



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.
- Davoud 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 NIOADC, 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

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](#)



ارائه الگویی برای ارزیابی کمی تاب آوری سیستم های فنی - اجتماعی با استفاده از مدل های تصمیم گیری چندمعیاره: مطالعه موردی در یکی از سایت های نفتی

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

چکیده

کلیدواژه ها

تاب آوری
ایمنی
ریسک
ارزیاب
فنی - اجتماعی

زمینه و هدف: مشکل عمده در حوزه ایمنی صنعتی این است که اکثر روش های سنتی ارزیابی ریسک و مدیریت ایمنی به تنهایی جوابگوی نیاز تکنولوژی و صنایع پیچیده امروزی نیستند؛ به عبارت دیگر، روش های سنتی، نظیر آنالیز ریسک و ارزیابی احتمال ایمنی، در عمل قادر به ارائه بسیاری از راه حل های مورد نیاز برای صنایع امروزی نیستند. برای این ادعا دلایل مختلفی وجود دارد؛ از جمله مهم ترینشان ریشه داشتن آن ها در مدل های بسیار ساده حادثه به عنوان زنجیره دلیل - اثر است. با این توصیف، هدف این پژوهش ارائه الگویی برای ارزیابی تاب آوری سیستم های فنی - 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 مصاحبه نیمه ساختاریافته با ۱۶ نفر از اپراتورهای باتجربه که میانگین سابقه کاری آن ها 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 مسئله پیش آمده در سیستم و پاسخ بموقع و مناسب تعیین گردید. سپس برای تعیین وزن شاخص ها از روش آنالیز مؤلفه اصلی و برای تعیین رتبه 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 بدست آمده که مبتنی بر نزدیکی مقدار شاخص مورد نظر به راه حل ایدئال است، مشخص شد کمترین فاصله از راه حل ایدئال مثبت مربوط به واحد ۱۱ و بیشترین فاصله از راه حل 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 و ۷ ضعیف ترین رتبه را از نظر این شاخص ها به خود اختصاص دادند.

نتیجه گیری: نتایج آنالیز شاخص ها و رتبه بندی واحدها نشان داد روش آنالیز مؤلفه اصلی (PCA) و روش ترجیح براساس مشابهت به راه حل ایدئال (TOPSIS) برای ارزیابی تاب آوری سیستم های پیچیده گزینه های قابل قبولی محسوب می شوند؛ زیرا به خوبی ضعف ها و قوت های سیستم را از نظر تاب آوری و براساس اطلاعات ورودی در اختیار محقق قرار می دهند. بنابراین مدیران و تصمیم گیران صنعت مذکور می توانند با استناد به نتایج این مطالعه، نه تنها ضعف های خود، بلکه قوت های صنعت خود را از دیدگاه مهندسی تاب آوری شناسایی کنند و در جهت بهبود و ارتقای آن ها با تدوین برنامه های فنی و کاربردی جامع اقدام نمایند.

تعارض منافع: گزارش نشده است.

منبع حمایت کننده: ندارد.

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.

