۳/۸۲	نظارت/بازرسی	۳/۶۹	نظارت/بازرسی	۳/۶۹
۱۸	ایمنی در مقابل بهره‌وری	۳/۱۶	ایمنی فر آیند در مقابل ایمنی شغلی	۳/۸۴	ایمنی فرایند در مقابل ایمنی شغلی	۳/۸۴
۱۹	نظارت/بازرسی	۳/۶۹	ارزیابی ریسک و خطرات	۳/۷۴	ارزیابی ریسک و خطرات	۳/۷۴
۲۰	ایمنی فر آیند در مقابل ایمنی شغلی	۳/۸۴	مبارزه با عادی‌سازی انحراف	۳/۵۴	مبارزه با عادی‌سازی انحراف	۳/۵۴
۲۱	ارزیابی ریسک و خطرات	۳/۷۴	ایجاد نقش مستقل و غیرقابل‌انکار برای ایمنی	۲/۸۴	**قابلیت اطمینان = ۰/۸۲۵ ثابت کندال = ۰/۶۲۵**	
۲۲	مبارزه با عادی‌سازی انحراف	۳/۵۴				
۲۳	ایجاد نقش مستقل و غیرقابل‌انکار برای ایمنی	۳/۱۲				

جدول٤: عوامل نهایی موثر بر مدیریت ریسک

عوامل موثر بر ریسک	منبع	کد
تعهد مدیریت	(۱۶, ۲۷-۲۹)	C۱
مشارکت و ارتباطات	(۳۰-۳۳)	C۲
فرهنگ و جو ایمنی	(۳۴-۳۸)	C۳
درک و آگاهی، مهارت و شایستگی	(۳۹-۴۱)	C۴
مشارکت پیمانکاران و ذینفعان	(۴۲-۴۵)	C۵
رویه ها و قوانین	(۴۶-۴۸)	C۶
گزارش و تجزیه و تحلیل رویداد	(۴۹-۵۱)	C۷
اجرا و پیگیری ممیزی ها	(۵۲-۵۴)	C۸
برنامه ها ی تشویقی و تنبیهی	(۵۵-۵۷)	C۹
هزینه پروژه در دسترس بودن منابع مالی	(۵۸-۶۰)	C۱۰
تعمیر و نگهداری	(۶۱, ۶۲)	C۱۱
مسائل فنی و تکنولوژی	(۶۳, ۶۴)	C۱۲
آموزش و تربیت	(۶۵-۶۷)	C۱۳
سازماندهی مسئولیت ها	(۶۸, ۶۹)	C۱۴
پیچیدگی /انعطاف پذیری	(۷۰)	C۱۵
ایمنی در مقابل بهره وری	(۷۱, ۷۲)	C۱۶
نظارت/بازرسی	(۷۳, ۷۴)	C۱۷
ایمنی فرآیند در مقابل ایمنی شغلی	(۷۵, ۷۶)	C۱۸
ارزیابی ریسک و خطرات	(۷۷, ۷۸)	C۱۹
مبارزه با عادی سازی انحراف	(۷۹, ۸۰)	C۲۰

نتایج روش دنپ فازی

نتایج دیمتل فازی

روش دیمتل فازی برای تأیید روابط داخلی میان عوامل به کار گرفته شد. تأثیر هر عامل بر سایر عوامل توسط خبرگان تعیین شد و پس از تجمیع نظرات ۱۳ خبره، ماتریس روابط مستقیم فازی برای عوامل مهم ایجاد گردید. جدول۵ میانگین حد پایین، حد میانی و حد بالا اعداد فازی مثلثی حاصل از نظرات خبرگان را نشان می‌دهند که برای مدیریت عدم قطعیت و ابهام در پاسخ‌های خبرگان به کار رفته است.

در مراحل بعدی روش فازی DEMATEL، ابتدا ماتریس روابط مستقیم فازی نرمال‌سازی‌شده تشکیل شد و سپس ماتریس روابط کل $\tilde{T}$ به دست آمد. مجموع عناصر سطر و ستون این ماتریس برای عوامل اصلی محاسبه شد و به ترتیب به عنوان بردار $\tilde{D}$ (تأثیرگذاری) و $\tilde{R}$ (تأثیرپذیری) نام‌گذاری گردید. در نهایت میزان تعامل عوامل($\tilde{D}_i + R_i$) و رابطه میان عوامل یا میزان اثرگذاری و اثرپذیری خالص ($\tilde{D}_i - R_i$) مشخص شد. عواملی که دارای $\tilde{D}_i - R_i$ مثبت باشند تأثیرگذار (علت) و عواملی که $\tilde{D}_i - R_i$ منفی داشته باشند، تأثیرپذیر (معلول) هستند. نتیجه محاسبات در جدول شماره ۶آمده است.

براساس جدول۶ و شکل۳در میان عوامل اصلی، آموزش و تربیت (C13) با مقدار(D - R = 0.366) و تعهد مدیریت (C1) با مقدار(D - R = 0.292) ، به‌عنوان اثرگذارترین و علّی‌ترین عوامل شناخته شدند. این عوامل نقش هدایت‌گر در سیستم مدیریت ریسک ایمنی داشته و بیشترین قدرت تأثیرگذاری را با کمترین میزان وابستگی به سایر عوامل دارند. در مقابل، مشارکت

جدول ۵ : میانگین نظرات خبرگان در روش دیمتل فازی

میانگین نظرات	C1			C2			C3			C4			...	C17			C18			C19			C20		
C1	0.00	0.00	0.00	8.08	7.33	7.83	6.33	7.83	7.17	7.17	6.17	7.17		5.83	7.58	6.67	5.67	7.92	7.00	6.00	7.83	7.00	5.83	6.67	6.00
C2	5.17	4.33	3.42	0.00	0.00	0.00	6.17	5.50	6.42	4.50	5.50	6.17		2.67	5.58	4.67	3.67	4.75	3.50	3.00	6.67	6.67	5.67	5.83	5.00
C3	7.83	7.00	6.00	6.75	7.67	8.00	6.67	8.17	7.83	6.83	8.00	7.67		6.00	7.50	6.67	5.67	8.17	7.83	6.83	8.00	8.00	7.67	8.00	7.73
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
C17	4.92	4.00	3.08	5.00	4.17	4.83	3.25	6.75	5.83	4.92	6.08	5.33		4.00	0.00	0.00	0.00	4.17	3.33	4.33	5.00	4.33	3.33	3.83	6.00
C18	5.00	10.42	3.58	4.83	4.00	3.08	5.00	5.00	4.17	3.25	3.50	3.17		3.67	5.42	4.50	3.50	0.00	0.00	0.00	7.08	6.33	5.33	6.25	5.33
C19	6.08	5.17	4.25	7.50	6.67	5.67	8.08	7.83	6.83	6.17	5.33	4.33		4.33	6.83	6.00	5.00	5.58	4.67	3.67	0.00	0.00	0.00	6.75	5.83
C20	4.83	4.00	3.08	5.67	4.83	3.83	7.25	6.75	6.33	5.33	3.33	2.83		2.33	4.92	4.00	3.08	3.50	3.00	2.50	5.33	5.33	4.33	0.00	0.00

