Journal of Occupational Hygiene Engineering Volume 8, Issue 3, Autumn 2021, Pages: 40-49

Original Article

doi: 10.52547/johe.8.3.40

# Identification and Evaluation of Human Errors in Low Voltage Distribution Systems Using Fuzzy-HEART Technique

**Farzaneh Molabahrami[1], Kamran Najafi[2], Hamed Aghaei[3], Mostafa Mirzaei Aliabadi[4,*]**

[1] *Master of Occupational Health Engineering, Center of Excellence for Occupational Health and Occupational Health and Safety Research Center, Faculty of Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran*
[2] *PhD Student of Occupational Health Engineering, Center of Excellence for Occupational Health and Occupational Health and Safety Research Center, Faculty of Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran*
[3] *Department of Occupational Health Engineering, School of Health, Arak University of Medical Sciences, Arak, Iran*
[4] *Center of Excellence for Occupational Health and Occupational Health and Safety Research Center, Faculty of Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran*

**** Corresponding Author:*** *Mostafa Mirzaei Aliabadi, Center of Excellence for Occupational Health and Occupational Health and Safety Research Center, Faculty of Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran. Email: mirzaei@umsha.ac.ir*

**Received:** 17/04/2020
**Accepted:** 14/04/2020

**How to Cite this Article:**
Molabahrami F, Najafi K, Aghaei H, Mirzaei Aliabadi M. Identification and Evaluation of Human Errors in Low Voltage Distribution Systems using Fuzzy-HEART Technique. *J Occup Hyg Eng*. 2021; 8(3): 40-49. DOI: 10.52547/johe.8.3.40

## Abstract

**Background and Objective:** Electricity-related occupational accidents are the fifth leading cause of occupational death. One of the major causes of occupational accidents is human error; therefore, the human role as a cause of the accident is highly important and needs to be considered in risk assessment. This study aimed to present a Fuzzy-Human error assessment and reduction technique (HERAT) technique, which can be used to estimate human error probability in the job of securing the electrical network using the experts' opinions.
**Materials and Methods:** First, the tasks in the power distribution system were analyzed using the HTA(Hierarchical Task Analysis) method. In the next step, the general error probability of each task was determined, and then, the error-causing conditions for each task were determined. Afterward, the linguistic terms of the relevant experts on each error-producing condition were obtained, and then, these linguistic terms were quantified using the fuzzy method and the probability of total human error for each task was calculated. Finally, tasks were prioritized based on human error probability.
**Results:** The employment of the HTA technique led to the finding that the operation of securing power grids consisted of five main tasks. The most likely human error was found to be the task of interrupting the power supply, which was revealed using the Fuzzy-HEART technique.
**Conclusion:** The results showed that the proposed Fuzzy-HEART technique has been successfully applied in estimating the human error probability. The proposed method could identify the error-causing conditions and estimate the impact contribution to each of these conditions.

**Keywords:** Fuzzy-HEART; HEART; Human Error; Power Grid

[ Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-07-04 ]

[ DOI: 10.52547/johe.8.3.40 ]

**Copyright** © 2021 Journal of Occupational Hygiene Engineering. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cite

مقاله پژوهشی
doi: 10.52547/johe.8.3.40

# شناسایی و ارزیابی خطای انسانی در شبکه توزیع کم فشار (کم ولتاژ) با استفاده از روش Fuzzy-HEART

فرزانه ملابهرامی[۱]، کامران نجفی[۲]، حامد آقائی[۳]، مصطفی میرزایی علی‌آبادی[۴،*]

[۱] کارشناس ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای، قطب علمی بهداشت حرفه‌ای و مرکز تحقیقات بهداشت و ایمنی شغلی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
[۲] دانشجوی دکتری مهندسی بهداشت حرفه‌ای، قطب علمی بهداشت حرفه‌ای و مرکز تحقیقات بهداشت و ایمنی شغلی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
[۳] استادیار،گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اراک، اراک، ایران
[۴] دانشیار، قطب علمی بهداشت حرفه‌ای و مرکز تحقیقات بهداشت و ایمنی شغلی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

* **نویسنده مسئول:** مصطفی میرزایی علی‌آبادی، قطب علمی بهداشت حرفه‌ای و مرکز تحقیقات بهداشت و ایمنی شغلی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران. ایمیل: mirzaei@umsha.ac.ir

**تاریخ دریافت مقاله:** ۱۳۹۹/۰۹/۲۱
**تاریخ پذیرش مقاله:** ۱۳۹۹/۰۳/۲۵

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

**چکیده**

**سابقه و هدف:** حوادث شغلی ناشی از برق پنجمین علت مرگ‌های شغلی شناخته شده‌اند. یکی از علل عمده حوادث شغلی خطاهای انسانی است. به همین دلیل نقش انسان به‌عنوان یک عامل حادثه بسیار مهم است و باید این نقش در ارزیابی و تحلیل خطر در نظر گرفته شود. هدف این مطالعه ارائه روش ارزیابی خطای انسانی Fuzzy-HERAT است که با کمک آن می‌توان با استفاده از نظرات متخصصان، احتمال کمّی خطای انسانی را در شغل ایمن‌سازی شبکه‌های برقی برآورد کرد.

**مواد و روش‌ها:** ابتدا وظایف موجود در سیستم توزیع برق با استفاده از روش HTA(Hierarchical Task Analysis) تحلیل شد. در گام بعد، عدد احتمال خطای عمومی آن وظیفه و سپس شرایط به‌وجودآورنده خطا برای هر وظیفه مشخص شد. سپس قضاوت کلامی متخصصان مرتبط در خصوص هرEPC گرفته شد و این نظرات کلامی با استفاده از روش فازی به کمّی تبدیل و سپس احتمال خطای انسانی کل برای هر وظیفه محاسبه شد. درنهایت وظایف بر اساس احتمال خطای انسانی اولویت‌بندی شد.

**یافته‌ها:** با انجام روش HTA مشخص شد عملیات ایمن‌سازی شبکه‌های برق از پنج وظیفه اصلی تشکیل شده است. با انجام روش Fuzzy-Heart، وظیفه قطع جریان برق بیشترین احتمال خطای انسانی را به خود اختصاص داد.

**نتیجه‌گیری:** نتایج نشان داد روش Fuzzy-Heart ارائه‌شده، به‌طور موفقیت‌آمیزی در برآورد احتمال کمّی خطای انسانی به کار گرفته شده است. روش پیشنهادی شرایط به‌وجودآورنده خطا را شناسایی و سهم تأثیر مربوط به هر کدام از این شرایط را برآورد می‌کند.

