Iran Occupational Health

Iran Occupational Health. 2023 (01 May);20: 4

Original Article

http://ioh.iums.ac.ir

Evaluation of human error using HEART technique and its reduction based on fuzzy logic (Case study: a gas power plant)

Mousa Jabbari, Department of Occupational Health and Safety, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
Mohammad Mosayebi, Department of Occupational Health and Safety, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
Mahnaz Saremi, Department of Ergonomics, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
Davoud Eskandari, (*Corresponding author), Department of Occupational Health and Safety, School of Health, Shahrekord University of Medical Sciences, chaharmahal and bakhtiari province, Iran. d.eskandari@sbmu.ac.ir
Parvin Sepehr, Department of Occupational Health and Safety, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Abstract

Background and aims: In complex systems, human error has always been identified as an effective factor in most accidents. In the power plant industry, various accidents occur due to human error, affecting the stability of the country's electricity network and causing financial and human losses. The purpose of this study was to evaluate the human error of personnel operating a V94.2 gas power plant using the fuzzy HEART technique.

Methods: This cross-sectional study was performed on gas plant operation personnel. The probability of human error was calculated using fuzzy logic in the HEART technique. The technique was performed in 7 stages: identifying the system/process, identifying existing tasks, assigning nominal probability of human error, identifying error-increasing conditions, estimating impact ratio, quantifying human error potential, and implementing control measures. Finally, the HEART method was improved using fuzzy logic.

Results: A total of 13 tasks and 119 sub-tasks were obtained. 24 tasks had a high final human error probability (HEPF), representing 20% of total tasks evaluated. The final human error probability was calculated to be 7.213. Most tasks were in Group D (relatively simple task) of the HEART task general classification. "Insufficient checking" was considered as one of the error-enhancing conditions in more than 98% of tasks and had the highest repetition among error-enhancing conditions. "Checking the openness of the internal power supply's disconnector" had the highest probability of human error among all activities. Training and justification of the operator or shift engineer were suggested as control solutions for 22 out of 24 tasks with a higher probability of human error.

Conclusion: The results showed that training in performing tasks is necessary to reduce the possibility of human error. For tasks with a high probability of human error, retraining and justification of operators, attention to work instructions, and use of work rotation tools can be considered as important measures to prevent human error. Keywords: Evaluation technique, Human error reduction, Fuzzy logic, HEART, Power plant.

Conflicts of interest: None

Funding: None

Keywords

Evaluation technique

Human error reduction

Fuzzy logic

HEART

Power plant

Received: 2022/01/27

Revised: 2022/12/25

Accepted: 2023/04/16

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-05]

[DOI: 10.61186/ioh.20.1.27]

INTRODUCTION

Human error is defined by Reason (1990) as behavior that deviates from the intended action, is not favorable by regulation or observers, or causes a task or system to exceed accepted limits (1, 2, 3). In complex systems such as air transport, rail transport, medical services, and road transport, human error has been identified as an effective factor in most accidents (4). Studies show that more than 70% of airline accidents and about 70% of rail accidents were due to human error (5). Accidents such as the Three Mile Island (1979), the Bhopal disaster (1984), the Piper Alpha disaster (1988), the Chernobyl disaster (1986), and the Texas City Refinery explosion (1994) were caused by human error along with technical and organizational factors (6). 60 to 90 percent of all accidents are caused by human error, and accidents are affected by the economics of organizations (7). The functional goals of power plants include safety, power preparation, and power efficiency. These goals can be improved by reducing the occurrence of human error (8). There are many techniques to evaluate human error. In 2009, the Health and Safety Authority of the United Kingdom introduced 72 human reliability assessment techniques and identified 35 techniques as major hazard identification techniques related to safety, health, and environment (9).

In this study, the HEART technique is one of the 35 techniques mentioned and introduced as a first-generation technique with public access. HEART is an accurate technique that quantitatively demonstrates human error, requires little training, and is medium to run. The availability of publicly available technical resources and details has led to the use of the HEART technique as one of the valid techniques among various techniques available to identify human errors in power plant utilization. In another study, the Defense Sciences Institute examined techniques related to human factors. The results identified 11 valid techniques for human error detection, used to predict or analyze the potential for errors caused by a collision with the system or device under investigation (10). Kirwan described nine techniques for assessing human reliability in 1997 and reported that among these nine techniques, HEART, THERP, and JHEDI work well. In a subsequent study, the accuracy rate of the HEART technique among 30 human error assessors who used it was 76.67% (4). According to a study by Kirwan and colleagues (1995), recent trends have introduced a transition from quantitative human error probability techniques such as THERP and SLIM to more effective and efficient HEART resources (11). Kirwan and colleagues (1995) examined the validity of the best current UK techniques, including JHEDI, THERP, and HEART, to validate human error techniques (9). The results showed a significant correlation between all estimates with correct values, with 23 significant individual correlations, an accuracy range of 60 to 87%, and an average accuracy of 72% (13). To date, the HEART technique has been used in the Utility Unit control room of one petrochemical complex by Ghalenoei and colleagues (2009), in pump repair by Noroozi (2012), in maintenance and repair of safety ventilation devices in hydrogen storage systems of fuel stations by Castiglia (2012), and in integrated HEART and THERP methods to analyze operator error event scenarios during high dose radiation treatment by Castiglia and colleagues (2014) (14-17).

In studies by Castiglia and colleagues (2012 and 2014), a modified HEART technique based on the fuzzy set concept was used to investigate the probability of wrong actions (16, 17). Li Peng-cheng and colleagues (2010) also used a fuzzy logic approach to study the importance of human error risk. This paper deals with combining the HEART technique with fuzzy logic to assess human error in a plant operation unit with a predictive approach to human error occurrence and sensitivity of control rooms in power plants.

METHODOLOGY

The HEART technique was developed by Williams in 1986. It is one of the human error detection techniques that attempts to predict and quantify the probability of human error. The HEART technique has been developed for use in nuclear power plants and chemical process industries. This technique is a reliable method for comparing human error probability (HEP). In this way, the consequences of each activity are also evaluated. One of the aspects of the HEART technique to reduce resource usage is that it only deals with errors that have a significant impact on the system under investigation. In the United Kingdom, the HEART technique was used to assess the risk of the Sizewell B nuclear power plant as well as the risk assessment of the Magnox reactor stations of England and advanced Gas Cold. The steps to implement this technique are as follows:

Step One - Identify the task or scenario under analysis.

Step Two - Perform the HTA for the task or scenario under analysis. The HTA technique was developed in 1971 by Annette and colleagues to analyze complex tasks such as tasks in chemical processes and power plants. In this technique, tasks are broken into a hierarchical set of tasks and sub-tasks. The HTA technique was first introduced for process industries and power plants (4). To analyze the activities, all operating documentation including procedures, instructions, forms, and checklists were studied. And, according to the technical experts' documentation, the activities were broken down to the last necessary stage.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-05]

[DOI: 10.61186/ioh.20.1.27]

Table 1. Nine general duty groups of the HEART technique and Nominal Potential Human Error

Public duty	Nominal Potential of Human Error
A: Completely unfamiliar, doing it quickly without realizing the potential consequences	0.55
B: Move or restore the system to a new or original state with an unsupervised action or procedure	0.26
C: The complex task requires a high level of understanding and skill	0.16
D: Doing relatively simple work quickly or with little attention	0.09
E: Routine task, fast, accomplished, highly accomplished, requiring relatively low skill level	0.02
F: Move or restore a system to a new or original state following the executable method with little checking	0.003
G: A thoroughly familiar, well-designed, highly experienced, routine task that occurs several times every hour is performed to the highest possible standards, with a highly motivated, highly trained and experienced individual, fully aware of the consequences of failure, with time to correct potential errors but without the use of significant aids	0.0004
H: Correct response to the system command even when an automated monitoring system provides a complete interpretation of the system status.	0.00002
I: Miscellaneous task for which no description can be found.	0.03

Table 2. HEART Technique EPCs

Error Producing Conditions (EPC)	The maximum value
Unfamiliarity	17
Lack of time	11
Low signal-to-noise ratio (high noise)	10
Ability to ignore attributes	9
Functional and spatial mismatch	8
Mismatch Model	8
Immutability	8
High load on the channel	6
Technique not learned	6
Requires specific knowledge transfer	5.5
Functional ambiguity	5
Misconception of risk	4
Weak and vague feedback	4
Incomplete / delayed feedback	4
Operator inexperience	3
Trivial information	3
Not checking enough	3
Conflict of goals	2.5
Lack of diversity	2
Educational mismatch	2
Dangerous motivations	2
Lack of mental and physical fitness	1.8
Unreliable instrumentation	1.6
Absolute judgment	1.6
Assign tasks indefinitely	1.6
There was no progress tracking	1.4

Step Three - Perform the HEART Screening Process.

Step Four - Classification of Inaccuracy of Task: Uncertainty Determination Using HEART General Classifications Based on Table 1.

Step Five - Identify Error Producing Conditions (EPCs): Negative factors that increase the potential for human error occurrence are called error producing conditions. At this stage, task-related EPCs are identified. The error producing conditions are presented in Table 2 (4, 20).

Step Six - Assess the Impact Ratio: Determine the estimated impact ratio of each EPC by assigning a score between zero and one for each EPC.

Step Seven - Quantifying Potential Human Error. At this stage, the potential human error is calculated for each identified task. The relevant formula for calculating potential human error is as follows:

$$HEPF = NHEP * \left(\prod_{i=1}^{n} \left[\left(EPCi - 1 \right) * APi + 1 \right] \right)$$

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-05]

[DOI: 10.61186/ioh.20.1.27]

NHEP: Nominal Human Error Probability in Step 4 (extracted from Table 1)

EPCi: The maximum amount of impact (weighting factor) of each EPC obtained in Step 5 (extracted from Table 2) APi: The estimated impact ratio of each of the identified EPCs obtained in Step 6

HEPF: The Ultimate Human Error Probabilityy

Step Eight - Control measures: This step involves identifying and suggesting control measures for known errors. Although the HEART technique offers some general control measures, the analyst may need to provide more specific control measures based on the nature of the error and the system under analysis. The control measures provided by the HEART technique are general and are not system-specific.