مقدمه

در حال حاضر، مشکل عمده در حوزه ایمنی صنعتی این است که اکثر روش های سنتی ارزیابی ریسک و مدیریت ایمنی به تنهایی جوابگوی نیاز تکنولوژی و صنایع پیچیده امروزی نیستند؛ زیرا روش های سنتی در زمان ارزیابی، سیستم ها یا سازمان ها را استاتیک فرض می کنند 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 در نتیجه به طور مرتب در حال تغییر و تحول اند. (۲-۴) بر این اساس، روش های سنتی، نظیر آنالیز ریسک و ارزیابی احتمال ایمنی، در عمل قادر به ارائه بسیاری از راه حل های مورد نیاز برای صنایع امروزی نیستند. (۵) برای این ادعا دلایل مختلفی وجود دارد که مهم ترینشان ریشه داشتن آن ها در مدل های بسیار ساده حادثه به عنوان زنجیره دلیل - اثر است. نتایج تحقیقات درباره 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 ملاحظه اجزای تشکیل دهنده سیستم، آن را پیش بینی کرد. ایمنی نتیجه فعالیت است که سیستم انجام می دهد، نه آن چیزی (تجهیزات و وسایل) که سیستم دارد (۵-۶)؛ یعنی تلاش در فهم این نکته که چگونه یک سیستم می تواند به طور فعال اطمینان یابد که فرایندهای خود را تحت کنترل دارد. بر این اساس و برای نیل به این هدف، سیستم ها به جای آنکه قابل اطمینان باشند، باید تاب آور طراحی شوند؛ به عبارت دیگر، در طراحی سیستم ها تنها به قابلیت اطمینان آن ها (کاهش احتمال نقص تا حد قابل قبول) توجه داشتن، کافی نیست؛ بلکه آن ها باید تاب آور باشند و قابلیت بازبازی تغییرات غیرعادی، اختلالات و نابسامانی شرایط کاری مورد انتظار را داشته باشند. با این توصیف، در حالی که سیستم های فنی - اجتماعی به سرعت در حال پیشرفت هستند (۸) و این روند نیز ادامه دارد، مجموعه کاملی از روش ها برای مدیریت مؤثر ایمنی پایه پای آن توسعه نیافته است. (۷-۸) بنابراین نیاز روشنی به رویکردهای جدید برای ارزیابی ریسک و مدیریت ایمنی احساس می شود و مهندسی تاب آوری به منزله راه حلی در پاسخ به این نیاز در عرصه علوم مهندسی ظهور کرده است.

روش های تصمیم گیری چندمعیاره (MCDM)^۱، از جمله روش ترجیح براساس مشابهت به راه حل ایدئال (TOPSIS)^۲، امروزه کاربرد فراوانی در پژوهش های مختلف دارند. (۹-۱۰) از این تکنیک می توان برای رتبه بندی و مقایسه گزینه های مختلف و انتخاب بهترین گزینه و تعیین فواصل بین گزینه ها و گروه بندی آن ها استفاده نمود. از مزیت های این روش آن است که معیارها یا شاخص های به کاررفته 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 به شکل ترکیبی در این تکنیک استفاده کرد.

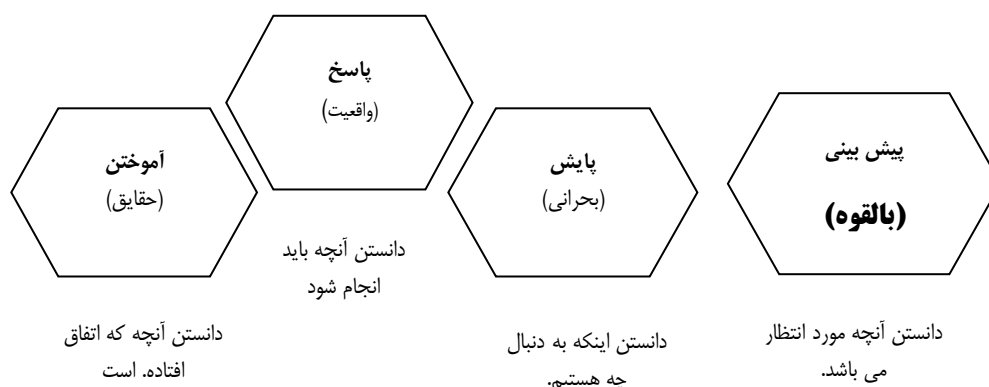
در مطالعه ای که در سال ۲۰۱۷ جعفری و همکاران انجام دادند، با استفاده از روش تاپسیس فازی به رتبه بندی شاخص های مهندسی تاب آوری در یک مجتمع پالایشگاهی اقدام گردید و وزن و رتبه شاخص تعیین و تحلیل شد. (۱۱) شیرالی و همکاران در سال ۲۰۱۹ مطالعه ای به منظور ارزیابی شاخص های تاب آوری با استفاده از روش ANP در یک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

