Journal of Health and safety at Work 2021; 10(4): 376-390

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Comparison of Two Human Error Evaluation Techniques (HET and SHERPA) in Gas Supply Operations using AHP

Gholam Abbas Shirali, Ameneh Golbaghi*, Leila Nematpour

Department of Occupational Safety and Health Engineering, School of Public Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.

Received: 2018-05-02 Accepted: 2019-05-08

ABSTRACT

Introduction: The development of residential and industrial areas has led to increasing gas consumption and overcrowding in gas supply networks. Accordingly, hazards and risks caused by human errors, processing and mechanical failures in pipelines, and gas leaks are on a rise. Several techniques have been so far proposed for identifying and controlling human errors. The main purpose of this study was to compare two human error evaluation techniques, namely, Human Error Template (HET) and Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach (SHERPA) in gas supply operations using the analytic hierarchy process (AHP) to select a suitable method.

Material and Methods: This cross-sectional descriptive study was to identify the human error modes in one of the gas supply projects operating by Kurdistan Gas Company, Kurdistan, Iran. Different tasks in gas supply operations were accordingly determined by the health, safety, and environment (HSE) unit, then the ones susceptible to human errors were selected and analyzed through task analysis technique. The next step was to weight and rank the human errors by evaluating indexes based on many variables including accuracy, sensitivity, and quantity of the errors as well as usability, time, and education analysis using the Expert Choice software (ver. 11).

Results: According to the findings of this research, the criteria were ranked based on accuracy (0.339), sensitivity (0.322), quantity of errors (0.118), usability (0.116), time (0.056), education (0.050), and analysis. The inconsistency ratio was also equal to 0.1, which meant that the subjective judgments were accepted.

Conclusion: The results also showed that the analysis of human errors, using the HET, required less training and time, while the number of the detected errors and applicability in the SHERPA was greater. Considering the weight of the criteria, their importance in determining the superior technique and the weight of each one in relation to the criteria, the contribution of that method in the relevant criterion was expressed. Calculating the final weight of the techniques revealed that SHERPA with a weight of 0.53 was more practical compared with HET with a weight of 0.46.

Keywords: *Human Error, HET, SHERPA, Analytic Hierarchy Process*

1. INTRODUCTION

The development of residential and industrial areas has led to increasing gas consumption and overcrowding in gas supply networks. Accordingly, hazards and risks caused by human errors, processing and mechanical failures in pipelines, and gas leaks are on the rise. The results of the root cause analysis of processing accidents in urban gas stations show that the rate of occurrence of human errors per year is more than twice than that of processing and mechanical failures. However, human errors are the main cause of 70-90% of work-related accidents in industry. Investigating different incidents have further shown that human errors can arise as a result of a combination of personal, managerial, and organizational factors, complexity of work, environmental conditions, design of

* Corresponding Author Email: *amn.golbaghi@gmail.com*

equipment and devices, training, monitoring, as well as presence or absence of work instructions. Hence, it is not possible to introduce only one factor as the main cause of human errors and their consequences. Studies have also demonstrated that early identification and correction of human errors can prevent many catastrophic events. This process requires comprehensive and appropriate methods or techniques. Accordingly, there are several techniques for identifying and controlling human errors. However, the main purpose of this study was to compare two techniques, i.e., Human Error Template (HET) and Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach (SHERPA) in gas supply operations using analytic hierarchy process (AHP) and to select a suitable method.

2. MATERIALS AND METHODS

This cross-sectional study was to identify the human error modes in one of the projects operating by Kurdistan Gas Company, Kurdistan, Iran. To this end, different tasks in gas supply operations were determined by the health, safety, and environment (HSE) unit, then the ones susceptible to human errors were selected and analyzed through task analysis technique. In this study, human errors were identified by the HET and SHERPA techniques.

The HET has been developed specifically as a diagnostic tool for the identification of design-induced errors. The steps in this technique included: (a) identifying error modes (there are twelve error modes to specify in this method), (b) providing a description (for each credible error) of error mode, (c) determining consequences associated with errors, and (d) estimating error likelihood (low, medium, or high) and criticality (low, medium or high).

The SHERPA was another technique exploited to identify human errors in this study. In this sense, each task step was classified into one of the five following error types: action, retrieval, checking, selection, and information communication. The steps in the SHERPA included: (a) determining credible error modes for a task in question, (b) describing error mode, (c) establishing consequences associated with errors and any future task steps that might lead to recovery from errors, (d) providing an ordinal likelihood of errors occurring, assigned with low, medium or high, together with criticality (low, medium or high), and (e) offering potential design remedies (i.e. the way interface design could be modified to remove errors).

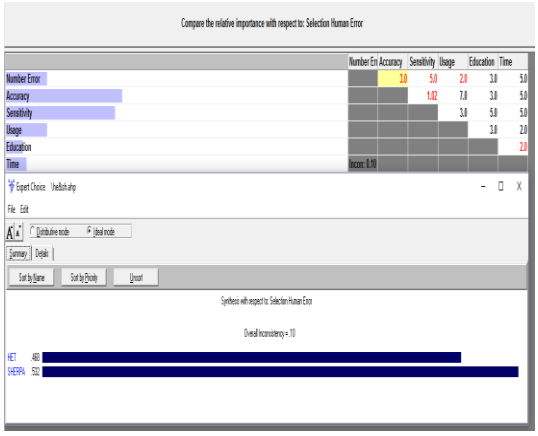


Fig. 1. Pair-wise comparisons between HET and SHERPA

At the next step, AHP was utilized to compare the two techniques. For this purpose, the research team determined the comparison criteria according to expert judgment. These criteria consisted of accuracy, sensitivity, quantity of errors, usability, time, and education. Finally, the weight and the rank of the human errors were calculated using the Expert Choice software (ver. 11).

3. RESULTS AND DISCUSSION

According to the study findings, the relative criteria of the pairwise comparisons were ranked based on accuracy, sensitivity, quantity of errors, usability, time, and education, as presented in Fig. 1. Accordingly, the weight of the SHERPA and HET techniques were calculated by 0.53 and 0.46, respectively. The inconsistency ratio was also equal to 0.1, which meant the subjective judgments could be accepted.

4. CONCLUSION

The results revealed that human error analysis, using the HET required less training and time, while the number of detected errors and applicability in the SHERPA was greater. Considering the weight of the criteria, their importance in determining the superior method and the weight of each one in relation to the criteria, the contribution of that method in the relevant criterion was expressed. Calculating the final weight of the technique revealed that the SHERPA with a weight of 0.53 was more practical compared with the HET with a weight of 0.46. Therefore, it was concluded that the SHERPA could better identify human error modes

compared with the HET in this study.

5. ACKNOWLEDGMENT

The study was approved by the Ethics Committees of the Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences with ethics number of IR.AJUMS. REC.1398.483. Hereby, the authors express their thankful regards to AJUMS. Also, we would like to thank the Kurdistan Gas Company for their help.