Fuzzy HEART

Based fuzzy HEART technique, the estimated impact ratio (APi) of each EPC was collected based on the opinions of 4 experts. By using the fuzzy logic toolbox of MATLAB software, the estimated fuzzy impact ratio (APlvi) obtained using the following formula of fuzzy HEART calculations:

$$\boldsymbol{HEPF = NHEP * \left(\prod_{i=1}^{n} \left[(EPCi - 1) * APlvi + 1 \right] \right)}$$

The points of the membership function of each of the VL, L, M, H, and VH levels will be calculated using the following formulas.

$$APvl(x) = \begin{cases} 1.0 & 0.0 < x \le 0.15 \\ \dfrac{0.3 - x}{0.15} & 0.15 \le x \le 0.3 \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

$$APl(x) = \begin{cases} \dfrac{x - 0.1}{0.2} & 0.1 < x \le 0.3 \\ \dfrac{0.5 - x}{0.2} & 0.3 < x \le 0.5 \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

$$APm(x) = \begin{cases} \dfrac{x - 0.3}{0.2} & 0.3 < x \le 0.5 \\ \dfrac{0.7 - x}{0.2} & 0.5 < x \le 0.7 \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

$$APh(x) = \begin{cases} \dfrac{x - 0.5}{0.2} & 0.5 < x \le 0.7 \\ \dfrac{0.9 - x}{0.2} & 0.7 < x \le 0.9 \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

$$APvh(x) = \begin{cases} \dfrac{x - 0.7}{0.15} & 0.7 < x \le 0.85 \\ 1.0 & 0.85 < x \le 1 \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

The reason why fuzzy logic is applied in the HEART technique is that it is an efficient tool for solving problems in uncertainty, so it is also used in this research. Generally, the error producing conditions of each activity were identified and extracted based on the opinions of 4 technical experts due to their thorough familiarity with their work process and high work experience according to Table 2.

To calculate the impact ratio of each of the identified EPCs using fuzzy logic, the opinions of 4 experienced experts were collected. Using MATLAB software, the membership functions of input and output values were defined in the fuzzy logic toolbox and the required database rules were recorded. In the next step, the impact ratio of each EPC was calculated by entering the collected data. Then, the probability of a final human error was calculated for each task.

RESULTS

To analyze activities, all documents of the exploitation group were studied, including procedures, instructions, forms, and checklists. Based on the documents and the opinion of technical experts, activities were broken down into subtasks to the last necessary step.

Screening activities and extracting the most important activities of the operation group considering the first and second steps of the HEART technique for screening tasks from level two, three, and four HTA tasks (a total of 1150 tasks and sub-tasks), the main tasks were extracted according to experts' opinions. In total, 13 tasks and 119 sub-tasks were achieved (Table 3). According to Table 1, each task was initially assigned to one of the nine general task groups of the HEART technique. The nominal human error probability for each activity was obtained (Table 3).

The error-increasing conditions of each activity were identified and extracted based on the opinion of several technical experts and according to Table 2. To calculate the ratio of the effect of each of the identified EPCs on the occurrence of human error under the task under analysis using fuzzy logic, the opinions of 4 experienced experts were collected. Then, in the fuzzy logic toolbox of MATLAB software, the membership functions of input and output values were defined and recorded. Upon entering the collected data, the impact ratio of each EPC was calculated fuzzily. Then, the probability of the final human error was estimated for each task.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-05]

[DOI: 10.61186/ioh.20.1.27]

Table 3. Number of Member Tasks of Each Task Force in HEART Technique

Public duty	Number
A: Completely unfamiliar, doing it quickly without having a real idea of the likely consequences	0
B: Restore the system to the original state with an unsupervised action or procedure	10
C: The complex task requires a high level of understanding and skill	13
D: Doing relatively simple work quickly or with little attention	49
E: Routine, fast-performing, highly accomplished task requiring relatively low skill level	16
F: Restore the system to a new or original state following the executable method	12
G: Fully familiar, well designed, highly experienced, routine task	11
H: Correct response to the system command	8
I: Other duties or Miscellaneous tasks	0
Total	119

Table 4. Statistical report of the Repetition Rate of Error Producing Conditions between Different Tasks

error producing conditions	Number	Percent
Not checking enough	117	98.3
Operator inexperience	92	77.3
Low morale and conscience	47	39.5
Lack of time	41	34.5
Unfamiliarity	35	29.4
Misconception of risk	28	23.5
Weak and vague feedback	28	23.5
Lack of mental and physical fitness	5	4.2
Lack of diversity	4	3.4
Functional and Distance mismatch	2	1.7
Immutability	1	0.8

Job Description:	Task code:	Main job duties:
Checking the openness of the internal power supply transformer in the Incoming Bass panel (BBE)	22-1 -2 -1	Electrical main transformer and unit
NHEP=0.26		
EPC	***(a) Maximum impact ratio***	***impact ratio (b)***	***((a-1)*b)+1***
Unfamiliarity	17	0.5	9
Lack of time	11	0.5	6
Misconception of risk	4	0.7	3.1
Operator inexperience	3	0.7	2.4
Not checking enough	3	0.5	2
Low morale and conscience	1.2	0.114	1.0228
Probability of human error (HEP_F)		**213/7**	

Table 5. Frequency of increasing error conditions between different tasks

error producing conditions	*frequency*	*percent*
Not checking enough	117	%98.3
Operator inexperience	92	%77.3
Low morale and conscience	47	%39.5
Lack of time	41	%34.5
Unfamiliarity	35	%29.4
Misconception of risk	28	%23.5
Weak and vague feedback	28	%23.5
Lack of mental and physical fitness	5	%4.2
Lack of diversity	4	%3.4
Functional and Distance mismatch	2	%1.7
Immutability	1	%0.8

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-05]

[DOI: 10.61186/ioh.20.1.27]

Among the activities, "Investigation of the openness of the transducer on the Incoming Panel (BBE bus)" obtained the highest probability of human error. The repetition of error-generating conditions is shown in Table 4.

According to Table 5, a number of conditions increase the error for each task. The most important cases were for human error to occur.

The results show that the EPCs of "Not checking enough," "operator inexperience," "Low morale and conscience," "lack of time," "Unfamiliarity," "misconception of risk," and "Weak and vague feedback" were the most important causes of human error.

"Not checking enough" was involved in more than 98% of tasks as one of the error-increasing conditions.

DISCUSSION

Discussion There were many error producing conditions for each of the tasks reported in Table 4. According to Table 4, EPCs of "insufficient checking," "operator inexperience," "low morale," "lack of time," "lack of awareness," "misconception of risk," and "poor and ambiguous feedback" were most of the issues related to human error, respectively. "Insufficient checking" in more than 98% of tasks was one of the error producing conditions. This may be due to lack of time, impatience and fatigue, lack of training, and high workload. According to studies conducted by Kirwan (1996), Mortazavi (2010), Jahangiri (2004), Ghalenoei (2006), Mohammad Fam (1996), and Zarra Nezhad (2013), work guidelines, training, experience, and time are the main factors affecting the occurrence of human error (23). The reason may be the lack of proper guidelines and inadequate training. In the study by Noroozi et al. (2012), two activities of "open value, pump filling and leak test" and "drainage lines" had the highest probability of human error due to "lack of awareness" and "lack of time" (15). Also, these two factors have been among the thematic and commonly used EPCs of this study. The proper time interval can be considered as a factor to control this error. In the study conducted by Castiglia et al. (2014), the EPCs "insufficient checking," "risk misconception," "information overload," "knowledge transfers," "poor and ambiguous feedback," and "functional ambiguity" were the most frequent, respectively. Three of these EPCs are identical to the repeated EPCs of this study, and the differences are due to the conditions and nature of the work and differences in industrial structure, knowledge, and experience of the workforce (17). In the 19th century, Italian economist Wilfredo Pareto observed that 80% of usable land belonged to 20% of the population. Pareto received the same distribution in other economic and natural processes. As a general rule, by formulating the finding "in any arbitrary set of elements that strive to achieve a goal, a small subset (with a small number) has the greatest effect" (24). In this study, a total of 24 tasks have a high likelihood of final human error (HEPF), which is 20% of total tasks evaluated. In 87% of these tasks, lack of awareness is considered to be one of the EPCs. In a study conducted by Ariefiani et al., who investigated human error using fuzzy HEART method in grinding operations of a construction company, accidents were reported as a result of human error with 66.67%. The highest human error rate was estimated to be HEP = 0.71324 (25). The technique used and results were similar to this study. Another study in a door manufacturing industry performed fault analysis with SHERPA and HEART methods. According to a HEART study, total HEP was 0.4986 (26). Activities on "Checking the openness of the transducer on BBE bus Incoming panel," re-sealing the 8-inch valve and checking for no leakage on flanges, once cyclone filter pressure reaches its final level, "Ensuring correct arrangement of fuel tank valves," "Ensuring inlet and outlet cartridge filters are closed," "Compressor visit (Compressor outlet diffuser enclosure visit below)," were allocated highest HEPFs, respectively. For 22 out of 24 tasks with a higher probability of human error, training and justification for the operator or shift engineer were suggested control strategies. Based on the results, the HEART technique works well based on its structure and provides reasonable results, with only two tasks having a very high probability of ultimate human error. The human error associated with these two tasks has occurred at least in one similar power plant. Of course, it is clear that the experience of the experts involved in this research is effective on the outputs. Therefore, experts with higher education and experience were used in each step of the research to reduce the impact of individual judgment and increase the quality of outputs. Considering the error-producing conditions assigned and the control measures defined for tasks with higher human error probabilities, it is clear that retraining, operator justification, and compliance with operating instructions are the most important measures to prevent human error. Since accuracy decreases over time in routine and repetitive activities, and operator activities are included in routine and repetitive activities, it is necessary to prevent work uniformity by maintaining training courses and using rotating tools (personnel shifting between operation and maintenance groups) to maintain a high level of accuracy. According to the results, the role of experience of the HEART technique workgroup is evident. As two activities have a higher risk of an accident, similar studies should be used by experienced individuals. To minimize the impact of individual judgment, expert opinion and fuzzy logic or similar techniques were used. Considering the

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-05]

[DOI: 10.61186/ioh.20.1.27]

importance of human error in the power generation industry and the consequences of human error, the HEART technique in power plant maintenance and repairs is also required. Further studies on power plant operation should be carried out using other qualitative and quantitative techniques such as SHERPA and CREAM.

