Journal of Health and Safety at Work 2025; 15(1): 217-240

ORIGINAL RESEARCH PAPER

A Systematic Review of Methodologies for Assessing the Impact of Human and Organizational Factors on Safety Barrier Performance in Process Industries

Alireza Azarmehri[1], Ali Karimi[1*], Omran Ahmadi[2]

[1]Department of Occupational Health and Safety Engineering, School of Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
[2]Department of Occupational Health and Safety Engineering, Faculty of Medical Sciences, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran

Received: 24-11-2024 Accepted: 9-2-2025

ABSTRACT

Introduction: Barriers play a critical role in mitigating risks and preventing catastrophic incidents in process industries. Human and Organizational Factors (HOFs) significantly influence the performance of safety barriers. This systematic review investigates existing frameworks and methods for assessing the impact of HOFs on safety barrier performance.

Material and Methods: A systematic search was conducted across the Scopus and Web of Science databases, following the PRISMA guidelines. The search aimed to identify studies presenting methodologies for evaluating the influence of HOFs on safety barrier performance in process industries. Data were subsequently extracted from the 16 included studies.

Results: The 16 studies included in this research presented various methods and frameworks examining the impact of HOFs on different types of safety barriers, including technical, operational, and human barriers, across industries such as oil and gas, chemical, and steel. Barrier and Operational Risk Analysis (BORA) emerged as the predominant framework among the studies. Research on operational and human barriers, which depend on human actions and procedures, frequently identified factors such as competence, training, communication, and supervision as key influencers of performance. In contrast, studies on technical barriers highlighted the importance of assessing factors such as maintenance management and procedural compliance.

Conclusion: This research highlights the critical role of HOFs in safety barrier performance within process industries. By systematically reviewing existing methodologies, the study identified their strengths and weaknesses. Findings underscore the need to account for uncertainties in expert judgments and the interplay between HOFs in evaluation models. The integration of fuzzy logic and Bayesian networks is proposed to enhance evaluation processes. Future research should prioritize the development of unified frameworks that address the limitations of current approaches while expanding their applicability across diverse industries.

Keywords: *Safety barrier, Human and organizational factors, Barrier performance assessment, Process industries*

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Azarmehri A, Karimi A, Ahmadi O. A Systematic Review of Methodologies for Assessing the Impact of Human and Organizational Factors on Safety Barrier Performance in Process Industries. J Health Saf Work. 2025; 15(1): 217-240.

* Corresponding Author Email: *a_karimi@sina.tums.ac.ir*

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 2026-07-08]

[DOI: 10.18502/jhsw.v15i1.21366]

1. INTRODUCTION

Safety barriers are essential components in risk mitigation and the prevention of major incidents, particularly in process industries. These barriers, designed to prevent, control, or mitigate hazards, exist in various forms, including physical, technical, operational, and human/organizational measures. While traditional approaches have primarily focused on the technical aspects of barriers, an increasing body of research highlights the significant influence of Human and Organizational Factors (HOFs) on their effectiveness. Understanding and addressing these HOFs is crucial for a comprehensive assessment of barrier performance and the development of effective safety management strategies.

The impact of HOFs on safety barrier performance has been underscored in numerous studies and investigations of major incidents. For instance, research estimates that up to 70% of accidents in the offshore oil and gas industry can be attributed to human errors and organizational deficiencies. This recognition has shifted the emphasis from purely technical analyses of barrier failures to a more integrated approach that considers the complex interplay of technical, human, and organizational factors. The need for such a holistic approach is further accentuated by the growing complexity of modern industrial systems, where barriers are no longer simple physical components but intricate systems involving interactions among human operators, automated controls, and organizational processes.

To effectively manage these complex systems and ensure optimal safety barrier performance, a thorough understanding of various HOFs and their impact is required. These factors include operator competency, workload, stress, communication, procedures, training, organizational structure, and safety culture. The interactions among these factors and their influence on barrier effectiveness can vary significantly depending on the specific context, necessitating the use of tailored assessment methods.

This systematic review examines existing methodologies for assessing the influence of HOFs on safety barrier performance in process industries. The review focuses on identifying and analyzing different frameworks and methods, highlighting their strengths, limitations, and areas requiring further research. This synthesized knowledge is vital for advancing the understanding of HOFs in safety barrier performance and for guiding the development of more robust safety management strategies across various process industries.

2. MATERIAL AND METHODS

To thoroughly examine the existing methodologies for assessing the impact of Human and Organizational Factors (HOFs) on safety barrier performance, a systematic review was conducted. This review adhered to the PRISMA guidelines, a widely accepted standard for ensuring rigor and transparency in systematic reviews (refer to Fig. 1). The process began with a comprehensive search of two prominent scientific databases: Scopus and Web of Science. These databases were chosen for their extensive coverage of research literature in various disciplines, including safety science and engineering.

The search strategy was meticulously designed to identify studies that specifically addressed the assessment of HOFs' influence on safety barrier performance in process industries. It involved utilizing a combination of keywords related to safety barriers, HOFs, and performance assessment. The search was conducted without time limitations to ensure the inclusion of all relevant research in this area. After removing duplicate studies, the titles and abstracts of the retrieved articles were screened to identify potentially relevant studies. Those that clearly addressed the impact of HOFs on safety barrier performance were selected for full-text review.

Two researchers independently reviewed the full texts of the selected articles, applying predefined inclusion and exclusion criteria. Articles providing specific methods or frameworks for evaluating the impact of HOFs on safety barrier performance were included, while studies that only mentioned the importance of HOFs without detailing any assessment methods were excluded. Disagreements between researchers regarding the inclusion of articles were resolved through discussion and, when necessary, consultation with a third researcher. Data extraction was performed independently by the two researchers using a standardized data extraction form. The extracted data included information on the study's approach, methodology, industry domain, types of safety barriers assessed, and the specific HOFs investigated.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The systematic review identified 16 studies that

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-08]

[DOI: 10.18502/jhsw.v15i1.21366]

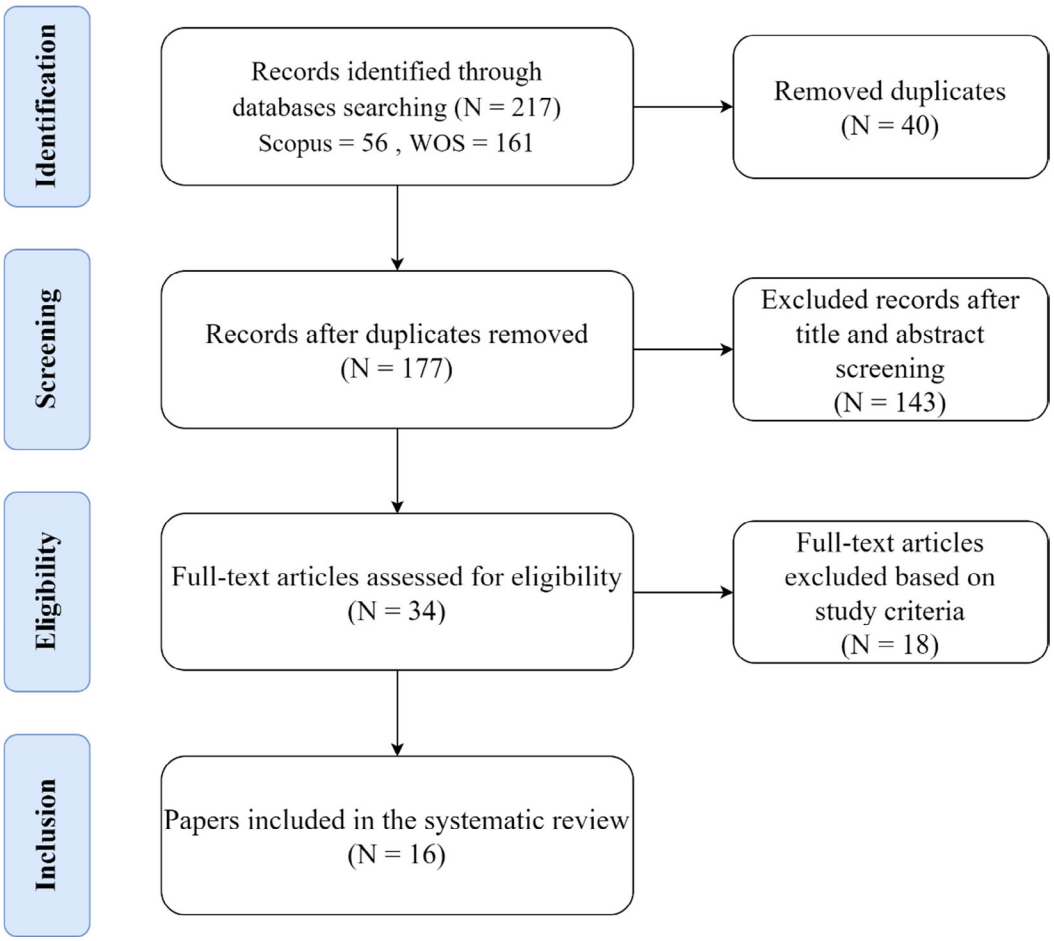


Fig. 1: The PRISMA Flow diagram of the literature search and selection of studies

presented methods or frameworks for evaluating the impact of Human and Organizational Factors (HOFs) on safety barrier performance. Analyzing these studies revealed a concentration on the offshore oil and gas industry, with a particular focus on hydrocarbon release risks. This emphasis likely reflects the industry's high-risk nature and the potential for catastrophic consequences in the event of major incidents. However, the limited focus on other process industries underscores a significant research gap, highlighting the need for further studies that explore the applicability of existing methods to diverse process industries and a broader range of barrier types.

