Iran Occupational Health

Iran Occupational Health. 2025 (01 Feb);21: 19

Original Article

http://ioh.iums.ac.ir

Safety risk assessment by creating a combined model of FMEA, FTA and AHP fuzzy methods Case study: steel industry exploitation phase

Mojtaba Zokaei, Social Determinants of Health Research Center, Saveh University of Medical Sciences, Saveh, Iran.
Mohsen Falahati, (*Corresponding author), Social Determinants of Health Research Center, Saveh University of Medical Sciences, Saveh, Iran. m.falahati@savehums.ac.ir
Milad abbasi, Social Determinants of Health Research Center, Saveh University of Medical Sciences, Saveh, Iran.
Jala abbasi, Ms Student HSE, Energy Institute of Higher Education, Saveh, Iran.
Mohamad Zarie, Ms Student HSE, Islamic Azad University, Central Tehran Branch.
Fardin Zndsalimi, Ms Occupational Health and Safety Engineering, Kurdistan University of Medical of Medical Sciences, Sanandaj, Iran.

Abstract

Background and aims: One of the main factors in occupational health and safety management is the formulation and implementation of risk assessment. Applying a precise and appropriate approach in the implementation of risk assessment plays an important role in the organization's risk management.

Methods: In this research, five incidents were selected as the most important incidents in the exploitation phase of the steel industry. Estimating the probability of occurrence and discovering the root causes using fuzzy FTA was calculated, and the severity of the consequences of the risk of accidents among 14 industry experts was collected and analyzed. Finally, the variables obtained in the previous steps were considered as inputs to the fuzzy inference system designed in MATLAB, and the final value of RPN was calculated using defined if-then rules.

Results: According to the obtained results, the probability of falling from a height, falling of objects, and electrocution were higher than other accidents, respectively. Finally, the risk of falling from a height and electrocution with RPN values of 0.665 and 0.563 are in the medium-high risk range, respectively. The risk of falling objects is also in the range of low-medium risks with an RPN value of 0.37.

Conclusion: This model has the ability to be used in systems where there is no sufficient and reliable quantitative data to assign a rating to the input variables of the probability of occurrence, probability of discovery, and severity of the consequence. The use of linguistic variables enables industry experts to make more accurate judgments about the system under study.

Conflicts of interest: None

Funding: None

Keywords

Steel industry

Risk assessment

Fuzzy FTA

Hierarchical analysis

Fuzzy FMEA

Received: 2024/09/3

Accepted : 2025/01/8

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-01-28]

INTRODUCTION

One of the main factors in occupational health and safety management is the planning and implementation of risk assessment, which measures the status of the organization according to the relevant program. Over the past few decades, the use of risk assessment methods in occupational risk management has increased significantly. The main reasons for developing risk analysis methods are the complexity of conditions, difficulties in combining information, and the inherent uncertainty in decisions. For risk assessment, systematic safety approaches such as FTA, FMEA, decision trees, etc., are used. While common risk assessment methods like FTA are valuable for identifying major risks and improving process facility safety, they also have limitations. Additionally, the FMEA technique is considered one of the common and widely used methods due to its teamwork, quality assessment, and other characteristics.

Conventional FTA methods for quantifying system failure probabilities require extensive databases of basic event probabilities, which are often unavailable in industry. To address this, Kleiman and Winkler proposed the fuzzy FTA approach. Fuzzy logic in facing and evaluating imprecise and ambiguous situations provides a possibility that includes the power of creativity and human understanding of ambiguous concepts. In this study, using fuzzy logic, expert opinions were used to obtain the risk priority number. The present study has used one of the most common multi-criteria decision-making methods (fuzzy hierarchical analysis) in obtaining the severity of consequences and the importance coefficient of incidents. The use of fuzzy logic has been widely applied in the evaluation and management of risk and the analysis of occupational accidents.

In this study, we utilized a novel approach to develop the database necessary for the FTA method, enabling more effective analysis and yielding more accurate conclusions regarding the risk priority number in the FMEA method compared to traditional approaches. The integration of these methods to derive the final risk priority number, along with the enhancement of the traditional FMEA method for application in scenarios lacking statistical data and involving uncertainty, represents a significant innovation of this research.

METHODOLOGY

This descriptive-analytical study aims to assess accident risks in the steel industry by integrating FTA, AHP, and FMEA methods. These approaches focus on ranking accident risk levels and identifying key causes, ultimately guiding effective control strategies through mathematical and analytical techniques. Figure 1 shows the main framework of the study and the steps of its implementation method.

In this research, to obtain and understand the accidents, the HSE management of the industry was consulted, and a list of all registered accidents was

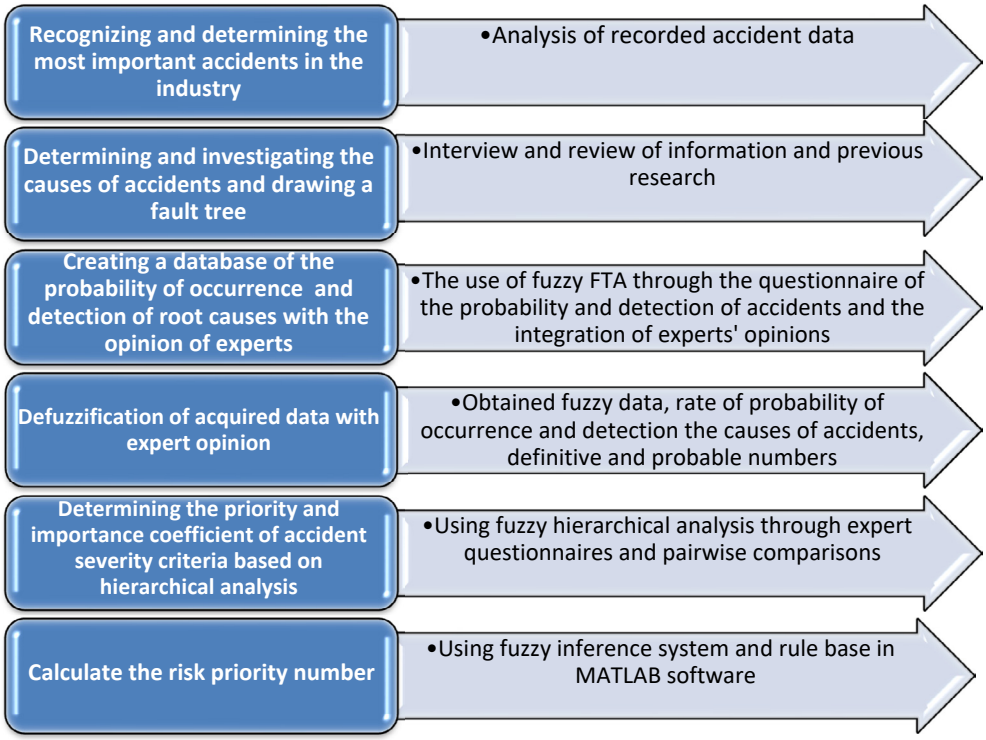


Fig. 1. Presentation of the main framework of the study

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-01-28]

obtained. Then, based on the frequency of incidents and severity of consequences, five incidents were selected as the most important incidents in the operation phase of the steel industry for further investigation. In this study, the data collection tool consisted of a three-part checklist to gather expert opinions, covering demographics, the probability of occurrence, and the likelihood of detecting accidents. Additionally, a pairwise comparison questionnaire was used to assess the severity of accident consequences.

After selecting the incidents based on the recorded statistics, the probability of occurrence was checked for each incident separately. The main causes of each incident were identified by previous studies and interviews with supervisors, and the corresponding fault tree (FTA) was drawn. If there is a probability rate of input to the fault tree, the value of the failure rate is calculated from the relevant relationships. However, in this study, due to the lack of accurate information, fuzzy logic was used to build the database. The fuzzy logic steps started by selecting a team of experts and used the center of gravity formula and the formula recommended by Onisawa to estimate the probability rate. After that, the main event rate was calculated from the relevant relation using the AND or OR gate. Expert opinions on the probability of major accidents were gathered using a qualitative checklist, developed based on the fundamental events identified in FTAs and informed by industry specialists.

In this study, to consider all dimensions of the consequences, the severity of the consequences of the risks of accidents was evaluated based on four criteria: life, financial, time, and environment. Then, an incident was measured as the most disastrous and with the most significant consequences, and other incidents were compared to it to obtain the priority vector of incidents within a range. After forming the tree structure, in the second step, elements were ranked based on pairwise comparisons. In pairwise comparisons, all elements of each level were compared two by two.

In this study, to use fuzzy FMEA, the variables obtained in the previous steps were considered as inputs to the fuzzy system. The input variables (probability of occurrence, probability of discovery, and severity of consequences) were transformed into linguistic variables for the fuzzy system using a 5-point scale. The output, determined by the fuzzy rules and formulas, yielded the fuzzy RPN value for each incident, which was then used to prioritize the incidents.

RESULTS

The current research is descriptive-analytical with

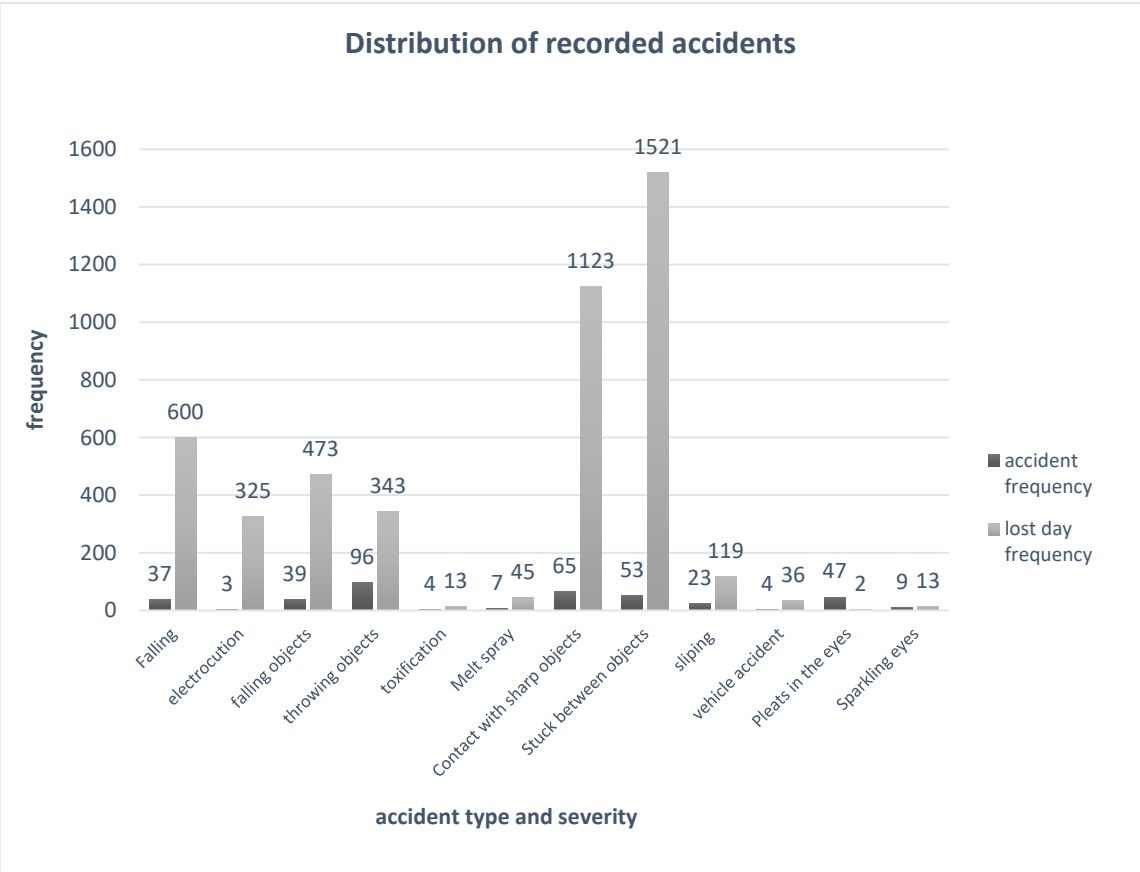


Fig. 4. Distribution of recorded incidents in the steel industry

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-01-28]

the aim of assessing the risk of accidents in the steel industry by combining FTA, AHP, and fuzzy FMEA methods. This study utilized the opinions of 14 experts and the statistics and information of 387 incidents recorded in the period of 2013-2022 in this industry. Figure 4 shows the distribution of incidents based on the statistics of the steel industry.