جدول٦: مقادیر D اثرگذاری، مقادیر R اثرپذیری،اهمیتD+R،اثرگذاری/اثرپذیری خالصD-R

عوامل	کد	فازیR			فازیD			D	R	D+R	D-R	نتیجه
تعهد مدیریت	C1	1.003	0.666	0.396	1.384	0.941	0.616	0.980	0.688	1.669	0.292	اثرگذار
مشارکت و ارتباطات	C2	1.170	0.763	0.485	1.035	0.661	0.412	0.703	0.806	1.508	-0.103	اثرپذیر
فرهنگ و جو ایمنی	C3	1.185	0.770	0.487	1.372	0.936	0.614	0.974	0.814	1.788	0.160	اثرگذار
درک و آگاهی، مهارت و شایستگی	C4	1.037	0.673	0.435	0.920	0.580	0.356	0.619	0.715	1.334	-0.096	اثرپذیر
مشارکت پیمانکاران و ذینفعان	C5	1.127	0.725	0.458	0.836	0.526	0.322	0.561	0.770	1.331	-0.209	اثرپذیرت رین
رویه ها و قوانین	C6	1.071	0.701	0.453	1.290	0.856	0.554	0.900	0.742	1.642	0.158	اثرگذار
گزارش و تجزیه و تحلیل رویداد	C7	1.106	0.730	0.470	1.092	0.694	0.430	0.739	0.768	1.507	-0.030	اثرپذیر
اجرا و پیگ یری ممیزی ها	C8	1.104	0.722	0.464	0.874	0.556	0.344	0.591	0.763	1.355	-0.172	اثرپذیر
برنامه ها ی تشویقی و تنب یهی	C9	1.225	0.785	0.488	1.184	0.728	0.434	0.782	0.832	1.615	-0.050	اثرپذیر
هزینه پروژه در دسترس بودن منابع مالی	C10	1.131	0.724	0.451	1.123	0.707	0.439	0.756	0.769	1.525	-0.012	اثرپذیر
تعمیر و نگهداری	C11	1.503	0.956	0.598	1.219	0.767	0.478	0.821	1.019	1.840	-0.198	اثرپذیر
مسائل فنی و تکنولوژی	C12	1.494	0.962	0.613	1.470	0.943	0.603	1.005	1.023	2.028	-0.017	اثرپذیر
آموزش و تربیت	C13	1.332	0.835	0.504	1.806	1.192	0.770	1.256	0.890	2.146	0.366	اثرگذارت رین
سازماندهی مسئولیت ها	C14	1.378	0.835	0.512	1.363	0.838	0.507	0.903	0.909	1.811	-0.006	اثرپذیر
پیچیدگی/انعطاف پذیری	C15	1.213	0.756	0.461	1.163	0.735	0.461	0.787	0.810	1.597	-0.023	اثرپذیر
ایمنی در مقابل بهره وری	C16	1.490	0.945	0.587	1.278	0.807	0.502	0.862	1.007	1.870	-0.145	اثرپذیر
نظارت/بازرسی	C17	1.383	0.870	0.533	1.528	0.975	0.617	1.040	0.929	1.969	0.111	اثر گذار
ایمنی فرآیند در مقابل ایمنی شغلی	C18	1.402	0.892	0.556	1.360	0.889	0.521	0.923	0.950	1.873	-0.027	اثرپذیر
ارزیابی ریسک و خطرات	C19	1.448	0.940	0.591	1.649	1.057	0.667	1.125	0.993	2.117	0.132	اثرگذار
مبارزه با عادی سازی انحراف	C20	1.421	0.920	0.578	1.276	0.784	0.472	0.844	0.973	1.817	-0.129	اثرپذیر

پیمانکاران و ذینفعان (C5) با مقدار(D – R = -0.209) و تعمیر و نگهداری (C11) با مقدار(D – R = -0.198) به‌عنوان اثرپذیرترین عوامل شناسایی شدند. این عوامل بیشتر تحت تأثیر سایر متغیرها قرار دارند و قدرت هدایت کمتری در سیستم دارند.

علاوه بر این، عواملی نظیر مسائل فنی و تکنولوژی (C12)و ارزیابی ریسک و خطرات (C19) با مقادیر بالای (D + R)نشان دادند که به‌دلیل تعامل گسترده با سایر عوامل، از اهمیت کلی بالایی برخوردارند و باید به‌طور ویژه در مدیریت مورد توجه قرار گیرند. همچنین، عواملی با مقادیر (D – R) نزدیک به صفر، مانند سازماندهی مسئولیت‌ها(C14) ، به‌عنوان عوامل نسبتاً پایدار در سیستم تلقی شده و هم‌زمان هم اثرگذار و هم اثرپذیرند.

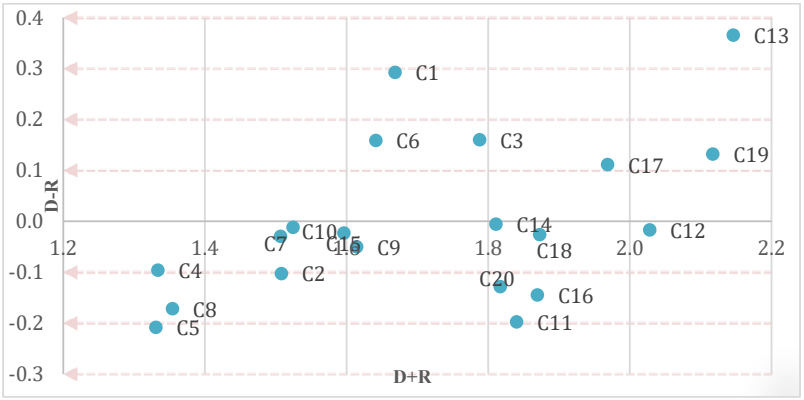
بر اساس نمودار شبکه روابط (شکل ۴)، تراکم بالای ارتباطات میان عوامل نشان داد که تغییر یا اصلاح هر عامل می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر سایر عوامل داشته باشد. به‌ویژه، عواملی که بیشترین تعداد پیکان‌های ورودی و خروجی را دارند، مانند آموزش و تربیت کارکنان، باید در اولویت مداخلات مدیریتی قرار گیرند.

