Journal of Health and Safety at Work 2025; 15(2): 288-308

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Selection, validation and prioritization of leading indicators of process safety performance: A case study on hydrocarbon liquid storage tanks

Faeze Torbatian Mashhadi, Omran Ahmadi*

Department of Occupational Health and Safety Engineering, School of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: 28 - 9 - 2024 Accepted: 1 - 6 - 2025

ABSTRACT

Introduction: Measuring and monitoring the process safety management system is essential to reduce the risk of accidents in process industries. For this purpose, lagging and leading process safety performance indicators are utilized. The aim of the present study is to select, validate and prioritize the leading indicators of process safety performance.

Material and Methods: First, the leading indicators associated with risk factors affecting hydrocarbon liquid tanks were identified and selected based on the guidelines provided by the CCPS, HSE UK, OGP, and relevant scholarly articles. After choosing the appropriate indicators, the content validity of the indicators was studied. In the next step, indicators with acceptable content validity were studied by experts in terms of applicability and importance using fuzzy weighting.

Results: Out of 18 performance indicators related to risk factors influencing the performance of operating personnel, 3 indicators were eliminated due to content validity ratio (CVR) and content validity index (CVI) scores below acceptable levels. The remaining 15 indicators advanced to the next stage of the study. All 4 indicators related to the performance of maintenance personnel achieved acceptable CVR and CVI scores and were also included in the next stage. Of the 13 indicators defined for equipment performance, 3 were excluded due to low CVR or CVI scores, and 10 progressed to the subsequent phase. For firefighters, 9 indicators were identified, of which 2 were eliminated due to low CVR or CVI, and 7 advanced to the next stage. In this stage, all 36 indicators achieved acceptable applicability scores and were subsequently weighted.

Conclusion: The 36 final indicators presented in this study can be used to measure process safety performance in the oil industry. Although the present study was a case study on liquid hydrocarbon tanks, most of the indicators presented can be applied to other sectors of the oil industry. In addition, the weights specified for each of these indicators can be used to prioritize the indicators.

Keywords: *Leading indicator, Validity, Prioritization, Fuzzy logic*

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Ahmadi O., Torbatian Mashhadi F. Selection, validation and prioritization of leading indicators of process safety performance: A case study on hydrocarbon liquid storage tanks. J Health Saf Work. 2025; 15(2): 288-308.

1. INTRODUCTION

The history of the process industry is marked by deadly disasters caused by the release of hazardous chemicals in terms of toxicity, flammability, and explosiveness. Disasters during the 1980s forced safety regulatory agencies to take initiatives that could ensure safe working conditions for all employees. In this context, the US Occupational Safety and Health Administration (OSHA) proposed the Process Safety Management (PSM) standard in 1992 to reduce the risk of accidents that

* Corresponding Author Email: *Ahmadiomran6912@gmail.com*

Copyright © 2025 The Authors.
Published by Tehran University of Medical Sciences

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

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-09]

can occur in the process industries, and 15 years later a new approach called RBPS was developed by American Center for Chemical Process Safety (CCPS) to improve the effectiveness of the process safety management system.

Measuring and monitoring the process safety management system is crucial to reducing accident risks in the process industry. Process safety performance indicators serve as lagging and leading indicators.

Lagging indicators indicate the organization's performance after an incident. Since the goal of establishing a safety management system is continuous improvement and predicting events before they occur, in addition to lagging indicators, leading indicators should be used that enable organizations to prevent and help them develop safety performance improvement plans and corrective actions before incidents occur.

Various organizations, including the UK Health and Safety Executive (HSE UK), the American Petroleum Institute (API), the International Association of Oil and Gas Producers (OGP), the Institute of Chemical Engineers (IChemE), and the American Center for Chemical Process Safety (CCPS), have provided various guidelines and guides regarding these indicators.

Due to the high number of process safety performance indicators presented in the aforementioned guidelines, process industries may find it challenging to collect and measure the information required for all of these indicators. This study aims to address this issue by reducing the number of indicators to a more practical and important set. To date, no study has focused on hydrocarbon liquid storage tanks in this context. Given the importance and high risk of hydrocarbon liquid storage tanks, this study aims to select, validate, and prioritize leading indicators of process safety performance specific to these tanks.

2. MATERIAL AND METHODS

This study was conducted in three phases in an oil terminal. First, in order to identify the factors affecting accidents in hydrocarbon storage tanks, the factors specified in the review study by Ahmadi et al. were used. This study was chosen, considering that it was the most recent review study in this field. In the next stage, in order to identify the leading indicators related to the factors affecting accidents in tanks, the CCPS, HSE UK, OGP guidelines and related articles were examined. In this stage, the indicators related to the effective risk factors were extracted from the mentioned sources. Then, through interviews and discussions with operational staff (staff familiar with recorded data and cost-effective indicators), the relevant indicators were selected for further study. An attempt was made to use indicators that were available in the company's databases and did not impose an additional burden on the company. After selecting the appropriate indicators, the content validity of the indicators was evaluated. In order to study the validity of the indicators, the content validity ratio (CVR) and the content validity index (CVI) were used, and the minimum acceptable value of the content validity ratio (CVR) and the content validity index (CVI) was considered to be 0.33 and 0.79, respectively. In the next stage, the indicators with acceptable content validity were examined in terms of applicability (minimum acceptable applicability score of 0.5) and importance using fuzzy weighting by experts.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Based on the results obtained, out of 18 leading indicators identified for effective risk factors affecting the performance of operating personnel based on expert opinions, 3 indicators were eliminated due to CVR and CVI below acceptable levels. The remaining 15 indicators entered the next stage of the study. 4 leading indicators were defined for effective risk factors affecting the performance of maintenance and repair personnel, all 4 of which had acceptable CVR and CVI and entered the next stage of the study. 13 leading indicators were defined for effective risk factors affecting equipment malfunction, 2 of which were eliminated due to low CVR and CVI and 1 due to low CVI, and 10 were entered the next stage of the study. 9 leading indicators related to effective risk factors affecting the performance of firefighters were defined. 1 of the indicators was eliminated due to low CVR and 1 due to low CVR and CVI, and the next 7 indicators entered the next stage of the study.

In the next stage, i.e., evaluating the applicability of the indicators, all leading indicators related to the effective risk factors affecting the performance of operating personnel (15 cases), the performance of maintenance personnel (4 cases), the performance of firefighters (7 cases) and the performance of equipment (10 cases) had an applicability score above the acceptable level (0.5).

All 36 indicators progressed to the final stage,

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-09]

which involved assessing their relative importance, as each indicator possessed a distinct level of significance and weight compared to the others. For example, in the section of effective risk factors affecting the performance of operating personnel, the indicator "Percentage of pre-work briefings held for operating personnel activities relative to the total activities performed" with a weight of 1 was the most important indicator.

One of the limitations of Faisal Khan's study in this regard is that they only determined the weight of the effective risk factors and used the indicators with the same weight, while the indicators also have different weights, which is addressed in the present study.

The International Atomic Energy Agency (IAEA) has proposed characteristics for safety performance indicators. Based on these criteria, the indicators should meet the following requirements: **1. Establish a clear link to the cause of a specific defect.** In this study, the indicators were defined according to the accident analysis conducted by Ahmadi et al. **2. Demonstrate applicability.** The practical applicability of the indicators was evaluated, as some may not be feasible for implementation in the industrial context. **3. Exhibit high validity.** The content validity of the indicators was assessed in this study. Furthermore, since the indicators were derived from effective risk factors, they also demonstrate structural validity. **4. Be quantitative.** All indicators presented in this study are quantitative in nature. **5. Be transparent and unambiguous.** This criterion was examined using the Content Validity Ratio (CVR) index. In the study conducted by Abbas Aghababaei and his colleague, 105 leading and lagging indicators were presented, one of the limitations of which was lack of weighting and prioritization of indicators, which is considered in the present study.

4. CONCLUSIONS

According to the results of the present study, out of the 44 leading indicators included in the study, 36 remained useful and applicable indicators that can be used to measure process safety performance in the oil industry. Although the present study was a case study on liquid hydrocarbon tanks, most of the indicators presented can be used in other sectors of the oil industry in addition to reservoirs. In addition, the weights specified for each of these indicators can be used to prioritize the indicators.

Future studies can investigate the predictive capacity of the presented indicators compared to lagging indicators. Also, based on the study of indicators in different time frames, they can obtain the correlation between the presented indicators and lagging indicators.

5. ACKNOWLEDGMENT

We thank all experts who participated in this study.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-09]

فصلنامه بهداشت و ایمنی کار جلد ۱۵/ شماره ۲/ تابستان ۱۴۰۴ صفحات ۲۸۸-۳۰۸

انتخاب، اعتباربخشی و اولویت بندی شاخص‌های پیشرو عملکرد ایمنی فرآیند: مطالعه موردی بر روی مخازن ذخیره مایعات هیدرکربنی

فائزه تربتیان مشهدی، عمران احمدی*

گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۷/۷، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۳/۱۱

چکیده

مقدمه: اندازه‌گیری و پایش سیستم مدیریت ایمنی فرآیند به منظور کاهش ریسک حوادث در صنایع فرآیندی امری ضروری است. به این منظور، شاخص‌های عملکرد ایمنی فرآیند تحت عنوان شاخص‌های گذشته‌نگر و پیشرو مورد استفاده قرار می‌گیرند. از آنجایی‌که فراوانی بالای شاخص‌های پیشرو در مسیر پایش صحیح مدیریت ایمنی فرآیند مشکل‌ساز خواهد بود، از این رو هدف از مطالعه حاضر، انتخاب، اعتباربخشی و اولویت بندی شاخص‌های پیشرو عملکرد ایمنی فرآیند به صورت موردی بر روی مخازن ذخیره مایعات هیدرکربنی می‌باشد.

روش کار: این مطالعه در طی سه مرحله در یک پایانه نفتی انجام شد. در ابتدا شاخص‌های پیشرو مرتبط با فاکتورهای مؤثر ریسک مخازن مایعات هیدروکربنی از طریق منابعی همچون راهنماهای مرکز ایمنی فرآیندهای شیمیایی آمریکا (CCPS)، اداره بهداشت و ایمنی بریتانیا (HSE UK)، انجمن بین‌المللی تولیدکنندگان نفت و گاز (OGP) و مقالات مرتبط شناسایی و انتخاب شدند. پس از انتخاب شاخص‌های مناسب، روایی محتوایی شاخص‌ها مطالعه شد. حداقل مقدار نسبت روایی محتوایی (CVR) و شاخص روایی محتوایی (CVI) قابل قبول به ترتیب برابر ۰/۳۳ و ۰/۷۹ در نظر گرفته شد. در مرحله بعد، شاخص‌های دارای روایی محتوایی قابل قبول، از نظر قابلیت کاربرد (حداقل امتیاز قابلیت کاربرد قابل‌قبول برابر ۰/۵) و اهمیت با استفاده از وزن‌دهی فازی توسط متخصصین مورد مطالعه قرار گرفتند.

یافته ها: از ۱۸ مورد شاخص پیشرو مربوط به فاکتورهای مؤثر ریسک تأثیرگذار بر عملکرد نفرات بهره‌بردار، ۳ مورد، از ۹ مورد شاخص مربوط به عملکرد نفرات آتش‌نشان، ۲ مورد و از ۱۳ مورد شاخص مربوط به عملکرد تجهیزات، ۳ مورد به دلیل کسب مقدار کمتر از حداقل نمره قابل‌قبول CVR و CVI حذف شدند. هر ۴ شاخص مربوط به عملکرد نفرات تعمیرات و نگهداری نیز دارای CVR و CVI قابل قبول بودند. تمامی ۳۶ شاخص باقی مانده از ۴۴ شاخص اولیه، در مرحله بعد دارای امتیاز قابلیت کاربرد قابل‌قبول بودند که در نهایت از نظر اهمیت نیز وزن دهی و اولویت‌بندی شدند.

