Iran Occupational Health

Original Article

Iran Occupational Health. 2020 (12 Dec);17:57.

http://ioh.iums.ac.ir

A Framework for Quantitative Assessment of Socio-Technical Resilient Systems using Multiple Criteria Decision Making (MCDM): A Case Study in an Oil Site

Gholam Abbas Shirali, (*Corresponding author), Associate Professor, Occupational Safety and Health Engineering, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran. shirali@ajums.ac.ir

Yaser Tahmasebi Birgani, Assistant Professor, Environmental Health Engineering, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.

Davood Afshari, Associate Professor, Occupational Safety and Health Engineering, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.

Liela Mohammad Salahi, B.Sc., Department of Health, Safety and Environment of NIOPDC, Ahvaz, Iran.

Abstract

Background: Today, the major problem in the field of industrial safety is that most traditional risk assessment and safety management methods alone do not meet the needs of modern technologies and complex industries. In other words, traditional methods, such as risk analysis and probability safety assessment, are in practice capable of do not provide many of the solutions needed for today's industries. There are various reasons for this claim, the most important of these reasons are their roots in the very simple models of the incident as a cause-effect chain. Therefore, there is an urgent need for new approaches in risk assessment and safety management, and resilience engineering (RE) has been proposed as a remedy to satisfy that need. Resilience Engineering is the new window which uses the insights from research on failures in complex systems, organizational contributors to risk, and human performance to develop engineering practices including measures of sources of resilience, decision support for balancing production/safety tradeoffs, and feedback loops that enhances the organization's ability to monitor/revise risk models and to target safety investments. Therefore, RE was defined as: "The intrinsic ability of a system to adjust its functioning prior to, during, or following changes and disturbances, so that it can sustain required operations under both expected and unexpected conditions."However, the purpose of this study is to provide a framework for assessing the resilience of socio-technical systems based on the Multi Criteria Decision Making (MCDM).

Methods: In this research, after identifying the indicators of resilience through reviewing the literature and interviewing experienced industry experts, information on these indicators in the operating units of the industry was obtained through a semi-structured interview with 16 experienced operators whose average working experience was more than 10 years. Semi-structured interview is a meeting in which the interviewer does not strictly follow a formalized list of questions. They will ask more open-ended questions, allowing for a discussion with the interviewee rather than a straightforward question and answer format. Interview topics included buffering capacity with 29, safety margins with 24, system tolerance with 10, cross-scale interactions with 5, learning from accidents, incidents and normal works with 16, system flexibility with 24, anticipation of expected and unexpected events with 6, attention to problems in the system with 10 and proper and timely response to them with 11

Keywords

Resilience

Safety

Risk

Assessment

Cocio-technical

Received: 2019-04-23

Accepted: 2020-03-18

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

topics. Then, the Principal Component Analysis (PCA) was used to determine the weight of the indicators and the Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) method was used to determine the ranking of different units. The Minitab version 16 and MATLAB software was used to process the collected data.

Results: The results showed that the three indicators of buffering capacity (0.43), Attention (0.39) and learning culture (0.36) have highest weight and rank and the indicators of tolerance (0.26) and cross-scale interactions (0.21) have the lowest weight and rank. In addition to strengthening the weak indicators, the management of the organization should also make a lot of efforts to promote and develop the desired indicators in accordance with the principles of resilience engineering. For example, identifying safety margins, reducing stress, reducing uncertainties in work processes, identifying worn-out systems and equipment and types of threats can improve the system's tolerance index. In this context, the cross-scale interactions can also be improved through effective interactions between individuals, groups, and different sections, attention to competency-based education, training and experience and positive and effective communication. Accordingly, operational units 2, 3 and 11 also ranked the best in terms of resilience indicators. Also by examining the rankings based on the similarity to ideal solution, it was found that the lowest distance from the positive ideal solution and the highest distance from the negative ideal solution was related to unit 11 and unit 6, respectively. Therefore, unit 11 get less priority to improve than other units, and unit 6, which has the lowest similarity to ideal solution, has a higher priority for improvement.

Conclusion: The study showed that considering the nature of risk and its complexity in socio- technical systems, it is no longer possible to identify those using traditional methods. Hence, there is an enormous need for further development in risk assessment tools and safety management systems. This requires to an insight that pushes management beyond traditional counts of negative occurrences and finds new types of leading indicators that reflect critical aspects of an organization's resilience. Furthermore, the results of indicators analysis and unit ranking showed that PCA and TOPSIS may be a reasonable and practical alternative for evaluating resilience of complex systems. Because they can identify the strengths and weaknesses of the system in terms of resilience and based on input information. Therefore, the managers and decision makers of the industry will be able to use the results of this research as an important step in improving and enhancing the industry's resilience and safety.

Conflicts of interest: None

Funding: None

How to cite this article:
Gholam Abbas Shirali, Yaser Tahmasebi Birgani, Davood Afshari, Liela Mohammad Salahi. A Framework for Quantitative Assessment of Socio-Technical Resilient Systems using Multiple Criteria Decision Making (MCDM): A Case Study in an Oil Site. Iran Occupational Health. 2020 (12 Dec);17:57.

This work is published under CC BY-NC-SA 3.0 licence

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

سلامت کار ایران
دوره ۱۷ - ۵۷/۱۳۹۹
مقاله پژوهشی
http://ioh.iums.ac.ir

ارائهٔ الگویی برای ارزیابی کمّی تاب آوری سیستم های فنی ـ اجتماعی با استفاده از مدل های تصمیم گیری چندمعیاره: مطالعهٔ موردی در یکی از سایت های نفتی

غلامعباس شیرالی: (* نویسنده مسئول) دانشیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای و ایمنی کار، دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز، اهواز، ایران. shirali@ajums.ac.ir
یاسر طهماسبی: استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز، اهواز، ایران.
داود افشاری: دانشیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای و ایمنی کار، دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز، اهواز، ایران.
لیلا محمدصلاحی: کارشناس، اداره HSE شرکت پخش فرآوردهای نفتی اهواز، اهواز، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: مشکل عمده در حوزهٔ ایمنی صنعتی این است که اکثر روش های سنتی ارزیابی ریسک و مدیریت ایمنی به‌تنهایی جواب‌گوی نیاز تکنولوژی و صنایع پیچیدهٔ امروزی نیستند؛ به عبارت دیگر، روش های سنتی، نظیر آنالیز ریسک و ارزیابی احتمال ایمنی، در عمل قادر به ارائهٔ بسیاری از راه‌حل های مورد نیاز برای صنایع امروزی نیستند. برای این ادعا دلایل مختلفی وجود دارد؛ ازجمله مهم ترینشان ریشه داشتن آن‌ها در مدل های بسیار سادهٔ حادثه به‌عنوان زنجیرهٔ دلیل ـ اثر است. با این توصیف، هدف این پژوهش ارائهٔ الگویی برای ارزیابی تاب آوری سیستم های فنی ـ اجتماعی مبتنی بر مدل های تصمیم گیری چندمعیاره بود.