نتایج تحلیل شبکه ای فازی

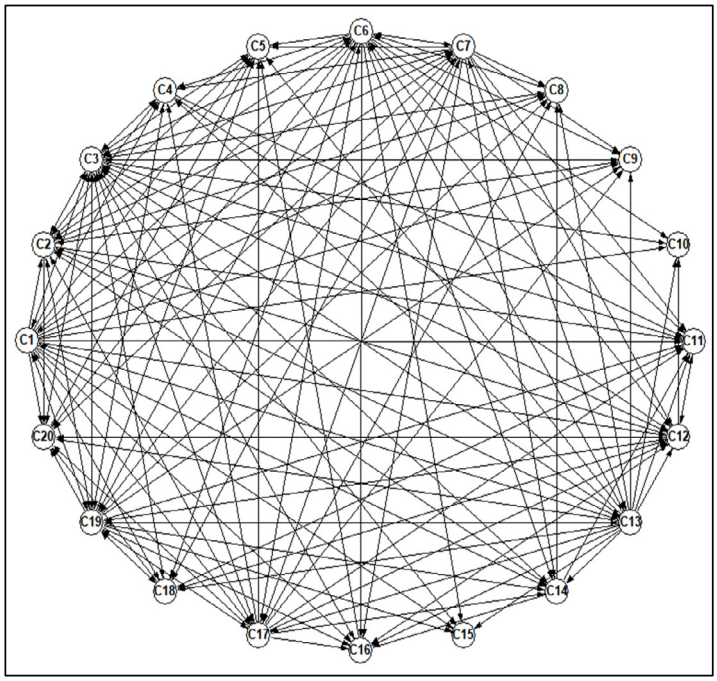
در این مرحله، با به‌کارگیری روش تحلیل شبکه ای فازی و استفاده از ماتریس روابط کلی دیمتل، وزن نهایی عوامل از طریق تشکیل و همگرایی سوپرماتریس حدی محاسبه شد(جدول ۷). براساس جدول نهایی۸ و شکل ۵ عامل «فرهنگ و جو ایمنی» با وزن ۰/۰۵۸ در رتبه نخست قرار گرفت. پس از آن، عوامل «مشارکت و ارتباطات»، «مشارکت پیمانکاران و ذینفعان» و «ارزیابی ریسک و خطرات» به ترتیب در اولویت‌های دوم تا چهارم قرار دارند

نتایج تحلیلی حساسیت

یافته‌ها براساس جدول ۹ نشان داد سیستم از پایداری



شکل ۳ : نمودار NRM، روابط بین عوامل مؤثر بر مدیریت ریسک



شکل ٤ : نمودار شماتیک روابط بین عوامل مؤثر بر مدیریت ریسک

مطلوبی برخوردار است به‌طوری که پنج عامل برتر در کلیه سناریوها موقعیت خود را حفظ نمودند. عامل ۱۳C (آموزش و تربیت) به عنوان حساسترین عامل شناسایی شد که تغییرات ۲۰ درصدی در آن موجب جابجایی رتبه و تعدیل دسته‌بندی علت-معلولی گردید. ساختار کلی مدل در برابر تغییرات کوچک و متوسط مقاوم بود و امتیاز پایداری ۸/۸۵ از ۱۰ محاسبه شد که نشان‌دهنده قابلیت اعتماد مناسب برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی است.

بحث

این مطالعه با هدف بهبود عملکرد ایمنی و مدیریت ریسک در واحدهای فرایندی، یک مدل تصمیم‌گیری

جدول ۷: سوپر ماتریس حدی پس از همگرایی در توان ۵

سوپر ماتریس حدی	C1	C2	C3	C4	...	C18	C19	C20
C1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
C2	0.05	0.06	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06	0.06
C3	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
...	...	...	...	...	...	...	...	...
C17	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
C18	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
C19	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
C20	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

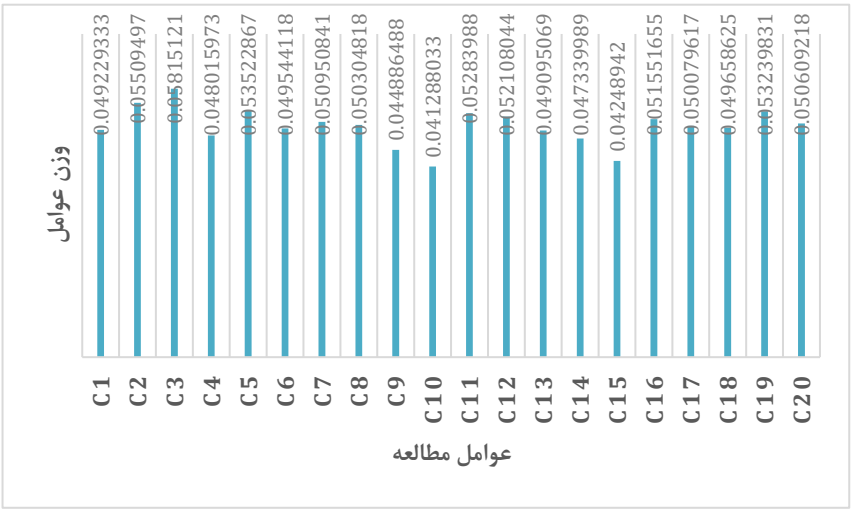
جدول۸: رتبه بندی عوامل موثر بر مدیریت ریسک بر اساس روش دنپ

عامل	کد	رتبه	وزن نهایی
فرهنگ و جو ایمنی	C3	۱	۰/۰۵۸۱
مشارکت و ارتباطات	C2	۲	۰/۰۵۵۰
مشارکت پیمانکاران و ذینفعان	C5	۳	۰/۰۵۳۵
ارزیابی ریسک و خطرات	C19	۴	۰/۰۵۳۳
تعمیر و نگهداری	C11	۵	۰/۰۵۲۸
مسائل فنی و تکنولوژی	C12	۶	۰/۰۵۲۱
ایمنی در مقابل بهره‌وری	C16	۷	۰/۰۵۱۵
گزارش و تجزیه و تحلیل رویداد	C7	۸	۰/۰۵۰۹
مقابله با عادی‌سازی انحراف	C20	۹	۰/۰۵۰۶
اجرا و پیگیری ممیزی‌ها	C8	۱۰	۰/۰۵۰۳
نظارت / بازرسی	C17	۱۱	۰/۰۵۰۰
ایمنی فرآیند در مقابل ایمنی شغلی	C18	۱۲	۰/۰۴۹۶
رویه‌ها و قوانین	C6	۱۳	۰/۰۴۹۵
تعهد مدیریت	C1	۱۴	۰/۰۴۹۲
آموزش و تربیت	C13	۱۵	۰/۰۴۸۱
درک و آگاهی، مهارت و شایستگی	C4	۱۶	۰/۰۴۸۰
سازماندهی مسئولیت‌ها	C14	۱۷	۰/۰۴۷۳
برنامه‌های تشویقی و تنبیهی	C9	۱۸	۰/۰۴۴۸
پیچیدگی / انعطاف‌پذیری	C15	۱۹	۰/۰۴۲۴
هزینه پروژه و در دسترس بودن منابع مالی	C10	۲۰	۰/۰۴۱۲

