Iran Occupational Health

Iran Occupational Health. 2026 (01 Jan);23: 2

Original Article

http://ioh.iums.ac.ir

Comparative Evaluation of Human Error Risk in Firefighting using Fuzzy HEART and Fuzzy SLIM Methods

Raheleh Pourhossein, Department of Occupational Health Engineering, Faculty of Health, Tabriz University of Medical Sciences Tabriz,Iran.

Yahya Rasoulzadeh, (*Corresponding author), Road Traffic Injury Research Center, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran. rasoulzadehy@tbzmed.ac.ir

Saeed Mousavi, Department of Biostatistics, Faculty of Health, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran.

Abstract

Background and aims: This study is a descriptive-analytical cross-sectional study conducted on the firefighting occupation, with the participation of 12 firefighters, using the fuzzy logic technique with the HEART and SLIM methods.

Methods: This study is cross-sectional and descriptive-analytical. The fuzzy HEART method was based on the tables, and the fuzzy SLIM method was based on the judgment of the firefighters. Thirty-nine sub-tasks were studied in 4 phases (Awareness, Evaluation, Egress, and Recovery).

Results: Excel software was used to perform error probability calculations, and statistical tests of correlation and Kappa were used to analyze the data. In 35.9% of the sub-tasks, the human error probability and risk classification were identical. However, in 82.5% of the sub-tasks, the risk level assessed by the two methods was the same. The correlation coefficient of error probabilities between the two methods was 0.091, indicating a weak correlation. The Kappa statistical test results on the assessed risk levels showed a high agreement between fuzzy HEART and fuzzy SLIM (p-value < 0.05).

Conclusion: The results of this study showed that there is a weak correlation between the outcomes of the two methods in assessing the probability of human error, while a significant agreement exists at the level of human error risk. The findings obtained from these two approaches are, in a way, complementary to each other and provide different aspects of human error assessment.

Conflicts of interest: None

Funding: None

Keywords

Human error probability

Risk assessment

Emergency situations

Fuzzy Logic

Fuzzy SLIM

Fuzzy HEART

Received: 2025/07/17

Accepted : 2025/12/10

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.66224/ioh.23.1.2]

EXTENDED ABSTRACT

INTRODUCTION

The occurrence of any error by humans in the workplace often leads to irreparable accidents. Despite a quantitative reduction in human presence, it is estimated that between 68% and 98% of industrial accidents are attributed to human errors. Statistics show that human error accounts for more than 88% of accidents in the chemical and petrochemical industries. An example of such an incident is the explosion and fire at Texaco Refinery in 1994, which resulted in 26 fatalities and damage amounting to 48,000,000 GBP, caused by human error. Almost all major global disasters, such as the Bhopal Pesticide Factory explosion, the Hillsborough Football Stadium disaster, the Paddington and Southall train crashes, the Chernobyl and Three Mile Island disasters, and the Challenger space shuttle catastrophe, bear traces of human error. In Iran, evidence indicates the significant role of human error in accident occurrence, with reports suggesting that 70% to 90% of these incidents are due to human mistakes. Various factors influence human error, one of which is emergency situations. In emergencies, the reduced response time increases cognitive load on individuals, thereby increasing the probability of human errors. Among different occupations, firefighting is particularly noteworthy because firefighters are frequently placed in various emergency and operational situations that are prone to human error. One of the main control strategies for human errors in these occupations, alongside planning to minimize the consequences of human mistakes, is to strive to reduce the probability of their occurrence. Identifying and controlling performance-shaping factors (PSFs) is key to managing the rate of human errors. Rasmussen argues that not only can human error not be completely eliminated, but doing so is also counterproductive to science and humanity, as much of human knowledge is acquired through trial and error. Reducing the probability of human errors in work systems increases the reliability of the human component of the system. Hollnagel defines reliability as the absence of unwanted discrepancies in an individual's performance, while others define reliability as measuring performance without failure over time. Human reliability assessment (HRA) refers to the classification of methods and models used to predict the occurrence of human errors. It serves as a method for assessing the risk of human errors and reducing system vulnerability. The main functions of HRA include the identification of human errors and determination of their probability of occurrence. When appropriate control measures are implemented effectively, this process can lead to increased human reliability and a reduction in the probability of human errors.

Given the statistics on fires and accidents, there has been a concerning number of injuries and fatalities among firefighters in recent years, as firefighters operate in high-risk environments, including explosions, making them highly vulnerable. Additionally, the occupational hazards faced by firefighters manifest in various physical and psychological health issues. Consequently, firefighters are typically exposed to several adverse effects during each mission, including those arising from stress during driving and traffic conditions, the effects of smoke and toxic gases at incident sites, noise from sirens and loudspeakers, the body's defensive hormone secretion and preparedness against incidents, effects from heat at fire scenes, contact or absorption of chemicals through the skin, physical injuries while on duty, and exposure to ionizing radiation and radioactivity. Moreover, while conducting rescue and aid operations, firefighters encounter additional stressors, such as witnessing distressing and painful scenes, the consequences of explosions at the incident site, ergonomic issues related to equipment and machinery, challenges associated with shift work, improper nutrition related to their occupation, post-traumatic stress, and risks associated with working in contaminated and humid environments. It is common for firefighters to encounter at least ten harmful factors per incident. Furthermore, throughout their service, firefighters face all these hazardous factors during operational and rescue activities. Based on statistics from 1997 to 2001 regarding the casualties and injuries from firefighting operations, the highest number of injuries during fire and rescue operations occurred in 2001, with 63 fire injuries and 12 rescue-related injuries reported.

Past studies have compared different methods for evaluating the probability of human error or assessing human error risk. The goal was to determine the advantages and disadvantages of each method, as well as their suitability for different occupation and task situations, to facilitate better selection of appropriate methods. Among the existing methods, SLIM and HEART were chosen by the research team due to their similarities (task-based evaluation and classification as first-generation methods). The fuzzy SLIM method is specifically designed for evaluating the probability of human error in emergency situations, while HEART can be used for various tasks in different contexts. In recent years, fuzzy logic-based versions of both methods have been introduced. In both methods, several quantities or states are evaluated based on expert opinion. If fuzzy HEART is applicable for evaluating the probability of human error in emergency situations, it might be a good alternative for fuzzy SLIM due to the lengthiness of the fuzzy SLIM process. Fuzzy HEART could potentially allow for evaluation in a shorter time and with less complexity in operational settings. Therefore, this study initially obtained the probability of human error using both methods. The resulting numbers from the two

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.66224/ioh.23.1.2]

methods were then compared to determine whether the two methods would lead to the same or similar evaluations or estimates, or if the obtained values were different. Accordingly, the present study was designed to comparatively evaluate human error risk using the fuzzy HEART and fuzzy SLIM methods for emergency-related tasks in Tabriz Fire Department.

METHODOLOGY

The present study was a descriptive-analytical, cross-sectional study. The target population being studied consisted of firefighters from the main fire station No. 4 in Tabriz, who had extensive work experience and were skilled in handling emergency situations. The study focused on the occupation of firefighting to examine the risks of human error during firefighting operations. The main part of the study was based on the judgment of firefighters, and individuals participating in the study were selected from firefighters, shift commanders, and driver-firefighters who met the inclusion criteria. In this regard, all 12 eligible individuals (with over 10 years of experience) from four occupational groups (3 shift officers, 2 shift officer substitutes, 3 firefighter-drivers, and 4 firefighters) were recruited through purposive and convenient sampling methods from the mentioned station to evaluate and collect data. All necessary information was gathered from Tabriz Fire Department. The study utilized observational, self-report, and documentation review methods. The focus of the study was on using two techniques, fuzzy SLIM and fuzzy HEART. During these techniques, a combination of observation, self-reporting, and document review was employed using tools such as tables, interviews, forms, and others for data collection and recording. After the firefighters completed the drill, the researcher observed all tasks and collaborated with all firefighters, conducting interviews with each participant to extract the factors influencing task performance and subtasks. Based on the extracted subtasks, the relevant forms were prepared and distributed to all the firefighters. Subsequently, the necessary training was provided on how to complete and score the forms. The objective of the direct observations in this study was to understand the firefighters' duties and analyze the subtasks related to the firefighting occupation. In the fuzzy HEART method, error types and error-producing conditions (EPC) were determined using tables, and only in the evaluation stage of determining the impact ratio was fuzzy logic employed based on the firefighters' judgments. In the fuzzy SLIM method, all the stages were based on firefighters' judgments, and fuzzy logic was used only in the PSF weight determination stage, studying 39 subtasks across four phases (awareness, evaluation, exit, and recovery). This method examined performance-shaping factors (PSF), which included task complexity, event factor, stress, environmental conditions, degree of need for teamwork, process needs, experience, and individual factors. Using reference charts, data for weight and rating of PSF were provided, and these data were ultimately processed using the SLIM method to calculate the probability of success for operational activities from the initiation of firefighting operations (hearing the alarm sound) to the completion of operations (getting into the vehicle and moving toward the station). The studied system was evaluated, and the areas where firefighters operated were identified. In this study, the scenario was designed as a fire drill in a residential area within an alley, on the third floor during the daytime, without wind or rain. After executing the drill (hearing the alarm sound), the firefighters were prepared to conduct firefighting operations. The SLIM method focuses on predicting the probability of human error during operations under emergency conditions (such as firefighting operations).

FUZZY SLIM METHOD

Determining Rate and Weight of PSFs Using Fuzzy SLIM

In this stage, each of the 12 firefighters was assigned a score between 1 and 9 for the determined PSFs.

Determining the weight of PSFs

In this stage, fuzzy logic was used to determine the weight of PSFs.

Determining the weight of PSFs using fuzzy logic

The expert team members were graded based on their organizational position, work experience, and academic degree, and the weight factor was also obtained using these variables. The steps for determining the weight of PSFs using fuzzy logic were as follows, which are detailed in previous studies:

Destructibility

To calculate the probability when the final rankings are fuzzy numbers, destructibility should be assessed according to the following steps:

Determining SLI

SLI is derived from the sum of the products of two numbers obtained from the rate and weight of the factors influencing performance (17, 18).

$$SLI = \sum_{I=1}^{n} r_i w_i \qquad 0 \le \mathrm{SLI} \le 1$$

n: Number of PSF
r_i: PSF rate
w_i : PSF weight

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.66224/ioh.23.1.2]

FUZZY HEART METHOD

Selection of General Task Type

The nominal error probabilities for human actions for 39 subtasks, based on observations and feedback from firefighters and in accordance with the task under review, are presented in Table 1. (19)

Identifying Error Producing Conditions:

Twelve firefighters identified the error producing conditions, which are presented in Table 2.

Evaluating APLVi Impact Ratio for Each EPC (Using Fuzzy Logic)

Each EPC contributes to the probability of human error. It is essential to determine the impact ratio for each choice. APLVi was obtained as a qualitative linguistic variable with the collaboration of 12 firefighters. In this stage, this number of experts used seven linguistic variables for scoring, which included very high (VH), high (H), relatively high (RH), medium (M), relatively low (RL), low (L), and very low (VL) (16).