This study selected incidents for further investigation based on their frequency of occurrence, including falls from heights, contact with objects, and body parts being stuck between objects. Additionally, incidents of electric shock and falling objects were chosen based on the severity of injuries. The results of Table 3 show that the highest probability rate of 0.56456 is related to the incident of falling from a height, while the lowest probability of occurrence is 0.17413 for incidents involving body parts being stuck between objects. Electrocution has the highest detection probability at 0.43625, while the accident involving body parts being stuck between objects has the lowest at 0.13928. Following the assessment of occurrence and discovery probabilities, the severity of accidents was evaluated using four criteria: financial, life, time, and environmental, through pairwise comparisons (Figure 5).

The criteria were prioritized as follows: the life criterion, with an importance factor of 0.5459, ranked first; the environmental criterion, at 0.3228, ranked second; the financial criterion, at 0.06326, ranked third; and the lost work time criterion, at 0.05543, ranked fourth. According to experts and industry professionals, life and environmental criteria are of higher priority compared to other criteria. Based on the results obtained from pairwise comparisons of incidents and the determination of normal and final weights, the electrocution incident, with a weight of 0.3339, ranks as the most severe consequence. Incidents of falling from a height and falling objects, with weights of 0.3236 and 0.1386, rank second and third, respectively. According to industry experts, these two and three incidents had the most severe consequences of accidents (Table 3).

The summary of the obtained values of the input and output variables for five incidents is shown in Table 4. Falling from a height, electrocution, and falling objects have the highest fuzzy RPN values, establishing their priority in risk assessment. The RPN for incidents involving falls from heights and electrocution falls within the medium to high-risk (M-H) range, while the RPN for incidents involving falling objects is categorized as low to medium risk (L-M). An electric shock accident has the highest severity of consequences, and a fall from a height has the highest rate of occurrence. Additionally, the accident involving body parts getting stuck between objects has the lowest value of the risk priority number, whose RPN range falls under very low risks.

DISCUSSION

The current research was conducted with the aim of ranking the risk of incidents in the steel industry using the fuzzy FMEA method. The results of Table 3 showed that the probability of incidents such as falling from a height, falling objects, and electrocution are higher than other incidents, and they have been assigned a higher rank. According to the results of previous studies, the risk of falling from a height is known as one of the most important risks. In 2008, Zeng et al. pointed out that accidents including falling from a height and impact caused by falling materials were the most common causes of injuries in China. Similar studies around the world confirm the results of this research, such as studies by Gorkanelli and Mongen in 2009, Hawtin et al. in 2012, and Falahati et al. In this study, industry experts identified falling from scaffolding as the most critical node in accidents occurring from a height, aligning with the findings of Bentley, Ardeshir, and Mortazavi. Non-interruption of power flow during repairs (H) and the presence of power in the equipment body (F) are the most critical nodes of electrocution incidents in the formed fault tree.

The results indicated that life (0.545) and environmental (0.322) criteria are prioritized by industry experts over other criteria (Table 4). These findings align with the study by Ardeshir et al. (20) on mass projects, confirming a consistent arrangement.

The results of Table 9 showed that according to the definition of the RPN range determined in the fuzzy inference system, the risk of falling from a height and electrocution are in the medium-high risk range with RPN values of 0.665 and 0.563, respectively. The risk of falling objects is also in the low-medium risk range

Table 3. The final priority vector of incidents based on the weight of the criteria

Accident type	priority vector
falling	0/3236609
electroduction	0/3339930
Falling objects	0/1386404
Contact with sharp objects	0/1245819
Stuck between objects	0/1050310

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-01-28]

Table 4. The obtained values of input and output variables of five incidents

Accident type	Probability	Detection	Consequence	Fuzzy RPN	RPN Range	Ranking
falling	0/564	0/473	0/969	0/665	M-H	1
electrocution	0/345	0/377	0/405	0/37	L-M	3
Falling objects	0/322	0/436	1	0/563	M-H	2
Contact with sharp objects	0/245	0/283	0/373	0/249	VL-L	4
Stuck between objects	0/174	0/139	0/315	0/228	VL-L	5

with an RPN value of 0.37. One advantage of using fuzzy sets and linguistic variables is their applicability when there is insufficient quantitative data for risk assessment and no clear criteria for determining acceptable and unacceptable risks. In this research, this approach is necessary due to the lack of information on the probability of occurrence, the severity of the consequences of accidents, and the lack of criteria for determining risk.

Lee Shin et al. in 2016 and Shafiee et al. (2019) introduced the modified FMEA method with an approach similar to the present study. The key difference between their method and the present study is that they defined linguistic variables for the parameters of probability of occurrence, detection, and severity of consequences. They then determined the weights of these three parameters using the hierarchical analysis method to calculate the final RPN value based on these weights. In the current study, while the weights of the three parameters in the fuzzy system are considered equal, the hierarchical analysis aimed to provide a more accurate estimate by taking into account various aspects of accident consequences, including life, financial impact, lost work time, and environmental criteria. Beyond just the RPN value, this method enables accurate and reliable quantitative risk assessments in industries and situations where precise information on accident and breakdown rates is lacking. It also provides a solid foundation for developing control solutions.

CONCLUSION

Determining the rank of each incident indicates the amount of attention and focus on each of the known causes leading to the incident. By considering the risk rating, the necessary corrective measures can be taken to eliminate, reduce, control, or transfer the risk. In the current research, two additional advantages are emphasized for the fuzzy approach in the FMEA method:

1. This model can be used in a system where there is insufficient and unreliable quantitative data to assign a rank to the input variables of probability of occurrence, probability of detection, and severity. By using linguistic variables, FMEA can be combined with the knowledge of experts in the industry.

2. The use of linguistic variables enables industry experts to make more realistic judgments about the system under study.

The dispersion pattern of the incident rank obtained in this study was compared with the dispersion pattern of real incidents. It was shown that the method used in the study, combining risk assessment methods, fuzzy logic, and hierarchical analysis, can to some extent predict the dispersion pattern of incidents. This approach can be used to prevent future incidents.

CONFLICT OF INTEREST

The authors have no conflict of interest to declare.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Mojtaba Zokaei: Participation in data analysis, writing and editing the introduction, designing the structure of the article-

Milad Abbasi: Participation in data analysis, translating the English section of the article, data analysis in MATLAB -

Fardin Zand Salimi: Participation in data analysis in the EXPERT CHOICE software, writing the methods section-

Mohammad Zare: Coordination and data collection, data entering, completing expert questionnaires-

- Jalal Abbasi (student): Data collection, entering data , designing questionnaires, etc-

Mohsen Falahati (Correspond author): Writing the article, managing and coordinating the research, data analysis, etc-

OPEN ACCESS

©2024 The author(s). This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made. The images or other third-party material in this article are included in the article's Creative Commons license, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons license and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-01-28]

a copy of this license, visit: http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

ETHICAL CONSIDERATION

This thesis has been registered with code -RES 10-01 at the Saveh Energy Institute of higher education .

CODE OF ETHICS

This thesis has been registered with code -RES 10-01 at the Saveh Energy Institute of higher education .

How to cite this article:

Mojtaba Zokaei, Mohsen Falahati, Milad abbasi, Jala abbasi, Mohamad Zarie, Fardin Zndsalimi. Safety risk assessment by creating a combined model of FMEA, FTA and AHP fuzzy methods Case study: steel industry exploitation phase. Iran Occupational Health. 2025 (01 Feb);21:19.

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

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-01-28]

سلامت کار ایران
دوره ۲۰۲۱ - ۱۹/۱۴۰۳

مقاله پژوهشی
http://ioh.iums.ac.ir

ارزیابی ریسک ایمنی با ایجاد یک مدل ترکیبی از روش های FMEA،FTA و AHP فازی مطالعه موردی: فاز بهره برداری صنعت فولاد

مجتبی ذکایی: استادیار دانشکده علوم پزشکی ساوه ، ساوه، ایران.
محسن فلاحتی: (* نویسنده مسئول) استادیار دانشکده علوم پزشکی ساوه، ساوه، ایران. M.falahati@savehums.ac.ir
میلاد عباسی: استادیار دانشکده علوم پزشکی ساوه ، ساوه، ایران..
عباس جلالی: کارشناس ارشد ESH، موسسه عالی آموزش انرژی ، ساوه، ایران.
محمد زارعی: کارشناس ارشد ESH، دانشگاه آزاد اسلامی ، واحد تهران مرکز.
فردین زندسلیمی: کارشناس ارشد مهندسی بهداشت حرفه ای و ایمنی کار ، دانشگاه علوم پزشکی کردستان.

چکیده

زمینه و هدف: *یکی از عوامل اصلی در مدیریت ایمنی و بهداشت شغلی، تدوین و اجرای ارزیابی ریسک است. بکارگیری رویکرد دقیق و مناسب در اجرای ارزیابی ریسک نقش مهمی را در مدیریت ریسک سازمان ایفا می کند.

روش بررسی: *در این پژوهش پنج حادثه به عنوان مهمترین حوادث فاز بهره برداری صنعت فولاد انتخاب گردید. برآورد احتمال وقوع و کشف علل های ریشه ای با استفاده از FTA فازی محاسبه و شدت پیامد ریسک حوادث در میان ۱۴ نفر از خبرگان صنعت جمع آوری و مورد تحلیل قرار گرفت. در نهایت متغیرهای بدست آمده در مراحل قبل به عنوان ورودی سیستم استنتاج فازی طراحی شده در متلب در نظر گرفته شد و مقدار نهایی RPN با استفاده از قوانین اگر-آنگاه تعریف شده محاسبه گردید.

یافته ها: *با توجه به نتایج بدست آمده احتمال وقوع حوادث سقوط از ارتفاع، سقوط اشیاء و برق گرفتگی به ترتیب از سایرحوادث بیشتر بود. در نهایت ریسک حوادث سقوط از ارتفاع و برق گرفتگی به ترتیب با مقدار RPN، ۰/۶۶۵ و ۰/۵۶۳ در محدوده ریسک های متوسط –بالا قرار دارند. ریسک حوادث سقوط اشیاء نیز با مقدار RPN، ۰/۳۷ در محدوده ریسک های کم- متوسط قرار دارد

نتیجه گیری: این مدل قابلیت به کارگیری در سیستم هایی را دارد که در آن داده کمی کافی و قابل اعتماد برای تخصیص رتبه به متغیرهای ورودی احتمال وقوع، احتمال کشف و شدت پیامد وجود ندارد و استفاده از متغیرهای زبانی، خبرگان صنعت را قادر می سازد تا قضاوت واقعی تر از سیستم تحت مطالعه داشته باشند.

تعارض منافع: *گزارش نشده است.*

منبع حمایت کننده: *ندارد.*

کلیدواژه‌ها
صنعت فولاد
ارزیابی ریسک
FTA فازی
تحلیل سلسله مراتبی
FMEA فازی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۶/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۹

شیوه استناد به این مقاله:
Mojtaba Zokaei, Mohsen Falahati, Milad abbasi, Jala abbasi, Mohamad Zarie, Fardin Zndsalimi. Safety risk assessment by creating a combined model of FMEA, FTA and AHP fuzzy methods Case study: steel industry exploitation phase. Iran Occupational Health. 2025 (01 Feb);21:19.