فصلنامه بهداشت و ایمنی کار جلد ۱۰/ شماره ۴/ زمستان ۱۳۹۹ صفحات ۳۷۶-۳۹۰

مقایسه دو تکنیک ارزیابی خطای انسانی HET و SHERPA با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی AHP در عملیات گازرسانی

غلامعباس شیرالی ، آمنه گلباغی * ، لیلا نعمت پور

گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۲/۱۲، تاریخ پذیرش: ۹۸/۲/۱۸

چکیده

مقدمه: رشد و توسعه مناطق مسکونی و صنعتی سبب افزایش مصرف گاز و متراکم تر شدن شبکه های گازرسانی می شود، بنابراین خطر و ریسک های ناشی از خطاهای انسانی و نقص های فرایندی و مکانیکی در خطوط لوله و نشت گاز رو به افزایش است. لذا روش های مختلفی برای شناخت و کنترل خطاهای انسانی وجود دارد. به همین منظور هدف این مطالعه مقایسه دو تکنیک ارزیابی خطای انسانی شامل الگوی خطای انسانی (HET) و رویکرد سیستماتیک پیش بینی و کاهش خطای انسانی (SHERPA) با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) می باشد.

روش کار: این مطالعه از نوع توصیفی مقطعی بوده که به منظور شناسایی الگوی خطای انسانی در یکی از پروژه های شرکت گاز استان کردستان انجام گردید. با همکاری واحد HSE، وظایف مختلف در عملیات گاز رسانی شناسایی و آن دسته از وظایفی که مستعد خطای انسانی بودند، انتخاب و با استفاده از روش تجزیه و تحلیل وظایف شغلی آنالیز شدند. در مرحله بعد با استفاده از نرم افزارExpert Choice نسخه ۱۱ ارزیابی خطای انسانی SHERPA و HET با توجه به معیارهای دقت، حساسیت، تعداد خطا، قابلیت کاربرد، آنالیز زمان و آموزش، وزن دهی و رتبه بندی گردیدند.

یافته ها: براساس نتایج این مطالعه معیار وزن های نسبی هریک از معیارهای زوجی به ترتیب صحت (۰/۳۳۹)، حساسیت (۰/۳۲۲)، تعداد خطا (۰/۱۱۸)، قابلیت کاربرد (۰/۱۱۶)، آنالیز زمان (۰/۰۵۶) و آموزش (۰/۰۵۰) رتبه بندی شده اند. همچنین نرخ ناسازگاری ماتریس ها مساوی ۰/۱ بوده که نشان دهنده سازگاری قابل قبول در قضاوت ها می باشد.

نتیجه گیری: باتوجه به نتایج بدست آمده برای آنالیز خطاهای انسانی، استفاده از روش HET به آموزش کمتری جهت اجرا و مدت زمان کمتری نیازمند بوده در حالی که تعداد عوامل خطاهای شناسایی شده و قابلیت کاربرد آن در روش SHERPA بیشتر می باشد. با توجه به اینکه وزن معیارها، اهمیت آنها در تعیین روش برتر و وزن هرکدام از روش ها نسبت به معیارها، سهم آن روش در معیار مربوطه را بیان می کند، محاسبه وزن نهایی روش ها نشان می دهد که SHERPA با وزن ۰/۵۳ برتر از HET با وزن ۰/۴۶ می باشد.

کلمات کلیدی: *خطای انسانی، SHERPA، HET، فرایند تحلیل سلسله مراتبی*

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول مکاتبه: *amn.golbaghi@gmail.com*

مقدمه

بیشتر خطاهای انسانی در صنعت نفت و گاز ناشی از نقص در طراحی تجهیزات، نقص در سیستم‌های مدیریتی یا فرایندهای کاری است. شناسایی موقعیت‌هایی که خطا می‌تواند در آن‌ها رخ دهد و حذف کردن آن‌ها به کمک مداخلات مناسب، می‌تواند پتانسیل خطای انسانی را کاهش دهد (۱). جنبه های مختلف کاری و شغلی و پیچیدگی آن می تواند روی عملکرد و رفتار انسان اثر گذاشته و موجب شود اعمال ناایمن توسط انسان در حین انجام کار بروز پیدا کند (۲). اهمیت و نقش خطاهای انسانی در بروز حوادث بسیار آشکار بوده و نتایج فاجعه بار ناشی از عدم بررسی خطاهای انسانی در هنگام محاسبه ریسک کاملا اثبات شده است (۳). سالانه در جهان ۲۷۰ میلیون حادثه ناشی از کار اتفاق می‌افتد که نزدیک به ۲ میلیون و ۲۰۰ هزار کارگر جان خود را از دست می‌دهند، که سهم کشورهای جهان سوم (درحال‌توسعه یا توسعه‌نیافته) از این حوادث ۳ تا ۴ برابر کشورهای توسعه‌یافته می‌باشد (۴). نتایج تجزیه‌وتحلیل علل ریشه‌ای حوادث فرایندی ایستگاه‌های گاز شهری نشان می‌دهد که نرخ وقوع نقص‌های انسانی در سال بیش از دو برابر نرخ وقوع نقص‌های فرایندی و مکانیکی است (۵)، که خطای انسانی علت اصلی بروز ۷۰ تا ۹۰ درصد حوادث ناشی از کار در صنایع ، بشمار می‌آید (۶). خطای انسانی شامل انحراف عملکرد انسان از قوانین و وظایف مشخص‌شده‌ای می‌باشد که از حد قابل‌قبول سیستم فراتر رود و بر کارایی سیستم اثر نامطلوب داشته باشد (۷). مطالعات نشان داده است که وقوع خطای انسانی درنتیجه ترکیبی از عوامل مختلف همچون عوامل شخصی، عوامل مدیریتی و سازمانی، پیچیدگی روش انجام کار، شرایط محیطی، طراحی تجهیزات و دستگاه‌ها، نحوه ی آموزش افراد، نظارت، وجود یا عدم وجود دستورالعمل‌های کاری رخ می‌دهند و نمی‌توان تنها یک عامل را به‌عنوان عامل اصلی وقوع خطاهای انسانی و پیامد ناشی از آن معرفی کرد (۸). در مطالعه هانریش که در حدود ۷۵۰۰۰ حادثه را موردبررسی قرارداد، به این نتیجه رسید که ۸۸ درصد از علل وقوع حوادث، اعمال ناایمن، ۱۰ درصد شرایط ناایمن و ۲ درصد با قیمانده نیز ناشی از عوامل غیرقابل پیشگیری می‌باشند (۹). راسموسن با بررسی ۱۹۰ حادثه در صنایع شیمیایی به این نتیجه رسید که در بروز حوادث ، نقش دانش ناکافی در خطای کارکنان ۳۴ درصد، خطاهای طراحی۳۲ درصد و خطاهای دستورالعملی ۲۴ درصد بوده است (۱۰, ۱۱). در طی سال‌های اخیر، تمرکز بر روی خطای انسانی درزمینه حوادث صنعتی نشان داده است که علاوه بر کمبود مهارت، تصمیم‌گیری، نگرش، عواملی نظیر فرهنگ‌سازمانی و عوامل نظارتی نیز به‌عنوان عوامل دخیل در حوادث شناسایی‌شده‌اند (۱۲, ۱۳). مطالعات، پاره‌ای از عوامل نظیر پیچیدگی، استرس، خستگی، محیط، آموزش و تجربه را به عنوان عوامل موثر بر بروز خطای انسانی ذکر می‌کنند (۱۴). ازآنجایی‌که نقش خطاهای انسانی در بروز حوادث بسیار آشکار بوده و از طرف دیگر نتایج فاجعه‌بار ناشی از عدم بررسی خطای انسانی در هنگام محاسبه ریسک کاملاً اثبات‌شده است، ولی متأسفانه در هنگام ارزیابی پارامترهای ایمن در صنایع به بررسی خطاهای انسانی پرداخته نمی‌شود (۱۵). برای شناخت و کنترل خطاهای انسانی، روش های مختلفی ابداع‌شده است که هرکدام بر اساس روش و سازوکاری ویژه و هدفی خاص مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد، مطالعات انجام‌شده نشان داده است که تجزیه‌وتحلیل خطاهای انسانی در مرحله قبل از وقوع حوادث، می‌تواند از بروز بسیاری از وقایع فاجعه بار جلوگیری نماید (۱۶). از جمله این روش ها که در طی چند دهه اخیر گسترش یافته و عمومیت پیدا کرده اند و به منظور شناسایی و تجزیه و تحلیل خطاهای انسانی مورد استفاده قرار می گیرند می توان به روش های سیستم برای پیش بینی آنالیز و کاهش خطای انسانی (SPEAR)[1]، شناسایی و تجزیه و تحلیل خطاهای انسانی (PHEA)[2] ، ارزیابی خطای انسانی و کاهش آن