A variety of safety barriers and corresponding HOFs were examined across the included studies. This diversity underscores the complex and context-specific nature of HOFs' influence on barrier performance. The review identified multiple methods and frameworks for assessing this impact, with the Barrier and Operational Risk Analysis (BORA) method emerging as a prominent approach. Specifically designed for analyzing hydrocarbon releases in offshore installations, BORA systematically identifies and evaluates Risk Influencing Factors (RIFs) that can compromise barrier effectiveness. However, the review also revealed significant limitations in existing approaches, including reliance on expert judgment, neglect of interdependencies between factors, and the static nature of assessments.

Addressing these limitations is essential for developing more robust and reliable assessment methods. Study sources recommended the incorporation of techniques such as fuzzy logic and Bayesian Networks (BNs) to improve the accuracy and comprehensiveness of assessments. Fuzzy logic can effectively address the inherent

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-08]

[DOI: 10.18502/jhsw.v15i1.21366]

uncertainties and vagueness associated with HOFs, while BNs are capable of modeling the complex interdependencies between various factors.

Future research should prioritize the development of integrated methods that combine the strengths of different approaches while mitigating their limitations. This will contribute to the creation of more effective safety management strategies that account for the multifaceted influence of HOFs on safety barrier performance in process industries.

4. CONCLUSIONS

This systematic review examined methodologies and frameworks that evaluate the influence of Human and Organizational Factors (HOFs) on the performance of safety barriers in process industries. The "Operational Risk and Barrier Analysis" (BORA) framework emerged as the most widely utilized approach among the reviewed studies. Challenges in the development of such methodologies were identified, including the inherent uncertainties arising from expert judgment in weighting HOFs and the interconnectedness of these factors. To address these challenges, the integration of fuzzy logic and Bayesian networks was proposed, aligning with the recommendations of the reviewed literature.

Furthermore, the importance of continuous assessment and monitoring of HOFs during the operational phase of safety barriers was emphasized to ensure their sustained efficacy. A critical finding of this review is that the impact of HOFs is not limited to specific types of barriers, underscoring the need for comprehensive frameworks capable of evaluating a wide spectrum of factors across diverse barrier types. Additionally, the reviewed studies revealed a notable focus on specific industries, particularly the offshore oil and gas sector. This concentration highlights a significant gap in research, indicating the need for future studies to broaden the scope of applicability to enhance the generalizability and practical utility of these methodologies.

In conclusion, this analysis demonstrated that disregarding HOFs can lead to an incomplete understanding of safety barrier performance, which may compromise the effectiveness of risk management strategies in process industries. Future research should prioritize the development of integrated methodologies that consolidate the strengths of existing approaches while addressing their limitations to effectively evaluate the influence of HOFs.

5. ACKNOWLEDGMENT

This study was conducted as part of an MSc thesis supported by Tehran University of Medical Sciences (Ethics number: IR.TUMS.SPH.REC.1402.134).

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-08]

[DOI: 10.18502/jhsw.v15i1.21366]

فصلنامه بهداشت و ایمنی کار
جلد ۱۵/ شماره ۱/ بهار ۱۴۰۴ صفحات ۲۱۷-۲۴۰

مرور سیستماتیک روش‌های ارزیابی تأثیر عوامل انسانی و سازمانی بر عملکرد موانع ایمنی در صنایع فرایندی

علیرضا آذرمهری[۱]، علی کریمی[۱*]، عمران احمدی[۲]

[۱]گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
[۲]گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۹/۴، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۱

چکیده

مقدمه: موانع ایمنی برای کاهش ریسک‌های موجود در صنایع فرایندی و جلوگیری از بروز حوادث حیاتی هستند. با این حال، درک جامع عملکرد موانع ایمنی نیازمند در نظر گرفتن تأثیر عوامل انسانی و سازمانی است. این بررسی سیستماتیک، چارچوب‌ها و روش‌های موجود را برای ارزیابی تأثیر این عوامل بر عملکرد موانع ایمنی مورد بررسی قرار می‌دهد.

روش کار: جستجوی سیستماتیک در پایگاه‌های داده «اسکوپوس» و «وب‌آوساینس»، با رعایت دستورالعمل‌های پریزما انجام شد. جستجو با هدف یافتن مطالعاتی که روش‌هایی را برای ارزیابی تأثیر عوامل انسانی و سازمانی بر عملکرد موانع ایمنی در صنایع فرایندی ارائه داده بودند، انجام شد. سپس داده‌های مورد نیاز از ۱۶ مطالعه وارد شده به پژوهش استخراج گردید.

یافته ها: ۱۶ مطالعه وارد شده به پژوهش حاضر، روش‌ها و چارچوب‌هایی را ارائه کرده‌اند که در آن، تأثیر عوامل انسانی و سازمانی بر انواع موانع ایمنی، شامل موانع فنی و موانع عملیاتی و انسانی در دامنه گسترده‌ای از صنایع، از جمله نفت و گاز، شیمیایی و فولاد، مورد بررسی قرار گرفتند. «آنالیز ریسک عملیاتی و مانع» یا «BORA» به عنوان چارچوب غالب در میان مطالعات شناسایی شد. مطالعات در مورد موانع عملیاتی و انسانی، که به اقدامات و رویه‌های انسانی وابسته هستند، اغلب عواملی مانند صلاحیت، آموزش، ارتباطات و نظارت را به عنوان عوامل تأثیرگذار بر عملکرد آن‌ها شناسایی کرده و در خصوص موانع فنی، مطالعات بر لزوم ارزیابی عواملی مانند مدیریت تعمیر و نگهداری و رویه‌ها تأکید می‌کنند

نتیجه گیری: در این پژوهش به بررسی نقش محوری عوامل انسانی و سازمانی در عملکرد موانع ایمنی پرداخته شده و با مرور سیستماتیک روش‌ها و چارچوب‌هایی که برای ارزیابی تأثیر این عوامل بر عملکرد موانع ایمنی در صنایع فرایندی ارائه شده‌اند، نقاط قوت و ضعف هر یک مشخص شد. یکی از یافته‌های کلیدی این پژوهش، تأکید بر اهمیت در نظر گرفتن عدم قطعیت موجود در قضاوت‌های کارشناسان در وزن‌دهی به عوامل انسانی و سازمانی و تعاملات بین این عوامل در توسعه مدل‌های ارزیابی است. در این راستا، تلفیق منطق فازی و شبکه‌های بیزین پیشنهاد شد. پژوهش‌های آتی باید چارچوب‌هایی یکپارچه را توسعه دهند که ضمن حفظ مزایای روش‌های موجود، محدودیت‌های آن‌ها را مرتفع سازند، همچنین دامنه کاربرد این روش‌ها را بر طیف وسیع‌تری از صنایع گسترش دهند.

کلمات کلیدی: *مانع ایمنی، عوامل انسانی و سازمانی، ارزیابی عملکرد مانع، صنایع فرایندی*

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول مکاتبه: *a_karimi@sina.tums.ac.ir*

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-08]

[DOI: 10.18502/jhsw.v15i1.21366]

مقدمه

کاربرد اصطلاح «مانع ایمنی[1]» سابقه طولانی در صنایع مختلف داشته است. کاربردهای اولیه این اصطلاح عمدتاً بر موانع حفاظتی فیزیکی، مانند موانعی که در حمل و نقل جاده‌ای برای جلوگیری از خروج وسایل نقلیه از جاده استفاده می‌شود، متمرکز بود (۱). امروزه با توسعه و پیچیدگی روزافزون سیستم‌های صنعتی در صنایع فرایندی و افزایش پتانسیل وقوع حوادث بزرگ در این صنایع، مفهوم موانع ایمنی نیز متناسب با آن، تکامل و گسترش یافته است، به نحوی که اصل «دفاع در عمق[2]» که به لایه‌های متعدد حفاظتی و ترکیب انواع مختلف موانع فیزیکی، فنی، رویه‌ای و سازمانی برای جلوگیری از بروز حوادث و کاهش پیامد آن‌ها اشاره دارد، تأثیر قابل توجهی بر درک و کاربرد موانع ایمنی داشته است (۲). با این حال، همانطور که لیو (۲۰۲۰) به آن اشاره کرده، هیچ تعریف پذیرفته شده جهانی برای آن وجود ندارد و مفهوم مانع ایمنی بر اساس روش آنالیز لایه‌های حفاظتی[3] (LOPA) و مدل‌های حادثه استوار است، اما به طور کلی، «موانع ایمنی» اقداماتی برای جلوگیری یا محافظت در برابر رویدادهای خطرناک هستند. یک مانع ایمنی می‌تواند شامل چندین عنصر فنی، عملیاتی و سازمانی باشد و می‌تواند یک یا چند عملکرد ایمنی را انجام دهد که هدف مانع را تعیین می‌کند (۳). مفهوم «لایه حفاظتی»، که به عنوان یک سیستم یا اقدام انسانی برای کاهش احتمال و/ یا شدت یک رویداد منجر به آسیب تعریف می‌شود نیز معنایی مشابه با «مانع ایمنی» دارد (۴).