مفهوم تاب آوری

اولین بار هلینج، استاد بازنشسته دانشگاه فلوریدا در علوم اکولوژی، این تئوری را ارائه کرد. (۱۳) بعدها اریک هلنگل (۱۹۹۶) آن را وارد عرصه 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 حوزه ایمنی سیستم ها به این شرح است (۱۴): توانایی ذاتی سیستم برای تطابق عملکرد خود قبل، در حین یا متعاقب تغییرات و اختلالات، به طوری که سیستم بتواند فعالیت های ضروری اش را در شرایط قابل انتظار و غیرقابل انتظار حفظ کند. هدف از تاب آوری براساس تعریف بالا این است که چگونه تاب آوری را در یک سیستم ایجاد کنیم. نکته

1 Multiple Criteria Decision Making

2 Technique for the Order of Preference by Similarity to an Ideal Solution



شکل ۱- اجزای اصلی مهندسی تاب آوری (۱۶)

مشکل و عدم ایجاد اختلال در کل عملکرد اطلاق می شود. (۵)

• **پیش بینی:** به توانایی سیستم در شناسایی انواع تهدیدهای مکرر، غیرمکرر و بی سابقه، 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 آینده نزدیک به یک تهدید تبدیل شود یا رویدادی که در آینده نزدیک یک تهدید است، اشاره می کند. 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 ارائه الگویی جهت ارزیابی تاب آوری یک سیستم فنی - اجتماعی گردد.

روش بررسی

حجم نمونه و روش جمع آوری داده ها

در این پژوهش، ۱۶ نفر از پرسنل باتجربه صنعت مورد نظر به صورت اتفاقی انتخاب و مورد مصاحبه قرار گرفتند. روش هایی که برای جمع آوری اطلاعات مورد نیاز این تحقیق استفاده شد، عبارت بودند از: مصاحبه نیمه ساختاریافته (در این روش از مصاحبه، محقق به جای در اختیار داشتن تعداد محدودی سؤال، چارچوبی از موضوعات مختلف را برای کاوش در اختیار دارد و با استفاده

کلیدی در تعریف پیش گفته توانایی سیستم برای تطابق عملکرد خود با شرایط متغیر است. چهار عامل اصلی که هر کدام بیانگر یک ویژگی ضروری از سیستم است (۱۵-۱۶)، در شکل ۱ آمده است.

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

• **ظرفیت ضربه گیری:** نوع یا مقدار اختلالی که سیستم بدون اینکه نقصی اساسی در عملکردش به وجود آید، می تواند جذب کند و در نتیجه 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 می کند.

• **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، آن ها را به طور 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 به جای اصلاح استفاده می کند؟ به عبارت دیگر، آیا سیستم اشتباهات را می پذیرد و سعی می کند از آن ها درس بگیرد یا اینکه آن ها را تکذیب می کند. (۶، ۱۸)

• **انعطاف پذیری:** این حالت به توانایی سازمان برای تطابق با مشکلات پیچیده و جدید با تأکید بر حل

از این موضوعات، اطلاعات مورد نیاز را جمع آوری می کند (۱۹-۲۰) 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 مؤلفه 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 مسئله پیش آمده در سیستم (۱۰ مصاحبه) و پاسخ بموقع و مناسب (۱۱ مصاحبه) تعیین گردید. مشاهده فعالیت های کاری در عرصه های عملیاتی نیز صورت گرفت؛ اگرچه در سیستم های فنی - اجتماعی پیچیده دوره فعالیت ها معمولاً طولانی است؛ به طوری که نمی توان همه آنها را در یک دوره زمانی مشاهده کرد. با این حال، تجربه پرسنل عملیاتی و بررسی سوابق موجود تا حدود زیادی باعث کم رنگ شدن این مشکل گردید. پس از جمع آوری اطلاعات با استفاده از روش های مذکور و امتیاز گذاری پاسخ ها (از ۱ تا ۵) (۲۱) اقدام به آنالیز اطلاعات با استفاده از روش آنالیز مؤلفه اصلی و تاپسیس شد.