1 system for predictive error analysis and reduction

2 Predictive human error analysis

(HEART)[3] و ابزار شناسایی خطای انسانی در سیستم ها (HEIST)[4]، رویکرد سیستماتیک پیش بینی و کاهش خطای انسانی (SHERPA[5]) اشاره کرد (۱۷). براین اساس انتخاب روش مناسب برای تحلیل خطاهای انسانی حائز اهمیت می باشد. روش SHERPA یکی از معتبرترین و قابل قبول ترین روش های موجود برای شناسایی خطاهای انسانی است که در سال ۱۹۸۶ توسط Embrey ابداع و توسعه پیدا کرد و در ارائه راهکارهای کنترلی متناسب با نوع خطای شناسایی شده دقیق عمل می کند (۱۸). مطالعه ای که حبیبی و همکارانش برای ارزیابی و مدیریت خطاهای انسانی اپراتور اتاق کنترل پالایشگاه نفت اصفهان با استفاده از روش SHERPA انجام داده بودند نشان داد که در ۱۹۸ خطای شناسایی شده بیش ترین نوع خطا عملکردی و کمترین مربوط به خطای انتخابی می باشد (۱۹). در پژوهش دیگری حلوانی و همکاران در سال ۱۳۹۴ به شناسایی خطاهای انسانی شرکت پالایش گاز پارسیان بااستفاده از روش SHERPA پرداختند که حدود ۶۶/۵ درصد خطا مربوط به خطاهای عملکرد و کمترین خطا مربوط به خطاهای انتخاب گزارش شد (۲۰). از مزایای این روش می توان به آسان بودن روش اجرا و زمان کم مورد نیاز، تعیین سطح ریسک، تعیین پیامدهای ناشی از خطا و در نهایت ارائه دادن راهکارهای کنترلی اشاره کرد (۲۱).

الگوی خطای انسانی (HET[6]) یک روش چک لیستی است که به صورت یک الگوی خطا ظاهر می شود. پایایی و روایی این روش در سال ۲۰۰۳ توسط سالمون و همکاران انجام گردید (۲۲). مطالعه تاج دینان و افشاری با استفاده از روش های SHERPA و HET به بررسی خطاهای انسانی در اتاق کنترل دستگاه انکویلر شرکت لوله سازی اهواز پرداختند نتایج نشان داد که استفاده همزمان از دو روش به شناسایی بهتر خطا و رفع کاستی های هریک از روش ها کمک می کند (۲۳). مزیت های استفاده از این روش یادگیری آسان و پایین بودن زمان اجرا می باشد .لذا به منظور تعیین روشی بهینه در ارزیابی خطای انسانی در عملیات گاز رسانی، بااستفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی به مقایسه دوروش SHERPA و HET پرداخته شد. ساختار تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی به گونه ای است که شغل مورد نظر به جزئیات و مرتبه های لازم برای انجام آن فعالیت تجزیه می شود. این فرایند یکی از معروفترین فنون تصمیم گیری چند شاخصه است که توسط توماس اِل ساعتی در دهه ۱۹۷۰ ابداع گردید (۲۳, ۲۴). هدف از روش AHP[7] تصمیم گیری علمی و همچنین راهی برای ترکیب تحلیل کیفی و کمی فرایند است. لذا به منظور مقایسه این دو روش خطای انسانی مذکور، از فرایند تحلیل سلسله مراتبی استفاده گردید.

روش کار

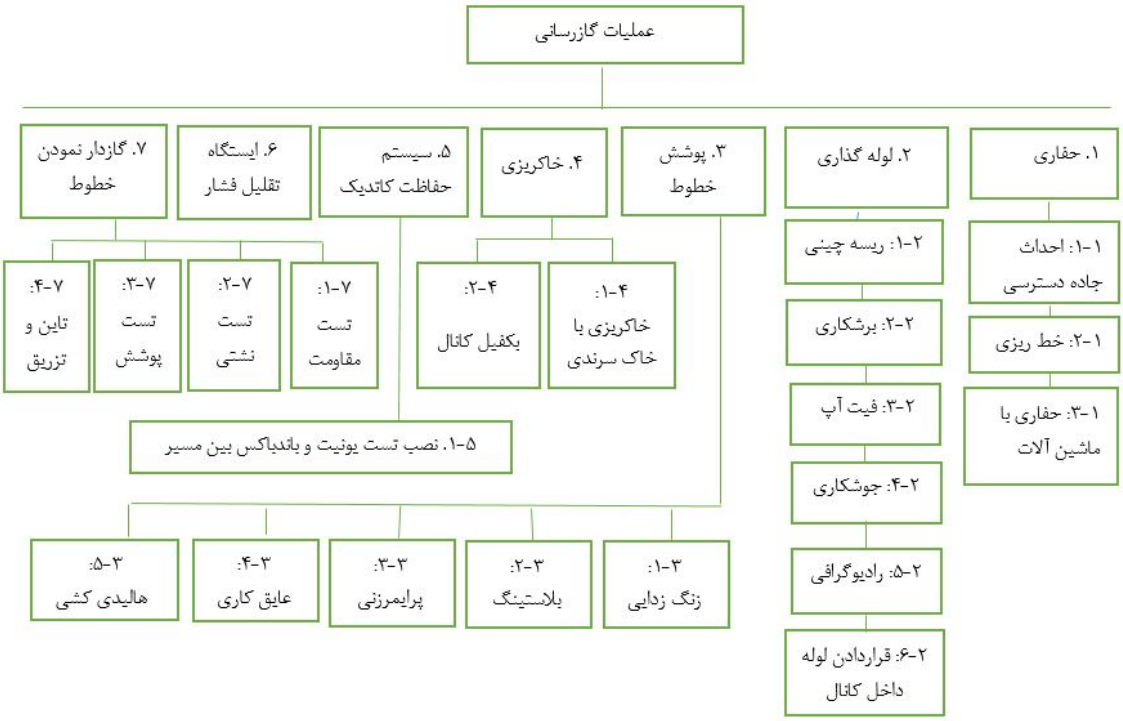
این مطالعه از نوع توصیفی مقطعی بوده و بر روی عملیات پروژه‌های گازرسانی استان کردستان انجام گردید. در ابتدا پس از شناسایی اولیه عملیات گازرسانی، مشاهده مستقیم فعالیت‌ها و همچنین بررسی حوادث گذشته رخ داده در این پروژه که با همکاری واحد HSE آن شرکت صورت گرفت، آن دسته از وظایفی که مستعد به ایجاد خطای انسانی بودند شناسایی شدند. سپس وظایف شغلی شناسایی شده مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند. برای این منظور کلیه مراحل و فعالیت‌هایی که جهت رسیدن به هدف اصلی یک فعالیت انجام می‌شود موردبررسی قرار گرفتند (۱۸). بنابراین، یکی از روش های شناسایی خطاهای انسانی، روشHET می‌باشد. این تکنیک به‌عنوان چک‌لیست ساده ای برای بررسی خطاها در سلسله‌مراتب شغلی (HTA[8]) عمل نموده و به تحلیل‌گر در شناسایی خطاهای قابل‌باور در هریک از مراحل انجام

