Journal of Health and Safety at Work 2023; 13(1): 60-76

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Developing a Method for Evaluating Workplace Accidents: Fault Analysis Method (FAM)

Iraj Mohammadfam*

Department of Health, Safety and Environment Management, School of health, Occupational Health and Safety Research Center, School of Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

Received: 2020-05-05 Accepted: 2023-01-15

ABSTRACT

Introduction: Occupational accidents are one of the most important risk factors for developing countries. In addition to designing preventive measures to prevent accidents, comprehensive research of accidents is considered as an undeniable necessity to reduce the risk of accidents. Thus, the first step is to find the root causes of their occurrence, which will certainly be possible with the use of appropriate techniques.

Material and Methods: In this study, first, the appropriate criteria for designing the accident analysis method were collected. In the second step, commonly used techniques were collected through known databases. In the third step, the collected techniques were scaled based on the selected criteria using the TOPSIS method, and ultimately, the new method (FAM) was developed. Finally, by analyzing three different accidents with the developed technique and four other common techniques, as well as using the ANP method, the developed technique was tested and confirmed.

Results: Based on the studies conducted to identify appropriate criteria for comparing accident analysis techniques, finally 6 criteria were selected for to be used in the study process. According to the findings, the FAM method with a normal final weight of 0.2684 was considered the priority in occupational accident analysis.

Conclusion: The output of this study was the introduction of the FAM technique. Using the strengths of the four techniques and covering their weaknesses, this technique can help identify and determine the causes of accidents graphically, systematically, and by minimizing the work attitude of analysts at three levels

Keywords: *Analysis, Fault, Accident, Work-Related*

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Mohammadfam I. Developing a Method for Evaluating Workplace Accidents: Fault Analysis Method (FAM). J Health Saf Work. 2023; 13(1): 60-76.

1. INTRODUCTION

The increasing growth of industries and the degree of complexity as well as the assignment of huge amounts of critical work to human beings have all made accidents as one of the most frequent phenomena in recent decades. Although it is still impossible to measure all aspects of human costs, some aspects are measurable. Statistics show that about 317 million accidents happen worldwide each year, killing nearly 2.78 million people. According to estimates made by the International Labor Organization (ILO), the economic cost of accidents and occupational diseases is 4% of countries' gross domestic product (GNP). Accordingly, this cost has been more than $ 17 billion for Iran.

Therefore, the necessity of controlling and reducing the risk of occurrence and severity of accidents have already been clear. The inability to identify and prevent all possible and existing hazards and the limitation of various resources needed to identify and eliminate those hazards,

* Corresponding Author Email: *mohammadfam@umsha.ac.ir*

Copyright © 2023 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.

despite the goal of achieving zero accidents, have made it virtually impossible to achieve such safety aims in practice. For this reason, safety science must go to both active and passive approaches at the same time.

One of the key steps in the research process is to find the root causes. By enabling the determination of the type and level of impact of the causes of accidents and enabling the design and implementation of corrective measures, accident analysis can enable management to take optimal measures (including multiple corrective options) following the conditions of the industry and organization. This will be only possible by using appropriate techniques.

Currently, several methods have been introduced for this purpose. Each technique has its own strengths and weaknesses. Organizations, therefore, must choose the optimal analysis method by defining and determining the appropriate criteria. The main purpose of this study was to develop a method for the analysis and investigation of accidents that can use the strengths of several techniques and cover their weaknesses.

2. MATERIAL AND METHODS

In this study, the following steps were made to develop appropriate techniques for accident analysis:

1- Collecting and selecting evaluation criteria of accident investigation: In this study, first, the appropriate criteria for designing an accident analysis method from different sources were collected and screened based on the opinions of eight relevant experts.

2- Identifying widely used and appropriate techniques in the field of occupational accident investigation: In the second step, common and widely used techniques in the field of occupational accident investigation were collected. To identify these techniques, the search of articles with appropriate keywords was used in known databases.

3- Selecting appropriate techniques for developing the final selected technique: The collected techniques were identified based on the selected criteria using one of the multi-criteria decision-making methods (MADM), i.e. (TOPSIS) scoring, and the techniques that had the highest score in the selected criteria were identified.

4- Technique development: In this step, by carefully examining the four selected techniques in the third step and studying their working methods, reviewing articles related to incident analysis (which used the mentioned techniques) and finally, collecting the opinions of experts, the strengths and weaknesses of the selected techniques were identified. Consequently, a new technique was designed. The advanced technique was called the Fault Analysis Method (FAM).

5- Testing and technical certification: In this step, the technical capability of covering selected criteria used in designing the technique using the method (Analytical Network Process -ANP) was determined by analyzing three different accidents using the selected technique and four other techniques. Finally, these abilities were compared with the ability of other techniques, and ultimately the ability of the selected technique was confirmed.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Based on the studies conducted to identify the appropriate criteria for comparing accident

Table 1: The results of the sample-t-test

Criteria	The value of t	Average	P-Value
Requires specialized software	0.734	3.100	0.481
The time required for analysis and analysis	1.814	3.550	0.055
Graphics (C1)	2.124	3.750	0.040
Cost of analysis and analysis	0.704	2.900	0.681
Reliability (C4)	3.592	3.950	0.000
Requires specialized training (C6)	2.206	3.550	0.048
Comprehension (C3)	4.951	4.500	0.000
Depth of analysis and analysis technique (C2)	4.524	4.450	0.000
Avoiding Taste (C5)	4.021	3.800	0.001
Easy to use	1.652	2.950	0.163

investigation techniques, 10 criteria were identified of which six criteria were selected to be used for the purpose of the study. The results of sample-t-test analysis are listed in Table 1 based on the opinions of eight experts at a 95% confidence level.

In this step, appropriate and widely used techniques in the field of occupational accident investigation were identified. Using the TOPSIS method and six criteria, four techniques (Tripod_β, CBA, SCAT, and ECFC) were selected as the main basis for the development of indigenous techniques. Then, by examining the strengths and weaknesses of the four mentioned techniques, the FAM technique was developed.

In the next step, three different occupational accidents were selected to analyze and compare the five mentioned techniques. Criteria for selecting three accidents were different types of industry (construction incident, process, and mineral), having a variety of consequences (focusing on human, economic, environmental, political, and social consequences) and the level of cooperation of companies and organizations, as well as having access to the data of occurred accidents. The selected experts then analyzed the selected accidents separately with five techniques.

According to the finding of the study, the FAM method with a normal final weight of 0.2684 had the priority in the analysis of occupational accidents. The second and third ranks were assigned to the two techniques of TRIPOD-β and SCAT, respectively.

Choosing the right technique for rooting out the causes of accidents is one of the main challenges in accident research. On the other hand, selecting the wrong technique can lead to identifying causes incompletely, identifying wrong causes, wasting financial resources, wasting time, and investing in the wrong path. The most important criteria identified in this study were the ability to identify the causes, the cost of analysis, and the time required, respectively. Numerous similar studies have tried to use the appropriate criteria.

In the present study, the ANP method was used to classify and select the appropriate technique. In many similar studies, the same technique has been used to compare and select the optimal technique.

As mentioned above, four techniques used to develop the FAM technique included TRIPOD-β, SCAT, ECFC, and CBA methods. In six similar studies, TRIPOD-β was considered as one of the selected techniques. This was repeated three times in the ECFC technique, two times in the SCAT technique, and two times in the CBA technique. This indicates the capability of these techniques and indicates that they are common in the analysis of accidents.

The output of this study was the FAM technique. Using the strengths of four techniques and covering their weaknesses, this technique can analyze graphically (strengths of TRIPOD-β, ECFC, SCAT techniques) and systematically (strengths of CBA, SCAT techniques), and it can minimize the taste of analysts (strengths of TRIPOD-β, SCAT techniques) at three levels (TRIPOD-β, SCAT techniques) to identify and determine the causes of accidents.

4. CONCLUSIONS

The output of this study was the FAM technique. Using the strengths of four techniques and covering their weaknesses, this technique can analyze graphically (strengths of TRIPOD-β, ECFC, SCAT techniques) and systematically (strengths of CBA, SCAT techniques), and it can minimize the taste of analysts (strengths of TRIPOD-β, SCAT techniques) at three levels (TRIPOD-β, SCAT techniques) to identify and determine the causes of accidents. Moreover, the lack of need for specialized software, studying speed, and also the low cost of analysis are the other advantages of the selected technique.