روش بررسی: پس از شناسایی شاخص های تاب آوری از طریق بررسی متون و مصاحبه با کارشناسان مجرب این صنعت، اطلاعات مربوط به این شاخص ها در واحدهای عملیاتی صنعت مذکور از طریق مصاحبهٔ نیمه‌ساختاریافته با ۱۶ نفر از اپراتورهای باتجربه که میانگین سابقهٔ کاری آن‌ها بیش از ۱۰ سال بود، جمع آوری گردید. موضوعات مصاحبه در حیطه های ظرفیت ضربه گیری سیستم، حاشیه های ایمنی، تحمل سیستم، تعاملات متقابل چندسویه، درس گرفتن از رویدادهای ناگوار و همچنین رویدادها و فعالیت های عادی، انعطاف پذیری سیستم، پیش بینی رویدادهای مترقبه و غیرمترقبه، توجه به مسئلهٔ پیش‌آمده در سیستم و پاسخ بموقع و مناسب تعیین گردید. سپس برای تعیین وزن شاخص ها از روش آنالیز مؤلفهٔ اصلی و برای تعیین رتبهٔ واحدهای مختلف از روش تاپسیس استفاده شد.

یافته ها: نتایج آنالیز شاخص ها نشان داد سه شاخص ظرفیت ضربه گیری (۰/۴۳)، توجه (۰/۳۹) و فرهنگ آموختن (۰/۳۶) دارای بیشترین وزن و رتبه و شاخص های تحمل (۰/۲۶) و تعاملات متقابل چندسویه (۰/۲۱) دارای کمترین وزن و رتبه بود. بر این اساس، واحدهای ۱۱، ۳ و ۲ نیز بهترین رتبه را از نظر شاخص های تاب آوری به خود اختصاص دادند. همچنین با بررسی رتبه های به‌دست‌آمده که مبتنی بر نزدیکی مقدار شاخص مورد نظر به راه حل ایدئال است، مشخص شد کمترین فاصله از راه‌حل ایدئال مثبت مربوط به واحد ۱۱ و بیشترین فاصله از راه‌حل ایدئال منفی مربوط به واحد ۶ است. بنابراین واحد ۱۱ نسبت به سایر واحدها در اولویت کمتری برای اصلاح قرار می گیرد و واحد ۶ که کمترین شاخص نزدیکی را دارد، در اولویت بیشتری برای اصلاح نسبت به سایر واحدها قرار دارد. بر این اساس، واحدهای ۲، ۳ و ۱۱ بهترین رتبه را از نظر شاخص های تاب آوری دارند و واحدهای ۶ ۷ و ۸ ضعیف ترین رتبه را از نظر این شاخص ها به خود اختصاص دادند.

نتیجه گیری: نتایج آنالیز شاخص ها و رتبه‌بندی واحدها نشان داد روش آنالیز مؤلفهٔ اصلی (PCA) و روش ترجیح براساس مشابهت به راه‌حل ایدئال (TOPSIS) برای ارزیابی تاب آوری سیستم های پیچیده گزینه های قابل قبولی محسوب می شوند؛ زیرا به‌خوبی ضعف‌ها و قوّت‌های سیستم را از نظر تاب آوری و براساس اطلاعات ورودی دراختیار محقق قرار می دهند. بنابراین مدیران و تصمیم گیران صنعت مذکور می توانند با استناد به نتایج این مطالعه، نه‌تنها ضعف‌های خود، بلکه قوّت‌های صنعت خود را از دیدگاه مهندسی تاب آوری شناسایی کنند و درجهت بهبود و ارتقای آن‌ها با تدوین برنامه های فنی و کاربردی جامع اقدام نمایند.

تعارض منافع: گزارش نشده است.

منبع حمایت کننده: ندارد.

کلیدواژه‌ها
تاب آوری
ایمنی
ریسک
ارزیاب
فنی ـ اجتماعی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۲۸

شیوه استناد به این مقاله:

Gholam Abbas Shirali, Yaser Tahmasebi Birgani, Davood Afshari, Liela Mohammad Salahi. A Framework for Quantitative Assessment of Socio-Technical Resilient Systems using Multiple Criteria Decision Making (MCDM): A Case Study in an Oil Site. Iran Occupational Health. 2020 (12 Dec);17:57.

*انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با CC BY-NC-SA 3.0 صورت گرفته است