3 Human error assessment and reduction technique
4 Human error identification in systems tool
5 Systematic Human Error and Reduction Prediction Approach
6 Human Error Template
7 Analytic Hierarchy Process
8 Hierarchical Task Analysis

وظیفه کمک می‌کند. پس از مشخص شدن نوع خطا، تحلیل‌گر باید نتایج یا پیامدهای مزبور به خطا را تعیین کند. سپس احتمال بروز و میزان بحرانی بودن را در سه سطح (کم، متوسط، زیاد) ارزیابی نماید (۲۵). جهت انجام و اجرای این تکنیک شش مرحله وجود دارد که با انجام آن‌ها این روش کامل می‌شود (۲۵). مرحله اول: آنالیز سلسله مراتبی وظیفه (HTA): این تکنیک به‌گونه‌ای است که شغل موردنظر را به جزئیات و مرتبه‌های لازم برای انجام آن فعالیت تجزیه می‌سازد. مرحله دوم: شناسایی خطای انسانی: طبقه‌بندی مراحل وظیفه در مرحله قبل، باعث هدایت تحلیل‌گر به‌سوی بررسی خطای فعالیت با استفاده از انواع خطاهای طبقه‌بندی در این روش می‌شود. این خطاها به صورت ناتوانی در اجرا، انجام کار به صورت ناقص، انجام کار در جهت اشتباه، انجام کار اشتباه، وظیفه تکرار شده، انجام کار براساس اطلاعات غلط، کار خیلی زود انجام شده، کار خیلی دیر انجام شده، کار کم انجام شده، اطلاعات درست دریافت نشده و سایر خطاها بیان شده است. مرحله سوم: تجزیه‌وتحلیل پیامد ناشی از خطا: بررسی نتایج هر خطا روی سیستم، یک مرحله حیاتی است که نتایج کاربردی جهت خطاهای بحرانی خواهد داشت. لازم است تحلیل‌گر شرح کاملی از نتایج به همراه شناسایی خطا ارائه نماید. مرحله چهارم: تجزیه‌وتحلیل احتمال بروز خطا: با توجه به دو مرحله قبلی، تحلیل‌گر میزان احتمال خطا را محاسبه می‌کند. یکی از مزایای آنالیز احتمال خطا، طبقه‌بندی خطا در گروه‌های کم، متوسط و زیاد است. مرحله پنجم: تجزیه‌وتحلیل میزان بحرانی بودن: در صورتی یک خطا بحرانی تلقی می‌شود که نتایج آن سبب خسارت به ساختار صنعت، محصول و یا کارکنان شود. مرحله ششم: تجزیه و تحلیل مداخله ای : در این مرحله اگر خطا ازنظر احتمال و میزان بحرانی بودن درجه بالایی را به خود اختصاص دهد لازم است مداخله‌ای درروش انجام کار ایجاد گردد که این حالت در چک‌لیست HET به‌صورت "رد" و درصورتی‌که آن بخش از وظیفه ازلحاظ بروز خطا مشکلی نداشته باشد به‌صورت "قبول" ثبت می‌شود.

در مرحله بعدی از روش SHERPA استفاده می‌شود. جهت انجام و اجرای این تکنیک هشت مرحله وجود دارد که با انجام دادن آنها این تکنیک اجرا می شود: مرحله اول- آنالیز سلسله مراتبی وظیفه (HTA)، مرحله دوم- طبقه بندی وظیفه: ریز فعالیت های حاصل از آنالیز شغلی به ترتیب در طبقه بندی خطا تفکیک می شوند. این طبقه بندی در یکی از پنج دسته اقدام، بازیابی، بررسی، انتخاب و تبادل اطلاعات آنالیز می شوند. مرحله سوم- شناسایی خطای انسانی : در این مرحله طبقه بندی خطا به فرد کمک می کند تا خطاهای احتمالی را شناسایی کند. در مرحله چهارم - تحلیل نتایج انجام می شود و نتایجی کاربردی برای خطاهای بحرانی خواهد داشت. مرحله پنجم- بازیابی تحلیل: در این بخش باید پتانسیل بازیابی خطای تعیین شده را مشخص کرد. بنابراین تحلیل گر بررسی می کند که چه عملی می توان انجام داد تا از بروز این خطا جلوگیری شود. مرحله ششم- آنالیز احتمال خطا: در صورتیکه خطا سابقه رخداد نداشته باشد در گروه کم، در گذشته گاهی رخ داده باشد در گروه متوسط و اگر خطا به طور مکرر اتفاق بیافتد در گروه زیاد قرار می گیرد . مرحله هفتم- تجزیه و تحلیل قابلیت بحرانی: آنالیز بحرانی بودن پیامد خطا براساس تلفیق احتمال رخداد خطا و میزان شدت خسارت ناشی از خطا انجام می شود. درصورتیکه این پیامد منجر به آسیب جدی به واحد یا تولید شود و یا آسیب انسانی در برداشته باشد بحرانی محسوب می شود. مرحله هشتم- تحلیل راهکارهای اصلاحی: در این مرحله راهکارهای کاهش خطا ارائه می شود . این راهکارها شامل طراحی مجدد یا تغییر و اصلاح در تجهیزات موجود، تغییر در روند آموزش، ارائه دستورالعمل جدید و یا بازخوانی و اصلاحات در دستورالعمل های قدیمی و در پایان ایجاد تغییر در خط مشی سازمان می باشد.(۲۳, ۲۶, ۲۷). سلسله‌مراتب HTA در این پروژه گازرسانی به شرح زیر می‌باشد:

در هر دو روش مذکور علاوه بر همپوشانی اطلاعات در بعضی بخش های اجرایی، تفاوت هایی در نوع شناسایی خطا وجود دارد: در روش SHERPA "به خیلی زیاد یا



شکل ۱. واکاوی وظایف شغلی به روش سلسله مراتبی در عملیات گاز رسانی

خیلی کم اجراشدن وظیفه" اشاره ای نگردیده است ولی در روش HET این پرسش مطرح می شود. به علاوه در روش HET به تکرار وطیفه و یا اجرای وطیفه به جای وطیفه دیگر اشاره شده است که در روش SHERPPA هیچ اشاره ای به آن نشده است. بنابراین جهت تصمیم گیری صحیح در خصوص انتخاب یک تکنیک مناسب ارزیابی خطای انسانی، باید ابتدا معیارهایی جهت انتخاب یک شاخص تعریف شود. در مرحله بعدی اهمیت هریک از این معیارها مشخص شود که این کار توسط مقایسه زوجی معیارها انجام می گیرد لذا از تکنیک AHP یااستفاده از نرم افزار Expert Choice نسخه ۱۱ استفاده گردید

AHP روشی است که در آن یک وضعیت پیچیده، به بخش های کوچکتر آن تجزیه شده است سپس این اجزاء در یک ساختار سلسله مراتبی قرار می گیرند. در آغاز اجرای فرایند تحلیل سلسله مراتبی، جهت تعیین مسئله یک درخت سلسله مراتب فراهم می شود. در سلسله مراتب تصمیم، سطح اول هر درخت بیان کننده هدف تصمیم گیری، سطح آخر بیان کننده گزینه هایی است که با همدیگر مقایسه و در رقابت با یکدیگر می باشند، سطح دیگر(میانی) نشان دهنده فاکتورهایی است که براساس آن گزینه های رقیب مقایسه می شوند (۲۸, ۲۹). روش کار به این صورت است که به هر مقایسه دویی با توجه به قضاوت های شخصی تصمیم گیرندگان و کارشناسان یک عدد از یک تا ۹ نسبت داده می شود که مفهوم هر عدد در جدول زیر آورده شده است (۳۰).