5. ACKNOWLEDGMENT

The study was founded by Hamadan University of Medical Sciences (grant No. 9904031914).

فصلنامه بهداشت و ایمنی کار جلد ۱۳/ شماره ۱/ بهار ۱۴۰۲ صفحات ۶۰-۷۶

توسعه روشی برای تجزیه‌وتحلیل حوادث ناشی از کار: روش تجزیه‌وتحلیل خطا

ایرج محمدفام

گروه مدیریت سلامت، ایمنی و محیط‌زیست، مرکز تحقیقات ایمنی و بهداشت شغلی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۱۶، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۵

چکیده

مقدمه: حوادث شغلی یکی از مهم‌ترین ریسک فاکتورهای اقتصادی، انسانی و اجتماعی برای کشورهای درحال‌توسعه محسوب می‌شوند. در کنار طراحی و پیاده‌سازی اقدامات پیشگیرانه از طریق رویکرد ارزیابی و مدیریت ریسک، تحقیقات جامع و دقیق حوادث رخداده یک ضرورت انکارناپذیر برای کاهش ریسک حوادث می‌باشد. اولین گام در همین راستا، ریشه‌یابی علل بروز آن‌ها می‌باشد. این امر تنها با به‌کارگیری تکنیک‌های مناسب امکان‌پذیر خواهد شد.

روش کار: در این مطالعه ابتدا معیارهای مناسب برای طراحی روش تحلیل حادثه، جمع‌آوری و بر اساس نظرات خبرگان غربالگری گردید. در گام دوم تکنیک‌های معمول و پرکاربرد درزمینهٔ تجزیه‌وتحلیل حوادث شغلی از طریق پایگاه‌های اطلاعاتی معتبر جمع‌آوری شد. در گام سوم، تکنیک‌های جمع‌آوری‌شده بر اساس معیارهای منتخب و با استفاده از روش تاپسیس (TOPSIS) امتیازدهی و با انتخاب تکنیک‌های برتر بر اساس آن‌ها اقدام به طراحی تکنیک جدید شد. سپس با تجزیه‌وتحلیل سه حادثه متفاوت با تکنیک منتخب و چهار تکنیک مورداستفاده و استفاده از روش ANP تکنیک توسعه‌یافته تست و تصدیق گردید.

یافته ها: بر اساس بررسی‌های انجام‌شده جهت شناسایی معیارهای مناسب برای مقایسه تکنیک‌های تجزیه‌وتحلیل حوادث، ۱۰ معیار شناسایی شد که از میان آن‌ها شش معیار برای استفاده در مراحل مطالعه انتخاب شدند. بر اساس یافته‌ها، روش FAM با وزن نهایی نرمال ۰/۲۶۸۴ در تجزیه‌وتحلیل حوادث شغلی از ارجحیت اول برخوردار شد. رتبه‌های دوم و سوم به ترتیب به دو تکنیک TRIPOD-β و SCAT تعلق گرفت.

نتیجه گیری: خروجی این مطالعه معرفی تکنیک FAM بود. این تکنیک با بهره‌گیری نقاط قوت تکنیک‌های چهارگانه و پوشاندن ضعف آن‌ها، قادر است به‌صورت گرافیکی و سیستماتیک، با به حداقل رساندن سلیقه کاری تحلیل گران در سه سطح به شناسایی و تعیین علل حوادث کمک نماید.

کلمات کلیدی: *تجزیه و تحلیل، نقص، حادثه ناشی از کار*

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول مکاتبه: mohammadfam@umsha.ac.ir

مقدمه

رشد روزافزون صنایع، بالا رفتن درجه پیچیدگی و در هم تنیدگی، سپردن حجم عظیمی از کارهای بحرانی به انسان، متغیر بودن عوامل محیطی و خارجی و مواردی مشابه باعث شده است که حوادث به یکی از پدیده‌های جاری دهه‌های اخیر تبدیل شود (۱). وسعت زیاد خرابی‌های حاصل، بالا بودن تعداد تلفات انسانی، آسیب‌های شدید و گسترده محیط زیستی، خسارات سنگین اقتصادی، تبعات گسترده اجتماعی و سیاسی باعث شده است که حوادث شغلی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ریسک فاکتورهای اقتصادی، انسانی و اجتماعی برای کشورهای درحال‌توسعه محسوب شود (۱). اگرچه هنوز اندازه‌گیری همه جوانب هزینه‌های انسانی مانند درد و رنج قربانیان و نزدیکان آن‌ها غیرممکن است، اما برخی از جنبه‌های آن قابل‌اندازه‌گیری است. آمارهای ارائه‌شده نشان می‌دهند سالیانه حدود ۳۱۷ میلیون حادثه در جهان رخ می‌دهد که منجر به کشته شدن تقریباً ۲/۷۸ میلیون نفر می‌شود. به‌عبارت‌دیگر، هرروز حدود ۶۳۰۰ و هر چهار دقیقه یک کارگر براثر حوادث شغلی جان خود را از دست می‌دهد (۲-۵).

از بعد اقتصادی نیز نتایج مطالعات نشان می‌دهند سالیانه حدود ۱۲۰ میلیون حادثه شغلی با بیش از ۲۰۰۰۰۰ کشته در جهان رخ می‌دهد. بر اساس برآوردهای سازمان بین‌المللی کار (ILO)، هزینه اقتصادی حوادث و بیماری‌های شغلی ۴٪ تولید ناخالص ملی (GNP) کشورها است (۶). بر این اساس، این هزینه برای کشور ایران بیش از ۱۷ میلیارد دلار بوده است.

با توجه به مطالب یادشده، ضرورت کنترل و کاهش ریسک بروز و شدت حوادث بیش‌ازپیش آشکارشده است. هرچند در دو دهه اخیر بیشتر تمرکز علم ایمنی بر رویکرد پیشگیرانه از طریق طراحی و پیاده‌سازی اقدامات پیشگیرانه در قالب فرایند ارزیابی و مدیریت ریسک متمرکز شده است؛ ولی بااین‌وجود هنوز هم از اهمیت و ضرورت تحقیقات جامع و دقیق حوادث کاسته نشده است (۷-۹). شاید مهم‌ترین علت این دیدگاه، غیرممکن بودن حذف امکان بروز همه حوادث باشد (۱۰). دخالت نیروی انسانی در اغلب فعالیت‌های تولیدی و خدماتی امروزی که بروز رفتارهای ناایمن بخشی از ماهیت آن به شمار می‌رود، عدم توانایی در شناسایی و پیشگیری کلیه خطرات ممکن و موجود، به همراه محدودیت در منابع مختلف موردنیاز برای شناسایی و حذف خطرات، باعث شده است که باوجود هدف‌گذاری برای رسیدن به «حادثه صفر»، رسیدن به این هدف عملاً تنها تبدیل به یک دورنمای جذاب و چالش‌برانگیز و درعین‌حال غیرقابل دستیابی در اکثر مواقع باشد. به همین دلیل لازم است علم ایمنی به‌طور هم‌زمان دو مسیر اکتیو و پسیو را طی نماید (۱۱).

بدیهی است یکی از گام‌های اساسی در فرایند تحقیقات رویداد، ریشه‌یابی علل بروز آن‌ها می‌باشد. تجزیه‌وتحلیل حوادث با فراهم آوردن امکان تعیین نوع و سهم علل اصلی و مشارکت‌کننده حوادث، علاوه بر اینکه امکان طراحی و پیاده‌سازی اقدامات اصلاحی را فراهم می‌سازد، به‌طور هم‌زمان مدیریت را قادر می‌سازد که بر اساس شرایط، از میان گزینه‌های متعدد اصلاحی، اقدامات بهینه و متناسب با شرایط صنعت و سازمان خود را انتخاب نماید (۱۲). بدیهی است این امر تنها با به‌کارگیری تکنیک‌های مناسب امکان‌پذیر خواهد شد. استفاده از تکنیک مناسب، تحلیلگر حادثه را قادر می‌سازد که علل دخیل و سهیم در یک حادثه را همانند قطعات یک پازل در کنار هم بچیند و درنهایت به زنجیره اصلی علل ایجادکننده حادثه دست پیدا کند (۱۳, ۱۴).