نتیجه گیری: ۳۶ شاخصی که در مطالعه حاضر ارائه شدند، می‌توانند جهت سنجش عملکرد ایمنی فرآیند در صنعت نفت استفاده شوند. هر چند مطالعه حاضر مطالعه موردی بر روی مخازن هیدروکربنی مایع بود، ولی اکثر شاخص‌های ارائه شده، علاوه بر مخازن قابلیت به کارگیری در سایر بخش‌های صنعت نفت را دارند. علاوه بر آن، از وزن‌های مشخص شده برای هر کدام از این شاخص‌ها، می‌توان در جهت اولویت‌بندی شاخص‌ها بهره برد.

کلمات کلیدی: *شاخص پیشرو، اعتباربخشی، اولویت بندی، منطق فازی*

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول مکاتبه: *o.ahmadi@modares.ac.ir*

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-09]

مقدمه

گسترش صنایع فرآیندی در کنار پیچیدگی فرآیندهای شیمیایی، پتانسیل بروز بلایای صنعتی را تشدید کرده است. تاریخچه صنایع فرآیندی مملو از بلایای مرگبار است که به دلیل انتشار مواد شیمیایی خطرناک از نظر سمیت، اشتعال‌پذیری و قابلیت انفجار رخ داده‌اند (۱). یکی از این فجایع شامل انفجار San Juan Ixhuatepec در شهر مکزیک در سال ۱۹۸۴ است که منجر به ۶۵۰ تلفات شد و به دنبال آن بلایای بوپال و پایپر آلفا رخ دادند (۲). به طور انحصاری، بلایا در طول دهه ۱۹۸۰، نهادهای نظارتی ایمنی را مجبور به اتخاذ ابتکاراتی کرد که ممکن بود شرایط کار ایمن را برای همه کارکنان تضمین کند (۳). در این زمینه، اداره ایمنی و بهداشت شغلی آمریکا (OSHA)، استاندارد مدیریت ایمنی فرآیند (PSM) را در سال ۱۹۹۲ به منظور کاهش ریسک حوادث قابل وقوع در صنایع فرآیندی پیشنهاد کرد. این استاندارد شامل تمام عناصر ضروری مورد نیاز برای مدیریت مخاطرات و ریسک‌های مرتبط با صنایع فرآیندی برای ایجاد محل کار ایمن و سالم می‌باشد. موضوع اصلی این استاندارد جلوگیری از آسیب‌های مرتبط با فرآیند و سناریوهای فاجعه با شناسایی، درک و کنترل خطرات است (۴). با این حال عملکرد ناصحیح سیستم‌های مدیریتی در بسیاری از شرکت‌ها و کمبودهای موجود در PSM و همچنین عدم وقوع پیشرفت قابل توجه در ایمنی صنایع فرآیندی باعث شد که ۱۵ سال بعد رویکرد جدیدی تحت عنوان RBPS[1] (مدیریت ایمنی فرآیند مبتنی بر ریسک) ایجاد شود (۵).

دستورالعمل‌های RBPS اولین بار توسط مرکز ایمنی فرآیند شیمیایی (CCPS[2]) پس از فاجعه انفجار پالایشگاه BP شهر تگزاس منتشر گردید (۶). آنچه ضروری است شناسایی، اندازه‌گیری و پایش مستمر ایمنی فرآیند می‌باشد، زیرا اجرای RBPS به تنهایی حذف کامل فجایع را تضمین نمی‌کند (۷).

یک رویکرد برای اندازه‌گیری و پایش و همچنین بررسی اثربخشی مدیریت ایمنی فرآیند، استفاده از شاخص‌های عملکرد ایمنی فرآیند (PSPI[3]) است (۸)، که باید امکان مقایسه پیشرفت مداوم سطح عملکرد موجود با سطح اهداف تعیین‌شده پیشین را مقدور نماید. به طور کلی شاخص‌های عملکرد ایمنی فرآیند، معیارهای کلیدی عملکرد ایمنی هستند که نشان می‌دهند چه زمانی احتمال وقوع حادثه ایمنی فرآیند بیشتر است (۹). شاخص‌های عملکرد ایمنی فرآیند و اطلاعاتی که آن‌ها ارائه می‌دهند برای ایجاد یک صنعت فرآیندی ایمن‌تر مورد نیازهستند. جمع‌آوری شاخص‌های ایمنی فرآیند موجود، مرتب‌سازی آن‌ها در عناصر خاص، تعیین اهمیت نسبی آن‌ها و ارائه امتیاز ریسک برای هر کدام نه تنها ممکن است به کاهش فراوانی بیش از حد شاخص‌ها کمک کند، بلکه باعث کاهش تلفات و بهبود ایمنی نیز می‌شود (۱۰).

شاخص‌هایی که برای سنجش یک سیستم مدیریت ایمنی فرآیند مورد استفاده قرار می‌گیرند، باید قابلیت اعتبار و اطمینان بالایی داشته باشند. علاوه بر این، آژانس بین‌المللی انرژی اتمی (IAEA[4]) ویژگی‌هایی را برای شاخص‌های عملکرد ایمنی پیشنهاد می‌کند که عبارتند از: رابطه مستقیم بین شاخص و ایمنی، در دسترس بودن داده‌های ضروری یا امکان تولید آن‌ها، قابلیت بیان شاخص‌ها به صورت کمّی، شفاف و بدون ابهام بودن شاخص‌ها، اهمیت و هدف باید درک شود، شاخص مستعد دست‌کاری نباشد، قابل مدیریت کردن باشد، معنادار باشد، قادر به گنجاندن در فعالیت‌های عملیاتی نرمال باشد، قادر به اعتباربخشی باشد، قادر به پیوند با علت یک نقص باشد، صحت داده در هر سطح قادر به کنترل کیفیت و بررسی و تحقیق باشد و توانایی اتخاذ اقدامات محلی بر پایه شاخص‌ها وجود داشته باشد (۱۱).

شاخص‌های عملکردی به طور معمول شامل ۱) رویکرد مبتنی بر نتایج ۲) رویکرد مبتنی بر انطباق و ۳) رویکرد مبتنی بر فرآیند هستند. در مورد اول شاخص‌های واکنشی[5] یا گذشته‌نگر یا نتیجه‌گرا که به آن‌ها شاخص‌های پیامد یا منفی نیز گفته می‌شود، برای

1. Risk based process safety
2. Chemical center of process safety
3. Process Safety performance indicators (PSPI)
4. International atomic fnergy agency
5. Lagging indicators

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-09]

سنجش عملکرد بکار می‌روند. در حالی‌که برای دو رویکرد دیگر، شاخص‌های کنشی[1] یا پیشرو یا پیش فعال[2] که آن‌ها را شاخص‌های مثبت یا پیش‌بینی نیز می‌نامند، به کار می‌روند (۱۲). روش سنتی که برای ارزیابی عملکرد ایمنی به وسیله اندازه‌گیری و آنالیز آماری داده‌های مربوط به حوادث (مانند تعداد صدمات و بیماری‌ها، نرخ شدت و فراوانی حوادث، هزینه‌های حوادث، تعداد شبه‌حوادث و یا خسارات ایجاد شده به دلیل عملکرد ایمنی ضعیف) مورد استفاده قرار می‌گیرد، شاخص گذشته‌نگر یا نتیجه‌گرا نامیده می‌شود. شاخص‌های گذشته‌نگر، اطلاعات را بعد از رویداد رخ داده فراهم می‌کنند و برای اجرای تغییرات مورد استفاده قرار می‌گیرند. در واقع شاخص‌های گذشته‌نگر نشان‌دهنده عملکرد سازمان پس از وقوع حادثه می‌باشند و از آنجایی که هدف از استقرار سیستم مدیریت ایمنی، بهبود مستمر و پیش‌بینی رویدادها قبل از وقوع آن‌هاست، بنابراین صرفاً به کارگیری شاخص‌های گذشته‌نگر نمی‌تواند سودمند باشد (۱۳-۱۶). برای این منظور باید از شاخص‌های پیشرو استفاده کرد که سازمان‌ها را قادر به پیشگیری می‌کند و آن‌ها را در تدوین برنامه‌های بهبود عملکرد ایمنی و اقدامات اصلاحی پیش از بروز حوادث یاری می‌رساند (۱۷).

شاخص‌های پیشرو چگونگی عملکرد واقعی سیستم‌های ایمنی و اینکه با چه کیفیتی اهداف پیشگیری از حوادث برآورده می‌شود را نشان می‌دهند. اجرای شاخص‌های پیشرو یک فرآیند یادگیری است. این یادگیری از طریق یک فرآیند تکرار با بهبود مستمر بصورت انجام اصلاحات برای برنامه موجود، انجام می‌شود (۱۸). شاخص‌های پیشرو، هشدار اولیه از نقص بالقوه را ارائه می‌دهند ، از این رو آن‌ها فرصت‌های شناسایی و حذف یا کاهش ریسک‌ها را قبل از وقوع حادثه در سازمان‌ها پیشنهاد می‌کنند (۱۹). میزان بازرسی‌ها و ممیزی‌ها، تعداد اقدامات پیشگیرانه و سرانه آموزش از جمله این شاخص‌ها هستند (۴).

انتخاب شاخص‌های عملکرد ایمنی فرآیند مناسب به منظور بررسی بهتر اثربخشی مدیریت ایمنی از اهمیت بالایی برخوردار است (۹). سازمان‌های مختلف از جمله اداره بهداشت و ایمنی بریتانیا (HSE UK[3]) (۲۰)، انستیتوی نفت آمریکا (API[4]) (۲۱)، انجمن بین‌المللی تولیدکنندگان نفت و گاز (OGP[5]) (۲۲)، انجمن مهندسان شیمی (IChemE[6]) و مرکز ایمنی فرآیند شیمیایی آمریکا (CCPS) (۵) دستورالعمل‌ها و راهنماهای مختلفی را در خصوص برنامه‌های PSPI ارائه نموده‌اند (۹, ۲۳).

به دلیل فراوانی بالای شاخص‌های عملکرد ایمنی فرآیند ارائه شده در راهنماهای ذکر شده، صنایع فرآیندی قادر نخواهند بود که اطلاعات موردنیاز تمامی این شاخص‌ها را جمع‌آوری و سنجش نمایند، از این رو در این مطالعه برآنیم تا مشکل فراوانی بالای شاخص‌ها را حل نموده و تعداد آن‌ها را به شاخص‌های کمتر اما کاربردی و پراهمیت‌تر کاهش دهیم. بررسی شاخص‌های موجود برای ارائه تعدادی اندک اما مؤثر از این شاخص‌ها، می‌تواند تلاش برای جمع‌آوری اطلاعات لازم جهت سنجش سیستم را کاهش دهد. شاخص‌هایی ساده، روان، کاربردی و با تعداد کم، می‌توانند اثربخشی سیستم مدیریت ایمنی فرآیند را بهبود بخشند. تاکنون مطالعه‌ای در این زمینه بر روی مخازن ذخیره مایعات هیدرکربنی صورت نگرفته است. مخازن هیدروکربن در شرکت‌های نفت، پالایش و پخش و پتروشیمی برای نگهداری حجم عظیمی از مواد مخاطره‌آمیز مورد استفاده قرار می‌گیرند و پرتلفات‌ترین آتش‌سوزی‌ها در صنایع شیمیایی بر روی این مخازن بوده است. نمونه بارزی از حوادث مخازن داخل کشور، حادثه آتش‌سوزی مخزن اتمسفریک پتروشیمی بوعلی سینای ماهشهر در سال ۱۳۹۵، حادثه جزیره خارک در سال ۱۳۸۹ و آتش‌سوزی استخری مخزن پالایشگاه بیستون کرمانشاه در سال ۱۳۹۵ می‌باشد (۲۳).

با توجه به اهمیت و ریسک بسیار بالای مخازن ذخیره مایعات هیدروکربنی، در این راستا هدف مطالعه حاضر، انتخاب، اعتباربخشی و اولویت‌بندی شاخص‌های پیشرو

1. Leading indicator
2. Proactive
3. Health and safety executive
4. American petroleum institute
5. International association of oil & gas producers
6. Institution of chemical engineers

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-09]

عملکرد ایمنی فرآیند به صورت موردی بر روی مخازن ذخیره مایعات هیدرکربنی می‌باشد.