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

مقدمه

درحال حاضر، مشکل عمده در حوزۀ ایمنی صنعتی این است که اکثر روش های سنتی ارزیابی ریسک و مدیریت ایمنی به‌تنهایی جواب‌گوی نیاز تکنولوژی و صنایع پیچیدۀ امروزی نیستند؛ زیرا روش های سنتی در زمان ارزیابی، سیستم ها یا سازمان ها را استاتیک فرض می‌کنند و بر این اساس، اقدام به آنالیز ریسک می نمایند (۱)؛ ولی وقوع حوادث شدید در صنایع مختلف و پیچیده نشان داده است سیستم ها یا سازمان ها دارای خاصیت پویا بوده و درنتیجه به‌طور مرتب درحال تغییر و تحول‌اند. (۲ـ۴) بر این اساس، روش های سنتی، نظیر آنالیز ریسک و ارزیابی احتمال ایمنی، در عمل قادر به ارائۀ بسیاری از راه‌حل های مورد نیاز برای صنایع امروزی نیستند. (۵) برای این ادعا دلایل مختلفی وجود دارد که مهم ترینشان ریشه داشتن آن‌ها در مدل های بسیار سادۀ حادثه به‌عنوان زنجیرۀ دلیل ـ اثر است. نتایج تحقیقات دربارۀ نقص ها در سیستم های پیچیده و عوامل تأثیرگذار سازمانی و انسانی بر ریسک نشان می دهد ایمنی دارای خصوصیت تکوینی است، نه ویژگی منتج از سیستم؛ لذا نمی توان فقط از طریق ملاحظۀ اجزای تشکیل‌دهندۀ سیستم، آن را پیش بینی کرد. ایمنی نتیجۀ فعالیتی است که سیستم انجام می دهد، نه آن چیزی (تجهیزات و وسایل) که سیستم دارد (۵ـ۶)؛ یعنی تلاش در فهم این نکته که چگونه یک سیستم می تواند به‌طور فعال اطمینان یابد که فرایندهای خود را تحت کنترل دارد. بر این اساس و برای نیل به این هدف، سیستم ها به‌جای آنکه قابل اطمینان باشند، باید تاب آور طراحی شوند؛ به عبارت دیگر، در طراحی سیستم ها تنها به قابلیت اطمینان آن‌ها (کاهش احتمال نقص تا حد قابل قبول) توجه داشتن، کافی نیست؛ بلکه آن‌ها باید تاب آور باشند و قابلیت بازیابی تغییرات غیرعادی، اختلالات و نابسامانی شرایط کاری مورد انتظار را داشته باشند. با این توصیف، درحالی که سیستم های فنی ـ اجتماعی به‌سرعت درحال پیشرفت هستند (۸) و این روند نیز ادامه دارد، مجموعۀ کاملی از روش ها برای مدیریت مؤثر ایمنی پابه‌پای آن توسعه نیافته است. (۷ـ۸) بنابراین نیاز روشنی به رویکردهای جدید برای ارزیابی ریسک و مدیریت ایمنی احساس می شود و مهندسی تاب آوری به‌منزلۀ راه‌حلی در پاسخ به این نیاز در عرصۀ علوم مهندسی ظهور کرده است.

روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)[1]، ازجمله روش ترجیح براساس مشابهت به راه‌حل ایدئال (TOPSIS)[2]، امروزه کاربرد فراوانی در پژوهش‌های مختلف دارند. (۹ـ۱۰) از این تکنیک می‌توان برای رتبه بندی و مقایسۀ گزینه های مختلف و انتخاب بهترین گزینه و تعیین فواصل بین گزینه ها و گروه بندی آن‌ها استفاده نمود. از مزیت های این روش آن است که معیارها یا شاخص های به‌کاررفته برای مقایسه می توانند دارای واحدهای سنجش متفاوتی باشند و طبیعت منفی و مثبت داشته باشند. به عبارات دیگر، می توان از شاخص های منفی و مثبت به‌شکل ترکیبی در این تکنیک استفاده کرد.

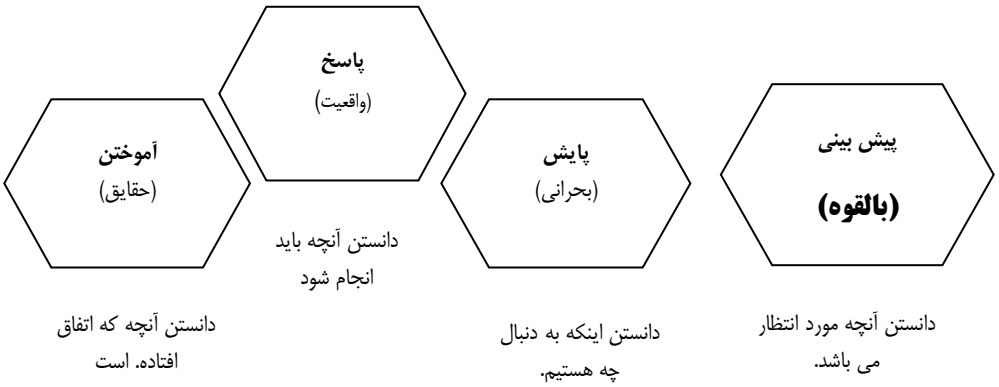
در مطالعه ای که در سال ۲۰۱۷ جعفری و همکاران انجام دادند، با استفاده از روش تاپسیس فازی به رتبه بندی شاخص های مهندسی تاب آوری در یک مجتمع پالایشگاهی اقدام گردید و وزن و رتبۀ شاخص تعیین و تحلیل شد. (۱۱) شیرالی و همکاران در سال ۲۰۱۹ مطالعه ای به‌منظور ارزیابی شاخص های تاب آوری با استفاده از روش ANP در یک شرکت فلزی انجام دادند و براساس آن توانستند علاوه‌بر تعیین وزن شاخص ها، اثر آن‌ها بر یکدیگر را نیز مورد تحلیل قرار دهند. (۱۲) با این توصیف، می‌توان نتیجه گرفت کاربرد روش های تصمیم گیری چندمعیاره در حوزه های مختلف علوم حائز اهمیت بسیاری است.

مفهوم تاب آوری

اولین بار هلینج، استاد بازنشستۀ دانشگاه فلوریدا در علوم اکولوژی، این تئوری را ارائه کرد. (۱۳) بعدها اریک هلنگل (۱۹۹۶) آن را وارد عرصۀ مهندسی ایمنی صنعتی کرد. تاکنون تعاریف مختلفی در حوزه های اجتماعی، اقتصادی، سازمانی و فنی برای تاب آوری بیان شده؛ اما یکی از تعاریف رایج و کاربردی آن در حوزۀ ایمنی سیستم ها به این شرح است (۱۴): توانایی ذاتی سیستم برای تطابق عملکرد خود قبل، در حین یا متعاقب تغییرات و اختلالات، به‌طوری که سیستم بتواند فعالیت های ضروری‌اش را در شرایط قابل انتظار و غیرقابل انتظار حفظ کند. هدف از تاب‌آوری براساس تعریف بالا این است که چگونه تاب آوری را در یک سیستم ایجاد کنیم. نکتۀ

1 Multiple Criteria Decision Making
2 Technique for the Order of Preference by Similarity to an Ideal Solution

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



شکل ۱ـ اجزای اصلی مهندسی تاب آوری (۱۶)

کلیدی در تعریف پیش‌گفته توانایی سیستم برای تطابق عملکرد خود با شرایط متغیر است. چهار عامل اصلی که هرکدام بیانگر یک ویژگی ضروری از سیستم است (۱۵ـ۱۶)، در شکل ۱ آمده است.