مدل‌های حادثه، مانند مدل مانع-انرژی، دیاگرام پاپیونی[4] (BT) و مدل پنیر سوئیسی، اساس درک عملکرد موانع ایمنی هستند، به طوری که می‌توان یک مانع ایمنی را به عنوان سدی در مقابل مسیر توسعه یک حادثه در نظر گرفت (۳،۵). «عملکرد مانع» به عنوان عملکردی برنامه‌ریزی شده برای جلوگیری، کنترل یا کاهش حوادث یا رویدادهای ناخواسته تعریف شده است و به شرایطی که این عملکرد را تحت تأثیر قرار می‌دهد، «عوامل تأثیرگذار بر مانع» گفته می‌شود (۶،۷). شکل ۱ این مفاهیم و ارتباط آن‌ها با یکدیگر را نشان می‌دهد.

اهمیت موانع ایمنی در کاهش ریسک حوادث، در دستورالعمل‌ها و استانداردها نیز مورد توجه قرار گرفته است؛ مانند دستورالعمل Seveso II (۸)، مقررات مدیریتی از اداره ایمنی نفت نروژ[5] (PSA) (۹) و استانداردهای IEC:61508 (۱۰)، IEC:61511 (۱۱) و ISO:13702 (۱۲). موانع ایمنی در جلوگیری از وقوع حوادث، به ویژه در صنایع با ریسک بالای بروز وقایع فاجعه بار، حیاتی هستند. چنین صنایع پر ریسکی، مانند نفت و گاز و فرآوری شیمیایی، اغلب به تعامل پیچیده میان سیستم‌های فنی، اقدامات انسانی و فرایندهای سازمانی برای مدیریت ریسک متکی هستند. موانع ایمنی در این صنایع طیف وسیعی را در بر می‌گیرد؛ از جمله موانع فنی مانند شیرهای اطمینان فشار و سیستم‌های توقف اضطراری، و همچنین اقدامات سازمانی مانند واکنش در شرایط اضطراری و برنامه‌های آموزش ایمنی (۱۳).

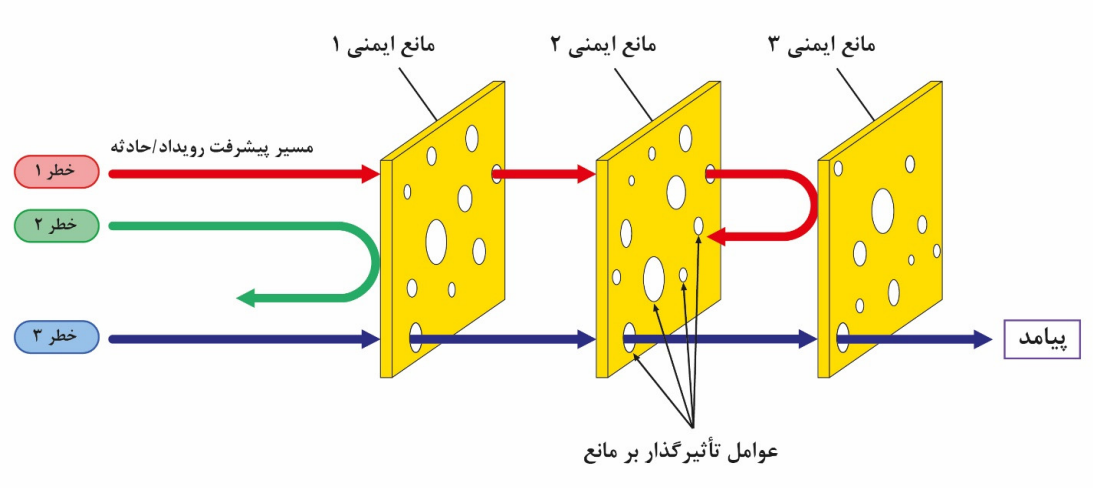
پیچیدگی روزافزون سیستم‌های صنعتی مدرن منجر به افزایش پیچیدگی در موانع ایمنی نیز شده است. بسیاری از موانع در صنایع فرایندی، دیگر موانع فیزیکی ساده نیستند، بلکه سیستم‌های پیچیده فنی-اجتماعی هستند که شامل تعاملات بین اپراتورهای انسانی، سیستم‌های کنترل خودکار و فرآیندهای سازمانی می‌شوند (۱۴). این تغییر از موانع ساده به پیچیده، نیازمند در نظر گرفتن تعامل عوامل مختلف، از جمله استراتژی‌های تعمیر و نگهداری، خطای انسانی و تأثیرات سازمانی، برای مدیریت مؤثر و عملکرد بهینه موانع است (۱۵،۱۶).

عوامل انسانی و سازمانی[6] (HOFs) نقش اساسی در ایمنی سیستم‌ها داشته و بر اثربخشی اقدامات پیشگیرانه و جلوگیری از وقوع حوادث اثرگذار است (۱۷). در حالی که از دهه‌های گذشته نقش خرابی‌های فنی در بروز حوادث مورد توجه بوده است، امروزه مطالعات علاوه بر مسائل

1. Safety barrier
2. Defense-in-depth
3. layers of Protection Analysis (LOPA)
4. Bow-tie diagram
5. Petroleum Safety Authority Norway (PSA)
6. Human and Organizational Factors (HOFs)

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-08]

[DOI: 10.18502/jhsw.v15i1.21366]



شکل ۱: ارتباط میان «عملکرد مانع» و «عوامل تأثیرگذار بر مانع» - شکل بازطراحی شده است (۶,۷)

فنی، بر خطاهای انسانی، نواقص سازمانی و تعاملات پیچیده فنی-اجتماعی به عنوان عوامل اصلی بروز حوادث متمرکز هستند (۱۸). تخمین زده شده است که ۷۰٪ از حوادث فراساحلی صنایع نفت و گاز به دلیل خطاهای انسانی رخ داده و ۳۰٪ باقی‌مانده به خرابی‌های فنی نسبت داده می‌شود (۱۹). چنین درک و بینشی از نحوه بروز حوادث، تمرکز پژوهشگران را از تحلیل‌های صرفاً فنی به دیدگاهی جامع‌تر تغییر داده است (۲۰). اثربخشی موانع ایمنی نیز تنها با قابلیت اطمینان اجزای فنی آن تعیین نمی‌شود، بلکه عوامل انسانی و سازمانی هم بر عملکرد موانع ایمنی تأثیر می‌گذارند (۲۱).

تاکنون چندین مطالعه مروری در مورد جنبه‌های مختلف موانع ایمنی ارائه شده است. اسکلت (۲۰۰۶) مروری جامع با تمرکز بر تعاریف، طبقه‌بندی‌ها و ویژگی‌های موانع ایمنی، عمدتاً از دیدگاه فنی انجام داده است (۲). لیو (۲۰۲۰) مروری جدیدتر بر مطالعات در مورد موانع ایمنی ارائه کرد و مطالعات را به تئوری موانع، مهندسی موانع و مدیریت موانع طبقه‌بندی نمود و پیشرفت پژوهش‌ها در مدل‌سازی و تحلیل مبتنی بر داده را نشان داد (۳). در جدیدترین مطالعه، یوان و همکاران (۲۰۲۲) مروری نظام‌مند بر موانع ایمنی در صنایع فراوری شیمیایی انجام دادند و به طبقه‌بندی، ارزیابی و مدیریت آن‌ها پرداختند (۱۳).

اگرچه در مطالعات مروری پیشین جنبه‌های مختلف موانع ایمنی مورد بررسی قرار گرفته، اما در هیچ کدام از آن‌ها به روش‌هایی که تأثیر HOFs را بر عملکرد موانع ایمنی ارزیابی کرده‌اند، پرداخته نشده است. این پژوهش، مروری نظام‌مند بر مطالعاتی است که روش‌هایی را برای ارزیابی تأثیر عوامل انسانی و سازمانی (HOFs) بر عملکرد موانع ایمنی ارائه کرده‌اند.

روش کار

مطالعه مروری حاضر، به صورت نظام‌مند و طبق دستورالعمل پریزما (PRISMA) انجام شده است. جست‌وجوی مطالعات بدون محدودیت زمانی در پایگاه‌های Scopus و Web of Science (WOS) در ۱۶ جولای ۲۰۲۴ انجام شد. برای شناسایی مطالعات مرتبط با پژوهش مروری حاضر، جست‌وجو در پایگاه‌های مذکور ابتدا با استفاده از عبارات OR و کلیدواژه‌هایی شامل safety barrier، operational barrier، safety instrumented system و protection layer با هدف محدود کردن نتایج جستجو به زمینه مورد پژوهش انجام گرفت. سپس با استفاده از عبارت AND و کلیدواژه‌هایی شامل human factor، human error، organizational factor، human risk influencing factor، and organizational factor،

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-08]
[DOI: 10.18502/jhsw.v15i1.21366]

performance influencing factor و performance shaping factor در میان نتایج بدست آمده، مطالعاتی که عوامل مؤثر بر موانع (عوامل انسانی و سازمانی) را مورد بررسی قرار داده بودند، شناسایی شدند.

معیار ورود به مطالعه، مقالاتی بودند که متن کامل آن‌ها در دسترس بوده و به طور صریح به تأثیر عوامل انسانی و سازمانی (HOFs) بر عملکرد موانع ایمنی پرداخته و یک روش یا چارچوب متمایز را در این زمینه ارائه کرده باشند. بنابراین، مقالاتی که صرفاً به اهمیت HOFs در ارزیابی عملکرد موانع اشاره کرده و هیچ روش کیفی یا کمی را ارائه نکرده بودند، از مطالعه خارج شدند. مطالعاتی که به زبانی غیر از انگلیسی نوشته شده بودند و نوع آن‌ها Article نبود نیز از مطالعه خارج شدند.