**واژگان کلیدی:** خطای انسانی؛ شبکه برق؛ Heart؛ Fuzzy-Heart

## مقدمه

حوادث شغلی ناشی از برق پنجمین علت مرگ‌های شغلی شناخته شده‌اند [۱]. آمار نشان می‌دهد سالیانه ۴۴۰۰ حادثه و ۴۰۰ مرگ ناشی از شوک الکتریکی در ایالت متحده آمریکا اتفاق می‌افتد[۲]. همچنین مطالعه دیگری در تایوان نشان داده است مرگ‌ومیر ناشی از برق‌گرفتگی در بین حوادث شغلی ۱۴/۶ درصد است[۳]. در واقع حوادث شغلی ناشی از برق نه فقط به علت تعداد زیاد حوادث، بلکه به علت شدت زیاد جراحات ناشی از آن‌ها بسیار اهمیت دارند[۴،۵]. بررسی‌ها نشان داده‌اند ۲/۳ درصد (۱ نفر از هر ۴۳۴ نفر) از افراد برق‌کار دچار حوادث منجر به مرگ می‌شوند [۶]. خطاهای انسانی همیشه عامل مهمی در بسیاری از حوادث مطرح می‌شوند. برآوردها نشان داده‌اند بیش از ۶۰ درصد از حوادث به دلیل خطاهای انسانی رخ می‌دهند[۷]. به همین دلیل نقش انسان به‌عنوان یک عامل حادثه بسیار مهم است و باید این نقش در ارزیابی و تحلیل خطر در نظر گرفته شود [۸].

یکی از وظایف مهمی که افراد برق‌کار انجام می‌دهند، ایمن کردن شبکه‌های برق به‌منظور انجام عملیات سرد است. ایمن‌سازی

[ Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-07-04 ]
[ DOI: 10.52547/johe.8.3.40 ]

شبکه‌های برق شامل مراحلی مانند گرفتن مجوز کار، انجام عملیات بی‌برقی، آزمایش بی‌برقی، تخلیه جریان و درنهایت ارت موقت است [۹]. با توجه به اینکه انجام ندادن یا درست انجام نشدن هر یک از مراحل ذکرشده باعث وقوع حوادث می‌شود، مهم است که خطاهای انسانی در ایمن‌سازی شبکه‌های برق بررسی شود.

یکی از روش‌های مهم در زمینه ارزیابی خطای انسانی، روش HEART ( Human Error Reduction and Assessment Technique) است که وظایف را تجزیه‌وتحلیل می‌کند و برای کمّی‌سازی احتمال میزان عدم اطمینان فعالیت‌ها به کار می‌رود. یافتن نرخ دقیق احتمال خطای انسانی با این روش به علت قابلیت اطمینان کم داده‌های جمع‌آوری‌شده توسط کارشناسان مختلف و نبود قطعیت ذاتی در ارزیابی داده‌ها چالش‌برانگیز است [۷]. 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 [۱۰] در سال‌های اخیر نویسندگان و محققان برای رفع این محدودیت در جاهایی که عدم قطعیت وجود دارد، پیشنهاد می‌کنند از مدل‌های فازی برای کمّی‌سازی و بهینه‌سازی روش‌های کیفی ارزیابی قابلیت اطمینان انسان استفاده شود[۱۱].

آقای کومار و همکاران در سال ۲۰۱۷ احتمال کمّی خطای انسانی را در ایستگاه‌های LPG با استفاده از روش Fuzzy-HEART بررسی کردند. نتایج مطالعه آنان نشان داد با وارد کردن رویکرد نظرات متخصصان در روش نسل اول HEART، می‌توان این روش را به‌طور موفقیت‌آمیزی به‌عنوان روش نسل دوم در ارزیابی کمّی خطای انسانی به کار برد [۷] مطالعات موجود در زمینه قابلیت اطمینان و تجزیه‌وتحلیل سیستم توزیع کم‌ولتاژ و همچنین ارزیابی خطر آن‌ها به‌تفصیل، دقیق نیستند و با توجه به هزینه‌های زیاد جانی و مالی ناشی از حوادث در این سیستم‌ها، اهمیت پژوهش حاضر آشکار می‌شود. در این مطالعه بر اساس تئوری Fuzzy-HERAT، احتمال کمّی خطای انسانی برآورد شده است. در واقع هدف از این مطالعه ارائه یک روش ارزیابی خطای انسانی Fuzzy-HERAT است که با کمک آن بتوان با استفاده از نظرات متخصصان، ارزیابی دقیق‌تری از احتمال خطر انجام داد.

## روش کار

این بخش مروری بر روش‌های استفاده‌شده برای محاسبه احتمال کمّی خطای انسانی در عملیات ایمن کردن خطوط برق با استفاده از روش Fuzzy-HERAT است. شماتیک مطالعه حاضر در شکل ۱ نشان داده شده است. مراحل مطالعه به ترتیب زیر انجام شده است:

**شکل ۱:** چارچوب کلی پژوهش



[ Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-07-04 ]

[ DOI: 10.52547/johe.8.3.40 ]

### ۱.روش HEART

روش HEART یک روش ارزیابی احتمال خطای انسانی (HEP) است که اولین بار ویلیامز [۱۲] در سال ۱۹۸۸ آن را به‌منظور ارزیابی کمّی خطای انسانی ارائه داد. روش HEART بر اساس قضاوت متخصصان بر مبنای تجربه است. این روش به علت یادگیری آسان، سادگی کاربرد و انعطاف‌پذیری در صنایع پیچیده کاربرد دارد [۱۳-۱۵]. اساس این روش به این صورت است که هر باری که وظیفه‌ای انجام می‌شود، تحت تأثیر شرایط به‌وجودآورنده خطا، قابلیت اعتماد تغییر می‌کند [۱۶]. روش HEART از سه متغیر اساسی تشکیل شده است؛ متغیر اول GEP است که احتمال کمّی خطای انسانی را مطابق با نوع وظیفه (GTT) ارائه می‌دهد و به استفاده‌کننده این اجازه را می‌دهد که وظیفه مناسب را تعیین کند. به‌طورکلی ۹ وظیفه عمومی تعریف شده است که در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. EPC متغیر دوم است که عوامل شکل‌دهنده عملکرد فرد را طی انجام وظیفه نشان می‌دهد. در کل تعداد ۳۸ مورد EPC در این روش تعریف شده است که در جدول ۲ نشان داده شده‌اند. در واقع EPC می‌تواند هر نوع شرایط داخلی یا خارجی باشد که بر عملکرد تأثیر منفی می‌گذارند. برای هر وظیفه می‌توان ۱ یا بیشتر EPC تعریف کرد. متغیر سوم APOA است که به هر EPC مطابق درجه اهمیت آن یک وزن می‌دهد [۱۷،۱۸]. درنهایت HEP مطابق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