آنالیز مؤلفه اصلی

این روش برای اولین بار توسط پیرسون (۱۹۰۱) پیشنهاد و سپس به وسیله هالتینگ (۱۹۳۳) توسعه یافت. در این روش، مؤلفه های اصلی براساس ترکیبات خطی از X_1, \dots, X_p شاخص های جدید و مستقلی ارائه می دهند که بر مبنای آنها می توان واحدها را رتبه بندی کرد. (۲۲-۲۳) بنابراین، این روش جهت به دست آوردن ملاک های مستقل که ترکیبات خطی متفاوتی از X_1, \dots, X_p هستند، مورد استفاده قرار می گیرد. در این حالت می توان مؤلفه های اصلی را به وسیله مقادیر ویژه (Eigenvalue) برای محاسبه X_{mk} ترکیب کرد. برای محاسبه PCA به صورت زیر عمل می شود:

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

$$\bar{x} = (\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_p)_{1 \times p} \quad (1)$$

که،

$$\bar{x}_j = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_{ij} \quad j = 1, \dots, p \quad (2)$$

$$S = (s_{jq})_{p \times p} = \frac{1}{k-1} (X - \bar{x})^T (X - \bar{x}) \quad (3)$$

$$q = 1, \dots, p$$

۲. محاسبه ماتریس همبستگی.

$$R = \frac{C_1}{\sqrt{s_{jj}}} \times \frac{SC_1}{\sqrt{s_{jj}}} \quad (4)$$

که $\frac{C_1}{\sqrt{s_{jj}}}$ یک ماتریس متعامد $p \times p$ با مؤلفه تعامد z ام برابر با $\frac{1}{\sqrt{s_{jj}}}$ برای $j=1, \dots, p$ حل معادله زیر به منظور به دست آوردن مقادیر ویژه و بردارهای ویژه ماتریس R

$$|R - \lambda I_p| = 0 \quad (5)$$

که I_p یک ماتریس یکه $p \times p$ و λ مقادیر ویژه است. بنابراین می توان P مقدار ویژه مرتب شده $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p$ را به دست آورد؛ به طوری که $\sum_{j=1}^k$ همچنین می توان P بردار ویژه $(l_{m1}, \dots, l_{mp}) (m=1, \dots, p)$ را تعیین کرد. این بردارهای ویژه مؤلفه های اصلی Y_i را ارائه می دهند. مؤلفه ها در بردارهای ویژه به ترتیب ضرایب در هر Y_i عبارتند از:

$$Y_m = \sum_{j=1}^p l_{mj} \hat{x}_{ij} \quad m = 1, \dots, p, \quad i = 1, \dots, k. \quad (6)$$

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

$$w_j = \frac{\lambda_j}{\sum_{j=1}^p \lambda_j} = \frac{\lambda_j}{p}, \quad j = 1, \dots, p \quad (7)$$

$$z_i = \sum_{j=1}^p w_j Y_j, \quad i = 1, \dots, k \quad (8)$$

که z_j معرف امتیاز z ام واحدهای تصمیم گیری

وزن دهی شاخص ها به روش های زیر انجام می شود:
 - با استفاده از دانش کارشناسی؛
 - با استفاده از دانش داده ای.

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

۴. تعیین ماتریس تصمیم بی مقیاس شده وزن دار از ضرب ماتریس تصمیم بی مقیاس شده در بردار وزن معیارها به دست می آید.

$$v_{ij} = w_{ij} \times r_{ij} \quad (10)$$

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

۵. یافتن راه حل ایدئال و عکس ایدئال
 اگر راه حل ایدئال با A^+ و راه حل عکس ایدئال با A^- نشان داده شود، در این صورت:

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

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

v_j^+ بدترین مقدار معیار از بین تمام گروه ها و v_j^- بدترین مقدار معیار از بین تمام گزینه هاست. گزینه هایی که در A^+ و A^- قرار می گیرند، به ترتیب نشان دهنده گزینه های کاملاً بهتر و کاملاً بدتر هستند.