CONCLUSION

Human errors must be estimated and evaluated in any dangerous process operation to avoid accidents and consequences. This study offers a framework to simply quantify human errors in different operator tasks in process industries. Fuzzy logic concepts are useful in the conventional HEART technique by considering abstract linguistic expressions, and suitable weightage is allocated using the expert elicitation method with consensus to analyze quantitative error probability.

CONFLICT OF INTEREST

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

How to cite this article:

Mousa Jabbari, Mohammad Mosayebi, Mahnaz Saremi, Davoud Eskandari, Parvin Sepehr. Evaluation of human error using HEART technique and its reduction based on fuzzy logic (Case study: a gas power plant). Iran Occupational Health. 2023 (01 May);20:4.

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

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-05]

[DOI: 10.61186/ioh.20.1.27]

مقاله پژوهشی
http://ioh.iums.ac.ir

سلامت کار ایران
دوره ۲۰ - ۴/۱۴۰۲

ارزیابی خطای انسانی با استفاده از تکنیک HEART و کاهش آن براساس منطق فازی (مطالعه موردی: یک نیروگاه گازی)

موسی جباری: استاد گروه مهندسی بهداشت حرفه ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.
محمد مصیبی: دانشجوی کارشناسی ارشد ایمنی صنعتی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.
مهناز صارمی: استاد گروه مهندسی بهداشت حرفه ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.
داود اسکندری: (* نویسنده مسئول) استادیار گروه مهندسی بهداشت حرفه ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد، چهارمحال و بختیاری، ایران.
d.eskandari@sbmu.ac.ir
پروین سپهر: دانشجوی دکتری گروه مهندسی بهداشت حرفه ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: همواره در سیستم‌های پیچیده، خطای انسانی به عنوان یک عامل موثر در اکثر حوادث شناسایی شده است. در صنعت نیروگاهی حوادث مختلف بدلیل خطای انسانی به وقوع می‌پیوندد و ضمن تاثیر بر روی پایداری شبکه برق کشور می‌تواند موجب بروز خسارات مالی و جانی شود. هدف از انجام این مطالعه ارزیابی خطای انسانی پرسنل بهره‌برداری یک نیروگاه گازی با استفاده از تکنیک HEART فازی است.

روش بررسی: مطالعه حاضر بصورت مقطعی در بین پرسنل بهره‌برداری یک نیروگاه گازی انجام گردید. در این مطالعه احتمال خطای انسانی با استفاده از منطق فازی در تکنیک HEART محاسبه شد. مراحل اجرای تکنیک به ترتیب شامل شناسایی سیستم / فرایند و شناسایی وظایف موجود، اختصاص مقدار احتمال اسمی خطای انسانی، شناسایی شرایط افزایش دهنده خطا، برآورد نسبت تاثیر، کمی سازی پتانسیل خطای انسانی و در نهایت ارائه اقدامات کنترلی بوده است.

یافته ها: در این مطالعه در مجموع ۱۳ وظیفه و ۱۱۹ زیر وظیفه شناسایی گردید. ۲۴ وظیفه احتمال خطای انسانی نهایی (HEPF) بالایی را به خود اختصاص دادند که این تعداد ۲۰ درصد از کل وظایف ارزیابی شده می باشد. همچنین احتمال خطای انسانی نهایی معادل ۲۱۳/۷ محاسبه گردید. اکثر وظایف در گروه D (انجام کار نسبتا ساده) دسته‌بندی عمومی وظایف HEART قرار گرفتند. در بیش از ۹۸ درصد وظایف "چک نکردن کافی" بعنوان یکی از شرایط افزایش دهنده خطا در نظر گرفته شد و بیشترین تکرار را در بین شرایط افزایش دهنده خطا به خود اختصاص داد. در بین کل فعالیت ها "بررسی باز بودن سکسیونر ارت ترانس تغذیه داخلی" بیشترین احتمال خطای انسانی را داشت.

نتیجه گیری: نتایج بدست آمده در این مطالعه نشان داد جهت کاهش احتمال خطای انسانی آموزش در اجرای وظایف ضروری می باشد. همچنین می توان برای وظایف دارای احتمال خطای انسانی بالا، بازآموزی و توجیه اپراتورها و توجه به دستورالعمل‌های کاری و استفاده از ابزار چرخش کاری مهمترین اقدامات جهت پیشگیری از بروز خطای انسانی در نظر گرفته شود.

تعارض منافع: *گزارش نشده است.*

منبع حمایت کننده: *ندارد.*

کلیدواژه‌ها
تکنیک ارزیابی
کاهش خطای انسانی
منطق فازی
HEART

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۷
تاریخ اصلاح: ۱۴۰۱/۱۰/۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱/۲۷

شیوه استناد به این مقاله:
Mousa Jabbari, Mohammad Mosayebi, Mahnaz Saremi, Davoud Eskandari, Parvin Sepehr. Evaluation of human error using HEART technique and its reduction based on fuzzy logic (Case study: a gas power plant). Iran Occupational Health. 2023 (01 May);20:4.

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

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-05]
[DOI: 10.61186/ioh.20.1.27]

مقدمه

همواره در سیستم‌های پیچیده مانند حوزه‌های حمل و نقل، نفت و گاز، پتروشیمی، پالایشگاه، نیروگاه‌ها و غیره خطای انسانی به عنوان یک عامل موثر در حوادث شناسایی شده است. بر اساس مطالعات انجام شده بیش از ۷۰ درصد از حوادث خطوط هوایی و حدود ۷۰ درصد حوادث ریلی ناشی از خطای انسانی بوده است. علاوه بر این، براساس گزارش‌های انتشاریافته بیش از ۹۰٪ از حوادث نیروگاه‌های هسته‌ای، بیش از ۸۰٪ از حوادث صنعت پتروشیمی و بیش از ۷۵٪ از حوادث دریایی مربوط به نقش عوامل انسانی است (۱-۳).

حوادث ممکن است به دلیل خطاهای انسانی مانند اقدامات خودسرانه یا بی‌توجهی در حین کار، نادیده گرفتن روش‌های استاندارد عملیاتی و عدم آموزش نسبت به تجهیزات، سیستم‌ها و سناریوهای عملیاتی خاص رخ دهد (۴). رویدادهای مرتبط با خستگی مانند زمان پاسخگویی ضعیف و حواس پرتی نیز می‌تواند منجر به خطای انسانی گردد. که در اتاق‌های کنترل نیروگاه‌ها می‌تواند از علل وقوع حادثه باشد(۵). همچنین یکی از حوادث فاجعه بار در نیروگاه‌ها حریق و انفجار است که در بسیاری از موارد بر اثر خطای انسانی رخ می‌دهد (۶).

عامل انسانی به طور قابل توجهی در پویایی حوادث و همچنین در شدت پیامد آن نقش دارند. مداخله انسان در خرابی سیستم نیز بی‌اهمیت نیست. در عمل، خطای انسانی دلیل مهمی است که می‌تواند منجر به وقوع حوادث در محیط‌های پیچیده فنی-اجتماعی شود. بنابراین، عوامل انسانی باید در روند تجزیه و تحلیل حوادث به منظور پیشگیری از وقوع رویدادهای مخاطره‌آمیز در نظر گرفته شوند.

سوین قابلیت اطمینان انسان را به عنوان توانایی انجام یک کار معین بدون خطا در یک زمان مشخص و تحت شرایط خاص تعریف کرد (۷). تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان انسانی (HRA)[1] شامل سه مرحله شناسایی رفتارهای انسانی، ایجاد الگویی از رفتارهای حیاتی انسان و تعیین احتمال خطای انسانی است. اگرچه محققان مدل‌های زیادی را برای پیش‌بینی احتمال خطای انسانی پیشنهاد کرده‌اند، این رویکردها دارای نقایص زیادی مانند کمبود داده، ذهنیت و عدم اطمینان تحلیل است (۸). از این رو، برخی از پژوهشگران اعتقاد دارند تکنیک‌های HRA جهت رفع این نقایص باید بهبود یابند (۸-۱۰).

رویکردهای تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان انسانی متعددی جهت محاسبه احتمال خطای انسانی (HEP)[2] و ارزیابی عملکرد انسان ارائه شده است. به‌عنوان مثال، تکنیک پیش‌بینی میزان خطای انسانی (THERP)[3] تا حد زیادی به داده‌های نیروگاه هسته‌ای و قضاوت‌های متخصصان متکی است و جهت ارزیابیHEP در زمینه هسته‌ای محبوب و مفید است (۱۱). روش شاخص احتمال موفقیت (SLIM)[4] یک روش تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری است که در درجه اول به کمی‌سازی ترجیحات و قضاوت‌های متخصصان بستگی دارد (۱۲). روش سیستم طبقه‌بندی تجزیه و تحلیل عوامل انسانی (HFACS)[5] نیز یک روش طبقه بندی خطا جهت تجزیه و تحلیل حوادث هواپیمایی است. با این فرض که خطاهای انسانی ناشی از شکست چهار لایه اصلی سیستم شامل تأثیرات سازمانی، نظارت ناایمن، پیش‌شرایط اقدامات ناایمن و اعمال ناایمن است (۱۳).