روش‌کار

الف) شناسایی فاکتورهای مؤثر در حوادث مخازن ذخیره مایعات هیدروکربنی

در ابتدا، به منظور شناسایی فاکتورهای مؤثر در حوادث مخازن ذخیره مایعات هیدروکربنی، از فاکتورهای مشخص شده در مطالعه مروری احمدی و همکاران استفاده شد (۲۴). این مطالعه، با توجه به اینکه جدیدترین مطالعه مروری در این زمینه بود، مورد استفاده قرار گرفت

ب) شناسایی شاخص‌های پیشرو مرتبط با فاکتورهای مؤثر در حوادث مخازن و بررسی روایی محتوایی آن‌ها

در مرحله بعد، به منظور شناسایی شاخص‌های پیشرو مرتبط با فاکتورهای مؤثر در حوادث مخازن، از راهنماهای CCPS (۵, ۲۵)، HSE UK (۲۰)، OGP (۲۶) و مقالات مرتبط استفاده شد. در این مرحله، شاخص‌های مرتبط با فاکتورهای مؤثر ریسک از منابع اشاره شده استخراج شد. سپس از طریق مصاحبه و بحث با کارکنان عملیاتی آگاه به اینکه کدام اطلاعات و با چه فرمتی ثبت می‌شود و کدام شاخص‌ها می‌توانند با هزینه کمتری جمع‌آوری گردند، شاخص‌های مرتبط برای ادامه مطالعه انتخاب شدند. سعی شد از شاخص‌هایی استفاده شود که در پایگاه‌های داده شرکت موجود باشند و بار اضافی به شرکت وارد نشود. پس از انتخاب شاخص‌های مناسب، روایی محتوایی شاخص‌ها مطالعه شد. به منظور مطالعه روایی شاخص‌ها از نسبت روایی محتوایی (CVR) و شاخص روایی محتوایی (CVI) استفاده شد.

مفهوم روایی[1] به این سؤال پاسخ می‌دهد که ابزار اندازه‌گیری تا چه حد خصیصه مورد نظر را می‌سنجد. روش‌های متعددی برای سنجش روایی وجود دارد که روایی محتوایی مرسوم‌ترین آن‌ها است. در ساده‌ترین حالت برای سنجش روایی محتوایی، شاخص‌ها در اختیار اساتید و خبرگان حوزه قرار داده می‌شود و از آن‌ها در مورد اعتبار شاخص‌ها نظرخواهی می‌شود. دو روش دیگر برای سنجش روایی محتوایی وجود دارد:

۱. نسبت روایی محتوایی یا CVR
۲. شاخص روایی محتوایی یا CVI

نسبت روایی محتوایی (CVR):

نسبت روایی محتوایی[2] یا CVR یک روش سنجش روایی ابزار یا پرسشنامه است. این نسبت توسط Lawshe طراحی شده است (۲۷). جهت محاسبه این نسبت از نظرات کارشناسان متخصص در زمینه محتوای آزمون مورد نظر استفاده شد و با توضیح اهداف مطالعه برای آن‌ها و ارائه تعاریف عملیاتی مربوط به محتوای شاخص‌ها، از آن‌ها خواسته شد تا هر یک از شاخص‌ها را بر اساس طیف سه بخشی لیکرت «شاخص ضروری است»، «شاخص مفید است ولی ضروری نیست» و «شاخص ضرورتی ندارد» طبقه‌بندی کنند. سپس بر اساس فرمول زیر، نسبت روایی محتوایی محاسبه شد:

رابطه ۱

$$CVR = \frac{n_e - \frac{N}{2}}{\frac{N}{2}}$$

در این فرمول:

N : تعداد کل متخصصین

n_e : تعداد متخصصینی که گزینه ضروری را انتخاب کرده‌اند.

حداقل مقدار CVR قابل‌قبول بر اساس تعداد خبرگانی که سؤالات را مورد ارزیابی قرار داده‌اند (۳۰ نفر)، برابر ۰/۳۳ در نظر گرفته شد. شاخص‌هایی که مقدار CVR برای آن‌ها کمتر از ۰/۳۳ بود، از مطالعه کنار گذاشته شدند.

شاخص روایی محتوایی (CVI)

شاخص روایی محتوایی[3] نیز برای سنجش روایی پرسشنامه استفاده می‌شود. شاخص روایی محتوایی توسط Waltz و Bausell (۲۸) ارائه شده است. به منظور

1. Validity

2. Content validity ratio (CVR)
3. Content validity index (CVI)

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-09]

جدول ۱: تعیین شاخص‌های میانگین وزنی

شاخص‌ها	رتبه‌بندی	نمره
سمت سازمانی	مدیرعامل	۴
	رئیس/سرپرست	۳
	کارشناس ارشد	۲
	کارشناس	۱
تجربه	بیشتر از ۳۰ سال	۴
	۲۰ تا ۳۰ سال	۳
	۱۰ تا ۲۰ سال	۲
	۵ تا ۱۰ سال	۱
تحصیلات	دکتری	۵
	فوق‌لیسانس	۴
	لیسانس	۳
	فوق‌دیپلم	۲
	دیپلم	۱
سن	بالای ۵۰ سال	۴
	۴۰ تا ۵۰ سال	۳
	۳۰ تا ۴۰ سال	۲
	کمتر از ۳۰ سال	۱

محاسبه این شاخص، از متخصصین خواسته شد میزان مرتبط بودن هر شاخص را با طیف چهار گزینه‌ای زیر مشخص کنند:

- غیر مرتبط
- نیاز به بازبینی اساسی
- مرتبط اما نیاز به بازبینی
- کاملاً مرتبط

تعداد متخصصینی که گزینه ۳ و ۴ را انتخاب کرده بودند بر تعداد کل متخصصین تقسیم شد. زمانی که مقدار حاصل از ۰/۷ کوچک‌تر بود شاخص رد می‌شد. اگر بین ۰/۷ تا ۰/۷۹ بود بازبینی می‌شد و شاخص‌های با عدد بالای ۰/۷۹ به عنوان شاخص با روایی محتوایی قابل‌قبول انتخاب شدند. به عبارتی حداقل مقدار CVI قابل‌قبول برابر ۰/۷۹ در نظر گرفته شد.

ج) بررسی قابلیت کاربرد شاخص‌ها

در این بخش، قابلیت کاربرد شاخص‌هایی که از روایی محتوایی بالایی برخوردار بودند، با استفاده از وزن‌دهی فازی توسط متخصصین مورد بررسی قرار گرفت. برای اجماع نظر متخصصین از روش نظرسنجی خطی پیشنهاد شده توسط Clemen و Winkler (رابطه ۲) استفاده شد (۲۹).

$$M_i = \sum_{j=1}^{n} W_j A_{ij} \quad (i = 1,2,3,\dots,m)$$ رابطه ۲

در این رابطه، A_{ij}: متغیر زبانی در رابطه با هر رویداد اساسی i توسط کارشناس j، W_j: وزن کارشناس j و M_i: اجماع نظر متخصصین.

متخصصین با توجه به دانش و تجربه و میزان دسترسی به اطلاعات، وزن داده شدند. برای این منظور از جدول شاخص‌های مورد استفاده در تعیین وزن خبرگان Renjith و همکارانش استفاده شد (جدول ۱) (۳۰).

قابلیت کاربرد بر اساس نظر متخصصین و طیف لیکرت ارائه شده در جدول ۲ که اعداد فازی معادل آن (l_{ij},m_{ij},u_{ij}) نیز در ستون آخر جدول آورده شده است، بررسی شد. بدین ترتیب حد قابل‌قبول قابلیت کاربرد

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-09]

جدول ۲: عبارت زبانی و اعداد فازی

طیف لیکرت	عبارت زبانی	اعداد فازی مثلثی
۱	خیلی کم	(۰، ۰، ۰/۲۵)
۲	کم	(۰، ۰/۲۵، ۰/۵)
۳	متوسط	(۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵)
۴	زیاد	(۰/۵، ۰/۷۵، ۱)
۵	خیلی زیاد	(۰/۷۵، ۱، ۱)

برابر ۰/۵ در نظر گرفته شد. بدین ترتیب در این مرحله، شاخص‌هایی که دارای امتیاز بالای ۰/۵ بودند به عنوان شاخص‌های قابل کاربرد در نظر گرفته شدند. برای این منظور از ۳۰ نفر متخصص در زمینه ایمنی مخازن در صنعت نفت کمک گرفته شد. متخصصین دارای حداقل ۱۰ سال سابقه کار در زمینه ایمنی بودند و محلی که آن‌ها مشغول به فعالیت بودند دارای مخازن ذخیره مایعات هیدروکربنی (اتمسفریک) بود. متخصصین از سه شرکت پتروشیمی، پالایش و پخش و شرکت نفت بودند. این متخصصین در حال حاضر در پست‌های سازمانی HSE، تعمیرات و نگهداری، بازرسی فنی و بهره‌برداری مشغول به فعالیت بودند. متخصصین با توجه به دانش و تجربه و میزان دسترسی به اطلاعات، وزن داده شدند.

د) بررسی اهمیت شاخص‌ها

در این مرحله، بعد از انجام مقایسه زوجی توسط خبرگان، بر اساس نظرات خبرگان ماتریس فازی تشکیل شد. در نهایت برای دی فازی کردن نتایج از رابطه ۳ استفاده شد.

$$W_{crisp} = \frac{l_{ij} + 2m_{ij} + u_{ij}}{4}$$ رابطه ۳

سپس هر وزن دی فازی شده را بر مجموع اوزان تقسیم کرده تا وزن نرمال شده نهایی حاصل گردد.

یافته‌ها

با توجه به مطالعه احمدی و همکاران (۲۴) فاکتورهای مؤثر ریسک[1] تأثیرگذار بر روی حوادث مخازن در چهار گروه تقسیم شده بودند: ۱- فاکتورهای مؤثر ریسک تأثیرگذار بر روی عملکرد نفرات بهره‌بردار، ۲- فاکتورهای مؤثر ریسک تأثیرگذار بر روی عملکرد نفرات تعمیرات و نگهداری، ۳- فاکتورهای مؤثر ریسک تأثیرگذار بر روی عملکرد تجهیزات، ۴- فاکتورهای مؤثر ریسک تأثیرگذار بر روی عملکرد نفرات آتش‌نشانی.

پس از شناسایی و جمع‌آوری شاخص‌های پیشرو مربوط به فاکتورهای مؤثر در حوادث مخازن برای این چهار گروه از طریق راهنماهای CCPS (۵, ۲۵)، HSE UK(۲۰) OGP (۲۶) و مقالات مرتبط، روایی محتوایی شاخص‌ها مطالعه گردید. با توجه به اینکه تعداد متخصصین ۳۰ نفر بود (مطابق جدول ۳)، حداقل مقدار نسبت روایی محتوایی (CVR) قابل‌قبول برابر ۰/۳۳ و حداقل مقدار شاخص روایی محتوایی (CVI) قابل‌قبول برابر ۰/۷۹ در نظر گرفته شد.

