Journal of Health and Safety at Work 2022; 12(2): 339-351

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Development of a human error risk assessment model in high priority emergency situation using TOPSIS, FUZZY-AHP and CREAM method

Marzieh Abbasinia[1], Omid Kalatpour[2], Majid Motamedzade[2], Ali Reza Soltanian[3], Iraj Mohammadfam[1*], Mohammad Ganjipour[4]

[1] Center of Excellence for Occupational Health, Occupational Health and Safety Research Center, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran
[2] Ergonomics Department, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran
[3] Department of Biostatistics, Modeling of Noncommunicable Diseases Research Center, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran.
[4] Shazand Petrochemical Company, Shazand, Iran

Received: 2019-6-23 Accepted: 2020-1-10

ABSTRACT

Introduction: Emergencies are unforeseen and unpredictable situations. In these situations, people's performance is affected by various factors that cause stress. People's performance in such situations can also affect human error probability. The purpose of this study was to evaluate human error in emergency situations based on the fuzzy CREAM and Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP).

Material and Methods: This descriptive-analytical study was performed in a petrochemical industry in Markazi province in 2019. The FAHP was used to prioritize emergency situations. To evaluate human error in these conditions, the weights of Common Performance Conditions (CPC) was determined using Analytical Hierarchy Process (AHP) method. Human error probability was calculated using a fuzzy CREAM method in the most important emergency situations.

Results: The results of the FAHP showed that "Hydrogen leak from the cylinder joints in the olefin unit" was the most important emergency. The highest relative weight was related to crew collaboration quality (0.06) in the emergency situation.

Conclusion: This method can also be used to identify the important factors in human error occurrence and high weighted CPCs and plan to control them.

Keywords: *Emergency, Fuzzy logic, CREAM, Human error*

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Family F, Family F. Development of a human error risk assessment model in high priority emergency situation using TOPSIS, FUZZY-AHP and CREAM method. J Health Saf Work. 2022; 12(2): 339-351.

1. INTRODUCTION

Emergencies are unforeseen and unpredictable situations. In these situations, people's performance is affected by various factors that cause stress. This stress results in physiological changes which can increase judgment and lead to operational errors.

Also, the reaction of people in accidents and emergency situations plays an important role in reducing or increasing the risk. People's performance in such situations can also affect human error probability. Based on the previous studies, human error in these situations can lead to catastrophic consequences leading to severe damage and losses.

Therefore, it is important to evaluate the human reliability in emergency situations for systematic identification and analysis, as well as reducing the effects of human error. The main goals of human reliability include: identifying, predicting and

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

Copyright © 2022 The Authors.
Published by Tehran University of Medical Sciences

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

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-10-06]

reducing the probability of human error. One of the comprehensive methods for evaluating human errors is the CREAM method, which proposes an integrated model of organizational, technical and human factors, which is presented in two basic and extensive versions. The purpose of this study was to evaluate human error in emergency situations based on the fuzzy CREAM and FAHP.

2. MATERIAL AND METHODS

This descriptive-analytical study was performed in a petrochemical industry in Markazi province in 2019. First, the Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP) was used to select and prioritize emergency situations in the industry.

Due to the fact that human performance is influenced by complex and uncertain factors of a set of behavioral, psychological and cognitive factors, fuzzy logic technique was used in this study to reduce the ambiguity and uncertainty of the conventional CREAM method. In this method, triangle and trapezoidal membership functions were used to model the uncertainty and ambiguity of CPCs as well as control modes in CREAM. Also the weight of CPCs was determined using AHP method as shown in Tables 1. Figure 1 represents membership functions of fuzzy sets of CPCs. And finally, human error probability was calculated using a fuzzy CREAM method in the most important emergency situations.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The results of the FAHPshowed that "Hydrogen leak from the cylinder joints in the olefin unit" was the most important emergency.

The highest relative weight of the CPCs was related to "working conditions" (0.256) and the lowest weight of the CPCs was related to crew collaboration quality (0.06) in this emergency situation. The results of human error assessment by the fuzzy CREAM showed that the level of tactical control mode was the dominant control mode in the studied tasks. Karimi's study in the control room of a petrochemical industry using Bayesian CREAM method showed that most of the control levels in the studied tasks were strategic control. The operation control task

Table 1. Common Performance Conditions (CPCs) and linguistic terms

Common Performance Conditions	Description	CPC levels	Expected effect	Membership level intervals
Adequacy of organization	The quality of the roles and responsibilities of team members, additional support, communication systems, safety management system, instructions and guidelines for externally oriented activities, role of external agencies, etc.	Very efficient Efficient Inefficient	Improved Not significant Reduced Reduced	**0-30** **20-80** **70-100**
Working conditions	The nature of the physical working conditions such as ambient lighting, glare on screens, noise from alarms, interruptions from the task, etc.	Advantageous Compatible Incompatible	Improved Not significant Reduced	**0-30** **20-80** **70-100**
Adequacy of man machine interface (MMI) and operational support	The Man-Machine Interface in general, including the information available on control panels, computerized workstations, and operational support provided by specifically designed decision aids	Supportive Adequate Tolerable Inappropriate	Improved Not significant Not significant Reduced	**0-25** **10-60** **40-90** **70-100**
Availability of procedures/plans	Procedures and plans include operating and emergency procedures, familiar patterns of response heuristics, routines, etc.	Appropriate Acceptable Inappropriate	Improved Not significant Reduced	**0-30** **20-80** **70-100**
Available time	The time available to carry out a task and corresponds to how well the task execution is synchronized to the process dynamics.	Adequate Temporarily inadequate Continuously inadequate	Improved Not significant Reduced	**0-30** **20-80** **70-100**
Adequacy of training and experience	The level and quality of training provided to operators as familiarization to new technology, refreshing old skills, etc. It also refers to the level of operational experience	Adequate, high experience Adequate, limited experience Inadequate	Improved Not significant Reduced	**0-30** **20-80** **70-100**
Crew collaboration quality	The quality of the collaboration between crew members, including the overlap between the official and unofficial structure	Very efficient Efficient Inefficient Deficient	Improved Not significant Not significant Reduced	**0-30** **20-80** **70-100**

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-10-06]