جدول۹: نتایج کمی تحلیل حساسیت

شاخص	مقدار	وضعیت پایداری
میانگین تغییرات رتبه‌بندی	۰/۴۵	**پایدار**
تعداد عوامل با رتبه ثابت	۱۵	**بسیار پایدار**
امتیاز پایداری کلی سیستم	۸/۸۵ از ۱۰	**خوب**
حساس‌ترین عامل	C۱۳	**نیاز به پایش مستمر**
تغییرات در دسته‌بندی علت-معلولی	۰	**کاملاً پایدار**
D+R حداکثر تغییر در	۱۲/۶٪	**قابل قبول**

چندمعیاره فازی مبتنی بر تلفیقFuzzy DEMATEL و Fuzzy ANP ارائه کرددو عامل «آموزش و تربیت» و «تعهد مدیریت» در زمره عوامل علّی قرار دارند و بیشترین نقش هدایت‌گر را در نظام ایمنی و مدیریت ریسک ایفا می‌کنند. این عوامل به دلیل برخورداری از قدرت هدایت بالا و در عین حال وابستگی اندک به سایر عوامل، به‌عنوان محرک‌های اصلی سیستم شناخته می‌شوند؛ بنابراین تمرکز اولیه بر تقویت آموزش کارکنان و ارتقای سطح تعهد مدیریت، راهبردی بنیادین برای بهبود عملکرد ایمنی محسوب می‌گردد.در مقابل، عواملی نظیر «مشارکت پیمانکاران و ذی‌نفعان» و «تعمیر و نگهداری» در دسته عوامل معلول قرار گرفته‌اند. این عوامل به شدت



شکل ۵ : نمودار وزن نهایی عوامل مؤثر بر مدیریت ریسک بر اساس روش دنپ فازی

تحت تأثیر محرک‌های علّی بوده و از قدرت هدایت پایین اما وابستگی بالا برخوردارند. به بیان دیگر، بهبود این مؤلفه‌ها در گرو ارتقای آموزش و تعهد مدیریت است؛ چرا که ارتقای سطح دانش و مهارت نیروی انسانی و پایبندی مدیریت به اصول ایمنی، زمینه‌ساز مشارکت مؤثر پیمانکاران و ذی‌نفعان و نیز بهبود فرآیندهای تعمیر و نگهداری خواهد بود. در نهایت، این تعاملات منجر به ارتقای جامع عملکرد ایمنی و کنترل ریسک در واحدهای فرایندی می‌شود.

.مطابق نظریه هنریچ، تقریباً ۸۸٪ از حوادث ناشی از رفتارهای ناایمن هستند (۱۳) که می‌توان با آموزش مناسب، افزایش آگاهی و تقویت فرهنگ و جو ایمنی سازمان، کنترل و کاهش داد. آموزش و تربیت نه‌تنها یک عامل مستقل نیست، بلکه ستون فقرات کل سیستم ایمنی و مدیریت ریسک محسوب می‌شود. این عامل با ایجاد دانش، مهارت و نگرش ایمنی، سایر مؤلفه‌ها را تحت تأثیر قرار داده و موجب هم‌افزایی در عملکرد سازمان می‌گردد. بنابراین، هرگونه راهبرد بهبود ایمنی باید در وهله نخست بر طراحی و اجرای برنامه‌های آموزشی جامع، مستمر و متناسب با نیازهای سازمان متمرکز شود. مطالعه زهیری و همکاران (۲۰۲۰) نیز نشان داد که مدیریت و نظارت ناکافی ایمنی، شرایط نامطلوب محیط کار، آموزش ناکافی و نگرش‌های نادرست کارکنان، از مهم‌ترین عوامل ایجاد رفتار ناایمن در صنایع پتروشیمی و فرایندی هستند (۱۴). در مطالعه دیگری که توسط بایرام و همکاران(۲۰۲۲) انجام شد نیز نتایج نشان می دهد مشارکت کارکنان و رفتار ایمن وابسته به اولویت‌دهی مدیریت، تدوین قوانین ایمنی و اجرای آموزش‌های جامع و منظم است (۸۱). این یافته‌ها تأکید می‌کنند که بهبود مهارت‌ها، آموزش و مشارکت کارکنان، نقش اساسی در ارتقای رفتار ایمنی و پیشگیری از حوادث دارد.

مطالعات ابوکُوایک و همکاران (۲۰۲۳) نشان داد که عوامل کلیدی مؤثر بر مدیریت ریسک شامل تعهد مدیریت عالی، ساختار سازمانی، انعطاف‌پذیری، کیفیت حسابرسی‌ها، فرهنگ سازمانی و آموزش منابع انسانی هستند (۶). این عوامل، با هم افزایی یکدیگر، زیرساختی برای اجرای مؤثر مدیریت ریسک فراهم می‌کنند. تعهد مدیریت به ایمنی و کنترل ریسک، به‌عنوان یکی از عوامل راهبردی و تعیین‌کننده در نظام‌های مدیریت ایمنی شناخته می‌شود. این تعهد نه تنها در سطح سیاست‌گذاری کلان سازمانی معنا می‌یابد، بلکه در عمل به‌عنوان محرک اصلی برای شکل‌گیری و تثبیت فرهنگ ایمنی در میان

کارکنان و پیمانکاران عمل می‌کند. مدیرانی که رویکرد پیشگیرانه و بلندمدت نسبت به مخاطرات دارند، با تخصیص منابع کافی، تدوین رویه‌های شفاف و حمایت از برنامه‌های آموزشی، زمینه مشارکت فعال ذی‌نفعان را فراهم می‌سازند.مطالعات اجسلو (۲۰۱۷) و برهان (۲۰۲۰) نشان داد که تعهد مدیریت تأثیر قابل توجهی بر کاهش ریسک و بهبود عملکرد ایمنی دارد (۱۵, ۱۶). مایکل و همکاران (۲۰۰۵) نیز بیان می‌کنند که افزایش درک کارکنان از نگرانی مدیریت نسبت به رفاه آن‌ها، نتایج مثبت فراتر از ارتقای عملکرد ایمنی ایجاد می‌کند (۸۲).سلامت (۲۰۱۸) نشان داد که تعهد مدیریت ارشد رابطه مثبت و معناداری با اجرای مدیریت ریسک دارد و این اثر تحت تأثیر فرهنگ ارزیابی ریسک تعدیل می‌شود . بنابراین، پیش از اجرای هر برنامه مدیریت ریسک، توجه ویژه به تعهد مدیریت و فرهنگ ریسک ضروری است تا موفقیت پیاده‌سازی تضمین شود (۸۳). بنابراین، تمرکز بر ارتقای سطح تعهد مدیریت، پیش‌شرطی ضروری برای دستیابی به عملکرد ایمنی پایدار و کاهش ریسک است. همچنین تعامل هم‌افزای این عوامل، یک چرخه پویا و خودتقویت‌کننده ایجاد می‌کند که به ارتقای پایدار عملکرد ایمنی و افزایش تاب‌آوری سازمانی منجر می‌شود