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

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-01-28]

مقدمه

یکی از عوامل اصلی در مدیریت ایمنی و بهداشت شغلی، تدوین و اجرای ارزیابی ریسک است که وضعیت سازمان را برحسب برنامه مربوطه می سنجد(۱, ۲). در طول چند دهه گذشته، استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل و ارزیابی ریسک در مدیریت خطرات شغلی به طور چشمگیری افزایش یافته است (۳). مهمترین علل توسعه روش های تجزیه و تحلیل ریسک، پیچیدگی شرایط، مشکل بودن ترکیب اطلاعات، وجود عدم قطعیت[1] وعدم اطمینان در تصمیم گیری ها می‌باشد (۴, ۵). روشهای اصلی در شناسایی خطرات شامل طوفان فکری، مرور مستندات، روش دلفی، تحلیل چک لیست‌ها و تحلیل فرضیات می باشد (۶, ۷). جهت ارزیابی ریسک، رویکرد های سیستماتیک ایمنی مانند: آنالیز درخت خطا[2] ، آنالیز حالت نقص و پیامدهای آن[3] ، درخت های تصمیم گیری و ... مورد استفاده قرار می گیرند (۸, ۹). اگرچه روش های ارزیابی ریسک رایج از قبیل FTA نقش مهمی را در شناسایی ریسک های عمده و ارتقاء ایمنی تاسیسات فرآیندی ایفا می کنند، اما دارای نقاط ضعف نیز می‌باشند (۱۰). علاوه بر این، تکنیک FMEA بعلت خاصیت های کار گروهی و ارزیابی کیفی و دیگر ویژگی های خود جزء روش های متداول و پرکاربرد محسوب می گردد. یکی از تفاوت های اساسی FMEA با سایر تکنیک های کیفی این است که FMEA یک اقدام کنشی است و نه واکنشی؛ FMEA اگر درست و به موقع اجرا شود، ابزاری پویاست که در چرخه بهبود مستمر به کار می رود (۱۱). بکارگیری FMEA به روش سنتی به طور قابل ملاحظه ای مورد انتقاد است (۱۲-۱۵) زیرا ممکن است مقادیر S[4],O[5],D[6] در رتبه بندی، اعداد یکسانی را بوجود آورد، اما در مقابل مفهوم پنهان ریسک آن ها نیز کاملا متفاوت باشد. اهمیت نسبی میان پارامترهای S,O و D در نظر گرفته نشده و معمولاً فرض می شود که این سه فاکتور اهمیت یکسانی دارند و تعیین دقیق این سه فاکتور دشوار است.

روش تجزیه و تحلیل درخت خطا در سال ۱۹۶۱ توسط Watson ابداع و در همان سال توسط نامبرده در ارزیابی قابلیت اعتماد سیستم کنترل پرتاب موشک‌های بالستیک مورد استفاده قرار گرفت. روش های مرسوم FTA برای کمی کردن احتمال شکست سیستم، نیاز به یک پایگاه داده از صدها رویداد پایه دارد، پایگاه داده های حوادث معمولاً در صنایع وجود ندارد برای رفع این مشکل، رویکرد فازی FTAتوسط کلیمن و وینکلر پیشنهاد شد (۱۶). منطق فازی در مواجهه و ارزیابی موقعیت های نادقیق و مبهم، امکانی را فراهم می سازد که دربرگیرنده قدرت خلاقیت و درک انسان از مفاهیم مبهم می باشد (۱۷, ۱۸). منطق فازی اولین بار در پی تنظیم نظریه ی مجموعه های فازی به وسیله ی پروفسور لطفی زاده (۱۹۶۵) در صحنه ی محاسبات نو ظاهر شد. این نظریه، قادر است بسیاری از مفاهیم، متغیرها و سیستم هایی را که نادقیق و مبهم هستند صورت بندی ریاضی کرده و زمینه را برای استدلال، استنتاج، کنترل و تصمیم گیری در شرایط عدم اطمینان، فراهم آورد (۱۹). یکی از مسائل مهم در ارزیابی ریسک تأثیر قضاوت های شخصی، ارزیاب‌ها در تعیین میزان ریسک است که باعث استفاده روزافزون روش های تصمیم گیری سلسله مراتبی و چندمعیاره در ارزیابی ریسک شده است (۲۰, ۲۱). فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP[7]) برای اولین بار توسط توماس ال ساعتی در سال ۱۹۸۰ مطرح شد. این روش یک روش تصمیم گیری چند معیاره است که امکان ارزیابی و اولویت بندی گزینه ها را دارد (۲۲) و بر اساس مقایسه های زوجی بنا نهاده شده است (۲۳). چانگ[8] و همکاران (در سال ۲۰۱۰) اولویت بندی شکست را با استفاده از روش رتبه بندی فازی شهودی پیشنهاد کردند. آنها مزایای استفاده از روش رتبه بندی فازی را شامل کاهش اعداد اولویت ریسک یکسان ، بازتاب واقعی تر و انعطاف پذیرتر از شرایط عملی، فراهم کردن اطلاعاتی دقیق تر و مؤثرتر برای فرآیند تصمیم گیری بیان کردند (۱۴). یانگ[9] و همکاران (درسال ۲۰۱۰) یک مدل جدید FMEA بر پایه تئوری فازی جهت کنترل ماشین آلات CNC پیشنهاد کردند. نتایج آن ها نشان داد که رویکرد Fuzzy FMEA استفاده شده در ماشین آلات CNC روش معقول در تولید بوده است (۲۴). اولین بار تئوری فازی جهت استفاده در تکنیک FTAتوسط Zadeh در سال ۱۹۶۸ با استفاده از یک متدولوژی کاملی جهت فائق آمدن بر مشکلات ناشی از عدم قطعیت و ابهامات در خصوص احتمالات رویدادهای پایه مورد

1 Uncertainty
2 Fault Tree Analyze (FTA)
3 Failure Mode and Effect Criticality Analysis (FMECA)
4 Severity
5 Occurrence
6 Detection
7 Analytic Hierarchy Process
8 Chang
9 Yang

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-01-28]

استفاده قرار گرفت(۱۷). دشپانده[1] در سال ۱۹۹۵ و ۲۰۱۱ از روش FTA فازی در برآورد نرخ احتمال وقوع رهایش در مخزن‌های ذخیره آمونیاک استفاده کرد (۲۵). پن[2] درسال ۲۰۰۷ در پژوهش خود از روش FTA فازی برای برآورد نرخ خطا و شکست در پل های متحرک به دلیل عدم وجود اطلاعات دقیق در رابطه با نرخ شکست خطاهای مبهمی چون خطای انسانی استفاده نمود (۲۶). فلاحتی و همکاران در چندین مطالعه ترکیب تکنیک های BN ، FTA و AHP را جهت تعیین شاخص های ارزیابی عملکرد ایمنی استفاده نمودند(۲۷-۲۹).

در این مطالعه با استفاده از منطق فازی از نظرات خبرگان در بدست آوردن عدد اولویت ریسک استفاده شد. مطالعه حاضر یکی از رایج‌ترین روش‌های تصمیم گیری چندمعیاره (تحلیل سلسه مراتبی فازی) را در بدست آوردن شدت پیامد و ضریب اهمیت حوادث بکارگرفته است. استفاده از منطق فازی در خصوص ارزیابی و مدیریت ریسک و آنالیز حوادث شغلی بسیار مورد استفاده قرار گرفته است. اما مطالعه حاضر از این منطق برای ایجاد پایگاه داده مورد نیاز روش FTA و تحلیل بهتر و همچنین نتیجه گیری دقیق تر در خصوص عدد اولویت ریسک در روش FMEA نسبت به آنچه در روش سنتی بدست می‌آید، بکار گرفته است. استفاده از ترکیب روش‌های ذکرشده (FTA فازی، AHP فازی و FMEA فازی) در بدست آوردن عدد اولویت ریسک نهایی و بسط روش FMEA سنتی برای استفاده درشرایط عدم وجود داده های آماری و عدم قطعیت از نوآوری های این پژوهش می باشد. کارخانه های فولاد از صنایعی هستند که انجام روشهای کاری ایمن در آنها اهمیت دارد؛ زیرا با توجه به ماهیت کار، کارگران با خطرات بسیاری مواجه هستند. در محیط کار این نوع صنعت همیشه خطر جراحات و سوختگی وجود دارد. آمار منتشرشده توسط مرکز بیمه سوئد نشان می دهد که کارگران صنایع فلز در معرض بیشترین تعداد حوادث سالانه(۲۰۱۰-۲۰۰۶) در مقایسه با سایر مشاغل قرار دارند(۳۰). این پژوهش با هدف تعیین علل های ریشه ای حوادث و تعیین احتمال وقوع آنها، سعی در ارزیابی و اولویت بندی ریسک حوادث مهم صنعت فولاد از طریق ترکیب روش‌های AHP، FTA و FMEA فازی دارد تا با رتبه بندی ریسک حوادث و شناخت مهمترین علت ها بتوان اقدامات اصلاحی مؤثری را در جهت کاهش ریسک حوادث این صنعت انجام داد.

روش بررسی

این مطالعه یک پژوهش توصیفی- تحلیلی، با هدف ارزیابی ریسک حوادث صنعت فولاد با ترکیب روش‌های AHP، FTA و FMEA فازی است که دو محور اصلی رتبه بندی سطح ریسک حوادث و تعیین مهمترین علل وقوع حوادث را به منظور شناخت بهترین راه های کنترلی با ترکیب روش های ریاضی و ذهنی دنبال می‌کند. شکل ۱ چارچوب اصلی مطالعه و مراحل روش اجرای آن را نشان می دهد.

در این مطالعه مبنای تعیین سطح ریسک، بکارگیری تکنیک FMEA بعنوان چارچوب اصلی مدل ارزیابی ریسک بود که سه فاکتور احتمال وقوع، احتمال کشف و شدت پیامد با استفاده از تکنیک های FTA و AHP مطابق با شکل ۲ در ۶ مرحله به شرح ذیل اجرا گردید.

مرحله ۱ : بررسی آمار حوادث ثبت شده و تعیین حوادث مهم براساس معیارهای فراوانی و شدت پیامد

در این مرحله به منظور دستیابی و شناخت حوادث به مدیریت HSE صنعت مراجعه و لیست تمامی حوادث ثبت شده اخذ گردید. سپس براساس فراوانی حوادث و شدت پیامدها، پنج حادثه به عنوان مهمترین حوادث فاز بهره برداری صنعت فولاد جهت بررسی بیشتر انتخاب گردید.

مرحله ۲: آنالیز و رسم درخت خطای حوادث منتخب

پس از انتخاب حوادث بر اساس آمار ثبت شده، جهت تعیین احتمال وقوع برای هر حادثه ابتدا علت های اصلی بروز هر حادثه براساس بررسی مطالعات گذشته و مصاحبه با خبرگان شناسایی و درخت خطا (FTA) مربوط به هر حادثه رسم گردید.