در حال حاضر ده ها روش برای این منظور معرفی‌شده است. هر تکنیک دارای نقاط ضعف و قوت خاص خود می‌باشد، به همین دلیل لازم است سازمان‌ها با تعریف و تعیین معیارهای مناسب، به انتخاب روش تحلیل بهینه خود بپردازند. از معیارهای مهم انتخاب تکنیک تحلیل حادثه می‌توان به مواردی نظیر عمق تحلیل، گرافیکی بودن نتایج، اجتناب از سلیقه کاری، نیازهای آموزشی تکنیک، هزینه اجرا، زمان اجرا و جامعیت تکنیک اشاره کرد.

هدف اصلی این مقاله توسعه یک روش تجزیه‌وتحلیل حادثه بود که بتواند هم‌زمان از نقاط قوت چندین تکنیک استفاده کرده و نقاط ضعف آن‌ها را پوشش دهد. برای این منظور با بررسی بیش از ۳۲ تکنیک معرفی‌شده توسط سازمان‌های معتبر و مقالات علمی، درنهایت با توجه به اهداف مطالعه و معیارهای معرفی‌شده جهت انتخاب تکنیک‌های برتر در تجزیه‌وتحلیل حوادث (۱۵-۲۱)، چهار روش چارت بندی رخدادها و فاکتورهای علی (Event and Causal Factor Charting -ECFC)، تجزیه‌وتحلیل مبتنی بر تغییر (Change Based Analysis - CBA)، تکنیک تجزیه‌وتحلیل نظام‌مند علل (Systematic Cause Analysis technique - SCAT) و Tripod-β به‌عنوان متد پایه مورداستفاده قرار گرفت. ECFC امکان ارائه و تکمیل سناریو حادثه را فراهم کرده و به تحلیلگر اجازه می‌دهد که شمای گرافیکی از فرایند وقوع حادثه را ترسیم نماید؛ CBA شناسایی انحرافات ایجادشده در فرایند مثل انجام عملیات منجر به حادثه را فراهم می‌نماید و ترکیب دو تکنیک SCAT و Tripod-β با فراهم آوردن بانک داده از علل حوادث، ضمن کمک به شناسایی علل حادثه در سه سطح مستقیم، مشارکت‌کننده و ریشه‌ای، احتمال اعمال سلایق شخصی تجزیه‌وتحلیل گران را به حداقل رسانده و ترمینولوژی یکسانی را در تعیین علل حادثه فراهم می‌نماید.

روش کار

در این مطالعه به‌منظور توسعه تکنیکی مناسب برای تحلیل حوادث به شرح زیر اقدام گردید:

۱- جمع‌آوری و انتخاب معیارهای ارزیابی تکنیک‌های تجزیه‌وتحلیل حادثه

در این مطالعه ابتدا معیارهای مناسب برای طراحی یک روش تحلیل حادثه از منابع و نتایج مختلف جمع‌آوری (۲۲-۲۵) و بر اساس نظرات خبرگان متشکل از هشت نفر (سه استاد دانشگاه، دو کارشناس از وزارت کار، یک کارشناس از وزارت نفت، یک کارشناس از سازمان آتش‌نشانی و یک کارشناس رسمی دادگستری حوادث ناشی از کار) غربالگری گردید.

نظرات صاحب‌نظران در مورد اهمیت هریک از معیارها از طریق پرسشنامه‌ای پنج طیفی به شرح «خیلی خوب، خوب، متوسط، ضعیف و خیلی ضعیف» جمع‌آوری و معیارهای بااهمیت با استفاده از آزمون t تک نمونه در نرم‌افزار SPSS 21 انتخاب شدند.

۲- شناسایی تکنیک‌های پرکاربرد و مناسب درزمینهٔ تجزیه و تحلیل حوادث شغلی

در گام دوم تکنیک‌های معمول و پرکاربرد درزمینهٔ تجزیه‌وتحلیل حوادث شغلی جمع‌آوری گردید. برای شناسایی روش‌های تجزیه‌وتحلیل حادثه از جستجوی مقالات با کلیدواژه‌هایی مانند روش‌ها و تکنیک‌های تجزیه‌وتحلیل حوادث، تحقیقات حادثه/ رویداد، تکنیک‌های ریشه‌یابی علل حادثه/ رویداد در پایگاه‌های اطلاعاتی معتبر مانند Iran Medex, Science Database (SID)، Magiran، Google scholar، Science Direct، PubMed، Scopus و Web of Science استفاده شد.

۳- انتخاب تکنیک‌های مناسب برای توسعه تکنیک منتخب

در گام سوم تکنیک‌های جمع‌آوری‌شده بر اساس معیارهای منتخب در گام اول، با استفاده از یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه (MADM) یعنی تاپسیس (TOPSIS) امتیازدهی و بدین ترتیب تکنیک‌های که بالاترین امتیاز را در پوشش معیارهای منتخب داشتند شناسایی گردیدند.

۴- توسعه تکنیک

در این گام با بررسی دقیق چهار تکنیک منتخب در گام سوم، مطالعه روش کار آن‌ها، مرور مقالات مرتبط با تحلیل حادثه که از تکنیک‌های یادشده بهره برده بودند و همچنین جمع‌آوری نظرات خبرگان (گام اول)، نقاط قوت و ضعف تکنیک‌های منتخب شناسایی و بر اساس آن

اقدام به طراحی تکنیک جدید گردید. تکنیک توسعه‌یافته درنهایت به نام روش تجزیه‌وتحلیل خطا نام‌گذاری شد (Fault Analysis Method (FAM)).

۵- تست و تصدیق تکنیک

در این گام با تجزیه‌وتحلیل سه حادثه متفاوت با تکنیک منتخب و چهار تکنیک مورداستفاده در طراحی تکنیک توسط تیم خبرگان، توانمندی تکنیک در پوشش دادن معیارهای منتخب در گام اول با استفاده از روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای (Analytical Network Process –ANP) با سایر تکنیک‌ها مقایسه و درنهایت تصدیق گردید. از آنجایی که معیارهای انتخاب گزینش تکنیک مناسب‌تر تجزیه‌وتحلیل حوادث می‌توانند بر همدیگر تأثیر و تأثر داشته و اثرات یاد شده قادرند بر درجه اهمیت معیارها و درنتیجه انتخاب نهایی اثرگذار باشند، برای این منظور فرآیند تحلیل شبکه‌ای انتخاب شد. این روش تعمیم‌یافتهٔ روش تجزیه‌وتحلیل سلسله مراتبی (Analytical Hierarchy Process–AHP) است. در مواقعی که سطوح پایین معیارها بر روی سطوح بالایی خود اثرگذار بوده و یا معیارهایی که در یک سطح قرار دارند مستقل از هم نبوده و بر همدیگر تأثیرگذار باشند، روش AHP کارایی لازم را ازدست‌داده و لازم است از روش ANP استفاده گردد (۲۶).

پس از مشخص شدن معیارهای انتخاب، گزینه‌های منتخب و همچنین شناسایی روابط درونی بین معیارها، بر اساس روش ANP به شرح زیر اقدام شد:

الف) تشکیل پنل خبرگان

برای به دست آوردن وزن معیارها، روابط درونی و گزینه‌ها، ۸ خبره در حوزه تجزیه‌وتحلیل حوادث انتخاب گردید. با استفاده از رابطه شماره ۱، تعداد مقایسات زوجی در هر پرسشنامه، جهت تعیین وزن و اهمیت فاکتورها تعیین شد. در رابطه زیر، n تعداد معیارها/گزینه‌ها و Nc تعداد مقایسات زوجی را نشان می‌دهد (۲۷).

رابطه ۱ $N_c = n.\ (n-1)/2$

ب) تشکیل ماتریس مقایسات زوجی و محاسبه بردارهای وزن مربوطه

در این مرحله، بردار وزن معیارها و گزینه‌ها از طریق مقایسات زوجی (رابطه ۲) برای هر خبره محاسبه شد.

رابطه ۲
$$A=\begin{bmatrix} 1 & a12 & \dots & a1n \\ a21 & 1 & \dots & a2n \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ an1 & an2 & \dots & 1 \end{bmatrix}=[aij]=i,j-1,2,3,\dots$$

در این رابطه a_{ij} نشانگر درجه ترجیح معیار یا گزینه **i** به معیار یا گزینه **j** است.