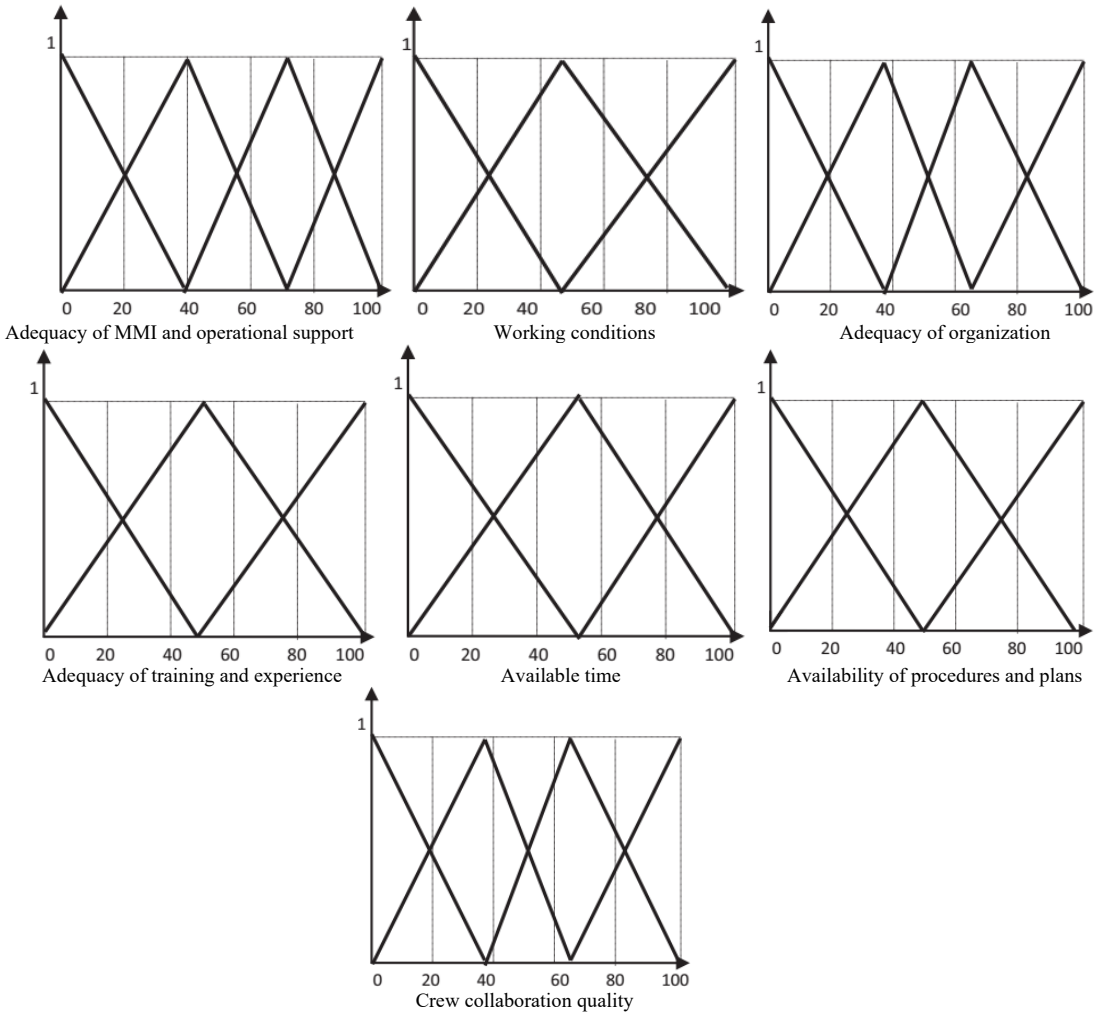

Fig. 1. Membership functions of fuzzy sets of Common Performance Conditions (CPCs).

with 0.0075 probability had the highest probability of human error in the studied emergency situation. The least probability of human error was also related to treatment team tasks with 0.0056 probability.

Various studies have shown that the use of fuzzy rules helps to quantify information and also covers other weaknesses of conventional CREAM method (1). In this study. a quantitative human error probability analysis is applied to enable more precise estimation of human error through a probabilistic approach.

4. CONCLUSIONS

Using this method, a practical plan can be defined to prevent human error in emergency situations for each industry, especially in high risk industries. Qualitative and quantitative information can be evaluated in this method, as well as the opinions of experts and specialist about the conditions and tasks can be considered. This method can also be used to identify the important factors in human error occurrence and high weighted CPCs and plan to control them.

5. ACKNOWLEDGMENT

This study is supported by Hamadan University of Medical Sciences, Iran (grant No. 9611037026).

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-10-06]

توسعه یک مدل ارزیابی ریسک خطاهای انسانی در شرایط اضطراری با اولویت بالا با استفاده از ترکیبی از روش‌های TOPSIS, FUZZY-AHP و CREAM

مرضیه عباسی نیا[۱]، امید کلات پور[۱]، مجید معتمد زاده[۲]، علیرضا سلطانیان[۳]، ایرج محمدفام[۱*]، محمد گنجی پور[۴]

[۱] قطب علمی آموزشی مهندسی بهداشت حرفه‌ای، مرکز تحقیقات ایمنی و بهداشت شغلی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

[۲] گروه ارگونومی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.

[۳] گروه آمار زیستی، مرکز تحقیقات مدل‌سازی بیماری‌های غیر واگیر، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

[۴] مجتمع پتروشیمی شازند، اراک، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۰۲، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۲۰

چکیده

مقدمه: شرایط اضطراری شرایطی ناخواسته و غیرقابل‌پیش‌بینی است. در این شرایط عملکرد افراد تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار می‌گیرد که موجب ایجاد استرس می‌شود. این استرس منجر به تغییرات فیزیولوژیکی شده و می‌تواند اشتباه در قضاوت یا اشتباهات عملیاتی را افزایش دهد. همچنین واکنش افراد در هنگام وقوع حوادث و شرایط اضطراری، نقش مهمی در کاهش یا افزایش میزان ریسک دارد. عملکرد افراد در چنین شرایطی می‌تواند بر میزان وقوع خطای انسانی نیز تأثیر داشته باشد. وقوع خطای انسانی در این شرایط می‌تواند منجر به پیامدهای فاجعه‌بار و آسیب و خسارات شدید شود؛ بنابراین ارزیابی احتمال خطای انسانی در این شرایط اهمیت زیادی دارد. این مطالعه با هدف ارزیابی خطای انسانی در شرایط اضطراری انجام شد.

روش کار: مطالعه حاضر یک مطالعه توصیفی-تحلیلی است که در یک صنعت پتروشیمی در استان مرکزی در سال ۱۳۹۸ انجام شد. ابتدا از روش آنالیز سلسله مراتبی فازی (FAHP) برای انتخاب و اولویت‌بندی شرایط اضطراری موجود در صنعت استفاده شد. جهت ارزیابی خطاهای انسانی در این شرایط پس از تعدیل کردن (Adjust) شرایط اثرگذار بر عملکرد افراد (CPC)، وزن آن‌ها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) تعیین شد و درنهایت با استفاده از روش CREAM فازی، احتمال خطای انسانی در شرایط اضطراری موردمطالعه محاسبه شد.

یافته ها: نتایج به‌دست‌آمده از روش آنالیز سلسله مراتبی فازی نشان داد که نشت هیدروژن از محل اتصالات سیلندر در قسمت سیلندر پر کنی واحد الفین مهم‌ترین شرایط اضطراری در صنعت موردمطالعه بود. بیشترین وزن نسبی شرایط اثرگذار بر عملکرد افراد در شرایط اضطراری موردمطالعه، مربوط به «شرایط کار» بود (۰/۲۵۶). نتایج ارزیابی خطای انسانی به روش CREAM نشان داد که سطح کنترل تاکتیکی، سطح کنترلی غالب در وظایف موردبررسی بود. وظیفه کنترل عملیات با احتمال ۰/۰۰۷۵ بیشترین احتمال خطای انسانی در شرایط اضطراری موردمطالعه را کسب کرد. کمترین احتمال خطای انسانی نیز مربوط به وظایف تیم درمان بود (۰/۰۰۵۶).