الف) داده‌های بررسی CVR و CVI شاخص‌های پیشرو

جدول ۴ مربوط به CVR و CVI شاخص‌های پیشرو مرتبط با فاکتورهای مؤثر ریسک تأثیرگذار بر عملکرد نفرات بهره‌بردار می‌باشد. برای این فاکتورها ۱۸ شاخص پیشرو شناسایی شد. از ۱۸ شاخص مربوطه، ۳ شاخص «*درصد نفرات بهره‌برداری/تعمیرات و نگهداری که بر این عقیده‌اند روش‌های اجرایی، کاربردی، صحیح و مؤثر هستند به کل نفرات بهره‌برداری/تعمیرات و نگهداری که*

1. Risk influencing factors (RIFs)

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-09]

جدول ۳: مشخصات و تعیین فاکتور وزن متخصصین

شماره متخصص	سمت سازمانی	تجربه	سطح تحصیلات	سن	امتیاز وزنی	فاکتور وزن
۱	۳	۲	۴	۳	۱۲	۰/۰۳۷
۲	۳	۴	۴	۳	۱۴	۰/۰۴۳
۳	۲	۲	۴	۲	۱۰	۰/۰۳۱
۴	۳	۳	۴	۳	۱۳	۰/۰۴۰
۵	۳	۳	۴	۳	۱۳	۰/۰۴۰
۶	۳	۴	۴	۴	۱۵	۰/۰۴۶
۷	۱	۱	۵	۲	۹	۰/۰۲۸
۸	۱	۱	۵	۱	۸	۰/۰۲۵
۹	۳	۲	۳	۲	۱۰	۰/۰۳۱
۱۰	۱	۳	۳	۳	۱۰	۰/۰۳۱
۱۱	۲	۲	۴	۳	۱۱	۰/۰۳۴
۱۲	۱	۲	۳	۲	۸	۰/۰۲۵
۱۳	۲	۲	۳	۲	۹	۰/۰۲۸
۱۴	۳	۳	۳	۳	۱۲	۰/۰۳۷
۱۵	۳	۲	۴	۳	۱۲	۰/۰۳۷
۱۶	۳	۲	۴	۲	۱۱	۰/۰۳۴
۱۷	۱	۳	۳	۳	۱۰	۰/۰۳۱
۱۸	۱	۱	۳	۲	۷	۰/۰۲۱
۱۹	۱	۲	۳	۳	۹	۰/۰۲۸
۲۰	۱	۲	۴	۲	۹	۰/۰۲۸
۲۱	۳	۴	۳	۴	۱۴	۰/۰۴۳
۲۲	۲	۳	۴	۴	۱۳	۰/۰۴۰
۲۳	۳	۳	۳	۲	۱۱	۰/۰۳۴
۲۴	۱	۴	۲	۴	۱۱	۰/۰۳۴
۲۵	۳	۳	۳	۲	۱۱	۰/۰۳۴
۲۶	۲	۲	۴	۲	۱۰	۰/۰۳۱
۲۷	۳	۳	۳	۳	۱۲	۰/۰۳۷
۲۸	۲	۲	۴	۳	۱۱	۰/۰۳۴
۲۹	۳	۲	۴	۳	۱۲	۰/۰۳۷
۳۰	۱	۲	۴	۲	۹	۰/۰۲۸

متأثر از روش‌های اجرایی هستند»، «*درصد روزهایی که در آن نفرات مربوط به پست‌های کلیدی مربوط به مخازن در محل کار حضور نداشته‌اند*» و «*درصد ساعات اضافه کاری (نسبت به ساعت کاری استاندارد محاسبه شود)*» به ترتیب با CVR برابر ۰/۲۰، ۰/۱۴ و ۰/۱۲ و CVI برابر ۰/۶۰، ۰/۶۲ و ۰/۷۱، به دلیل دارا بودن CVR و CVI کمتر از حداقل مقدار قابل‌قبول، یعنی CVR برابر ۰/۳۳ و CVI برابر ۰/۷۹، حذف شدند.

جدول ۵ شاخص‌های پیشرو مربوط به فاکتورهای مؤثر ریسک که روی عملکرد نفرات تعمیرات و نگهداری اثر می‌گذارند را نشان می‌دهد. برای این منظور ۴ شاخص پیشرو تعریف شد. تمامی ۴ شاخص دارای CVR و CVI

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-09]

جدول ۴: شاخص‌های مربوط به فاکتورهای مؤثر ریسک تأثیرگذار بر عملکرد نفرات بهره‌بردار

ردیف	فاکتور مؤثر ریسک	شاخص	CVR	CVI
۱	روش اجرایی عملیاتی بهره‌برداری	درصد روش‌های اجرایی بازبینی و بروز شده مربوط به بهره‌برداری/ تعمیرات و نگهداری مخازن به تعداد روش‌های اجرایی بهره‌برداری/ تعمیرات و نگهداری مخازن که نیاز به بازبینی و بروز شدن داشتند (در بازه زمانی مورد نظر).	۰/۶۰	۰/۹۲
۲		درصدی از وظایف حیاتی ایمنی که برای آن، روش اجرایی بهره‌برداری مخازن/ تعمیرات و نگهداری مخازن مکتوب با دامنه کاربرد صحیح و با جزئیات کافی وجود دارد.	۱	۰/۹۲
۳		درصد نفرات بهره‌برداری/ تعمیرات و نگهداری که بر این عقیده‌اند روش‌های اجرایی، کاربردی، صحیح و مؤثر هستند به کل نفرات بهره‌برداری/ تعمیرات و نگهداری که متأثر از روش‌های اجرایی هستند.	۰/۲۰	۰/۶۰
۴	نظارت و سرپرستی	درصد آموزش‌های توجیهی قبل از شروع کار برگزار شده برای فعالیت‌های نفرات بهره‌بردار به کل فعالیت‌های انجام شده.	۰/۶۳	۰/۸۳
۵		درصد روزهایی که در آن نفرات مربوط به پست‌های کلیدی مربوط به مخازن در محل کار حضور نداشته‌اند.	۰/۱۴	۰/۶۲
۶	وضعیت نیروی انسانی و فشار زمانی کار	درصد نیروی انسانی مشغول به فعالیت به تعداد نیروی انسانی مورد نیاز برای عملیات (واحد مخازن).	۰/۴۱	۰/۸۷
۷		درصد شیفت‌هایی طولانی‌تر از استاندارد در بازه زمانی مشخص.	۰/۴۴	۰/۸۳
۸		درصد ساعات اضافه کاری (نسبت به ساعت کاری استاندارد محاسبه شود).	۰/۱۲	۰/۷۱
۹	شناسایی خطرات و مدیریت ریسک	درصد اقدامات اصلاحی (پیشنهادات) ارزیابی ریسک به کار گرفته شده به کل پیشنهادات ارائه شده توسط ارزیابی ریسک.	۰/۶۲	۰/۸۴
۱۰		درصد پیشنهادات ارزیابی ریسک انجام شده به کل پیشنهادات برنامه‌ریزی شده برای انجام (در بازه زمانی مورد نظر).	۰/۴۶	۰/۸۳
۱۱	ارتباطات بین نفرات بهره‌برداری و ارتباط با واحدهای دیگر	درصد ارتباطات موفق بین افراد قبل و بعد از فعالیت و کارهای عملیاتی بین نفرات بهره‌بردار.	۰/۶۴	۰/۸۸
۱۲		آیا سیستم‌های ارتباطی مشخص وجود دارد؟ (تجهیزات ارتباطی اعم از بی سیم، پیجر و ...)	۰/۸۴	۰/۸۳
۱۳		آیا درس آموزی از حوادث مربوط به مخازن به اشتراک گذاشته می‌شود؟	۱	۰/۹۶
۱۴		درصد چک کردن‌های پس از انتقال محصول به منظور تأیید اینکه پمپ‌ها متوقف شده و شیرهای ورودی و خروجی به طور کامل بسته شده‌اند (در مورد مخازن).	۰/۵۴	۰/۸۸
۱۵		آیا هنگام تعویض شیفت‌ها برنامه تحویل شیفت به مدت معین اجرا می‌شود؟	۰/۷۶	۰/۹۲
۱۶	آموزش و صلاحیت نفرات بهره‌برداری/ تعمیرات و نگهداری	درصد افرادی که برای وظایف تعیین شده خود آموزش‌های تخصصی ایمنی دیده‌اند.	۰/۶	۰/۸۳
۱۷		درصد افرادی که با موفقیت آموزش‌های تخصصی تعیین شده را گذرانده‌اند.	۰/۵۶	۰/۸۰
۱۸		درصد دوره‌های ایمنی بازآموزی به کل دوره‌های بازآموزی برنامه‌ریزی شده (برای بازه زمانی مشخص).	۰/۵۴	۰/۸۴

جدول ۵: شاخص‌های مربوط به فاکتورهای مؤثر ریسک تأثیرگذار بر عملکرد نفرات تعمیرات و نگهداری

ردیف	فاکتور مؤثر ریسک	شاخص	CVR	CVI
۱	ارتباطات و هماهنگی بین نفرات تعمیرات و نگهداری با واحدهای دیگر	درصد ارتباطات موفق بین نفرات بهره‌بردار و نفرات تعمیرات و نگهداری قبل و بعد از فعالیت و کارهای تعمیراتی و ایزولاسیون فرآیندی.	۰/۴۶	۰/۸۳
۲		درصد درس‌آموزی از حوادث مربوط به مخازن به کل حوادث مخازن اتفاق افتاده.	۰/۸۴	۰/۸۷
۳	مجوز کار	درصد فعالیت‌های انجام شده طبق شرایط درج شده در مجوز کار.	۰/۷۶	۰/۸۳
۴		درصد مجوز کارهای صادر شده‌ای که به وضوح، وظایف، خطرات، ریسک‌های درگیر و اقدامات کنترلی که باید به کار گرفته شوند را تعیین کرده‌اند.	۰/۷۰	۰/۸۸

قابل قبول بودند.

جدول ۶ شاخص‌های پیشرو مربوط به فاکتورهای مؤثر ریسک که روی عملکرد تجهیزات اثر می‌گذارند را نشان می‌دهد. برای این منظور ۱۳ شاخص پیشرو تعریف شد. ۱۱ مورد از شاخص‌ها دارای CVR و CVI قابل قبول بودند. شاخص «*درصد تغییرات ممیزی شده که*

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-09]

پیش از تغییر، روش اجرایی مدیریت تغییر برای آن‌ها استفاده شده است» و شاخص «*درصد تغییراتی که تمام جنبه‌های روش اجرایی مدیریت تغییر را برآورده کرده است*» به ترتیب با CVR برابر ۰/۲۸ و ۰ و همچنین CVI برابر ۰/۷۷ و ۰/۶۴ حذف شدند. همچنین شاخص «درصد تغییراتی که قبل از انجام آن‌ها، مجوزهای لازم صادر شده است» به دلیل CVI برابر ۰/۶۵ (پایین‌تر از حد قابل‌قبول ۰/۷۹) حذف شد.

جدول ۷ شاخص‌های پیشرو مربوط به فاکتورهای مؤثر ریسک که روی عملکرد آتش‌نشانان اثر می‌گذارند را نشان می‌دهد. برای این منظور ۹ شاخص پیشرو تعریف شد. ۷ مورد از شاخص‌ها دارای CVR و CVI قابل‌قبول

جدول ۶: شاخص‌های مربوط به فاکتورهای مؤثر ریسک تأثیرگذار بر عملکرد تجهیزات

ردیف	فاکتور مؤثر ریسک	شاخص	CVR	CVI
۱	تعمیرات و نگهداری	درصد وظایف/ اقدامات تعمیرات و نگهداری تکمیل شده بر اساس برنامه (در بازه زمانی مشخص).	۰/۵۴	۰/۸۴
۲		درصد عناصر/ تجهیزات حیاتی ایمنی که بعد از تعمیرات، از نظر کارکرد در شرایط خوبی بودند (برای مثال تعمیرات انجام شده روی نشت بند).	۱	۰/۹۶
۳		درصد مجموع زمانی که تاسیسات با عناصر یا تجهیزات ایمنی حیاتی ناقص و معیوب در حال کار است بر کل مدت زمانی که تاسیسات در حال کار است.	۰/۳۸	۰/۹۰
۴	بازرسی فنی و تست عملکرد	درصد وظایف/ اقدامات بازرسی فنی تکمیل شده بر اساس برنامه (در بازه زمانی مشخص).	۰/۶۹	۰/۹۶
۵		درصد تست‌های عملکرد تجهیزات هشداردهنده و تجهیزات ابزار دقیق (برای مثال سطح سنج مخزن) بر اساس برنامه.	۰/۷۸	۰/۹۳
۶		درصد تست عملکرد سیستم ارت و همبندی مخازن بر اساس برنامه.	۰/۶۹	۰/۹۲
۷		درصد تجهیزات ایمنی حیاتی و هشداردهنده‌ها که به صورت صحیح شرایط فرآیند را نشان می‌دهند.	۰/۷۷	۰/۹۶
۸	طراحی	درصد تجهیزات فرآیندی و موارد حیاتی ایمنی که در انطباق با کدها و استانداردها، طراحی شده‌اند.	۰/۶۲	۰/۸۴
۹	مدیریت تغییر	درصد تغییرات ممیزی شده که پیش از تغییر، روش اجرایی مدیریت تغییر برای آن‌ها استفاده شده است.	۰/۲۸	۰/۷۷
۱۰		درصد اقدامات مربوط به تغییر تأسیسات که قبل از تغییر، ارزیابی ریسک کافی انجام شده است.	۰/۳۹	۰/۸۶
۱۱		درصد تغییراتی که تمام جنبه‌های روش اجرایی مدیریت تغییر را برآورده کرده است.	۰/۰۰	۰/۶۴
۱۲		درصد تغییراتی که قبل از انجام آن‌ها، مجوزهای لازم صادر شده است.	۰/۴۴	۰/۶۵
۱۳		درصد اقدامات HAZOP مرتبط با تغییر که کامل شده‌اند.	۰/۶۴	۰/۸۲