ابتدا اولویت شاخص ها به لحاظ وزنی نسبت به یکدیگر با تشکیل جدول ماتریسی محاسبه و سپس به طور خودکار نرم افزارExpert Choice نسخه ۱۱ ضرایب نهایی را محاسبه می کند که در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی محاسبه وزن های نسبی و محاسبه وزن های مطلق (نهایی) بر اساس وزن شاخص ها در مقایسه با وزن گزینه ها محاسبه می شود. وزن های نسبی از ماتریس های مقایسه زوجی به دست می آیند، درحالی که وزن مطلق رتبه نهایی هر گزینه از تلفیق وزن های

جدول ۱. مقادیر ترجیحات برای مقایسه های زوجی

امتیاز	تعریف		توضیح
۱	Equally preferred	اهمیت مساوی	در تحقق هدف، دو شاخص اهمیت مساوی دارند.
۳	Moderately preferred	اهمیت اندکی بیشتر	تجربه نشان می دهد که برای تحقق هدف، اهمیت i اندکی بیشتر از j است.
۵	Strongly preferred	اهمیت بیشتر	تجربه نشان می دهد که برای تحقق هدف اهمیت i بیشتر از j است.
۷	Very strong preferred	اهمیت خیلی بیشتر	تجربه نشان می دهد که برای تحقق هدف اهمیت i خیلی بیشتر از j است.
۹	Extremely preferred	اهمیت مطلق	اهمیت خیلی بیشتر i نسبت به j به طور قطعی به اثبات رسیده است.
۲،۴،۶،۸	Intermediate values	ترجیحات بینابین	هنگامی که حالت میانه وجود دارد.

جدول ۲. محاسبه شاخص تصادفی بودن

n	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
RI	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۵

نسبی حاصل می شود. وزن نهایی هر گزینه در یک سلسله مراتبی از مجموع حاصل جمع اهمیت معیارها در وزن گزینه ها به دست آمد. یکی از مزیت های فرایند تحلیل سلسله مراتبی، امکان بررسی سازگاری در قضاوت های انجام شده در تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیر معیارها است. که بدین منظور ضریبی به نام ضریب سازگاری در نظر گرفته شده است، که از تقسیم شاخص سازگاری به شاخص تصادفی بودن حاصل می شود. چنانچه این ضریب کوچکتر یا مساوی ۰/۱ باشد، سازگاری در قضاوت ها موردقبول است در غیر این صورت باید در قضاوت ها تجدیدنظر شود (۳۱).

$$CI = \frac{\lambda_{\max - n}}{n-1}$$

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

شاخص تصادفی بودن (RI) با توجه به تعداد معیارهای (n) از جدول زیر قابل استخراج است:

انتخاب معیارها در این مطالعه با توجه به بررسی و استناد به پرکاربردترین معیارها در مقالات قبلی و بااستفاده از نظرات پنج نفر از کارشناسان ایمنی شاغل در نیروگاه ها و صنایع پتروشیمی ،دانشجویان تحصیلات تکمیلی که دارای پایان نامه مرتبط با خطای انسانی بودند، تعیین گردید (۳۲)، معیارهای انتخابی عبارتند از: تعداد خطا، صحت ، حساسیت، قابلیت کاربرد در صنایع(دامنه اصلی کاربرد در صنعت نفت و گاز، قابلیت استفاده در تمام مراحل گاز رسانی)، زمان(زمان جمع آوری و آنالیز خطاهای انسانی)، آموزش(یادگیری نحوه تکمیل فرم کاربرگ و سهولت استفاده) (۳۲-۳۴).

یافته ها

در این مطالعه ابتدا آنالیز وظیفه ترتیبی (HTA) هریک از وظایف بحرانی به‌صورت دیاگرام رسم گردید. بر اساس روش HET دوازده نوع خطای طبقه بندی وجود دارد که با توجه به میزان احتمال و بحرانی بودن نیاز به تغییر در فرایند اجرای کار و ارائه راهکارهای مناسب جهت جلوگیری از این نوع خطا دسته بندی می شوند. نتایج بدست آمده از روش الگوی خطای انسانی(HET) نشان داد که دو نوع خطا در این روش نیازمند تغییر در فرایند کار می باشد: ارائه اطلاعات غلط و تاخیر انداختن کار. جدول ۳ نمونه‌ای از کاربرگ این روش را نشان داده است.

در مطالعه حاضر همچنین با استفاده از چک لیست SHERPA جمعا ۱۰۹ خطا برای عملیات گاز رسانی پیش بینی گردید. به علاوه بیشترین تعداد خطا در

جدول ۳. کاربرگ تکمیل شده مطابق روش HET

نوع خطا	توصیف خطا	شرح پیامد	احتمال بروز			میزان بحرانی بودن			رد	قبول
			کم	متوسط	زیاد	کم	متوسط	زیاد		
ناتوانی در اجرا	عدم اطلاعات تجربه کافی	خطوط اجرایی گازدار نمی‌شوند	*			*				*
انجام کار به‌صورت ناقص	عملیات تخلیه هوا فراموش شود یا به‌صورت ناقص انجام شود	مصدومیت در حین انجام عملیات برشکاری جهت وصل نمودن خطوط سرد به گرم	*				*			*
انجام کار در جهت اشتباه	باز و بسته نمودن شیر غیر مرتبط در عملیات تزریق گاز	قطع شدن گاز درمسیرهای غیر مرتبط و امکان آتش‌سوزی و انفجار در محل عملیات تاین		*			*			*
انجام کار نادرست	۱) عدم انجام گاز سنجی ۲) عدم حفاری کانال به شیوه صحیح ۳) عدم استفاده از اقلام ایمن در حین برشکاری و جوشکاری	۱) آتش‌سوزی و انفجار ۲) امکان سقوط و مصدومیت بجهت ریزش کانال ۳) آتش‌سوزی و انفجار به دلیل عدم استفاده از اقلام و ابزارآلات ایمن، حین انجام کار	*				*			*
وظیفه تکرار شده	عادی شدن شرایط و ناایمن انجام دادن عملیات	امکان آتش‌سوزی و انفجار که منجر به مصدومیت و یا فوت می‌گردد		*			*			*
اطلاعات غلط	مقدار نشت سنجی گاز غلط بیان شود	امکان آتش‌سوزی و انفجار که منجر به مصدومیت و یا فوت می‌گردد			*			*	*	
کار خیلی زود انجام‌شده	تعجیل در باز نمودن شیر تزریق گاز در مخالفت با دستورالعمل اجرایی	امکان آتش‌سوزی و انفجار که منجر به مصدومیت و یا فوت می‌گردد در صورت عدم دریافت گاز مطابق دستورالعمل اجرایی		*			*			*
کار خیلی دیر انجام‌شده	کانال روباز جهت انجام عملیات به مدت زیادی رها شود	امکان سقوط در کانال توسط اشخاص ثالث که منجر به مصدومیت آن‌ها می‌گردد			*			*	*	
کار خیلی زیاد انجام‌شده	خستگی ناشی از فعالیت‌های متفرقه در حین انجام عملیات تزریق گاز	امکان آتش‌سوزی و انفجار که منجر به مصدومیت و یا فوت می‌گردد		*			*			*
کار کم انجام‌شده	عدم اطلاعات کافی و تجربه لازم در این خصوص	امکان آتش‌سوزی و انفجار که منجر به مصدومیت و یا فوت می‌گردد	*				*			*
اطلاعات درست دریافت نشده	۱) مقدار فشار خطوط گازدار غلط بیان شود. ۲) اطلاعات رفرنس خطوط لوله گازدار جهت انجام حفاری درست نباشد	امکان آتش‌سوزی و انفجار که منجر به مصدومیت و یا فوت می‌گردد	*				*			*
سایر										