نتیجه گیری: با استفاده از این روش می‌توان یک برنامه عملی و کاربردی جهت جلوگیری از وقوع خطای انسانی در شرایط اضطراری و مختص هر صنعت تعریف کرد. در این روش اطلاعات کیفی و کمی می‌توانند مورد ارزیابی قرار گرفته و همچنین نظر متخصصین و خبرگان در مورد شرایط و وظایف موردبررسی که در هر صنعت، مختص همان صنعت است، نیز در نظر گرفته می‌شود. با این روش همچنین به‌خوبی می‌توان عناصر پراهمیت و داری وزن بالا در بروز خطاهای انسانی را مشخص و اقدامات اساسی جهت کنترل آن‌ها را برنامه‌ریزی نموده و در اولویت قرار داد.

کلمات کلیدی: *شرایط اضطراری، CREAM، خطای انسانی، منطق فازی*

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

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-10-06]

مقدمه

حوادث بسیار زیادی در صنعت پتروشیمی در سرتاسر جهان گزارش می‌شود که منجر به مرگ و آسیب‌های جدی و خسارات فراوان می‌شود. اغلب این حوادث در اثر آتش‌سوزی، انفجار و یا نشت مواد هستند (۱) که نشان‌دهنده ماهیت پرخطر این صنعت است (۲). به دلیل نقش اساسی انسان‌ها در قابلیت اطمینان سیستم‌ها، حذف خطاهای انسانی عملاً غیرممکن است (۳)؛ بنابراین افزایش دانش، آگاهی و آمادگی سازمان‌ها جهت مقابله و پیشگیری از این شرایط اهمیت بسیار زیادی دارد (۴). طرح‌های واکنش در شرایط اضطراری (ERP)، یکی از مهم‌ترین روش‌های مقابله با انواع مختلف حوادث است. جهت کاهش آسیب‌ها و خسارات و پیشگیری از تشدید شرایط، سیستم پاسخ در شرایط اضطراری، تجهیزات و نیروی انسانی به همراه آموزش‌های کاربردی، اهمیت بسیار زیادی دارند (5). از مهم‌ترین ویژگی‌های شرایط اضطراری، ناخواسته و غیرقابل‌پیش‌بینی بودن آن است؛ بنابراین شرایط اضطراری، به دلیل عدم وجود زمان کافی جهت برنامه‌ریزی برای مقابله با آن، نیازهای فیزیکی بیش‌ازحد، انتظارات جهت کنترل شرایط و کاهش عملکرد شناختی، می‌تواند موجب ایجاد استرس در فرد شود.

مطالعات نشان داده‌اند که علت خطاهای انسانی را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد که عبارت‌اند از علل داخلی و علل خارجی. علل داخلی عواملی نظیر استرس، خستگی، نیازهای شناختی بالا، فشار زمانی و عدم وجود دانش کافی در مورد وظیفه هستند (۶). علیرغم تلاش‌های بسیاری که در خصوص اقدامات پیشگیرانه ایمنی انجام شده است، هنوز هم احتمال وقوع حوادث در اثر این علل و همچنین علل غیرقابل‌پیش‌بینی نظیر خستگی (۷)، بار کاری، خواب‌آلودگی (۸)، ویژگی‌های شخصیتی (۹)، کیفیت زندگی کاری و رضایت شغلی (۱۰) وجود دارد. همچنین سطح بالای استرس طولانی‌مدت، تغییرات فیزیولوژیکی در بدن انسان را افزایش می‌دهد که احتمال اشتباه در قضاوت یا اشتباهات عملیاتی را افزایش می‌دهد (۱۱). عملکرد افراد در شرایط، به دلیل ایجاد استرس در فرد، کمبود زمان، بار کاری بیش‌ازحد و ظرفیت محدود پردازش اطلاعات، می‌تواند بر میزان وقوع خطای انسانی نیز تأثیر داشته باشد (۱۲) و وقوع خطای انسانی در این شرایط می‌تواند منجر به پیامدهای فاجعه باری شود (۱۳). تصمیم‌گیری و رفتار افراد نیز در این شرایط نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد (۱۱). مطالعات نشان داده‌اند که در شرایط اضطراری، فرد بر اساس تجربه، میزان آمادگی و شرایط روانی موجود تصمیم‌گیری می‌کند (۱۱)؛ بنابراین احتمال خطاهای انسانی در چنین شرایطی وجود دارد. از طرف دیگر بر اساس مطالعات انجام شده، احتمال خطای انسانی در شرایط اضطراری با افزایش زمان، به دلیل افزایش خستگی اپراتور، افزایش می‌یابد؛ بنابراین ارزیابی قابلیت اطمینان انسان در این شرایط جهت شناسایی و تجزیه‌وتحلیل سیستماتیک و کاهش اثرات ناخواسته ناشی از خطاهای انسانی اهمیت بسیار زیادی دارد (۱۳).

سه هدف اصلی قابلیت اطمینان انسان شامل: شناسایی، پیش‌بینی و کاهش احتمال خطاهای انسانی است. مفهوم قابلیت اطمینان انسان پس از حادثه تری مایل آیلند توسط متخصصین به‌صورت جدی‌تری و توسط روش‌های کیفی و کمی برای ارزیابی سهم انسانی در حوادث ایجاد شد. همچنین در طول دهه ۶۰ مجموعه‌ای از مقالات مرتبط به نقش خطاهای انسانی (مستقیم و غیرمستقیم) در بروز حوادث منتشر شد (۱۴). در دهه ۷۰ رویکرد شناختی ظهور کرد و به مسائل حل مسئله و تصمیم‌گیری توجه شد. عمده توسعه تکنیک‌های HRA[1] در دهه ۸۰ ایجاد شد و در دهه ۹۰ مدل‌های خطای انسانی به‌منظور بررسی تأثیر عوامل سازمانی بر خطاها و خطاهای مربوط به اتوماسیون گسترش یافت (۱۵). بر همین اساس روش‌های کمی و کیفی بسیار گسترده‌ای جهت ارزیابی خطاهای انسانی گسترش یافته‌اند (بر اساس مطالعات ۷۲ روش) که به روش‌های نسل اول (نظیر HEART, ASEP, THERP)، نسل دوم (برای مثال ATHENA, CREAM) و نسل سوم تقسیم‌بندی شده‌اند. برخلاف تکنیک‌های نسل اول که تمرکز بیشتری بر روی اندازه‌گیری میزان

1 - Human Reliability Analysis

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-10-06]

احتمال خطا (یا موفقیت) در انجام یک وظیفه داشتند، تکنیک‌های نسل دوم مبتنی بر مدل‌های شناختی بوده و بر روی رفتار انسان توجه بیشتری دارند و برای رفع نقص‌های نسل اول ایجاد شدند. روش‌های نسل سوم نیز از سال ۲۰۰۵ توسعه یافتند و در محیط مجازی به‌عنوان سیستم‌های شبیه‌سازی و مدل‌سازی کاربرد دارند (۲).