رابطه ۱:

$$HEP = GEP \times \prod R_i \times (W_i - 1) + 1$$

GEP = احتمال خطای عمومی (تعیین با استفاده از جدول ۱)، $R_i$ = ارزیابی متخصص از سهم تأثیر، $W_i$ = شرایط به وجودآورنده خطا (تعیین با استفاده از جدول ۲).

**جدول ۱:** مقادیر احتمال خطای انسانی برای وظایف عمومی

| کد گروه | گروه‌بندی فعالیت‌ها | احتمال خطای پایه (GEP) |
|---|---|---|
| A | کاملاً ناآشنا، شغل با سرعتی غیرواقعی بدون داشتن ایده‌ای از نتایج احتمالی اجرا می‌شود. | ۰/۵۵ |
| B | تغییر یا بازگشت به حالت جدید یا اولیه که به‌صورت فردی، بدون سرپرستی یا دستورالعمل انجام می‌شود. | ۰/۲۶ |
| C | فعالیت پیچیده نیازمند سطح زیادی از شناخت و مهارت است. | ۰/۱۶ |
| D | شغل بسیار ساده است که بسیار سریع یا با توجه کافی انجام می‌شود. | ۰/۰۹ |
| E | شغل روزمره، بسیار انجام‌شده، فعالیتی سریع شامل سطح مهارتی کمی است. | ۰/۰۲ |
| F | بازگشت یا تغییر به وضعیت جدید یا اولیه طبق دستورالعمل با مقداری بررسی | ۰/۰۰۳ |
| G | کاملاً آشنا، طراحی خوب، مکرر انجام‌شده، کار روزمره که چندین بار در ساعت و در سطح بالایی از استانداردها با انگیزش بالا انجام می‌شود. آموزش مناسب و فرد تجربه زیادی دارد، کاملاً از نقص‌ها آگاه است و زمان برای ترمیم نقص‌ها دارد. | ۰/۰۰۰۴ |
| H | پاسخ درست به دستورات سیستم حتی زمانی که سرپرستی اتوماتیک افزایش یافته است. سیستم تفسیر با دقتی از مراحل خود فراهم می‌کند. | ۰/۰۰۰۰۲ |
| M | وظیفه متفرقه (گوناگون) برای زمانی که هیچ توصیفی درباره آن یافت نشود. | ۰/۰۳ |

**جدول ۲:** شرایط به‌وجودآورنده خطا و ضرایب مربوط به آن‌ها

| ردیف | شرایط به‌وجودآورنده خطا | ضریب |
|---|---|---|
| ۱ | نداشتن آشنایی با وضعیتی که به‌طور بالقوه مهم است، اما به‌صورت نادر اتفاق می‌افتد یا جدید است. | ۱۷ |
| ۲ | کمبود زمان برای شناسایی و اصلاح خطا | ۱۱ |
| ۳ | نرخ سیگنال به هشدار کم است. | ۱۰ |
| ۴ | یک روش حذف یا برجسته کردن اطلاعات که به‌آسانی قابل دستیابی نیست. | ۹ |
| ۵ | نداشتن روشی آسان برای رساندن اطلاعات عملکردی به عملگرها | ۸ |
| ۶ | عدم مطابقت بین اپراتور واقعی و آنچه طراح متصور بوده است. | ۸ |
| ۷ | هیچ روشی برای معکوس کردن/ برگرداندن یک عمل غیرعمد وجود ندارد. | ۸ |
| ۸ | ظرفیت کانال پر شده است، به‌خصوص هنگام ارائه هم‌زمان اطلاعات زائد | ۶ |
| ۹ | نیاز به از یاد بردن یک روش و به کار بردن روش جدید که مغایر با قبلی است (برعکس آن است). | ۶ |
| ۱۰ | نیاز به انتقال دانشی به‌خصوص از یک کار به کار دیگر (انجام کارهای مختلف با فلسفه‌های گوناگون) | ۵/۵ |
| ۱۱ | ابهام در ارائه استانداردهای مورد نیاز | ۵ |
| ۱۲ | روش حذف یا برجسته کردن اطلاعات که به‌آسانی قابل دستیابی است. | ۴ |
| ۱۳ | عدم تناسب بین درک خطر و خطر واقعی | ۴ |
| ۱۴ | تأیید نکردن واضح، مستقیم و هنگام عمل انجام‌شده در بخشی از سیستم که کنترل اعمال می‌شود. | ۴ |

[ Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-07-04 ]

[ DOI: 10.52547/johe.8.3.40 ]

ادامه جدول ۲.