مرحله ۳: تعیین میزان نرخ احتمال وقوع و نرخ احتمال کشف علل تعیین شده با استفاده از منطق فازی

در صورت وجود نرخ احتمال ورودی به درخت خطا مقدار نرخ شکست از روابط مربوطه محاسبه می گردد، اما در این مطالعه به دلیل عدم وجود اطلاعات دقیق از منطق فازی جهت ساخت پایگاه داده شامل داده های حوادث ثبت شده صنعت استفاده گردید. همانطور که در شکل ۲ مشخص شده نرخ احتمال وقوع و احتمال کشف علل پایه برای هر حادثه پس از آنالیز حادثه به روش

1 Deshpande
2 Nang-Fei Pan

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-01-28]

شکل ۱. نمایش چارچوب اصلی مطالعه

FTA بر اساس منطق فازی از طریق پرسش از خبرگان تعیین گردید. ابزار گردآوری اطلاعات در این مطالعه به منظور جمع آوری نظر خبرگان شامل یک چک لیست سه بخشی (دموگرافیک، احتمال وقوع و احتمال کشف حوادث) و یک پرسشنامه مقایسه زوجی حوادث (شدت پیامد حوادث) بود.

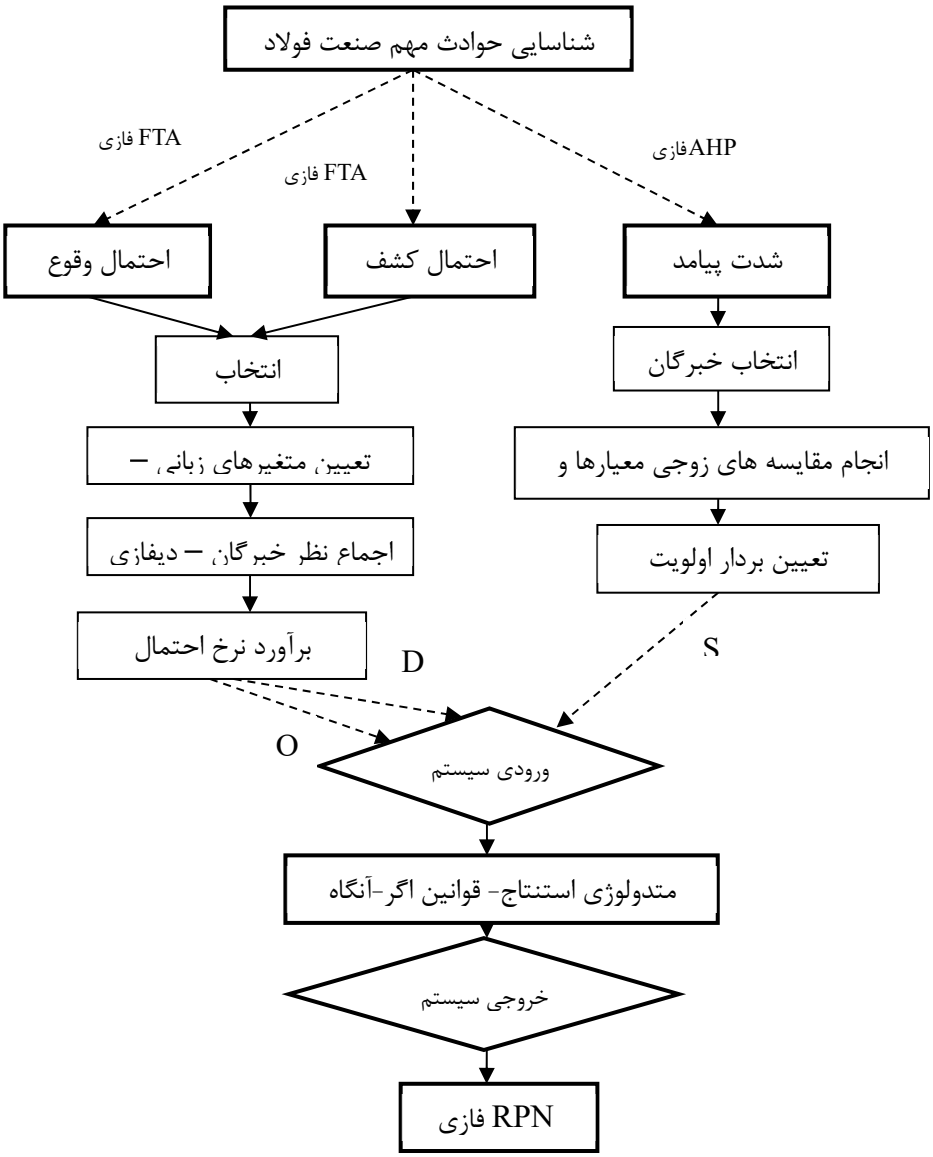
مراحل منطق فازی با انتخاب تیمی متشکل از خبرگان آغاز و برای برآورد نرخ احتمال از فرمول مرکز ثقل و فرمول توصیه شده توسط Onisawa (۳۱) استفاده شد. پس از آن نرخ رویداد اصلی[1] از رابطه مربوطه و با استفاده از دروازه AND یا OR محاسبه گردید. نظرات خبرگان در خصوص احتمال وقوع حوادث اصلی با توجه به رویدادهای پایه بدست آمده در FTA ها توسط چک لیست کیفی که با نظر متخصصین صنعت آماده شده بود جمع آوری گردید. در این چک لیست امکان وقوع هرکدام از حوادث اصلی به دلیل علل های ریشه ای هر حادثه از خبره پرسیده شده و نظرات آنها توسط ترم های زبانی (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) جمع آوری شد. دامنه فازی ترم های زبانی بکار رفته در این مطالعه بین ۰ تا ۱ می باشد. پس از بررسی شرایط موجود و اقدامات انجام شده برای هریک از رویدادهای پایه‌ی درخت واره مرحله قبل، احتمال شناسایی یا کشف ریسک حوادث نیز همانند نحوه محاسبه احتمال وقوع با استفاده از ترم های زبانی از طریق چک لیست توسط نظر افراد خبره تعیین و مراحل کمی سازی و اجماع نظر خبرگان و مراحل دیفازی سازی و تبدیل امکان خطا به نرخ خطای فازی برای احتمال کشف یا کنترل حوادث مطابق مراحل بخش قبل (احتمال وقوع حوادث) به ترتیب انجام گرفت.

مرحله ۴ : دیفازی سازی داده های ثبت شده بر اساس نظر خبرگان

روش‌های متفاوتی برای اعمال دیفازی سازی (قطعی سازی) وجود دارد ، در این مطالعه روش مرکز ناحیه یا مرکز ثقل که بیشترین کاربرد را نسبت به سایر روش‌ها دارد انتخاب گردید. برای تبدیل عدد بدست آمده از

1 Top Event

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-01-28]



شکل ۲. مراحل اجرای مطالعه

حالت امکانی[1] به احتمالی[2] از تابع لگاریتمی Onisawa با درنظر گرفتن نرخ خطا به میزان 10^{-2} تا 10^{-3} به صورت استفاده شد (۲۶, ۳۱).

$$z^* = \frac{\int \mu_c(z).zdz}{\int \mu_c(z)dz} \quad (۱)$$

$$K = 2.301 \times \left(\frac{1-FPS}{FPS}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (۲)$$

$$\text{Fuzzy Fault Rates} = \frac{1}{10^k} \quad (۳)$$

بعد از تعیین نرخ احتمال رویدادهای ریشه ای و به کمک بانک اطلاعات بدست آمده، نرخ رویداد اصلی طبق دروازه‌های AND و OR بدست آمد که در آن p_i ها نشان دهنده نرخ خطای رویدادهای ریشه ای هستند (۲۶, ۳۲)

$$p\,OR = 1 - \prod_{i=1}^{n}(1-p_i) \quad (۴)$$

$$p\,AND = \prod_{i=1}^{n} p_i \quad (۵)$$

1 Fuzzy Possibility Scores
2 Fuzzy Fault Rates (FFR)

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-01-28]

مرحله ۵: تعیین و اولویت بندی معیارهای شدت پیامد حادثه

در این مطالعه به منظور در نظر گرفتن همه‌ی ابعاد پیامدها، شدت پیامد ریسک‌های حوادث براساس تعاریف سازمان های مختلف از قبیل EPA، ILO، OSHA و NFPA بر روی چهار معیار جانی، مالی، زمانی و زیست محیطی در نظر گرفته شد. سپس یک حادثه به عنوان فاجعه بارترین و بیشترین پیامد انتخاب و سایر حوادث بر مبنای مقایسه زوجی نسبت به آن سنجیده شد و بردار اولویت حوادث در یک محدوده بدست آمد. در این مرحله تمامی عناصر هر سطح به‌صورت دو به دو باهم مقایسه گردید. ارجحیت نسبی عناصر با مقیاس ۹ درجه موسوم به طیف ساعتی انجام گرفت. بعد از تعریف اعداد فازی و متغیرهای زبانی، روش سلسله مراتبی تعیین شدت پیامد شامل جمع آوری نظرات خبرگان و به دست آوردن ماتریس مقایسه های زوجی برای هر خبره و محاسبه وزن های فازی هر یک از معیارها و زیرمعیارها انجام گرفت. پرسشنامه مربوط به سلسله مراتبی فازی بین ۱۴ نفر از خبرگان صنعت توزیع و از آنها خواسته شد که معیارها را به صورت زوجی با یکدیگر مقایسه کنند. در مرحله بعد با استفاده از اعداد فازی متناظر متغیر های زبانی کمی سازی نتایج به صورت ماتریس A انجام شد.

$$\tilde{A}=\begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \cdots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \cdots & 1 \end{bmatrix}= \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \cdots & \tilde{a}_{1n} \\ \frac{1}{\tilde{a}_{12}} & 1 & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{\tilde{a}_{1n}} & \frac{1}{\tilde{a}_{2n}} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (۶)$$

پس از محاسبه ماتریس مقایسات زوجی فازی برای هر خبره نتایج را با استفاده از روش میانگین هندسی فازی (معادله ۷) با یکدیگر ادغام و ماتریس مقایسات زوجی ادغام شده محاسبه گردید.

$$\mu_g=\left(\prod_{i=1}^{n} a_i\right)^{1/n}=\sqrt[n]{a_1.a_2\dots.a_n}\,\tilde{a}_{ij}=\left(\tilde{a}_{ij}^{1}\times\tilde{a}_{ij}^{2}\times\dots\times\tilde{a}_{ij}^{m}\right)^{\frac{1}{m}} \quad (۷)$$

وزن حاصل از میانگین هندسی، وزن نهایی عناصر است. پرکاربردترین روش محاسبه وزن نهایی عناصر، تکنیک بردار ویژه آیگن[1] مبتنی بر مفهوم نرمال‌سازی است که براساس معادله ذیل محاسبه گردید.

$$W_i=\frac{\pi_i}{\sum_{i=1}^{n}\pi_i} \quad (۸)$$

جهت رتبه‌بندی گزینه‌های تصمیم، گزینه‌های موجود برحسب تک تک معیارها به‌صورت دو به دو مقایسه شدند. وزن نهایی هر گزینه طبق معادله ۱۰ برابر است با حاصل جمع وزن نسبی آن گزینه نسبت به یک معیار خاص ضرب‌در وزن آن معیار.