از روش‌های جامع نسل دوم، CREAM است که اولین بار در سال ۱۹۹۸ بکار گرفته شد. این روش یک مدل یکپارچه‌ای از عوامل سازمانی، فنی و انسانی پیشنهاد می‌دهد که در دو نسخه پایه و گسترده ارائه شده است. در روش اول یک ارزیابی کلی از اطمینان عملکرد وظیفه موردبررسی ارائه می‌دهد. در روش گسترده، از نتایج روش پایه استفاده می‌شود تا وظایف را به‌صورت عمیق‌تر موردبررسی قرار دهد (۱۶). در این روش فاکتورهای فردی، سازمانی و فنی تحت عنوان شرایط کاری اثرگذار بر عملکرد افراد (CPC) در ۹ دسته موردبررسی قرار می‌گیرند که عبارت‌اند از توانمندی سازمان، شرایط کار، تناسب سامانه‌های انسان- ماشین، دسترسی به روش‌ها و برنامه‌ها، انجام دو یا چند کار به‌طور هم‌زمان، زمان در دسترس برای انجام کار، زمان انجام کار (ریتم سیرکادین)، کیفیت آموزش و تجربیات کاری، همکاری و تعامل بین همکاران. در روش CREAM جهت مشخص شدن وظایف موردبررسی، از روش HTA استفاده می‌شود. پس از مشخص شدن وظایف موردبررسی باید غربالگری اولیه از فعالیت‌های افراد انجام شود و اثرات آن‌ها (مثبت، منفی و یا خنثی) بر روی عملکرد افراد مشخص شود تا درنهایت از این مقادیر برای مشخص کردن حالات کنترلی استفاده شود. با توجه به اینکه شرایط اثرگذار بر عملکرد افراد در وظایف و مشاغل مختلف، متفاوت هستند و همچنین هرکدام از این شرایط به‌طور یکسان بر عملکرد افراد تأثیر ندارند، استفاده از روش آنالیز سلسله مراتبی و مقایسات زوجی جهت تعیین اهمیت نسبی هرکدام از این شرایط پیشنهاد می‌شود (۱۶). روش تحلیل سلسله مراتبی یکی از جامع‌ترین سیستم‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است که اولین بار در سال ۱۹۷۰ توسط آقای ساعتی معرفی شد. روش تصمیم‌گیری سلسله مراتبی به دلیل امکانات و ویژگی‌های متعدد، یکی از پرکاربردترین روش‌های حل مسائل تصمیم‌گیری است که بر اساس مقایسه دوبه‌دو بین معیارهای کمی و کیفی مختلف، وزن و اهمیت نسبی و همچنین اولویت‌بندی آن‌ها را مشخص می‌کند (۱۷).

روش‌های ارزیابی خطاهای انسانی جهت ارزیابی قابلیت اطمینان انسان عمدتاً از قوانین صفر و یک پیروی می‌کنند. ولی عملکرد انسان تحت تأثیر عوامل پیچیده و غیرقطعی مجموعه‌ای از عوامل رفتاری، روانشناسی و شناختی است (۱۸)؛ بنابراین استفاده از ارزیابی‌های صفر و یک به‌خوبی نشان‌دهنده تأثیر عوامل مختلف بر روی احتمال خطای انسانی نیست (۱۹). بر همین اساس مجموعه‌های فازی به‌عنوان ابزارهایی بسیار مفید برای مدل‌سازی فرایندهای بسیار پیچیده و داده‌های کیفی، غیردقیق و نامعین، کاربرد دارند (۲۰). اثرات مخرب خطاهای انسانی در شرایط اضطراری اهمیت زیادی دارد و بروز خطاهای انسانی می‌تواند باعث مرگ، آسیب و خسارات شدیدی شود. تعیین تأثیر شرایط کاری مؤثر بر خطاها (CPC) بر عملکرد انسانی کار ساده‌ای نیست و با عدم قطعیت‌های زیادی روبرو است. همچنین تعیین این اثرات به‌صورت کیفی باعث کاهش دقت و ارائه اطلاعات مبهم می‌شود. در این مطالعه جهت آنالیز قابلیت اطمینان و ارزیابی ریسک احتمالی ترکیبی از روش‌های TOPSIS, FUZZY-AHP و CREAM استفاده شد.

روش کار

انتخاب و اولویت‌بندی شرایط اضطراری

مطالعه حاضر یک مطالعه توصیفی-تحلیلی است که در یک صنعت پتروشیمی در سال ۱۳۹۸ انجام شد. در این مطالعه جهت انتخاب شرایط اضطراری و اولویت‌بندی آن‌ها، ابتدا با استفاده از تکنیک دلفی و با استفاده از نظرات گروهی متشکل از ۱۲ نفر از خبرگان، متخصصین و اساتید دانشگاه در حوزه ایمنی و بهداشت حرفه‌ای، پرسشنامه‌ای طراحی شد و به ۳۰ نفر از خبرگان حوزه ایمنی و بهداشت حرفه‌ای ارسال شد. در مرحله بعد، از روش AHP و آنالیز

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-10-06]

سلسله مراتبی فازی، جهت مقایسات زوجی تعیین وزن و ارجحیت معیارها نسبت به یکدیگر استفاده شد.

در مرحله بعد پرسشنامه مقایسات زوجی با ۱۱ گزینه و ۱۰ معیار تهیه شد و به ۳۰ نفر از خبرگان ارسال شد و از آن‌ها خواسته شد به هر گزینه بر اساس تک‌تک معیارها با استفاده از یک مقیاس زبانی امتیاز داده شود تا بر اساس این نمرات شرایط اضطراری اولویت‌بندی شوند.

ارزیابی خطاهای انسانی

به دلیل ماهیت پیچیده وظایف در شرایط اضطراری، احتمال خطاهای انسانی در این شرایط وجود دارد و وقوع خطای انسانی در چنین شرایطی ممکن است منجر به بروز فاجعه برای کل سازمان باشد؛ بنابراین توجه به خطاهای انسانی در شرایط اضطراری نه‌تنها ازنظر احتمال، بلکه ازنظر شدت اثرات نیز اهمیت بسیار زیادی دارد (۵). خطای انسانی در این مطالعه با استفاده از روش CREAM موردبررسی قرار گرفت.

تعدیل کردن شرایط اثرگذار بر عملکرد افراد (Adjust)

شرایط اثرگذار بر عملکرد افراد مستقل از همدیگر نیستند و بر روی همدیگر تأثیر دارند. برای تعیین تأثیر آن‌ها بر عملکرد، لازم است وابستگی بین آن‌ها در نظر گرفته شود. وابستگی بین CPCs در جدول زیر نشان داده شده است (۱۱). تعدیل کردن شرایط اثرگذار بر عملکرد افراد در حالت کلی، برای شرایط کار، انجام دو یا چند کار به‌طور هم‌زمان، زمان در دسترس برای انجام کار، نحوه همکاری و تعامل بین همکاران، انجام می‌شود. بر همین اساس و به دلیل وابسته بودن تعدادی از CPCs به یکدیگر، درصورتی‌که اثر یک CPC وابسته، خنثی باشد، تأثیر این CPC می‌تواند بسته به اثرات CPC های وابسته، خنثی، مثبت یا منفی باشد. در جدول شماره ۱، قوانین کلی تعدیل کردن شرایط اثرگذار بر عملکرد افراد نشان داده شده است.