Destructibility

To calculate the probability when the final ranking consists of fuzzy numbers, fragility must be assessed, which follows the following steps:

$$R_{AB} = CC(E_1)*R_1 + CC(E_2)*R_2 + \ldots + CC(E_M)*R_M$$

Estimated Impact Assessment per EPC

The impact of each selected EPC was assessed using the following formula:

`Estimated Impact = (EPC Coefficient-EPC+1)* Assessment Ratio

Determining the risk number using the risk matrix

After calculating the probability of human error, in order to calculate the level of risk in the analyzed job, DiMattia's table was used first to obtain the severity of the consequence

RESULTS

Comparison of the results from the hierarchical analysis of subtasks revealed that there are 49 error-producing conditions (EPC). In the fuzzy HEART method, the EPC corresponding to each of the 39 subtasks has been extracted, thus making the calculation of human error probability with this method less lengthy and yielding more reliable results. In the fuzzy SLIM method, 49 PSFs are categorized into 8 groups, including task complexity, event factor, stress, environmental conditions, degree of need for teamwork, process needs, experience, and individual factors. During the calculation of human error probability in this method, the rates and weights for these 8 groups are obtained separately, summarized, and ultimately multiplied together. Therefore, since there is no need to apply these 8 groups to each of the subtasks, applying the conditions causing errors based on the type of sub-task is sufficient. This renders the calculation of human error probability using the fuzzy HEART method quicker, requires less time, is simpler, and provides more reliable results than the fuzzy SLIM method.

The estimated risk levels from both methods reveal a high agreement between the fuzzy HEART and fuzzy SLIM methods (p-value < 0.05), suggesting that in most cases, a high risk level evaluated by the fuzzy HEART method also corresponds to a high risk level in the fuzzy SLIM method. Overall, based on the table, out of 39 subtasks, 14 subtasks (35.9%) had the same classification for human errors and were consistent, while the classifications for 25 subtasks (64.1%) differed between the two methods. Meanwhile, the quantitative analysis of human error probability using correlation tests revealed a correlation coefficient of 0.091 between the error probabilities of the two methods, indicating weak correlation in this regard. Therefore, based on the study's results, the fuzzy HEART method cannot substitute for the fuzzy SLIM method in estimating human error probability unless further studies contribute to more reliable analyses in this regard. It appears that if the fuzzy HEART method were used instead of the fuzzy SLIM method, it could only report the estimated risk level. Hence, considering the time-consuming nature of the fuzzy SLIM method, utilizing the fuzzy HEART method for risk level reporting offers a time advantage.

The findings of this study suggest that implementing a comparative risk assessment method for human errors among firefighters who are exposed to high occupational risks can help identify the type and quantitative measures of errors, as well as the risk levels arising from these errors, from the onset of a fire until the completion of operations. Given that many human errors result in fatal and financial consequences and irreversible accidents, the study's results can guide the categorization of tasks and subtasks concerning error risk levels, and the formulation of preventive strategies to mitigate these risks.

CONCLUSIONS

The results of this study showed that there is a weak correlation between the outcomes of the two methods in assessing the probability of human error, while a significant agreement exists at the level of human error risk. The findings obtained from these two approaches are, in a way, complementary to each other and provide different aspects of human error assessment, which can be utilized in appropriate interventions and corrective actions. It can be inferred

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.66224/ioh.23.1.2]

that this comparison does not necessarily lead to similar results.

ACKNOWLEDGMENTS

This article is derived from the Master's thesis in Ergonomics, with reference number 497/B. The authors would like to express their heartfelt gratitude to the esteemed managers and staff of Tabriz Fire Department and Tabriz University of Medical Sciences for their invaluable cooperation in conducting this research.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Each of the authors has made an equal contribution to this research.

OPEN ACCESS

©2026 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 a copy of this license, visit: http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

ETHICAL CONSIDERATION

Informed consent, participant freedom and data confidentiality were all ensured.

CODE OF ETHICS

IR.TBZMED.REC.1398.383

FUNDING

This study was conducted without any financial support.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare that they have no conflict of interest.

GENERATIVE AI & DIGITAL TOOLS

No generative AI and digital tools were used in this research.

DATA SHARING & OPEN SCIENCE

There is no limitation for data sharing and open science.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.66224/ioh.23.1.2]

How to cite this article:

Raheleh Pourhossein, Yahya Rasoulzadeh, Saeed Mousavi. Comparative Evaluation of Human Error Risk in Firefighting using Fuzzy HEART and Fuzzy SLIM Methods. Iran Occupational Health. 2026 (01 Jan);23:2.

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

سلامت کار ایران
دوره ۲۳ - ۲/۱۴۰۵

مقاله پژوهشی
http://ioh.iums.ac.ir

ارزیابی مقایسه‌ای ریسک خطای انسانی در شغل آتش نشانی با استفاده از روش‌های Fuzzy HEART و Fuzzy SLIM

راحله پورحسین: گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تبریز، تبریز، ایران.
یحیی رسول زاده: (* نویسنده مسئول) مرکز تحقیقات پیشگیری از آسیب حوادث جاده ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تبریز، تبریز، ایران.
rasoulzadehy@tbzmed.ac.ir
سعید موسوی: گروه آمار و اپیدمیولوژی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تبریز، تبریز، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: شغل آتش نشانی یکی از مشاغلی است که احتمال خطای انسانی و سطح ریسک از مرحله شروع عملیات تا پایان عملیات (اطفا حریق) در آن بالا است که می بایست مور توجه قرار گیرد. بدین منظور این مطالعه با هدف ارزیابی مقایسه‌ای ریسک خطای انسانی در شرایط اضطراری با استفاده از روش‌های Fuzzy HEART و Fuzzy SLIM انجام شده است.

روش بررسی: مطالعه‌ی حاضر توصیفی- تحلیلی از نوع مقطعی بوده که در شغل آتش نشانی و با مشارکت ۱۲ نفر آتش نشان و در آن از تکنیک منطق فازی دو روش HEART و SLIM استفاده شده است. روش Fuzzy HEART براساس جداول و روش Fuzzy SLIM بر مبنای قضاوت آتش نشانان انجام و ۳۹ زیروظیفه در ۴ فاز (آگاهی، ارزشیابی، خروج و بازیابی) مورد مطالعه قرار گرفت. از نرم افزار Excel برای انجام محاسبات احتمال خطا استفاده گردید و آزمون‌های آماری همبستگی و کاپا برای آنالیز داده‌ها به کار گرفته شد.

یافته ها: برابر نتایج به دست آمده، میانگین و انحراف معیار عدد احتمال خطای انسانی در زیروظایف مختلف آتش نشانی در روش Fuzzy HEART و Fuzzy SLIM به ترتیب ۰/۱۴۸۰۳۴ ±۰/۲۳۷۶۷۸ و ۰/۰۶۴۹۰ ±۰/۰۵۱۷۴۸ می باشد. در ۳۵/۹ درصد زیروظایف، طبقه احتمال خطای انسانی و ریسک ارزیابی شده یکسان می باشد، با این وجود، در ۸۲/۰۵ درصد زیروظایف سطح ریسک برآورد شده در دو روش یکسان می باشد. ضریب همبستگی مقادیر احتمال خطا بین دو روش برابر ۰/۰۹۱ می باشد که نشان دهنده همبستگی ضعیف در این خصوص است. همچنین نتایج حاصل از آزمون آماری کاپا بین سطح ریسک برآورد شده در دو روش نشان داد که بین دو روش Fuzzy HEART و Fuzzy SLIM توافق بالا در این خصوص وجود دارد (P value<۰/۰۵).

نتیجه گیری: نتایج این مطالعه نشان داد که همبستگی ضعیف بین نتایج دو روش در ارزیابی احتمال خطای انسانی و توافق معنی دار در سطح ریسک خطای انسانی وجود دارد. نتایج حاصل از این دو روش به نوعی مکمل هم بوده و جنبه های متفاوتی از ارزیابی خطای انسانی را برای ما فراهم می کنند که می توان در مداخلات و اقدامات مقتضی از آن ها استفاده کرد.

تعارض منافع: گزارش نشده است.

منبع حمایت کننده: ندارد.

کلیدواژه‌ها
خطای انسانی
ارزیابی ریسک
شرایط اضطراری
منطق فازی
Fuzzy SLIM
Fuzzy HEART

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۴/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۹/۱۹

شیوه استناد به این مقاله:
Raheleh Pourhossein, Yahya Rasoulzadeh, Saeed Mousavi. Comparative Evaluation of Human Error Risk in Firefighting using Fuzzy HEART and Fuzzy SLIM Methods. Iran Occupational Health. 2026 (01 Jan);23:2.

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

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.66224/ioh.23.1.2]

مقدمه

بروز هرگونه خطا در محیط کاری از سوی انسان اغلب منجر به وقوع حوادث جبران ناپذیر می‌گردد(۱). این خطاها در قالب شکست‌های شناختی انسان یا رفتارهای ناایمن مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرند (۶, ۱۹). خطا در برنامه ریزی، اجرا یا نظارت بر تعمیر و نگهداشت می‌تواند سبب نقص سیستم شود و در نتیجه در توقف عملیات واحد و وقوع حوادث بزرگ نقش به سزایی دارد(۷, ۲۰). علیرغم کاهش کمی حضور انسان، حدود ۶۸ الی ۹۸ درصد حوادث صنعتی که به وقوع می‌پیوندد ناشی از خطاهای انسانی است(۲, ۳). آمار نشان می‌دهد، که عامل بیش از ۸۸ درصد حوادث در صنایع شیمیایی و پتروشیمی اشتباه وخطای انسانی است(۴). حادثه انفجار و آتش سوزی پالایشگاه تگزاکو[1]در سال ۱۹۹۴ که باعث کشته شدن ۲۶ نفر و ایجاد خسارتی معادل ۴۸ میلیون پوند شد، نمونه‌ای از این گونه حوادث است که در اثر خطای انسانی رخ داده است. تقریباً در تمامی فجایع بزرگ جهانی، نظیر انفجار کارخانه تولید آفت کش در بوپال[2]، فاجعه استادیوم فوتبال هیلزبورو[3]، تصادف قطار پدینگتون[4]و ساوت هال[5]، فجایع چرنوبیل[6] و تری مایل آیلند[7] و فاجعه شاتل فضایی چلنجر[8]ردپایی از خطای انسانی دیده می‌شود(۵, ۶). در ایران نیز شواهد نشان دهنده اهمیت بالای خطای انسانی در بروز حوادث است. بر اساس آمار ارائه شده علت ۷۰ تا حدود ۹۰ درصد این حوادث، خطای انسانی می‌باشد(۷). عوامل تاثیرگذار بر خطای انسانی متنوع بوده که یکی از آن عوامل، شرایط اضطراری است. در شرایط اضطراری به دلیل این که مدت زمان پاسخ گویی فرد به شرایط، کم می‌باشد میزان بار ذهنی وارده بر فرد بالا می‌رود و به دنبال آن احتمال بروز خطای انسانی، افزایش می‌یابد(۸, ۹). در مشاغل مختلف، شغل آتش نشانی را می‌توان از نظر قرارگیری آتش نشان در شرایط مختلف اضطراری و عملیاتی و مستعد بروز خطای انسانی مورد توجه قرار داد. یکی از اصلی‌ترین راهکارهای کنترلی خطاهای انسانی در این مشاغل در کنار برنامه ریزی برای کاهش پیامدهای ناشی از خطاهای انسانی، تلاش برای کاهش احتمال بروز آن‌ها می‌باشد(۱۰). شناسایی و کنترل فاکتورهای شکل دهنده عملکرد[9] (PSF_S)، کلید کنترل نرخ بروز خطاهای انسانی است(۸). راسموسن[10] معتقد است که نه تنها نمی‌توان خطای انسانی را به طور کامل از میان برد، بلکه این کار به صلاح علم و بشر نیست، زیرا بسیاری از آموخته‌های بشر از روش آزمون و خطا به دست می‌آید(۱۱). کاهش احتمال بروز خطای انسانی در سیستم‌های کار، قابلیت اطمینان جزء انسانی سیستم را افزایش می‌دهد. هولناگل[11]، قابلیت اطمینان را نبود مغایرت‌های نا خواسته در عملکرد فرد تعریف می‌کند. در حالی که سایرین قابلیت اطمینان را اندازه گیری عملکرد بدون شکست در طول زمان تعریف کردند(۱۲). ارزیابی قابلیت اطمینان انسان، اصطلاحی رایج برای طبقه بندی روش‌ها و مدل‌هایی است که برای پیش بینی وقوع خطاهای انسانی به کارمی‌روند. در واقع روشی برای ارزیابی ریسک خطاهای انسانی و کاهش آسیب پذیری سیستم‌ها می‌باشد(۱۳). عملکردهای اصلی ارزیابی قابلیت اطمینان انسان[12] (HRA) شامل، شناسایی خطای انسانی و تعیین احتمال وقوع آن می‌باشد که در صورت پیاده سازی مناسب اقدامات کنترلی، منجر به افزایش قابلیت اطمینان انسان و کاهش احتمال خطای انسانی خواهد شد(۱۳, ۱۴).