| | | |
|---|---|---|
| ۱۵ | نداشتن تجربه (مثلاً متخصص است، ولی تازه‌کار است.) | ۳ |
| ۱۶ | کاهش کیفیت اطلاعات منتقل‌شده از فرایندها و افراد (تعاملات بین افراد) | ۳ |
| ۱۷ | نبود یا کمبود بررسی و تست خروجی‌ها | ۳ |
| ۱۸ | تضاد بین اهداف کوتاه‌مدت و بلندمدت | ۲/۵ |
| ۱۹ | ابهام در استانداردهای عملکردی مورد نیاز | ۲/۵ |
| ۲۰ | نبود تناسب بین سطح تحصیلات و نیازمندی‌های فردی شغل | ۲ |
| ۲۱ | انگیزه انجام سایر فرایندهای کاری خطرناک | ۲ |
| ۲۲ | شانس کم برای استراحت مغزی و بدنی در بیرون از محدوده کاری | ۱/۸ |
| ۲۳ | ابزارهای غیر قابل اعتماد | ۱/۶ |
| ۲۴ | نیاز به داده‌های مستقل که خارج از ظرفیت و تجربه اپراتور است. | ۱/۶ |
| ۲۵ | عدم تخصیص واضح وظایف و مسئولیت‌ها | ۱/۶ |
| ۲۶ | هیچ راه واضحی برای پیگیری فرایند طی یک فعالیت وجود ندارد. | ۱/۴ |
| ۲۷ | خطری که توانایی‌های فیزیکی را محدود می‌کند. | ۱/۴ |
| ۲۸ | نبود تعریف مناسبی از وظایف | ۱/۴ |
| ۲۹ | سطح زیاد استرس هیجانی | ۱/۳ |
| ۳۰ | بیماری در اپراتورها به‌خصوص تب | ۱/۲ |
| ۳۱ | روحیه کم نیروی کار | ۱/۲ |
| ۳۲ | ناهماهنگی مفاهیم نشان داده‌شده و فرایندها | ۱/۲ |
| ۳۳ | محیط کاری ضعیف | ۱/۱۵ |
| ۳۴ | نداشتن فعالیت طولانی یا چرخه‌های خیلی طولانی و بار کاری ذهنی | ۱/۱ |
| ۳۵ | اختلال در چرخه‌های کار-خواب | ۱/۰۵ |
| ۳۶ | گام‌های کاری که دیگران ایجاد می‌کنند. | ۱/۰۶ |
| ۳۷ | تیم کاری اضافه‌تر از چیزی که برای کار نیاز است. | ۱/۰۳ |
| ۳۸ | سن کارکنان | ۱/۰۲ |

## ۲.نظریه فازی

پروفسور لطفی‌زاده در سال ۱۹۶۵ نظریه فازی را معرفی کرد [۱۰]. نظریه فازی نظریه اقدام در شرایط عدم اطمینان است و بسیاری از مفاهیم، متغیرها و سیستم‌هایی را که پیچیده یا ناشناخته هستند، به شکل کمّی درمی‌آورد و زمینه را برای استدلال، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم می‌آورد [۱۰]. در تئوری فازی از عبارات زبانی استفاده می‌شود [۱۹] این عبارات زبانی برای نشان دادن ارزیابی متخصص از شرایط پیچیده و ناشناخته به‌صورت اطلاعات قابل فهم استفاده می‌شود. یک مجموعه فازی A در X با تابع عضویت $\mu_A(x)$ نشان داده می‌شود که هر عضو x را در X با یک عدد واقعی در فاصله ۰ تا ۱ ادغام می‌کند. تابع عضویت به شکل‌های مختلفی نشان داده می‌شود، اما توابع مثلثی و ذوزنقه‌ای به علت سادگی و سهولت ارزیابی کاربرد بیشتری دارند. تابع فازی مثلثی به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu_A(X) = \begin{cases} \frac{X - X_1}{X_2 - X_1}, X_1 \le X \le X_2 \\ \frac{X - X_3}{X_2 - X_3}, X_2 \le X \le X_3 \\ 0 \quad , Otherwise \end{cases}$$

که : $x_1 < x_2 < x_3$

## ۳.کاربرد روش Fuzzy-Heart

### توصیف شغل

شغل مطالعه‌شده انجام تعمیرات دوره‌ای در سیستم‌های توزیع برق کم‌ولتاژ و مراحل ایمن‌سازی این شبکه‌ها به‌منظور کار سرد بود. در مطالعه حاضر پنج وظیفه اصلی شامل گرفتن اجازه کار، انجام عملیات بی‌برقی، آزمایش بی‌برقی، تخلیه جریان باقی‌مانده و ارت موقت برای ارزیابی خطای انسانی مطالعه شده‌اند.

### تعیین GEP هرکدام از وظایف

احتمال کمّی خطای انسانی (GEP) مطابق با نوع وظیفه (GTT) تعیین می‌شود. همان طور که در جدول ۱ مشاهده می شود، به طورکلی ۹ وظیفه عمومی تعریف شده است که می‌توان احتمال کمّی مرتبط با آن را بر اساس نوع وظیفه تعیین کرد. برق‌کاران برای انجام عملیات بی‌برق کردن باید پنج وظیفه کلی را انجام دهند.

### تعیین EPC مربوط به هر وظیفه

شرایط به‌وجودآورنده خطا عواملی هستند که احتمال وقوع

[ Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-07-04 ]

[ DOI: 10.52547/johe.8.3.40 ]

**جدول ۳:** داده‌های استفاده‌شده به‌منظور ارزیابی متخصصان و نتایج مرتبط با ارزیابی و وزن‌دهی متخصصان

| وضعیت | طبقه‌بندی | امتیاز | متخصص ۱ | متخصص ۲ | متخصص ۳ | متخصص ۴ | متخصص ۵ | متخصص ۶ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| درجه شغلی | پروفسور، مهندس ارشد | ۵ | ۳ | ۳ | ۳ | ۱ | ۱ | ۵ |
| | دستیار پروفسور، مدیر کارخانه، سرمایه‌گذار ارشد | ۴ | | | | | | |
| | مهندس، ناظر | ۳ | | | | | | |
| | تکنسین | ۲ | | | | | | |
| | اپراتور | ۱ | | | | | | |
| تجربه کاری (برحسب سال) | بیشتر از ۲۰ سال | ۵ | ۳ | ۳ | ۴ | ۲ | ۱ | ۵ |
| | ۱۵-۲۰ | ۴ | | | | | | |
| | ۱۰-۱۵ | ۳ | | | | | | |
| | ۵-۱۰ | ۲ | | | | | | |
| | کمتر از۵ | ۱ | | | | | | |
| سطح تحصیلات | دکترا | ۵ | ۴ | ۳ | ۴ | ۴ | ۳ | ۵ |
| | فوق‌لیسانس | ۴ | | | | | | |
| | لیسانس | ۳ | | | | | | |
| | دیپلم | ۲ | | | | | | |
| | زیر دیپلم | ۱ | | | | | | |
| نمره کل | | | ۱۰ | ۹ | ۱۱ | ۷ | ۵ | ۱۵ |
| وزن متخصص | | | ۰/۱۷۵ | ۰/۱۵۸ | ۰/۱۹۳ | ۰/۱۲۳ | ۰/۰۸۷ | ۰/۲۶۴ |

خطای انسانی را افزایش می‌دهند. برای هریک از وظایفی که اپراتور باید انجام دهد، می‌توان ۱ یا بیشتر EPC تعریف کرد. با استفاده از جدول ۲ برای هریک از وظایف اصلی، تعدادی EPC تعریف شده است که در جدول ۵ می‌توان آن‌ها را مشاهده کرد.