(۱۰)وزن معیار × وزن گزینه برحسب معیار∑ = وزن گزینه

مطابق با معادله ۱۱ از تقسیم شاخص سازگاری بر شاخص تصادفی، نرخ سازگاری به دست آمد. اگر نرخ سازگاری کمتر یا مساوی از ۰/۱ باشد، مقایسه‌ها سازگار هستند (۳۳).

$$CR=\frac{CI}{RI} \quad (۱۱)$$

مرحله ۶: محاسبه عدد اولویت ریسک حوادث منتخب

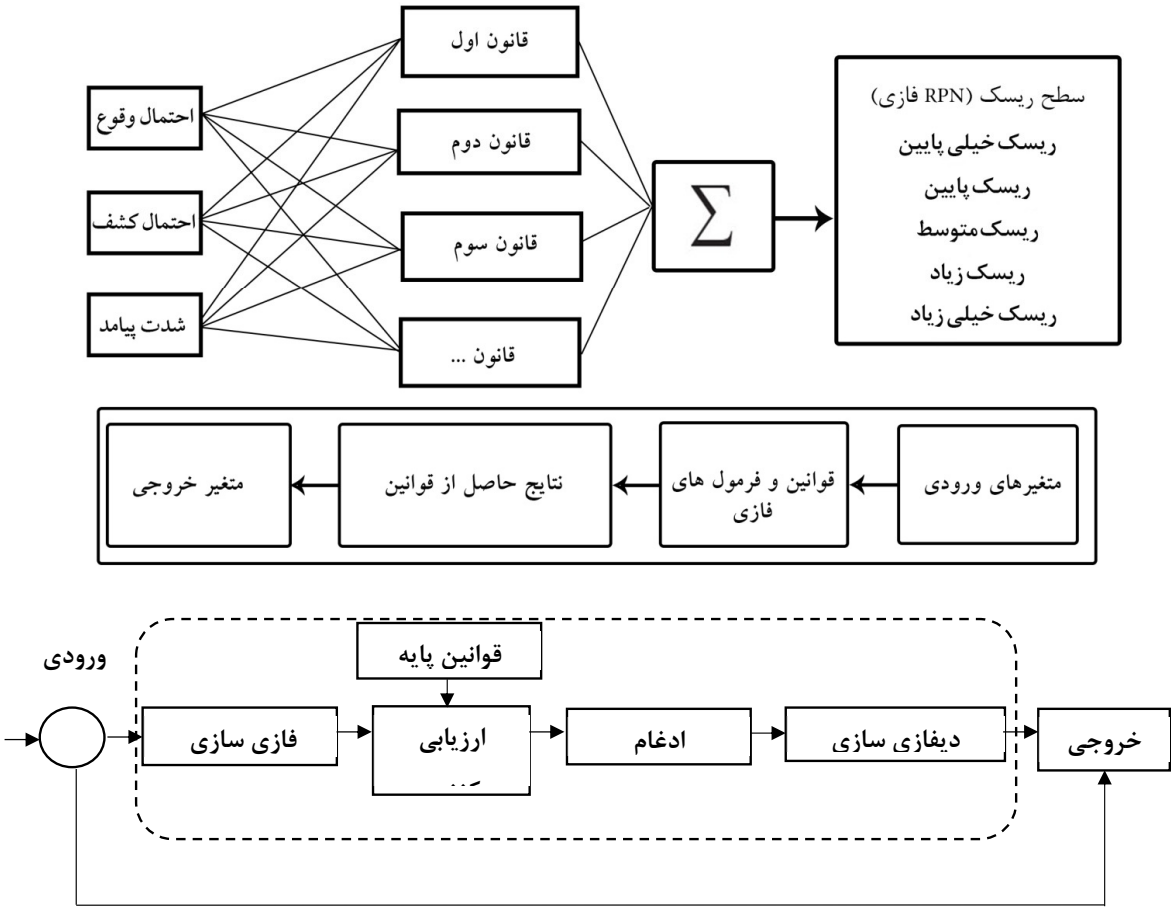
محاسبه عدد اولویت ریسک (RPN) در روش FMEA سنتی با استفاده از احتمال وقوع، احتمال کنترل ریسک و شدت پیامد می گردد.

(۱۲)RPN= احتمال وقوع × احتمال کنترل ریسک × شدت پیامد

در این مطالعه به منظور استفاده از FMEA فازی متغیرهای بدست آمده در مراحل قبل به عنوان ورودی سیستم فازی در نظر گرفته شد. متغیرهای ورودی (احتمال وقوع، احتمال کشف و شدت پیامد حوادث)

1. Eigenvalue

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-01-28]



شکل ۳. چهارچوب کلی سیستم استنتاج فازی مطالعه

توسط مقیاس ۵ تایی به متغیرهای زبانی مورد نیاز سیستم فازی تبدیل گردید. خروجی این سیستم فازی بر اساس قوانین و فرمول های فازی که برای سیستم تعریف شده مقدارRPN فازی هر حادثه است که اولویت بندی حوادث بر اساس آن انجام گردید.

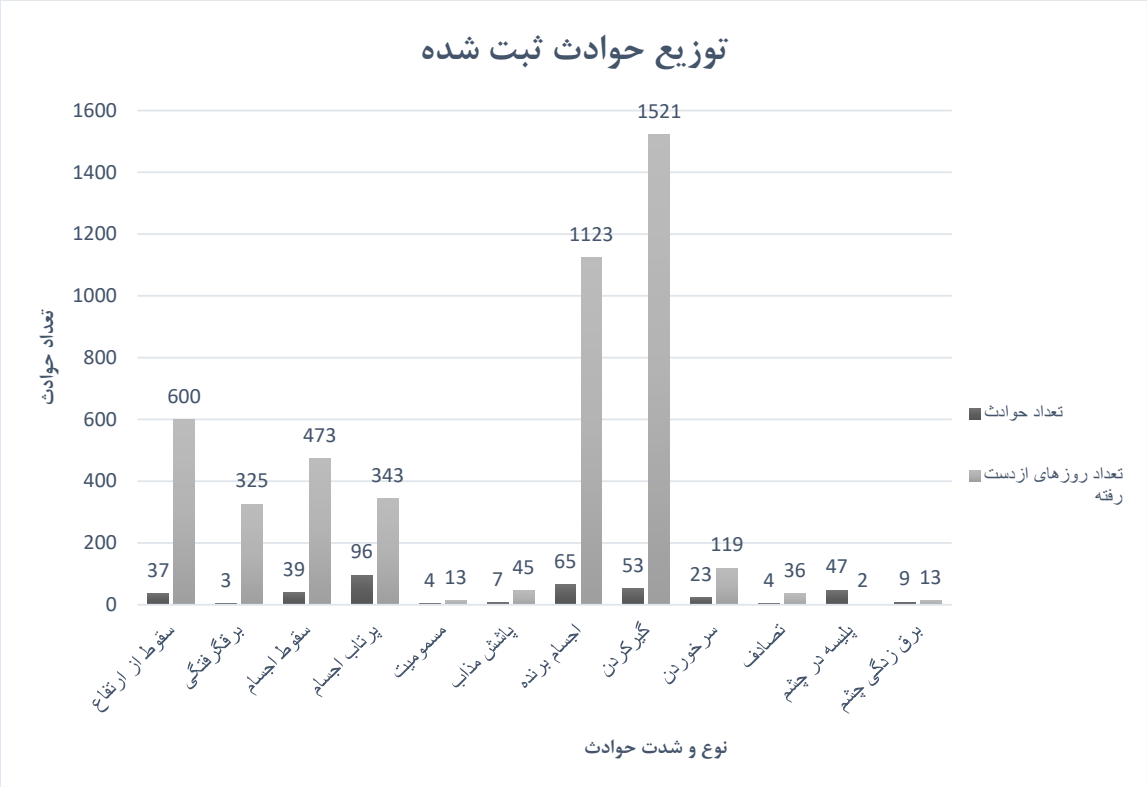
سیستم استنتاج فازی ابزار فرموله کردن یک فرآیند به کمک قواعد اگر-آنگاه فازی است. به مجموعه این قواعد فازی پایگاه قواعد فازی[1] یا FRB نیز گفته می شود. شکل ۳ چهارچوب کلی سیستم استنتاج فازی مطالعه را نشان می دهد.

در این مطالعه پایگاه قوانین با هدف در نظرگرفتن تمامی شرایط ممکن با استفاده از تحقیقات پیشین و نظرات خبرگان طراحی گردید. داده های حاصل از چک لیست ها پس از جمع آوری از خبرگان به وسیله نرم افزار EXCEL به منظور محاسبه احتمال وقوع، کشف و شدت پیامد حوادث مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند و پس از آن برای نیل به هدف اولویت بندی ریسک با استفاده ازسیستم استنتاج فازی، از نرم افزار متلب[2] برای بررسی ویژگی ها و قوانین فازی استفاده شد. سیستم فازی دارای سه بخش می باشد، بخش اول ورودی ها هستند که در مطالعه ما پارامترهای احتمال وقوع، احتمال کشف و شدت پیامد حوادث می‌باشند. خروجی این سیستم بر اساس قوانین تعریف شده متغیر عدد اولویت ریسک می‌باشد که برای اولویت بندی و تصمیم گیری در خصوص ریسک ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. سیستم فازی در این مطالعه از قوانین سیستم فازی ممدانی که در مطالعات قبلی بیشترین ارجاع را داشته است، استفاده شد و تمام ساخت و آنالیز سیستم فازی این مطالعه توسط نرم افزار MATLAB انجام گرفت.

1 Fuzzy Base Rule

2 MATLAB

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-01-28]



شکل ۴. توزیع حوادث ثبت شده در صنعت فولاد

نتایج

پژوهش حاضر از نوع توصیفی - تحلیلی با هدف ارزیابی ریسک حوادث صنعت فولاد با ترکیب روش‌های AHP[2]، FTA[1] و FMEA[3] فازی با استفاده از نظرات ۱۴ خبره با آمار و اطلاعات ۳۸۷ حادثه ثبت شده در بازه زمانی ۱۳۹۲- ۱۴۰۰ این صنعت انجام گرفته است. در شکل ۴ توزیع حوادث براساس آمار اطلاعات ثبت شده صنعت فولاد نشان داده شده است.

از بین حوادث ثبت شده سقوط از ارتفاع، تماس با جسم برنده و گیرکردن اعضای بدن بین اشیاء از نظر فرکانس رخداد و حوادث برق گرفتگی و سقوط اشیاء با توجه به سطح آسیب ها جهت بررسی های بیشتر این مطالعه انتخاب شدند. به منظور دستیابی به علل وقوع حوادث با استفاده از تحقیقات کتابخانه ای و نظر خبرگان نمودار درخت خطای مربوط به هرحادثه رسم و بترتیب نرخ احتمال وقوع و احتمال کشف رویداد محاسبه گردید. جدول ۱ نرخ احتمال وقوع رویداد های اصلی و میانی مربوط به ۵ حادثه منتخب را نشان می دهد.

نتایج جدول ۱ نشان می دهد ، بیشترین نرخ احتمال وقوع ۰/۵۶۴۵۶ مربوط به حادثه سقوط از ارتفاع و کمترین احتمال وقوع ۰/۱۷۴۱۳ مربوط به حادثه گیرکردن اعضای بدن بین اشیاء می باشد. برق گرفتگی دارای بیشترین احتمال کشف ۰/۴۳۶۲۵ و حادثه گیرکردن اعضای بدن بین اشیاء دارای کمترین میزان احتمال کشف ۰/۱۳۹۲۸ است.

پس از تعیین نرخ احتمال وقوع و کشف حوادث، شدت پیامد حوادث بر اساس ۴ معیار مالی، جانی، زمانی و زیست محیطی در چارچوب مقایسه های زوجی تعیین گردید. وزن های نرمال شده مقایسه های زوجی معیارها و رتبه بندی حاصل از آن در جدول ۲ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود معیار جانی با ضریب اهمیت ۰/۵۴۵۹، معیار زیست محیطی با اهمیت ۰/۳۲۲۸، معیار مالی با اهمیت ۰/۰۶۳۲۶ و در نهایت معیار زمان از دست رفته کاری با اهمیت ۰/۰۵۵۴۳ به ترتیب رتبه‌های یک تا چهار اولویت معیارها را به خود اختصاص داده اند. از نظر خبرگان و کارشناسان صنعت معیارهای جانی و زیست محیطی در اولویت بالا نسبت به سایر معیارها قرار دارند.