۶. محاسبه فاصله از راه حل ایدئال و عکس ایدئال
 در این مرحله، برای هر گزینه فاصله از راه حل ایدئال و عکس ایدئال به ترتیب از روابط ۱۱ و ۱۲ محاسبه می شوند.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad i=1, \dots, m \quad (11)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (12)$$

S_i^+ فاصله گزینه i ام از راه حل ایدئال و S_i^- فاصله گزینه i ام از راه حل ضدایدئال است. در این روابط اندیس i معرف معیار مورد نظر و اندیس j معرف گزینه مورد نظر است. نزدیکی نسبی هر گزینه با راه حل ایدئال نیز از رابطه ۱۳ قابل محاسبه است.

(DMUs) است. در این مطالعه، برای محاسبه وزن مؤلفه اصلی شاخص ها از نرم افزار Minitab (نسخه ۱۶) استفاده شد.

روش تاپسیس

تاپسیس روشی است برای اولویت بندی براساس شباهت به راه حل ایدئال و عکس ایدئال و یکی از روش های عمده تصمیم گیری چندمعیاره و رتبه بندی برطبق فاصله مطلوب و نامطلوب از راه حل ایدئال محسوب می شود. (۲۴-۲۵) روش تاپسیس را هوانگ و یون در سال ۱۹۸۱ ارائه کردند. (۲۴) اگر گزینه m معیار و n ، در یک مسئله تصمیم گیری چندمعیاره وجود داشته باشد، به منظور انتخاب بهترین گزینه با استفاده از روش تاپسیس، از گام های زیر پیروی می شود:

۱. تشکیل ماتریس تصمیم

در روش تاپسیس، با استفاده از n معیار به ارزیابی m گزینه پرداخته می شود. بنابراین به هر گزینه براساس هر معیار امتیازی داده می شود. این امتیازات می تواند براساس مقادیر کمی و واقعی و یا اینکه کیفی و نظری باشد. در هر صورت، باید یک ماتریس تصمیم $m \times n$ برای این منظور تشکیل شود.

۲. بی مقیاس کردن ماتریس تصمیم

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

$$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m X_{ij}^2}} \quad i=1, \dots, m, j=1, \dots, n \quad (9)$$

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 در جهت رسیدن به هدف مورد نظر است. عملیات

جدول ۱- اطلاعات خام استخراج شده 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
U ₉	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

جدول ۲- 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

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad i = 1, \dots, n \quad (13)$$

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

یافته‌ها

چون هدف اصلی این بخش ارزیابی وضعیت تاب‌آوری سیستم مورد مطالعه بود، تحلیل‌ها به دو صورت انجام شد. در حالت اول، به بررسی و رتبه‌بندی شاخص‌های تاب‌آوری پرداخته و با توجه به نتایج رتبه‌بندی این شاخص‌ها نسبت به یکدیگر تعیین شد؛ به عبارت دیگر، در این مرحله مشخص گردید که کدام شاخص دارای وضعیت بهتر و کدام یک دارای وضعیت ضعیف‌تری بوده و در رتبه‌های پایین قرار می‌گیرد. این مرحله همچنین یک الگوی کاملی از وضعیت تاب‌آوری 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 استخراج شده از مصاحبه آمده است.

در مرحله بعد، با توجه به اوزان به دست آمده در مرحله اول و با استفاده از روش تاپسیس اقدام به رتبه‌بندی واحدهای مختلف از دیدگاه مهندسی تاب‌آوری گردید؛ یعنی واحدها نسبت به همدیگر رتبه‌بندی شدند. در ادامه تحلیل مرحله اول که شاخص‌ها را رتبه‌بندی نمود، این مرحله واحدها را از ضعیف به سمت قوی رتبه‌بندی

می‌کند. این رتبه‌بندی کار تیم مطالعاتی را در شناسایی نوع ضعف و محل دقیق آن آسان‌تر می‌کند؛ 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 تصمیم‌بی‌مقیاس نشان داده شده است.