با توجه به آمارهای حریق و حوادث، تعداد مصدومین و فوت شدگان مأموران آتش‌نشان در طی سالیان اخیر نگران‌کننده است چرا که آتش نشانان در محیط‌های پر مخاطره‌آمیز و از جمله انفجارات به امدادرسانی و عملیات می‌پردازند، لذا آسیب‌پذیری آنان در حد بالایی است. یک آتش‌نشان در هر حادثه حداقل ۱۰ مورد از عوامل زیان‌آور را لمس می‌کند همچنین آتش‌نشان در طول خدمت با تمامی فاکتورهای زیان‌آور در صحنه‌های عملیات و امدادرسانی مواجه است. براساس آمار سال‌های ۷۶ تا ۸۱ در رابطه با خسارات جانی و مصدومین ناشی از شرکت در عملیات آتش‌نشانی، بیشترین مصدوم ناشی از شرکت در عملیات حریق و نجات مربوط به سال ۸۱ با تعداد ۶۳ مصدوم حریق و ۱۲ مصدوم نجات بوده است(۱۵).

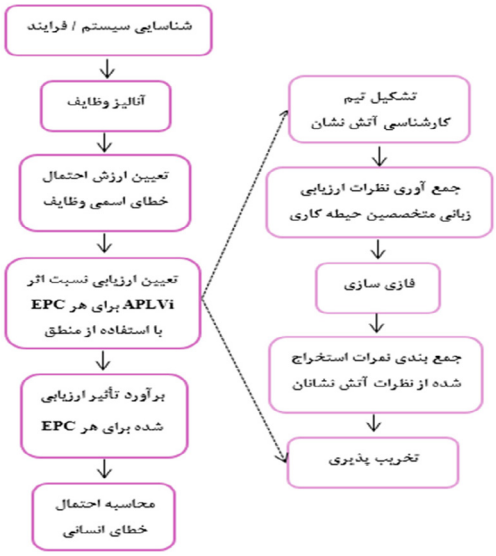
مطالعاتی در گذشته به مقایسه روش‌های مختلف ارزیابی احتمال خطای انسانی و یا ارزیابی ریسک خطای انسانی پرداخته‌اند تا مزایا و معایب و نیز میزان

1 Texaco
2 Bhopal
3 Hillsborough
4 Paddington
5 Southall
6 Chernobyl
7 Three Mile Island
8 Challenger shuttle

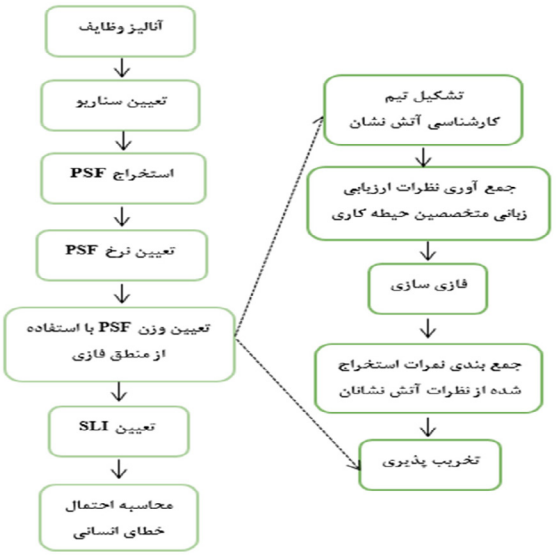
9 Performance Shaping Factors
10 Jens Rasmussen
11 Hollnagel
12 Human Reliability Assessment

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.66224/ioh.23.1.2]



شکل۱. مراحل اجرای روش Fuzzy HEART



شکل۲. مراحل اجرای روش Fuzzy SLIM

انطباق آنها با شرایط حاکم بر موقعیت مختلف شغلی و وظیفه‌ای مشخص گردد و بتوان بر اساس آن در انتخاب روش مناسب بهتر عمل کرد. در بین روش‌های موجود، دو روش SLIM و HEART به جهت مشابهت آن‌ها (ارزیابی مبتنی بر وظیفه و قرار گیری در دسته روش‌های نسل اول) مورد توجه تیم تحقیق قرار گرفت. روش Fuzzy SLIM به طور خاص برای ارزیابی احتمال خطای انسانی در شرایط اضطراری معرفی شده است اما روش HEART برای وظایف مختلف در موقعیت‌های متفاوت می‌تواند استفاده گردد. در سال‌های اخیر نسخه ارزیابی مبتنی بر منطق فازی این دو روش ارائه شده‌اند که در هر دو روش تعدادی از کمیت‌ها و یا حالات بر اساس نظر و تشخیص کارشناس ارزیابی می‌گردد. لذا در ابتدا احتمال کمی خطای انسانی با استفاده از دو روش فوق به دست آمده وسپس اعداد حاصل از دو روش با هم مقایسه می‌شوند تا مشخص گردد که آیا دو روش به ارزیابی یا برآورد یکسان و یا نزدیک هم ختم می‌شوند و یا اینکه مقادیر به دست آمده متفاوت هستند. بر این اساس مطالعه حاضر در راستای ارزیابی مقایسه‌ای ریسک خطای انسانی با استفاده از دو روش Fuzzy HEART و Fuzzy SLIM در وظایف مربوط به شرایط اضطراری در سازمان آتش نشانی تبریز طراحی گردید(۱۶, ۱۷).

روش کار

مطالعه حاضر توصیفی- تحلیلی از نوع مقطعی می‌باشد. جمعیت هدف مورد بررسی در این مطالعه، آتش نشانان ایستگاه مادر شماره ۴ شهر تبریز بوده که دارای سابقه کاری و تجربه بالای مقابله با شرایط اضطراری می‌باشند و بنا به پیشنهاد مدیر عامل این سازمان، قرار گرفتن دانشگاه علمی کاربردی و قسمت آموزش در این ایستگاه، علت انتخاب آتش نشانان از این ایستگاه می‌باشد. مطالعه بر روی شغل آتش نشانی و به منظور بررسی ریسک خطای انسانی در طول عملیات آتش نشانی اجرا گردید. بخش اصلی مطالعه مبتنی بر قضاوت آتش نشانان صورت گرفته و افراد مورد نظر برای مطالعه، در صورت داشتن معیارهای ورود به مطالعه از بین آتش نشانان، فرماندهان شیفت و رانندگان (آتش نشان- راننده) انتخاب شدند. بر این اساس، همه ۱۲ نفر حائز شرایط (دارای تجربه و سابقه کاری بالای ۱۰ سال) از ۴ گروه شغلی شامل (۳ نفر افسرشیفت، ۲ نفر جانشین افسرشیفت، ۳ نفر آتش نشان- راننده و ۴ نفر آتش نشان) جهت انجام ارزیابی و جمع آوری داده‌ها به روش نمونه گیری هدفمند و در دسترس از ایستگاه مذکور وارد مطالعه شدند. تمامی اطلاعات مورد نیاز از سازمان آتش نشانی تبریز جمع آوری شد. در این مطالعه از روش‌های مشاهده‌ای، خوداظهاری و بررسی اسنادی استفاده گردید. محوریت انجام این مطالعه استفاده از دو تکنیک Fuzzy SLIM وFuzzy HEART بوده که در طی انجام آنها ترکیبی از مشاهده، خوداظهاری و بررسی اسناد به کمک ابزارهایی نظیر جداول، فرم‌ها و موارد دیگر جهت جمع آوری و ثبت داده‌ها به کار گرفته شد. بدین صورت که بعد از انجام مانور آتش نشانان و مشاهده تمام زیروظایف توسط پژوهشگر و با همکاری

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.66224/ioh.23.1.2]

تمام آتش نشانان، و انجام مصاحبه با تک تک نفرات، فاکتورهای شکل دهنده عملکرد، وظایف و زیروظایف استخراج گردید. و مطابق زیروظایف استخراج شده فرم‌های مربوطه تهیه و در اختیار همه آتش نشانان قرار گرفت. سپس آموزش‌های لازم در ارتباط با نحوه تکمیل و امتیازدهی پرسشنامه‌ها به آتش نشانان ارائه گردید. زمان لازم برای انجام مصاحبه با هر یک از آتش نشانان حدود دو ساعت بوده که روزانه با ۲-۳ نفر از آتش نشان انجام گردید. هدف از انجام مشاهدات عینی در این مطالعه، آشنایی با وظایف آتش نشانان و آنالیز زیروظایف مربوط به شغل آتش نشانی بود. در روش Fuzzy HEART براساس جداول تعیین نوع وظیفه و شرایط به وجود آورنده خطا و صرفاً در مرحله تعیین ارزیابی نسبت اثر از منطق فازی که مبتنی بر قضاوت آتش نشانان بود استفاده گردید ولی در روش Fuzzy SLIM تمامی مراحل بر مبنای قضاوت آتش نشانان صورت گرفته و تنها در مرحله تعیین وزن PSF، از منطق فازی استفاده شد که ۳۹ زیروظیفه را در ۴ فاز (آگاهی، ارزشیابی، خروج و بازیابی) مورد مطالعه قرار داد. این روش در ارتباط با فاکتورهای مؤثر بر شکل گیری عملکرد[1](PSF) که شامل پیچیدگی کار، فاکتور رویداد، استرس، شرایط محیطی، درجه نیاز به کار تیمی، نیاز فرایندی، تجربه و فاکتور فردی نرخ گذاری گردید. به این صورت که با استفاده از نمودارهای مرجع، داده‌هایی برای وزن و نرخ دهی به عوامل شکل دهی عملکرد فراهم شده و در نهایت این داده‌ها با استفاده از روش (SLIM) جهت محاسبه احتمال موفقیت برای فعالیت تجمع از نقطه شروع عملیات حریق(شنیدن آلارم) تا اتمام عملیات (سوار شدن به خودرو و حرکت به سمت ایستگاه) پردازش شدند. سیستم تحت مطالعه بررسی و مناطقی که آتش نشانان فعالیت انجام می‌دهند شناسایی گردید. در این مطالعه سناریوی مورد نظر تحت عنوان مانور حریق منطقه مسکونی داخل کوچه فرعی، طبقه سوم در طول روز و بدون باد و باران، صحنه سازی شد. به این صورت که بعد از اجرای مانور (شنیدن صدای آلارم)، آتش نشانان آماده انجام عملیات اطفا شدند. تمرکز روش SLIM بر پیش بینی احتمال خطای انسانی در هنگام عملیات در شرایط اضطراری (نظیر عملیات حریق) می‌باشد(۱۶, ۱۷)

آنالیز وظایف

آنالیز وظایف، از طریق روش‌های مشاهده عملیات، بررسی اسناد و مصاحبه با ۱۲ نفر از آتش نشانان، فرماندهان عملیات و رانندگان (آتش نشان- راننده) با استفاده از آنالیز سلسله مراتبی شغل[2](HTA) انجام شد که ۳۹ زیر وظیفه را در قالب ۴ فاز (آگاهی، ارزشیابی، خروج و بازیابی) از مرحله شروع تا پایان عملیات مورد مطالعه قرار گرفت. با استفاده از روش‌های مشاهده‌ای و نیز مصاحبه با تک تک نفرات، برای هر یک از زیر وظایف، انواع خطاها تعیین و فاکتورهای شکل دهنده عملکرد (PSF_S) هر یک از مراحل نیز شناسایی گردید (۱۶, ۱۷, ۲۱).