1 Fault Tree Analysis
2 Analytical Hierarchy Process
3 Failure Mode and Effects Analysis

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-01-28]

جدول ۱. نرخ احتمال وقوع و احتمال رویدادهای میانی و اصلی حوادث

ردیف	رویدادهای میانی	کدهای اختصاص یافته	نرخ احتمال وقوع	نرخ احتمال کشف	رویداد اصلی	نرخ احتمال وقوع	نرخ احتمال کشف
۱	سقوط از داربست	X	۰/۳۵۲۹۴	۰/۲۳۷۳۹	سقوط از ارتفاع	۰/۵۶۴۵۶	۰/۴۷۳۹۳
	سقوط از استراکچر	Y	۰/۱۷۶۴۷	۰/۱۵۶۸۳			
	سقوط از تجهیزات حین تعمیرات	Z	۰/۱۸۳۹۳	۰/۰۹۳۳۵			
۲	برقگرفتگی ناشی از برخورد بیل مکانیکی با کابل برق زیرخاک	A	۰/۰۳۵۵۷	۰/۰۴۷۷۰	برقگرفتگی	۰/۳۲۲۸۹۰	۰/۴۳۶۲۵
	برقگرفتگی ناشی ازاتصال به بدنه	B	۰/۰۳۲۷۴	۰/۰۶۲۶۶			
	برقگرفتگی ناشی ازاتصال کوتاه	C	۰/۰۳۲۷۴	۰/۰۶۲۶۶			
	برقگرفتگی ناشی از اضافه بارOverloaded Circuits،	D	۰/۰۰۵۰۰	۰/۰۱۶۵۰			
	برقگرفتگی ناشی از برخورد لوله داربست با کابل برق	E	۰/۰۳۷۵۷	۰/۰۷۸۱۴			
	برقگرفتگی ناشی ازبرق داربودن بدنه تجهیزات	F	۰/۰۴۸۷۰	۰/۰۳۷۵۷			
	برقگرفتگی ناشی ازتماس با سیم لخت و اتصالات زخمی	G	۰/۰۳۲۷۴	۰/۰۳۲۷۴			
	برقگرفتگی ناشی از عدم قطع جریان برق هنگام تعمیرات	H	۰/۰۴۸۷۰	۰/۱۰۶۶۶			
	برقگرفتگی ناشی ازبرخورد بوم جرثقیل با کابل برق	I	۰/۰۳۷۵۷	۰/۰۳۷۵۷			
	تماس با بدنه برقدار کانکس	J	۰/۰۳۷۵۷	۰/۰۶۷۳۵			
۳	سقوط بار و تجهیزات از کفی تریلی	A	۰/۰۶۷۳۵	۰/۰۷۸۱۴	سقوط اشیاء	۰/۳۴۵۸۶	۰/۳۷۷۸۱
	سقوط بار و تجهیزات هنگام بلند کردن با جرثقیل	B	۰/۰۹۳۳۵	۰/۱۲۱۴۱			
	سقوط ابزارآلات و اشیاء از ارتفاع داربست	C	۰/۱۱۱۱۳	۰/۰۷۲۰۱			
	سقوط ابزارآلات و تجهیزات کارکنان درحال کار روی تیر برق	D	۰/۰۲۱۴۲	۰/۰۲۱۴۱			
	سقوط تجهیزات تازه نصب شده	E	۰/۰۱۷۵۵	۰/۰۲۱۴۲			
	سقوط مصالح از بالابر	F	۰/۰۳۷۵۷	۰/۰۴۸۷۰			
	سقوط اسکلت فلزی	G	۰/۰۲۶۳۱	۰/۰۷۸۱۴			
۴	تجهیزات	A	۰/۰۵۳۴۶	۰/۰۸۲۷۵	بی‌توجهی به تجهیزات	۰/۲۴۵۱۸	۰/۲۸۳۰۲
	عوامل فردی	B	۰/۱۳۴۳۰	۰/۰۴۸۷۰			
	عوامل سازمانی	C	۰/۰۴۸۷۰	۰/۰۷۸۱۴۰			
	عوامل محیطی	D	۰/۰۱۷۵۵	۰/۰۶۲۶۶			
۵	گیرکردن دست بین داربست و قالب	A	۰/۰۲۲۴۷	۰/۰۲۶۳۱	گیرکردن اعضای بدن بین اشیاء	۰/۱۷۴۱۳	۰/۱۳۹۲۸
	گیرکردن انگشتان دست بین آرماتور و دستگاه خم کن	B	۰/۰۱۷۵۵	۰/۰۰۹۹۷			
	گیرکردن دست بین تسمه های دیزل ها	C	۰/۰۲۶۳۱	۰/۰۲۶۳۱			
	گیرکردن دست بین قسمت های دوار ماشین آلات	D	۰/۰۳۲۷۴	۰/۰۰۹۹۷			
	گیرکردن انگشتان دست مابین قسمت های کوبنیک شده هنگام فیتاپ لوله	E	۰/۰۳۷۵۷	۰/۰۶۷۳۵			
	گیرکردن دست بین شفت های جرثقیل	F	۰/۰۶۲۶۶	۰/۰۰۹۹۷			
	گیرکردن پا در شبکه های آرماتور	G	۰/۰۱۶۵۰	۰/۰۰۵۰۰			

وزن‌های نرمال شده هریک از حوادث بر اساس معیارها در جدول ۳ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در اکثر معیارها حادثه سقوط از ارتفاع از نظر کارشناسان بیشترین پیامد و اهمیت را داشته و تنها در معیار جانی است که وزن حادثه برق‌گرفتگی به میزان زیادی از سایر حوادث بیشتر است که نشان دهنده این است که اکثر حوادث برق‌گرفتگی پیامدهای جانی همچون مرگ در پی دارد. حادثه گیرکردن اعضای بدن بین اشیاء هم از نظر پیامد حوادث دارای کمترین وزن اهمیت می‌باشد و با توجه به نتایج، تمامی حوادث از نظر معیار زیست محیطی یکسان می‌باشند. درکل براساس تعیین بردار اولویت هر کدام از حوادث برمبنای ۴ معیار تعیین شده حادثه برق گرفتگی در رتبه ۱، سقوط از ارتفاع در رتبه ۲ و گیرکردن بین اشیاء در رتبه آخر قرار گرفت.

نرخ ناسازگاری نیز برای معیارها و حوادث کمتر از مقدار ۰/۱ بدست آمد که نشان می‌دهد قضاوت کارشناسان سازگاری قابل قبولی دارد. مقادیر بدست آمده از مراحل قبل شامل مقادیر احتمال وقوع، مقادیر احتمال کشف و مقادیر شدت پیامد حوادث به عنوان ورودی سیستم استنتاج فازی مدل ممدانی مطابق شکل ۴ در نرم افزار متلب ماطابق قوانین اگر و آنگاه قرار گرفتند. نمودارهای سه بعدی روابط بین متغیرهای ورودی و خروجی مطابق شکل ۵ حاصل شد.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-01-28]

جدول ۲. اطلاعات بدست آمده از مقایسه های زوجی معیارها با تعداد ۱۴ خبره

معیار	کد معیار	میانگین هندسی فازی سطرها (l,m,u)	وزن فازی معیارها (l,m,u)	وزن قطعی معیارها	وزن نرمال معیارها	رتبه معیار
معیار مالی	A	(۰/۳۸۹۱ ،۰ /۴۳۲۱ ،۰/۴۸۴۷)	(۲/۶۴۵۵ ،۲/۶۳۷۷ ، ۲/۶۲۹۶)	۲/۶۳۸	۰/۰۶۳۲۶	۳
معیار جانی	B	(۲/۹۲۹۲ ،۳/۲۷۹۴ ، ۳/۶۲۷۷)	(۱۹/۹۱۵۷ ،۲۰/۰۱۸۱۲ ، ۱۹/۶۸۱۳)	۱۹/۸۷۲	۰/۵۴۵۹۲	۱
معیار زمانی	C	(۰/۳۰۹۹۱ ،۰ /۳۴۴۵۶ ،۰/۳۹۰۱۹)	(۲/۱۰۷۰ ،۲/۱۰۳۲ ، ۲/۱۱۶۸)	۲/۱۰۹	۰/۰۵۵۴۳	۴
معیار زیست محیطی	D	(۱/۷۹۶۸۷ ،۲ /۰۴۸۰ ، ۲/۲۹۶۱)	(۱۲/۲۱۶۶ ،۱۲/۵۰۱۴ ، ۱۲/۴۵۷۱)	۱۲/۳۹۲	۰/۳۲۲۸	۲

جدول ۳. اطلاعات بدست آمده از مقایسه های زوجی حوادث براساس هریک از معیارها (تعداد ۱۴ خبره)

معیارها	حوادث / وزن ها	سقوط از ارتفاع (A)	برق‌گرفتگی (B)	سقوط اشیاء (C)	تماس با اجسام برنده(D)	گیرکردن بین اشیاء (E)
معیار جانی	وزن نرمال حوادث	۰/۳۸۴	۰/۴۱۵	۰/۱	۰/۰۸۴	**۰/۰۵۶**
	رتبه	۲	۱	۳	۴	۵
معیار مالی	وزن نرمال حوادث	۰/۳۹۳	۰/۳۵۰	۰/۱۳۸	۰/۰۹۷	**۰/۰۷۱**
	رتبه	۱	۲	۳	۴	۵
معیارزمانی	وزن نرمال حوادث	۰/۳۹۵	۰/۳۳۸	۰/۱۴۳	۰/۱۰۹	**۰/۰۶۱**
	رتبه	۱	۲	۳	۴	۵
معیار زیست محیطی	وزن نرمال حوادث	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	**۰/۲**
	رتبه	۱	۱	۱	۱	۱
بردار اولویت		۰/۳۲۳۶۶۰۹۸	۰/۳۳۳۹۹۳۰۲	۰/۱۳۸۶۴۰۴	۰/۱۲۴۵۸۱۹	۰/۱۰۵۰۳۱۰۴۳
شدت پیامد		۰/۹۶۹۰۶۵۱	۱	۰/۴۰۵۴۵۴۲	۰/۳۷۳۰۰۷۶	۰/۳۱۴۴۷۰۸
رتبه کلی		۲	۱	۳	۴	۵

خلاصه مقادیر بدست آمده متغیرهای ورودی و خروجی پنج حادثه در جدول ۴ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود سقوط از ارتفاع، برق گرفتگی و سقوط اشیاء به ترتیب دارای بیشترین مقدار RPN فازی بوده و اولویت بررسی ریسک را به خود اختصاص داده اند که محدوده RPN حوادث سقوط از ارتفاع و برق گرفتگی در بین ریسک های متوسط تا بالا (M-H) و محدوده RPN حادثه سقوط اشیاء بین ریسک های کم تا متوسط (L-M) بدست آمد. حادثه برق گرفتگی دارای بیشترین شدت پیامد و حادثه سقوط از ارتفاع دارای بیشترین میزان نرخ احتمال وقوع می‌باشد. همچنین حادثه گیرکردن اعضای بدن بین اشیاء دارای کمترین مقدار عدد اولویت ریسک می‌باشد که محدوده RPN آن بین ریسک های خیلی کم قرار دارد.