وزن‌های شرایط اثرگذار بر عملکرد افراد در شرایط اضطراری

در این مطالعه از روش آنالیز سلسله مراتبی و مقایسات زوجی جهت تعیین اهمیت نسبی هرکدام از این شرایط در شرایط اضطراری، استفاده شد.

تعیین وزن شرایط اثرگذار بر عملکرد افراد با استفاده از روش AHP در ۳ مرحله انجام شد:

۱- ایجاد ساختار سلسله مراتبی جهت تعیین وزن‌ها

۲- مقایسات زوجی بر مبنای قضاوت خبرگان و متخصصین

۳- انجام محاسبات موردنیاز جهت تعیین وزن‌ها و رتبه‌بندی معیارها

جدول ۱. قوانین تعدیل کردن شرایط اثرگذار بر عملکرد افراد

شرایط اثرگذار بر عملکرد افراد	CPC های وابسته				
شرایط کار	توانمندی سازمان	متناسب بودن سامانه‌های انسان-ماشین	زمان در دسترس برای انجام کار	زمان انجام کار (ریتم سیرکادین)	کیفیت آموزش‌های موجود و تجربیات کاری
انجام دو یا چند کار به‌طور هم‌زمان	شرایط کار	متناسب بودن سامانه‌های انسان-ماشین	قابلیت دسترسی به روش‌ها و برنامه‌ها		
زمان در دسترس برای انجام کار	شرایط کار	متناسب بودن سامانه‌های انسان-ماشین	قابلیت دسترسی به روش‌ها و برنامه‌ها	انجام دو یا چند کار به‌طور هم‌زمان	زمان انجام کار (ریتم سیرکادین)
نحوه همکاری و تعامل بین همکاران	توانمندی سازمان	کیفیت آموزش‌های موجود و تجربیات کاری			

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-10-06]

برای این منظور پرسشنامه مقایسات زوجی طراحی شده و به ۲۰ نفر از متخصصین حوزه ایمنی و بهداشت حرفه‌ای ارسال شد.

پس از تعیین وزن CPC ها و بر اساس رابطه زیر مقادیر وزن دهی شده تعیین می‌شوند (۲۱).

$$CPC_w = \sum_{i=1, j=1}^{n} CPC_i.W_j$$

CPC_w: شاخص تعیین متغیرهای زبانی مناسب

CPC_i: متغیر زبانی i

W_i: وزن نسبی متغیر زبانی i

- توسعه یک سیستم طبقه‌بندی فازی بر اساس روش CREAM

تئوری منطق فازی در سال‌های اخیر به‌عنوان یک ابزار مفید برای مدل‌سازی فرایندهای پیچیده، یا زمانی که اطلاعات موجود کیفی، غیردقیق یا نامشخص است، بکار برده می‌شود. با توجه بااینکه مشکل عدم قطعیت یکی از مشکلات اساسی در روش‌های HRA است، برای رفع این مشکل در روش CREAM، استفاده از روش فازی پیشنهاد شده است.

مرحله ۱: انتخاب متغیرهای ورودی

بر اساس مطالعات انجام شده، CPC ها می‌توانند بر اساس نوع وظایف و مشاغل، تعریف شوند و کاهش و یا افزایش داشته باشند (۱۶). در این مطالعه جهت تعیین شرایط کاری اثرگذار بر عملکرد افراد، پنل ۲۰ نفرِ از متخصصین و کارشناسان تشکیل شد و از نظرات افراد جهت تعیین شرایط اثرگذار بر عملکرد افراد در شرایط اضطراری استفاده شد.

مرحله ۲: تعیین مجموعه‌های فازی

متغیرهای زبانی برای توصیف بهتر شرایط اثرگذار بر عملکرد افراد (مثبت، منفی و خنثی)، باید به متغیرهای فازی و توابع عضویت فازی تبدیل شوند. تعیین مقادیر کمی برای متغیرهای زبانی شرایط اثرگذار بر عملکرد افراد کار دشواری است. در قوانین فازی برای تبدیل این صفات به مقادیر کمی از یک چارچوب ریاضی استفاده می‌شود (۲۲). با توجه به مطالعات انجام شده، این روش به‌عنوان ابزاری در رفع بی‌دقتی موجود در روش‌های ارزیابی خطای انسانی، کارآمد است (۲۱).

مرحله ۳: کمی سازی مقادیر بر اساس تکنیک فازی

همان‌طور که ذکر شد، مقادیر CPCs و همچنین مقادیر کنترلی گسسته و قطعی هستند (صفر و یک) و فواصل مقادیر زیاد هستند. برای رفع این مشکل، ابتدا باید این مقادیر به مقادیر فازی تبدیل شوند. به این منظور از اعداد فازی تعریف‌شده برای متغیرهای زبانی بر اساس جدول شماره ۱ استفاده شد. جهت مقادیر کنترلی نیز از جدول شماره ۲ استفاده شد.

جدول فوق اصطلاحات زبانی مناسب است که جهت تعیین حالات کنترلی از آن استفاده می‌شود. این مقادیر بر اساس لگاریتم مقادیر عضویت به‌دست‌آمده‌اند.

یافته ها

رتبه‌بندی شرایط اضطراری با استفاده از روش تاپسیس

شرایط اضطراری موجود، با استفاده از روش تاپسیس، رتبه‌بندی شدند. نتایج نشان داد که هیدروژن از محل اتصالات سیلندر در قسمت سیلندر پر کنی واحد الفین بود که ارزیابی خطای انسانی در این شرایط اضطراری موردبررسی قرار گرفت. در جدول شماره ۳ نتایج مربوط به رتبه‌بندی شرایط

جدول ۲. اصطلاحات زبانی مناسب جهت حالات کنترلی

کنترل استراتژیک	کنترل تاکتیکی	کنترل لحظه‌ای	کنترل اتفاقی
(۳/۸۰-، ۵/۳۰-)	(۲/۹۰-، ۳/۸۰-)	(۱/۰۳-، ۲/۹۰-)	(۰، ۱/۰۳-)

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-10-06]

اضطراری با استفاده از روش تاپسیس نشان داده شده است.

بر اساس جدول فوق مهم‌ترین شرایط اضطراری در صنعت موردمطالعه، نشت هیدروژن از محل اتصالات سیلندر در قسمت سیلندر پر کنی واحد الفین و نشت شدید گاز در یکی از توربین‌های نیروگاه بود.