به دلیل اینکه در این مطالعه از پنل خبرگان استفاده شد و با توجه به یکسان بودن نوع ماتریس‌ها (رابطه ۳) از تمام درایه‌های ماتریس‌های به‌دست‌آمده از خبرگان، میانگین هندسی گرفته شد.

رابطه ۳
$$\mathrm{Aij}=\prod_{k=1}^{n}\left(a_{ij}^{k}\right)^{1/n}$$

در این رابطه A_{ij} بیانگر درایه حاصل از میانگین هندسی، n بیانگر تعداد افراد که قضاوت زوجی را انجام داده‌اند و k نشانگر کد شخصی است که مقایسه را انجام داده است، می‌باشد.

برای ماتریس گروهی به‌دست‌آمده، معیارها و گزینه‌ها از طریق نرمال‌سازی ماتریس گروهی یا استفاده از رابطه ۴، بردار وزن و درنهایت گرفتن میانگین حسابی از هریک از سطرهای ماتریس گروهی نرمال شده به دست آمد:

رابطه ۴
$$\mathrm{rij}=\frac{aij}{\sum_{i=1}^{m}a_{ij}}$$

در رابطه بالا، r_{ij} درایه نرمال شده، متناظر با هر سطر از ماتریس مقایسات زوجی می‌باشد (۲۸).

ج) نرخ ناسازگاری (Inconsistency Ratio-IR)

نرخ ناسازگاری بیانگر آن است که اگر A دارای ۳ برابر اهمیت نسبت به B باشد و B دارای ۲ برابر اهمیت نسبت به C باشد، آنگاه A باید دارای ۶ برابر اهمیت نسبت به C باشد. در پژوهش حاضر محاسبه نرخ ناسازگاری با استفاده از رابطه ۵ و مقادیر شاخص‌های تصادفی ارائه‌شده در جدول ۱ انجام شد.

رابطه ۵ $$I.R = \frac{I.I}{R.I.I}$$

در این رابطه I.I Inconsistency Index شاخص ناسازگاری و R.I.I Random Inconsistency Index، شاخص ناسازگاری تصادفی می‌باشد که بر اساس اندازه ماتریس از جدول ۱ به دست می‌آید.

پس از به دست آوردن ماتریس‌های مقایسه زوجی گروهی، نرخ ناسازگاری برای آن‌ها محاسبه شد. بر اساس پیشنهاد ساعتی، نرخ‌های ناسازگاری کمتر یا برابر با ۰/۱ قابل‌قبول بوده و لازم است مقایساتی با نرخ‌های بزرگ‌تر تجدیدنظر شوند (۳۰).

د) تشکیل سوپر ماتریس ناموزون

سوپر ماتریس نشانگر روابط بین اجزای شبکه بر اساس بردارهای وزن به‌دست‌آمده از مرحله پیش است که مطابق رابطه ۶ محاسبه می‌شود.

رابطه ۶ $$W = \begin{matrix} \\ Criteria \\ Alternatives \end{matrix} \begin{matrix} \begin{matrix} G & C & A \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ W21 & W22 & 0 \\ 0 & W32 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad Goal$$

در رابطه فوق، w_{21} برداری است که اثر هدف را بر روی هریک از معیارها نشان می‌دهد. بردار w_{22} رابطه داخلی معیارها و بردار وزن w_{32} نیز بیانگر اثر هر یک از معیارها بر روی گزینه‌ها می‌باشد.

و) محاسبه سوپر ماتریس موزون

سوپر ماتریس موزون از حاصل‌ضرب هریک از پارامترهای خوشه‌های ستونی سوپر ماتریس ناموزون در بردار وزن نسبی آن خوشه به دست می‌آید.

ی) محاسبه توزیع ماندار سوپر ماتریس (سوپر ماتریس حد)

سوپر ماتریس حد با توان رساندن تمامی عناصر سوپر ماتریس موزون به دست می‌آید. این عمل آن‌قدر تکرار می‌شود تا تمامی عناصر سوپر ماتریس شبیه هم شود. در این حالت تمامی درایه‌های سوپر ماتریس برابر صفر خواهد بود و تنها درایه‌های مربوط به غیرمعیارها عددی می‌شود که در تمامی سطر مربوط به آن درایه تکرار می‌شود. برای تعیین وزن معیارها و گزینه‌ها با استفاده از روش ANP از نرم‌افزار Super Decision نسخه 2.6.0 استفاده گردید.

یافته ها

بر اساس بررسی‌های انجام‌شده جهت شناسایی معیارهای مناسب برای مقایسه تکنیک‌های تجزیه‌وتحلیل حوادث، ۱۰ معیار شناسایی شد که از میان آن‌ها شش معیار برای استفاده در مراحل مطالعه انتخاب شدند. نتایج تجزیه‌وتحلیل آماری t تک نمونه بر اساس نظرات ۸ نفر از خبرگان در سطح اطمینان ۹۵٪ در جدول ۲ آورده شده است.

در این مرحله تکنیک‌های مناسب و پرکاربرد

جدول ۱: شاخص ناسازگاری تصادفی (۲۹)

اندازه ماتریس (n)	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
R.I.I	۰	۰	۰/۵۲	۰/۸۹	۱/۱۱	۱/۲۵	۱/۳۵	۱/۴۰	۱/۴۵	۱/۴۹	۱/۵۱

درزمینهٔ تجزیه‌وتحلیل حوادث شغلی شناسایی شدند (جدول ۳). درنهایت با استفاده از روش تاپسیس و شش معیار تعیین‌شده چهار تکنیک Tripod_β، CBA، SCAT و ECFC به‌عنوان پایه اصلی توسعه تکنیک بومی تجزیه‌وتحلیل حوادث انتخاب شد.

تکنیک‌های مورداستفاده در بخش زیر به‌طور مختصر تشریح می‌شوند:

۱) چارت بندی رخدادها و فاکتورهای علی

ترسیم رخدادها و فاکتورهای علی، تصویری گرافیکی از ترتیب زمانی وقایع منجر به حادثه بوده و اصولاً برای گردآوری و سازمان‌دهی مدارک جهت به تصویر کشیدن توالی رخدادهای حادثه استفاده می‌شود (۳۱, ۳۲). این روش ساده بوده و تصویری واضح از اطلاعات را به نمایش می‌گذارد. به‌روز نگه‌داشتن چارت یا نمودار، به تحلیل‌گر کمک می‌کند تا برنامه بررسی را یکنواخت پیش برده و کمبودهای سیستم را شناسایی نماید. این تکنیک همچنین به ایجاد تصویری واضح از ترتیب زمانی وقوع حادثه کمک می‌کند. همین امر به تسهیل جمع‌آوری مدارک و مصاحبه با شاهدان می‌انجامد.

۲) تجزیه‌وتحلیل مبتنی بر تغییر

تغییر هر چیزی است که بتواند بر روی توازن یک سیستم در حال عملیات، آن‌طور که طراحی‌شده است اثر بگذارد (۳۳, ۳۴). اساس این روش بر این است که چنان چه سیستمی در یک دورهٔ زمانی در حالت استاندارد کار کند و بعد ناگهان عملکرد آن مختل شود، علت آن تغییر یا تغییرات رخداده در سیستم است.

اجرای تکنیک تجزیه‌وتحلیل تغییر نیازمند مقایسه بین دورهٔ زمانی قبل وقوع حادثه و شرایط حادثهٔ اتفاق افتاده است. در روش تجزیه‌وتحلیل مبتنی تغییر، هدف ارزیابی و تشخیص تغییرات اتفاقی یا برنامه‌ریزی‌شده است که در سیستم رخداده و باعث بروز عوارض ناخواسته شده است.