بحث

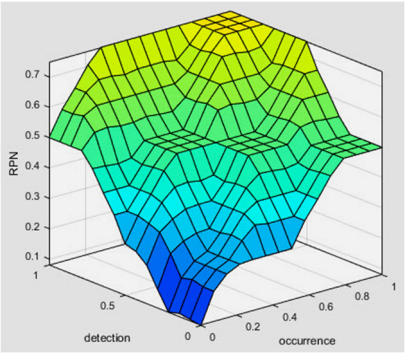
پژوهش حاضر با هدف رتبه بندی ریسک حوادث موجود در صنعت فولاد با روش FMEA فازی انجام شد. نتایج جدول ۳ نشان داد احتمال وقوع حوادث سقوط از ارتفاع، سقوط اشیاء و برق گرفتگی از سایرحوادث بیشتر بوده و رتبه بالاتری را به خود اختصاص داده اند. طبق نتایج مطالعات گذشته ریسک سقوط از ارتفاع جزء مهمترین ریسک‌ها شناخته شده است (۳۴-۳۷). در سال ۲۰۰۸ زنگ[1] و همکاران به برخی از حوادث از جمله سقوط از ارتفاع و ضربه ناشی از سقوط مواد به عنوان رایجترین علت حوادث منجر به صدمات در چین اشاره کردند (۳۸). اردشیر و همکاران در مطالعه ای مشابه حوادث پروژه های انبوه سازی را بررسی کردند. آنها با استفاده از روش FTA فازی و مقادیر á CUT احتمال وقوع سقوط از داربست و سقوط حین جوشکاری روی اسکلت فلزی را نسبت به سایر ریسک ها بیشتر بدست آوردند. مطالعات مشابهی در سرتاسرجهان نتایج این پژوهش را تایید می‌کنند مانند: مطالعات گورکانلی و مونگن (۳۹) در سال ۲۰۰۹ ، هائوتین و همکاران(۲۰۱۲) (۴۰) و فلاحتی و همکاران(۲۷).

در این مطالعه مهمترین گره یا بحرانی ترین گره[2] در

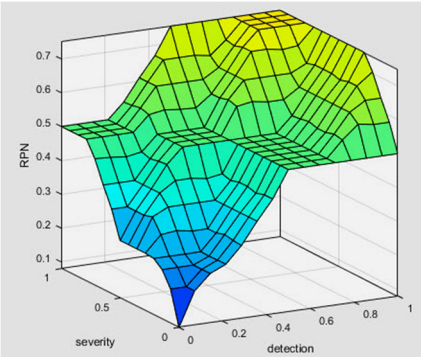
1 Zeng

2 Minimal Cut Set

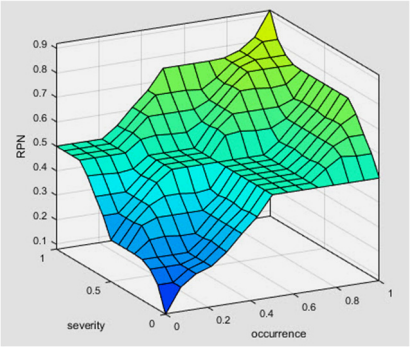
[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-01-28]



احتمال وقوع و احتمال کشف حوادث با RPN فازی



احتمال کشف و شدت پیامد حوادث با RPN فازی



روابط بین احتمال وقوع و شدت پیامد حوادث با RPN فازی

شکل ۵. نمودار سه بعدی روابط بین متغییرهای احتمال وقوع، احتمال کشف و شدت پیامد

جدول ۴. مقادیر بدست آمده متغیرهای ورودی و خروجی پنج حادثه

حادثه	احتمال وقوع	احتمال کشف	شدت پیامد	RPN فازی	محدوده RPN	رتبه بندی
سقوط از ارتفاع	۰/۵۶۴	۰/۴۷۳	۰/۹۶۹	۰/۶۶۵	M-H	۱
سقوط اشیاء	۰/۳۴۵	۰/۳۷۷	۰/۴۰۵	۰/۳۷	L-M	۳
برقگرفتگی	۰/۳۲۲	۰/۴۳۶	۱	۰/۵۶۳	M-H	۲
تماس با اجسام برنده	۰/۲۴۵	۰/۲۸۳	۰/۳۷۳	۰/۲۴۹	VL-L	۴
گیرکردن بین اشیاء	۰/۱۷۴	۰/۱۳۹	۰/۳۱۵	۰/۲۲۸	VL-L	۵

وقوع حوادث سقوط از ارتفاع را از نظر خبرگان صنعت سقوط از داربست به خود اختصاص می‌دهد که مشابه نتایج تحقیقات بنتلی، اردشیر و مرتضوی می‌باشد (۲۲, ۴۱, ۴۲). عدم قطع جریان برق حین تعمیرات (H) و برقدار بودن بدنه تجهیزات (F) بحرانی ترین گره های حوادث برق گرفتگی را در درخت خطای تشکیل شده به خود اختصاص میدهند. در یک مطالعه ده ساله در آمریکا علت ۳۹٪ مرگ و میرهای موجود در صنایع ساختمانی و شرکت های مرتبط با انتقال نیرو ناشی از برق‌گرفتگی بوده است (۴۳). نتایج بدست آمده نشان داد معیارهای جانی (۰/۵۴۵) و زیست محیطی (۰/۳۲۲) برای خبرگان این صنعت نسبت به بقیه معیارها در اولویت هستند (جدول۴) که این نتایج با نتایج مطالعه اردشیر و همکاران(۲۲) در پروژه های انبوه سازی همخوانی دارد. در این مطالعه با توجه به نوع حوادث انتخابی جهت مقایسه های زوجی، حوادث اثرات زیست محیطی قابل توجه ای نداشته اند و همانطور که در جدول ۵ نشان داده شد تمامی متخصصان وزن یکسان ۰/۲ را به همه حوادث اختصاص داده اند، این بدین معنی است که هیچ کدام از حوادث از منظر زیست محیطی اولویتی به یکدیگر ندارند.

نتایج جدول ۹ نشان داد با توجه به تعریف محدوده

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-01-28]

RPN تعیین شده در سیستم استنتاج فازی (پنج سطح در محدوده ۰ تا ۱) ریسک حوادث سقوط از ارتفاع و برق گرفتگی به ترتیب با مقدار RPN ، ۰/۶۶۵ و ۰/۵۶۳ در محدوده ریسک های متوسط -بالا قرار دارند. ریسک حوادث سقوط اشیاء نیز با مقدار RPN ، ۰/۳۷ در محدوده ریسک های کم- متوسط قرار دارد. از جمله مزایای استفاده از مجموعه‌های فازی و متغیرهای زبانی، استفاده در مواقعی که داده های کمی کافی برای ارزیابی ریسک و معیار مشخص برای تعیین ریسک های قابل قبول و غیرقابل قبول وجود ندارد است، که در این پژوهش با توجه به نبود اطلاعات نرخ احتمال وقوع و شدت پیامد حوادث و نبود معیار تعیین ریسک به خوبی نشان داده شد.

محمدعبدالگواد[1] و همکاران (۴۴) در سال ۲۰۱۰ با هدف گسترش استفاده از روش FMEA از روش فازی و تحلیل سلسله مراتبی به منظور رفع محدودیت های روش FMEA سنتی استفاده کردند. آنها با تعریف متغیرهای زبانی در پنج سطح برای احتمال وقوع، کشف و شدت پیامد حوادث به ارزیابی ریسک با روش FMEA فازی پرداختند، در این مطالعه با توجه به دقت بیشتر روش های ارزیابی ریسک کمی نسبت به روش های صرفاً کیفی از روش های مکمل FTA و AHP فازی به منظور برآورد دقیق و واقعی تر متغیرهای احتمال وقوع، کشف و شدت پیامد حوادث استفاده گردید.

لی شین[2] و همکاران در سال ۲۰۱۶ و Shafiee و همکاران(۲۰۱۹) با روشی مشابه پژوهش حاضر به معرفی روش تغییر یافته FMEA پرداختند(۴۵). تفاوت روش آنها با مطالعه حاضر در این است که آنها پس از تعریف متغیرهای زبانی برای پارامترهای احتمال وقوع، کشف و شدت پیامد حوادث، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی به تعیین وزن این سه پارامتر پرداختند و مقدار نهایی RPN را براساس وزن پارامترها بدست آوردند. در مطالعه حاضر هرچند وزن سه پارامتر در سیستم فازی یکسان در نظر گرفته شده است در تحلیل سلسله مراتبی سعی شد با در نظر گرفتن جنبه های متعدد پیامد حوادث من جمله : معیارهای جانی، مالی، زمان از دست رفته کاری و معیار زیست محیطی برآورد دقیق تری از مقدار RPN بعمل آید. به کمک این روش ارزیابی ریسک با توجه به پارامترهای احتمال وقوع، کشف و شدت پیامد های ریسک حوادث، وضعیت موجود ایمنی در پروژه، مورد مطالعه قرار می‌گیرد و همچنین علاوه بر ارزیابی ریسک به علل ریشه ای ریسک ها پرداخته (ترسیم درخت خطای علل وقوع حوادث) و در نهایت به طور دقیق می‌توان استراتژی های کاهش ریسک را ارائه نمود. این روش در صنایع و موقعیت هایی که اطلاعات دقیق از نرخ وقوع حوادث و خرابی ها وجود ندارد، این امکان را می‌دهد که برآوردی دقیق وقابل اطمینان از ارزیابی کمی ریسک انجام شده و زمینه‌ی راهکارهای کنترلی فراهم گردد. متغیرهای احتمال وقوع، احتمال کشف و شدت پیامد حوادث در این مطالعه دارای وزن یکسانی هستند پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی یا روش دیمتل فازی وزن هریک از این متغیرها مشخص گردد تا ارزیابی دقیق تری از ریسک حوادث بدست آید. شرایط کاری دشوار و گستردگی صنعت همچنین تعداد زیاد حوادث موجود و عدم توانایی در بررسی تمامی آنها و تعداد زیاد و متنوع علل های میانی و ریشه ای وقوع حوادث از جمله محدودیت‌های این مطالعه بود که می تواند در ایجاد و افزایش خطای مطالعه تاثیر داشته باشد. به دلیل محدودیت‌های موجود، اعتبارسنجی مدل در این مطالعه انجام نشده است. پیشنهاد می گردد که در مطالعات آینده، فرآیند اعتبارسنجی به طور جامع‌تری مورد بررسی قرار گیرد تا دقت و قابلیت اطمینان مدل مورد سنجش و در نهایت ارتقاء یابد.

نتیجه گیری

تعیین رتبه هرحادثه بیانگر میزان توجه و تمرکز روی هر یک از علل های شناخته شده منجر به حادثه است تا با در نظر گرفتن رتبه ریسک اقدامات اصلاحی لازم به منظور حذف، کاهش، کنترل یا انتقال ریسک صورت گیرد. مطابق اصل پارتو ۸۰ درصد حوادث تنها به دلیل ۲۰ درصد علت ها به وقوع می‌پیوندد. گره های بحرانی شناسایی شده در درخت خطاهای تشکیل شده مطابق این اصل نشان می‌دهد که با کنترل و طراحی اقدامات پیشگیرانه برای گره های بحرانی و سپس پایش مستمر و ارزیابی ریسک به منظور اطمینان از عملکرد صحیح می‌توان احتمال وقوع حوادث و درنتیجه مقادیر RPN را به میزان قابل توجه ای کاهش و قابلیت اطمینان را افزایش داد. در پژوهش حاضر، برای رویکرد فازی در روش FMEA دو مزیت بیشتر مورد تأکید است: اول اینکه این مدل قابلیت به کارگیری برای سیستمی را دارد که در آن داده کمی کافی و قابل اعتماد برای تخصیص

1 Mohamed Abdelgawad
2 Jun-Li Shi

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-01-28]

رتبه به متغیرهای ورودی احتمال وقوع، احتمال کشف و شدت پیامد حوادث وجود ندارد. دوم اینکه استفاده از متغیرهای زبانی، خبرگان صنعت را قادر میکند تا قضاوت های واقعی تری را از سیستم تحت مطالعه خود داشته باشند. الگوی پراکندگی رتبه حوادث بدست آمده در این مطالعه با الگوی پراکندگی حوادث واقعی مقایسه شد و نشان داده شد روش استفاده شده در مطالعه و ترکیب روش های ارزیابی ریسک، منطق فازی و تحلیل سلسله مراتبی می‌تواند تا حدودی الگوی پراکندگی حوادث را پیش بینی کند که می‌توان از آن در پیشگیری از وقوع حوادث آینده استفاده کرد.