بنابراین با توجه به چهار عامل اصلی فوق، تاکنون چندین شاخص برای ارزیابی وضعیت تاب آوری سیستم های فنی ـ اجتماعی تعریف شده که شش تا از مهم ترین و کاربردی ترین آن‌ها به شرح زیر است:

- **ظرفیت ضربه گیری:** نوع یا مقدار اختلالی که سیستم بدون اینکه نقصی اساسی در عملکردش به‌وجود آید، می تواند جذب کند و درنتیجه عملکرد خود را با شرایط متغیر تطابق دهد. (۱۷)
- **حاشیه:** سیستم در چه فاصله ای یا با چه میزان خطر در کنار مرزهای دیگر (عملکرد) فعالیت می‌کند.
- **تحمل:** چگونه سیستم نزدیک یک مرز فعالیت می کند؟ آیا سیستم می تواند در زمانی که فشارها و استرس های فزاینده بیشتر از ظرفیت تطابق آن است، آن‌ها را به‌طور مطلوبی تعدیل کند. (۱۷)
- **تعاملات متقابل چندسویه:** تعامل بین معیارها و مقیاس های مختلف در یک سیستم چگونه است. (۱۷)
- **آموختن:** تا چه اندازه سیستم برای پاسخ به وقایع و مشکلات از انکار به‌جای اصلاح استفاده می‌کند؟ به عبارت دیگر، آیا سیستم اشتباهات را می‌پذیرد و سعی می‌کند از آن‌ها درس بگیرد یا اینکه آن‌ها را تکذیب می‌کند. (۶، ۱۸)
- **انعطاف‌پذیری:** این حالت به توانایی سازمان برای تطابق با مشکلات پیچیده و جدید با تأکید بر حل مشکل و عدم ایجاد اختلال در کل عملکرد اطلاق می شود. (۵)
- **پیش بینی:** به توانایی سیستم در شناسایی انواع تهدیدهای مکرر، غیرمکرر و بی‌سابقه، یا به عبارت دیگر تهدیدهای قابل پیش بینی و غیرقابل پیش بینی اشاره دارد. (۱۶)
- **توجه:** توجه به چگونگی پایش رویدادی که می تواند در آیندۀ نزدیک به یک تهدید تبدیل شود یا رویدادی که در آیندۀ نزدیک یک تهدید است، اشاره می‌کند. برای این کار سیستم نیازمند شایستگی و زمان لازم است. (۱۶)
- **پاسخ:** شناسایی دقیق تهدید و تشخیص اینکه برای کنترل آن چه اقدامی باید انجام داد. برای دادن پاسخ مناسب به هر خطر یا تهدیدی نیاز به منابع کافی است. (۱۶)

با این توصیف، در این پژوهش سعی شده است تا با استفاده از شاخص های مذکور اقدام به ارائۀ الگویی جهت ارزیابی تاب آوری یک سیستم فنی ـ اجتماعی گردد.

روش بررسی

حجم نمونه و روش جمع آوری داده ها

در این پژوهش، ۱۶ نفر از پرسنل باتجربۀ صنعت مورد نظر به‌صورت اتفاقی انتخاب و مورد مصاحبه قرار گرفتند. روش هایی که برای جمع آوری اطلاعات مورد نیاز این تحقیق استفاده شد، عبارت بودند از: مصاحبۀ نیمه‌ساختاریافته (در این روش از مصاحبه، محقق به‌جای دراختیار داشتن تعداد محدودی سؤال، چارچوبی از موضوعات مختلف را برای کاوش دراختیار دارد و با استفاده

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

از این موضوعات، اطلاعات مورد نیاز را جمع آوری می‌کند (۱۹ـ۲۰)) با پرسنل، تجزیه و تحلیل اسناد و مدارک، کار گروهی و مکالمه های غیررسمی و دوستانه. برای این منظور، موضوعات مصاحبه در ۹ بخش طراحی گردید که شامل ۹ مؤلفهٔ اصلی مهندسی تاب آوری است. موضوعات مصاحبه در حیطه های ظرفیت ضربه گیری سیستم (۲۹ عنوان مصاحبه)، حاشیه های ایمنی (۲۴ مصاحبه)، تحمل سیستم (۱۰ مصاحبه)، تعاملات متقابل چندسویه (۵ مصاحبه)، درس گرفتن از رویدادهای ناگوار و همچنین رویدادهای مطلوب (۱۶ مصاحبه)، انعطاف پذیری سیستم (۲۴ مصاحبه)، پیش بینی رویدادهای مترقبه و غیرمترقبه (۶ مصاحبه)، توجه به مسئلهٔ پیش‌آمده در سیستم (۱۰ مصاحبه) و پاسخ بموقع و مناسب (۱۱ مصاحبه) تعیین گردید. مشاهدهٔ فعالیت های کاری در عرصه های عملیاتی نیز صورت گرفت؛ اگرچه در سیستم های فنی ـ اجتماعی پیچیده دورهٔ فعالیت ها معمولاً طولانی است؛ به‌طوری که نمی توان همهٔ آن‌ها را در یک دورهٔ زمانی مشاهده کرد. با این حال، تجربهٔ پرسنل عملیاتی و بررسی سوابق موجود تا حدود زیادی باعث کم‌رنگ شدن این مشکل گردید. پس از جمع آوری اطلاعات با استفاده از روش های مذکور و امتیازگذاری پاسخ ها (از ۱ تا ۵) (۲۱) اقدام به آنالیز اطلاعات با استفاده از روش آنالیز مؤلفهٔ اصلی و تاپسیس شد.