برای اطمینان از درستی نتایج جستجو و پوشش‌دادن تمامی مقالات مرتبط، کلیدواژه‌های مذکور در پایگاه‌های ScienceDirect و Google Scholar نیز جست‌وجو شد.

پس از ادغام و حذف مقالات تکراری از پایگاه‌های اطلاعاتی، دو پژوهشگر به طور مستقل به غربالگری اولیه مقالات پرداختند. مقالاتی که با موضوع و معیارهای ورود به مطالعه همخوانی نداشتند، در این مرحله حذف شدند. در مرحله بعد، چکیده‌ی مقالات باقیمانده به طور مجزا توسط دو پژوهشگر مورد بررسی قرار گرفت و سپس متن کامل مقالات مرتبط ارزیابی شد. پس از انتخاب مقالات نهایی، دو پژوهشگر به طور مستقل اقدام به استخراج داده‌ها بر اساس چک لیست طراحی شده (بر اساس جدول ۱) نمودند. داده‌های استخراج شده توسط هر یک

جدول ۱: خلاصه داده‌های مطالعات بررسی‌شده

نویسندگان و سال انتشار	رویکرد مطالعه	روش مطالعه	صنعت/ دامنه مطالعه	نوع موانع ایمنی مورد بررسی	عوامل انسانی و سازمانی (HOFs) مورد بررسی	توضیح مختصر روش
اون و همکاران (۲۰۰۶) (۲۴)، اسکلت و همکاران (۲۰۰۶) (۲۵)، اسکلت (۲۰۰۶) (۲۶)، وینم و همکاران (۲۰۰۹) (۲۷)	ارزیابی ریسک	BORA	تأسیسات نفت و گاز فراساحلی	موانع فنی و عملیاتی	ویژگی‌های فردی (شایستگی، استرس/بار کاری، فرسودگی و محیط کاری)، ویژگی‌های وظیفه (پیچیدگی وظیفه، فشار زمانی)، کنترل مدیریتی (رویه‌ها، پرمیت، شرح کار)، عوامل سازمانی (نظارت، ارتباطات، مدیریت تغییرات)	BORA روشی برای ارزیابی ریسک انتشار هیدروکربن‌ها متناسب با شرایط خاص سکوها از طریق ارزیابی عملکرد موانع ایمنی و تأثیر HOFs (در قالب RIFs) است.
دویم و گوسنز (۲۰۰۶) (۲۸)		ARAMIS	صنایع با ریسک بالا	انواع موانع سخت‌افزاری و موانع مبتنی بر رفتار	برنامه‌ریزی نیروی انسانی و در دسترس بودن، شایستگی و سازگاری، تعهد، انطباق و حل تعارض، ارتباط و هماهنگی، رویه‌ها، قوانین و اهداف	ARAMIS روشی برای ادغام ارزیابی‌های مدیریت ایمنی در ارزیابی ریسک است و تأثیر عوامل مدیریتی بر قابلیت اطمینان موانع ایمنی کمی‌سازی می‌شود.
وینم و همکاران (۲۰۱۲) (۲۹)، گران و همکاران (۲۰۱۲) (۳۰)		Risk_OMT	تأسیسات نفتی فراساحلی	موانع عملیاتی	- سطح یک: عوامل با تأثیر مستقیم بر خطای انسانی، تخلف، خطای سهوی و لغزش (عوامل مشابه روش BORA) - سطح دو: عوامل مدیریتی مؤثر بر سطح یک (مدیریت شایستگی، مدیریت اطلاعات، مدیریت جنبه‌های فنی و مدیریت وظایف)	Risk_OMT بر پایه پروژه BORA توسعه یافته و بر مدل‌سازی جامع‌تر RIFs و نحوه تأثیرگذاری آن‌ها بر عملکرد موانع عملیاتی متمرکز است.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-08]

[DOI: 10.18502/jhsw.v15i1.21366]

ادامه جدول ۱: خلاصه داده‌های مطالعات بررسی‌شده

نویسندگان و سال انتشار	رویکرد مطالعه	روش مطالعه	صنعت/ دامنه مطالعه	نوع موانع ایمنی مورد بررسی	عوامل انسانی و سازمانی (HOFs) مورد بررسی	توضیح مختصر روش
ژن و همکاران (۲۰۱۸) (۳۱)	ارزیابی ریسک	روش بهبودیافته BORA	تأسیسات نفتی فراساحلی	موانع عملیاتی	بر اساس روش BORA	روشی بر پایه BORA با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی (AHP) فازی اصلاح شده در خصوص فعالیت‌های تعمیر و نگهداری
پرز و تان (۲۰۱۸) (۳۲)		APPM	حفاری فراساحل	سیستم کنترل چاه - سیستم‌های پیشگیری از فوران چاه (BOP)	عوامل انسانی شامل استرس ناشی از فشار زمانی، بار کاری، مهارت و شایستگی، عوامل سازمانی شامل مناسب بودن رویه‌ها و دستورالعمل‌های کنترل چاه، نظارت و ارتباطات	APPM روشی برای ارزیابی ریسک فوران چاه در حفاری فراساحل با در نظر گرفتن ویژگی‌های خاص سکوها، ویژگی‌های محیطی، RIFs و شرایط فعلی عملیاتی
بوراچه و همکاران (۲۰۲۰) (۳۳)		BORA-CIA	سپراتور نفت و گاز	موانع فنی، سیستم‌های ایمنی مجهز به ابزار دقیق (SISs) و موانع عملیاتی	بر اساس روش BORA	روشی بر اساس BORA برای ارزیابی تغییرات در CIF اجزا با در نظر گرفتن RIFs از طریق ادغام تحلیل اهمیت بحرانی (CIA)
احمدی و همکاران (۲۰۲۰) (۳۴)		ارزیابی ریسک پویا (DRA)	مخازن ذخیره اتمسفریک	مطابق روش ARAMIS	بر اساس روش ARAMIS	روشی برای ارزیابی کمی پویای ریسک حریق مخازن ذخیره اتمسفریک با در نظر گرفتن موانع و تأثیر RIFs
لی و همکاران (۲۰۲۱) (۳۵)	ارزیابی ریسک	BIRP	حفاری فراساحل	سیستم کنترل چاه - سیستم پیشگیری از فوران چاه (BOP)	اعتبار (Credibility) سیستم نظارت بر افزایش فشار چاه و تأثیر آن بر کارگران، ارتباطات و همکاری میان کارگران	روشی بر اساس BORA برای ارزیابی ریسک فوران چاه آب‌های عمیق بر اساس ارزیابی موانع ایمنی و با در نظر گرفتن RIFs
شونبک و همکاران (۲۰۱۰) (۳۶)	ارزیابی SIL	ارزیابی تأثیر HOFs بر SIL	صنایع فرایندی	سیستم‌های ایمنی مجهز به ابزار دقیق (SISs)	مدیریت تعمیر و نگهداری، رویه‌ها، شرایط اجبار به خطا، انضباط کارگاهی، سازگاری با هدف، ارتباطات و آموزش	ارائه روشی برای ارزیابی تأثیر HOFs بر سطح یکپارچگی ایمنی (SIL) در فاز عملیاتی SISs

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-08]

[DOI: 10.18502/jhsw.v15i1.21366]

ادامه جدول ۱: خلاصه داده‌های مطالعات بررسی‌شده

نویسندگان و سال انتشار	رویکرد مطالعه	روش مطالعه	صنعت/ دامنه مطالعه	نوع موانع ایمنی مورد بررسی	عوامل انسانی و سازمانی (HOFs) مورد بررسی	توضیح مختصر روش
رحیمی و راوسند (۲۰۱۳) (۳۷)	ارزیابی ضریب بتا	مدیریت تأثیر HOFs بر فاکتور بتا	صنایع فرایندی	سیستم‌های ایمنی مجهز به ابزار دقیق (SISs)	مجموعه‌ای از عوامل انسانی و سازمانی (HOFs) - به طور مشخص ذکر نشده	ارائه چارچوبی برای حفظ قابلیت اطمینان SIS در فاز عملیاتی از طریق پیگیری و مدیریت تأثیرات HOFs بر ضریب بتا
ژو و همکاران (۲۰۲۰) (۳۸)	کمی‌سازی HEP	کمی‌سازی HEP در IPLs	صنعت فرایند شیمیایی - سیستم راکتور ناپیوسته	لایه‌های حفاظتی مستقل انسانی (Human IPLs)	دانش و تجربه اپراتور، سطح استرس اپراتور و کیفیت رابط اپراتور-کارخانه Operator/plant) (interface	ارائه روشی برای کمی‌سازی احتمال خطای انسانی (HEP) در IPLs با در نظر گرفتن عوامل شکل‌دهنده عملکرد (PSFs)
سینگ و همکاران (۲۰۲۲) (۳۹)	ارزیابی عملکرد	ارزیابی عملکرد RCS	صنعت فولاد	سیستم‌های کنترل ریسک (RCSs)	ارتباطات، برنامه‌های بازرسی و تعمیر و نگهداری، دانش اپراتور و پایبندی به رویه‌ها، آموزش، توانایی تصمیم‌گیری و قضاوت اپراتور	ارائه روشی مبتنی بر پاداش-جریمه برای ارزیابی عملکرد RCS با در نظر گرفتن عوامل تأثیرگذار بر عملکرد (PIFs)

از پژوهشگران با یکدیگر مقایسه شد. در تمامی مراحل، اختلاف نظرها از طریق بحث و گفتگو و در صورت لزوم با نظر پژوهشگر سوم حل و فصل گردید.