عملیات تاین و تزریق گاز مشاهده گردید. اصطلاح تاین به‌طورکلی برای توصیف اتصال یک خط لوله به سایر سیستم‌های خط لوله و یا اتصال بخش‌های مختلف یک خط لوله استفاده می‌شود (۳۵) که در مرحله نصب و راه‌اندازی آن بیشترین مخاطره را دارا می‌باشد.

جدول۴ وظایف بحرانی، تعداد و نوع خطاهای شناسایی‌شده را نشان می دهد. که خطاهای عملکردی بیشترین درصد وقوع خطا (۴۶/۷۸ ٪) را دارا می باشند، همان گونه که ملاحظه می شود پس از خطای عملکردی، خطاهای بازدیدی و خطای بازیابی به ترتیب کل خطاها را به خود اختصاص داده اند.

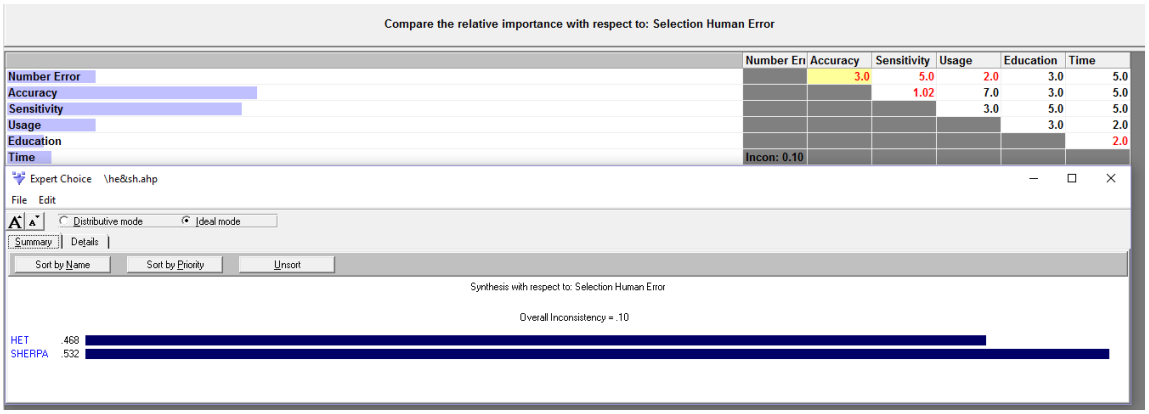
در مرحله بعد به منظور مقایسه روش های مذکور خطای انسانی از تکنیک AHP جهت تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی استفاده گردید. در این مرحله به تعیین اولویت هریک از عناصر تصمیم بااستفاده از اطلاعات ماتریس های مقایسات زوجی پرداخته شد . جهت محاسبه وزن های نسبی، ابتدا اعداد ماتریس های مقایسات زوجی نرمال سازی و سپس میانگین سطری محاسبه گردید. پس از تعیین وزن نسبی معیارها وزن نهایی روش های HET و SHERPA مشخص گردید. وزن های نسبی هریک از معیارهای زوجی به ترتیب صحت (۰/۳۳۹)، حساسیت(۰/۳۲۲)، تعداد خطا(۰/۱۱۸)، قابلیت کاربرد(

جدول ۴. وظایف بحرانی، تعداد و نوع خطاهای شناسایی‌شده

ردیف	وظیفه شغلی	عملکردی	بازدیدی	بازیابی	ارتباطی	انتخابی	تعداد کل خطاهای شناسایی‌شده
۱	قرار دادن لوله در داخل کانال	۱۰	۵	۲	-	۱	۱۸
۲	عایق‌کاری و تست پوشش	۱۸	۷	۲	-	۱	۲۸
۳	تاین و تزریق گاز	۱۵	۱۲	۷	۱	۱	۳۶
۴	گازدار نمودن خطوط	۸	۱۴	۵	-	-	۲۷

جدول ۵. نمونه‌ای از کار برگ تکمیل‌شده SHERPA

ردیف	وظیفه شغلی	نوع خطا	توصیف خطا	پیامدهای ناشی از خطا	سطح بحرانی	راهکارهای کنترلی
۱	گازدار نمودن خطوط	۱R	اطلاعات لازم در دسترس نیست.	خطوط اجرایی گازدار نمی‌شوند	B۳	صدور پرمیت حفاری
		۸A	انجام عمل موردنظر فراموش شود.	مصدومیت در حین انجام عملیات برشکاری جهت وصل نمودن خطوط سرد به گرم	C۲	
		۲C	بررسی به‌طور ناقص انجام می‌شود	امکان آتش‌سوزی و انفجار که منجر به مصدومیت و یا فوت می‌گردد.	A۱	



شکل ۲. مقایسه دو روش HET و SHERPA با استفاده از نرم افزار Expert Choice

۰/۱۱۶)، آنالیز زمان(۰/۰۵۶) و آموزش(۰/۰۵۰) رتبه بندی شده اند. همچنین نرخ ناسازگاری ماتریس ها مساوی ۱/ ۰بوده که نشان دهنده سازگاری قابل قبول در قضاوت ها می باشد (۳۱). نتایج بدست آمده از مقایسه زوجی معیارها هر دو روش خطاهای انسانی در شکل۲ نشان می دهد که وزن SHERPA برابر ۰/۵۳ و HET، ۰/۴۶ می باشد.

بحث

بیشتر خطاهای انسانی در صنعت نفت و گاز ناشی از نقص در طراحی تجهیزات، نقص در سیستم های مدیریتی یا فرایندهای کاری است (۱). خطای انسانی به دلیل منتهی شدن به حوادث ناگوار از اهمیت زیادی برخوردار است. به همین دلیل جهت پیشگیری و محدود ساختن پیامدهای ناشی از آن، شناسایی آنها لازم می

باشد. شناسایی موقعیت هایی که خطا می تواند در آنها رخ دهد و حذف کردن آنها به کمک مداخلات مناسب، می تواند پتانسیل خطای انسانی را کاهش دهد. لذا جهت انتخاب روشی مناسب برای تحلیل خطاهای انسانی ممکن است با گزینه های مختلفی سروکار داشته باشیم. فرایند تحلیل سلسله مراتبی کمک می نماید تا با ساده نمودن و هدایت مراحل تصمیم گیری، تصمیمات مناسبی را اتخاذ کرد (۳۶). به همین منظور معیارهایی جهت ارزیابی و مقایسه دو تکنیک انتخاب گردید. در میان معیارهای مورد مطالعه، معیار صحت بیش ترین وزن نسبی را در مقایسه با دیگر معیار ها در بر گرفت. این معیار به این اشاره دارد که اگر ارزیابی خطای انسانی چندین بار در شرایط یکسان تکرار شود نتایج مشابهی ارائه می گردد. معیار های بعدی که به ترتیب بیشترین وزن را داشتند شامل حساسیت، تعداد خطا، قابلیت کاربرد، آنالیز زمان و آموزش بودند.