Tripod-β(۳

در روش مفهومی Tripod-Beta از رسم درختواره که یک مدل مفهومی به‌منظور شرح جنبه‌های مختلف مدیریت مخاطرات در بروز حوادث است، استفاده می‌شود (۳۵, ۳۶). در هسته مدل درختواره، مکانیسم حوادث در سه واژه خطر (Hazard)، هدف (Target) و رویداد (Event) تعریف می‌شود. اقدامات کنترلی ضروری که یا وجود نداشته و یا اشتباه عمل کرده‌اند در فاز دوم این درختواره، به آن اضافه می‌گردد. در فاز نهایی درخت Tripod-Beta، مسیرهای علت بروز حادثه (از علت مستقیم تا علت ریشه‌ای) برای هر رویداد نشان داده می‌شود. به‌منظور سادگی کار، اقداماتی که مربوط به مخاطرات می‌شود با

جدول ۲: نتایج آزمون t تک نمونه

معیارها	مقدار t	میانگین	P-Value
نیاز به نرم‌افزار تخصصی	۰/۷۳۴	۳/۱۰۰	۰/۴۸۱
زمان موردنیاز برای تجزیه‌وتحلیل	۱/۸۱۴	۳/۵۵۰	۰/۰۵۵
گرافیکی بودن (C1)	۲/۱۲۴	۳/۷۵۰	۰/۰۴۰
هزینه تجزیه‌وتحلیل	۰/۷۰۴	۲/۹۰۰	۰/۶۸۱
قابلیت اطمینان (C4)	۳/۵۹۲	۳/۹۵۰	۰/۰۰۰
نیاز به آموزش‌های تخصصی (C6)	۲/۲۰۶	۳/۵۵۰	۰/۰۴۸
جامعیت (C3)	۴/۹۵۱	۴/۵۰۰	۰/۰۰۰
عمق تجزیه‌وتحلیل تکنیک (C2)	۴/۵۲۴	۴/۴۵۰	۰/۰۰۰
اجتناب از سلیقه کاری (C5)	۴/۰۲۱	۳/۸۰۰	۰/۰۰۱
قابلیت کاربری آسان	۱/۶۵۲	۲/۹۵۰	۰/۱۶۳

جدول ۳: تکنیک‌های تجزیه‌وتحلیل حوادث

ردیف	نام تکنیک
۱	Accident Analysis and Barrier Function (AEB)
۲	Accident map
۳	Change Based Analysis (CBA)
۴	Systematic Cause Analysis Technique (SCAT)
۵	Sequential Timed Events Plotting (STEP)
۶	Tripod_β
۷	Events and Causal Factors Charting (ECFC)
۸	Systems Theory Accident Modeling and Process(STAMP)
۹	Control change causes Analysis (3CA)
۱۰	Management Oversight and Risk Tree (MORT)
۱۱	Accident Evolution and Barrier analysis (AEBA)
۱۲	Functional Resonance Analysis Method (FRAM)

عنوان کنترل (Control) و آن‌هایی که مربوط به هدف می‌شود با عنوان دفاع (Defense) ذکر می‌گردد.

۴) تکنیک تجزیه‌وتحلیل نظام‌مند علل

این روش تحلیل حوادث بر این اصل استوار است که به‌طورکلی علل حوادث به سه نوع مستقیم (عدم توان جذب ایمنی فرد در برابر انرژی یا مواد خطرناک)، غیرمستقیم (عواملی که شانس به وجود آمدن حادثه را بیشتر می‌کنند) و پایه‌ای (عللی که می‌توانند بعداً به علل غیرمستقیم حادثه تبدیل شوند) تقسیم می‌شوند. در این روش برای شناسایی علل مستقیم، غیرمستقیم، پایه‌ای و مهم‌ترین و ضروری‌ترین راه‌های کنترلی از بانک داده اختصاصی تکنیک استفاده می‌شود (۳۷, ۳۸).

در ادامه با بررسی نقاط ضعف و قوت چهار تکنیک یادشده، اقدام به توسعه تکنیک FAM گردید. در بخش زیر تکنیک یادشده به‌طور مختصر تشریح شده است:

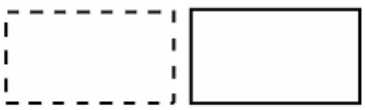
شرح تکنیک روش تجزیه‌وتحلیل خطا (Fault Analysis Method (FAM))

گام اول: تدوین گزارش اولیه حادثه: برای شروع تحلیل یک حادثه ابتدا باید گزارش کامل آن تدوین کنید. در تدوین گزارش سعی کنید به کلیه سؤالاتی که ممکن است با کلماتی نظیر چه چیز؟ کجا؟ چه وقت؟ چه کسی؟ و چه مقدار؟ طرح شوند پاسخ داده باشید.

گام دوم: تدوین سناریو حادثه: مرحله تدوین سناریو در این تکنیک شامل طراحی چارت حادثه است. این چارت اجازه می‌دهد که یک تصویر جامع گرافیکی از فرایند حادثه از رویداد شروع‌کننده تا رویداد پایانی حاصل شود. قوانین حاکم در طراحی چارت سناریو حادثه عبارت‌اند از:

a. حلقه ابتدایی سناریو، رویداد شروع‌کننده حادثه می‌باشد که با یک لوزی نشان داده می‌شود.

b. رخدادهای قطعی با مستطیل و رخدادهای احتمالی که در مورد آن‌ها قطعیت وجود ندارد با مستطیل خط‌چین ترسیم می‌شوند.



c. ارتباط رخدادهای قطعی به هم با فلش امکان‌پذیر است.

d. ارتباط یک مستطیل خط‌چین به رخداد قبلی یا

بعدی آن با فلش خط‌چین امکان‌پذیر است.

e. رخدادها در یک سطح و به‌صورت افقی نمایش داده می‌شوند.

f. رخدادها یک عمل را توصیف می‌کنند نه شرایط را و همواره با یک اسم یا فعل و با صراحت توصیف می‌شوند.

g. هر رخداد تا حد امکان یک عمل مجزا را بیان می‌کند.

h. تا آنجایی که امکان دارد رخدادها به‌صورت کمّی بیان می‌شوند.

i. هر رخداد حتماً نتیجه وقوع رخداد ماقبل خود می‌باشد.

j. حلقه پایانی سناریو حادثه پیامد نهایی حادثه می‌باشد که با یک ستاره نشان داده می‌شود.

گام سوم: شناسایی تغییرات موجود در هر رویداد: اتفاق رخداده در هر باکس را با شرایط طبیعی مقایسه و مشخص کنید که آیا انحرافی از حالات نرمال در رویداد مشاهده می‌کنید؟ برای انجام این مرحله حالت نرمال را برای هر رویداد موجود، در بالا و پایین خط سیر حادثه مشخص کرده و با توجه به نوع رویداد در درون یک بیضی کامل یا خط‌چین قرار دهید. برای شناسایی انحرافات در هر رویداد با نگاه سیستمی یعنی در نظر داشتن انسان، ماشین، مواد و تجهیزات، محیط و روش‌های کار می‌توان از جدول ۴ کمک گرفت.

گام چهارم: شناسایی علل ایجادکننده هر تفاوت: برای این کار از روش 3 Why استفاده کنید. در مورد تفاوت موجود بین رویداد موجود در خط سیر حادثه و بیضی متناظر آن در خط سیر «حالت نرمال» در بالا و پائین آن از روش سه «چرا» استفاده کنید. جواب‌های هر سؤال را درون دایره قرار داده و با توجه به قطعی یا احتمالی

جدول ۴: تجزیه‌وتحلیل تغییر

فاکتور	حالت موجود در رویداد	حالت ایمن / استاندارد / قانونی	تفاوت‌ها
چه؟			
کی؟			
کجا؟			
چه کسی؟			
چگونه؟			

جدول ۵: بخشی از علل مستقیم مؤثر در ایجاد تفاوت

ردیف	علت سطحی	ردیف	علت سطحی
۱	معیوب بودن ابزار و یا تجهیزات	۷	محدودیت ذهنی یا حرکتی
۲	نقص در ایمن‌سازی	۷	نظافت ناایمن تجهیزات
۳	عبور از محل‌های ناایمن	۹	خستگی بیش‌ازحد
۴	بی‌اثر ساختن تدابیر ایمنی	___	----------
۵	اعتمادبه‌نفس بیش‌ازحد/ غرور	۵۲	تلاش نادرست برای به دست آوردن توجه
۶	جایگذاری نامناسب	۵۲	سایر موارد (قید شود)

بودن علت شناسایی‌شده، با خطوط ممتد و یا خط‌چین به بیضی‌های متناظر خود وصل کنید. به خاطر داشته باشید ممکن است انحراف یک رویداد در خط سیر حادثه بیش از یک علت سطحی داشته و یا هیچ علت سطحی نتوان برای آن متصور شد. برای یافتن جواب‌های «چرا» در سطح اول که به دنبال شناسایی علل مستقیم می‌باشد، به‌عنوان راهنما از داده‌های جدول ۵ استفاده کنید.