تعیین شرایط اثرگذار بر عملکرد افراد با استفاده از نظر متخصصین

شرایط اثرگذار بر عملکرد افراد در شرایط اضطراری، بر اساس نظرات یک پنل ۲۰ نفرِ از متخصصین و کارشناسان، تعیین شد که عبارت بودند از: توانمندی سازمان، شرایط کار، متناسب بودن سامانه‌های انسان-ماشین، قابلیت دسترسی به روش‌ها و برنامه‌ها، زمان در دسترس برای انجام کار، کیفیت آموزش‌ها و تجربیات کاری و نحوه همکاری و تعامل بین همکاران.

تعیین وزن شرایط اثرگذار بر عملکرد افراد با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی

با استفاده از مقایسات زوجی و روش تحلیل سلسله مراتبی، وزن نسبی شرایط تأثیرگذار بر عملکرد افراد تعیین شد. نتایج مربوط به وزن شرایط اثرگذار بر عملکرد افراد در جدول شماره ۴ مشاهده می‌شود.

تعیین مقادیر شرایط اثرگذار بر عملکرد افراد

مقادیر شرایط تأثیرگذار بر عملکرد افراد بر اساس مقادیر عضویت فازی که در قسمت روش بررسی شرح داده شد، در جدول شماره ۴ مشاهده می‌شود. این مقادیر حاصل از میانگین جمع‌آوری ۳۰ پرسشنامه تکمیل‌شده در ۷ زیر وظیفه واکنش در شرایط اضطراری است.

نتایج مقایسات زوجی نشان داد که بیشترین وزن نسبی (۰/۲۵۶) به شرایط کار و در مرتبه بعدی به کیفیت آموزش‌ها و تجربیات کاری (۰/۱۹۴) مربوط است.

تعیین توزیع احتمالات مربوط به حالات کنترلی و احتمال خطای انسانی

نتایج توزیع احتمالات مربوط به حالات کنترلی با استفاده از روش CREAM فازی در جدول شماره ۵ مشاهده می‌شود.

جدول ۳. رتبه‌بندی شرایط اضطراری، ماتریس‌های ارزیابی و بردار وزنی معیارها با استفاده از روش تاپسیس

گزینه‌ها (شرایط اضطراری)	رتبه	فاصله از ایده آل مثبت	فاصله از ایده آل منفی	ضریب نزدیکی نسبی
آتش‌سوزی در انبار مواد شیمیایی آزمایشگاه مرکزی	۶	۰/۴۳۵	۰/۴۵۶	۰/۵۱۲
انفجار بخارات حاوی هیدروکربن تخلیه‌شده به مسیرهای انتقال پساب‌های صنعتی	۹	۰/۵۵۵	۰/۳۳۸	۰/۳۷۸
آتش‌سوزی در پنل های موجود در اتاق‌های کنترل برق به علت اتصال کوتاه	۱۰	۰/۵۷۰	۰/۳۲۵	۰/۳۶۳
آتش‌سوزی تجهیزات تحت‌فشار حاوی بوتادین	۸	۰/۵۲۸	۰/۳۵۸	۰/۴۰۴
نشت نفتا از تانکر در حال تخلیه و آتش‌سوزی در سکوهای تخلیه نفتا	۵	۰/۴۱۴	۰/۴۷۹	۰/۵۳۷
نشت هیدروژن از محل اتصالات سیلندر در قسمت سیلندر پر کنی واحد الفین	۱	۰/۲۳۹	۰/۶۵۰	۰/۷۳۱
انفجار در مخزن گاز زدایی (حاوی هیدروکربن) و ایجاد آتش‌سوزی	۴	۰/۳۷۶	۰/۵۱۶	۰/۵۷۸
آتش‌سوزی در انبار شیمیایی	۳	۰/۳۷۵	۰/۵۱۷	۰/۵۷۹
نشت شدید گاز در یکی از توربین‌های نیروگاه	۲	۰/۳۳۴	۰/۵۵۶	۰/۶۲۴
نشت منجر به آتش‌سوزی در مخزن حاوی مواد پلیمری آغشته به هگزان	۱۱	۰/۵۷۶	۰/۳۱۶	۰/۳۵۴
نشتی گاز و آتش‌سوزی در ایستگاه اصلی گاز واحد بخار	۷	۰/۴۶۷	۰/۴۲۵	۰/۴۷۶

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-10-06]

جدول ۴. نتایج مقادیر CPC در شرایط اضطراری منتخب بر اساس مقادیر فازی

شرایط تأثیرگذار بر عملکرد افراد	وزن نسبی	برقراری ارتباطات	استفاده از تجهیزات در محل	هماهنگی	کنترل عملیات	عملیات قبل از اطفاء	اطفاء	انتقال	امداد و درمان
توانمندی سازمان	۰/۱۶۴	٪۲۰	٪۳۰	٪۰	٪۰	٪۵۰	٪۳۰	٪۰	٪۳۰
شرایط کار	۰/۲۵۶	٪۶۰	٪۵۰	٪۷۰	٪۲۰	٪۲۰	٪۳۰	٪۵۰	٪۰
متناسب بودن سامانه‌های انسان-ماشین	۰/۱۳۸	٪۰	٪۲۰	٪۰	٪۵۰	٪۴۰	٪۰	٪۵۰	٪۰
قابلیت دسترسی به روش‌ها و برنامه‌ها	۰/۱۲۲	٪۱۰	٪۱۰	٪۰	٪۰	٪۰	٪۰	٪۰	٪۰
زمان در دسترس برای انجام کار	۰/۰۶۴	٪۶۰	٪۲۰	٪۶۰	٪۶۰	٪۵۰	٪۵۰	٪۱۰۰	٪۱۰
کیفیت آموزش‌ها و تجربیات کاری	۰/۱۹۴	٪۵۰	٪۳۰	٪۱۰	٪۰	٪۲۰	٪۰	٪۱۰۰	٪۱۰
نحوه همکاری و تعامل بین همکاران	۰/۰۶	٪۲۰	٪۴۰	٪۲۰	٪۱۰	٪۲۰	٪۱۰	٪۰	٪۱۰

جدول ۵. نتایج توزیع احتمالات مربوط به حالات کنترلی

زیر وظیفه	اتفاقی	لحظه‌ای	تاکتیکی	استراتژیک	لگاریتم HEP	HEP وزن دهی شده	β
۱	۰	۰	٪۷۶	٪۲۴	-۲/۲۴	۰/۰۰۵۷	۰/۰۳
۲	۰	۰	٪۸۰۸۰	٪۲۰	/۲/۲	۰/۰۰۶۱	۰/۱۷
۳	۰	۰	٪۸۸	٪۱۲	-۲/۱۲	۰/۰.۰۰۷۵۰۰۷۵	۰/۵۱
۴	۰	۰	٪۸۵	٪۱۵	-۲/۱۵	۰/۰۰۶۹	۰/۳۷۶
۵	۰	۰	٪۸۵	٪۱۵	-۲/۱۵	۰/۰۰۷	۰/۳۹
۶	۰	۰	٪۸۳	٪۱۷	-۲/۱۷	۰/۰۰۶۷	۰/۳۱۶
۷	۰	۰	٪۸۰	٪۲۰	-۲/۲	۰/۰۰۶۲	۰/۱۹۶
۸	۰	۰	٪۷۶	٪۲۴	-۲/۲۴	۰/۰۰۵۶	۰/۰۲۱

بر اساس جدول فوق، سطح کنترل تاکتیکی، سطح کنترلی غالب در همه وظایف موردبررسی بود. وظیفه کنترل عملیات (زیر وظیفه شماره ۳) با احتمال ۰/۰۰۷۵ بیشترین احتمال خطای انسانی را کسب کرد. کمترین احتمال خطای انسانی نیز مربوط به وظایف تیم درمان (زیروظیفه شماره ۸) بود (۰/۰۰۵۶).