### *تعیین سهم تأثیر ارزیابی‌شده برای هر EPC*

هر EPC یک شرط به‌وجودآورنده خطاست که به احتمال بروز خطای انسانی کمک می‌کند. متخصصان مقدار تأثیر هریک از این شرایط به‌وجودآورنده خطا را به‌صورت زبانی ارزیابی می‌کنند. این مرحله شامل گام‌های زیر است:

### *Iتشکیل تیم متخصص، ارزیابی متخصصان و اصطلاحات زبانی*

به علت اهمیت موضوع از کارشناسان خبره اداره برق استفاده شد که برای انجام وظیفه ایمن‌سازی شبکه‌های برق آموزش دیده بودند. روش استفاده‌شده برای آن‌ها به‌طور کامل شرح داده و اطمینان حاصل شد که آن‌ها برای شرکت در این مطالعه دانش کافی دارند. بعد از انتخاب تیم متخصص، ارزیابی آن‌ها بر اساس داده‌های موجود در جدول ۳ انجام شد و به هریک از متخصصان بر اساس موقعیت حرفه‌ای، تجربه حرفه‌ای و وضعیت تحصیلی یک وزن داده شد. نتایج مرتبط با ارزیابی متخصصان در جدول ۳ آورده شده است. عبارات زبانی برای زمانی که فرد با موقعیت‌های پیچیده یا ناشناخته مواجهه دارد، برای توصیف موقعیت به کار برده می‌شود [۱۱]. در روش فازی از این عبارات زبانی به‌منظور جمع‌آوری نظرات متخصصان استفاده می‌شود. این عبارات زبانی در واقع برای تبدیل ارزیابی‌های متخصصان به اطلاعات قابل فهم استفاده می‌شود [۱۱]. مقیاس‌های زبانی استفاده‌شده پرسش‌نامه و نحوه تبدیل آن‌ها به فازی مثلثی در جدول ۴ نشان داده شده است.

### *IIبه دست آوردن ارزیابی زبانی متخصصان*

درنهایت از متخصصان خواسته شد بر اساس پرسش‌نامه که به آن‌ها داده می‌شود، درباره میزان تأثیر هر EPC بر احتمال بروز خطا در وظیفه مربوطه بر اساس اصطلاحات زبانی نظر دهند.

**جدول ۴:** اصطلاحات زبانی استفاده‌شده

| عبارات زبانی | مقیاس |
|---|---|
| خیلی کم (VL) | ۰، ۰/۰۴، ۰/۰۸ |
| کم (L) | ۰/۰۸، ۰/۱۳، ۰/۱۹ |
| نسبتا! کم (RL) | ۰/۱۷، ۰/۲۷، ۰/۳۷ |
| متوسط (M) | ۰/۳۵، ۰/۵، ۰/۶۵ |
| نسبتا! زیاد (RH) | ۰/۶۲، ۰/۷۳، ۰/۸۲ |
| زیاد (H) | ۰/۸۱، ۰/۸۷، ۰/۹۳ |
| خیلی زیاد (VH) | ۰/۹۲، ۰/۹۶، ۱ |

[ Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-07-04 ]

[ DOI: 10.52547/johe.8.3.40 ]

**جدول ۵:** نتایج ارزیابی زبانی متخصصان

| شرایط به‌وجودآورنده خطا | متخصص ۱ | متخصص ۲ | متخصص ۳ | متخصص ۴ | متخصص ۵ | متخصص ۶ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| EPC1-1 | L | L | RH | VL | L | L |
| EPC1-2 | M | RL | M | RL | M | M |
| EPC1-3 | M | RH | M | H | RH | H |
| EPC1-4 | L | VL | M | VL | L | VL |
| EPC1-5 | M | M | M | RH | M | M |
| EPC1-6 | RH | M | M | RH | RH | RH |
| EPC2-1 | RH | RH | H | RH | RH | H |
| EPC2-2 | RH | RH | H | H | RH | H |
| EPC2-3 | RH | M | H | RH | H | RH |
| EPC2-4 | RH | H | RH | M | M | RH |
| EPC2-5 | L | VL | RL | L | VL | L |
| EPC2-6 | RH | VH | H | M | M | H |
| EPC2-7 | M | RH | M | RL | RL | M |
| EPC2-8 | RH | RH | M | H | H | H |
| EPC2-9 | H | RH | VH | H | RH | H |
| EPC2-10 | M | M | RH | RH | H | H |
| EPC2-11 | M | L | RL | M | L | M |
| EPC2-12 | M | RH | M | RL | RH | M |
| EPC3-1 | H | RH | H | VH | M | H |
| EPC3-2 | M | RH | H | M | RH | RH |
| EPC3-3 | M | H | H | M | H | RH |
| EPC3-4 | M | H | RH | RH | M | RH |
| EPC3-5 | RH | H | RH | RH | H | H |
| EPC3-6 | RL | M | L | RL | RL | M |
| EPC3-7 | M | RH | RH | H | M | H |
| EPC3-8 | H | VH | H | RH | RH | H |
| EPC3-9 | H | RH | M | H | RH | H |
| EPC3-10 | M | RL | L | M | RL | RL |
| EPC3-11 | M | RL | RH | M | RL | M |
| EPC4-1 | M | RH | M | RH | M | M |
| EPC4-2 | H | RH | H | H | RH | M |
| EPC4-3 | RL | RL | RH | M | RH | RH |
| EPC4-4 | RH | RH | H | H | M | H |
| EPC4-5 | L | RL | VL | VL | L | M |
| EPC4-6 | M | M | H | M | RH | RH |
| EPC4-7 | H | VH | H | RH | RH | H |
| EPC4-8 | VH | H | VH | M | M | H |
| EPC4-9 | M | RH | RH | M | RL | M |
| EPC4-10 | RL | L | RH | RH | RL | M |
| EPC4-11 | M | RL | L | L | RL | RL |
| EPC5-1 | RH | RH | H | M | H | H |
| EPC5-2 | M | RL | M | RH | M | RH |
| EPC5-3 | RH | RH | H | RH | M | RH |
| EPC5-4 | H | M | RH | RH | H | VH |

در انتها پرسش‌نامه‌ها جمع آوری و ارزیابی‌های زبانی متخصصان به اعداد فازی مثلثی تبدیل شد.