برای ارزیابی کیفیت مقالات، نویسندگان توافق کردند که ارزیابی کیفیت را با استفاده از Critical Appraisal Skills Programmer (CASP) انجام دهند که یکی از ابزارهای رایج برای ارزیابی کیفیت با ده سوال است (۲۲). مطابق با پیشنهاد ارائه شده توسط پتیکرو و رابرتز (۲۰۰۶)، نویسندگان مقالات را بر اساس کیفیت آن‌ها به سه دسته طبقه‌بندی کردند: کیفیت بالا، متوسط و پایین (۲۳). فرایند ارزیابی مقالات برای طبقه‌بندی آن‌ها بر اساس اعتبار یافته‌ها، نتایج و میزان مفید بودن نتایج، انجام گرفت. طبق تصمیم هر دو نویسنده، پاسخ به سوالات CASP برای هر مقاله با ۸ از ۱۰ امتیاز، کیفیت بالا، ۵ تا ۷ از ۱۰ امتیاز، کیفیت متوسط و کمتر از آن کیفیت پایین محسوب شد. در نهایت، هر دو محقق در مورد مقالات پس از فرایند ارزیابی کیفیت توافق کردند، که شامل ۱۳ مقاله با کیفیت بالا و ۳ مقاله با کیفیت متوسط، مجموعاً ۱۶ مقاله، شد.

یافته ها

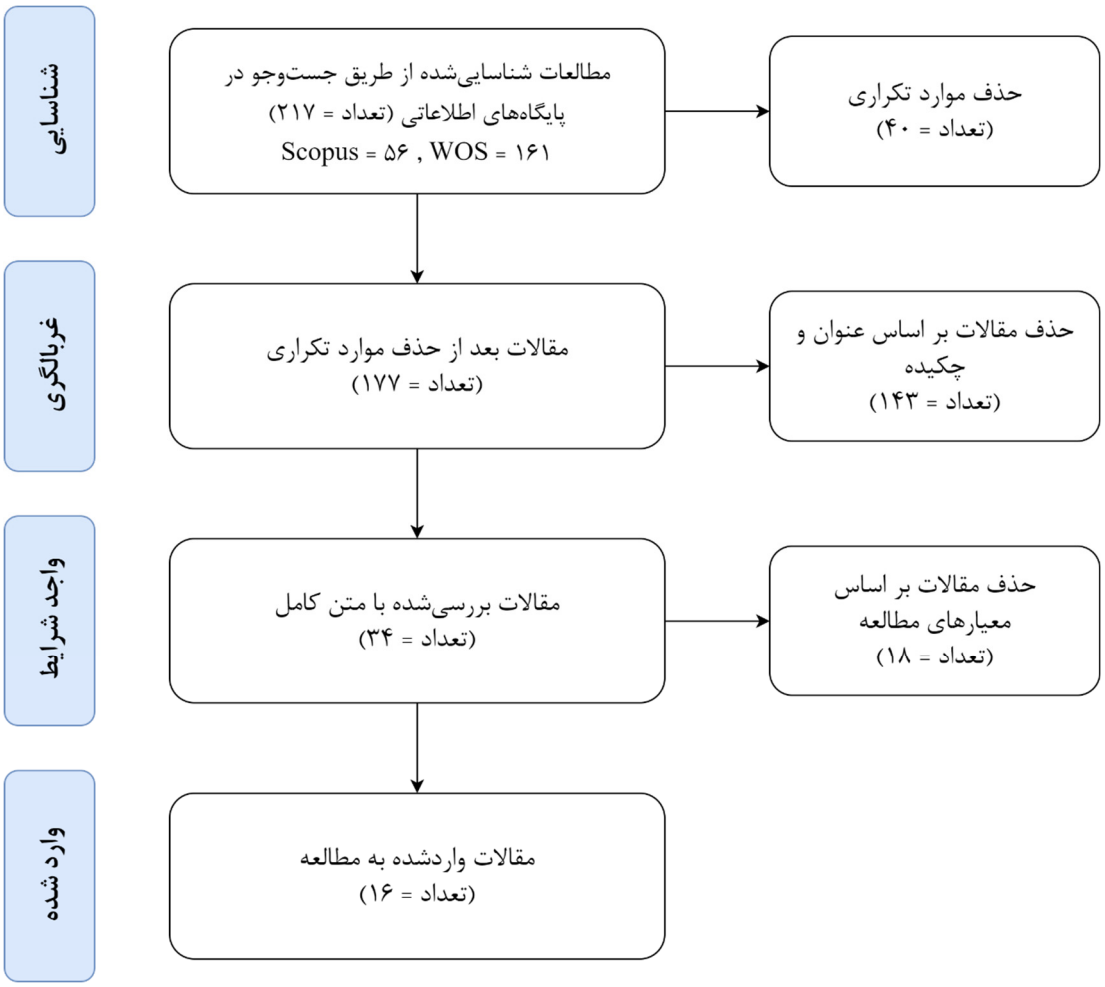
در جست‌وجوی اولیه، تعداد ۱۶۱ مقاله از پایگاه Web Of Science و ۵۶ مقاله از پایگاه Scopus، مجموعاً ۲۱۷ مقاله، یافت شد. ابتدا ۴۰ مقاله تکراری حذف شدند. سپس، تعداد ۱۴۳ مقاله با بررسی عنوان و خلاصه، از مطالعه خارج گردید. در مرحله بعد، از طریق بررسی متن کامل ۳۴ مقاله و با در نظر گرفتن معیار ورود، تعداد ۱۶ مقاله برای مطالعه حاضر انتخاب شد. شکل ۲، فلوچارت پردازش داده‌ها را بر اساس مدل PRISMA نشان می‌دهد

داده‌های حائز اهمیت در مقالات شامل نام نویسنده، سال انتشار مقاله، رویکرد مطالعه، روش مطالعه، صنعت مورد مطالعه، نوع موانع ایمنی مورد بررسی، عوامل انسانی و سازمانی (HOFs) مورد بررسی و توضیح مختصر روش در جدول ۱ آورده شده است.

۱۶ مطالعه وارد شده به پژوهش مروری حاضر، ارتباطی را میان عوامل انسانی و سازمانی تأثیرگذار بر مانع، عملکرد مانع و ایمنی سیستم یا فرایند نشان می‌دهند که در شکل ۳ نمایش داده شده است. مطابق

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-08]

[DOI: 10.18502/jhsw.v15i1.21366]



شکل ۲: فرایند انتخاب مقالات بر اساس دستورالعمل پریزما (PRISMA)

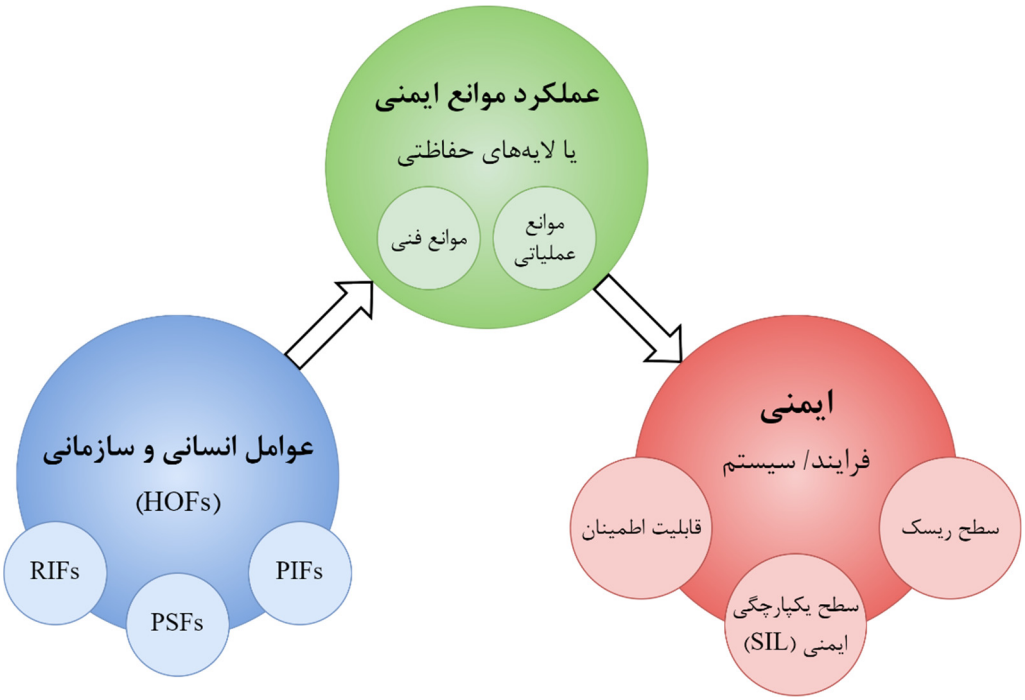
این شکل، عوامل انسانی و سازمانی بررسی‌شده در میان مقالات، تحت عناوین مختلفی مورد بررسی قرار گرفته‌اند؛ عوامل تأثیرگذار بر ریسک[1] (RIFs)، عوامل تأثیرگذار بر عملکرد[2] (PIFs) و عوامل شکل‌دهنده عملکرد[3] (PSFs). علاوه بر آن، مشاهده می‌شود که مطالعات غالباً به دو نوع از موانع ایمنی یا لایه‌های حفاظتی پرداخته‌اند: موانع عملیاتی/ انسانی (موانعی که عمدتاً به اقدامات انسانی، رویه‌ها و شیوه‌های عملیاتی برای جلوگیری از حوادث متکی‌اند) و موانع فنی (موانعی که از تجهیزات و سیستم‌های فنی برای تحقق عملکرد خود بهره می‌برند).