در مطالعه حاضر با بررسی کاربرگ HET می توان دریافت که احتمال بروز اطلاعات غلطی که حین قرائت نشتی گاز بیان می گردد می تواند منجر به آتش سوزی و یا انفجار در عملیات گاز رسانی گردد. باتوجه به نتایج بدست آمده برای آنالیز خطاهای انسانی با استفاده از روش HET به آموزش کمتری جهت اجرا و مدت زمان کمتری نیازمند بوده در حالی که تعداد عوامل خطاهای شناسایی شده و قابلیت کاربرد آن در روش SHERPA بیشتر می باشد. به علاوه پژوهش حاضر نشان داد که روش SHERPA برای پیش بینی خطاهای انسانی در عملیات گاز رسانی مناسب می باشد که بیشترین خطاهای انسانی ای که در عملیات گازرسانی رخ داده است اکثرا از نوع خطای عملکردی می باشد که این خطاها بیشتر به شکل فراموش کردن یک وظیفه، انجام وظیفه به شکل ناقص و دیر یا زود عمل کردن به آن وظیفه می باشد. لذا چک لیست و دستورالعمل ها می توانند برای این مورد از خطا موثر واقع شوند. مطالعه حاضر نشان می دهد که وقوع خطاهای انسانی در اثر ترکیبی از عوامل شخصی، مدیریتی و سازمانی ، شرایط محیطی ، وجود یا عدم وجود دستورالعمل های کاری و... رخ می دهند به طوری که تنها هریک از موارد ذکر شده را نمی توان به عنوان عامل اصلی بروز خطاهای انسانی قلمداد کرد. کمترین نوع خطا، مربوط به خطای انتخاب است. همچنین از نقاط ضعف این روش این است که فقط به شناسایی نوع رفتاری خطا می پردازد و از شرایط محیطی اثرگذار برروی خطا اطلاعاتی نمی دهد.

محمدفام و همکاران (۱۳۹۳) درمطالعه ای با عنوان "مقایسه دو روش خطاهای انسانی Human HAZOP[9] و CREAM[10] بااستفاده از تحلیل سلسله مراتبی در اتاق کنترل واحدهای نمک زدایی و تقویت فشار گاز مارون" نشان داده اند که معیار بررسی حفاظت های موجود و تعداد علل شناسایی شده با وزن ۰/۹ بالاترین وزن و پس از آن به ترتیب نیازهای آموزشی جهت اجرا با وزن ۰/۸۸۸ ، زمان مورد نیاز برای آنالیز حادثه و هزینه آنالیز با وزن ۰/۸۵۷ و متخصصین فنی مورد نیاز با وزن ۰/۵ می باشد، که با در نظر گرفتن همه معیارهای انتخابی روش Human HAZOP با وزن ۰/۶۵۹ برتر از روش CREAM با وزن ۰/۳۳۴ معرفی شد(۳۳). در مطالعات مختلفی که خطاهای انسانی را بااستفاده از دو روش HET و SHERPA مورد بررسی قرار دادند، مشاهده گردید که حساسیت روش HET بیشتر از SHERPA بوده این در حالی است که در روش SHERPA مقدار خطای بیشتری مشاهده می گردد که با نتایج این مطالعه هم خوانی دارد (۲۳, ۳۴). در مطالعه دیگری Stanton و همکاران (۲۰۱۰) به پیش بینی خطای ناشی از طراحی در کابین خلبان هواپیما به روش HET و مقایسه آن با روش های HAZOP، SHERPA و HEIST پرداخته اند. نتایج نشان داد، حساسیت و پیش بینی خطای درست در روش HET امتیاز بیشتری نسبت به روش های دیگر داشته است (۳۷). بنابراین در این مطالعه مشخص شد که با توجه به ماهیت پیچیده و حساس عملیات گازرسانی، روش SHERPA در مقایسه با روش HET بهتر بوده

9 Human Error Hazard and Operability Study

10 Cognitive Reliability and Error Analysis Method

و قادر است که سطح قابل قبولی از شناسایی خطاهای انسانی را ارائه نماید. در این مطالعه با در نظر داشتن انواع خطاهای شناسایی شده و همچنین عوامل موثر بر آن ها بیشترین نوع خطای شناسایی شده از نوع عملکردی می باشد. از مهم ترین خطاهایی که در این عملیات شناسایی شدند عبارتند از عدم انجام وظیفه، انجام وظیفه دیرتر از موعد مقرر، انجام وظیفه شغلی به طور ناقص. به علاوه روش تحلیل سلسله مراتبی که در پژوهش حاضر مورد استفاده قرارگرفته به دلیل شباهت به فرایند تفکر انسان، روشی مطلوب جهت انتخاب گزینه بهینه است. به علاوه می تواند به مدیران ایمنی در انتخاب روش های شناسایی خطای انسانی در سازمان کمک کند که اولویت های انتخاب خود را درک کنند. لذا بایستی به تجربه کارشناسان در انتخاب معیارها توجه ویژه ای گردد (۳۲).

از محدودیت های این مطالعه می توان به این موارد اشاره نمود: روش تحلیل سلسله مراتبی روشی است که تنها برای تصمیم گیری های سازگار به کار می رود این درحالی است که یکی از مشکلات تصمیم گیری ایجاد تناقض در آن می باشد. به علاوه عدم صحت درستی خطا توسط اپراتور در روش های ارزیابی خطا در عملیات گازرسانی می باشد. جهت تحقیقات آتی پیشنهاد می گردد که مقایسه بین نتایج حاصل از سایر روش های کمی خطای انسانی و یا بین روشهای کمی و کیفی خطای انسانی صورت گیرد. همچنین جهت کاهش مشکل بکارگیری قضاوت های ذهنی در این روش از روش های ترکیبی فازی مانند AHP/DEA استفاده گردد.

نتیجه گیری

در مطالعه حاضر به مقایسه دو تکنیک ارزیابی خطای انسانی HET و SHERPA با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی AHP در عملیات گازرسانی پرداخته شده است. همانگونه که نتایج نشان داد از بین معیارهای مذکور، صحت تکنیک خطای انسانی دارای بالاترین اهمیت بوده و آموزش (یادگیری نحوه تکمیل فرم کاربرگ و سهولت استفاده) از کم ترین اهمیت برخوردار می باشد. هم چنین با توجه به وزن معیارها روش SHERPA به عنوان روش اثربخش و کارامد خطای انسانی در عملیات گازرسانی مطرح گردید.