### ۴.فازی کردن

هدف از این مرحله کمّی‌سازی نظرات کیفی متخصصان به شکل یک تابع فازی مثلثی است. با توجه به این موضوع که متخصصان مختلف عقاید و نظرات متفاوتی دارند و همچنین سطح تجربه و دانش آن‌ها متفاوت است، اصطلاحات زبانی به دست‌آمده برای محاسبه یک احتمال واحد استفاده می‌شوند.

الگوریتم توسعه‌یافته به شرح زیر است:

I.*محاسبه درجه موافقت*

رابطه ۲
$$S(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2) = 1 - \frac{1}{3}\sum_{i=1}^{3}|a_1 - a_2|$$

II.*محاسبه میانگین درجه توافق*

رابطه ۳
$$AA(E_i) = \frac{1}{n-1}\sum_{\substack{i\neq j\\ j=1}}^{n} S_{ij}(A_i, A_j)$$

III.*محاسبه درجه توافق نسبی:*

رابطه ۴
$$RA(E_i) = AA(E_i) \Big/ \sum_{i=1}^{n} AA(E_i)$$

IV.*محاسبه ضریب توافق:*



[ Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-07-04 ]

[ DOI: 10.52547/johe.8.3.40 ]

**جدول ۶**: نتایج نهایی کمّی‌سازی احتمال خطای انسانی با روش Fuzzy-HEART

| وظیفه | شرایط به وجود آورنده خطا | ضریب شرایط به وجود آورنده خطا | مقدار دفازی شده | احتمال وظیفه عمومی | سهم ارزیابی شده تاثیر | مقدار عددی عدم اطمینان | درصد نسبی مشارکت در عدم اطمینان |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| اخذ مجوز کار | EPC1-1 | 5 | 0/000053 | 0/0004 | 1/000212 | 0/000415 | 16/569249 |
| | EPC1-2 | 4 | 0/001801 | | 1/005403 | | 16/655242 |
| | EPC1-3 | 3 | 0/012291 | | 1/024582 | | 16/972956 |
| | EPC1-4 | 3 | 0/000062 | | 1/000124 | | 16/567791 |
| | EPC1-5 | 1/6 | 0/004051 | | 1/002431 | | 16/606008 |
| | EPC1-6 | ¼ | 0/009501 | | 1/003804 | | 16/628753 |
| قطع جریان برق | EPC2-1 | 17 | 0/023179 | 0/003 | 1/394043 | 0/005703 | 10/958574 |
| | EPC2-2 | 11 | 0/018181 | | 1/181801 | | 9/290139 |
| | EPC2-3 | 4 | 0/012501 | | 1/037503 | | 8/155813 |
| | EPC2-4 | 3 | 0/010151 | | 1/020302 | | 8/020596 |
| | EPC2-5 | 3 | 0/000032 | | 1/000064 | | 7/861505 |
| | EPC2-6 | 3 | 0/019601 | | 1/039202 | | 8/169169 |
| | EPC2-7 | 2/5 | 0/002609 | | 1/003913 | | 7/891762 |
| | EPC2-8 | 2 | 0/015821 | | 1/015821 | | 7/985371 |
| | EPC2-9 | 2 | 0/019872 | | 1/019872 | | 8/017215 |
| | EPC2-10 | 1/6 | 0/011032 | | 1/006692 | | 7/913607 |
| | EPC2-11 | 1/6 | 0/001066 | | 1/000639 | | 7/866025 |
| | EPC2-12 | 1/3 | 0/003909 | | 1/001173 | | 7/870223 |
| آزمایش بی برقی | EPC3-1 | 17 | 0/022015 | 0/003 | 1/352241 | 0/005185 | 11/652228 |
| | EPC3-2 | 11 | 0/010483 | | 1/104832 | | 9/520311 |
| | EPC3-3 | 4 | 0/013428 | | 1/027813 | | 8/856641 |
| | EPC3-4 | 3 | 0/009271 | | 1/018542 | | 8/776752 |
| | EPC3-5 | 3 | 0/023021 | | 1/046042 | | 9/013719 |
| | EPC3-6 | 2/5 | 0/000972 | | 1/001458 | | 8/629539 |
| | EPC3-7 | 2 | 0/012135 | | 1/012135 | | 8/721543 |
| | EPC3-8 | 2 | 0/029948 | | 1/029948 | | 8/875037 |
| | EPC3-9 | 1/6 | 0/017728 | | 1/010637 | | 8/708635 |
| | EPC3-10 | 1/6 | 0/000631 | | 1/000379 | | 8/620242 |
| | EPC3-11 | 1/3 | 0/003234 | | 1/000972 | | 8/625352 |
| تخلیه جریان | EPC4-1 | 17 | 0/004895 | 0/003 | 1/078321 | 0/004007 | 9/539627 |
| | EPC4-2 | 11 | 0/015234 | | 1/152341 | | 10/194463 |
| | EPC4-3 | 4 | 0/001739 | | 1/005217 | | 8/892895 |
| | EPC4-4 | 3 | 0/008062 | | 1/016124 | | 8/989386 |
| | EPC4-5 | 2/5 | 0/000012 | | 1/000018 | | 8/846901 |
| | EPC4-6 | 2 | 0/009707 | | 1/009707 | | 8/932617 |
| | EPC4-7 | 2 | 0/022444 | | 1/022444 | | 9/045298 |
| | EPC4-8 | 1/6 | 0/027106 | | 1/016264 | | 8/990625 |
| | EPC4-9 | 1/ 6 | 0/004147 | | 1/002488 | | 8/868752 |
| | EPC4-10 | 1/3 | 0/001631 | | 1/000489 | | 8/851067 |
| | EPC4-11 | ¼ | 0/000461 | | 1/000184 | | 8/848369 |
| ارت موقت | EPC5-1 | 11 | 0/017956 | 0/0004 | 1/179561 | 0/000494 | 27/902522 |
| | EPC5-2 | 3 | 0/005592 | | 1/011184 | | 23/919563 |
| | EPC5-3 | 2/5 | 0/015822 | | 1/023733 | | 24/216411 |
| | EPC5-4 | 1/6 | 0/021595 | | 1/012957 | | 23/961504 |

رابطه ۶ $C(E_i) = \beta W(E_i) + (1-\beta) \times RA(E_i)$

$\beta$ یک فاکتور و عددی بین ۰ و ۱ است که اهمیت وزن‌دهی متخصصان را نشان می‌دهد. در مطالعه حاضر $\beta = 0.5$ است.