طبق بررسی انجام‌شده، هدف نهایی مقالات از ارزیابی تأثیر HOFs بر عملکرد موانع ایمنی، ارتقاء سطح ایمنی (ایمنی فرایند یا ایمنی سیستم/ مانع) با رویکرد ارزیابی سطح ریسک، سطح یکپارچگی ایمنی[4] (SIL) و یا قابلیت اطمینان (ارزیابی ضریب بتا و ارزیابی عملکرد) بوده است (شکل ۳).

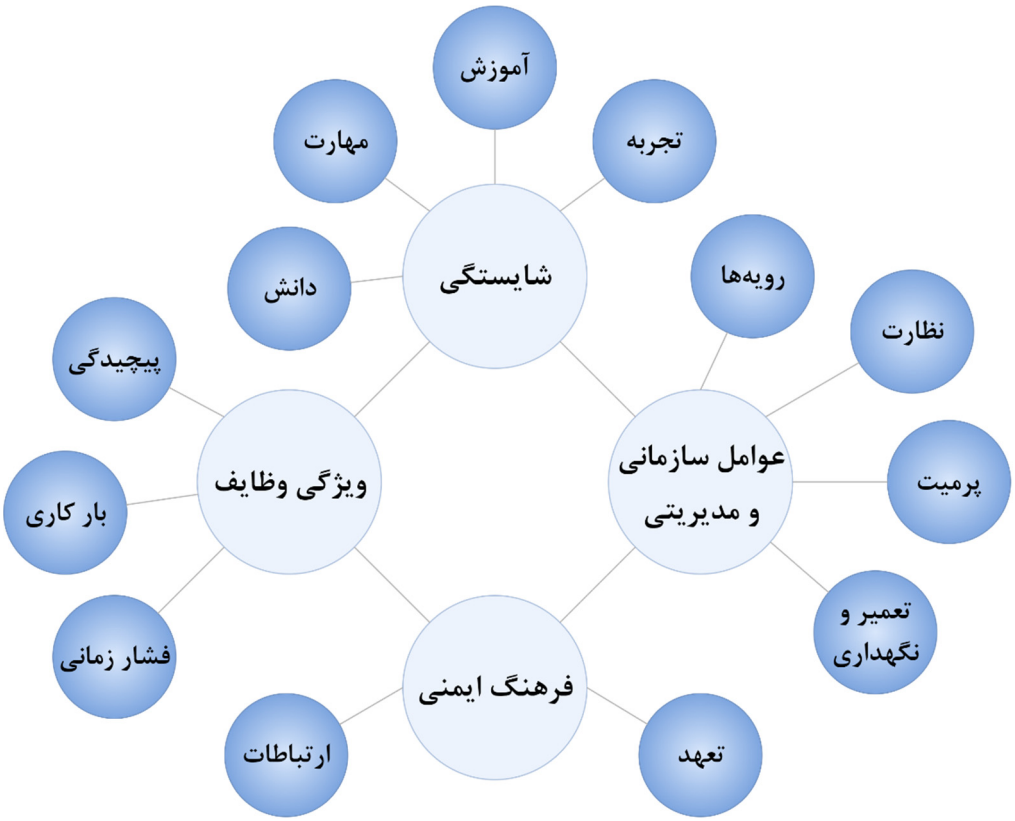
رایج‌ترین عوامل انسانی و سازمانی (HOFs) بررسی‌شده در میان مطالعاتِ واردشده به پژوهش نیز، مطابق آنچه در جدول ۱ آورده شده است، در شکل ۴ به نمایش درآمده است.

1. Risk influencing Factors (RIFs)
2. Performance Influencing Factors (PIFs)
3. Performance Shaping Factors (PSFs)
4. Safety Integrity Level (SIL)

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-08]
[DOI: 10.18502/jhsw.v15i1.21366]



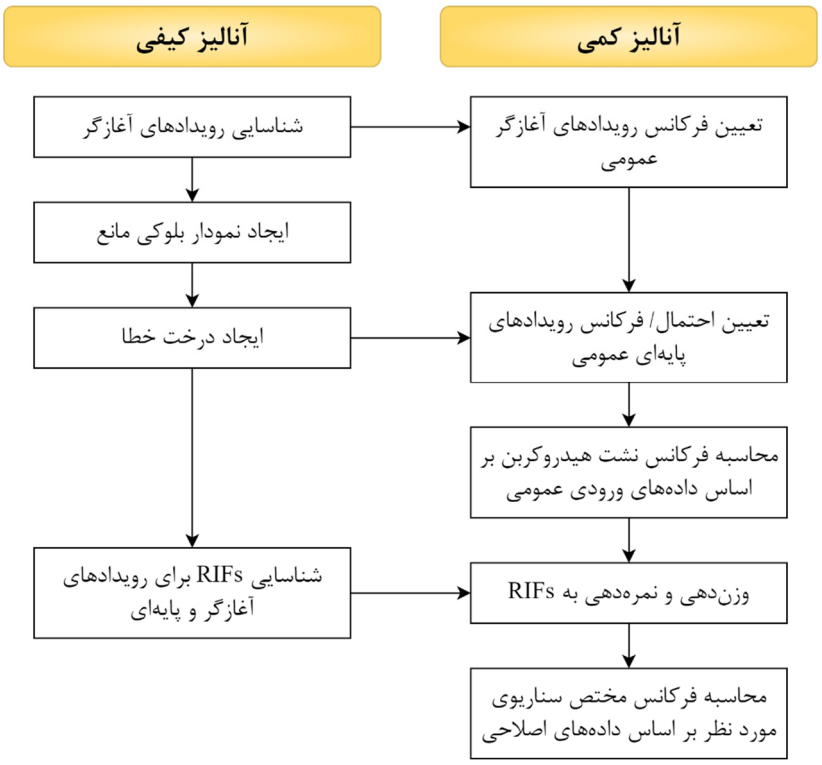
شکل ۳: ارتباط میان عوامل انسانی و سازمانی (HOFs)، عملکرد موانع ایمنی و ایمنی فرایند یا سیستم در میان مطالعات



شکل ۴: رایج‌ترین عوامل انسانی و سازمانی (HOFs) بررسی‌شده در میان مطالعات

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-08]

[DOI: 10.18502/jhsw.v15i1.21366]



شکل ۵: مراحل اصلی روش BORA و سایر روش‌های بر پایه آن (۴۰)

مطالعات با رویکرد ارزیابی ریسک

اثربخشی موانع ایمنی و به تبع آن، سطح ریسک، تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارد. این عوامل شامل شرایط خاص تأسیسات نفتی و نیز عوامل فنی، انسانی، عملیاتی و سازمانی است که به طور کلی تحت عنوان عوامل تأثیرگذار بر ریسک (RIFs) شناخته می‌شوند (۲۴,۳۱). بر این اساس، روش آنالیز ریسک عملیاتی و مانع[1] (BORA) توسط اون و همکاران (۲۰۰۶) ارائه شد که ریسک‌های مرتبط با انتشار هیدروکربن را در تأسیسات فراساحلی با در نظر گرفتن شرایط خاص سکوهای نفتی و RIFs، به طور جامع ارزیابی می‌کند (۲۴). در روش BORA، تأثیر عوامل انسانی، عملیاتی و سازمانی بر عملکرد موانع ارزیابی شده و با ادغام عوامل فنی و غیر فنی، ریسک کلی به طور کمی برآورد می‌شود. در مجموع، چارچوب BORA با ارائه یک تصویر روشن از ریسک‌های موجود، امکان برنامه‌ریزی و اجرای استراتژی‌های مؤثر برای مدیریت ریسک در تأسیسات فراساحلی را فراهم می‌آورد (۲۴–۲۶).