آنالیز مولفهٔ اصلی

این روش برای اولین بار توسط پیرسون (۱۹۰۱) پیشنهاد و سپس به‌وسیلهٔ هالتینگ (۱۹۳۳) توسعه یافت. در این روش، مؤلفه های اصلی براساس ترکیبات خطی از X_1،...، X_p شاخص های جدید و مستقلی ارائه می دهند که برمبنای آن‌ها می توان واحدها را رتبه بندی کرد. (۲۲ـ۲۳) بنابراین، این روش جهت به‌دست آوردن ملاک های مستقل که ترکیبات خطی متفاوتی از X_p ،...، X_1 هستند، مورد استفاده قرار می گیرد. در این حالت می توان مؤلفه های اصلی را به‌وسیلهٔ مقادیر ویژه (Eigenvalue) برای محاسبهٔ X_{mk} ترکیب کرد. برای محاسبهٔ PCA به‌صورت زیر عمل می‌شود:

۱. محاسبهٔ میانگین بردارهای نمونه ($\bar{x}$) و ماتریس کوواریانس S.

$$\bar{x} = \left(\bar{x}_1,\ldots,\bar{x}_p\right)_{1\times p} \qquad (۱)$$

که،

$$\bar{x}_j = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} x_{ij} \qquad j = 1,\ldots,p \qquad (۲)$$

$$S = \left(s_{jq}\right)_{p\times p} = \frac{1}{k-1}\left(X-\bar{x}\right)^T\left(X-\bar{x}\right) \qquad (۳)$$

$$q = 1,\ldots,p$$

۲. محاسبهٔ ماتریس هم‌بستگی.

$$R = \frac{C_1}{\sqrt{s_{jj}}} \times \frac{SC_1}{\sqrt{s_{jj}}} \qquad (۴)$$

که $\frac{C_1}{\sqrt{s_{jj}}}$ یک ماتریس متعامد p×p با مؤلفهٔ تعامد j ام برابر با $\frac{1}{\sqrt{s_{jj}}}$ برای j=1,...,p

۳. حل معادلهٔ زیر به‌منظور به‌دست آوردن مقادیر ویژه و بردارهای ویژهٔ ماتریس R

$$\left|R-\lambda I_p\right| = 0 \qquad (۵)$$

که I_p یک ماتریس یکه ی p×p و λ مقادیر ویژه است. بنابراین می توان P مقدار ویژهٔ مرتب‌شدهٔ $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \ldots \geq \lambda_p$ را به‌دست آورد؛ به‌طوری که $\sum_{j=1}^{p}$. همچنین می توان P بردار ویژهٔ $(l_{m1},\ldots,l_{mp})(m=1,\ldots,p)$ را تعیین کرد. این بردارهای ویژه مؤلفه های اصلی Y_i را ارائه می دهند. مؤلفه ها در بردارهای ویژه به‌ترتیب ضرایب در هر Y_i عبارت‌اند از:

$$Y_m = \sum_{j=1}^{p} l_{mj}\hat{x}_{ij} \qquad m = 1,\ldots,p\ , \quad i = 1,\ldots,k. \qquad (۶)$$

۴. محاسبهٔ وزن (w_i) و امتیاز مؤلفه های اصلی برای هر واحد تصمیم گیری (DMU). برای محاسبهٔ این وزن ها به این صورت عمل می شود:

$$w_j = \frac{\lambda_j}{\sum_{j=1}^{p}\lambda_j} = \frac{\lambda_j}{p}\ ,\ j = 1,\ldots,p \qquad (۷)$$

$$z_i = \sum_{j=1}^{p} w_j Y_j\ , \qquad i = 1,\ldots,k \qquad (۸)$$

که z_j معرف امتیاز زام واحدهای تصمیم گیری

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

(DMUs) است. در این مطالعه، برای محاسبهٔ وزن مؤلفهٔ اصلی شاخص ها از نرم‌افزار Minitab (نسخهٔ ۱۶) استفاده شد.

روش تاپسیس

تاپسیس روشی است برای اولویت بندی براساس شباهت به راه‌حل ایدئال و عکس ایدئال و یکی از روش های عمدهٔ تصمیم گیری چندمعیاره و رتبه بندی برطبق فاصلهٔ مطلوب و نامطلوب از راه‌حل ایدئال محسوب می شود. (۲۴ـ۲۵) روش تاپسیس را هوانگ و یون در سال 1981 ارائه کردند. (۲۴) اگر گزینهٔ m معیار و n، در یک مسئلهٔ تصمیم گیری چندمعیاره وجود داشته باشد، به‌منظور انتخاب بهترین گزینه با استفاده از روش تاپسیس، از گام‌های زیر پیروی می‌شود:

۱. تشکیل ماتریس تصمیم

در روش تاپسیس، با استفاده از n معیار به ارزیابیm گزینه پرداخته می‌شود. بنابراین به هر گزینه براساس هر معیار امتیازی داده می‌شود. این امتیازات می‌تواند براساس مقادیر کمّی و واقعی و یا اینکه کیفی و نظری باشد. در هر صورت، باید یک ماتریس تصمیم m*n برای این منظور تشکیل شود.

۲. بی مقیاس کردن ماتریس تصمیم

در این مرحله سعی می شود معیارهای با ابعاد مختلف به معیارهای بی‌بُعد تبدیل شود و ماتریس R به صورت زیر تعریف گردد. روش های مختلفی برای بی‌مقیاس کردن وجود دارد؛ اما روش تاپسیس معمولاً از رابطهٔ ۹ تبعیت می کند.

$$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} X_{ij}^2}} \qquad i = 1,\ldots,m \ , j = 1,\ldots,n \qquad (۹)$$

۳. تعیین بردار وزن معیارها

از آنجا که ماتریس تصمیم دارای شاخص های مختلفی است، دانستن ضریب اهمیت یا وزن هریک از این شاخص ها در تصمیم گیری ضروری است. وزن هر شاخص اهمیت نسبی آن را در مقابل شاخص های دیگر بیان می کند. انتخاب آگاهانه و صحیح وزن ها کمک بزرگی درجهت رسیدن به هدف مورد نظر است. عملیات وزن دهی شاخص ها به روش های زیر انجام می شود:

ـ با استفاده از دانش کارشناسی؛

ـ با استفاده از دانش داده ای.

در این پژوهش، برای تعیین وزن شاخص ها از روش دانش داده ای که از آنالیز مؤلفهٔ اصلی به‌دست آمده، استفاده شده است.

۴. تعیین ماتریس تصمیم بی مقیاس‌شدهٔ وزن دار

از ضرب ماتریس تصمیم بی مقیاس‌شده در بردار وزن معیارها به‌دست می‌آید.

$$v_{ij} = w_{ij} \times r_{ij} \qquad (۱۰)$$

در این مرحله، داده های حاصل از گام دوم در وزن های به‌دست‌آمده از گام سوم ضرب می شود.