برای یافتن جواب‌های «چرا» در سطح دوم که به دنبال شناسایی علل بینابینی (مشارکت) می‌باشد، به‌عنوان راهنما از داده‌های جدول ۶ استفاده کنید.

برای تعیین جواب‌های «چرا» در سطح سوم که به دنبال شناسایی علل ریشه‌ای می‌باشد می‌توانید از راهنمایی‌های ارائه‌شده در جدول ۷ استفاده کنید.

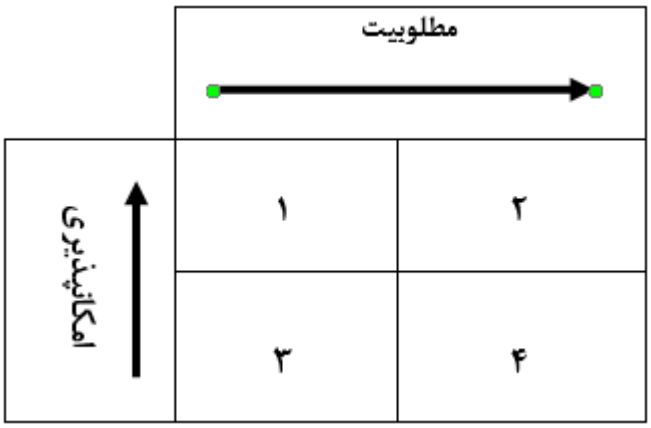
گام پنجم: ارائه راهکارهای اصلاحی برای علل

جدول ۶: بخشی از علل مشارکت‌کننده مؤثر در ایجاد تفاوت

ردیف	علت مشارکت‌کننده	ردیف	علت مشارکت‌کننده
۱	تشویق و تنبیه‌های نامناسب	۷	در دسترس نبودن روش‌های اجرایی
۲	ناکافی / نامناسب بودن بازآموزی‌ها	۸	ضعف در بررسی پیشگیرانه از نیازها
۳	وجود روش های اجرایی متعدد	۹	چیدمان نامناسب تجهیزات
۴	نبود و یا ضعف در آموزش‌ها		----------
۵	تعمیر و نگهداری ضعیف	۶۵	اضافه‌کاری بیش‌ازحد
۶	ضعف در بازخورد	۶۶	سایر موارد (قید کنید).

جدول ۷: علل ریشه‌ای مؤثر در ایجاد تفاوت

طبقه کلی	علت ریشه‌ای
رهبری/ یا نظارت ناکافی	۱- مسئولیت‌های نا شفاف/ متضاد ۲- وجود اهداف ناسازگار ۳- برنامه‌ریزی نامناسب فعالیت‌ها ۴- ناسالم بودن فرهنگ رایج در شرکت « ۲۱- سایر موارد (قید شود).
طراحی/خرید/ استخدام نامناسب	۱- عدم تعیین مشخصات دقیق در تقاضا ۲- حمل‌ونقل نامناسب ۳- انهدام/ دفع نامناسب مواد زائد ۴- انتخاب پیمانکار نامناسب « ۲۰- سایر موارد (قید شود).
----------	----------
مهندسی نامناسب	۱- ارزیابی ناکافی از زیان‌ها ۲- نظارت ناکافی در ساخت‌وساز ۳- ارزیابی ناکافی از آمادگی عملیاتی ۴- کنترل‌های ناکافی یا نادرست « ۱۶-سایر موارد (قید شود).
سایر موارد (قید کنید).	



شکل ۱: نمودار مقایسه راهکارها

جدول ۸: وزن‌های به‌دست‌آمده برای گزینه‌ها از سوپر ماتریس حد

روش تجزیه‌وتحلیل حوادث	وزن حاصل از سوپر ماتریس	وزن نرمال شده نهایی
FAM	۰/۱۸۵۱	۰/۲۶۸۴
TRIPOD-β	۰/۱۴۵۲	۰/۲۴۲۵
SCAT	۰/۱۱۵۷	۰/۲۲۱۶
ECFC	۰/۰۹۷۴	۰/۱۵۴۷
CBA	۰/۰۸۴۶	۰/۱۱۲۸

شناسایی‌شده: هیچ کدام از علل شناسایی‌شده را بدون راهکار اصلاحی رها نکنید. ممکن است برای هر علت بیش از یک راهکار معرفی شود. قبل از ثبت و اجرایی کردن راهکارهای پیشنهادی آن‌ها را بر اساس نمودار ۱ ارزیابی کنید. راهکارهایی را درون مربع یادداشت کنید که در ناحیه ۲ نمودار قرار می‌گیرند.

در مرحله بعد سه حادثه شغلی مختلف برای تست و مقایسه پنج تکنیک انتخاب شدند. معیارهای انتخاب سه حادثه، متفاوت بودن نوع صنعت (حادثه ساخت‌وساز، فرایندی و معدنی)، داشتن تنوع در پیامدها (تمرکز بر پیامد انسانی، اقتصادی ، محیط‌زیست، سیاسی و اجتماعی) و سطح همکاری شرکت‌ها و سازمان و امکان دسترسی به داده‌های حوادث رخداده بود. در ادامه، خبرگان منتخب به‌طور جداگانه اقدام به تجزیه‌وتحلیل حوادث انتخاب‌شده با تکنیک‌های پنج‌گانه کردند. پس از پایان تجزیه‌وتحلیل، معیارهای به‌دست‌آمده مطابق نظرات کمیته پنل خبرگان مقایسه زوجی شدند. سپس میانگین هندسی تمام ماتریس‌های به‌دست‌آمده از خبرگان محاسبه شد. نتایج نشان داد، معیار جامعیت تکنیک با وزن نرمال شده (۰/۲۳) دارای بیشترین وزن بوده و در اولویت اول قرار می‌گیرد. معیارهای عمق تجزیه‌وتحلیل (۰/۲۲۱) و قابلیت اطمینان روش (۰/۱۹۹) در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند.

گام بعدی محاسبه روابط درونی معیارهای اصلی برای اعمال اثرات آن در سوپر ماتریس بود. نظرات خبرگان مطالعه حاکی از وجود ارتباط درونی میان معیارهای جامعیت روش، عمق تجزیه‌وتحلیل تکنیک و قابلیت اطمینان تکنیک بود. به همین دلیل برای اعمال اثرات ارتباط داخلی هریک از معیارهای یادشده، معیارهای مطالعه ۳ بار و در هر مرتبه نسبت به یکی از معیارهای دارای ارتباط داخلی با یکدیگر مقایسه زوجی شدند.

مقایسه زوجی شاخص‌ها

در این گام جهت تعیین وزن و اهمیت هریک از گزینه‌ها، تمامی آن‌ها هر بار با توجه به یکی از معیارها تحت مقایسه زوجی قرار گرفتند.

نتایج حاصل از سوپر ماتریس

برای اولویت‌بندی نهایی، بردارهای اولویت‌های داخلی به‌دست‌آمده، در ستون‌های ماتریس وارد و درنتیجه یک سوپر ماتریس به دست آمد. وزن‌های به‌دست‌آمده از سوپر ماتریس حد (شامل هدف، معیارها و گزینه‌ها) برای گزینه‌های پنج‌گانه در جدول ۸ ارائه‌شده است.

بر اساس یافته‌های ارائه‌شده در جدول ۸، روش FAM با وزن نهایی نرمال ۰/۲۶۸۴ در تجزیه‌وتحلیل حوادث شغلی از ارجحیت اول برخوردار است. رتبه‌های دوم و سوم به ترتیب به دو تکنیک TRIPOD-β و SCAT اختصاص دارد.