جدول ۷: شاخص‌های مربوط به فاکتورهای مؤثر ریسک تأثیرگذار بر عملکرد آتش‌نشانان

ردیف	فاکتور مؤثر ریسک	شاخص	CVR	CVI
۱	هماهنگی و ارتباط در زمان حادثه	درصد ارتباط موفق بین نفرات برای مقابله با شرایط اضطراری.	۰/۸۵	۰/۹۲
۲		درصد ارتباط موفق بین واحدهای مختلف برای مقابله با شرایط اضطراری.	۰/۸۵	۰/۹۲
۳	آموزش و صلاحیت آتش نشان‌ها	درصد نفراتی که در تمرینات و مانورهای شرایط اضطراری در چند ماه گذشته شرکت کرده‌اند.	۰/۱۵	۰/۸۰
۴		درصد کارکنان و پیمانکارنی که در مورد شرایط اضطراری آموزش دیده‌اند.	۰/۳۸	۰/۸۳
۵	طرح پاسخ به شرایط اضطراری	درصد تهیه طرح واکنش به شرایط اضطراری برای سناریوهای معتبر به کل سناریوهای معتبر.	۰/۶۸	۰/۸۴
۶		درصد مانورها و تمرینات برگزار شده به مانورها و تمرینات برنامه‌ریزی‌شده برای سناریوهای برنامه‌ریزی شده.	۰/۵۸	۰/۸۴
۷		درصد مانورهای تهیه شده برای سناریوها به کل سناریوهای محتمل.	۰/۲۵	۰/۷۵
۸		درصد سیستم‌های Shutdown/Isolation که زمان تست بر اساس استاندارد، به طور مطلوب عمل کرده‌اند؟	۰/۶۸	۰/۹۶
۹		درصد شیرهای ESD و تریپ‌های فرآیندی تست شده بر اساس برنامه ارائه شده توسط استاندارد مرتبط.	۰/۷۴	۰/۹۱

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-09]

جدول ۸: قابلیت کاربرد شاخص‌های مربوط به فاکتورهای مؤثر ریسک تأثیرگذار بر عملکرد نفرات بهره‌بردار

ردیف	فاکتور مؤثر ریسک	شاخص	امتیاز فازی	امتیاز قطعی
۱	روش اجرایی بهره‌برداری	درصد روش‌های اجرایی بازبینی و بروز شده مربوط به بهره‌برداری/ تعمیرات و نگهداری مخازن به تعداد روش‌های اجرایی بهره‌برداری/ تعمیرات و نگهداری مخازن که نیاز به بازبینی و به‌روز شدن داشتند (در بازه زمانی موردنظر).	(۰/۴۸ ،۰/۷۲ ،۰/۹۱)	۰/۷۱
۲		درصدی از وظایف حیاتی ایمنی که برای آن، روش اجرایی بهره‌برداری مخازن/ تعمیرات و نگهداری مخازن مکتوب با دامنه کاربرد صحیح و با جزئیات کافی وجود دارد.	(۰/۵۳ ،۰/۷۷ ،۰/۹۶)	۰/۷۶
۳	نظارت و سرپرستی	درصد آموزش‌های توجیهی قبل از شروع کار برگزارشده برای فعالیت‌های نفرات بهره‌بردار به کل فعالیت‌های انجام‌شده.	(۰/۵۰ ،۰/۷۴ ،۰/۸۹)	۰/۷۲
۴	وضعیت نیروی انسانی و فشار زمانی کار	درصد نیروی انسانی مشغول به فعالیت به تعداد نیروی انسانی موردنیاز برای عملیات (واحد مخازن).	(۰/۵۲ ،۰/۷۷ ،۰/۹۳)	۰/۷۵
۵		درصد شیفت‌هایی طولانی‌تر از استاندارد در بازه زمانی مشخص.	(۰/۳۰ ،۰/۵۲ ،۰/۷۴)	۰/۵۲
۶	شناسایی خطرات و مدیریت ریسک	درصد اقدامات اصلاحی (پیشنهادات) ارزیابی ریسک به کار گرفته‌شده به کل پیشنهادات ارائه‌شده توسط ارزیابی ریسک.	(۰/۵۰ ،۰/۷۵ ،۰/۹۱)	۰/۷۳
۷		درصد پیشنهادات ارزیابی ریسک انجام‌شده به کل پیشنهادات برنامه‌ریزی‌شده برای انجام (در بازه زمانی موردنظر).	(۰/۳۹ ،۰/۶۲ ،۰/۸۲)	۰/۶۱
۸	ارتباطات بین نفرات بهره‌برداری و ارتباط با واحدهای دیگر	درصد ارتباطات موفق بین افراد قبل و بعد از فعالیت و کارهای عملیاتی بین نفرات بهره‌بردار.	(۰/۴۵ ،۰/۷۰ ،۰/۸۷)	۰/۶۸
۹		آیا سیستم‌های ارتباطی مشخص وجود دارد؟ (تجهیزات ارتباطی اعم از بی‌سیم، پیجر و ...)	(۰/۵۱ ،۰/۷۳ ،۰/۸۶)	۰/۷۱
۱۰		درصد درس‌آموزی از حوادث مربوط به مخازن به اشتراک گذاشته می‌شود؟	(۰/۴۱ ،۰/۶۱ ،۰/۷۵)	۰/۶۰
۱۱		درصد چک کردن‌های پس از انتقال محصول به منظور تأیید اینکه پمپ‌ها متوقف‌شده و شیرهای ورودی و خروجی به‌طور کامل بسته شده‌اند (در مورد مخازن).	(۰/۴۸ ،۰/۶۹ ،۰/۸۲)	۰/۶۷
۱۲		آیا هنگام تعویض شیفت‌ها برنامه تحویل شیفت به مدت معین اجرا می‌شود؟	(۰/۳۶ ،۰/۵۳ ،۰/۶۴)	۰/۵۱
۱۳	آموزش و صلاحیت نفرات بهره‌برداری/ تعمیرات و نگهداری	درصد افرادی که برای وظایف تعیین‌شده خود آموزش‌های تخصصی ایمنی دیده‌اند.	(۰/۵۸ ،۰/۸۳ ،۰/۹۶)	۰/۸۰
۱۴		درصد افرادی که با موفقیت آموزش‌های تخصصی تعیین‌شده را گذرانده‌اند.	(۰/۴۷ ،۰/۷۱ ،۰/۸۹)	۰/۶۹
۱۵		درصد دوره‌های ایمنی بازآموزی به کل دوره‌های بازآموزی برنامه‌ریزی‌شده (برای بازه زمانی مشخص).	(۰/۴۷ ،۰/۷۱ ،۰/۸۸)	۰/۶۹

بودند. شاخص «*درصد نفراتی که در تمرینات و مانورهای شرایط اضطراری در چند ماه گذشته شرکت کرده‌اند*» و شاخص «*درصد مانورهای تهیه شده برای سناریوها به کل سناریوهای محتمل*» به ترتیب با CVR برابر ۰/۱۵ و ۰/۲۵ حذف شدند. همچنین شاخص «درصد مانورهای تهیه شده برای سناریوها به کل سناریوهای محتمل» دارای CVI برابر ۰/۷۵ (پایین‌تر از حد قابل‌قبول ۰/۷۹) بود.

ب) داده‌های بررسی قابلیت کاربرد شاخص‌ها

شاخص‌هایی که در مرحله قبل دارای روایی قابل‌قبول بودند، از نظر کاربردی بودن مورد سنجش قرار گرفتند. در جدول ۳، وزن متخصصینی که نظرات آن‌ها برای تعیین قابلیت کاربرد شاخص‌ها استفاده شد، نشان داده شده است. شاخص‌هایی کاربردی بودند که دارای امتیاز نهایی ۰/۵ باشند.

جدول ۸ قابلیت کاربرد شاخص‌های پیشرو مربوط به فاکتورهای مؤثر ریسک تأثیرگذار روی عملکرد نفرات بهره‌بردار را نشان می‌دهد. تمامی شاخص‌ها (۱۵ مورد) دارای امتیاز بالاتر از حد قابل‌قبول (حد قابل‌قبول برابر ۰/۵) بودند.

جدول ۹ قابلیت کاربرد شاخص‌های پیشرو مربوط به فاکتورهای مؤثر ریسک تأثیرگذار روی عملکرد نفرات تعمیرات و نگهداری را نشان می‌دهد. هر ۴ شاخص بررسی‌شده دارای امتیاز بالاتر از حد قابل‌قبول (حد قابل‌قبول برابر ۰/۵) بودند.

جدول ۱۰ قابلیت کاربرد شاخص‌های پیشرو مربوط به فاکتورهای مؤثر ریسک تأثیرگذار روی عملکرد تجهیزات

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-09]

جدول ۹: قابلیت کاربرد شاخص‌های مربوط به فاکتورهای مؤثر ریسک تأثیرگذار بر عملکرد نفرات تعمیرات و نگهداری

ردیف	فاکتور مؤثر ریسک	شاخص	امتیاز فازی	امتیاز قطعی
۱	ارتباطات و هماهنگی بین نفرات تعمیرات و نگهداری با واحدهای دیگر	درصد ارتباطات موفق بین نفرات بهره‌بردار و نفرات تعمیرات و نگهداری قبل و بعد از فعالیت و کارهای تعمیراتی و ایزولاسیون فرآیندی.	(۰/۴۸ ،۰/۷۲ ،۰/۹۱)	۰/۷۱
۲		درصد درس‌آموزی از حوادث مربوط به مخازن به کل حوادث مخازن اتفاق افتاده؟	(۰/۵۳ ،۰/۷۶ ،۰/۸۹)	۰/۷۳
۳	مجوز کار	درصد فعالیت‌های انجام‌شده طبق شرایط درج‌شده در مجوز کار.	(۰/۵۷ ،۰/۸۱ ،۰/۹۳)	۰/۷۸
۴		درصد مجوز کارهای صادرشده‌ای که به‌وضوح، وظایف، خطرات، ریسک‌های درگیر و اقدامات کنترلی که باید به کار گرفته شوند را تعیین کرده‌اند.	(۰/۵۹ ،۰/۸۳ ،۰/۹۴)	۰/۸۰

جدول ۱۰: قابلیت کاربرد شاخص‌های مربوط به فاکتورهای مؤثر ریسک تأثیرگذار بر عملکرد تجهیزات