در سال ۲۰۰۹ میلادی سازمان ایمنی و بهداشت انگلستان در گزارشی نتایج تحقیقاتی بررسی تکنیک‌های مختلف ارزیابی قابلیت اطمینان انسان را منتشر نمود. در این گزارش در مجموع ۷۲ تکنیک ارزیابی قابلیت اطمینان انسان مورد مطالعه اولیه قرار گرفته شد و ۳۵ تکنیک بعنوان تکنیک‌های شناسایی خطرات بزرگ مرتبط با ایمنی، بهداشت و محیط زیست (HSE)[6] شناسایی و به طور کامل مورد بررسی قرار گرفتند (۱۴). در این مطالعه تکنیک HEART[7] جزء ۳۵ تکنیک مذکور و به‌عنوان یکی از تکنیک‌های نسل اول با کاربری عمومی معرفی گردید. در مطالعه دیگری مرکز علوم دفاعی ایالات متحده آمریکا تکنیک‌های مرتبط با فاکتورهای انسانی را مورد بررسی قرار داد. نتیجه حاصل از این مطالعه شناسایی ۱۱ تکنیک معتبر جهت شناسایی خطای انسانی[8] بود (۱۵). همچنین در سال ۱۹۹۷ کیروان دقت ۹ تکنیک ارزیابی قابلیت اطمینان انسان را تشریح کرد که از این ۹ تکنیک، تکنیک‌های THERP[9]، HEART، JHEDI[10] و APJ[11] عملکرد نسبتاً خوبی جهت ارزیابی قابلیت اطمینان انسان داشتند (۱۶). در مطالعه دیگری دقت تکنیک‌های HEART، THERP و JHEDI توسط ۳۰ ارزیاب مورد مطالعه قرار گرفت. بالاترین نرخ مربوط به تکنیک HEART

1 *Human reliability analysis(HRA)*

2 *human error potential (HEP)*
3 *technique for human error-rate prediction(THERP)*
4 *Success Likelihood Index Method(SLIM)*
5 *Human Factors Analysis and Classification System(HFACS)*
6 *Health, safety and environment (HSE)*
7 *Human Error Assessment and Reduction Technique (HEART)*
8 *Human error identification (HEI) techniques*
9 *Technique for Human Error-Rate Prediction (THERP)*
10 *Justification of Human Error Data Information (JHEDI)*
11 *Absolute Probability Judgment(APJ)*

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-05]

[DOI: 10.61186/ioh.20.1.27]

و معادل ۷۶/۶۷ درصد گزارش گردید (۱). همچنین براساس مطالعه کیروان و همکاران (۱۹۹۵) در چند سال گذشته چرخش کاربران به استفاده از تکنیک‌هایی با کارآمدی بالاتر مانند HEART نسبت به تکنیک‌های کمی احتمال خطای انسانی خاص مانند تکنیک‌های THERP، SLIM ثابت شده است (۱۷).

در روش HEART یافتن نرخ دقیق احتمال خطای انسانی به علت قابلیت اطمینان کم داده‌های جمع‌آوری شده توسط کارشناسان مختلف و نبود قطعیت ذاتی در ارزیابی داده‌ها چالش‌برانگیز است. برای غلبه بر این چالش‌ها، تئوری فازی ارائه شده است. نظریه‌های فازی تا حدودی نمایانگر این عدم قطعیت هستند. در واقع نظریه فازی در شرایط عدم اطمینان قادر است بسیاری از مفاهیم، متغیرها و سیستم‌هایی را که نادقیق و مبهم هستند، به شکل ریاضی درآورد و زمینه را برای استدلال، استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد. سال‌های اخیر نویسندگان و محققان برای رفع این محدودیت در جاهایی که عدم قطعیت وجود دارد، پیشنهاد می‌کنند از مدل‌های فازی برای کمی‌سازی و بهینه‌سازی روش‌های کیفی ارزیابی قابلیت اطمینان انسان استفاده شود (۱۸-۲۰).

در مطالعات کاستیگلیا و همکاران (۲۰۱۲ و ۲۰۱۴) نیز تکنیک HEART اصلاح شده بر اساس مفهوم مجموعه فازی به منظور بررسی احتمال اقدامات نادرست به کار گرفته شد (۲۱، ۲۲). همچنین لی پنگ-چنگ و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای جهت شناسایی اهمیت ریسک خطای انسانی از رویکردی مبتنی بر منطق فازی استفاده نمودند (۲۳).

در صنعت نیروگاهی حوادث مختلف بدلیل خطای انسانی به وقوع می‌پیوندد و ضمن تاثیر بر روی پایداری شبکه برق کشور می‌تواند موجب بروز خسارات مالی و جانی شود. هدف از انجام این مطالعه ارزیابی خطای انسانی پرسنل واحد بهره‌برداری یک نیروگاه گازی V94.2 با استفاده از تکنیک HEART فازی بمنظور رفع عدم قطعیت‌های موجود در زمینه نظرات کیفی کارشناسان می‌باشد.

روش کار

در این مطالعه از تکنیک HEART جهت تجزیه و تحلیل خطای انسانی در کارکنان واحد بهره‌برداری یک نیروگاه گازی استفاده شد. تکنیک HEART در سال ۱۹۸۶ توسط ویلیامز ارائه گردید. این تکنیک روشی قابل اعتماد جهت مقایسه پتانسیل خطای انسانی (HEP) است. یکی از ویژگی‌های تکنیک HEART به منظور کاهش منابع سازمانی، این است که تنها به خطاهایی می‌پردازد که تاثیر به سزایی بر روی سیستم تحت بررسی داشته باشند. که در شکل یک ارایه شده است. مراحل اجرای این تکنیک به شرح زیر می‌باشد:

مرحله یک- شناسایی سیستم / فرایند

سیستم مورد مطالعه در ابتدا مورد بررسی قرار گرفت و بخش‌هایی که فعالیت‌های مربوط به اپراتورها در آن انجام می‌شود، مشخص گردید.

مرحله دو- شناسایی وظایف موجود

فعالیت‌ها جهت شناسایی وظایف با در نظر گرفتن عوامل مرتبط و تاثیرگذار بر عملکرد مورد مطالعه قرار گرفتند. جهت تجزیه و تحلیل وظایف از روش HTA استفاده گردید. وظایف به مجموعه سلسله مراتبی از وظایف و زیر وظایف شکسته شدند. در این مطالعه به منظور تجزیه و تحلیل فعالیت‌ها کلیه مستندات گروه بهره‌برداری شامل روش‌های اجرایی، دستورالعمل‌ها، فرم‌ها و چک لیست‌ها مورد مطالعه قرار گرفتند و بر اساس مستندات و نظر کارشناسان فنی، فعالیت‌ها تا آخرین مرحله لازم به زیر مجموعه‌ها شکسته شدند.

مرحله سوم: اختصاص مقدار احتمال اسمی خطای انسانی

در این مرحله مقادیر اسمی احتمال خطای انسانی برای وظایف شناسایی شده از لیست مقادیر احتمال عمومی خطای انسانی روش HEART اختصاص گردید (از جدول ۱). برای مثال، در مورد تجزیه و تحلیل یک وظیفه غیر معمول مانند شرایط اضطراری در اتاق کنترل متمرکز بصورت "کاملاً ناآشنا، انجام دادن با سرعت بدون داشتن تصور واقعی از پیامدهای احتمالی" با پتانسیل اسمی خطای انسانی معادل ۰/۵۵ در نظر گرفته شد.

مرحله چهارم: شناسایی شرایط افزایش‌دهنده خطا (EPCs)[1]

در این گام عوامل منفی سبب افزایش پتانسیل وقوع خطای انسانی براساس جدول ۲شناسایی شدند. شرایط افزایش‌دهنده خطا (EPCs) تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر

1 *error producing conditions(EPCs)*

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-05]

[DOI: 10.61186/ioh.20.1.27]

توانایی اپراتور جهت انجام موفقیت‌آمیز وظیفه مورد نیاز دارد و بر احتمال خطای انسانی اسمی تأثیرگذار است، به عنوان مثال کمبود زمان جهت انجام وظیفه.

مرحله پنجم: برآورد نسبت تاثیر

پس شناساییEPC های مرتبط با وظیفه مورد تجزیه و تحلیل، گام بعدی تعیین نسبت تاثیرهر یک ازEPC های شناسایی شده می‌باشد. این مستلزم ارائه یک امتیاز بین صفر و یک برای هر یک از EPCها می‌باشد. شایان ذکر است، امتیازبندی ارایه شده در این مرحله بر اساس قضاوت ذهنی تحلیلگر می‌باشد. در این مطالعه، به منظور کاهش تاثیر قضاوت ذهنی تحلیلگر و افزایش سطح دقت نتایج خروجی و استفاده از نظر خبرگان تخصیص نسبت تاثیر بصورت فازی محاسبه گردید.

مرحله ششم- کمی‌سازی پتانسیل خطای انسانی

در این مرحله جهت هر یک از وظایف شناسایی شده پتانسیل خطای انسانی محاسبه شد. فرمول مربوطه جهت محاسبه پتانسیل خطای انسانی به شرح زیر می‌باشد:

$$HEP_F = NHEP * \left(\prod_{i=1}^{n} \left[(EPC_i - 1) \times APi + 1 \right] \right)$$

NHEP: احتمال اسمی خطای انسانی

EPC_i: حداکثر مقدار تاثیر اختصاص یافته (ضریب وزنی) هر EPC

AP_i: نسبت تاثیر ارزیابی شده هر یک از EPCهای شناسایی شده

HEP_F: احتمال نهایی خطای انسانی

مرحله هفتم - اقدامات کنترلی

این مرحله شامل شناسایی و پیشنهاد اقدامات کنترلی برای خطاهای شناخته شده می‌باشد. اگر چه تکنیک HEART برخی از اقدامات کنترلی عمومی را ارایه می‌نماید، ممکن است لازم باشد تحلیلگر اقدامات کنترلی خاص بیشتری را بر اساس ماهیت خطا و سیستم تحت تجزیه و تحلیل، ارایه نماید. اقدامات کنترلی ارایه شده توسط تکنیک HEART عمومی بوده و خاص سیستمی نمی‌باشد.