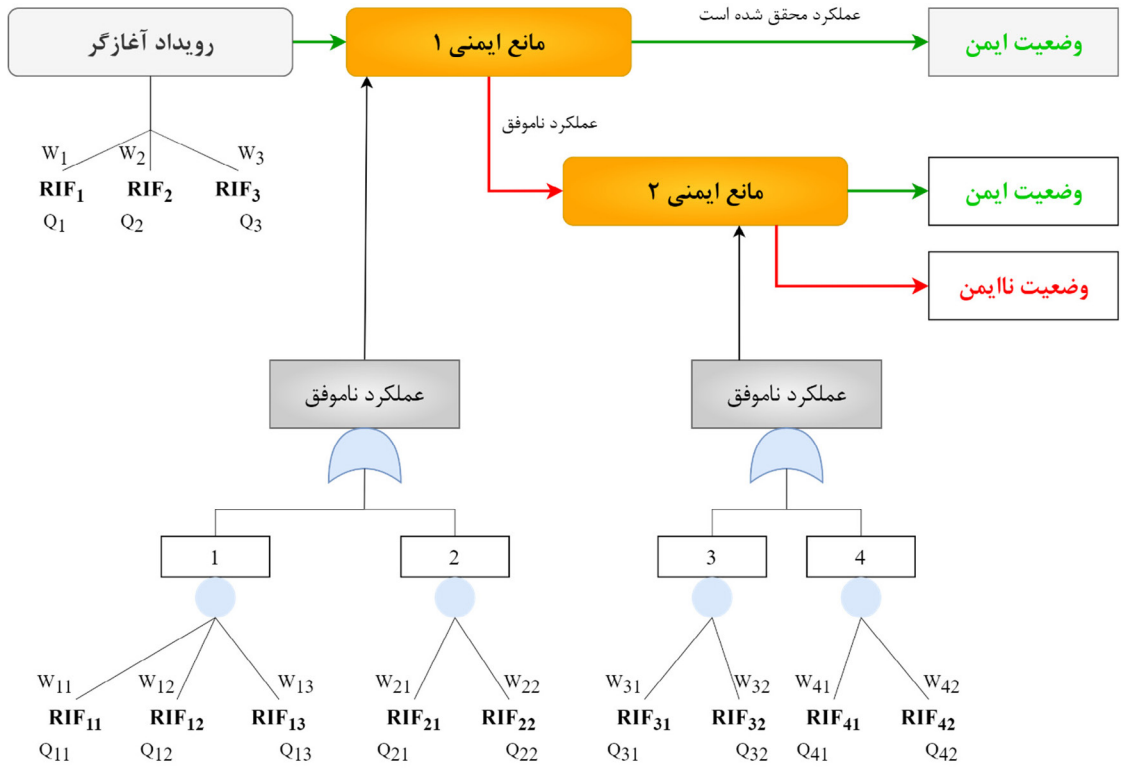
روش BORA برای کمی کردن تأثیر RIFs، به نظر خبرگان[2] برای اختصاص وزن‌هایی که اهمیت نسبی عوامل مختلف را نشان می‌دهند، متکی است. علاوه بر این، از یک سیستم نمره‌دهی برای ارزیابی وضعیت واقعی هر RIF در سکوی خاصی که مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد، استفاده می‌کند. سپس این وزن‌ها (W_i) و نمرات (Q_i) برای اصلاح مقادیر رایج احتمال خرابی در صنعت استفاده می‌شوند. مقادیر تولید شده، تأثیر بالقوه RIFs که منحصر به هر سکو است را نشان می‌دهد. مرحله نهایی شامل محاسبه مجدد ریسک کلی انتشار هیدروکربن با استفاده از این احتمالات اصلاح‌شده است که که تأثیرات عوامل فنی، انسانی و سازمانی را در بر می‌گیرد (۲۴,۲۵). شکل ۵، مراحل اصلی روش BORA و سایر روش‌هایی را که بر پایه آن توسعه داده شده‌اند، نشان می‌دهد.

1. Barrier and Operational Risk Analysis (BORA)

2. Expert judgment

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-08]

[DOI: 10.18502/jhsw.v15i1.21366]



شکل ۶: اصول مدل‌سازی ریسک بر اساس روش BORA - شکل بازطراحی شده است (۳۳)

اصل بنیادی در روش BORA این است که حوادث مرتبط با انتشار هیدروکربن، در نتیجه‌ی وقوع یک رویداد آغازگر و متعاقباً خرابی یا نقص موانع ایمنیِ طراحی‌شده برای جلوگیری از تشدید آن رویداد، رخ می‌دهند. از این جهت، ارزیابی عملکرد موانع ایمنی و شناسایی RIFs، که می‌توانند بر اثربخشی موانع تأثیر بگذارند، هسته اصلی رویکرد BORA است. بدین منظور، در این روش از تکنیک آنالیز درخت خطا (FTA) برای کشف حالت‌های خرابی بالقوه موانع و تعیین رویدادهای پایه‌ای استفاده می‌شود که در آن عوامل انسانی یا سازمانی ممکن است نقش داشته باشند. سپس BORA از نمودارهای تأثیرگذاری ریسک[1] برای نمایش بصری روابط میان RIFs شناسایی‌شده و این رویدادهای پایه استفاده می‌کند. در نتیجه، یک روش ساختارمند برای درک نحوه تأثیرگذاری عوامل مختلف بر خرابی موانع ارائه می‌شود (۲۴،۲۵).

شکل ۶ مثالی را از مدل‌سازی کیفی بر اساس روش BORA نشان می‌دهد که در آن، از نمودار بلوکی مانع[2] / درخت رویداد، درخت خطا و نمودارهای تاثیرگذاری ریسک استفاده شده است.

مطالعات موردی از روش BORA که توسط اسکلت و همکاران (۲۰۰۶) انجام شد، نشان داد که RIFs کنترل‌نشده می‌توانند منجر به افزایش قابل توجه احتمال وقوع انتشار هیدروکربن‌ها شود (۲۵). اسکلت (۲۰۰۶) با ارائه مجموعه‌ای از سناریوها و شناسایی موانع ایمنی مرتبط، فرایند انتشار هیدروکربن‌ها را طبق مدل BORA به طور گسترده‌تری مورد بررسی قرار داد (۲۶). وینم و همکاران در سال ۲۰۰۹، از طریق انجام مطالعات موردی، قابلیت کاربرد BORA را با تمرکز بر جنبه‌های انسانی و سازمانی گسترش دادند تا طیف وسیع‌تری از مخاطرات عملیاتی در تأسیسات فراساحلی را در بر گرفته

1. Risk Influence Diagrams (RIDs)

2. Barrier Block Diagrams

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-08]

[DOI: 10.18502/jhsw.v15i1.21366]

و پیچیدگی‌های ریسک عملیاتی با دقت بیشتری مورد بررسی قرار گیرد (۲۷).

بوراچه و همکاران (۲۰۲۰) با بهره‌گیری از تحلیل اهمیت بحرانی (CIA)، کاربرد عملی BORA را با ارائه روشی به نام BORA-CIA برای اولویت‌بندی اقدامات تعمیر و نگهداری در خصوص فرایند سپراتور نفت و گاز نشان دادند. طبق روش BORA-CIA، ارتباط میان اهمیت بحرانی اجزای موانع ایمنی و RIFs با هدف شناسایی عوامل کلیدی در کاهش ریسک و بهبود عملکرد موانع ایمنی، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (۳۳).

ژن و همکاران (۲۰۱۸) یک روش کمی را برای مدل‌سازی ریسک فعالیت‌های تعمیر و نگهداری در تجهیزات فرایندی فراساحلی پیشنهاد کردند. این روش بر اساس چارچوب BORA و با هدف بهبود آن، از یک فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) فازی اصلاح شده برای ارزیابی اهمیت RIFs و اولویت‌بندی آن‌ها استفاده می‌کند (۳۱).

لی و همکاران (۲۰۲۱) روشی برای کمی‌سازی ریسک فوران چاه آب‌های عمیق در حفاری فراساحل به نام پیش‌بینی ریسک شاخص مانع[1] (BIRP) پیشنهاد کردند. این روش که بر اساس چارچوب BORA توسعه داده شده، مفهومی را به نام دامنه افزایش ریسک[2] (IR) برای کمی کردن تأثیر RIFs بر ریسک کلی فوران چاه معرفی می‌کند. این رویکرد، ارزیابی ریسک جامع‌تر و دقیق‌تری را با در نظر گرفتن ارتباط میان رویدادهای آغازگر، عملکرد موانع و RIFs امکان‌پذیر می‌سازد (۳۵).

وینم و همکاران (۲۰۱۲) روش مدل‌سازی ریسک - ادغام عوامل سازمانی، انسانی و فنی[3] (Risk_OMT) را با هدف ارزیابی ریسک کمی انتشار هیدروکربن در تأسیسات فراساحلی، به ویژه آن‌هایی که ناشی از فعالیت‌های تعمیر و نگهداری هستند، ارائه کردند (۲۹). روش Risk_OMT نیز طبق چارچوب BORA توسعه داده شده است. در این روش، ساختاری دو سطحی برای RIFs در نظر گرفته شده (مطابق جدول ۱) و از شبکه‌های باور بیزی (BBNs) برای نشان دادن روابط بین RIFs و تأثیر آن‌ها بر احتمال کلی نشت هیدروکربن استفاده شده است (۲۹,۳۰).

پرز وتان (۲۰۱۸) با هدف توسعه روشی برای ارزیابی ریسک فوران چاه در حفاری فراساحل، روش احتمالی پیش‌نشانگر حادثه[4] (APPM) را پیشنهاد کردند. این روش با استفاده از شبکه بیزین (BN) و با در نظر گرفتن RIFs مرتبط با موانع ایمنی، چارچوبی را برای ارزیابی پویای ریسک ارائه می‌کند. یکی از نوآوری‌های کلیدی APPM، رویکرد آن در کمی‌کردن تأثیر RIFs بر احتمال وقوع رویدادها در مدل BN است. APPM به جای تکیه صرف بر نظر خبرگان، یک اصل موضوعه[5] یا اصل راهنما را برای ارزیابی RIFs معرفی می‌کند. اصل موضوعه انتخاب شده باید متناسب با فرهنگ ایمنی و زمینه عملیاتی پروژه حفاری باشد (به عنوان مثال، اصل درس‌آموزی از تجربیات). پس از تعیین اصل موضوعه، APPM از یک سیستم امتیازدهی برای تبدیل ارزیابی‌های کیفی RIFs به ورودی‌های کمی برای مدل BN استفاده می‌کند. سرانجام، APPM چارچوبی را برای برنامه‌ریزی مبتنی بر ریسک پیشنهاد می‌کند که امکان به‌روزرسانی پویای ریسک را در طول فاز عملیاتی فراهم می‌کند (۳۲).