۵. یافتن راه‌حل ایدئال و عکس ایدئال

اگر راه‌حل ایدئال با A^+ و راه‌حل عکس ایئال با A^- نشان داده شود، در این صورت:

$$A^+ = \{ v_1^+, v_2^+, \ldots, v_j^+, \ldots, v_n^+ \}$$

$$A^- = \{ v_1^-, v_2^- \ldots v_j^-, \ldots, v_n^- \}$$

v_j^* بدترین مقدار معیارjاز بین تمام گروه ها و v_j^- بدترین مقدار معیار jاز بین تمام گزینه هاست. گزینه هایی که در A^+و A^- قرار می گیرند، به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ گزینه های کاملاً بهتر و کاملاً بدتر هستند.

۶. محاسبهٔ فاصله از راه‌حل ایدئال و عکس ایدئال

در این مرحله، برای هر گزینه فاصله از راه‌حل ایدئال و عکس ایدئال به‌ترتیب از روابط ۱۱ و ۱۲محاسبه می شوند.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(v_{ij} - v_j^+ \right)^2} \qquad \text{i=1,...,m} \qquad (۱۱)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(v_{ij} - v_j^- \right)^2} \qquad (۱۲)$$

S_i^+فاصله گزینهٔ iام از راه‌حل ایدئال و S_i^-فاصلهٔ گزینهٔ i ام از راه‌حل ضدایدئال است. در این روابط اندیس j معرف معیار مورد نظر و اندیس i معرف گزینهٔ مورد نظر است.

نزدیکی نسبی هر گزینه با راه حل ایدئال نیز از رابطهٔ ۱۳ قابل محاسبه است.

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

جدول ۱ـ اطلاعات خام استخراج‌شده از مصاحبه ها

شاخص‌ها / واحدها	ظرفیت ضربه‌گیری	انعطاف پذیری	حاشیه‌ها	تحمل	تعاملات متقابل	یادگیری	توجه	پاسخ	پیش‌بینی
U_1	۱۶۴	۱۳۲	۳۲	۵۰	۳۲	۷۸	۶۲	۶۶	۴۰
U_2	۱۵۰	۱۲۰	۳۴	۵۴	۳۴	۸۴	۶۲	۷۲	۴۲
U_3	۱۶۸	۱۲۶	۳۶	۴۶	۲۸	۷۴	۶۴	۷۲	۴۲
U_4	۱۵۶	۱۲۶	۳۰	۴۶	۳۰	۸۲	۵۶	۶۶	۳۸
U_5	۱۵۵	۱۳۳	۲۸	۵۰	۳۴	۸۵	۵۵	۶۷	۳۵
U_6	۱۳۷	۱۱۱	۲۹	۵۰	۲۵	۷۸	۶۱	۵۵	۳۴
U_7	۱۵۲	۱۱۶	۳۰	۵۲	۲۴	۷۴	۵۴	۶۲	۳۸
U_8	۱۴۴	۱۱۴	۳۲	۴۴	۲۶	۷۸	۵۸	۶۶	۳۶
U9	۱۴۶	۱۱۶	۳۴	۴۸	۲۸	۷۶	۵۸	۶۶	۳۸
U_{10}	۱۴۴	۱۱۸	۳۲	۴۸	۲۸	۸۴	۵۸	۷۰	۳۸
U_{11}	۲۵۰	۱۹۱	۵۲	۷۲	۴۳	۱۲۶	۸۹	۹۵	۴۹

$$C_i^* = S_i^- / S_i^+ + S_i^- \quad i = 1,\ldots,n \qquad (۱۳)$$

در این مطالعه، برای تعیین رتبه ها با استفاده از روش تاپسیس از نرم افزار متلب استفاده شد.

یافته ها

چون هدف اصلی این بخش ارزیابی وضعیت تاب آوری سیستم مورد مطالعه بود، تحلیل ها به دو صورت انجام شد. در حالت اول، به بررسی و رتبه بندی شاخص های تاب آوری پرداخته و با توجه به نتایج رتبهٔ این شاخص ها نسبت به یکدیگر تعیین شد؛ به عبارت دیگر، در این مرحله مشخص گردید که کدام شاخص دارای وضعیت بهتر و کدام یک دارای وضعیت ضعیف تری بوده و در رتبه های پایین قرار می گیرد. این مرحله همچنین یک الگوی کاملی از وضعیت تاب آوری سیستم در اختیار تیم قرار داد تا با استفاده از آن بتوان ضعف‌های موجود را برطرف کرد و واحدهای عملیاتی را نیز بر این اساس رتبه‌بندی نمود. در جدول ۱ اطلاعات خام استخراج‌شده از مصاحبه آمده است.

در مرحلهٔ بعد، با توجه به اوزان به‌دست‌آمده در مرحلهٔ اول و با استفاده از روش تاپسیس اقدام به رتبه بندی واحدهای مختلف از دیدگاه مهندسی تاب آوری گردید؛ یعنی واحدها نسبت به همدیگر رتبه‌بندی شدند. در ادامهٔ تحلیل مرحلهٔ اول که شاخص ها را رتبه‌بندی نمود، این مرحله واحدها را از ضعیف به‌سمت قوی رتبه بندی

جدول ۲ـ وزن شاخص‌ها براساس روش PCA

ردیف	شاخص‌ها	وزن
۱	انعطاف‌پذیری	۰/۳۰
۲	حاشیه‌ها	۰/۳۴
۳	تعاملات متقابل چندسویه	۰/۲۱
۴	توجه	۰/۳۹
۵	ضربه‌گیری	۰/۴۳
۶	آموختن	۰/۳۶
۷	پیش‌بینی	۰/۳۰
۸	پاسخ	۰/۳۵
۹	تحمل	۰/۲۶

می‌کند. این رتبه بندی کار تیم مطالعاتی را در شناسایی نوع ضعف و محل دقیق آن آسان‌تر می کند؛ به عبارت دیگر، گویای این موضوع است که برای تقویت این رویکرد جدید در سیستم مذکور باید بیشتر بر چه واحدهایی متمرکز شد.

در جدول ۳ ماتریس تصمیم و در جدول ۴ ماتریس تصمیم بی‌مقیاس نشان داده شده است.