بکارگیری منطق فازی جهت بهبود روش HEART

پروفسور لطفی‌زاده در سال ۱۹۶۵ برای اولین بار با معرفی نظریه مجموعه‌های فازی مقدمات مدل‌سازی اطلاعات نادقیق و استدلال تقریبی با معادله‌های ریاضی را فراهم نمود. در مورد بروز عدم قطعیت در موضوعات علمی، منطق فازی یک ابزار کارآمد جهت حل مسئله است (۲۳، ۲۴). در تکنیک HEART پس از تعیین EPC های هر وظیفه، بایستی نسبت تاثیر هر یک از EPCها با ارائه یک امتیاز بین صفر و یک ارزیابی شود که این ارزیابی بر اساس قضاوت ذهنی تحلیلگر می‌باشد. در این تحقیق به منظور کاهش تاثیر قضاوت ذهنی تحلیلگر و افزایش دقت نتایج خروجی، تخصیص نسبت تاثیر بصورت فازی محاسبه گردید.

به منظور فازی نمودن تکنیک HEART نسبت تاثیر ارزیابی شده (AP_i) هر یک از EPCها بر اساس نظر ۴ نفر کارشناس خبره جمع‌آوری و با استفاده از جعبه ابزار منطق فازی نرم‌افزار MATLAB، نسبت تاثیر ارزیابی شده فازی ($APlv_i$) بدست آمد و با استفاده از فرمول زیر محاسبات HEART فازی انجام گردید(۲۱).

$$HEPF = NHEP * \left(\prod_{i=1}^{n} \left[(EPCi - 1) * APlvi + 1 \right] \right)$$

چهارچوب سیستم استنتاج فازی در نرم‌افزار متلب در شکل ۲ نمایش داده شده است .نقاط مختلف تابع عضویت هر یک از سطوح VL، L، M، H، VH با استفاده از فرمول‌های ذیل محاسبه شد (۱۳).

$$APvl(x) = \begin{cases} 1.0 & 0.0 < x \le 0.15 \\ \dfrac{0.3 - x}{0.15} & 0.15 \le x \le 0.3 \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

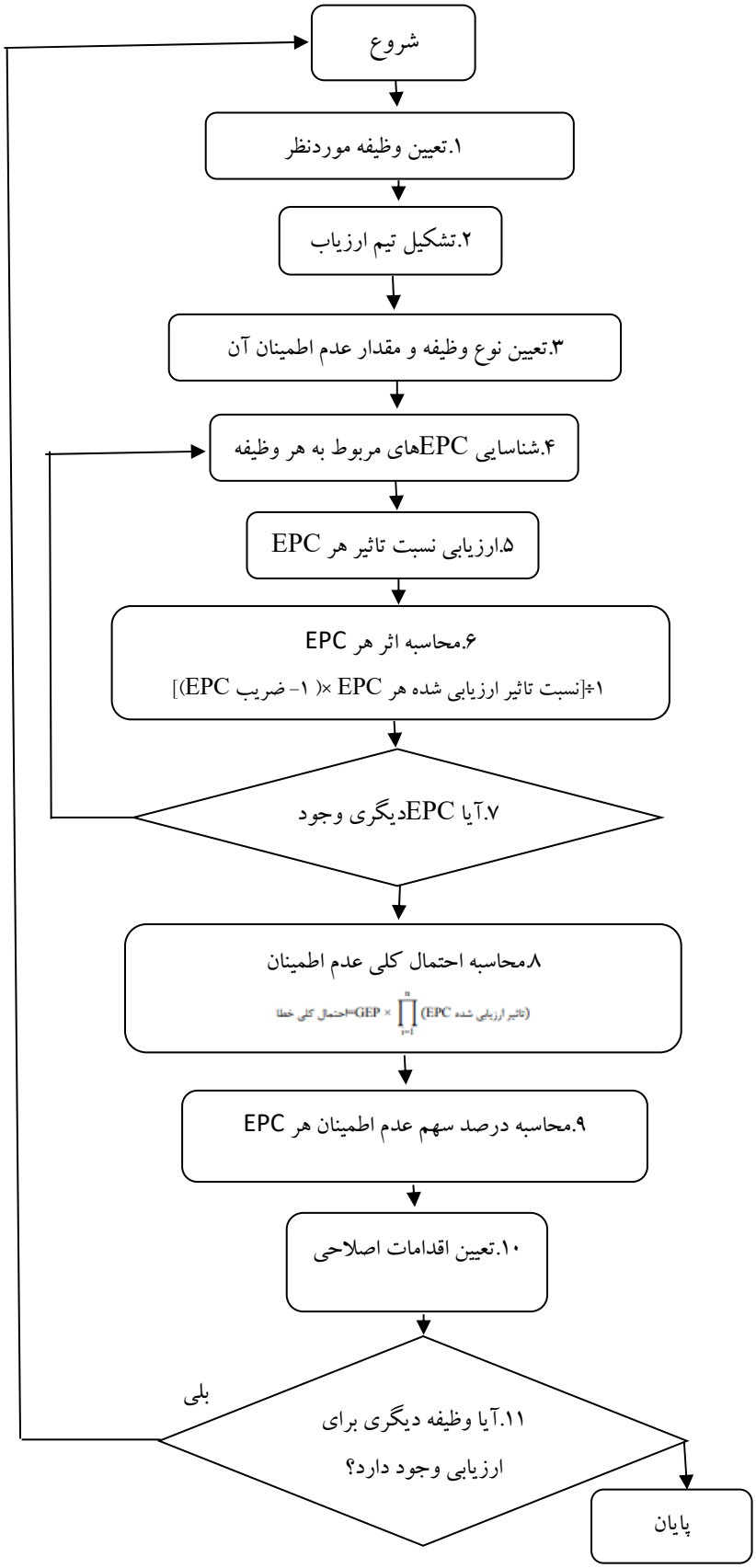
$$APl(x) = \begin{cases} \dfrac{x - 0.1}{0.2} & 0.1 < x \le 0.3 \\ \dfrac{0.5 - x}{0.2} & 0.3 < x \le 0.5 \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

$$APm(x) = \begin{cases} \dfrac{x - 0.3}{0.2} & 0.3 < x \le 0.5 \\ \dfrac{0.7 - x}{0.2} & 0.5 < x \le 0.7 \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

$$APh(x) = \begin{cases} \dfrac{x - 0.5}{0.2} & 0.5 < x \le 0.7 \\ \dfrac{0.9 - x}{0.2} & 0.7 < x \le 0.9 \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-05]

[DOI: 10.61186/ioh.20.1.27]



شکل ۱. فلوچارت مراحل اجرای HEART

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-05]

[DOI: 10.61186/ioh.20.1.27]

جدول ۱. نه گروه وظیفه عمومی تکنیک HEART و پتانسیل نامی خطای انسانی و محدوده عدم قطعیت آنها (۱۸)

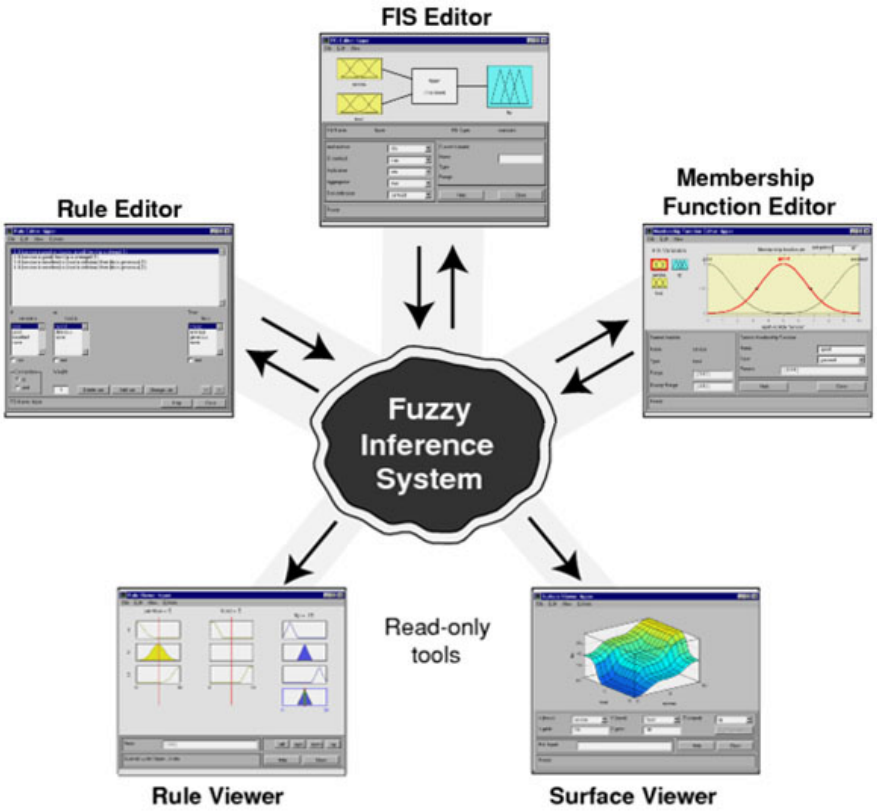
وظیفه عمومی	پتانسیل اسمی خطای انسانی
A: کاملاً ناآشنا، انجام دادن با سرعت بدون داشتن تصور واقعی از پیامدهای احتمالی	۰/۵۵
B: انتقال یا بازگرداندن سیستم به یک حالت جدید یا حالت اصلی با یک اقدام بدون نظارت یا روش اجرایی	۰/۲۶
C: وظیفه پیچیده نیازمند سطح بالایی از درک و مهارت	۰/۱۶
D: انجام کار نسبتاً ساده بطور سریع یا با توجه اندک	۰/۰۹
E: وظیفه روتین، سریع قابل انجام ، بسیار انجام شده، نیازمند سطح مهارت نسبتاً پایین	۰/۰۲
F: انتقال یا بازگرداندن یک سیستم به حالت جدید یا حالت اصلی با تبعیت از روش اجرایی با کمی چک کردن	۰/۰۰۳
G: بطور کامل آشنا، طراحی خوب، بسیار با تجربه، وظیفه روتین که هر ساعت چندین مرتبه اتفاق می افتد، بر اساس بالاترین استانداردهای ممکن انجام می شود، با انگیزه بسیار، فرد بسیار آموزش دیده و با تجربه، کاملاً آگاه از پیامدهای شکست، با زمان برای اصلاح خطاهای بالقوه ولی بدون استفاده از ابزارهای کمکی قابل توجه.	۰/۰۰۰۴
H: پاسخ صحیح به فرمان سیستم حتی زمانیکه یک سیستم نظارتی خودکار یا کامل تفسیر دقیقی از وضعیت سیستم ارایه می‌دهد.	۰/۰۰۰۰۲
I: وظیفه متفرقه که برای آنها نمی‌توان شرحی یافت.	۰/۰۳