بحث

انتخاب تکنیک مناسب برای ریشه‌یابی علل حوادث یکی از چالش‌های اصلی در تحقیقات حوادث محسوب می‌شود (۳۹). انتخاب تکنیک نامناسب می‌تواند به عدم شناسایی همه علل، شناسایی علل غلط، اتلاف منابع مالی، از دست دادن زمان در دسترس، سرمایه‌گذاری در مسیر اشتباه منتهی شود (۴۰). یکی از گام‌های مهم در انتخاب تکنیک بهینه، شناسایی و تعیین معیارهای مناسب برای انتخاب گزینه مناسب است (۴۱). معیارهای مورداستفاده می‌تواند بسته به هدف مطالعه، صنعت موردبررسی، نوع حادثه و موارد مشابه متفاوت باشد (۴۲). در یک مطالعه علی زاده و همکاران برای مقایسه سه تکنیک BETA،TRIPOD-β و MORT در تحلیل حادثه از شش معیار توانایی شناسایی علل، هزینه تحلیل، زمان موردنیاز، نیاز به متخصص فنی، میزان آموزش و در دسترس بودن نرم‌افزارهای تخصصی استفاده شد (۲۴). مهم‌ترین معیارهای شناسایی‌شده در این مطالعه به ترتیب توانایی شناسایی علل، هزینه تحلیل و زمان موردنیاز بود. در مطالعه دیگر دستجردی و همکاران برای مقایسه دو تکنیک TRIPOD-β و تجزیه‌وتحلیل درخت خطا از هفت معیار زیر استفاده کردند (۴۳): زمان موردنیاز تحلیل حادثه، هزینه‌های تحلیل، نیازهای آموزشی جهت اجرا و تحلیل، متخصص‌های موردنیاز، تعداد علل شناسایی‌شده، توانایی کمی شدن و نیاز به نرم‌افزار اختصاصی. احمدی و همکاران در مطالعه‌ای با عنوان انتخاب روش بهینه برای تجزیه‌وتحلیل حوادث صنعت نفت، از ۸ معیار سطوح دامنه کاربرد، توانایی شناسایی سطوح چندگانه علل، نیاز آموزشی، واقع‌گرایانه بودن روش، روایی و پایایی، مشهود بودن، سامانمند بودن و ارائه راه‌حل برای مقایسه تکنیک‌های منتخب استفاده کردند (۲۵). در پژوهشی دیگر محمدفام و همکاران برای مقایسه و انتخاب تکنیک بهینه تجزیه‌وتحلیل حوادث شش معیار توانایی کمی شدن، گرافیکی بودن روش، مدت‌زمان لازم برای اجرا، نیازهای آموزشی، هزینه اجرای مطالعه و سطح تجزیه‌وتحلیل را پایه کار قرار دادند (۳۳). در مطالعه محمدفام برای مقایسه دو تکنیک Tripod-β و MORT از معیارهای هزینه اجرا، زمان موردنیاز، نیازهای آموزشی، نیاز به تخصص ویژه، تعداد علل شناسایی‌شده، توان ارائه نتایج کمی و نیاز به نرم‌افزار تخصصی استفاده کردند (۳۶). اسکلت[1] نیز در مطالعه خود از معیارهای نظیر توالی رویدادها، تمرکز بر حفاظ‌های ایمنی، سطح تجزیه‌وتحلیل، مدل حادثه، رویکرد تجزیه‌وتحلیل و نیازهای آموزشی برای مقایسه و انتخاب تکنیک بهینه استفاده کرد (۳۹).

در پژوهش حاضر برای رده‌بندی و انتخاب تکنیک مناسب از روش ANP استفاده شد. علیزاده و همکاران برای رده‌بندی تکنیک‌های موردمطالعه از روش AHP بهره بردند (۲۴). روش مورداستفاده دستجردی و همکاران برای مقایسه روش‌های منتخب، فرایند تحلیل سلسله مراتبی بود (۴۳). احمدی و همکاران برای رسیدن به تکنیک بهینه از روش تاپسیس فازی استفاده کردند

1. Sklet

(۲۳). روش مورداستفاده محمدفام و همکاران برای مقایسه و انتخاب تکنیک بهینه تجزیه‌وتحلیل حوادث نیز تاپسیس فازی بود (۳۲). محمدفام و همکاران برای مقایسه دو تکنیک Tripod-β و MORT و انتخاب تکنیک مناسب از روش AHP استفاده کردند (۳۳). اسکلت نیز ضمن توصیف و تشریح مشخصات و معیارهای منتخب برحسب هر تکنیک، از معرفی تکنیک برتر اجتناب کرده و تصمیم‌گیری نهایی را بر عهده خوانندگان گذاشته است (۳۹).

همان‌گونه که اشاره شد در این مطالعه چهار تکنیک مورداستفاده برای توسعه تکنیک FAM شامل روش‌های TRIPOD-β، SCAT، ECFC و CBA بود. در شش مطالعه مشابه بررسی‌شده TRIPOD-β در هر شش مطالعه به‌عنوان یکی از تکنیک‌های منتخب قرارگرفته بود (۲۴, ۲۵, ۳۳, ۳۶, ۳۹, ۴۳). این تکرار در مورد تکنیک ECFC سه بار (۲۵, ۳۳, ۳۹) و تکنیک های SCAT (۲۵, ۳۹) و CBA هرکدام دو بار بود (۳۳, ۳۹). این امر حکایت از توانمندی تکنیک‌های یادشده داشته و نشانگر مرسوم و معمول بودن آن‌ها در تجزیه‌وتحلیل حوادث می‌باشد.

خروجی این مطالعه تکنیک FAM بود. این تکنیک با بهره‌گیری نقاط قوت تکنیک‌های چهارگانه و پوشاندن ضعف آن‌ها، قادر است به‌صورت گرافیکی (نقاط قوت تکنیک‌های TRIPOD-β, ECFC, SCAT) و سیستماتیک (نقاط قوت تکنیک‌های CBA,SCAT) و با به حداقل رساندن سلیقه کاری تحلیل گران (نقاط قوت تکنیک‌های TRIPOD-β, SCAT) در سه سطح (نقاط قوت تکنیک‌های TRIPOD-β, SCAT) به شناسایی و تعیین علل حوادث کمک نماید.

محدودیت اصلی مطالعه حاضر، همکاری ضعیف اغلب سازمان‌ها در ارائه داده‌های مربوط به حوادث جهت تست تکنیک معرفی‌شده و یا ارائه داده‌های ناقص بود. این محدودیت از طریق همکاری در آموزش تکنیک‌های یادشده به کارشناسان صنعت حل گردید. علاوه بر این لازم است تکنیک توسعه داده‌شده در طیف وسیع‌تری از سازمان ها و صنایع با گستره متنوع‌تری از علل و پیامدهای حاصل تست گردد تا ضمن شناسایی نقاط قابل‌بهبود و رفع آن‌ها، امکان توصیه استفاده گسترده‌تر از تکنیک فراهم گردد.

نتیجه گیری

هدف از انجام مطالعه حاضر توسعه یک روش جامع، سریع و نظام‌مند در ریشه‌یابی علل حوادث ناشی از کار بود. خروجی این مطالعه تکنیک FAM بود. این تکنیک با بهره‌گیری نقاط قوت تکنیک‌های چهارگانه و پوشاندن ضعف آن‌ها، قادر است به‌صورت گرافیکی (نقاط قوت تکنیک‌های TRIPOD-β, ECFC, SCAT)، سیستماتیک (نقاط قوت تکنیک‌های CBA,SCAT) و با به حداقل رساندن سلیقه کاری تحلیل گران (نقاط قوت تکنیک‌های TRIPOD-β, SCAT) در سه سطح (نقاط قوت تکنیک‌های TRIPOD-β, SCAT) به شناسایی و تعیین علل حوادث کمک نماید. علاوه بر موارد یادشده عدم نیاز به نرم‌افزار تخصصی، سرعت‌بالای اجرای مطالعه و همچنین هزینه‌های پایین تحلیل از دیگر نقاط تکنیک معرفی‌شده می‌باشد.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از طرح تحقیقاتی به شماره ۹۹۰۴۰۳۱۹۱۴ دانشگاه علوم پزشکی همدان می‌باشد. نویسنده مقاله از معاونت تحقیقات و فن‌آوری دانشگاه سپاسگزاری می‌نمایند.