فاصلهٔ هر شاخص از A^+ و A^- و همچنین نزدیکی نسبی هر گزینه تا راه‌حل ایدئال در جدول ۵ ارائه شده است. هرچه فاصله از راه‌حل ایدئال بیشتر باشد، آن شاخص ضعف بیشتری دارد و هرچه این فاصله کمتر باشد، شاخص از مقدار قوی تری برخوردار است. نزدیکی نسبی از مقدار ایدئال نیز در جدول با C_i^* مشخص شده است. در اینجا نیز هرچه عدد بزرگ‌تر

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

جدول ۳ـ ماتریس تصمیم

شاخص‌ها / واحدها	ظرفیت ضربه‌گیری	انعطاف پذیری	حاشیه‌ها	تحمل	تعاملات متقابل	یادگیری	توجه	پاسخ	پیش‌بینی
U_1	۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۱۰
U_2	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۱۰	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۰۹
U_3	۰/۱۳	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۰۹
U_4	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۸
U_5	۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۰۸
U_6	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۰۷
U_7	۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۰۸
U_8	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۸
U9	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۸
U_{10}	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۸
U_{11}	۰/۱۹	۰/۱۳	۰/۱۵	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۱۰

جدول ٤ـ ماتریس تصمیم بی‌مقیاس

شاخص‌ها / واحدها	ظرفیت ضربه‌گیری	انعطاف پذیری	حاشیه‌ها	تحمل	تعاملات متقابل	یادگیری	توجه	پاسخ	پیش‌بینی
U_1	۰/۳۰	۰/۲۹	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۳۰	۰/۲۶	۰/۲۹	۰/۲۷	۰/۲۹
U_2	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۲۹	۰/۳۰	۰/۳۲	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۳۰	۰/۳۱
U_3	۰/۳۰	۰/۲۸	۰/۳۰	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۵	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۳۱
U_4	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۲۵	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۲۸
U_5	۰/۲۷	۰/۲۹	۰/۲۴	۰/۲۸	۰/۳۲	۰/۲۹	۰/۲۶	۰/۲۸	۰/۲۶
U_6	۰/۲۴	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۲۸	۰/۲۳	۰/۲۶	۰/۲۸	۰/۲۳	۰/۲۵
U_7	۰/۲۷	۰/۲۶	۰/۲۵	۰/۲۹	۰/۲۲	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۶	۰/۲۸
U_8	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۶
U9	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۹	۰/۲۷	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۸
U_{10}	۰/۲۵	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۶	۰/۲۹	۰/۲۷	۰/۲۹	۰/۲۸
U_{11}	۰/۴۴	۰/۴۲	۰/۴۴	۰/۴۰	۰/۴۰	۰/۴۳	۰/۴۲	۰/۳۹	۰/۳۶

باشد، نشان از نزدیکی نسبی بیشتر با شاخص ایدئال و وضعیت مطلوب آن شاخص دارد.

بحث و نتیجه گیری

این پژوهش به‌منظور ارزیابی تاب آوری واحدهای مختلف سایت نفتی مورد مطالعه طراحی و اجرا شد. نتایج بررسی داده ها درخصوص ۹ شاخص مهندسی تاب آوری (جدول ۲) نشان داد شاخص های ضربه گیری و توجه بالاترین وزن و شاخص های تحمل و تعاملات متقابل چندسویه دارای کمترین وزن است. به عبارت دیگر، جهت ارتقای سطح تاب آوری این سیستم پیچیده باید مدیریت سازمان علاوه‌بر تقویت شاخص های ضعیف، مطابق اصول مهندسی تاب آوری سعی در ارتقا و توسعهٔ شاخص های مطلوب نیز کند. برای مثال با شناسایی حاشیه های ایمنی،[1] کاهش استرس، کاهش عدم قطعیت ها در فرایندهای کاری، شناسایی سیستم ها و تجهیزات فرسوده و شناسایی انواع تهدیدها می توان شاخص تحمل سیستم را ارتقا داد. همچنین برای تقویت شاخص تعاملات متقابل چندسویه می توان به بهبود تعامل بین افراد، گروه ها و بخش های مختلف، توجه به شایسته‌محوری در واحدهای مختلف و ارتباطات مثبت و مؤثر اشاره کرد. بر این اساس،

1 . Safety Margin

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

جدول ۵ـ رتبه بندی واحدها براساس روش تاپسیس

واحدها	رتبه	S_i^+	S_i^-	C_i^*
U_1	۴	۰/۱۳۶۶	۰/۰۴۱۷	۰/۲۳۴۰
U_2	۳	۰/۱۳۴۴	۰/۰۴۸۳	۰/۲۶۴۱
U_3	۲	۰/۱۳۲۶	۰/۰۵۰۳	۰/۲۷۵۰
U_4	۷	۰/۱۴۸۰	۰/۰۳۰۶	۰/۱۷۱۵
U_5	۵	۰/۱۴۷۴	۰/۰۳۶۹	۰/۲۰۰۳
U_6	۱۱	۰/۱۶۵۶	۰/۰۱۶۵	۰/۰۹۰۷
U_7	۱۰	۰/۱۵۸۹	۰/۰۲۲۳	۰/۱۲۲۸
U_8	۹	۰/۱۵۶۲	۰/۰۲۳۳	۰/۱۲۹۷
U9	۸	۰/۱۵۰۹	۰/۰۲۹۲	۰/۱۶۲۰
U_{10}	۶	۰/۱۴۸۰	۰/۰۳۲۵	۰/۱۷۹۷
U_{11}	۱	۰/۰۰۰۰	۰/۱۷۵۰	۱/۰۰۰۰

نتایج این مطالعه با نتایج بررسی شیرالی و همکاران (۲۰۱۶) همخوانی دارد. (۱۴) همچنین با بررسی رتبه های به‌دست‌آمده از جدول ۵ که مبتنی بر نزدیکی مقدار شاخص مورد نظر به راه حل ایدئال است، مشخص شد که کمترین فاصله از راه‌حل ایدئال مثبت مربوط به واحد ۱۱ (U_{11}) و بیشترین فاصله از راه‌حل ایدئال منفی مربوط به واحد ۶ (U_6) است. بنابراین نسبت به سایر واحدها در اولویت کمتری برای اصلاح قرار می گیرد و واحد ۶ که کمترین شاخص نزدیکی را دارد، در اولویت بیشتری برای اصلاح نسبت به سایر واحدها قرار دارد. بر این اساس، واحدهای ۱۱، ۳ و ۲ بهترین رتبه را از نظر شاخص های تاب آوری دارند و واحدهای ۶، ۷ و ۸ ضعیف ترین رتبه را از نظر این شاخص ها به خود اختصاص دادند. مدیریت این واحدها می تواند با تمرکز بر شاخص های تاب آوری و کمک گرفتن از واحدهایی که امتیاز مطلوبی دارند، اقدام به یک برنامهٔ مدون برای ارتقای خود کند. درنهایت مدیران و تصمیم گیران این صنعت با تمرکز بر واحدهای ضعیف از نظر تاب آوری و ارتقای آن‌ها می توانند گامی مهم در اصلاح و بهبود تاب آوری این واحدها و به‌تبع آن تمام مجموعهٔ مورد مطالعه بردارند.