استخراج فاکتورهای شکل دهنده عملکرد:

در این قسمت، آتش نشانان مجموعه‌ای از فاکتورهای شکل دهنده عملکرد را استخراج کردند که عملکرد آنها در طول انجام وظیفه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. لذا از طریق مصاحبه (خوداظهاری) با تک تک آتش نشانان، عوامل تاثیرگذار بر شرایط کاری بررسی شد و بر مبنای امتیاز گذاری هر یک از آتش نشانان انواع فاکتورهای شکل دهنده عملکرد مشخص گردید، سپس فاکتورهای شکل دهنده عملکرد تعیین شده در ۸ گروه شامل عوامل متنوعی مانند پیچیدگی کار، فاکتور رویداد، استرس، شرایط محیطی، درجه نیاز به کار تیمی، نیاز فرایندی، تجربه و فاکتور فردی طبقه بندی و با روش مقایسه زوجی اهمیت هر یک از فاکتورهای شکل دهنده عملکرد تعیین گردید(۱۶, ۱۷, ۲۲).

مقایسه زوجی صورت گرفته برای تعیین فاکتورهای شکل دهنده عملکرد

در این نوع مقایسه میزان اهمیت فاکتورهای شکل دهنده عملکرد دو به دو با هم مورد مقایسه قرار گرفت بدین صورت که ۱۲ نفر از آتش نشانان برای نمونه فاکتورهای شکل دهنده عملکرد پیچیدگی (A) را با فاکتورهای شکل دهنده عملکرد فاکتور رویداد (B) و سایر PSF_S را با هم مقایسه کرده و فاکتورهای شکل دهنده عملکردی که در بروز خطا اهمیت بالاتری نسبت به فاکتورهای شکل دهنده عملکرد دیگر داشت انتخاب شد(۲۲).

رتبه دهی فاکتورهای شکل دهنده عملکرد از مقایسه زوجی

جدول شماره ۱ بر اساس نتایج و نظرات آتش نشانان، اهمیت هر فاکتورهای شکل دهنده عملکرد و

1 Performance Shaping Factors

2 Hierarchical Task Analysis

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.66224/ioh.23.1.2]

جدول ۱. رتبه بندی PSFs بر اساس نظر شرکت کنندگان در مطالعه

ردیف	PSF	Letter Designation	رتبه
1	تجربه	G	68
2	درجه نیاز به کارتیمی	E	56
3	پیچیدگی	A	50
4	فاکتور فردی	H	47
5	فاکتور رویداد	B	40
6	استرس	C	38
7	نیاز فرایندی	F	28
8	شرایط محیطی	D	9

جدول ۲. تعیین نرخ PSF توسط شرکت کنندگان

PSF / امتیاز	1	2	3	4	5	6	7	8	9
پیچیدگی	*								
فاکتور رویداد			*						
استرس	*								
شرایط محیطی							*		
درجه نیاز به کار تیمی		*							
نیاز فرایندی					*				
تجربه		*							
فاکتور فردی			*						

رتبه بندی هر یک از آن‌ها را نشان می دهد(۲۲).

نحوه تعیین نرخ و وزن فاکتورهای شکل دهنده عملکرد به روش:Fuzzy SLIM

تعیین نرخ فاکتورهای شکل دهنده عملکرد:

در این مرحله هر یک از ۱۲ آتش نشان، امتیازی از بین ۱-۹ برای فاکتورهای شکل دهنده عملکرد تعیین شده اختصاص دادند که به ترتیب عدد ۱ نشان دهنده حداکثر تأثیر و عدد ۹ نمایانگر حداقل تأثیر در فرایند مطالعه می‌باشد. مثلا جدول ۲ توسط آتش نشان شماره یک تکمیل گردیده است(۱۷).

تعیین وزن فاکتورهای شکل دهنده عملکرد

در این مرحله برای تعیین وزن فاکتورهای شکل دهنده عملکرد از منطق فازی استفاده شده است بدین صورت که آتش نشان منتخب از بین آتش نشانان، برای هر یک از فاکتورهای شکل دهنده عملکرد تعیین شده متغیرهای زبانی خیلی بالا (VH)، بالا (H)، متوسط (M)، کم (L) و خیلی کم (VL) را اختصاص دادند(۱۷). جدول شماره ۳ توسط همه آتش نشانان تکمیل گردیده است.

تعیین وزن فاکتورهای شکل دهنده عملکرد با استفاده از منطق فازی

تشکیل تیم کارشناس، ارزیابی کارشناس و تعریف اصطلاحات زبانی[1]

تیم کارشناسان شامل ۱۲ نفر از آتش نشانان (۴ نفر آتش نشان، ۳ نفر افسر شیفت (فرماندهان عملیات)، ۲ نفر جانشین افسر شیفت و ۳ نفر آتش نشان – راننده) که این نفرات به دلیل داشتن تجربه مقابله با شرایط اضطراری از هر گروه شغلی انتخاب گردیدند(۱۷).

جمع بندی نمرات با رویکرد استخراج نظرات آتش نشانان[2]

تیم کارشناسی براساس پست سازمانی، تجربه کاری و مدرک تحصیلی نمره دهی شده و فاکتور وزن نیز با استفاده از این متغیرها به دست می‌آید(۱۷).

جمع آوری نظرات ارزیابی زبانی متخصصین حیطه کاری[3]

اصطلاحات زبانی از اعضای تیم (آتش نشانان) به

1Expert team formation, expert evaluation and linguistic term definition
2 Aggregation of scores with expert elicitation approach
3Obtaining domain experts linguistic assessment opinion

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.66224/ioh.23.1.2]

جدول ۳. تعیین وزن PSF بر اساس نظر شرکت کنندگان

PSF	نظرات کارشناس											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
پیچیدگی	VH	H	H	H	H	H	H	VH	L	H	H	M
فاکتور رویداد	M	M	H	H	M	H	L	H	L	VH	H	H
استرس	VH	H	L	M	H	M	L	H	L	H	H	M
شرایط محیطی	L	M	L	M	M	H	L	H	L	M	M	L
درجه نیاز به کار تیمی	H	H	H	VH	H	VH	M	H	H	H	H	M
نیاز فرایندی	L	M	L	M	M	H	L	M	L	H	M	H
تجربه	H	VH	H	VH	H	VH	M	H	VH	H	VH	VH
فاکتور فردی	M	M	VH	VH	H	M	H	VH	H	H	H	M

جدول ۴. نمرات زبان شناسی فازی در روش Fuzzy SLIM

خیلی پایین[1]	0	0/15	0/3
پایین[2]	0/1	0/3	0/5
متوسط[3]	0/3	0/5	0/7
بالا[4]	0/5	0/7	0/9
خیلی بالا[5]	0/7	0/85	1

[1] Very Low
[2] Low
[3] Moderate
[4] High
[5] Very High

دست آمده و برای جمع بندی، فازی سازی می‌شوند(۱۷).

فازی سازی[3]

تابع عضویت فازی، دامنه فازی را با اصطلاحات زبان شناسی برای تبدیل دیدگاه کیفی ارائه می‌دهد. توابع عضو ممکن است مثلثی[1] یا تراژیک[2] باشند زیرا هر دو بسیار مناسب و نیز در تلاش‌های محاسباتی ساده هستند. نمرات زبان شناسی فازی به دست آمده از این مرحله در مراحل بعدی برای به دست آوردن نتیجه نهایی استفاده می‌شود که در جدول شماره ۴ نشان داده شده است(۱۷).

جمع بندی نمرات

هر یک از اصطلاحات زبانی گردآوری شده از نظرات آتش نشانان می‌تواند به اعداد فازی مربوطه تبدیل شود که طبق مراحل ذیل می‌باشد(۱۷).

۱- محاسبه درجه مشابهت قضاوت کارشناسان[3]

$$S(A1,A2)=1-\left(\frac{1}{3}\right)\sum_{i=1}^{3}(\mathrm{a1i}-\mathrm{a2i}) \qquad (۱)$$

۲- محاسبه درجه توافق هر زوج کارشناس[4]

$$AA(Eu)=\frac{\sum S(A1,A2)}{M-1} \qquad (۲)$$

۳- تعیین درجه نسبی توافق هر زوج کارشناس[5]

$$RA(Eu)=\frac{A(Eu)}{\sum A(Eu)} \qquad (۳)$$

۴- محاسبه درجه توافق ضریب برای هر زوج کارشناس[6]

$$CC(Eu)=B*w(Eu)+(1-\mathrm{B})*RA(Eu) \qquad (۴)$$

W: فاکتور وزن استخراج شده از نظرات آتش نشانان
B: (۱-۰/۵) اگر اعضای تیم همگن بود، عدد ۱

1 triangular
2 trapezoidal
3 Calculating degree of similarity of expert judgements for each Bes

4 Calculating the degree of agreement of each pair of experts
5 Calculating relative degree of agreement of each pair of experts
6 Calculating consensus degree of coefficient for each pair of experts

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.66224/ioh.23.1.2]

استفاده می‌شد ولی چون اعضا به صورت ناهمگن از هر گروه شغلی انتخاب شده‌اند عدد ۰/۵ در این مطالعه استفاده می‌شود.

۵- محاسبه نتیجه نهایی جمع بندی شده بر پایه نظرات کارشناس[1]

$$R_{AB} = CC(E_1)*R_1 + CC(E_2)*R_2 + \ldots + CC(E_M)*R_M \quad (۵)$$

تخریب پذیری[2]

برای محاسبه احتمال زمانی که رتبه بندی نهایی، اعداد فازی هستند، تخریب پذیری باید انجام شود که طبق مراحل زیر است:

تعیین SLI

SLI، از مجموع ضرب دو عدد به دست آمده از نرخ و وزن فاکتورهای شکل دهنده عملکرد به دست می‌آید(۱۷).

$$SLI = \sum_{I=1}^{n} r_i w_i \qquad 0 \le \mathrm{SLI} \le 1$$

n: تعداد PSF

r_i: نرخ PSF

w_i: وزن PSF

ارزیابی احتمال خطای انسانی به روش Fuzzy HEART:

انتخاب نوع وظیفه عمومی[3]

مقادیر احتمال خطای اسمی انسان برای ۳۹ زیر وظیفه طبق مشاهدات و نظرات آتش نشانان و متناسب با وظیفه مورد بررسی در جدول شماره ۵ ارائه شده است.