جدول ۲. EPC های تکنیک HEART

ردیف	شرایط افزایش‌دهنده خطا (EPC)	حداکثر مقدار
۱	عدم آشنایی	۱۷
۲	کمبود زمان	۱۱
۳	نسبت پایین سیگنال به نویز	۱۰
۴	اجازه لغو کردن مشخصه‌ها	۹
۵	عدم انطباق عملکردی و فاصله‌ای	۸
۶	عدم تطابق مدل	۸
۷	تغییر ناپذیری	۸
۸	بار زیاد بر روی کانال	۶
۹	تکنیک یاد گرفته نشده	۶
۱۰	انتقال دانش	۵/۵
۱۱	ابهام عملکردی	۵
۱۲	تصور نادرست از ریسک	۴
۱۳	بازخورد ضعیف و مبهم	۴
۱۴	بازخورد ناقص/ با تاخیر	۴
۱۵	بی‌تجربگی اپراتور	۳
۱۶	اطلاعات بی‌خاصیت	۳
۱۷	چک نکردن کافی	۳
۱۸	تضاد اهداف	۲/۵
۱۹	نبود تنوع	۲
۲۰	عدم تطابق آموزشی	۲
۲۱	انگیزه‌های خطرناک	۲
۲۲	عدم آمادگی ذهنی و جسمی	۱/۸
۲۳	تجهیزات ابزاردقیق غیر قابل اعتماد	۱/۶
۲۴	قضاوت مطلق	۱/۶
۲۵	تخصیص وظایف بطور نامعلوم	۱/۶
۲۶	نبود پیگیری پیشرفت	۱/۴

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-05]

[DOI: 10.61186/ioh.20.1.27]



شکل ۲. چهارچوب سیستم استنتاج فازی در نرم افزار متلب

$$APvh(x)=\begin{cases}\dfrac{x-0.7}{0.15} & 0.7<x\le 0.85\\ 1.0 & 0.85<x\le 1\\ 0 & otherwise\end{cases}$$

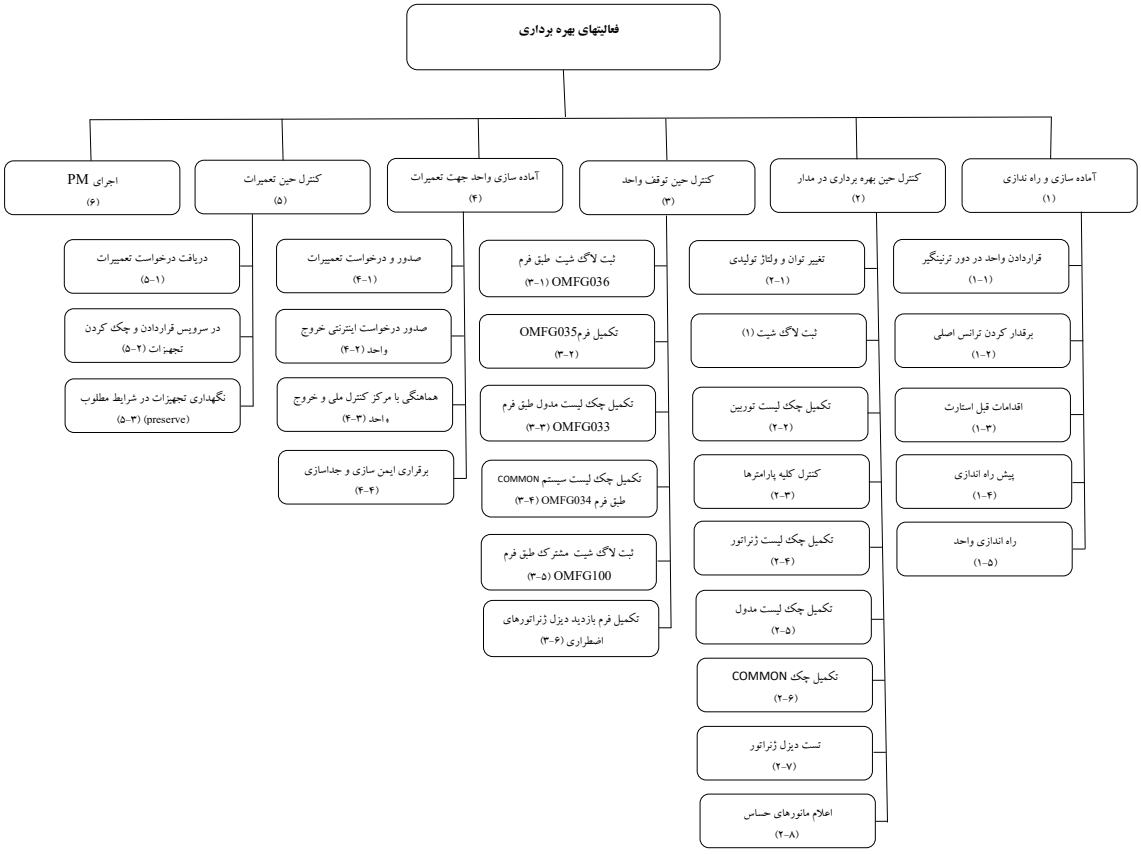
یافته‌ها

به منظور تجزیه و تحلیل فعالیت‌ها کلیه مستندات گروه بهره‌برداری شامل روش‌های اجرایی، دستورالعمل‌ها، فرم‌ها و چک لیست‌های مورد مطالعه قرار گرفت و بر اساس مستندات و نیز نظر کارشناسان فنی، فعالیت‌ها تا آخرین مرحله لازم به زیر مجموعه‌ها شکسته شد .از بین وظایف سطح دو، سه و چهار حاصل از تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی فعالیت‌ها (HTA) ۱۱۵۰ وظیفه و زیر وظیفه شامل کلیه فعالیت‌های بهره‌برداری نیروگاهای گازی V94. 2 شناسایی گردید (شکل ۳). وظایف مهم و اصلی طبق نظر کارشناسان استخراج گردید که در مجموع ۱۳ وظیفه و ۱۱۹ زیر وظیفه بدست آمد. وظایف ابتدا هر یک از وظایف براساس جدول ۱ در یکی از نه گروه وظیفه عمومی تکنیک HEART قرار گرفت و پتانسیل اسمی خطای انسانی هر یک از فعالیت‌ها بدست آورده شد. نتایج مرتبط به تعداد وظایف در گروه‌های نه‌گانه وظایف عمومی تکنیک HEART در جدول ۳ ارائه شده است.

در ادامه شرایط افزایش‌دهنده خطای هر یک از فعالیت‌ها بر اساس نظر چند نفر از کارشناسان فنی و با توجه به جدول شماره ۲ شناسایی و استخراج گردید. به منظور محاسبه نسبت تاثیر هر یک از EPCهای شناسایی‌شده در بروز خطای انسانی در زیر وظیفه تحت تجزیه و تحلیل با استفاده از منطق فازی، نظرات ۴ نفر از کارشناسان با تجربه جمع‌آوری شد. سپس در جعبه ابزار منطق فازی نرم‌افزار MATLAB توابع عضویت مقادیر ورودی و خروجی تعریف و قوانین مورد نیاز پایگاه داده ثبت گردید. پس از آن با ورود داده‌های جمع‌آوری شده، نسبت تاثیر هر EPC بصورت فازی محاسبه گردید. در ادامه احتمال خطای انسانی نهایی هر یک از وظایف برآورد گردید.

براساس نتایج احتمال خطای انسانی نهایی برای وظایف مختلف بین ۰/۰۰۰۰۴ تا ۷/۲۱۳ محاسبه گردید. احتمال خطای انسانی نهایی برای زیر وظایف مربوط به فعالیت" قراردادن واحد در دور ترنینگیر" در جدول ۴ ارائه شده است. در بین فعالیت‌های ارزیابی شده فعالیت "بررسی باز

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-05]
[DOI: 10.61186/ioh.20.1.27]



شکل ۳. تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی فعالیتها

جدول ۳. تعداد وظایف در گروههای نهگانه وظایف عمومی تکنیک HEART

وظیفه عمومی	تعداد
A: کاملاً ناآشنا، انجام دادن با سرعت بدون داشتن تصور واقعی از پیامدهای احتمالی	۰
B: بازگرداندن سیستم به یک حالت اصلی با یک اقدام بدون نظارت یا روش اجرایی	۱۰
C: وظیفه پیچیده نیازمند سطح بالایی از درک و مهارت	۱۳
D: انجام کار نسبتاً ساده بطور سریع یا با توجه اندک	۴۹
E: وظیفه روتین، سریع قابل انجام ، بسیار انجام شده نیازمند سطح مهارت نسبتاً پایین	۱۶
F: بازگرداندن سیستم به حالت جدید یا حالت اصلی با تبعیت از روش اجرایی	۱۲
G: بطور کامل آشنا، طراحی خوب، بسیار با تجربه، وظیفه روتین	۱۱
H: پاسخ صحیح به فرمان سیستم	۸
I: وظیفه متفرقه	۰
مجموع	۱۱۹

بودن سکسیونر ارت ترانس تغذیه داخلی در ورودی بریکر پست فشار قوی (BBE)" بالاترین میزان احتمال خطای انسانی را به خود اختصاص داد (جدول ۵).