تعمیر و نگهداری پیشگیرانه نیز به عنوان عامل دوم اثر پذیر ، نقش کلیدی در پیشگیری از حوادث و کاهش خطرات ایمنی دارد.تعمیر و نگهداری پیشگیرانه یکی از عوامل اصلی در بحث کنترل حوادث و خطرات می باشد.انجام تعمیرات پیشگیرانه در دوره های برنامه ریزی شده دقیق و براساس چک لیست تهیه شده در بازه های زمانی تعیین شده و به دنبال آن انجام اقدامات اصلاحی تا حدود زیادی می تواند از بروز حوادث و خطرات در فرایند جلوگیری کند. امروزه نیز در بحث ایمنی دنیا به سمت کنترل خطرات پیشگیرانه نسبت به واکنشی در حال پیشرفت می باشد.حتی در این بین با ارتقا عامل نظارت و بازرسی از طریق انجام بازرسی مداوم به منظور تایید انجام تعمیرات پیشگیرانه که دربین عوامل تاثیرگذار می باشد می توان عامل تعمیر و نگهداری را نیز بهبود بخشید و همچنین خطرات را پیش از وقوع ارزیابی و کنترل و برطرف کرد. مطالعه وانگ (۲۰۲۰) نشان داد که جمع‌آوری داده‌های تجهیزات و کاربران و اجرای نگهداری پیشگیرانه به موقع، خطرات ایمنی ناشی از خرابی ناگهانی تجهیزات را به شکل مؤثری کاهش می‌دهد (۱۷). در نتیجه تقویت این عامل همراه با نظارت و بازرسی مستمر، زیرساختی پایدار برای کنترل ریسک و ارتقای عملکرد ایمنی سازمان فراهم می‌سازد.

فرهنگ و جو ایمنی به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های بنیادین نظام مدیریت ایمنی، نقشی تعیین‌کننده در شکل‌دهی نگرش‌ها و رفتارهای ایمن کارکنان ایفا می‌کند. نتایج تحلیل شبکه‌ای فازی نشان داد که این عامل با کسب بالاترین وزن (۰.۰۵۸۱۵۱) در میان سایر شاخص‌ها، بیشترین اهمیت را دارد و رابطه‌ای مستقیم با تعهد مدیریت برقرار می‌سازد. ارتقای فرهنگ ایمنی از سطح مدیریت آغاز شده و به‌صورت تدریجی در سطوح پایین‌تر سازمان نفوذ می‌کند؛ فرآیندی که موجب نهادینه‌سازی ارزش‌های ایمنی و کاهش ریسک‌ها و حوادث می‌شود. علاوه بر این، استقرار سیستم‌های ارزیابی ایمنی و ریسک در کنار تقویت فرهنگ ایمنی، نه تنها سطح ایمنی سازمان را ارتقا می‌دهد بلکه به افزایش بهره‌وری و تاب‌آوری سازمانی نیز منجر خواهد شد.

مشارکت و ارتباطات داخلی کارکنان با وزن ۰.۰۵۵۰۹۵ و رتبه دوم در میان عوامل کلیدی نشان‌دهنده اهمیت بنیادین تعاملات سازمانی در ارتقای عملکرد ایمنی است. این عامل با ایجاد بستر مناسب برای فرهنگ گزارش‌دهی حوادثو تشویق کارکنان به مشارکت فعال در فرآیندهای ایمنی، از جمله شناسایی مخاطرات، نقش محوری در پیشگیری از حوادث ایفا می‌کند. در واقع، ارتباطات مؤثر میان کارکنان و مدیریت موجب افزایش شفافیت، اعتماد و مسئولیت‌پذیری شده و زمینه‌ساز شکل‌گیری یک سیستم ایمنی مشارکتی و یادگیرنده می‌گردد که توانایی سازمان در کنترل ریسک‌ها و بهبود مستمر را تقویت می‌کند. مطالعات ژائو و همکاران (۲۰۲۲) نشان داد که رهبری تحول‌گرا و جو ایمنی مثبت، تأثیر بسزایی

بر مشارکت کارکنان در ایمنی دارد (۸۴). در نتیجه، مشارکت و ارتباطات داخلی کارکنان زیربنای شکل‌گیری فرهنگ گزارش‌دهی و ارتقای رفتارهای ایمن در سازمان است

مشارکت پیمانکاران و ذینفعان با وزن ۰.۰۵۳۵۲۳ و ارزیابی ریسک و شناسایی خطرات با وزن ۰.۰۵۳۲۴ در رتبه‌های سوم و چهارم قرار گرفتند. آموزش ایمنی برای پیمانکاران باعث ارتقای فرهنگ ایمنی و کاهش حوادث ناشی از فعالیت‌های آن‌ها می‌شود. ارزیابی ریسک، مبنای شناخت و مدیریت ریسک‌های محتمل است و به سازمان‌ها کمک می‌کند منابع خود را بر کاهش بحرانی‌ترین خطرات متمرکز کنند.فاکتورهای فناوری و مسائل فنی با وزن‌های ۰.۰۵۲۱۰۸ نیز اهمیت ویژه‌ای دارند. استفاده از فناوری‌های نوین مانند سنسورها، هشدارهای خودکار و هوش مصنوعی، امکان پیشگیری از حوادث و ارزیابی سریع و دقیق ریسک‌ها را فراهم می‌کند و می‌تواند به عنوان ابزار آموزش، تحقیق و توسعه نیز مورد استفاده قرار گیرد.

این یافته‌ها نشان می‌دهد که بهبود ایمنی سازمانی مستلزم درک جامع فرهنگ سازمانی، تقویت تعهد مدیریت، مشارکت فعال کارکنان و پیمانکاران، آموزش مستمر و استفاده از فناوری‌های پیشرفته است. با وجود پیشرفت‌ها، حوادث ممکن است به دلیل آموزش ناکافی، عدم رعایت دستورالعمل‌ها و کمبود آگاهی فردی رخ دهند. بنابراین، تدوین یک برنامه یکپارچه مدیریت ریسک و ایمنی، همراه با اولویت‌بندی اهداف کاهش ریسک، سرمایه‌گذاری در تجهیزات ایمنی، و ایجاد هماهنگی سازمانی، برای پیشگیری از حوادث ضروری است.