انواع وظایف از لیست مقادیر احتمال عمومی اسمی با استفاده از طبقه بندی عمومی HEART توسط ویلیامز[4] در سال ۱۹۸۸ ارائه شد که نسخه اصلی این مقادیر شامل ۹ گروه عمومی وظیفه می‌باشد (۱۶).

شناسایی شرایط به وجود آورنده خطا[5]

شرایط به وجود آورنده خطا، تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر توانایی آتش نشانان برای موفقیت کامل کار مورد نظر و احتمال خطای اسمی انسان مانند کمبود زمان در دسترس دارد.

۱۲ نفر از آتش نشانان، شرایط به وجود آورنده خطا را تعیین کردند که در جدول شماره ۶ آورده شده است. EPC تعیین شده برای محاسبه احتمالات استفاده می‌شود(۱۶).

ارزیابی نسبت اثر A_{PLVi} برای هر EPC[6] (با استفاده از منطق فازی)

هر EPCبه احتمال وقوع خطای انسانی کمک می‌کند. برای هر انتخابی ضروری است تا نسبت تأثیر آن تعیین شود. A_{PLVi} به عنوان متغیر کیفی زبانی با همکاری ۱۲ نفر از آتش نشانان به دست آمد. بدین صورت که برای امتیازدهی در این مرحله همین تعداد کارشناس از هفت متغیر زبانی شامل: خیلی بالا(VH) بالا(H)، نسبتا بالا(RH)، متوسط(M)، نسبتا کم(RL)، کم(L) و خیلی کم(VL) استفاده کردند. که در جدول شماره ۸ اشاره شده است. (۱۶).

جمع آوری نظرات ارزیابی زبانی متخصصین حیطه کاری

اصطلاحات زبانی از اعضای تیم (آتش نشانان) به دست آمده و برای جمع بندی، فازی سازی می‌شوند. که تنها ۲ زیروظایف از مجموع ۳۹ زیر وظایف تکمیل شده طبق نظرات آتش نشانان در جدول شماره ۷ گردآوری شده است(۱۶).

فازی سازی

متغیرهای زبانی استفاده شده در این روش طبق جدول۸ است(۱۶).

جمع بندی نمرات

هر یک ازاصطلاحات زبانی گردآوری شده از نظرات آتش نشانان می تواند به اعداد فازی مربوطه تبدیل شود. که طبق مراحل ذکر شده در روش Fuzzy SLIM می باشد(۱۶).

تخریب پذیری

برای محاسبه احتمال زمانی که رتبه بندی نهایی، اعداد فازی هستند تخریب پذیری باید انجام شود که طبق مراحل زیر است(۱۶):

1 Calculating the aggregation result based on the expert opinion
2Defuzzification
3 Generic Task Error
4 Williams
5 Identification of relevant error producing Condition (EPCs)
6Determination of assessed proportion of effect APLVi for each EPC (by fuzzy approach and expert elicitation)

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.66224/ioh.23.1.2]

جدول ۵. تعیین احتمال خطای اسمی برای هر یک از زیروظایف آتش نشانان

ردیف	وظیفه عمومی(GTT)	احتمال خطای عمومی(GEP)
1	شنیدن آلارم	0.0004
2	شناسایی آلارم	0.0004
3	گرفتن میله فرود	0.02
4	سرخوردن	0.02
5	اطلاع یافتن از نوع مأموریت	0.02
6	برداشتن تجهیزات ایمنی(کلاه ایمنی، ژاکت، دستکش ها) از آویز	0.003
7	پوشیدن تجهیزات ایمنی(کلاه ایمنی، ژاکت، دستکش ها)	0.02
8	حرکت به سمت خودرو و سوار شدن	0.003
9	برداشتن دستگاه تنفسی از خودرو	0.0004
10	پوشیدن دستگاه تنفسی در داخل خودرو	0.0004
11	پیاده شدن از خودرو	0.003
12	هماهنگی با فرمانده عملیات	0.00002
13	برداشتن لوله	0.0004
14	برداشتن نازل	0.0004
15	وصل کردن نازل به لوله	0.0004
16	وصل کردن لوله ها به هم	0.0004
17	وصل کردن لوله ها به پمپ	0.003
18	رفتن آتش نشان اول (سرنازل) و دوم(کمک سرنازل) داخل آتش	0.0004
19	تعیین کانون حریق بر اساس افزایش درجه حرارت یا الگوی انتشار دود	0.003
20	ارزیابی وضعیت و انتخاب محل استقرار مناسب	0.0004
21	آب پاشی برای کاهش حجم شعله توسط سرنازل و کمک سرنازل	0.0004
22	تداوم کار تا اطفاء کامل حریق	0.003
23	اعلام خاموشی حریق	0.003
24	باز کردن در و پنجره ها و در صورت عدم باز شدن، شکستن در و شیشه پنجره برای تهویه هوا(در نبود پنجره باز کردن درب و یا نصب تهویه در محل حریق)	0.0004
25	بازنگری مجدد محل	0.003
26	آب پاشی محل هایی که آتش نهفته وجود دارد.	0.003
27	بازرسی دیوارها و سقف و اشیاء داغ	0.0004
28	سرد کردن دیوارها و سقف و اشیاء داغ	0.0004
29	برداشتن لوله ها	0.00002
30	خالی کردن آب باقی مانده داخل لوله ها	0.00002
31	جدا کردن نازل از لوله	0.00002
32	جدا کردن لوله ها از هم	0.00002
33	جدا کردن لوله از پمپ	0.00002
34	برداشتن لوله ها	0.02
35	برداشتن نازل	0.02
36	برداشتن سه راهی	0.003
37	قرار دادن لوله ها، نازل و سه راهی در خودرو	0.003
38	دریافت دستور اتمام عملیات	0.00002
39	سوار شدن به خودرو و حرکت به سمت ایستگاه	0.00002

$$R_{AB} = \mathrm{CC}(E_1)*R_1 + CC(E_2)*R_2 + \ldots + CC(E_M)*R_M$$

۱. برآورد تأثیر ارزیابی شده برای هر EPC[1]

برای هرEPC انتخابی، توسط فرمول زیر تاثیر آن ارزیابی شد.

تأثیر ارزیابی شده = نسبت ارزیابی شده + EPC
ضریب EPC - 1*1

۲. محاسبه ارزیابی احتمال غیر قابل اطمینان اسمی

1 Estimation of Assessed EPC effect for each EPC

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.66224/ioh.23.1.2]

جدول ۶. شرایط به وجود آورنده خطا(EPC)

ردیف	نوع EPC	ردیفEPC	مقدارEPC
1	اطلاع ندادن درست نوع ماموریت	16	3
2	تعداد نفرات زیاد	37	1/03
3	تخصیص مبهم وظایف و مسئولیت ها	25	1/6
4	جایی که اولویت با جان افراد است	11	5
5	وجود چند کانون حریق	11	5
6	کار زیاد	8	6
7	نبودن در محل	33	1/15
8	پوشیدن لباس آستین دار برای جلوگیری از سوختگی	4	9
9	آلودگی صوتی(پارازیت بی سیم)	3	10
10	تشابه اسمی آدرس ها	11	5
11	مسافت زیاد از خودرو تا محل آتش سوزی و ارتباط دیداری نامناسب	5	8
12	دود زیاد در محل	33	1/15
13	تاریکی	33	1/15
14	وسعت محل	33	1/15
15	پستی و بلندی محل	33	1/15
16	ماندن ابزارآلات (لوله و..) در پشت تجهیزات دیگر در محل حادثه	17	3
17	نبود دید کافی در محل نامناسب	13	4
18	زدن کلید آژیر در شب	33	1/15
19	کمبود زمان	2	11
20	داشتن استرس	29	1/3
21	محدودیت های محیطی	33	1/15
22	معیوب بودن وضعیت آسفالت خیابان	33	1/15
23	سرخوردن در زمستان	33	1/15
24	ناهماهنگی بین سرنازل و کمک نازل	26	1/4
25	امداد آتش نشان های دیگر از سایر ایستگاه ها در عملیات بزرگ	37	1/03
26	اختلاف افراد با هم	36	1/4
27	عدم هماهنگی به علت نفرات زیاد در حریق های بزرگ	37	1/03
28	ترکیب چند ایستگاه با هم	36	1/06
29	ابزار غیرقابل اعتماد	23	1/6
30	سنگینی لوله و تجهیزات	27	1/4
31	عدم آشنایی آتش نشان به دلیل انتقال از ایستگاه دیگر	1	17
32	ناآشنا بودن فرد در هنگام استفاده از تانکر ایستگاه های دیگر	1	17
33	عدم شناخت محل	1	17
34	مهارت ناکافی	15	3
35	عدم آشنایی با محصولات حریق ساختمان	1	17
36	فشار نامناسب پدال گاز	15	3
37	فراموشی	4	9
38	حواس پرتی	4	9
39	بی توجهی	4	9
40	خواب ناکافی و عدم تعادل	35	1/1
41	کز شدن دستان	30	1/2
42	تنبلی	34	1/1
43	خواب آلودگی	35	1/1
44	خستگی	8	6
45	روحیه پایین	31	1/2
46	افت شنوایی	30	1/2
47	سن	38	1/02
48	عجله	2	11
49	محدودیت های فیزیکی فرد	27	1/4

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.66224/ioh.23.1.2]

جدول۷. تعیین ارزیابی نسبت اثر برای هر EPC

ردیف	زیروظیفه	EPC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	شنیدن آلارم	نبودن در محل	VH	VH	H	H	RL	RH	RH	H	H	VL	M	H
2		زدن کلید آژیر در شب	VH	H	H	M	L	VH	RH	RH	L	RH	M	M
3		مهارت ناکافی	VH	H	H	M	M	VL	M	VL	VL	VH	L	RH
4	شناسایی آلارم	عدم آشنایی آتش نشان به دلیل انتقال از ایستگاه دیگر	VL	VH	RL	M	M	VL	RL	VL	VL	M	VL	M

جدول۸. نمرات زبان شناسی فازی در روش Fuzzy HEART

	حداقل	حد وسط	حداکثر
خیلی پایین[۶]	0	0.04	0.08
پایین[۷]	0.07	0.13	0.19
نسبتا پایین[۸]	0.17	0.27	0.37
متوسط[۹]	0.35	0.5	0.65
نسبتا بالا[۱۰]	0.62	0.73	0.82
بالا[۱۱]	0.81	0.87	0.93
خیلی بالا[۱۲]	0.92	0.96	1

[6] Very Low
[7] Low
[8] Reasonably Low
[9] Medium
[10] Reasonably High
[11] High
[12] Very High

احتمال خطای ارزیابی شده = تأثیر ارزیابی شده ۱ *احتمال خطای عمومی

تعیین عدد ریسک با استفاده از ماتریس ریسک

ابتدا برای به دست آوردن شدت پیامد از جدول DiMattia استفاده گردیده است که در مجموع برای ۳۹ زیروظیفه، ۳۹ پیامد و ۳۹ شدت پیامد برای هریک از زیروظایف آتش نشانان تعیین گردید که شدت پیامد برای هر دو روش یکسان بوده و صرفاً تفاوت دو روش در تعیین سطح ریسک مربوط به مقدار کمی احتمال خطای انسانی است. لذا با ضرب کردن شدت پیامد در مقدار کمی احتمال خطای انسانی، سطح ریسک برآورد گردید. که قسمت سیاه رنگ مربوط به ریسک‌های بالا قسمت خاکستری رنگ مربوط به ریسک‌های متوسط و قسمت سفید رنگ مربوط به ریسک‌های کم می‌باشد(۲۱, ۲۳). برای مثال در زیروظیفه گرفتن میله فرود در روش Fuzzy SLIM احتمال خطای انسانی به دست آمده، ۰/۰۴۰۰ بوده که در دسته B طبقه بندی می گردد و بروز خطا در این زیروظیفه منجر به آسیب فیزیکی جدی می شود لذا شدت پیامد این زیروظیفه بالا می باشد و اگر احتمال خطای انسانی ضربدر شدت پیامد گردد. عدد ریسک به دست آمده که عدد ریسک مربوطه 2B می‌باشد و سطح ریسک این زیروظیفه، متوسط برآورد می‌گردد و عدد به دست آمده بر مبنای جدول ۹، ۲ است که عدد ریسک مربوطه 2B می باشد و مطابق جدول۹ سطح ریسک این زیروظیفه، متوسط برآورد می گردد. در حالی که همین زیروظیفه در روش Fuzzy HEART احتمال خطای انسانی ۹۰۸۴ /۰ به دست آمده که در دسته A طبقه بندی شده و شدت پیامد در هر دو روش یکسان می باشد و با ضرب کردن دو عدد احتمال خطای انسانی در شدت پیامد، عدد ریسک تعیین می شود لذا عدد ریسک مربوطه (بالا) برآورد می گردد. جزئیات برآورد سطح ریسک خطای انسانی در جدول شماره ۹ آورده شده است.