بحث

هدف از این مطالعه ایجاد یک مدل جهت ارزیابی خطاهای انسانی در شرایط اضطراری بود. ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی در شرایط اضطراری یک ابزار بسیار مهم جهت کاهش عواقب ناگوار خطای انسانی در این شرایط است. در این مطالعه جهت ارزیابی قابلیت اطمینان انسان از روش CREAM استفاده شد. روش مورداستفاده یک رویکرد ۳ مرحله‌ای بود که این ۳ مرحله عبارت‌اند از: تعیین شرایط تأثیرگذار بر عملکرد افراد، تعیین تأثیر و وزن نسبی هر CPC بر روی عملکرد افراد و درنهایت استفاده از قوانین فازی جهت ارزیابی و کاهش خطای انسانی در این شرایط.

قابلیت اطمینان انسان از عوامل فردی، سازمانی و محیطی تأثیر می‌پذیرد که این عوامل در روش CREAM تحت عنوان ۹ CPC یا شرایط تأثیرگذار بر عملکرد افراد معرفی شده‌اند. با توجه به اینکه شرایط تأثیرگذار بر عملکرد افراد به‌صورت پیش‌فرض تعریف‌شده‌اند، جهت تطبیق شرایط تأثیرگذار بر عملکرد افراد با شرایط اضطراری، طبق نظر اعضای پنل تشکیل‌شده، انجام دو یا چند کار به‌صورت هم‌زمان و زمان انجام کار (ریتم سیرکادین) حذف شد و از ۷ CPC جهت ارزیابی خطای

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-10-06]

انسانی در شرایط اضطراری استفاده شد. مطالعات نشان داده‌اند که بهتر است شرایط تأثیرگذار بر عملکرد افراد مطابق با هر شرایط کاری تعریف شوند (۲۳) تا به‌صورت واقع‌بینانه‌تری شرایط کاری را در محیط‌های کاری مختلف توصیف کنند.

Zhou و همکاران جهت ارزیابی خطاهای انسانی از ۸ CPC استفاده کردند. آن‌ها اعتقاد داشتند جهت ارزیابی تأثیر دقیق CPC بر عملکرد افراد باید آن‌ها را مطابق با هر محیط کاری تعریف نمود و می‌توان تعداد آن‌ها را تغییر داد و حتی پارامترهای جدید بر اساس شرایط صنعت موردبررسی، جهت بهبود عملکرد انسان به CPC اضافه نمود. آن‌ها در مطالعه خود با بررسی حوادث رخداده در صنعت موردبررسی در ۱۰ کشور جهان و در طی ۵ سال، ۸ CPC جهت ارزیابی خطای انسانی در مطالعه خود تعریف کردند (۲۳). Banda و همکاران نیز در مطالعه خود از ۶ CPC جهت ارزیابی خطاهای انسانی در کشتیرانی استفاده کردند (۲۴). انتخاب و یا تعریف شرایط تأثیرگذار بر عملکرد افراد بر اساس وظایف موردبررسی، منجر به توصیف واقع‌بینانه‌تری از محیط کاری می‌شود (۲۳).

مطالعات همچنین نشان داده‌اند که جهت ارزیابی بهتر و تعیین دقیق اثرات آن‌ها بر روی قابلیت عملکرد انسان، بهتر است شرایط تأثیرگذار بر عملکرد افراد ارزیابی و وزن دهی شوند (۲۵). شرایط تأثیرگذار بر عملکرد افراد، تأثیر یکسانی بر روی قابلیت اطمینان انسان ندارند. بر اساس نوع وظایف و مشاغل شرایط تأثیرگذار بر عملکرد افراد می‌توانند وزن‌های مختلفی بگیرند (۱۶). در این مطالعه جهت ارزیابی خطاهای انسانی در شرایط اضطراری، با استفاده از روش AHP، CPC ها وزن دهی شدند و بیشترین وزن را شرایط کار کسب کرد. مطالعه Yang و همکاران نیز نشان داد که جهت نشان دادن تأثیر واقعی CPC ها بر روی قابلیت اطمینان انسان بهتر است وزن دهی شوند (۲۶).

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، سطح کنترلی غالب در وظایف موردبررسی، کنترل تاکتیکی بود. این موضوع نشان‌دهنده این است که عملکرد افراد در وظایف موردبررسی بر اساس برنامه‌ریزی بوده و اغلب افراد در وظایف خود از قوانین مشخصی پیروی می‌کنند. جهت کاهش احتمال خطای انسانی و افزایش قابلیت اطمینان، بهتر است سطح کنترلی به سمت کنترل استراتژیک باشد.

مطالعه کریمی و همکاران در اتاق کنترل یک صنعت پتروشیمی با استفاده از روش CREAM بیزین نشان داد که اغلب سطوح کنترلی در وظایف موردبررسی، کنترل استراتژیک بود (۲).

از مسائل مهم در ارزیابی قابلیت اطمینان انسان، کمی سازی قضاوت‌های کیفی جمع‌آوری‌شده از متخصصین در مورد شرایط کاری موردنظر است (۱۷). با استفاده از قوانین فازی، علاوه بر کمی سازی اطلاعات، سایر نقاط ضعف CREAM سنتی مثل در نظر گرفتن وزن CPC و اصلاح CPC بر اساس شرایط کاری و وظایف موردبررسی را پوشش می‌دهد. نتایج خروجی به تغییرات جزئی داده‌های ورودی و همچنین وزن آن‌ها حساس هستند. Ung در مطالعه‌ای از روش CREAM در بررسی خطای انسانی در حوادث کشتیرانی و دریایی استفاده کرد. این مطالعه از رویکرد فازی به‌عنوان یک روش مفید جهت رفع کاستی‌های موجود در روش سنتی CREAM نام برد. این مطالعه اعتقاد داشت که روش CREAM فازی نسبت به روش سنتی CREAM قادر به تولید نتایج قابل‌اعتمادتری در ارزیابی عملکرد انسان و همچنین بررسی خطای انسانی است (۲۱). Konstandinidou و همکاران نیز در مطالعه خود نشان دادند که استفاده از منطق فازی در روش CREAM نتایج بهتر و مناسب‌تری نسبت به روش سنتی دارد و همچنین از این نتایج به‌صورت مستقیم به‌عنوان ورودی روش‌های دیگر مثل روش بیزین و درخت خطا می‌توان استفاده نمود؛ بنابراین می‌توان از این روش به‌عنوان یک روش اختصاصی جهت مدیریت خطای انسانی در شرایط اضطراری صنایع مختلف استفاده کرد. استفاده از خروجی روش CREAM فازی به‌عنوان ورودی روش بیزین جهت تخمین بهتر از حالت کنترلی و احتمال خطای انسانی و همچنین تعریف شرایط اثرگذار

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-10-06]

بر عملکرد افراد در هر صنعت با توجه به ویژگی‌ها و شرایط خاص همان صنعت جهت مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود.