ردیف	فاکتور مؤثر ریسک	شاخص	امتیاز فازی	امتیاز قطعی
۱	تعمیرات و نگهداری	درصد وظایف/ اقدامات تعمیرات و نگهداری تکمیل‌شده بر اساس برنامه (در بازه زمانی مشخص).	(۰/۵۲ ،۰/۷۷ ،۰/۹۴)	۰/۷۵
۲		درصد عناصر/ تجهیزات حیاتی ایمنی که بعد از تعمیرات، از نظر کارکرد در شرایط خوبی بودند (برای مثال تعمیرات انجام‌شده روی نشت‌بند).	(۰/۶۲ ،۰/۸۶ ،۰/۹۷)	۰/۸۳
۳		درصد مجموع زمانی که تأسیسات با عناصر یا تجهیزات ایمنی حیاتی ناقص و معیوب در حال کار است بر کل مدت‌زمانی که تأسیسات در حال کار است.	(۰/۴۰ ،۰/۶۲ ،۰/۸۰)	۰/۶۱
۴	بازرسی فنی و تست عملکرد	درصد وظایف/ اقدامات بازرسی فنی تکمیل‌شده بر اساس برنامه (در بازه زمانی مشخص).	(۰/۵۸ ،۰/۸۲ ،۰/۹۷)	۰/۸۰
۵		درصد تست‌های عملکرد تجهیزات هشداردهنده و تجهیزات ابزار دقیق (برای مثال سطح سنج مخزن) بر اساس برنامه.	(۰/۶۳ ،۰/۸۷ ،۰/۹۵)	۰/۸۳
۶		درصد تست عملکرد سیستم ارت و همبندی مخازن بر اساس برنامه.	(۰/۵۷ ،۰/۸۰ ،۰/۹۱)	۰/۷۷
۷		درصد تجهیزات ایمنی حیاتی و هشداردهنده‌ها که به‌صورت صحیح شرایط فرآیند را نشان می‌دهند.	(۰/۶۵ ،۰/۸۹ ،۰/۹۶)	۰/۸۵
۸	طراحی	درصد تجهیزات فرآیندی و موارد حیاتی ایمنی که در انطباق با کدها و استانداردها، طراحی‌شده‌اند.	(۰/۵۶ ،۰/۷۹ ،۰/۹۲)	۰/۷۶
۹	مدیریت تغییر	درصد اقدامات مربوط به تغییر تأسیسات که قبل از تغییر، ارزیابی ریسک کافی انجام‌شده است.	(۰/۴۷ ،۰/۷۰ ،۰/۸۷)	۰/۶۸
۱۰		درصد اقدامات HAZOP مرتبط با تغییر که کامل شده‌اند.	(۰/۴۹ ،۰/۷۲ ،۰/۸۶)	۰/۶۹

را نشان می‌دهد. هر ۱۰ شاخص بررسی‌شده دارای امتیاز بالاتر از ۰/۵ بودند.

جدول ۱۱ قابلیت کاربرد شاخص‌های پیشرو مربوط به فاکتورهای مؤثر ریسک تأثیرگذار روی عملکرد آتش‌نشانان را نشان می‌دهد. تمامی ۷ شاخص بررسی‌شده دارای امتیاز بالاتر از ۰/۵ بودند.

در نهایت از ۴۴ شاخص وارد شده به مطالعه حاضر، ۳۶ شاخص کاربردی باقی ماند. (مطابق جداول ۸-۹-۱۰-۱۱)

ج) داده‌های بررسی اهمیت شاخص‌ها

در این بخش اهمیت شاخص‌هایی که دارای روایی محتوایی و قابلیت کاربرد بالایی بودند مورد بررسی قرار گرفتند. برای این منظور از طیف لیکرت فازی اشاره شده در بخش روش کار استفاده شد.

جدول ۱۲ وزن شاخص‌های پیشرو مربوط به فاکتورهای مؤثر ریسک تأثیرگذار روی عملکرد نفرات بهره‌بردار را نشان می‌دهد. وزن شاخص‌ها برای هرکدام از فاکتورهای مؤثر ریسک نرمال گردید. برای نمونه شاخص

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-09]

جدول ۱۱: قابلیت کاربرد شاخص‌های مربوط به فاکتورهای مؤثر ریسک تأثیرگذار بر عملکرد آتش‌نشانان

ردیف	فاکتور مؤثر ریسک	شاخص	امتیاز فازی	امتیاز قطعی
۱	هماهنگی و ارتباط در زمان حادثه	درصد ارتباط موفق بین نفرات برای مقابله با شرایط اضطراری.	(۰/۹۶، ۰/۸۳، ۰/۵۸)	۰/۸۰
۲		درصد ارتباط موفق بین واحدهای مختلف برای مقابله با شرایط اضطراری.	(۰/۹۷، ۰/۸۶، ۰/۶۰)	۰/۸۲
۳	آموزش و صلاحیت آتش‌نشان‌ها	درصد کارکنان و پیمانکاری که در مورد شرایط اضطراری آموزش‌دیده‌اند.	(۰/۹۱، ۰/۷۵، ۰/۵۱)	۰/۷۳
۴	طرح پاسخ به شرایط اضطراری	درصد تهیه طرح واکنش به شرایط اضطراری برای سناریوهای معتبر به کل سناریوهای معتبر.	(۰/۸۵، ۰/۶۸، ۰/۴۴)	۰/۶۶
۵		درصد مانورها و تمرینات برگزارشده به مانورها و تمرینات برنامه‌ریزی‌شده برای سناریوهای برنامه‌ریزی‌شده.	(۰/۸۹، ۰/۷۴، ۰/۴۹)	۰/۷۱
۶		درصد سیستم‌های Shutdown/Isolation که زمان تست بر اساس استاندارد، به‌طور مطلوب عمل کرده‌اند؟	(۰/۸۹، ۰/۷۴، ۰/۵۰)	۰/۷۲
۷		درصد شیرهای ESD و تریپ‌های فرآیندی تست‌شده بر اساس برنامه ارائه‌شده توسط استاندارد مرتبط.	(۰/۸۶، ۰/۷۰، ۰/۴۷)	۰/۶۸

جدول ۱۲: اهمیت شاخص‌های مربوط به فاکتورهای مؤثر ریسک تأثیرگذار بر عملکرد نفرات بهره‌بردار

ردیف	فاکتور مؤثر ریسک	شاخص	وزن فازی	وزن قطعی	وزن نرمال
۱	روش اجرایی عملیاتی بهره‌برداری	درصد روش‌های اجرایی بازبینی و بروز شده مربوط به بهره‌برداری /تعمیرات و نگهداری مخازن به تعداد روش‌های اجرایی بهره‌برداری /تعمیرات و نگهداری مخازن که نیاز به بازبینی و بروز شدن داشتند (در بازه زمانی موردنظر)	(۰/۹۹، ۰/۸۱، ۰/۵۵)	۰/۷۹	۰/۴۸
۲		درصدی از وظایف حیاتی ایمنی که برای آن، روش اجرایی بهره‌برداری مخازن/تعمیرات و نگهداری مخازن مکتوب با دامنه کاربرد صحیح و با جزئیات کافی وجود دارد.	(۱، ۰/۸۷، ۰/۶۲)	۰/۸۴	۰/۵۲
۳	نظارت و سرپرستی	درصد آموزش‌های توجیهی قبل از شروع کار برگزارشده برای فعالیت‌های نفرات بهره‌بردار به کل فعالیت‌های انجام‌شده	(۰/۹۶، ۰/۸۵، ۰/۶۰)	۰/۸۱	۱
۴	وضعیت نیروی انسانی و فشار زمانی کار	درصد نیروی انسانی مشغول به فعالیت به تعداد نیروی انسانی موردنیاز برای عملیات (واحد مخازن)	(۱، ۰/۸۵، ۰/۵۹)	۰/۸۳	۰/۵۷
۵		درصد شیفت‌هایی طولانی‌تر از استاندارد در بازه زمانی مشخص	(۰/۸۸، ۰/۶۶، ۰/۴۲)	۰/۶۶	۰/۴۴
۶	شناسایی خطرات و مدیریت ریسک	درصد اقدامات اصلاحی (پیشنهادات) ارزیابی ریسک به کار گرفته‌شده به کل پیشنهادات ارائه‌شده توسط ارزیابی ریسک	(۰/۹۵، ۰/۸۰، ۰/۵۵)	۰/۷۷	۰/۵۳
۷		درصد پیشنهادات ارزیابی ریسک انجام‌شده به کل پیشنهادات برنامه‌ریزی‌شده برای انجام (در بازه زمانی موردنظر)	(۰/۸۹، ۰/۷۰، ۰/۴۵)	۰/۶۹	۰/۴۷
۸	ارتباطات بین نفرات بهره‌برداری و ارتباط با واحدهای دیگر	درصد ارتباطات موفق بین افراد قبل و بعد از فعالیت و کارهای عملیاتی بین نفرات بهره‌بردار	(۰/۹۸، ۰/۸۴، ۰/۵۸)	۰/۸۱	۰/۲۱
۹		آیا سیستم‌های ارتباطی مشخص وجود دارد؟ (تجهیزات ارتباطی اعم از بی‌سیم، پیجر و ...)	(۰/۹۳، ۰/۸۳، ۰/۵۹)	۰/۷۹	۰/۲۱
۱۰		آیا درس‌آموزی از حوادث مربوط به مخازن به اشتراک گذاشته می‌شود؟	(۰/۹۴، ۰/۸۲، ۰/۵۹)	۰/۷۹	۰/۲۱
۱۱		درصد چک کردن‌های پس از انتقال محصول به‌منظور تأیید اینکه پمپ‌ها متوقف‌شده و شیرهای ورودی و خروجی به‌طور کامل بسته‌شده‌اند (در مورد مخازن)	(۰/۹۴، ۰/۸۵، ۰/۶۱)	۰/۸۲	۰/۲۱
۱۲		آیا هنگام تعویض شیفت‌ها برنامه تحویل شیفت به مدت معین اجرا می‌شود؟	(۰/۷۱، ۰/۶۶، ۰/۴۸)	۰/۶۳	۰/۱۶
۱۳	آموزش و صلاحیت نفرات بهره‌برداری/ تعمیرات و نگهداری	درصد افرادی که برای وظایف تعیین‌شده خود آموزش‌های تخصصی ایمنی دیده‌اند.	(۱، ۰/۹۶، ۰/۷۰)	۰/۹۱	۰/۳۵۵
۱۴		درصد افرادی که با موفقیت آموزش‌های تخصصی تعیین‌شده را گذرانده‌اند	(۰/۹۷، ۰/۸۴، ۰/۵۹)	۰/۸۱	۰/۳۱۵
۱۵		درصد دوره‌های ایمنی بازآموزی به کل دوره‌های بازآموزی برنامه‌ریزی‌شده (برای بازه زمانی مشخص)	(۰/۹۹، ۰/۸۹، ۰/۶۳)	۰/۸۵	۰/۳۳

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-09]

جدول ۱۳: اهمیت شاخص‌های مربوط به فاکتورهای مؤثر ریسک تأثیرگذار بر عملکرد نفرات تعمیرات و نگهداری

ردیف	فاکتور مؤثر ریسک	شاخص	وزن فازی	وزن قطعی	وزن نرمال
۱	ارتباطات و هماهنگی بین نفرات تعمیرات و نگهداری با واحدهای دیگر	درصد ارتباطات موفق بین نفرات بهره‌بردار و نفرات تعمیرات و نگهداری قبل و بعد از فعالیت و کارهای تعمیراتی و ایزولاسیون فرآیندی	(۰/۵۷ ،۰/۸۱ ،۰/۹۵)	۰/۷۸	۰/۴۹
۲		درصد درس‌آموزی از حوادث مربوط به مخازن به کل حوادث مخازن اتفاق افتاده؟	(۰/۶۱ ،۰/۸۴ ،۰/۹۳)	۰/۸۰	۰/۵۱
۳	مجوز کار	درصد فعالیت‌های انجام‌شده طبق شرایط درج‌شده در مجوز کار	(۰/۶۵ ،۰/۹۰ ،۰/۹۸)	۰/۸۶	۰/۵۱
۴		درصد مجوز کارهای صادرشده‌ای که به‌وضوح، وظایف، خطرات، ریسک‌های درگیر و اقدامات کنترلی که باید به کار گرفته شوند را تعیین کرده‌اند.	(۰/۶۳ ،۰/۸۷ ،۰/۹۵)	۰/۸۳	۰/۴۹