فاصله 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 قوی‌تری برخوردار است. نزدیکی نسبی از مقدار ایدئال نیز در جدول با C_i^* مشخص شده است. در اینجا نیز هرچه عدد بزرگ‌تر

جدول ۳- ماتریس تصمیم

شاخصها واحدها	ظرفیت ضربه‌گیری	انعطاف پذیری	حاشیه‌ها	تحمل	تعاملات متقابل	یادگیری	توجه	پاسخ	پیش‌بینی
U ₁	-/۱۲	-/۰۹	-/۰۹	-/۰۷	-/۰۶	-/۱۰	-/۱۱	-/۱۰	-/۱۰
U ₂	-/۱۱	-/۰۸	-/۱۰	-/۰۸	-/۰۷	-/۱۰	-/۱۱	-/۱۱	-/۰۹
U ₃	-/۱۳	-/۰۸	-/۱۰	-/۰۷	-/۰۵	-/۰۹	-/۱۲	-/۱۱	-/۰۹
U ₄	-/۱۲	-/۰۸	-/۰۹	-/۰۷	-/۰۶	-/۱۰	-/۱۰	-/۱۰	-/۰۸
U ₅	-/۱۲	-/۰۹	-/۰۸	-/۰۷	-/۰۷	-/۱۰	-/۱۰	-/۰۹	-/۰۸
U ₆	-/۱۰	-/۰۷	-/۰۸	-/۰۷	-/۰۵	-/۱۰	-/۱۱	-/۰۸	-/۰۷
U ₇	-/۱۲	-/۰۷	-/۰۹	-/۰۷	-/۰۵	-/۰۹	-/۱۰	-/۰۹	-/۰۸
U ₈	-/۱۱	-/۰۸	-/۰۹	-/۰۶	-/۰۵	-/۱۰	-/۱۰	-/۱۰	-/۰۸
U ₉	-/۱۱	-/۰۷	-/۱۰	-/۰۷	-/۰۵	-/۰۹	-/۱۰	-/۱۰	-/۰۸
U ₁₀	-/۱۱	-/۰۸	-/۱۰	-/۰۷	-/۰۵	-/۱۰	-/۱۰	-/۱۰	-/۰۸
U ₁₁	-/۱۹	-/۱۳	-/۱۵	-/۱۰	-/۰۸	-/۱۵	-/۱۶	-/۱۴	-/۱۰

جدول ۴- ماتریس تصمیم بی‌مقیاس

شاخصها واحدها	ظرفیت ضربه‌گیری	انعطاف پذیری	حاشیه‌ها	تحمل	تعاملات متقابل	یادگیری	توجه	پاسخ	پیش‌بینی
U ₁	-/۳۰	-/۲۹	-/۲۷	-/۲۸	-/۳۰	-/۲۶	-/۲۹	-/۲۷	-/۲۹
U ₂	-/۲۶	-/۲۷	-/۲۹	-/۳۰	-/۳۲	-/۲۹	-/۲۹	-/۳۰	-/۳۱
U ₃	-/۳۰	-/۲۸	-/۳۰	-/۲۶	-/۲۶	-/۲۵	-/۳۰	-/۳۰	-/۳۱
U ₄	-/۲۷	-/۲۸	-/۲۵	-/۲۶	-/۲۷	-/۲۸	-/۲۶	-/۲۷	-/۲۸
U ₅	-/۲۷	-/۲۹	-/۲۴	-/۲۸	-/۳۲	-/۲۹	-/۲۶	-/۲۸	-/۲۶
U ₆	-/۲۴	-/۲۵	-/۲۴	-/۲۸	-/۲۳	-/۲۶	-/۲۸	-/۲۳	-/۲۵
U ₇	-/۲۷	-/۲۶	-/۲۵	-/۲۹	-/۲۲	-/۲۵	-/۲۵	-/۲۶	-/۲۸
U ₈	-/۲۵	-/۲۵	-/۲۷	-/۲۵	-/۲۴	-/۲۶	-/۲۷	-/۲۷	-/۲۶
U ₉	-/۲۶	-/۲۶	-/۲۹	-/۲۷	-/۲۶	-/۲۶	-/۲۷	-/۲۷	-/۲۸
U ₁₀	-/۲۵	-/۲۶	-/۲۷	-/۲۷	-/۲۶	-/۲۹	-/۲۷	-/۲۹	-/۲۸
U ₁₁	-/۴۴	-/۴۲	-/۴۴	-/۴۰	-/۴۰	-/۴۳	-/۴۲	-/۳۹	-/۳۶