فعالیت‌های ایمنی باید به طور مستمر پایش و ارزیابی شوند تا اقدامات اصلاحی لازم برای دستیابی به اهداف کاهش ریسک اجرا گردد. مطالعه حاضر دارای محدودیت‌هایی است که از جمله آن‌ها می‌توان به اتکای پژوهش بر نظرات خبرگان، پیچیدگی ساختار مدل فازی و تمرکز خاص بر صنایع فرایندی اشاره کرد که امکان تعمیم یافته‌ها به سایر صنایع را محدود می‌سازد. پژوهش‌های آتی می‌توانند با گسترش کاربرد این مدل به سایر بخش‌های صنعتی، ادغام فناوری‌های هوش مصنوعی و سیستم‌های پایش لحظه‌ای برای ارزیابی پویا، و همچنین تلفیق عوامل انسانی و سازمانی، راهکارهای جامع‌تر و موثرتری برای مدیریت ایمنی و ریسک ارائه دهند.

نتیجه گیری

این پژوهش با به‌کارگیری روش تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی ترکیبی از دیمتل فازی و تحلیل شبکه ای فازی ، مدلی جامع برای تبیین روابط علّی-معلولی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر مدیریت ریسک در صنایع فرایندی ارائه نموده است. یافته‌ها مؤید آن است که مدیریت ریسک مؤثر، مستلزم نگاهی سیستماتیک و یکپارچه به مؤلفه‌های انسانی، فنی و مدیریتی است، به‌گونه‌ای که «عوامل علّی» به‌ویژه آموزش و توانمندسازی نیروی انسانی و تعهد مدیریتی، به‌عنوان پیش‌نیازهای اساسی تقویت سایر ارکان سیستم عمل می‌نمایند. بر این اساس، حرکت از رویکردهای واکنشی سنتی به سمت راهبردهای پیشگیرانه و تاب‌آورانه، مستلزم تخصیص هوشمند منابع بر مبنای اولویت‌های وزنی شناسایی‌شده با تأکید ویژه بر نهادینه‌سازی فرهنگ ایمنی و استقرار نظام پویای پایش شاخص‌های پیش‌نگر است. این چارچوب نه تنها به‌عنوان نقشه‌راهی برای ارتقای اثربخشی برنامه‌های مدیریت ریسک عمل می‌کند، بلکه با تبدیل ایمنی به یک مزیت رقابتی پایدار، زمینه‌ساز تحقق تعالی عملیاتی در سازمان‌های فرایندی خواهد بود.

تشکر و قدردانی

این مطالعه بر اساس پایان‌نامه خانم الهام کیقبادی و با کد اخلاق IR.IUMS.REC.1402.292 انجام شده است و توسط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی ایران حمایت شده است. تیم پژوهشی مراتب قدردانی خود را از تمامی همکاران گرامی که در اجرای این پژوهش همکاری کردند، ابراز می‌دارد.

REFERENCES

1. El-Arkam M, Riad B, Aya A, Youcef Z. Risk assessment in a petrochemical plant us-ing socio-technical approaches (STAMP-STPA). Eng Proc. 2023;29(1):8.
2. Torbatian Mashhadi F, Ahmadi O. Selection, validation and prioritization of lead-ing indicators of process safety performance: a case study on hydrocarbon liquid storage tanks. J Health Saf Work. 2025;15(2):288-301.
3. Raeihagh H, Behbahaninia A, Aleagha MM. Application of the fuzzy inference sys-tem in risk assessment of sour gas pipelines. J Health Saf Work. 2023;13(2):345-60.
4. Bazaluk O, Tsopa V, Okrasa M, Pavlychenko A, Cheberiachko S, Yavorska O, et al. Improvement of the occupational risk management process in the work safety sys-tem of the enterprise. Front Public Health. 2023;11:1330430.
5. Trishch R, Nechuiviter O, Hrinchenko H, Bubela T, Riabchykov M, Pandova I. As-sessment of safety risks using qualimetric methods. MM Sci J. 2023;2023:6850-5.
6. Abu Kwaik N, Sweis R, Allan B, Sweis G. Factors affecting risk management in indus-trial companies in Jordan. Adm Sci. 2023;13(5):132.
7. Zwetsloot G, van Kampen J, Steijn W, Post S. Ranking of process safety cultures for risk-based inspections. J Loss Prev Process Ind. 2020;64:104065.
8. Gholamizadeh K, Pamucar D, Moslem S, Basiri P, Esztergár-Kiss D, Mohammadfam I. Decoding rail derailments: unraveling the weighted factors influencing safety and sustainability using the best-worst method. Results Eng. 2024;23:102539.
9. Demir G, Bouraima MB, Badi I, Stević Ž, Das DK. Identification of industrial occupa-tional safety risks and selection of optimum intervention strategies: fuzzy MCDM approach. Mathematics. 2025;13(2):185.
10. Aparisi-Cerdá I, Ribó-Pérez D, Gómez-Navarro T, García-Melón M, Peris-Blanes J. Prioritising Positive Energy Districts to achieve carbon neutral cities: Delphi-DANP approach. Renew Sustain Energy Rev. 2024;203:114764.
11. Andalib Ardakani D, Zamzam F, Kiani M. An analysis of the barriers to the imple-mentation of quality 4.0 utilizing the approach fuzzy DANP. J Qual Eng Manag. 2025;14(4):304-20.
12. Modiri M, Shiramin MD, Shirazi HK. Identification and prioritization of influencing factors on safety performance with hybrid fuzzy DEMATEL and analytical network process approach (DANP) (case study: a combined cycle power plant). J Health Saf Work. 2019;9(1):55-70.
13. Heinrich HW. Industrial accident prevention: a scientific approach. New York: McGraw-Hill; 1941.
14. Zahiri Harsini A, Ghofranipour F, Sanaeinasab H, Amin Shokravi F, Bohle P, Mat-thews LR. Factors associated with unsafe work behaviours in an Iranian petrochemical company: perspectives of workers, supervisors, and safety managers. BMC Pub-lic Health. 2020;20(1):1192.
15. Ajslev J, Dastjerdi EL, Dyreborg J, Kines P, Jeschke KC, Sundstrup E, et al. Safety cli-mate and accidents at work: cross-sectional study among 15,000 workers of the general working population. Saf Sci. 2017;91:320-5.
16. Berhan E. Management commitment and its impact on occupational health and safety improvement: a case of iron, steel and metal manufacturing industries. Int J Workplace Health Manag. 2020;13(4):427-44.
17. Wang N, Ren S, Liu Y, Yang M, Wang J, Huisingh D. An active preventive mainte-nance approach of complex equipment based on a novel product-service system operation mode. J Clean Prod. 2020;277:123365.
18. OSHA. Occupational Safety and Health Administration. Washington, DC: US De-partment of Labor; 2019.
19. Liu R, Liu HC, Shi H, Gu X. Occupational health and safety risk assessment: a sys-tematic literature review of models, methods, and applications. Saf Sci. 2023;160:106050.
20. Zhang J, Shi M, Lang X, You Q, Jing Y, Huang D, et al. Dynamic risk evaluation of hydrogen station leakage based on fuzzy dynamic Bayesian network. Int J Hydrogen Energy. 2024;50:1131-45.
21. Zwetsloot G, van Middelaar J, Beek D. Repeated assessment of process safety cul-ture in major hazard industries in the Rotterdam Region (Netherlands). J Clean Prod. 2020;257:120540.
22. Das A, Kumar V, Dutta S. A fuzzy-based AHP-VIKOR framework for risk analysis of safety-critical systems: a case study of nuclear power plant. Ann Nucl Energy. 2024;209:110841.
23. Ou Yang YP, Leu JD, Tzeng GH. A novel hybrid MCDM model combined with DE-MATEL and ANP with applications. Int J Oper Res. 2008;5(3):160-8.