REFERENCES

1. Gholamizadeh K, Mohammadfam I, Kalatpour O. Evaluation of the health consequences in Chemicals road transport accidents: Using a fuzzy approach. Journal of Occupational Hygiene Engineering. 2019:1-7.
2. Kerrissey J, Schuhrke J. Life chances: Labor rights, international institutions, and worker fatalities in the Global South. So. Forces. 2016;95(1):191-216.
3. Shalini RT. Economic cost of occupational accidents: Evidence from a small island economy. Safety Science. 2009;47(7):973-9.
4. Cheng C-W, Leu S-S, Cheng Y-M, Wu T-C, Lin C-C. Applying data mining techniques to explore factors contributing to occupational injuries in Taiwan's construction industry. Accid Anal Prev. 2012;48:214-22.
5. Hämäläinen P, Takala J, Saarela KL. Global estimates of occupational accidents. Safety Science 2006;44(2):137-56.
6. Arquillos AL, Romero JCR, Gibb A. Analysis of construction accidents in Spain, 2003-2008. J Safety Research. 2012;43(5-6):381-8.
7. Mares RE, Nagy M, Radu I, editors. Using the event tree analysis in the investigation of a work accident. MATEC Web of Conferences; 2020: EDP Sciences.
8. Moghaddasi M, Halvani Gh, Bafghi Ms. The Use of accident indicators for risk assessment monitoring in design and construction phase of pelletizing project, 2016-2017. International Journal of Occupational Hygiene. 2017;9(3):171-8.
9. Soltanzadeh A, Mohammadfam I, Akbarzadeh M. Studying Disabling Occupational Accidents in the Construction Industry During Two Years. J. Journal of Occupational Hygiene Engineering. 2014;1(2):57-66.
10. Mohammadfam I, Kalatpour O, Golmohammadi R, Khotanlou H. Developing an ontological explosion knowledge base for business continuity planning purposes. Journal of Business Continuity & Emergency Planning. 2013;7(1):77-86.
11. Soltanzadeh A, Mohammadfam I, Moghimbeygi A, Ghiasvand R. Exploring causal factors on the severity rate of occupational accidents in construction worksites. International Journal of Civil Engineering. 2017;15:959-65.
12. Sarkar S, Vinay S, Raj R, Maiti J, Mitra P. Application of optimized machine learning techniques for prediction of occupational accidents. Comput Oper Res. 2019;106:210-24.
13. Fam IM, Azadeh A, Faridan M, Mahjub H. Safety behaviors assessment in process industry: a case study in gas refinery. Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers. 2008;25(4):298-305.
14. Mohammadfam I, Soltanzadeh A, Arsang-Jang S, Mohammadi H. Structural Equation Modeling Modeling (SEM) of Occupational Accidents Size Based on Risk Management Factors; A Field Study in Process Industries. Health Scope. 2019;8(1):7.
15. Benner Jr L. Accident investigation data: Users' unrecognized challenges. Safety Science. 2019;118:309-15.
16. Wienen HCA, Bukhsh FA, Vriezekolk E, Wieringa RJ, editors. Accident analysis methods and models—a systematic literature review. Centre for Telematics and Information Technology (CTIT); 2017.
17. Machac J, Steiner F. Risk Management in Early Product Lifecycle Phases. International Review of Management and Business Research. 2014;3(2):1151.
18. Righi AW, Saurin TA, Wachs P. A systematic literature review of resilience engineering: Research areas and a research agenda proposal. Reliability Engineering & System Safety. 2015;141:142-52.
19. Elvik R. Risk of road accident associated with the use of drugs: a systematic review and meta-analysis of evidence from epidemiological studies. Accid Anal Prev. 2013;60:254-67.
20. Nematolahi J, Nasrabadi M, Givehchi S. Analysis of accidents leading to amputations associated with operating with press machines, using Ishikawa and SCAT Combined method in a car manufacturing company. Safety and Health at Work. 2015;5(4):23-36.
21. Tehrani GM, Esmaeili R, Babaei AA. Investigation of Relationship between Safety Investments and Safety Performance Indicators in the Construction Industry. Journal of Occupational Hygiene Engineering. 2019;6(2):35-44.
22. Soltanzadeh A, Mohammadfam I, Mahmoudi S, Savareh BA, Arani AM. Analysis and forecasting the severity of construction accidents using artificial neural network. Safety Promotion and Injury Prevention. 2017;4(3):185-92.
23. Ahmadi O, Mortazavi SB, Khavanin A, Mokarami H.

Validity and consistency assessment of accident analysis methods in the petroleum industry. Int J Occup Saf Ergon. 2019;25(3):355-61.

24. Alizadeh F, Taghdisi M, MiriLavasani S. A study of MORT logical tree and Tripod Beta methods in event occurrence causality analysis using hierarchical model. Health and Safety at Work . 2015;4(4):39-48.
25. Ahmadi O, Mortazavi SB, Khavanin A. Selection of the optimal method for analysis of accidents in petroleum industry using fuzzy ANP and TOPSIS multi–criteria decision methods. Iran Occupational Health. 2017;14(2):166-80.
26. Saaty TL. Fundamentals of the analytic network process — multiple networks with benefits, costs, opportunities and risks. Journal of Systems Science and Systems Engineering. 2004;13(3):348-79.
27. Ataii M. Multi criteria decision making. Shahroud University Press. 2016.
28. Azadeh A, Rouhollah F, Davoudpour F, Mohammadfam I. Fuzzy modelling and simulation of an emergency department for improvement of nursing schedules with noisy and uncertain inputs. International Journal of Services and Operations Management. 2013;15(1):58-77.
29. Emrouznejad A, Ho W. Fuzzy Analytic Hierarchy Process: CRC Press; 2017.
30. Brunelli M. Introduction to the analytic hierarchy process: Springer; 2014.
31. Chakraborty A, Ibrahim A, Cruz AM. A study of accident investigation methodologies applied to the Natech events during the 2011 Great East Japan earthquake. J Loss Prev Process Ind. 2018;51:208-22.
32. Azadeh MA, Keramati A, Mohammadfam I, Jamshidnedjad B. Enhancing the availability and reliability of power plants through macroergonomics approach. Journal of Scientific & Industrial Research. 2006;65:873-8.
33. Mohammadfam I, Nikoomaram H, Lotfi F, Mansouri N, Rajabi A, Mohammadfam F. Development of a decision-making model for selecting and prioritizing accident analysis techniques in process industries. Journal of Scientific & Industrial Research. 2014;73(8):517-20.
34. Underwood P, Waterson P. Systems thinking, the Swiss Cheese Model and accident analysis: a comparative systemic analysis of the Grayrigg train derailment using the ATSB, AcciMap and STAMP models. Accid Anal Prev. 2014;68:75-94.
35. Mohammadfam I, Bastani S, Esaghi M, Golmohamadi R, Saee A. Evaluation of coordination of emergency response team through the social network analysis. Case study: oil and gas refinery. Safety and Health at Work. 2015;6(1):30-4.
36. Mohamadfam I, Soleimani E, Ghasemi F, Zamanparvar A. Comparison of management oversight and risk tree and tripod-beta in excavation accident analysis. Jundishapur Journal of Health Sciences. 2015;7(1).
37. Shirali G, Afshari D, Mosavianasl Z. The Application of Systems-Theoretic Accident Model and Process in the Systematic Nonlinear Analysis of Accidents in Car Industry. Journal of Health. 2019;10(2):194-204.
38. Chiu C-C, Chang Y-M, Wan T-J. Characteristic analysis of occupational confined space accidents in Taiwan and its prevention strategy. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020;17(5):1752.
39. Sklet S. Comparison of some selected methods for accident investigation. J Hazard Mater. 2004;111(1-3):29-37.
40. Haghighattalab S, Chen A, Fan Y, Mohammadi R. Engineering ethics within accident analysis models. Accid Anal Prev. 2019;129:119-25.
41. Ahmed A, Sadullah AFM, Yahya AS. Errors in accident data, its types, causes and methods of rectification-analysis of the literature. Accid Anal Prev. 2019;130:3-21.
42. Ayhan BU, Tokdemir OB. Accident Analysis for Construction Safety Using Latent Class Clustering and Artificial Neural Networks. Journal of Construction Engineering and Management. 2020;146(3):04019114.
43. Lali-Dastjerdi E, Mohammadfam I. Comparison of two techniques of fault tree analysis and Tripod-Beta using the analytic hierrarchy process for accidents analysis in a steel-manufacturing industry. Journal Public Health Research. 2012;10(1):43-52.