V.مجموع نتایج قضاوت متخصصان مطابق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$R_{AG} = C(E_1) \times R_1 + C(E_2) \times R_2 + \ldots + C(E_i) \times R_i$$

رابطه ۸

$R_{AG}$ عدد فازی مجموع برای شرایط به‌وجودآورنده خطا و $R_i$ احتمال فازی تعیین شده است.

### ۵.دیفازی کردن

برای محاسبه احتمال، باید دیفازی‌سازی انجام شود. عمل دیفازی کردن با استفاده از فرمول زیر انجام می‌شود:

[ Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-07-04 ]

[ DOI: 10.52547/johe.8.3.40 ]

$$X^{*}=\frac{\int \mu_{(\tilde{R})}(x)xdx}{\int \mu_{(\tilde{R})}(x)dx}$$ رابطه ۹

فرمول خلاصه‌شده برای دیفازی کردن فازی مثلثی $\tilde{A} = \langle a_1, a_2, a_3 \rangle$ به صورت زیر است:

$$X^{*} = \frac{\int_{a_1}^{a_2}\frac{x-a_2}{a_2-a_1}xdx+\int_{a_2}^{a_3}\frac{a_3-x}{a_3-a_2}xdx}{\int_{a_1}^{a_2}\frac{x-a_2}{a_2-a_1}dx+\int_{a_2}^{a_3}\frac{a_3-x}{a_3-a_2}dx}=\frac{1}{3}(a_1+a_2+a_3)$$

رابطه ۱۰

### ۶.محاسبه تأثیر ارزیابی‌شده هر EPC

مقدار احتمال برآوردشده در مرحله پیش برای محاسبه تأثیر ارزیابی‌شده هر EPC به کار برده می‌شود که نشان‌دهنده مقدار احتمال عدم اطمینان است و مطابق فرمول زیر برآورد می‌شود:

Assessed EPC effect = [(EPCi – 1) ×probability] + 1 رابطه ۱۱

### ۷. محاسبه احتمال اسمی کمّی عدم اطمینان

احتمال عدم اطمینان در وظیفه برابر است با حاصل‌ضرب مجموع مقادیر تأثیر ارزیابی‌شده هر EPC در احتمال وظیفه عمومی و مطابق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

Assessed Nominal likelihood of unreliability= Nominal human unreliability × $\prod_{i=1}^{n} assessed\ EPC\ effect$

رابطه ۱۲

### ۸. محاسبه درصد نسبی مشارکت هر EPC در احتمال عدم اطمینان

در این مرحله اولویت‌بندی EPCها بر اساس میزان تأثیر آن‌ها بر احتمال خطا انجام خواهد شد. در واقع در این مرحله تعیین می‌کنیم که با کنترل کدام EPC بیشترین تأثیر را در میزان کاهش احتمال خطا خواهیم داشت. از طریق رابطه زیر محاسبه خواهد شد:

$$\%\ CU = \frac{Assessed\ EPC\ effect}{GEP+\sum_{i=1}^{n} ssessed\ EPC\ effect}$$ رابطه (۱۳)

## نتایج

ارزیابی خطای انسانی در مشاغل برقی نه‌تنها به دلیل تعداد زیاد حوادث شغلی در این مشاغل، بلکه به دلیل شدت جراحات ناشی از این تصادفات بسیار مهم است. شغل تأمین خطوط برق به‌عنوان یک مطالعه موردی انتخاب شد. هدف از این مطالعه ارائه یک روش برای بهبود قابلیت اطمینان در سیستم ارزیابی متخصصان برای محاسبه احتمال کمّی خطای انسانی با استفاده از روش fuzzy-HERAT بود. مراحل اولیه مطالعه شامل تجزیه‌وتحلیل شغلی از وظایف مربوطه، تعیین EPC برای هر کار، تشکیل تیم متخصص، ارزیابی کارشناسان و جمع‌آوری اصطلاحات زبانی است. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، احتمال عمومی وظایف بی‌برق کردن، آزمایش بی‌برقی و تخلیه جریان جزء وظایف عمومی F=۰/۰۰۳ و وظیفه گرفتن مجوز کار و ارت موقت با احتمال G=۰/۰۰۰۴ برآورد شدند. برای هر وظیفه اصلی یک یا چند EPC تعریف شده است. هریک از شرایط به‌وجودآورنده خطا یک ضریب دارد که میزان اهمیت آن را نشان می‌دهد. هر یک از متخصصان نظرات خود را دارند و درجه اهمیت نظرات متخصصان مختلف با هم برابر نیست. به هریک از متخصصان با توجه به سطح دانش، تجربه و موقعیت شغلی یک وزن داده می‌شود. نتایج مرتبط با وزن‌دهی متخصصان در جدول ۳ آورده شده است.

## بحث

ارزیابی‌های زبانی جمع‌آوری‌شده از متخصصان در جدول ۵ نشان داده شده است. هریک از این نظرات درنهایت به فازی مثلثی تبدیل می‌شود. سپس درجه موافقت، میانگین درجه موافقت، درجه توافق نسبی و همچنین ضریب توافق ارزیابی شد. درنهایت با استفاده از روابط مربوطه، میزان احتمال کمّی خطای انسانی برای هر وظیفه و میزان سهم تأثیر هرکدام از شرایط به‌وجودآورنده خطا بر احتمال تعیین شد. نتایج مربوطه در جدول ۶ نشان داده شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد اخذگرفتن مجوز کار کمترین احتمال و وظیفه قطع جریان برق بیشترین احتمال را به خود اختصاص داده‌اند. جدول ۶ نتایج مرتبط با سهم مشارکت نسبی در عدم اطمینان برای هرکدام از شرایط به‌وجودآورنده خطا را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد EPC2-1، EPC3-1 و نداشتن آشنایی با یک موقعیت بالقوه مهم بیشترین تأثیر را در افزایش احتمال خطای انسانی در این کارها داشتند. از نتایج جدول ۷ می‌توان برای شناسایی EPCهایی استفاده کرد که بیشترین و کمترین تأثیر را در افزایش احتمال خطای انسانی و اولویت‌بندی اقدامات اصلاحی دارند. در زمینه استفاده از روش Fuzzy-HERAT، کومار و همکاران در پژوهشی به‌طور موفقیت‌آمیزی احتمال کمّی خطای انسانی را در ایستگاه سوخت‌گیری LPG برآورد کرده‌اند[۷].