تشکر و قدردانی

این طرح با کد اخلاق IR.AJUMS.REC.1398.483 در معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز به ثبت رسیده است. بدین وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تقدیر و تشکر می گردد. همچنین نویسندگان از مدیریت شرکت گاز کردستان، مدیریت HSE و کلیه عزیزانی که در این طرح همکاری و مشارکت داشته اند کمال تشکر را دارد.

REFERENCES

1. Attwood DA, Deeb JM, Danz-Reece ME. Ergonomic solutions for the process industries. New York: Gulf Professional Publishing; 2004.
2. De Winter J, Dodou D. The Driver Behaviour Questionnaire as a predictor of accidents: A meta-analysis. Journal of safety research. 2010;41(6):463-70.
3. Radley DC, Wasserman MR, Olsho LE, Shoemaker SJ, Spranca MD, Bradshaw B. Reduction in medication errors in hospitals due to adoption of computerized provider order entry systems. Journal of the American Medical Informatics Association. 2013;20(3):470-6.
4. Vilchez JA, Sevilla S, Montiel H, Casal J. Historical analysis of accidents in chemical plants and in the transportation of hazardous materials. Journal of Loss Prevention in the process Industries. 1995;8(2):87-96.
5. Zarei E, Azadeh A, Khakzad N, Aliabadi MM, Mohammadfam I. Dynamic safety assessment of natural gas stations using Bayesian network. Journal of hazardous materials. 2017;321:830-40.
6. Jensen RC. Risk Reduction Methods for Occupational Safety and Health: John Wiley & Sons; 2012.
7. Ramiro JS, Aisa PB. Risk analysis and reduction in the chemical process industry: Springer Science & Business

Media; 2012.
8. Feyer A-M, Williamson AM, Cairns DR. The involvement of human behaviour in occupational accidents: errors in context. Safety Science. 1997;25(1):55-65.
9. Brauer R. Safety and Health for Engineers "John Wiley & Sons. Inc œ 2nd Ed. 2006.
10. Strauch B. Investigating human error: Incidents, accidents, and complex systems: CRC Press; 2017.
11. MR M. Reviewing the Occupational Accidents of Iran in 2002. Safety at Shores Conference; Feb; Tehran, Iran 2003. [Persian].
12. Diehl A. The effectiveness of training programs for preventing aircrew'error'. International Symposium on Aviation Psychology, 6 th, Columbus, OH; 1991.
13. Jensen RS. The boundaries of aviation psychology, human factors, aeronautical decision making, situation awareness, and crew resource management. The international journal of aviation psychology. 1997;7(4):259-67.
14. Kirwan B. A practical guide to human reliability assessment. Taylor and Francis. 1994.
15. Habibi A. Applied Safety And performance indicators. Hamadan: Fan Avaran Publication; 1383. [Persian].
16. MURÍNOVÁ L, ŠINOVSKÝ J. Human Reliability Control–Cognitive Approach. Economics and Management. Berno University, Czech Republic. 2011:18.
17. Mahdavi S, Hedari Farsani E, Tajvar A. Identification and Assessment of Human Error Due to design in damagingto the Sour Water Equipment and SRP Unit of Control Room in A Refinery Plant using SHERPA Technique. Journal of Health and Safety at Work. 2013;2(4):61-70.
18. Embrey D. Task analysis techniques. Human reliability associates Ltd. 2000.
19. Habibi Ea, Gharib Sa, Mohammadfam I, Rismanchian M. Human Error Assessment And Management Among Isfahan Oil Refinery Control Room Operators By Sherpa Technique. 2011;7(4):1-10.
20. Halvani G, Mehrparvar AH, Shamsi F, Rafieenia R, Khani Mouseloo B, Ebrahimi G. Risk assessment of human error among Mohr City, Parsian Gas refinery company control room operators using systematic human error reduction and prediction approach SHERPA in 2016. Occupational Medicin Quarterly Journal. 2017;9(3):32-44.
21. Salmon P, Stanton N, Baber C, Walker G, Green D. Human factors design and evaluation methods review. Human Factors Integration Defence Technology Report. 2004:1-586.
22. Salmon P, Stanton N, Young M, Harris D, Demagalski J, Marshall A, et al. Predicting Design Induced Pilot Error: A comparison of SHERPA, Human Error HAZOP, HEIST and HET, a newly developed aviation specific HEI method. Human Centred Computing: Theory and Practice. 2003:567-71.
23. Tajdinan S, Afshari D. Checking of human errors in Ancoiler Device Control Room of Ahvaz Pipe Mill using SHERPA and HET methods in 1390. Iran Occupational Health. 2013;10(3).[Persian].
24. Hajihossieni A. Human Error Engineering Part 1. Tehran: Fan avaran; 1389.[Persian].
25. Stanton NA, Salmon P, Walker G. Human factors design methods review. U.K. Minsitry of Defence Scientific Research Programme.HFIDTC/WP1.3.2/1. 2003.
26. Stanton N, Salmon P. Human factors design & evaluation methods review review-Human error identification techniques"SHERPA" 1ed, Alvington 2004; 140-8.
27. Kermani A, Mazloumi A, Kazemi Z. Identification Of Nurses' Errors In The Emergency Ward, Using Sherpa Technique. International Journal Of Occupational Hygiene. 2016;8(1):54-61.
28. Saaty TL. An exposition of the AHP in reply to the paper "remarks on the analytic hierarchy process". Management science. 1990;36(3):259-68.
29. Tanha F, Rangkooy H, Marzban M, Kazemi E, Rasoolykalamaki F, Debiehkhosravi A. An Approach To The Control Management Of Gaseous Pollutants Emissions From Power Plants Using Analytic Hierarchy Process (Ahp). International Journal Of Occupational Hygiene. 2015;7(1):27-31.
30. McDonald MA, Lipscomb HJ, Bondy J, Glazner J. Safety is everyone's job: The key to safety on a large university construction site. Journal of Safety Research. 2009;40(1):53-61.
31. Mamat NJZ, Daniel JK. Statistical analyses on time complexity and rank consistency between singular value decomposition and the duality approach in AHP: A case study of faculty member selection. Mathematical and Computer Modelling. 2007;46(7):1099-106.
32. Petruni A, Giagloglou E, Douglas E, Geng J, Leva MC, Demichela M. Applying Analytic Hierarchy Process

(AHP) to choose a human factors technique: Choosing the suitable Human Reliability Analysis technique for the automotive industry. Safety Science. 2019; 119:229-239.

33. Zangeneh Mf, Varshosaz. Comparison of two human error methods using the hierarchical analysis process in the control room of desalination units. First National Conference on Environmental Health; Hamedan.2014.
34. Stanton NA, Salmon P, Harris D, Marshall A, Demagalski J, Young MS, et al. Predicting pilot error: testing a new methodology and a multi-methods and analysts approach. Applied ergonomics. 2009;40(3):464-71.
35. Schwengler P, E.ON Ruhrgas AG. Automiated tie-in-NEW TIE-IN TECHNOLOGY FOR PIPELINE CONSTRUCTION. 23rd World Gas Conference; 2006; Pipelines Competence Centre Germany.
36. Mahboobe E, Golmohamadi R, Riahi Korram M. Prioritizing of Noise Control Methods in the Hamadan Glass Company by the Analytical Hierarchy Process (AHP). Journal of Health and Safety at Work. 2012;2(1):75-84.
37. Stanton NA, Harris D, Salmon PM, Demagalski J, Marshall A, Waldmann T, et al. Predicting design-induced error in the cockpit. Journal of aeronautics, astronautics and aviation. 2010;42(1):1-10.