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

بحث و نتیجه گیری

این پژوهش به منظور ارزیابی تاب آوری واحدهای مختلف سایت نفتی مورد مطالعه طراحی و اجرا شد. نتایج بررسی داده‌ها در خصوص ۹ شاخص مهندسی تاب آوری (جدول ۲) نشان داد شاخص‌های ضربه‌گیری و توجه بالاترین وزن و شاخص‌های تحمل و تعاملات متقابل چندسویه دارای کمترین وزن است. به عبارت دیگر، جهت ارتقای سطح تاب آوری این سیستم پیچیده باید مدیریت

سازمان علاوه بر تقویت شاخص‌های ضعیف، مطابق اصول مهندسی تاب آوری سعی در ارتقا و توسعه شاخص‌های مطلوب نیز کند. برای مثال با شناسایی حاشیه‌های ایمنی^۱ کاهش استرس، کاهش عدم قطعیت‌ها در فرایندهای کاری، شناسایی سیستم‌ها و تجهیزات فرسوده و شناسایی انواع تهدیدها می‌توان شاخص تحمل سیستم را ارتقا داد. همچنین برای تقویت شاخص تعاملات متقابل چندسویه می‌توان به بهبود تعامل بین افراد، گروه‌ها و بخش‌های مختلف، توجه به شایسته‌محوری در واحدهای مختلف و ارتباطات مثبت و مؤثر اشاره کرد. بر این اساس،

1 . Safety Margin

تشکر و قدردانی

این مطالعه با کد پژوهشی ۳۳۰۰۹۶۸۳۳ و کد اخلاق IR.AJUMS.REC.1398.791 در سامانه معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز ثبت شده است که بدین وسیله از آن معاونت تشکر می‌گردد. 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. Hollnagel 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, Askaripour 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

جدول ۵- رتبه بندی واحدها براساس روش تاپسیس

واحد	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	۰/۱۳۹۷
U ₉	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 رتبه‌های به‌دست‌آمده از جدول ۵ که مبتنی بر نزدیکی مقدار شاخص مورد نظر به راه حل ایدئال است، مشخص شد که کمترین فاصله از راه حل ایدئال مثبت مربوط به واحد ۱۱ (U₁₁) و بیشترین فاصله از راه حل ایدئال منفی مربوط به واحد ۶ (U₆) است. بنابراین نسبت به سایر واحدها در اولویت کمتری برای اصلاح قرار می‌گیرد 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 شاخص‌های تاب‌آوری دارند و واحدهای ۶، ۷ و ۸ ضعیف‌ترین رتبه را از نظر این شاخص‌ها به خود اختصاص دادند. مدیریت این واحدها می‌تواند با تمرکز بر شاخص‌های تاب‌آوری و کمک گرفتن از واحدهایی که امتیاز مطلوبی دارند، اقدام به یک برنامه مدون برای ارتقای خود کند. در نهایت مدیران و تصمیم‌گیران این صنعت با تمرکز بر واحدهای ضعیف از نظر تاب‌آوری و ارتقای آن‌ها می‌توانند گامی مهم در اصلاح و بهبود تاب‌آوری این واحدها و به تبع آن تمام مجموعه مورد مطالعه بردارند.

از محدودیت‌های پژوهش می‌توان به عدم آشنایی کافی پرسنل مورد مطالعه با واژگان مهندسی تاب‌آوری و مشکل به‌وجودآمده در جمع‌آوری داده‌ها اشاره کرد. همچنین به دلیل گستردگی موضوعات مربوط به شاخص‌ها، مصاحبه‌ها طولانی و گاه با عدم استقبال مصاحبه‌شوندگان روبه‌رو می‌شد.

- 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.
 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*