جدول ۱۴: اهمیت شاخص‌های مربوط به فاکتورهای مؤثر ریسک تأثیرگذار بر عملکرد تجهیزات

ردیف	فاکتور مؤثر ریسک	شاخص	وزن فازی	وزن قطعی	وزن نرمال
۱	تعمیرات و نگهداری	درصد وظایف/ اقدامات تعمیرات و نگهداری تکمیل‌شده بر اساس برنامه (در بازه زمانی مشخص)	(۰/۵۸ ،۰/۸۳ ،۰/۹۸)	۰/۸۱	۰/۳۴
۲		درصد عناصر/ تجهیزات حیاتی ایمنی که بعد از تعمیرات، از نظر کارکرد در شرایط خوبی بودند (برای مثال تعمیرات انجام‌شده روی نشت بند)	(۰/۶۶ ،۰/۹۲ ،۱)	۰/۸۷	۰/۳۷
۳		درصد مجموع زمانی که تأسیسات با عناصر یا تجهیزات ایمنی حیاتی ناقص و معیوب در حال کار است بر کل مدت‌زمانی که تأسیسات در حال کار است؟	(۰/۴۹ ،۰/۷۱ ،۰/۸۴)	۰/۶۹	۰/۲۹
۴	بازرسی فنی و تست عملکرد	درصد وظایف/اقدامات بازرسی فنی تکمیل‌شده بر اساس برنامه (در بازه زمانی مشخص)	(۰/۶۰ ،۰/۸۶ ،۰/۹۹)	۰/۸۳	۰/۲۴
۵		درصد تست‌های عملکرد تجهیزات هشداردهنده و تجهیزات ابزار دقیق (برای مثال سطح سنج مخزن) بر اساس برنامه	(۰/۶۵ ،۰/۹۰ ،۱)	۰/۸۶	۰/۲۵
۶		درصد تست عملکرد سیستم ارت و همبندی مخازن بر اساس برنامه	(۰/۶۲ ،۰/۸۷ ،۰/۹۵)	۰/۸۳	۰/۲۴
۷		درصد تجهیزات ایمنی حیاتی و هشداردهنده‌ها که به‌صورت صحیح شرایط فرآیند را نشان می‌دهند.	(۰/۷۰ ،۰/۹۵ ،۱)	۰/۹۰	۰/۲۶
۸	طراحی	درصد تجهیزات فرآیندی و موارد حیاتی ایمنی که در انطباق با کدها و استانداردها، طراحی‌شده‌اند	(۰/۶۴ ،۰/۸۸ ،۰/۹۷)	۰/۸۵	۱
۹	مدیریت تغییر	درصد اقدامات مربوط به تغییر تأسیسات که قبل از تغییر، ارزیابی ریسک کافی انجام‌شده است.	(۰/۵۲ ،۰/۷۶ ،۰/۹۳)	۰/۷۴	۰/۵
۱۰		درصد اقدامات HAZOP مرتبط با تغییر که کامل شده‌اند.	(۰/۵۳ ،۰/۷۷ ،۰/۸۸)	۰/۷۴	۰/۵

اول و دوم فاکتور مؤثر ریسک تأثیرگذار بر عملکرد نفرات بهره‌برداری به ترتیب دارای وزن ۰/۴۸ و ۰/۵۲ میباشند.

جدول ۱۳ وزن شاخص‌های پیشرو مربوط به فاکتورهای مؤثر ریسک تأثیرگذار روی عملکرد نفرات تعمیرات و نگهداری را نشان می‌دهد. جدول ۱۴ وزن شاخص‌های پیشرو مربوط به فاکتورهای مؤثر ریسک تأثیرگذار روی عملکرد تجهیزات را نشان می‌دهد. جدول ۱۵ وزن شاخص‌های پیشرو مربوط به فاکتورهای مؤثر ریسک تأثیرگذار روی عملکرد آتش‌نشانان را نشان می‌دهد

با توجه به مشخص شدن وزن هر کدام از ۳۶ شاخص باقی‌مانده، می‌توان شاخص‌های هر فاکتور را بر اساس وزن (اهمیت) آن‌ها، اولویت‌بندی و استفاده نمود.

بحث

هدف از انجام مطالعه حاضر، انتخاب، اعتباربخشی و اولویت‌بندی شاخص‌های پیشرو عملکرد ایمنی فرآیند می‌باشد که به صورت موردی بر روی مخازن ذخیره مایعات هیدرکربنی در صنعت نفت انجام شده است. در

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-09]

جدول ۱۵: اهمیت شاخص‌های مربوط به فاکتورهای مؤثر ریسک تأثیرگذار بر عملکرد آتش‌نشانان

ردیف	فاکتور مؤثر ریسک	شاخص	وزن فازی	وزن قطعی	وزن نرمال
۱	هماهنگی و ارتباط در زمان حادثه	درصد ارتباط موفق بین نفرات برای مقابله با شرایط اضطراری	(۰/۶۴ ،۰/۸۹ ،۱)	۰/۸۵	۰/۵۰
۲		درصد ارتباط موفق بین واحدهای مختلف برای مقابله با شرایط اضطراری	(۰/۶۳ ،۰/۸۸ ،۰/۹۹)	۰/۸۴	۰/۵۰
۳	آموزش و صلاحیت آتش‌نشان‌ها	درصد کارکنان و پیمانکاری که در مورد شرایط اضطراری آموزش‌دیده‌اند؟	(۰/۵۵ ،۰/۸۰ ،۰/۹۵)	۰/۷۸	۱
۴	طرح پاسخ به شرایط اضطراری	درصد تهیه طرح واکنش به شرایط اضطراری برای سناریوهای معتبر به کل سناریوهای معتبر	(۰/۶۰ ،۰/۸۵ ،۰/۹۶)	۰/۸۱	۰/۲۶
۵		درصد مانورها و تمرینات برگزارشده به مانورها و تمرینات برنامه‌ریزی‌شده برای سناریوهای برنامه‌ریزی‌شده	(۰/۵۷ ،۰/۸۱ ،۰/۹۲)	۰/۷۸	۰/۲۵
۶		درصد سیستم‌های Shutdown/Isolation که زمان تست بر اساس استاندارد، به‌طور مطلوب عمل کرده‌اند؟	(۰/۶۰ ،۰/۸۵ ،۰/۹۶)	۰/۸۱	۰/۲۶
۷		درصد شیرهای ESD و تریپ‌های فرآیندی تست شده بر اساس برنامه ارائه‌شده توسط استاندارد مرتبط	(۰/۵۷ ،۰/۸۱ ،۰/۹۲)	۰/۷۸	۰/۲۵

ابتدا فاکتورهای مؤثر در حوادث مخازن ذخیره مایعات هیدروکربنی به کمک مطالعه احمدی و همکاران (۲۴) شناسایی شدند، سپس شاخص‌های پیشرو مرتبط با این فاکتورها از طریق راهنماهای (۵, ۲۵) CCPS، (۲۰)HSE، UK (۲۶) OGP و مقالات انتخاب شدند. پس از انتخاب شاخص‌های پیشرو، روایی محتوایی و قابلیت کاربرد و در نهایت اهمیت شاخص‌ها مطالعه شد. به منظور مطالعه روایی محتوایی شاخص‌ها از نسبت روایی محتوایی (CVR) و شاخص روایی محتوایی (CVI) استفاده شد. شاخص‌هایی که دارای روایی محتوایی بالاتر از حداقل مقدار قابل‌قبول بودند، از نظر قابلیت کاربرد مورد مطالعه قرار گرفتند. به این ترتیب می‌توان شاخص‌های پیشرو مرتبط با فاکتورهای مؤثر در حوادث مخازن ذخیره مایعات هیدروکربنی را به کمترین تعداد یا مهمترین و کاربردی‌ترین شاخص‌ها کاهش داد. در نهایت، این شاخص‌های کاربردی وزن‌دهی شده که می‌توانند با توجه به وزن و اهمیت آن‌ها مورد استفاده قرار گیرند.

بر اساس نتایج بدست آمده، از ۱۸ شاخص پیشرو شناسایی شده برای فاکتورهای مؤثر ریسک تأثیرگذار بر عملکرد نفرات بهره‌بردار بر اساس نظرات متخصصین، ۳ شاخص به دلیل CVR و CVI کمتر از حد قابل‌قبول حذف شدند. ۱۵ شاخص باقی‌مانده وارد مرحله بعدی مطالعه شدند. ۴ مورد شاخص پیشرو برای فاکتورهای مؤثر ریسک تأثیرگذار بر عملکرد نفرات تعمیرات و نگهداری تعریف شد که هر ۴ مورد آن‌ها دارای CVR و CVI قابل‌قبول بودند و وارد مرحله بعدی مطالعه شدند. ۱۳ مورد شاخص پیشرو برای فاکتورهای مؤثر ریسک تأثیرگذار بر نقص عملکرد تجهیزات تعریف شد که ۲ مورد از آن‌ها به دلیل CVR و CVI پایین و ۱ مورد به دلیل CVI پایین حذف شدند و ۱۰ مورد وارد مرحله بعدی مطالعه شدند. ۹ شاخص پیشرو مربوط به فاکتورهای مؤثر ریسک تأثیرگذار روی عملکرد آتش‌نشانان تعریف شد. ۱ مورد از شاخص‌ها به دلیل CVR پایین و ۱ مورد دیگر به دلیل CVR و CVI پایین حذف شدند و ۷ شاخص بعدی وارد مرحله بعدی مطالعه شدند.

در مرحله بعد، یعنی مطالعه قابلیت کاربرد شاخص‌ها، تمامی شاخص‌های پیشرو مربوط به فاکتورهای مؤثر ریسک تأثیرگذار روی عملکرد نفرات بهره‌بردار (۱۵ مورد)، عملکرد نفرات تعمیر و نگهداری (۴ مورد)، عملکرد نفرات آتش‌نشان (۷ مورد) و عملکرد تجهیزات (۱۰ مورد) امتیاز قابلیت کاربرد بالاتر از حد قابل‌قبول (۰/۵) داشتند.

در مجموع از ۴۴ شاخصی که برای هر ۴ گروه

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-09]

فاکتورهای مؤثر ریسک وارد مطالعه شدند، در نهایت مجموعا ۳۶ شاخص کاربردی باقی ماند و ۸ شاخص در طی مراحل قبلی فیلتر و حذف شدند. ۳۶ شاخص کاربردی باقی مانده وارد مرحله آخر یعنی بررسی اهمیت شاخص‌ها شدند، زیرا هرکدام از شاخص‌ها نسبت به هم دارای اهمیت و وزن متفاوت می‌باشند و به منظور اولویت‌بندی باید وزن‌دهی فازی شوند. برای مثال، در بخش فاکتورهای مؤثر ریسک تأثیرگذار بر عملکرد نفرات بهره‌بردار، شاخص «*درصد آموزش‌های توجیهی قبل از شروع کار برگزارشده برای فعالیت‌های نفرات بهره‌بردار به کل فعالیت‌های انجام‌شده*» با وزن ۱ پراهمیت‌ترین شاخص بود، همچنین شاخص «*درصد نیروی انسانی مشغول به فعالیت به تعداد نیروی انسانی موردنیاز برای عملیات (واحد مخازن)*» با وزن ۰/۵۷، نسبت به شاخص «*درصد اقدامات اصلاحی (پیشنهادات) ارزیابی ریسک به کار گرفته‌شده به کل پیشنهادات ارائه‌شده توسط ارزیابی ریسک*» با وزن ۰/۵۳، دارای اهمیت و اولویت بالاتری بود.

به ترتیب در بخش‌های فاکتورهای مؤثر ریسک تأثیرگذار بر عملکرد نفرات تعمیرات و نگهداری، فاکتورهای مؤثر ریسک تأثیرگذار بر عملکرد تجهیزات و فاکتورهای مؤثر ریسک تأثیرگذار بر عملکرد آتش‌نشانان، شاخص‌های «*درصد فعالیت‌های انجام‌شده طبق شرایط درج‌شده در مجوز کار*» و «*درصد درس‌آموزی از حوادث مربوط به مخازن به کل حوادث مخازن اتفاق افتاده؟*» با وزن ۰/۵۱، شاخص «*درصد تجهیزات فرآیندی و موارد حیاتی ایمنی که در انطباق با کدها و استانداردها، طراحی‌شده‌اند.*» با وزن ۱ و شاخص «*درصد کارکنان و پیمانکاری که در مورد شرایط اضطراری آموزش‌دیده‌اند؟*» با وزن ۱ دارای بیشترین وزن و اهمیت بودند.