از محدودیت های پژوهش می توان به عدم آشنایی کافی پرسنل مورد مطالعه با واژگان مهندسی تاب آوری و مشکل به‌وجودآمده در جمع آوری داده ها اشاره کرد. همچنین به‌دلیل گستردگی موضوعات مربوط به شاخص ها، مصاحبه ها طولانی و گاه با عدم استقبال مصاحبه‌شوندگان روبه‌رو می شد.

تشکر و قدردانی

این مطالعه با کد پژوهشی ۳۳۰۰۹۶۸۳۳ و کد اخلاق IR.AJUMS.REC.1398.791 در سامانهٔ معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز ثبت شده است که بدین وسیله از آن معاونت تشکر می گردد. همچنین از مدیریت و پرسنل شرکت مورد مطالعه جهت همکاری صمیمانه سپاس‌گزاری می‌شود.

References

1. Shirali GA, Khademian F. Analysis of workplace safety climate using Nordic questionnaire: a case study in a metal industry. Iran Occupational Health. 2016; 13(5): 25-38.
2. Dekker S. Resilience engineering: chronicling the emergence of confused consensus. Resilience engineering: Concepts and precepts. 2006: 77-92.
3. Hollnagel E. Barriers and accident prevention: Routledge; 2016.
4. Shirali GA, Mohammadfam I, Ebrahimipour V. A new method for quantitative assessment of resilience engineering by PCA and NT approach: A case study in a process industry. Reliability Engineering & System Safety. 2013; 119: 88-94.
5. Dekker S, Hollnagel E, Woods D, Cook R. Resilience Engineering: New directions for measuring and maintaining safety in complex systems. Lund University School of Aviation. 2008.
6. Hollangel E. Why do we need resilience engineering? http://www.sites.google.com/site/erikhollnagel2/whatisresilienceengineering%3F> 2007 [
7. Zarrin M, Azadeh A. Mapping the influences of resilience engineering on health, safety, and environment and ergonomics management system by using Z-number cognitive map. Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries. 2019; 29(2): 141-53.
8. Shirali GA, Askaripoor T, Kazemi E, Zohoorian Azad E, Marzban M. Assessment and risks ranking in a combined cycle power plant using degree of Belief approach in fuzzy logic. Iran Occupational Health. 2014; 11(5): 20-9.
9. Mohammadfam I, Aliabadi MM, Soltanian AR, Tabibzadeh M, Mahdinia M. Investigating interactions among vital variables affecting situation awareness based on Fuzzy DEMATEL method. International Journal of Industrial Ergonomics. 2019; 74: 102842.
10. Mohammadfam I, Kamalinia M, Momeni M, Golmohammadi R, Hamidi Y, Soltanian A. Developing an integrated decision making approach to assess and promote the effectiveness of occupational health

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

decision making. Work.2003; 4(2): 44-137.
18. Kirkpatrick D. The four levels of evaluation: American Society for Training and Development; 2007.
19. Lindlof TR, Taylor BC. Qualitative communication research methods: Sage publications; 2017.
20. Reiman T. Assessing organizational culture in complex sociotechnical systems. Methodological Evidence from Studies in Nuclear Power Plant Maintenance Organizations Espoo: VTT. 2007.
21. Shirali G, Shekari M, Angali KA. Assessing Reliability and Validity of an Instrument for Measuring Resilience Safety Culture in Sociotechnical Systems. Safety and Health at Work. 2018; 9(3): 296-307.
22. Ebrahimipour V, Azadeh A, Rezaie K, Suzuki K. A GA–PCA approach for power sector performance ranking based on machine productivity. Applied mathematics and computation. 2007; 186(2): 1205-15.
23. Kapur KC, Lamberson LR. Reliability in engineering design. New York, John Wiley and Sons, Inc, 1977 605 p. 1977.
24. Behzadian M, Otaghsara SK, Yazdani M, Ignatius J. A state-of the-art survey of TOPSIS applications. Expert Systems with applications. 2012; 39(17): 13051-69.
25. Huimin Tang, Yong Shi, Dong P. Public blockchain evaluation using entropy and TOPSIS. Expert Systems With Applications. 2019; 117: 204-10.

and safety management systems. Journal of Cleaner Production. 2016; 127: 119-33.
1111. Reza Jafari Nodoushan, Mohammad Javad Jafari, Gholam Abbas Shirali, Soheila Khodakarim, Hassan Khademi Zare, Monfared6 AH. Identifying and ranking of organizational resilience indicators of refinery complex using fuzzy TOPSIS. Journal of Health and Safety at Work. 2017; 7(3): 219-33.
1 12. Shirali GA, Nematpour L. Evaluation of resilience engineering using super decisions software. Health Promotion Perspectives 2019; 9(3): 191-7.
13. Alliance R. Assessing and managing resilience in social-ecological systems. Supplementary notes to the practitioners workbook. 2007.
14. Shirali GA, Motamedzade M, Mohammadfam I, Ebrahimipour V, Moghimbeigi A. Assessment of resilience engineering factors based on system properties in a process industry. Cognition, Technology & Work. 2016; 18(1): 19-31.
15. Hollnagel E. Resilience engineering in practice: A guidebook: Ashgate Publishing, Ltd.; 2013.
16. Hollnagel E, Woods DD, Leveson N. Resilience engineering: Concepts and precepts: Ashgate Publishing, Ltd.; 2007.
17. Woods DD. Creating foresight: how resilience engineering can transform NASA's approach to risky

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