نتیجه گیری

در این مطالعه با استفاده از سیستم منطق فازی بر اساس روش CREAM و انتخاب شرایط تأثیرگذار بر عملکرد افراد در شرایط اضطراری و وزن دهی آن‌ها، می‌توان یک برنامه عملی و کاربردی جهت جلوگیری از وقوع خطای انسانی در شرایط اضطراری تعریف کرد. با این روش همچنین به‌خوبی می‌توان عناصر پراهمیت و داری وزن بالا در بروز خطاهای انسانی را مشخص نموده و اقدامات اساسی جهت کنترل آن‌ها را برنامه‌ریزی نموده و در اولویت قرار داد.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از طرح تحقیقاتی شماره ۹۶۱۱۰۳۷۰۲۶ دانشگاه علوم پزشکی همدان است. نویسندگان مقاله از مدیریت صنعت پتروشیمی جهت همکاری در انجام این مطالعه کمال قدردانی و تشکر را دارند.

REFERENCES

1. Aliabadi MM, Mohammadfam I, Soltanian AR, Ghalenoei M, Karimi M. Identification, assessment and control of errors in chemotherapy process. International Journal of Occupational Hygiene. 2017;9(4):192-200.
2. Karimie S, Mohammadfam I, Mirzaei Aliabadi M. Human Errors Assessment in the one of the control rooms of a petrochemical industrial company using the extended CREAM method and BN. Health and Safety at Work. 2019;9(2):105-12. [Persian]
3. Azadeh M, Keramati A, Mohammadfam I, Jamshidnedjad B. Enhancing the availability and reliability of power plants through macroergonomics approach. 2006.
4. Azadeh A, MOHAMMAD FI, Garakani M. Total ergonomic design approach to enhance the productivity in a complicated control system. 2007.
5. Abbassinia M, Kalatpour O, Motamedzade M, Soltanian A, Mohammadfam I, Ganjipour M, et al. Social Network Analysis Approach to Analysis of Emergency Management Team Performance. Iran Occupational Health. 2021;18(1):89-101.
6. Petrillo A, Zomparelli F. The importance of human error and reliability management in critical conditions and infrastructures. In Human Factors and Reliability Engineering for Safety and Security in Critical Infrastructures 2018 (pp. 1-18). Springer, Cham.
7. Ghasemkhani M, Abbasinia M, Mahmoodkhani S, Aghaee H, Asghari M. Assessment of fatigue and its relationship with insomnia severity index in shift workers, fixed and rotating, Tehran rolling mills and steel production company. Iran Occupational Health. 2013 Jul 10;10(2):79-86.
8. MOHAMMADIAN F. Survey and Comparison of sleep disorders in shift workers in the automotive industry. Iran Occupational Health. 2013;10(3):37-44.
9. Zhang J, Fu J, Hao H, Fu G, Nie F, Zhang W. Root causes of coal mine accidents: Characteristics of safety culture deficiencies based on accident statistics. Process Safety and Environmental Protection. 2020;136:78-91.
10. Anbari Z, Abbasinia M, Khadem M, Rahmani A, Asghari M, Nezhad IA, et al. Effects of the quality of working life on job satisfaction in an auto parts manufacturing factory. Int J Emerg Ment Healt. 2015;17(1):151-5.
11. Ozel F. Time pressure and stress as a factor during emergency egress. Safety Science. 2001;38(2):95-107.
12. Abbassinia M, Kalatpour O, Motamedzade M, Soltanian A, Mohammadfam I. Application of social network analysis to major petrochemical accident: interorganizational collaboration perspective. Disaster Med Public Health Prep.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-10-06]

2020:1-8.
13. Petrillo A, Falcone D, De Felice F, Zomparelli F. Development of a risk analysis model to evaluate human error in industrial plants and in critical infrastructures. Int J Disaster Risk Reduct. 2017;23:15-24.
14. MOHAMMADFAM I, MANSOURI N, NIKOOMARAM H, GHASEMI F. Comparison of commonly used accident analysis techniques for manufacturing industries. International Journal of Occupational Hygiene. 2015;7(1):32-7.
15. Aliabadi MM, Esmaeili R, Mohammadfam I, Ashrafi M. Human Reliability Analysis (HRA) Using Standardized Plant Analysis Risk-Human (SPAR-H) and Bayesian Network (BN) for Pipeline Inspection Gauges (PIG) Operation: A Case Study in a Gas Transmission Plant. Health Scope. (In Press).
16. Hollnagel E. Cognitive reliability and error analysis method (CREAM): Elsevier; 1998.
17. Asghari M, Nassiri P, Monazzam MR, Golbabaei F, Arabalibeik H, Shamsipour A, et al. Weighting Criteria and Prioritizing of Heat stress indices in surface mining using a Delphi Technique and Fuzzy AHP-TOPSIS Method. J Environ Health Sci Eng. 2017;15(1):1.
18. Azadeh A, Rouhollah F, Davoudpour F, Mohammadfam I. Fuzzy modelling and simulation of an emergency department for improvement of nursing schedules with noisy and uncertain inputs. International Journal of Services and Operations Management. 2013;15(1):58-77.
19. Kim B, Bishu RR. Uncertainty of human error and fuzzy approach to human reliability analysis. International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems. 2006;14(01):111-29.
20. Fatemi F, Ardalan A, Aguirre B, Mansouri N, Mohammadfam I. Constructing the indicators of assessing human vulnerability to industrial chemical accidents: a consensus-based Fuzzy Delphi and Fuzzy AHP approach. PLoS Curr. 2017;9.
21. Ung S-T. A weighted CREAM model for maritime human reliability analysis. Safety Science. 2015;72:144-52.
22. Omidvar M, Mazlomi A, MohammadFam I, Rahimi Foroushani A, Nirumand F. Development of a framework for assessing organizational performance based on resilience engineering and using fuzzy AHP method: A case study of petrochemical plant. Health and Safety at Work. 2016;6(3):43-58.[Persian]
23. 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.
24. Banda OAV, Goerlandt F, Kuzmin V, Kujala P, Montewka J. Risk management model of winter navigation operations. Mar Pollut Bull. 2016;108(1-2):242-62.
25. Abbassinia M, Kalatpour O, Motamedzade M, Soltanian A, Mohammadfam I. Dynamic human error assessment in emergency using fuzzy bayesian cream. J Res Health Sci. 2020;20(1):e00468.
26. Yang Z, Bonsall S, Wall A, Wang J, Usman M. A modified CREAM to human reliability quantification in marine engineering. Ocean engineering. 2013;58:293-303.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-10-06]