روش تجزیه و تحلیل داده‌ها:

داده‌های جمع آوری شده جهت تجزیه و تحلیل آماری وارد نرم افزار Excel انجام گرفت. گردیده و شاخص‌های آماری استخراج و آزمون‌های آمار انجام گرفت. برای توزیع فراوانی متغیر کمی خطای انسانی از آزمون همبستگی و برای متغیر کیفی تعیین سطح ریسک نیز از آزمون آماری کاپا استفاده گردید.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.66224/ioh.23.1.2]

جدول۹. برآورد سطح ریسک خطای انسانی

طبقه	احتمال خطای انسانی	شدت پیامد			
		بحرانی (1)	بالا (2)	متوسط (3)	کم (4)
A	1 تا 0/1	1A	2A	3A	4A
B	0/1 تا 0/01	1B	2B	3B	4B
C	0/01 تا 0/001	1C	2C	3C	4C

یافته‌ها

طبق جدول آنالیز وظایف با روش HTA در مجموع برای هر دو روش ۱۷ وظیفه، ۳۹ زیروظیفه و ۶۳ خطا و ۱۷۲ PSF تعیین شده است.

استخراج PSF

با استفاده از جدول ۱۰ و به روش‌های مصاحبه (خوداظهاری) آتش نشانان، انواع فاکتورهای شکل دهنده عملکرد مشخص شده، سپس فاکتورهای شکل دهنده عملکرد تعیین شده در ۸ گروه شامل عوامل متنوعی مانند پیچیدگی کار، فاکتور رویداد، استرس، شرایط محیطی، درجه نیاز به کار تیمی، نیاز فرایندی، تجربه و فاکتور فردی که می‌توانند عملکرد فرد در حین انجام وظایف را تحت تأثیر قرار دهند طبقه بندی و با روش مقایسه زوجی اهمیت هر یک از فاکتورهای شکل دهنده عملکرد تعیین گردید(۱۷, ۲۴)

نتایج ارزیابی احتمال خطای انسانی به دو روش

برابر جدول یافته های حاصل از مطالعه نشان داد که در هر دو روش بیشترین احتمال خطای انسانی مکرر (A: دامنه ۰,۱تا ۱) در فاز اقدام مربوط به زیروظایف وصل کردن نازل به لوله و وصل کردن لوله ها به هم بوده و در فاز بازیابی، مقدار کمی خطای انسانی در زیروظیفه قرار دادن لوله ها، نازل و سه راهی در خودرو بیشتر است.

کم ترین مقدار خطای انسانی مربوط به دامنه (C: ۰,۰۰۱ تا ۰,۰۱) که به ندرت اتفاق می افتد در هر دو روش در زیروظیفه هماهنگی با فرمانده عملیات در فاز آمادگی و نیز زیروظایف سرد کردن دیوارها و سقف و اشیاء داغ و سوار شدن به خودرو و حرکت به سمت ایستگاه در فاز بازیابی می باشد. سطح ریسک بالا در هر دو روش نیز مربوط به فاز بازیابی می باشد، جدول شماره ۱۱ جزئیاتی بیشتری از مقایسه نتایج بین دو روش را نشان می دهد.

مقایسه نتایج آنالیز داده‌های کمی احتمال خطای انسانی

یافته‌های حاصل از آنالیز داده‌های کمی خطای انسانی با استفاده از آزمون همبستگی نشان می‌دهد که ضریب همبستگی مقادیر احتمال خطا بین دو روش برابر ۰/۰۹۱۷۷۹۱۷۷می‌باشد که نشان دهنده همبستگی ضعیف در این خصوص می‌باشد. همچنین نتایج حاصل از آزمون آماری کاپا بین سطح ریسک برآورد شده در دو روش نشان داد که بین دو روش Fuzzy HEART و Fuzzy SLIM توافق بالا در این خصوص وجود دارد (P value/۰۵>).

برای آنالیز داده‌های خطای انسانی که از نوع کمی می‌باشد از آزمون آماری همبستگی استفاده می‌گردد که نتایج این آزمون در جدول ۱۳ ارائه گردیده است.

نتایج ارزیابی ریسک خطای انسانی به دو روش

برای آنالیزداده های سطح ریسک که از نوع کیفی می‌باشد از آزمون آماری کاپا استفاده می‌گردد. نتایج این آزمون در جدول ۱۵ آمده است.

با توجه به نتایج به دست آمده از جدول ۱۵، در جدول ۱۶، طبقه درصدهای احتمال خطای انسانی، سطح ریسک ارزیابی شده و برآورد سطح ریسک در دو روش به دست آمده و مورد مقایسه قرار گرفتند که در ۱۴ زیروظیفه (۳۵/۹ درصد) دو روش دارای طبقه خطای انسانی و سطح ریسک ارزیابی شده یکسان و در ۳۲ زیروظیفه (۸۲/۰۵ درصد) دارای برآورد سطح ریسک یکسان بودند که نمایانگر توافق بالای دو روش از نظر برآورد سطح ریسک می باشد.

بحث

مقایسه نتایج ارزیابی احتمال خطای انسانی و وجود تفاوت در مقدار کمی احتمال خطای انسانی در دو روش، نشان داد که در هر دو روش، ۴۹شرایط به وجود آورنده خطا PSF) یا EPC) وجود دارد. در روش Fuzzy HEART برای هر یک از ۳۹ زیروظیفه، EPC مربوط به آن زیروظیفه استخراج گردیده است لذا در محاسبه احتمال خطای انسانی با این روش، مراحل طولانی نبوده و نتایج قابل اعتمادتر می باشد. در روش Fuzzy SLIM

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.66224/ioh.23.1.2]

جدول ۱۰. تعیین PSF برای وظایف مربوط به شغل آتش نشانی

ردیف	نوع فاکتورهای شکل دهنده عملکرد در وظایف مربوط به شغل آتش نشانی	فاکتورهای شکل دهنده عملکرد انتخابی
1	اطلاع ندادن درست نوع مأموریت	
2	تعداد نفرات زیاد	
3	تخصیص مبهم وظایف	
4	جایی که اولویت با جان افراد است	پیچیدگی
5	وجود چند کانون حریق	
6	کار زیاد	
7	نبودن در محل	
8	پوشیدن لباس آستین دار برای جلوگیری از سوختگی	
9	آلودگی صوتی (پارازیت بی سیم)	
10	تشابه اسمی آدرس‌ها	
11	مسافت زیاد از خودرو تا محل آتش سوزی و ارتباط دیداری نامناسب	
12	دود زیاد در محل	فاکتور رویداد
13	تاریکی	
14	وسعت محل	
15	پستی و بلندی محل	
16	ماندن ابزارآلاتی (لوله و..) در پشت تجهیزات دیگر در محل حادثه	
17	نبود دید کافی در محل نامناسب	
18	زدن کلید آژیر در شب	
19	کمبود زمان	فاکتور رویداد
20	داشتن استرس	استرس
ردیف	**نوع فاکتورهای شکل دهنده عملکرد در وظایف مربوط به شغل آتش نشانی**	**فاکتورهای شکل دهنده عملکرد انتخابی**
21	محدودیت‌های محیطی	
22	معیوب بودن وضعیت آسفالت خیابان	شرایط محیطی
23	سرخوردن در زمستان	
24	ناهماهنگی بین سرنازل و کمک نازل	
25	امداد آتش نشان‌های دیگر از سایر ایستگاه‌ها در عملیات بزرگ	
26	اختلاف افراد با هم	درجه نیاز به کار تیمی
27	عدم هماهنگی به علت نفرات زیاد در حریق‌های بزرگ	
28	ترکیب چند ایستگاه با هم	
29	ابزار غیرقابل اعتماد	نیاز فرایندی
30	سنگینی لوله و تجهیزات	
31	عدم آشنایی آتش نشان به دلیل انتقال از ایستگاه دیگر	
32	ناآشنا بودن فرد در هنگام استفاده از تانکر ایستگاه‌های دیگر	
33	عدم شناخت محل	تجربه
34	مهارت ناکافی	
35	عدم آشنایی با محصولات حریق ساختمان	
36	فشار نامناسب پدال گاز	
37	فراموشی	
38	حواس پرتی	
39	بی توجهی	
40	خواب ناکافی و عدم تعادل	
41	کز شدن دستان	فاکتور فردی
42	تنبلی	
43	خواب آلودگی	
44	خستگی	
45	روحیه پایین	
46	افت شنوایی	
47	سن	
48	عجله	
49	محدودیت‌های فیزیکی فرد	

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.66224/ioh.23.1.2]