باید توجه داشت که وزن‌های کمتر سایر شاخص‌های پیشرو به معنای بی‌اهمیت بودن یا کاربردی نبودن آن‌ها نیست و تنها در رتبه‌های بعدی از نظر اولویت قرار خواهند گرفت.

در مطالعه‌ای که Faisal Khan و همکارانش به منظور توسعه شاخص‌های ایمنی فرآیند مبتنی بر ریسک انجام دادند، روشی برای یکپارچه کردن شاخص‌ها ارائه شد. بر اساس یکپارچگی سرمایه، فاکتورهای مؤثر ریسک را در سه حوزه یکپارچگی عملیاتی، یکپارچگی مکانیکی و یکپارچگی فردی شناسایی کردند. سپس از روش AHP فازی برای به دست آوردن اهمیت فاکتورهای مؤثر ریسک استفاده کردند. همچنین آن‌ها برای فاکتورهای مؤثر ریسک، شاخص‌های گذشته‌نگر و پیشرو ارائه دادند و درنهایت در فرآیند LNG به کار بردند. یکی از محدودیت‌های مطالعه Faisal Khan این است که آن‌ها فقط وزن فاکتورهای مؤثر ریسک را تعیین کردند و شاخص‌ها را با وزن یکسانی به کار بردند، درحالیکه شاخص‌ها نیز دارای وزن‌های متفاوتی هستند که در مطالعه حاضر به آن پرداخته شده است (۳۱).

همچنین در مطالعه Faisal Khan به طور کلی ۲۶ شاخص پیشرو در سه سطح یکپارچگی مکانیکی، عملیاتی و فردی معرفی گردیده است که از این تعداد شاخص، ۱۱ شاخص مشابه شاخص‌های ارائه شده در مطالعه حاضر می‌باشد. این موضوع بیانگر این است که برخی از شاخص‌های مطالعه حاضر، تنها برای مخازن نبوده و برای سایر بخش‌ها نیز قابلیت کاربرد دارند.

آژانس بین‌المللی انرژی اتمی (IAEA)[1] ویژگی‌هایی را برای شاخص‌های عملکرد ایمنی پیشنهاد کرده است (۱۱). بر پایه این معیارها، شاخص‌ها باید: ۱- قادر به پیوند با علت یک نقص خاص باشند، که در این مطالعه شاخص‌ها بر پایه تجزیه و تحلیل حوادث انجام شده در مطالعه احمدی و همکاران (۲۴) تعریف شدند. ۲- قابل کاربرد باشند، که در این مطالعه قابلیت کاربرد شاخص‌ها مورد مطالعه قرار گرفت زیرا ممکن است امکان کاربردی کردن برخی از شاخص‌ها در صنعت وجود نداشته باشد. ۳- اعتبار بالایی داشته باشند، که در مطالعه حاضر اعتبار محتوایی شاخص‌ها نیز مورد مطالعه قرار گرفت، از طرف دیگر چون شاخص‌ها بر اساس فاکتورهای مؤثر ریسک ارائه شدند، از نظر اعتبار ساختاری نیز معتبر می‌باشند. ۴- کمّی باشند، که همه‌ی شاخص‌های ارائه شده کمّی

1. International atomic energy agency

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-09]

می‌باشند. ۵- شفاف و بدون ابهام باشند، که این مورد نیز از طریق شاخص CVR بررسی شد.

Podgórski در مطالعه خود جهت انتخاب شاخص‌های عملکرد کلیدی پیشرو از روش AHP بهره گرفت و به منظور اولویت‌بندی شاخص‌ها از معیارهای SMART (خاص بودن[1]، قابل اندازه‌گیری[2]، قابل دستیابی[3]، مرتبط بودن[4]، دارای محدوده زمانی[5]) استفاده نمود. از این ۵ ویژگی طبق نظر متخصصین، «مرتبط بودن» بالاترین اهمیت را دریافت کرد که در مطالعه حاضر نیز مرتبط بودن شاخص‌ها از طریق بررسی CVI درنظرگرفته شد (۳۲).

در مطالعه انجام شده توسط عباس آقابابائی و همکارش نیز ۱۰۵ شاخص پیشرو و گذشته‌نگر ارائه شده که از محدودیت‌های آن عدم وزن‌دهی و اولویت‌بندی شاخص‌ها می‌باشد، که این موضوع در مطالعه حاضر درنظرگرفته شده است (۳۳).

یکی دیگر از محدودیت‌های مطالعات قبلی به طور مثال مطالعه محسن فلاحتی و همکاران (۳۴)، عدم اعتبارسنجی شاخص‌های عملکرد پیشرو می‌باشد که در مطالعه حاضر این محدودیت از طریق بررسی روایی محتوایی شاخص‌ها برطرف گردیده است.

1. Specific
2. Measurable
3. Achievable
4. Relevant
5. Time-bound

نتیجه گیری

مطابق نتایج بدست آمده از مطالعه حاضر، از ۴۴ شاخص پیشرو وارد شده به مطالعه، ۳۶ شاخص معتبر و کاربردی باقی ماند که این شاخص‌ها می‌توانند جهت سنجش عملکرد ایمنی فرآیند در صنعت نفت استفاده شوند. هر چند مطالعه حاضر مطالعه موردی بر روی مخازن هیدروکربنی مایع بود، ولی اکثر شاخص‌های ارائه شده، علاوه بر مخازن قابلیت به کارگیری در سایر بخش‌های صنعت نفت را دارند.

علاوه بر آن، از وزن‌های مشخص شده برای هر کدام از این شاخص‌ها، می‌توان در جهت اولویت‌بندی شاخص‌ها بهره برد.

مطالعات آینده می‌توانند قابلیت پیش‌بینی شاخص‌های ارائه شده را با استفاده از شاخص‌های گذشته‌نگر بررسی کنند. همچنین می‌توانند بر اساس مطالعه شاخص‌ها در بازه‌های زمانی مختلف، همبستگی بین شاخص‌های ارائه شده و شاخص‌های گذشته‌نگر را به دست آورند.

کد اخلاق

مطالعه حاضر با رعایت کامل اصول اخلاقی انجام شده و کد اخلاقی با شماره IR.MODARES.REC.1402.183، در کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه تربیت مدرس دریافت شده است.

REFERENCES

1. Mkpat E, Reniers G, Cozzani V. Process safety education: A literature review. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2018;54:18-27.
2. Shamim M, Buang A, Shariff A, Anjum H. Implementation of safety performance framework (SPF) in process industries to avoid disasters. International Journal of Automotive and Mechanical Engineering. 2018;15(1):5022-35.
3. Yang M, Khan F, Amyotte P. Operational risk assessment: A case of the Bhopal disaster. Process Safety and Environmental Protection. 2015 Sep 1;97:70-9.
4. Shamim MY, Buang A, Anjum H, Khan MI, Athar M. Development and quantitative evaluation of leading and lagging metrics of emergency planning and response element for sustainable process safety performance. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2019;62:103989.
5. Safety CfCP. Guidelines for risk based process safety: John Wiley & Sons; 2010.
6. Al-Shanini A, Ahmad A, Khan F. Accident modelling and analysis in process industries. Journal of Loss Prevention

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-09]

in the Process Industries. 2014;32:319-34.
7. Eljack F, Kazi M-K. Process safety and abnormal situation management. Current opinion in chemical engineering. 2016;14:35-41.
8. Øien K, Utne IB, Herrera IA. Building safety indicators: Part 1–theoretical foundation. Safety science. 2011 Feb 1;49(2):148-61.
9. Azizi W. Predict incidents with process safety performance indicators. Chemical Engineering Progress. 2016;112(2):22-5.
10. Pasman H, Rogers W. How can we use the information provided by process safety performance indicators? Possibilities and limitations. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2014;30:197-206.
11. Group INSA. Basic safety principles for nuclear power plants: 75-INSAG-3 Rev. 1: International Atomic Energy Agency; 1999.
12. Bea RG. Human and organization factors: engineering operating safety into offshore structures. Reliability Engineering & System Safety. 1998;61(1-2):109-26.
13. Falahati M, Karimi A, Mohammadfam I, Mazloumi A, Khanteymoori AR, Yaseri M. Development of safety and health leading performance indicators in the phase of construction of a gas refinery plant using Bayesian network and AHP. International Journal Of Advanced Biotechnology And Research. 2017;8(2):1440-53.
14. Chan AP, Chan AP. Key performance indicators for measuring construction success. Benchmarking: an international journal. 2004;11(2):203-21.
15. Sheehan C, Donohue R, Shea T, Cooper B, De Cieri H. Leading and lagging indicators of occupational health and safety: The moderating role of safety leadership. Accident Analysis & Prevention. 2016;92:130-8.
16. Ray-Sannerud BN, Leyshon S, Vallevik VB. Introducing routine measurement of healthcare worker's well-being as a leading indicator for proactive safety management systems based on resilience engineering. Procedia Manufacturing. 2015;3:319-26.
17. Ale B. More thinking about process safety indicators. Safety Science. 2009;4(47):470-1.
18. Hinze J, Thurman S, Wehle A. Leading indicators of construction safety performance. Safety science. 2013;51(1):23-8.
19. Shea T, De Cieri H, Donohue R, Cooper B, Sheehan C. Leading indicators of occupational health and safety: an employee and workplace level validation study. Safety science. 2016;85:293-304.
20. HSE, Association CI. Developing process safety indicators. A step-by-step guide for chemical and major hazard industries. Health and Safety Executive. 2006.
21. Institute AP. API Recommended Practice 754, Process Safety Performance Indicators for the Refining and Petrochemical Industries. 2010.
22. IOGP. IOGP Report 456, Process Safety–Recommended Practice on Key Performance Indicators. 2011.
23. Ahmadi O, Mortazavi SB, Mahabadi HA, Hosseinpouri M. Development of a dynamic quantitative risk assessment methodology using fuzzy DEMATEL-BN and leading indicators. Process Safety and Environmental Protection. 2020;142:15-44.
24. Ahmadi O, Mortazavi SB, Mahabadi HA. Review of atmospheric storage tank fire scenarios: Costs and causes. Journal of Failure Analysis and Prevention. 2020;20:384-405.
25. Cps C. Process safety leading and lagging metrics. Center for Chemical Process Safety AIChE, New York: . 2011.
26. OGP D. Asset Integrity–The Key to Managing Major Incident Risks. International Association of Oil & Gas Producers (OGP); 2008.
27. Lawshe C. A Quantitative Approach to Content Validity. Personnel psychology/Berrett-Koehler Publishers. 1975.
28. Waltz CF, Bausell BR. Nursing research: design statistics and computer analysis: Davis Fa; 1981.
29. Clemen RT, Winkler RLJRa. Combining probability distributions from experts in risk analysis. Risk analysis. 1999 Apr;19:187-203.
30. Renjith V, Madhu G, Nayagam VLG, Bhasi AJJohm. Two-dimensional fuzzy fault tree analysis for chlorine release from a chlor-alkali industry using expert elicitation. 2010;183(1-3):103-10.
31. Khan F, Abunada H, John D, Benmosbah T. Development of risk-based process safety indicators. Process Safety Progress. 2010;29(2):133-43.
32. Podgórski D. Measuring operational performance of OSH management system–A demonstration of AHP-based selection of leading key performance indicators. Safety science. 2015;73:146-66.
33. Abbas A, Ahmad JA. Risk-based process safety and determining the most appropriate performance indicators for it. 2015. [Persian].

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-09]

Case study: Work at height of the Oil and Gas refinery construction phase. Iran Occupational Health Journal. 2018;15(3):172-85.

34. falahati m, karimi a, zokaei m, dehghani a. Development and ranking of safety performance indicators using Bayesian network and Analysis Hierarchical Process

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-09]