برای هر یک از وظایف تعدادی از شرایط افزایش‌دهند خطا موضوعیت داشته که گزارش آماری مربوطه در جدول ۶ ارائه شده است. با توجه به نتایج بدست آمده، به ترتیب EPCهای "چک نکردن کافی"، "بی‌تجربگی اپراتور"، "روحیه و وجدان پایین"، "کمبود زمان"، "عدم آگاهی"، "تصور نادرست از ریسک" و "بازخورد ضعیف و مبهم" بیشترین موارد مهم جهت بروز خطای انسانی بودند. "چک نکردن کافی" در بیش از ۹۸ درصد وظایف بعنوان یکی از شرایط افزایش‌دهند خطا نقش داشت.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-05]
[DOI: 10.61186/ioh.20.1.27]

جدول ٤. احتمال خطای انسانی در "فعالیت قرار دادن واحد در دور ترنینگیر"

زیر وظایف	احتمال خطای انسانی نهایی
لغو کلیه مجوز کارهای مانع قرار گرفتن در دور ترنینگیر	۱/۱۸۱۴۳۷
بستن کلیه دریچه های بازدید شامل دریچه اتاق های احتراق ، کمپرسور ، توربین ، دودکش ، داکت ایراینتک	۰/۱۴۳۷۱۲
اطمینان از اتوماتیک بودن سیستم CO_2	۰/۰۷۸۸۶۳
اطمینان از تکمیل کردن فرم تائید و صدور و بستن مجوز کارهای بازدید های دوره ای سیستم ابزار دقیق	۱/۶۰۷۰۴
کنترل مناسب بودن وضعیت باطری ها و بسته بودن بریک XBTA۱۰GS۰۰۱	۱/۴۹۶۸۱۷
کنترل آماده بودن دیزل ژنراتور و بسته بودن بریکرهای خروجیXBFE۰۰GS	۰/۹۲۳۴۱۴
کنترلON بودن BFE TRANSFER در *DCS* در سلکتور سوئیچ *TRANSFER*	۲/۰۸۵۷۹۵
کنترل REMOTE بودن فیدرهای DIESEL (۱۰BMA۰X) در تابلویBFE	۱/۶۴۳۴۴۵
چک کردن سطح مخزن روغن	۰/۴۳۲
باز بودن کلیه شیرهای ایزوله مربوط به تجهیزات ابزار دقیقی در مسیر روغن کاری	۰/۰۶۳۳۶
در مدار قرار دادن و چک کردن فشار خروجی (> ۴ بار) پمپ های اصلی	۳/۳۷۹۲
کنترل دمای روغن خروجی یاتاقان‌های ژنراتور	۰/۱۹۰۸
خارج نمودن SLC OIL CIR در صورت مناسب بودن دمای روغن	۰/۳۸۱۶
چک کردن فشار هدر روغن ورودی به یاتاقان ها (> ۱/۵بار)	۰/۰۰۰۰۵۰۸۸
چک کردن در مدار قرار گرفتن پمپ DC ، AUX، MAINو VENT FAN	۰/۰۰۰۳۰۴
انجام تست پمپ DC و AUX و DC و اطمینان از صحت عملکرد آنها	۲/۲۳۲
کنترل باز بودن شیرهای ورودی پمپ جکینگ ژنراتور (شیر هدر و شیر متصل به مخزن)	۰/۵۳۰۲۲۵۵
کنترل فعال شدن OIL PUMP، چک کردن افزایش فشار پمپها (> ۱۴۰ بار)	۰/۰۰۰۱۷۰۹۵۷
اطمینان از چرخش آزاد محور با چرخاندن توسط اهرم BARRING GEAR	۰/۰۰۰۱۰۵۶
بالاتر از ۱۰۰ RPM بودن سرعت محور پس از قرار گرفتن در دور ترنینگیر	۰/۰۰۰۱۰۱۷۶
چک کردن بسته بودن دمپرAir Intake و روشن بودن AIR DRYER و هیتر ژنراتو	۰/۰۰۰۰۵۰۸۸

جدول ۵. محاسبات بیشترین احتمال خطای انسانی بدست آمده از اجرای تکنیکHEART

وظیفه شغلی اصلی:	کد وظیفه:	شرح وظیفه شغلی:
برقدار کردن ترانس اصلی و Unit	۱- ۲- ۱-۲۲	بررسی باز بودن سکسیونر ارت ترانس تغذیه داخلی در ورودی بریکر پست فشار قوی (BBE)
کد نوع وظیفه: B		NHEP =0.26

EPC	*حداکثر نسبت تاثیر (a)*	*نسبت تاثیر (b)*	*((a-1)*b)+1*
عدم آگاهی	۱۷	۰/۵	۹
کمبود زمان	۱۱	۰/۵	۶
تصور نادرست از ریسک	۴	۰/۷	۳/۱
بی تجربگی اپراتور	۳	۰/۷	۲/۴
چک نکردن کافی	۳	۰/۵	۲
روحیه و وجدان پایین	۱/۲	۰/۱۱۴	۱/۰۲۲۸
احتمال خطای انسانی نهایی (HEP_F)		**۲۱۳/۷**	

بحث و نتیجه گیری

در قرن ۱۹ اقتصادان ایتالیایی ویلفردو پارتو مشاهده کرد که ۸۰ درصد از زمین‌های قابل استفاده متعلق به ۲۰ درصد از جمعیت می‌باشد. پارتو دریافت توزیع یکسان در سایر فرآیندهای اقتصادی و طبیعی وجود دارد. بعنوان یک قاعده کلی با فرموله کردن این یافته «در هر مجموعه دلخواه از عناصر که برای رسیدن به هدفی تلاش می‌کنند، یک زیر مجموعه کوچک (با تعداد اندک) بزرگترین اثر را

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-05]

[DOI: 10.61186/ioh.20.1.27]

جدول ٦. میزان تکرار شرایط افزایشدهنده خطا در بین وظایف مختلف

عنوان شرایط مولد خطا	تعداد	درصد
چک نکردن کافی	۱۱۷	٪ ۹۸/۳
بی تجربگی اپراتور	۹۲	٪ ۷۷/۳
روحیه و وجدان پایین	۴۷	٪ ۳۹/۵
کمبود زمان	۴۱	٪ ۳۴/۵
عدم آشنایی	۳۵	٪ ۲۹/۴
تصور نادرست از ریسک	۲۸	٪ ۲۳/۵
بازخورد ضعیف و مبهم	۲۸	٪ ۲۳/۵
عدم آمادگی ذهنی و جسمی	۵	٪ ۴/۲
نبود تنوع	۴	٪ ۳/۴
عدم انطباق عملکردی و فاصله ای	۲	٪ ۱/۷
تغییر ناپذیری	۱	٪ ۰/۸

دارد»(۲۵). در این تحقیق در مجموع ۲۴ وظیفه احتمال خطای انسانی نهایی (HEP_F) بالایی را به خود اختصاص دادند که این تعداد ۲۰ درصد از کل وظایف ارزیابی شده می‌باشد. در صنایع فرآیندی با توجه به اینکه بخش عمده‌ای از پارامترهای اصلی توسط سیستم کنترل می‌شود و با اینترلاک‌های حفاظتی موجود عملکرد اپراتورها تحت کنترل می‌باشد، تنها در دو حالت احتمال بروز خطای انسانی وجود دارد. اولین حالت در صورت دستکاری سیستم‌های حفاظتی و از مدار خارج نمودن آنها و دومین حالت در فعالیت‌هایی که لازم است بصورت دستی کار صورت پذیرد، لذا نقش آموزش و آگاه‌سازی اپراتورها به خوبی روشن می‌باشد (۲۶-۲۸) .در این مطالعه در بیش از ۸۷ درصد از وظایفی که احتمال خطای انسانی بیشتر از ۵ داشته‌اند (۲۰ درصد وظایف)، عدم آگاهی بعنوان یکی از شرایط افزایش‌دهنده خطا بوده است .همچنین فعالیت‌های "بررسی باز بودن سکسیونر ارت ترانس تغذیه داخلی ورودی بریکر پست فشار قوی (BBE)"، "بستن مجدد ولو ۸ اینچ و بررسی عدم وجود نشتی از فلنج‌ها، پس از رسیدن فشار فیلتر سایکلونی به حد نهایی"، "اطمینان از آرایش صحیح ولوهای مخازن سوخت"، "اطمینان از بسته بودن شیرهای ورودی و خروجی فیلترهای کارتریجی" و "بازدید کمپرسور (بازدید محوطه دیفیوزر خروجی کمپرسور از طریق منهول زیرین)" به ترتیب بیشترین HEP_F را به خود اختصاص دادند.

در مطالعه نوروزی و همکاران (۲۰۱۲) فعالیت "باز کردن شیر، پر کردن پمپ و تست نشتی" و نیز فعالیت "تخلیه خطوط" بالاترین احتمال خطای انسانی را بدلیل "عدم آگاهی" و "کمبود زمان" به خود اختصاص دادند. این دو عامل جزو EPCهای موضوعیت‌دار و پر کاربرد در این تحقیق نیز بوده است (۲۹). در مطالعه کاستیگلیا و همکاران (۲۰۱۴) به ترتیب EPCهای "چک نکردن کافی"، "تصور نادرست از ریسک"، "اطلاعات بیش از حد"، "انتقال دانش"، "بازخورد ضعیف و مبهم" و "ابهام عملکردی" بیشترین تکرار را داشته‌اند که ۳ مورد از این موارد با EPCهای پر تکرار این تحقیق مشابه بود و به نظر می‌رسد تفاوت‌های موجود به شرایط و ماهیت کار و دانش و تجربه نیروی کار مرتبط -باشد (۲۲).