جدول۱۱. نتایج ارزیابی احتمال خطای انسانی در دو روش

ردیف	زیروظیفه	Fuzzy HEART		Fuzzy SLIM	
		احتمال خطای انسانی	طبقه خطای انسانی	احتمال خطای انسانی	طبقه خطای انسانی
1	شنیدن آلارم	0/0010	A	0/0670	B
2	شناسایی آلارم	0/0022	A	0/0136	B
3	گرفتن میله فرود	0/9084	B	0/0400	B
4	سرخوردن	0/6321	B	0/0584	B
5	اطلاع یافتن از نوع مأموریت	0/6650	A	0/0850	B
6	برداشتن تجهیزات ایمنی (کلاه ایمنی، ژاکت، دستکش‌ها) از آویز	0/0133	B	0/0033	C
7	پوشیدن تجهیزات ایمنی	0/5219	B	0/0056	C
8	حرکت به سمت خودرو و سوار شدن	0/0520	A	0/0438	B
9	برداشتن دستگاه تنفسی از خودرو	0/0092	B	0/0252	B
10	پوشیدن دستگاه تنفسی در داخل خودرو	0/1147	A	0/0887	B
11	پیاده شدن از خودرو	0/0180	A	0/0240	B
12	هماهنگی با فرمانده عملیات	0/00006	A	0/0010	C
13	برداشتن لوله	0/0268	A	0/1575	A
14	برداشتن سرنازل	0/0088	A	0/1111	A
15	وصل کردن نازل به لوله	0/1728	A	0/1436	A
16	وصل کردن لوله‌ها به هم	0/1504	A	0/1886	A
17	وصل کردن لوله‌ها به پمپ	0/6323	A	0/0883	B
18	رفتن آتش نشان اول (سرنازل) و دوم (کمک سرنازل) به طرف آتش	0/0663	A	0/0985	B
19	تعیین کانون حریق بر اساس افزایش درجه حرارت یا الگوی انتشار دود	0/1523	A	0/0530	B
20	ارزیابی وضعیت و انتخاب محل استقرار مناسب	0/0343	A	0/0551	B
21	آب پاشی برای کاهش حجم شعله توسط سرنازل و کمک سرنازل	0/0207	B	0/1686	A
22	تداوم کار تا اطفاء کامل حریق	0/0562	B	0/0265	B
23	اعلام خاموشی حریق	0/0217	B	0/0259	B
24	باز کردن در و پنجره‌ها و در صورت عدم باز شدن، شکستن در و شیشه پنجره برای تهویه هوا	0/0020	A	0/0553	B
25	بازنگری مجدد محل	0/0379	B	0/0265	B
26	آب پاشی محل‌هایی که آتش نهفته وجود دارد.	0/0753	B	0/0211	B
27	بازرسی دیوارها و سقف و اشیاء داغ	0/0056	B	0/0299	B
28	سرد کردن دیوارها و سقف و اشیاء داغ	0/0063	B	0/0018	C
29	برداشتن لوله‌ها	0/0003	A	0/1327	A
30	خالی کردن آب باقی مانده داخل لوله‌ها	0/0011	B	0/1425	A
31	جدا کردن نازل از لوله	0/0001	B	0/0330	B
32	جدا کردن لوله‌ها از هم	0/0002	B	0/0330	B
33	جدا کردن لوله از پمپ	0/0001	B	0/0380	B
34	برداشتن لوله‌ها	0/4974	A	0/0859	B
35	برداشتن نازل	0/4550	B	0/0967	B
36	برداشتن سه راهی	0/1217	B	0/0361	B
37	قرار دادن لوله‌ها، نازل و سه راهی در خودرو	0/2873	B	0/1413	A
38	دریافت دستور اتمام عملیات	0/0006	B	0/0817	B
39	سوار شدن به خودرو و حرکت به سمت ایستگاه	0/00004	B	0/0013	C

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.66224/ioh.23.1.2]

جدول ۱۲. مقایسه آنالیز داده‌های کمی خطای انسانی با دو روش برای شغل آتش نشانی

Fuzzy SLIM		Fuzzy HEART	
میانگین	0/064904	میانگین	0/148034
خطای استاندارد	0/008286	خطای استاندارد	0/038059
میانه	0/053076	میانه	0/026881
مد	تعریف نشده است	مد	تعریف نشده است
انحراف معیار	0/051748	انحراف معیار	0/237678
واریانس نمونه	0/002678	واریانس نمونه	0/056491
کشیدگی	-0/39063	کشیدگی	2/233841
چولگی	0/767442	چولگی	1/795967
دامنه	0/187687	دامنه	0/908359
حداقل	0/001005	حداقل	0/000048
حداکثر	0/188691	حداکثر	0/908407
مجموع	2/531271	مجموع	5/773344
تعداد	39	تعداد	39
سطح اطمینان(95٪)	0/016775	سطح اطمینان(95٪)	0/077046

جدول ۱۳. ضرایب همبستگی مقادیر احتمال خطای انسانی به دو روش

	Fuzzy HEART	Fuzzy SLIM
Fuzzy HEART	1	
Fuzzy SLIM	0/091779177	1

۴۹ PSF یا EPC در ۸ گروه شامل پیچیدگی، فاکتور رویداد، استرس، شرایط محیطی، درجه نیاز به کار تیمی، نیاز فرایندی، تجربه و فاکتور فردی دسته بندی گردیده است که در محاسبه احتمال خطای انسانی در این روش، اعداد مربوط به نرخ و وزن به صورت مجزا، برای این ۸ گروه به دست آمده، جمع بندی گردیده و در نهایت نرخ و وزن در هم ضرب می شود. لذا با توجه به اینکه نیازی به اعمال این ۸ گروه در هر یک از زیر وظایف وجود ندارد و صرفا اعمال شرایط به وجود آورنده خطا با توجه به نوع زیروظیفه کافی می باشد لذا محاسبه احتمال خطای انسانی به روش Fuzzy HEART شاید سریع تر و نیاز به زمان کم تر و ساده تر باشد.

با توجه به نحوه محاسبات در روش Fuzzy HEART هر چقدر احتمال خطای اسمی و مقدار کمی ضریب EPC (شرایط به وجود آورنده خطا) در جدول بیشتر باشد، احتمال خطای انسانی نیز بیشتر است.

در زیر وظایف گرفتن میله فرود، سرخوردن و اطلاع یافتن از نوع ماموریت، برداشتن لوله ها (زیروظیفه ۳۴) و برداشتن نازل (زیروظیفه ۳۵) در روش Fuzzy HEART به دلیل بالا بودن مقدار کمی احتمال خطای اسمی و نیز به دلیل بالا بودن مقدار ضریب EPC یا شرایط به وجود آورنده خطا و با توجه به اینکه هر دو عامل در انجام محاسبات مربوط به احتمال خطای انسانی اعمال می شوند لذا مقدار کمی احتمال خطای انسانی در این روش بیش تر است. در روش Fuzzy SLIM با توجه به اینکه در انجام محاسبات مربوط به احتمال خطا، ۸ گروه از شرایط به وجود آورنده خطا در انجام محاسبات مربوط به احتمال خطای انسانی نظر گرفته می شود که با توجه به نوع زیر وظیفه، نیازی به اعمال این ۸ گروه نبوده و برای به دست آوردن نتایج و مقادیر قابل اعتمادتر بهتر است که اعمال شرایط به وجود آورنده خطا با توجه به اون زیروظیفه و موقعیت انجام گیرد که این خود موجب کاهش احتمال خطای انسانی در این روش گردیده است

در زیر وظایف پوشیدن دستگاه تنفسی در داخل خودرو، وصل کردن لوله ها به پمپ، تعیین کانون حریق براساس افزایش درجه حرارت یا الگوی انتشار دود و برداشتن سه راهی با کاهش احتمال خطای اسمی در Fuzzy HEART، احتمال خطای انسانی به دلیل بالا بودن مقادیر ضریب شرایط به وجود آورنده خطا افزایش یافته است.

نتایج حاصل از ارزیابی به روش Fuzzy HEART نشان داد که در زیروظیفه گرفتن میله فرود (فاز آگاهی)

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.66224/ioh.23.1.2]

جدول ۱۴. نتایج ارزیابی ریسک در دو روش

ردیف	زیروظیفه	پیامد	Fuzzy HEART		Fuzzy SLIM	
			سطح ریسک ارزیابی شده	برآورد سطح ریسک	سطح ریسک ارزیابی شده	برآورد سطح ریسک
1	شنیدن آلارم	4	4C	کم	4B	کم
2	شناسایی آلارم	4	4C	کم	4B	کم
3	گرفتن میله فرود	2	2A	بالا	2B	متوسط
4	سرخوردن	2	2A	بالا	2B	متوسط
5	اطلاع یافتن از نوع مأموریت	4	4A	کم	4B	کم
6	برداشتن تجهیزات ایمنی (کلاه ایمنی، ژاکت، دستکش‌ها) از آویز	4	4B	کم	4C	کم
7	پوشیدن تجهیزات ایمنی	3	3A	متوسط	3C	کم
8	حرکت به سمت خودرو و سوار شدن	4	4B	کم	4B	کم
9	برداشتن دستگاه تنفسی از خودرو	4	4C	کم	4B	کم
10	پوشیدن دستگاه تنفسی در داخل خودرو	4	4A	کم	4B	کم
11	پیاده شدن از خودرو	3	3B	متوسط	3B	متوسط
12	هماهنگی با فرمانده عملیات	4	4C	کم	4C	کم
13	برداشتن لوله	4	4B	کم	4A	کم
14	برداشتن سرنازل	4	4C	کم	4A	کم
15	وصل کردن نازل به لوله	4	4A	کم	4A	کم
16	وصل کردن لوله‌ها به هم	4	4A	کم	4A	کم
17	وصل کردن لوله‌ها به پمپ	4	4A	کم	4B	کم
18	رفتن آتش نشان 1 (سرنازل) و 2 (کمک سرنازل) به طرف آتش	3	3B	متوسط	3B	متوسط
19	تعیین کانون حریق بر اساس افزایش درجه حرارت یا الگوی انتشار دود	3	3A	متوسط	3B	متوسط
20	ارزیابی وضعیت و انتخاب محل استقرار مناسب	3	3B	متوسط	3B	متوسط
21	آب پاشی برای کاهش حجم شعله توسط سرنازل و کمک سرنازل	4	4B	کم	4A	کم
22	تداوم کار تا اطفاء کامل حریق	2	2B	متوسط	2B	متوسط
23	اعلام خاموشی حریق	4	4B	کم	4B	کم
24	باز کردن در و پنجره‌ها و در صورت عدم باز شدن، شکستن در و شیشه پنجره برای تهویه هوا	2	2C	متوسط	2B	متوسط
25	بازنگری مجدد محل	3	3B	متوسط	3B	متوسط
26	آب پاشی محل‌هایی که آتش نهفته وجود دارد.	3	3B	متوسط	3B	متوسط
27	بازرسی دیوارها و سقف و اشیاء داغ	4	4C	کم	4B	کم
28	سرد کردن دیوارها و سقف و اشیاء داغ	3	3C	کم	3C	متوسط
29	برداشتن لوله‌ها	4	4C	کم	4A	کم
30	خالی کردن آب باقی مانده داخل لوله‌ها	4	4C	کم	4A	کم
31	جدا کردن نازل از لوله	4	4C	کم	4B	کم
32	جدا کردن لوله‌ها از هم	4	4C	کم	4B	کم
33	جدا کردن لوله از پمپ	4	4C	کم	4B	کم
34	برداشتن لوله‌ها	2	2A	بالا	2B	متوسط
35	برداشتن نازل	2	2A	بالا	2B	متوسط
36	برداشتن سه راهی	2	2A	بالا	2B	متوسط
37	قرار دادن لوله‌ها، نازل و سه راهی در خودرو	2	2A	بالا	2A	بالا
38	دریافت دستور اتمام عملیات	4	4C	کم	4B	کم
39	سوار شدن به خودرو و حرکت به سمت ایستگاه	4	4C	کم	4C	کم

بیش ترین احتمال بروز خطا و در زیر وظیفه هماهنگی با فرمانده عملیات (فاز آمادگی) و سوار شدن به خودرو و حرکت به سمت ایستگاه (فاز بازیابی) کم‌ترین احتمال بروز خطا وجود دارد. نتایج ارزیابی به روش Fuzzy SLIM نشان داد که بیشترین احتمال بروز خطای انسانی در زیروظیفه وصل کردن لوله‌ها به هم (فاز اقدام) و کم‌ترین احتمال بروز خطای انسانی در زیر وظایف هماهنگی با فرمانده عملیات (فاز آمادگی) و سوار شدن به خودرو و حرکت به سمت ایستگاه (فاز بازیابی) می‌باشد. از نظر سطح ریسک خطای انسانی، نتایج روش Fuzzy HEART بالاترین سطح ریسک را در زیر وظایف گرفتن میله فرود، سرخوردن (فاز آگاهی)، برداشتن لوله ها، نازل و سه راهی، قرار دادن لوله ها، نازل و سه راهی در خودرو (فاز بازیابی) نشان می دهد، در حالیکه در روش Fuzzy SLIM بالاترین سطح ریسک مربوط به زیروظیفه قرار دادن لوله‌ها، نازل و سه راهی در خودرو

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.66224/ioh.23.1.2]

جدول۱۵. نتایج آنالیز داده های سطح ریسک با آزمون کاپا

		Fuzzy SLIM				ضریب کاپا	P-Value
		بالا	کم	متوسط	جمع		
Fuzzy HEART	بالا	1	0	5	6	0.664	0.000
	کم	0	23	1	24		
	متوسط	0	1	8	9		
	جمع	1	24	14	39		

جدول ۱۶. درصد فراوانی زیروظایف دارای طبقه خطا و سطح ریسک خطای یکسان

	طبقه خطای انسانی یکسان	سطح ریسک ارزیابی شده یکسان	برآورد سطح ریسک یکسان
تعداد زیروظایف	14	14	32
درصد زیروظایف	35/9	35/9	82/05

(فاز بازیابی) به دست آمد.