24. Afshani J, Karimi A, Osati Eraghi N, Zarafshan F. A fuzzy DEMATEL-ANP-based ap-proach to prioritize activities in enterprise architecture. Complexity. 2022;2022:2158255.
25. Mehrifar Y, Abasi M, Samimi K, Moradi Hanifi S, Pouyakian M. Determination of key safety performance indicators using Delphi method: a case study on electricity distribution company in Alborz Province. J Health Saf Work. 2023;13(2):289-304.
26. Sufiyan M, Haleem A, Khan S, Khan MI. Evaluating food supply chain performance using hybrid fuzzy MCDM technique. Sustain Prod Consum. 2019;20:40-57.
27. Pinion C, Brewer S, Douphrate D, Whitehead L, DelliFraine J, Taylor WC, et al. The impact of job control on employee perception of management commitment to safety. Saf Sci. 2017;93:70-5.
28. Bayram M. The management commitment to OHS, employee satisfaction and safe-ty performance: an empirical study. Int J Latest Eng Manag Res. 2018;3(7):63-71.
29. Hansez I, Chmiel N. Safety behavior: job demands, job resources, and perceived management commitment to safety. J Occup Health Psychol. 2010;15(3):267-78.
30. Ansori N, Widyanti A. The role of safety silence motives to safety communication and safety participation in different sectors of small and medium enterprises: in-vestigation results on two kinds of industries in Indonesia. Saf Health Work. 2021;12(2):192-200.
31. Shuen YS. Safety communication, safety culture, and safety leadership on safety participation among manufacturing employees. Manag Res Rev. 2018;30:12-25.
32. Zara J, Nordin SM, Isha ASN. Influence of communication determinants on safety commitment in a high-risk workplace: a systematic literature review of four com-munication dimensions. Front Public Health. 2023;11:1225995.
33. Subramaniam C, Shamsudin FM, Zin MLM, Ramalu SS, Hassan Z. Safety manage-ment practices and safety compliance in small medium enterprises: mediating role of safety participation. Asia Pac J Bus Adm. 2016;8(3):226-44.
34. Shuen YS, Wahab SRA. The mediating effect of safety culture on safety communi-cation and human factor accident at the workplace. Asian Soc Sci. 2016;12(12):127-42.
35. Saedi A, Majid AA, Isa Z. Relationships between safety climate and safety participa-tion in the petroleum industry: a structural equation modeling approach. Saf Sci. 2020;121:240-8.
36. Sugiono N, Ali J, Miranda S. The effect of employee, management, working envi-ronment, and safety culture on occupational healthy and safety performance: a case study in an oil and gas company in Indonesia. Int J Integr Eng. 2020;12(7):268-79.
37. Antonsen S. Safety culture: theory, method and improvement. Boca Raton, FL: CRC Press; 2017.
38. Shirali GA, Shekari M, Angali K. Quantitative assessment of resilience safety culture using principal components analysis and numerical taxonomy: a case study in a petrochemical plant. J Loss Prev Process Ind. 2016;40:277-85. Erratum in: J Loss Prev Process Ind. 2016;43:668.
39. Ismail NNH. Employees' perceptions towards the relationship between safety man-agement practices and safety performance of SMEs industry in Kelantan. Int J En-trep Manag Pract. 2020;3(11):1-9.
40. Naji GMA, Isha ASN, Alazzani A, Saleem MS, Alzoraiki M. Assessing the mediating role of safety communication between safety culture and employees safety per-formance. Front Public Health. 2022;10:840281.
41. Liu SX, Zhou Y, Cheng Y, Zhu YQ. Multiple mediating effects in the relationship be-tween employees' trust in organizational safety and safety participation behavior. Saf Sci. 2020;125:104611.
42. Osei-Asibey D, Ayarkwa J, Adinyira E, Acheampong A, Amoah P. Roles and respon-sibilities of stakeholders towards ensuring health and safety at construction site. J Build Constr Plan Res. 2021;9(1):90-114.
43. Azmi WFW, Misnan MS. Stakeholders' attitude towards construction workers' safe-ty and health. J Eng Appl Sci. 2018;13(Spec 9):6950-3.
44. Abas NH, Jalani AFA, Affandi HM. Construction stakeholders' perceptions of occu-pational safety and health risks in Malaysia. Int J Sustain Constr Eng Technol. 2020;11(1):300-11.
45. Deza AK, Latief Y, Herzanita A, Soepandji BS. Examining the impact of HSE stake-holder engagement strategies on university construction organizational