در ۲۲ وظیفه از ۲۴ وظیفه دارای احتمال خطای انسانی بالاتر، آموزش و توجیه اپراتور یا مهندس شیفت از راهکارهای کنترلی پیشنهاد شده می‌باشد. با توجه به شرایط افزایش‌دهنده خطای تخصیص داده شده و اقدامات کنترلی تعریف شده برای وظایف دارای احتمال خطای انسانی بالاتر مشخص است که بازآموزی، توجیه اپراتورها و توجه به دستورالعمل‌های کاری مهمترین اقدامات جهت پیشگیری از بروز خطای انسانی می‌باشد که این موضوع در راستای نتایج مطالعات مختلفی در داخل و خارج کشور است(۲۷، ۳۰، ۳۱). از آنجایی در فعالیت‌های روتین و تکراری، با گذشت زمان دقت کاهش می‌یابد و فعالیت‌های اپراتوری نیز جزو فعالیت‌های روتین و تکراری هستند، لازم است با برقراری دوره‌های آموزشی و استفاده از ابزار چرخش کاری (جابجایی نفرات بین گروه‌های بهره برداری و تعمیرات) از یکنواختی کار جلوگیری نمود تا سطح دقت نفرات حفظ شود (۳۲، ۳۳). با توجه به نتایج بدست آمده نقش تجربه کارگروه اجرای تکنیک HEART مشهود است به نحوی که دو فعالیت دارای ریسک بالاتر سابقه حادثه را داشته‌اند و لازم است در مطالعات مشابه نیز از افراد مجرب

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-05]

[DOI: 10.61186/ioh.20.1.27]

استفاده شود. همچنین با استفاده از نظر خبرگان و منطق فازی و یا تکنیک‌های مشابه تاثیر قضاوت فردی به حداقل رسانده شود.

با توجه به اهمیت موضوع خطای انسانی در صنعت تولید برق و تبعات ناشی از خطای انسانی لازم است تکنیک HEART در حوزه نگهداری و تعمیرات واحدهای نیروگاهی نیز انجام شود. همچنین با بکارگیری تکنیک های کمی و کیفی معتبر دیگر نظیر SHERPA و CREAM مطالعات دیگری در حوزه بهره برداری نیروگاه انجام شود. به کارگیری این تکنیک به همراه منطق فازی می‌تواند منجر به تصمیم‌گیری دقیق‌تری گردد و در نتیجه اولویت بندی جهت کنترل خطاهای انسانی بهتر و راحتر تشخیص داده شود. در واقع در این تحقیق با بکارگیری منطق فازی تاثیر قضاوت ذهنی تحلیلگر کاهش یافت و این موضوع سبب افزایش دقت در نتایج خروجی خواهد شد(۳۴). از محدودیت‌های روش HEART این است که بیشتر به خطاهای کمی مربوط به آشنایی با کار دستگاه کنترل و آشنایی با اعداد تنظیمی می‌پردازد.

نتیجه‌گیری

جهت جلوگیری از حوادث، خطاهای انسانی باید در هرگونه عملیات حیاتی پیش‌بینی و ارزیابی شوند. مطالعه حاضر چارچوبی را برای تعیین کمیت خطاهای انسانی در کارهای مختلف اپراتورها در صنایع فرآیندی فراهم می‌کند. مفاهیم منطق فازی با در نظر گرفتن عبارات زبانی انتزاعی در تکنیک معمول HEART استفاده گردید و وزن مناسب با استفاده از رویکرد تجمیع نظرات افراد خبره جهت محاسبه احتمال خطای کمی تعیین گردید.

در این مطالعه در ۹۸ درصد وظایف»چک نکردن کافی» بنوان یکی از علل افزایش‌دهنده خطا در نظر گرفته شد. در ۲۲ وظیفه دارای احتمال خطای انسانی بالایی بودند لذا آموزش و باز آموزی اپراتورها، نظارت بیشتر سر پرستان و مهندسین و تدوین و اجرای دستورالعمل‌های کاری می‌تواند از جمله اقداماتی جهت کاهش بروز خطای انسانی در پرسنل بهره برداری نیروگاه گازی مورد مطالعه باشد.

REFERENCES

1. Stanton NA, Salmon PM, Walker GH, Baber C, Jenkins DP. Human factors methods: a practical guide for engineering and design. CRC Press; 2017.
2. Dhillon BS. Human reliability and error in transportation systems. Springer Science & Business Media; 2007.
3. Books H. Reducing error and influencing behaviour. HSE; 2009.
4. Kirwan B. A guide to practical human reliability assessment. CRC press; 1994.
5. Khoshakhlagh AH, Ghasemi M, Pourtaghi G. Association between fatigue and occupational physical trauma among male Iranian workers in the copper extraction industry. Trauma monthly. 2017;22(1).
6. Sadeghi A, Jabbari M, Rezaeian M, Alidoosti A, Eskandari D. Fire and explosion risk assessment in a combined cycle power plant. Iran J Chem Chem Eng Research Article Vol. 2020;39(6).
7. Karwowski W, Marras WS. Occupational ergonomics: principles of work design. CRC press; 2003.
8. Lin Q-L, Wang D-J, Lin W-G, Liu H-C. Human reliability assessment for medical devices based on failure mode and effects analysis and fuzzy linguistic theory. Safety science. 2014;62:248-56.
9. Zhou Q, Wong YD, Loh HS, Yuen KF. A fuzzy and Bayesian network CREAM model for human reliability analysis–The case of tanker shipping. Safety science. 2018;105:149-57.
10. Aju Kumar V, Gandhi M, Gandhi O. Identification and assessment of factors influencing human reliability in maintenance using fuzzy cognitive maps. Quality and Reliability Engineering International. 2015;31(2):169-81.
11. Kirwan B, Kennedy R, Taylor-Adams S, Lambert B. The validation of three Human Reliability Quantification techniques—THERP, HEART and JHEDI: Part II—Results of validation exercise. Applied ergonomics. 1997;28(1):17-25.
12. Abrishami S, Khakzad N, Hosseini SM, van Gelder P. BN-SLIM: A Bayesian Network methodology for human reliability assessment based on Success Likelihood Index Method (SLIM). Reliability Engineering & System Safety. 2020;193:106647.
13. Alexander TM. A case based human reliability assessment using HFACS for complex space operations. Journal of Space Safety Engineering. 2019;6(1):53-9.
14. Bell J, Holroyd J. Review of human reliability assessment methods. Health & Safety Laboratory. 2009;78.
15. Stanton N, Salmon P, Baber C. Human factors design & evaluation methods review Human error identification techniques "SHERPA". 1ed, Alvington. 2004:140-8.
16. Kirwan B. Validation of human reliability assessment techniques: Part 2—Validation results. Safety Science. 1997;27(1):43-75.
17. Kirwan B, Scannali S, Robinson L. A case study of a human reliability assessment for an existing nuclear power plant. Applied ergonomics. 1996;27(5):289-302.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-05]

[DOI: 10.61186/ioh.20.1.27]

18. Aliabadi M. Identification and Evaluation of Human Errors in Low Voltage Distribution Systems using FUZZY-HEART Technique. Journal of Occupational Hygiene Engineering. 2021:35-42.
19. Aliabadi MM. Human error analysis in furnace start-up operation using HEART under intuitionistic fuzzy environment. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2021;69:104372.
20. Mirzaei Aliabadi M, Mohammadfam I, Salimi K. Identification and evaluation of maintenance error in catalyst replacement using the HEART technique under a fuzzy environment. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics. 2022;28(2):1291-303.
21. Castiglia F, Giardina M. Analysis of operator human errors in hydrogen refuelling stations: Comparison between human rate assessment techniques. International Journal of Hydrogen Energy. 2013;38(2):1166-76.
22. Castiglia F, Giardina M, Tomarchio E. THERP and HEART integrated methodology for human error assessment. Radiation Physics and Chemistry. 2015;116:262-6.
23. Li P-c, Chen G-h, Dai L-c, Li Z. Fuzzy logic-based approach for identifying the risk importance of human error. Safety science. 2010;48(7):902-13.
24. Guidara A. Artificial Intelligence and Fuzzy Logic. Policy Decision Modeling with Fuzzy Logic: Springer; 2021. p. 47-67.
25. Ultsch A. Proof of Pareto's 80/20 law and Precise Limits for ABC-Analysis. Data Bionics Research Group University of Marburg/Lahn, Germany. 2002:1-11.
26. Latorella KA, Prabhu PV. A review of human error in aviation maintenance and inspection. Human Error in Aviation. 2017:521-49.
27. Cacciabue PC. Human error risk management for engineering systems: a methodology for design, safety assessment, accident investigation and training. Reliability Engineering & System Safety. 2004;83(2):229-40.
28. Newman M, Lawson B, Rupert A, McGrath B, editors. The role of perceptual modeling in the understanding of spatial disorientation during flight and ground-based simulator training. AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference; 2012.
29. Noroozi A, Khan F, MacKinnon S, Amyotte P, Deacon T. Determination of human error probabilities in maintenance procedures of a pump. Process Safety and Environmental Protection. 2014;92(2):131-41.
30. Eldini N, AlSadat Z, Jafari B, Behnoush, Jazayeri, Amin S. Identification and evaluation of human error using the HEART technique in overhead crane operators in one of the steel industries in Khuzestan. Occupational Hygiene and Health Promotion Journal. 2020;4(1):58-69. (In Persian)
31. Donchin Y, Gopher D, Olin M, Badihi Y, Biesky MR, Sprung CL, et al. A look into the nature and causes of human errors in the intensive care unit. Critical care medicine. 1995;23(2):294-300.
32. Zimolong B, Duda L. Human error reduction strategies in advanced manufacturing systems. Human-robot interaction, Taylor & Francis, London. 1992:242-65.
33. Amalberti R, Hourlier S. Human error reduction strategies in health care. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates; 2007. p. 561-77.
34. Kumar AM, Rajakarunakaran S, Prabhu VA. Application of Fuzzy HEART and expert elicitation for quantifying human error probabilities in LPG refuelling station. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2017;48:186-98.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-05]

[DOI: 10.61186/ioh.20.1.27]