زیروظایفی که در هر دو روش، احتمال خطای انسانی در آن‌ها بیشتر است، زیروظایف وصل کردن نازل به لوله و وصل کردن لوله‌ها به هم به دلیل عجله، استرس، حواس پرتی، مسافت زیاد از خودرو تا محل آتش سوزی و ارتباط دیداری نامناسب، آلودگی صوتی و فشار نامناسب پدال گاز توسط راننده می‌باشد و چون موجب تأخیر جزئی در انجام عملیات می‌شود لذا شدت پیامد کم‌تر و در نتیجه سطح ریسک نیز پایین‌تر است. . لذا نمی‌توان گفت که با افزایش احتمال خطای انسانی سطح ریسک نیز بیشتر می‌شود چرا که سطح ریسک به شدت پیامد نیز بستگی دارد. نتایج سطح ریسک برآورد شده در دو روش نشان داد که بین دو روش Fuzzy HEART و Fuzzy SLIM توافق بالا در این خصوص وجود دارد (P value/۰۵<۰) و به عبارتی سطح ریسک بالا در روش Fuzzy HEART در روش Fuzzy SLIM هم بالا ارزیابی می‌شود و یافته‌های حاصل از آنالیز داده‌های کمی خطای انسانی با استفاده از آزمون همبستگی نشان می‌دهد که ضریب همبستگی مقادیر احتمال خطا بین دو روش برابر ۰،۰۹۱ می‌باشد که نشان دهنده همبستگی ضعیف در این خصوص می‌باشد. لذا نمی‌توان از روش Fuzzy HEART به جای روش Fuzzy SLIM برای ارزیابی احتمال خطای انسانی استفاده کرد. به نظر می‌رسد در صورت استفاده از روش Fuzzy HEART به جای روش Fuzzy SLIM، می‌توان سطح ریسک را گزارش کرد.

در مجموع طبق جدول از بین ۳۹ زیروظیفه، ۱۴زیروظیفه (۳۵/۹ درصد) دارای طبقه خطای انسانی یکسان بوده و هم خوانی دارند ولی در۲۵ زیر وظیفه (۶۴/۱ درصد) طبقه خطای انسانی دو روش با هم متفاوت بوده و هم خوانی ندارند.

مقایسه کلی خطای انسانی بین دو روش نشان داد که نمره احتمال خطای انسانی در روش Fuzzy SLIM کم‌تر می‌باشد. این مطالعه نشان داد که نتایج ارزیابی ریسک خطای انسانی با استفاده از دو روش Fuzzy HEART و Fuzzy SLIM، به شکل معنی داری دارای توافق می باشند. اگرچه روش Fuzzy HEART ارزیابی متفاوتی از احتمال خطای انسانی در مقایسه با روش Fuzzy SLIM فراهم می کند، ولیکن ارزیابی سطح ریسک به دو روش به شکل معنی داری یکسان است. ارزیابی ریسک خطای انسانی در بین آتش نشانان منجر به شناسایی نوع و مقدار کمی خطا و نیز سطح ریسک به دست آمده از این خطاها گردید که می تواند در سطح بندی وظایف و زیروظایف از نظر سطح ریسک خطا و تدوین راهکارها و تدابیر پیشگیرانه جهت کاهش سطح ریسک به کار گرفته شوند. یافته های مطالعه نشان می دهد که اجرای روش ارزیابی مقایسه ای ریسک خطای انسانی در بین آتش نشانان که از ریسک شغلی بالاتری برخوردارند می تواند باعث شناسایی نوع و مقدار کمی خطا و نیز سطح ریسک به دست آمده از این خطاها از مرحله شروع حریق تا پایان عملیات شده و با توجه به این که بسیاری از خطاهای انسانی باعث پیامدهای جانی و مالی و حوادث جبران ناپذیر می گردد لذا نتایج این مطالعه می تواند در سطح بندی وظایف و زیروظایف از نظر سطح ریسک خطا و تدوین راهکارها و تدابیر پیشگیرانه جهت کاهش ریسک این خطاها و به کار

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.66224/ioh.23.1.2]

گرفته شوند.

بر اساس جستجوی به عمل آمده در پایگاه های معتبر عملی، مطالعه ای یافت نشد که در آن نتایج نسخه مبتنی بر منطق فازی در هر یک از روشهای ارزیابی احتمال خطای انسانی مقایسه شده باشد و لذا به دلیل نبود مطالعات مقایسه ای مشابه، تحلیل یافته ها در این مطالعه صرفا بر مقایسه نتایج دو روش به کار رفته در مطالعه متمرکز گردید.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که همبستگی ضعیف بین نتایج دو روش در ارزیابی احتمال خطای انسانی و توافق معنی دار در سطح ریسک خطای انسانی وجود دارد. بنابراین، هر چند که دو روش ارزیابی نسبتا نزدیکی از سطح ریسک ارایه می دهند ولی نمی توان ادعا کرد که با توجه به زمان بر بودن روش Fuzzy SLIM ، می توان از روش Fuzzy HEART برای گزارش سطح ریسک استفاده کرد. به عبارت دیگر شاید نتایج حاصل از این دو روش به نوعی مکمل هم بوده و جنبه های متفاوتی از خطای انسانی را برای ما فراهم می کنند که می توانند در مداخلات و اقدامات مقتضی از آن ها استفاده کرد و می توان چنین استنباط کرد که این مقایسه لزوما نمی تواند به نتایج مشابهی منجر شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد ارگونومی به شماره ۴۹۷/ب انجام شده است. بدینوسیله نویسندگان این مقاله از مدیران و کارکنان محترم آتش نشانی تبریز و دانشگاه علوم پزشکی تبریز به دلیل همکاری ارزشمندشان در انجام این تحقیق کمال تشکر و قدردانی را دارند.

حمایت مالی

این مطالعه بدون حمایت مالی انجام شده است.

ملاحظات اخلاقی

فرم رضایت آگاهانه، مشارکت داوطلبانه و محرمانگی اطلاعات در اجرای این مطالعه رعایت شده است.

کد اخلاق

IR.TBZMED.REC.1398.383

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان این مقاله در طراحی و اجرای این مطالعه و نگارش مقاله سهم یکسان داشته اند.

دسترسی آزاد

کپی‌رایت نویسنده(ها) ©2026: 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

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.66224/ioh.23.1.2]

REFERENCES

1. C K, R, Refflinghaus] on the track of human errors-procedure and results of an innovative assembly planning method. . 2018.
2. Kletz TA. An engineer's view of human error. 2008.
3. Kim J.W. JW, Ha J. A Methodology for Human Error Analysis of Emergency Tasks. 2004.
4. Mustafa H. The Study of Human Errors in an Industrial Petrochemical Control Rooms Adopting CREAM Method with a Cognitive Ergonomics Approach. 2010.
5. John W DL. Better alarm handling: a practical application of human factors. 2002.
6. Mahdinia M MI, Mirzaei Aliabadi M, Aghaei H, Soltanian AR, Soltanzadeh A. The mediating effect of workers' situation awareness on the relationship between work-related factors and human error: a path analysis approach. Int J Occup Saf Ergon. 2021:1-9.
7. Jafari MJ HHA, Halvani GH, Mehrabi Y, Ghasemi M. Prediction and Analysis of Human Errors in Operators of Control Rooms at 400 kV Posts and the Effectiveness of the Proposed Measures. Iran Occupational Health. 2012:9(3): 2.
8. Kim J PJ. Reduction of test and maintenance human errors by analyzing task characteristics and work conditions. 2012.
9. Jou Y.T. YTC, Lin C.J., Tsai W.S.,Hsieh T.L. The research on extracting the information of human errors in the main control room of nuclear power plants by using Performance Evaluation Matrix. 2011.
10. Moriyama T OH. Risk assessment tools incorporating human error probabilities in the Japanese small-sized establishment. 2009.
11. Hosseini H. Methods of identifying and evaluating human error including guidelines for occupational health and safety management systems. 1389.
12. Niedner MF, Stephen E. Muething, and Kathleen M. Sutcliffe. The high-reliability pediatric intensive care unit. 2013.
13. E H. Human Reliability Assessment in Context. Nuclear Engineering And Technology. 2005.
14. Maguire R. Validating a process for understanding human error probabilities in complex human computer interfaces Complexity in Design and Engineering. 2005.
15. Heydari H. Mind map of firefighting mission. ۲۰۱۹(persian.(
16. Kumar AM SR, and V. Arumuga Prabhu. Application of fuzzy heart and expert elicitation for quantifying human error probabilities in lpg refuelling station. 2017.
17. Akyuz E. Quantitative human error assessment during abandon ship procedures in maritime transportation. 2016.
18. Raheleh Pourhosein SM, Yahya Rasoulzadeh. A Comparative Risk Assessment of Human Error in firefighting using SLIM and Fuzzy SLIM Methods. Journal of Health and Safety at Work. 2024;1(14):150-73.
19. Wiegmann D FT, Boquest A, Detwiler C, Holcomb K, Shappell S. Human error and general aviation accidents: A comprehensive, fine-grained analysis using HFACS. 2005.
20. Peng G. On human errors in maintenance: risk potential and mitigation. 2014.
21. Khan FI, Paul R. Amyotte, and Dean G. DiMattia .HEPI: A new tool for human error probability calculation for offshore operation. 2006.
22. I.Khan PRAF. Devlopment of a human error probability index for offshore platform evacuations. Department of Process Engineering and Applied Science& Faculty of Engineering and Applied Science 2005.
23. Orosi H, Rahimpour, Mohamadfam. Human errors evaluation for muster in emergency situations applying human error probability index (HEPI), in the oil company warehouse in Hamadan. 1391.
24. Brennan TA, Lucian L. Leape ,Nan M. Laird, Liesi Hebert, A. Russell Localio, Ann G. Lawthers, Joseph P. Newhouse, Paul C. Weiler, and Howard H. Hiatt. Incidence of adverse events and negligence in hospitalized patients: results of the Harvard Medical Practice Study I. 1991.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.66224/ioh.23.1.2]