perfor-mance. Int J Saf Secur Eng. 2023;13(3):495-504.
46. Hassan Z, Subramaniam C, Zin MLM, Shamsudin FM, Ramalu SS. The connection between safety compliance behaviour, safety communication and safety standard and procedure: an investigation among workers in Malaysian SME's. Acad Entrep J. 2019;25(Spec Iss 2):1-11.
47. Hopkins A. Risk-management and rule-compliance: decision-making in hazardous industries. Saf Sci. 2011;49(2):110-20.
48. Hale A, Borys D. Working to rule or working safely? Part 2: the management of safety rules and procedures. Saf Sci. 2013;55:222-31.
49. Kaplan H, Fastman BR. Organization of event reporting data for sense making and system improvement. BMJ Qual Saf. 2003;12(Suppl 2):ii68-72.
50. Johnson C. A handbook of incident and accident reporting. Glasgow: University of Glasgow; 2003.
51. Braithwaite J, Westbrook M, Travaglia J. Attitudes toward the large-scale imple-mentation of an incident reporting system. Int J Qual Health Care. 2008;20(3):184-91.
52. Tian C, Li H, Tian S, Fangyuan T. Risk assessment of safety management audit based on fuzzy TOPSIS method. Math Probl Eng. 2020;2020:8899132.
53. Guldenmund F, Hale A, Goossens L, Betten J, Duijm NJ. The development of an au-dit technique to assess the quality of safety barrier management. J Hazard Mater. 2006;130(3):234-41.
54. Huang YH, Brubaker SA. Safety auditing: applying research methodology to vali-date a safety audit tool. Prof Saf. 2006;51(1):36-42.
55. Teo EAL, Ling FYY. Enhancing worksite safety: impact of personnel characteristics and incentives on safety performance. Int J Constr Manag. 2009;9(2):103-18.
56. Ahmed I, Faheem A. How effectively safety incentives work? A randomized experi-mental investigation. Saf Health Work. 2021;12(1):20-7.
57. Lam J. Enterprise risk management: from incentives to controls. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons; 2014.
58. Wolf F. Resource availability, commitment and environmental reliability & safety: a study of petroleum refineries. J Contingencies Crisis Manag. 2005;13(1):2-11.
59. Yueng-Hsiang H, Leamon T, Courtney T, DeArmond S, Chen P, Blair M. Financial de-cision makers' views on safety. Prof Saf. 2009;54:36-42.
60. Merzlyakova E. Economic assessment of HSE risk management and raising efficien-cy of financial resources. In: SPE Russian Petroleum Technology Conference; 2010 Oct 26-28; Moscow, Russia. Richardson, TX: Society of Petroleum Engineers; 2010.
61. Hon CK, Chan AP. Safety management in repair, maintenance, minor alteration, and addition works: knowledge management perspective. J Manag Eng. 2014;30(6):04014026.
62. Patankar MS. Maintenance resource management for technical operations. In: Kanki BG, Anca J, Chidester TR, editors. Crew resource management. 3rd ed. London: Academic Press; 2019. p. 357-405.
63. Stoneburner G, Goguen A, Feringa A. Risk management guide for information technology systems. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Tech-nology; 2002. Report No.: NIST SP 800-30.
64. Dodoo JE, Al-Samarraie H, Alzahrani AI, Lonsdale M, Alalwan N. Digital innovations for occupational safety: empowering workers in hazardous environments. Work-place Health Saf. 2024;72(3):102-15.
65. Awais-E-Yazdan M, Hassan Z, Ejaz A, Spulbar C, Birau R, Mitu NE. Investigating the nexus between safety training, safety rules and procedures, safety performance and protection against hazards in Pakistani construction companies considering its impact on textile industry. Ind Textila. 2022;73(1):48-53.
66. Namian M, Albert A, Zuluaga CM, Behm M. Role of safety training: impact on haz-ard recognition and safety risk perception. J Constr Eng Manag. 2016;142(12):04016073.
67. Bouari R, Seddiki I. The impact of training programs on occupational health and safety management: case study Tassili drilling company, Hassi Messaoud. Ouargla: Kasdi Merbah University; 2021.
68. Gualardo SJ. The roles of managers, supervisors and safety and health profession-als for maximizing safety and health performance. In: ASSE Professional Develop-ment Conference and Exposition; 2008 Jun 9-12; Las Vegas, NV. Des Plaines, IL: American Society of Safety Engineers; 2008.
69. Wu TC, Lin CH, Shiau SY. Predicting safety culture: the roles of employer, opera-tions manager and safety

professional. J Safety Res. 2010;41(5):423-31.
70. Foster CJ, Plant KL, Stanton NA. Adaptation as a source of safety in complex socio-technical systems: a literature review and model development. Saf Sci. 2019;118:617-31.
71. Mora Z, Suharyanto A, Yahya M. Effect of work safety and work healthy towards employee's productivity in PT. Sisirau Aceh Tamiang. Budapest Int Res Crit Inst J. 2020;3:753-60.
72. Mora Z, Suharyanto A, Yahya M. Effect of work safety and work healthy towards employee's productivity in PT. Sisirau Aceh Tamiang. Burns. 2020;2(1):753-60.
73. Hagqvist E, Vinberg S, Toivanen S, Hagström M, Granqvist S, Landstad BJ. Falling outside the system: occupational safety and health inspectors' experiences of mi-cro-enterprises in Sweden. Saf Sci. 2020;125:104631.
74. Woodcock K. Model of safety inspection. Saf Sci. 2014;62:145-56.
75. Khan F, Rathnayaka S, Ahmed S. Methods and models in process safety and risk management: past, present and future. Process Saf Environ Prot. 2015;98:116-47.
76. Khan F, Abunada H, John D, Benmosbah T. Development of risk-based process safety indicators. Process Saf Prog. 2010;29(2):133-43.
77. Gul M. A review of occupational health and safety risk assessment approaches based on multi-criteria decision-making methods and their fuzzy versions. Hum Ecol Risk Assess. 2018;24(7):1723-60.
78. Ab Rahim MS, Reniers G, Yang M, Bajpai S. Risk assessment methods for process safety, process security and resilience in the chemical process industry: a thorough literature review. J Loss Prev Process Ind. 2024;88:105274.
79. Aslesen S, Sandberg E, Hamzeh F, Wehbe F. Improving safety performance: using deviation reporting as a source for continuous improvement. In: Proceedings of the 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction; 2014 Jun 25-27; Oslo, Norway. 2014. p. 1027-38.
80. Kjellén U, Hovden J. Reducing risks by deviation control—a retrospection into a re-search strategy. Saf Sci. 1993;16(3):417-38.
81. Bayram M, Arpat B, Ozkan Y. Safety priority, safety rules, safety participation and safety behaviour: the mediating role of safety training. Int J Occup Saf Ergon. 2022;28(4):2138-48.
82. Michael JH, Evans DD, Jansen KJ, Haight JM. Management commitment to safety as organizational support: relationships with non-safety outcomes in wood manufac-turing employees. J Safety Res. 2005;36(2):171-9.
83. Selamat MH, Ibrahim O. The moderating effect of risk culture in relationship be-tween leadership and enterprise risk management implementation in Malaysia. J Mgmt Leadership. 2018;9(1):12-25.
84. Zhao L, Yang D, Liu S, Nkrumah ENK. The effect of safety leadership on safety par-ticipation of employee: a meta-analysis. Front Psychol. 2022;13:827694.