حمایت مالی

این مقاله منتج از پایانامه کارشناسی ارشد HSE موسسه عالی آموزش انرژی ساوه می باشد و بغیر از کمک های اطلاعاتی و در اختیار دادن محیط و داده های صنعت مورد نظر در اختیار تیم تحقیق، هیچ گونه حمایت مالی خارج از موسسه جهت اجرای تحقیق انجام نگرفته است .

ملاحظات اخلاقی

موضوعات اخلاقی شامل سرقت ادبی، رضایت آگاهانه، سوءرفتار، جعل داده‌ها، انتشار و ارسال مجدد و مکرر ازسوی نویسندگان رعایت شده است.

کد اخلاق

با عنایت به این که این موسسه آموزش عالی زیر مجموعه وزارت علوم می باشد، این پایانامه با کد RES-۱۰-۰۱ در موسسه عالی انرژی ساوه ثبت گردیده است.

مشارکت نویسندگان:

۱ - مجتبی ذکایی : مشارکت در آنالیز داده ها، نوشتن مقدمه و ادیت ، طراحی ساختار مقاله

۲- میلاد عباسی : مشارکت در آنالیز داده ، ترجمه بخش انگلیسی مقاله، آنالیز داده ها در محیط متلب

۳- فردین زند سلیمی: مشارکت در آنالیز داده های در محیط نرم افزار EXPERT CHOICE، نوشتن بخش متد

۴- محمد زارع: هماهنگی و جمع آوری داده ، هماهنگی جهت فراهم نمودن محیط پژوهش و وارد کردن داده ها در نرم افزار و تکمیل پرسشنامه های خبرگان

۵- جلال عباسی (دانشجو): جمع آوری داده ، وارد کردن داده ها در نرم افزارهای مربوطه ، طراحی پرسشنامه ها و .....

۶- محسن فلاحتی(استاد راهنما) : نوشتن مقاله ، مدیریت و هماهنگی تحقیق، آنالیز داده ها و .....

دسترسی آزاد

کپی‌رایت نویسنده(ها) ©2024: این مقاله تحت مجوز بین‌المللی Creative Commons Attribution 4.0 اجازهٔ استفاده، اشتراک‌گذاری، اقتباس، توزیع و تکثیر را در هر رسانه یا قالبی مشروط بر درج نحوهٔ دقیق دسترسی به مجوز CC، منوط به ذکر تغییرات احتمالی بر روی مقاله می‌داند. لذا به استناد مجوز یادشده، درج هرگونه تغییرات در تصاویر، منابع و ارجاعات یا سایر مطالب از اشخاص ثالث در این مقاله باید در این مجوز گنجانده شود، مگر اینکه در راستای اعتبار مقاله به اشکال دیگری مشخص شده باشد. در صورت درج نکردن مطالب مذکور و یا استفادهٔ فراتر از مجوز بالا، نویسنده ملزم به دریافت مجوز حق نسخه‌برداری از شخص ثالث است.

به‌منظور مشاهدهٔ مجوز بین‌المللی Creative Commons Attribution 4.0 به نشانی زیر مراجعه شود:

http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

REFRENCES

1. Jouzi SA, Kabzadeh S, Irankhahi M. Safety, Health & Environmental Risk Assessment And Management Of Ahwaz Pipe Manufacturing Company Via “William Fine” Method. 2010.
2. Yakut M, Kaya I, Bozkus E, editors. A Two-Dimensional Fuzzy Risk Assessment Model for Occupational Health and Safety Evaluations. 2022 International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA); 2022: IEEE.
3. Lee E, Park Y, Shin JG. Large engineering project risk management using a Bayesian belief network. Expert Systems with Applications. 2009;36(3):5880-7.
4. Pokoradi L. Fuzzy logic-based risk assessment. AARMS, Academic and Applied Research in Military Science. 2002;1(1):63-73.
5. Chia ES, editor Risk assessment framework for project management. 2006 IEEE International Engineering Management Conference; 2006.
6. Tadic D, Djapan M, Misita M, Stefanovic M, Milanovic DD. A fuzzy model for assessing risk of occupational

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-01-28]

safety in the processing industry. International journal of occupational safety and ergonomics. 2012;18(2):115-26.
7. Binaghi E, Madella P. Fuzzy Dempster–Shafer reasoning for rule-based classifiers. International Journal of Intelligent Systems. 1999;14(6):559-83.
8. Costigan A, Gardner D. Measuring Performance in OHS: an Investigation into the use of Positive Performance Indicators. Journal of Occupational Health & Safety (Australia/New Zealand). 2000;16(1):55-64.
9. Commission NOHS. OHS performance measurement in the construction industry. Canberra, National Occupational Health and Safety Commission; Commonwealth of Australia 1999.
10. Scotney V. Development of a health and safety performance measurement tool. HSE CONTRACT RESEARCH REPORT. 2000.
11. Shahin A. Integration of FMEA and the Kano model: An exploratory examination. International Journal of Quality & Reliability Management. 2004;21(7):731-46.
12. Wang Y-M, Chin K-S, Poon GKK, Yang J-B. Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean. Expert systems with applications. 2009;36(2):1195-207.
13. Chin K-S, Chan A, Yang J-B. Development of a fuzzy FMEA based product design system. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2008;36(7-8):633-49.
14. Chang K-H, Cheng C-H, Chang Y-C. Reprioritization of failures in a silane supply system using an intuitionistic fuzzy set ranking technique. Soft Computing. 2010;14(3):285-98.
15. Jamshidi A, Kazemzadeh RB, editors. A Fuzzy Cost-based FMEA Model. International Conference on Industrial Experting and Operations Management; 2010: Citeseer.
16. Clemen RT, Winkler RL. Combining probability distributions from experts in risk analysis. Risk analysis. 1999;19(2):187-203.
17. Zadeh LA. Fuzzy sets. Information and control. 1965;8(3):338-53.
18. Zimmermann H-J. Fuzzy sets, decision making, and expert systems: Springer Science & Business Media; 2012.
19. Vidal L-A, Marle F, Bocquet J-C. Using a Delphi process and the Analytic Hierarchy Process (AHP) to evaluate the complexity of projects. Expert systems with applications. 2011;38(5):5388-405.
20. Ardeshir A, Mohajeri M, Amiri M. Safety assessment in construction projects based on analytic hierarchy process and grey fuzzy methods. Iran Occupational Health. 2014;11(2).
21. Mete S, Oz NE, Gul M, Serin F, Celik E, editors. A Risk Assessment Approach Using Both Stochastic Data and Subjective Judgments. Intelligent and Fuzzy Techniques in Big Data Analytics and Decision Making: Proceedings of the INFUS 2019 Conference, Istanbul, Turkey, July 23-25, 2019; 2020: Springer.
22. Ardeshir A, Amiri M, Mohajeri M. Safety risk assessment in mass housing projects using combination of fuzzy FMEA, fuzzy FTA and AHP-DEA. Iran Occupational Health. 2013;10(6).
23. Xiang Y, Liu C, Chao C, Liu H. Risk analysis and assessment of public safety of Submerged Floating Tunnel. Procedia Engineering. 2010;4:117-25.
24. Yang, Zh., Xu, B ., Chen, F ., Hao, Q ., Zhu, X ., Jia, Y ., (2010). "A New Failure Mode and Effects Analysis Model of CNC Machine Tool using Fuzzy Theory", P roceedings o f t he 2010 I EEEInternational Conference on Information and Automation, Harbin, China, pp. 582-587.
25. Deshpande A, Khanna P. Fuzzy fault tree analysis: case studies. Reliability and Safety Analyses Under Fuzziness: Springer; 1995. p. 126-41.
26. Pan N-F, Wang H, editors. Assessing failure of bridge construction using fuzzy fault tree analysis. Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, 2007 FSKD 2007 Fourth International Conference on; 2007: IEEE.
27. Falahati M, Karimi A, Mohammadfam I, Mazloumi A, Reza Khanteymoori A, Yaseri M. Multi-dimensional model for determining the leading performance indicators of safety management systems. Work. 2020;67(4):959-69.
28. Falahati M, Karimi A, Zokaie M, Biabani A, Faghihnia Torshizi Y. Development and validation of active performance indicators of electrical safety using bow-tie and bayesian network techniques case study: Oil and gas industries construction projects. Iran Occupational Health. 2019;16(4):22-34.
29. Zokaee M, Falahati M, Asady H, Rafee M, Najafi M, Biabani A. Development and validation of a practical model for quantitative assessment of HSE performance of municipalities using the impact of urban management system components. Journal of Health & Safety at Work. 2019;9(2).
30. Nordlöf H, Wiitavaara B, Winblad U, Wijk K, Westerling R. Safety culture and reasons for risk-taking at a large steel-manufacturing company: Investigating the worker perspective. Safety science. 2015;73:126-35.
31. Onisawa T. An approach to human reliability in man-machine systems using error possibility. Fuzzy Sets and Systems. 1988;27(2):87-103.
32. Mahmood Y, Ahmadi A, Verma AK, Srividya A, Kumar U. Fuzzy fault tree analysis: A review of concept and

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-01-28]

application. International Journal of System Assurance Engineering and Management. 2013;4(1):19-32.
33. Saaty TL. Decision making with the analytic hierarchy process. International journal of services sciences. 2008;1(1):83-98.
34. Martin JE, Rivas T, Matías J, Taboada J, Argüelles A. A Bayesian network analysis of workplace accidents caused by falls from a height. Safety Science. 2009;47(2):206-14.
35. Mohajeri M, Amiri M. Ranking Main Causes of Falling from Height Hazard in High-Rise Construction Projects. Iran Occupational Health. 2014;11(5):53-64.
36. Montero-Odasso M, Van Der Velde N, Martin FC, Petrovic M, Tan MP, Ryg J, et al. World guidelines for falls prevention and management for older adults: a global initiative. Age and ageing. 2022;51(9):afac205.
37. Fang W, Ma L, Love PE, Luo H, Ding L, Zhou A. Knowledge graph for identifying hazards on construction sites: Integrating computer vision with ontology. Automation in Construction. 2020;119:103310.
38. Zeng S, Tam VW, Tam CM. Towards occupational health and safety systems in the construction industry of China. Safety science. 2008;46(8):1155-68.
39. Gürcanli GE, Müngen U. An occupational safety risk analysis method at construction sites using fuzzy sets. International Journal of Industrial Ergonomics. 2009;39(2):371-87.
40. Liu H-T, Tsai Y-l. A fuzzy risk assessment approach for occupational hazards in the construction industry. Safety science. 2012;50(4):1067-78.
41. Bentley TA, Hide S, Tappin D, Moore D, Legg S, Ashby L, et al. Investigating risk factors for slips, trips and falls in New Zealand residential construction using incident-centred and incident-independent methods. Ergonomics. 2006;49(1):62-77.
42. Mortazavi S, Asilian H, Avestakhan M. Relationship between safety climate factors and the risk of dangerous situations in height among construction workers. 2011.
43. Amouei M, Barzegar A, et al. Electric shock, a sad ending (study of electric shock resulting in death referred to Legal Medicine Organization during one and a half years (from 1999 to october 2000), Scientific Journal Of Forensic Medicine.
44. Abdelgawad M, Fayek AR. Risk management in the construction industry using combined fuzzy FMEA and fuzzy AHP. Journal of Construction Engineering and Management. 2010;136(9):1028-36.
45. Shafiee M, Enjema E, Kolios A. An integrated FTA-FMEA model for risk analysis of engineering systems: a case study of subsea blowout preventers. Applied Sciences. 2019;9(6):1192.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-01-28]