## نتیجه‌گیری

شغل ایمن‌سازی خطوط برق به‌منظور کار سرد یکی از مشاغلی است که نه‌تنها به علت تعداد زیاد حوادث، بلکه به علت شدت زیاد حوادث ناشی از آن اهمیت فراوانی دارد. یکی از مهم‌ترین دلایل حوادث در این مشاغل خطای انسانی است. مطالعه حاضر با هدف ارائه روشی برای افزایش اعتبار در تخمین کمّی خطای انسانی انجام شده است. برای این منظور از روش Fuzzy-HERAT استفاده شد. نتایج پژوهش نشان داد روش ارائه‌شده قدرت زیادی در ارزیابی کمّی احتمال خطای انسانی دارد. روش پیشنهادی شرایط به‌وجودآورنده خطا را شناسایی و سهم تأثیر مربوط به هر کدام از این شرایط را برآورد می‌کند.

[ Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-07-04 ]

[ DOI: 10.52547/johe.8.3.40 ]

## تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله نویسندگان مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از دانشگاه علوم پزشکی همدان به دلیل تأمین مالی و همکاری در به اتمام رساندن این پژوهش اعلام می‌کنند.

## تضاد منافع

این مقاله هیچ تعارض منافعی ندارد.

## ملاحظات اخلاقی

تمامی کارگران با آگاهی کامل و با تکمیل رضایت‌نامه در این پژوهش شرکت کردند.

## سهم نویسندگان

نویسندگان مقاله در جمع‌آوری داده‌ها، تحلیل و نگارش مقاله همکاری داشته‌اند.

## حمایت مالی

این مطالعه با حمایت مالی دانشگاه علوم پزشکی همدان انجام شده است (شماره طرح ۹۹۰۲۰۲۳۸۹).

## REFERENCES

1. Taylor AJ, McGwin G, Valent F, Rue L. Fatal occupational electrocutions in the United States. *Inj Prev*. 2002;**8**(4):306-12. PMID: 12460968 DOI: 10.1136/ip.8.4.306
2. Waldmann V, Narayanan K, Combes N, Marijon E. Electrical injury. *Bmj*. 2017;**357**:1-7. PMID: 28404561 DOI: 10.1136/bmj.j1418
3. Chi C-F, Yang C-C, Chen Z-L .In-depth accident analysis of electrical fatalities in the construction industry. *Int J Ind. Ergon*. 2009;**39**(4);635-44. DOI: 10.1016/j.ergon.2007.12.003
4. Castillo-Rosa J, Suárez-Cebador M, Rubio-Romero JC, Aguado JA. Personal factors and consequences of electrical occupational accidents in the primary, secondary and tertiary sectors. *Saf Sci*. 2017;**91**;286-97. DOI: 10.1016/j.ssci.2016.08.021
5. Suárez-Cebador M, Rubio-Romero JC, López-Arquillos A. Severity of electrical accidents in the construction industry in Spain. *J Safety Res*. 2014;**48**:63-70. PMID: 24529093 DOI: 10.1016/j.jsr.2013.12.002
6. Haluik A. editor Risk perception and decision making in hazard analysis: improving safety for the next generation of electrical workers. *IEEE IAS Electr Saf Workshop*. 2016:1-8. DOI: 10.1109/ESW.2016.7499712
7. Kumar AM, Rajakarunakaran S, Prabhu VAJJoLPitPI. Application of Fuzzy HEART and expert elicitation for quantifying human error probabilities in LPG refuelling station. *J Loss Prev Process Ind*. 2017;**48**:186-98. DOI: 10.1016/j.jlp.2017.04.021
8. Longo F, Bruzzone AG. Modelling and simulation applied to security systems, Proceedings of Summer Computer Simulation Conference, Philadelphia, PA. 2005; 183-188.
9. Nouri E. Safety in electricity distribution networks. *Iran,Tehran: Fanavaran*; 2013:224.
10. Zadeh LA. Fuzzy sets. *Inf Control*. 1965;**8**(3):338-53.
11. Casamirra M ,Castiglia F, Giardina M, Tomarchio E. Fuzzy modelling of HEART methodology: application in safety analyses of accidental exposure in irradiation plants. *Radiat Eff*. 2009;**164**(5-6):291-6 .DOI: 10.1080/10420150902805153
12. Williams J. editor A data-based method for assessing and reducing human error to improve operational performance. Conference Record for 1988. *IEEE Fourth Conference on Human Factors and Power Plants*; 1988; 436-450. DOI: 10.1109/HFPP.1988.27540
13. Castiglia F, Giardina M, Tomarchio EJJorp. Risk analysis using fuzzy set theory of the accidental exposure of medical staff during brachytherapy procedures. *J Radiol Prot*. 2010;**30**(1);49-62. PMID: 20220212 DOI: 10.1088/0952-4746/30/1/004
14. Castiglia F, Giardina MJHp. Fuzzy risk analysis of a modern γ-ray industrial irradiator. *Health Phys*. 2011;**100**(6);622-31. PMID: 22004931 DOI: 10.1097/HP.0b013e31820153eb
15. Castiglia F, Giardina MJijohe. Analysis of operator human errors in hydrogen refuelling stations: comparison between human rate assessment techniques. *Int J Hydrog*. 2013;**38**(2):1166-76. DOI: 10.1016/J.IJHYDENE.2012.10.092
16. Zhou J-L, Lei Y, Chen YJRE, Safety S. A hybrid HEART method to estimate human error probabilities in locomotive driving process. *Reliab Eng Syst Saf*. 2019;**188**:80-9. DOI: 10.1016/j.ress.2019.03.001
17. Reinach S, Fadden S, Gamst F, Acton S, Bartlett S. A comparative risk assessment of remote control locomotive operations versus conventional yard switching operations. 2006:1-4.
18. Zheng H, Deng Y, Hu Y. Fuzzy evidential influence diagram and its evaluation algorithm. *Knowl Based Syst*. 2017;**131**: 28-45. DOI:10.1016/j.knosys.2017.05.024
19. Celik E, Taskin Gumus A. An assessment approach for non-governmental organizations in humanitarian relief logistics and an application in Turkey. *Technol Econ Dev*. 2018; **24**(1):1-26. DOI: 10.3846/20294913.2015.1056277

[ Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-07-04 ]

[ DOI: 10.52547/johe.8.3.40 ]