دویم و گوسنز (۲۰۰۶) روش ARAMIS را جهت کمی‌کردن تأثیر مدیریت ایمنی بر قابلیت اطمینان موانع ایمنی برای انجام ارزیابی ریسک دقیق‌تر در صنایع پر ریسک توسعه دادند. این روش فرض می‌کند که میان کاهش سطح قابلیت اطمینان یک مانع نسبت به سطح آن در فاز طراحی و نقص در عوامل مدیریتی، که تحت عنوان «سیستم‌های تحویل یا Delivery systems» مطرح شده و شامل عواملی مانند صلاحیت، تعهد و ارتباطات است، یک رابطه مستقیم وجود دارد. در این روش، برای کمی‌کردن تأثیر نقص‌های مدیریت ایمنی بر هر دسته از موانع، از عوامل وزنی استفاده می‌شود که اهمیت نسبی هر سیستم تحویل را نشان می‌دهد (۲۸).

احمدی و همکاران (۲۰۲۰) روشی را برای ارزیابی

1. Barrier-Index Risk Prediction (BIRP)
2. Risk Increment Range (IR)
3. Risk modeling - Integration of Organizational, Human and Technical factors (Risk_OMT)

4. Accident Precursor Probabilistic Method (APPM)
5. Axiom

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-08]

[DOI: 10.18502/jhsw.v15i1.21366]

کمی پویای ریسک حریق مخازن ذخیره اتمسفریک ارائه کردند. در این روش، تعاملات بین RIFs با استفاده از روش DEMATEL فازی[1] ارزیابی شده و عوامل با استفاده از روش AHP فازی وزن‌دهی می‌شود. شاخص‌های پیشرو[2] برای نظارت بر RIFs توسعه داده شده و شبکه بیزین بر اساس اطلاعات جدید به‌روزرسانی می‌شود. این رویکرد نسبت به روش‌های سنتی، ارزیابی جامع‌تر و پویاتری را از ریسک امکان‌پذیر می‌سازد، زیرا ماهیت متغیر زمانی ریسک و تأثیر عوامل مختلف را در نظر می‌گیرد (۳۴).

سایر مطالعات با رویکردهای گوناگون

سینگ و همکاران (۲۰۲۲) رویکردی کمی را برای ارزیابی عملکرد سیستم‌های کنترل ریسک (RCSs) ارائه دادند. RCSs به موانع فیزیکی یا غیرفیزیکی اطلاق می‌شود که برای جلوگیری یا کاهش اثرات حوادث در سیستم‌های فنی‌اجتماعی استفاده می‌شود (۳۹).

مطابق این روش ابتدا عوامل تأثیرگذار بر عملکرد (PIFs) که هر RCS را در سازمان تحت تأثیر قرار می‌دهد، شناسایی می‌شود. به عنوان مثال، «چک لیست ناقص بازرسی کیفیت» یک حالت منفی از یک PIF به نام «چک لیست بازرسی کیفیت» برای یک RCS به نام «بازرسی و تعمیر و نگهداری» است. سپس، به هر PIF شناسایی‌شده، یک وزن ریسک بر اساس شدت بالقوه حالات منفی آن اختصاص داده می‌شود که هم وزن‌های استاتیک و هم دینامیک را شامل می‌شود (۳۹). در نهایت، عملکرد هر RCS بر اساس یک چارچوب پاداش-جریمه ارزیابی می‌شود. امتیازهای جریمه به PIFs زمانی اختصاص داده می‌شود که به بروز حوادث کمک کنند، چه با قرار داشتن PIF در یک حالت نامطلوب و چه با فراتر رفتن از حداقل حد قابل‌قبول تعیین‌شده برای معیارهای ایمنی (فرکانس حادثه و نمره میانگین ریسک). برعکس، امتیازهای پاداش زمانی به PIFs داده می‌شود که در سوابق حوادث، در حالت‌های نامطلوب یافت نشده یا مقادیر معیارهای ایمنی آن‌ها در محدوده قابل قبول باقی می‌ماند. امتیازهای تجمعی جریمه، یک شاخص ضعف (WI) و امتیازهای پاداش، یک شاخص اثربخشی (EI) را برای هر RCS تشکیل می‌دهند. با مقایسه WI و EI، عملکرد هر RCS در طول زمان ارزیابی شده و امکان بهبودهای هدفمند ایمنی فراهم می‌شود (۳۹). شکل ۷، مراحل اصلی روش ارزیابی عملکرد سیستم‌های کنترل ریسک (RCSs) را نشان می‌دهد.

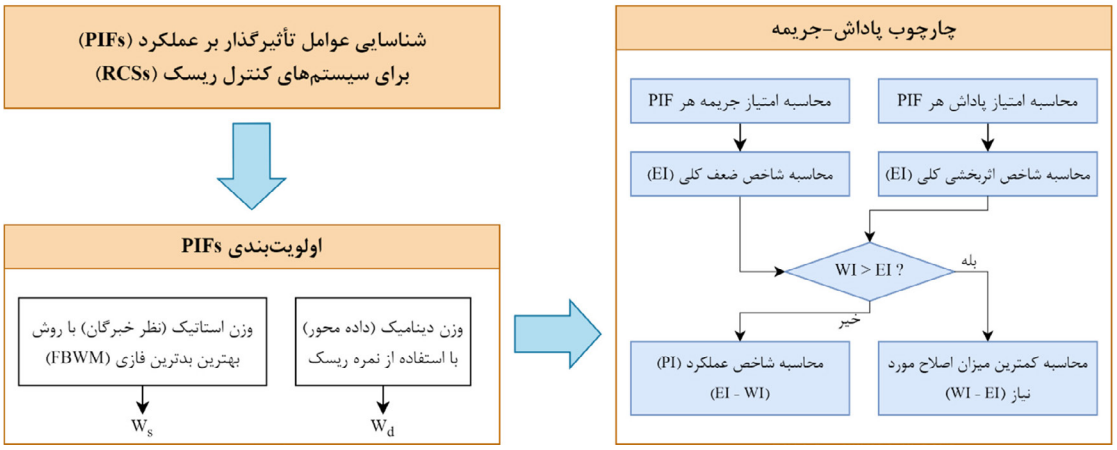
ژو و همکاران (۲۰۲۰) مطالعه‌ای را با هدف تعیین احتمال خطای انسانی[3] (HEP) برای لایه‌های حفاظتی مستقل[4] (IPLs) در سیستم راکتور ناپیوسته با ترکیب ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی (HRA)[5] با شبیه‌سازی‌های پویای فرایند انجام دادند. این روش شامل توسعه یک مدل ریاضی از سیستم راکتور ناپیوسته و شبیه‌سازی سناریوهای مختلف حادثه برای تعیین زمان مجاز برای پاسخ اپراتور است. سپس، این زمان همراه با عوامل شکل‌دهنده عملکرد (PSFs)، به عنوان ورودی برای روش قابلیت اطمینان شناختی انسانی (HCR) استفاده می‌شود. این امر تخمین واقع‌بینانه‌تر HEP را با در نظر گرفتن چگونگی تأثیر PSFs بر عملکرد اپراتور تحت فشار زمانی امکان‌پذیر می‌کند. در پایان، مقادیر HEP محاسبه‌شده برای انجام آنالیز لایه‌های حفاظتی (LOPA) مورد استفاده قرار گرفت. در چارچوب این روش، اپراتورهای انسانی به عنوان یک لایه حفاظتی مستقل (IPL) در نظر گرفته شدند (۳۸).

شونبک و همکاران (۲۰۱۰) رویکرد جدیدی برای ارزیابی تأثیر HOFs بر سطح یکپارچگی ایمنی (SIL) در فاز عملیاتی سیستم‌های ایمنی مجهز به ابزار دقیق[6] (SISs) پیشنهاد کردند. این روش با شناسایی مجموعه‌ای از عوامل مؤثر بر ایمنی آغاز می‌شود. این عوامل سپس بر روی یک مقیاس از ۰ تا ۱ رتبه‌بندی می‌شوند، که ۰ بهترین رتبه و ۱ بدترین رتبه است. رتبه‌بندی‌ها بر اساس

1. The fuzzy Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) method
2. Leading indicators
3. Human Error Probability (HEP)
4. Independent Protection Layers (IPLs)
5. Human Reliability Analysis (HRA)
6. Safety Instrumented Systems (SISs)

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-08]

[DOI: 10.18502/jhsw.v15i1.21366]



شکل ۷: روش ارزیابی عملکرد سیستم‌های کنترل ریسک (RCSs) (۳۹)

مجموعه‌ای از شاخص‌های خاص و قابل اندازه‌گیری برای هر عامل مؤثر بر ایمنی انجام می‌شوند. سپس، رتبه‌بندی‌ها با توجه به اهمیت آن‌ها وزن‌دهی شده و برای محاسبه SIL استفاده می‌شوند. SIL عملیاتی، SIL حاصل‌شده در حین بهره‌برداری را نشان می‌دهد که ممکن است به دلیل تأثیر عوامل انسانی و سازمانی در فاز عملیاتی، با SIL طراحی متفاوت باشد (۳۶).

رحیمی و راوسند (۲۰۱۳) چارچوبی را برای مدیریت عوامل مؤثر بر ضریب بتا (beta-factor) مرتبط با سیستم‌های ایمنی مجهز به ابزار دقیق (SISs) در فاز عملیاتی ارائه دادند. اساس روش آن‌ها این است که ضریب بتا در فاز عملیاتی، که احتمال خرابی‌های با علت مشترک[1] (CCFs) را نشان می‌دهد، می‌تواند از ضریب بتا پیش‌بینی‌شده در فاز طراحی متفاوت باشد. این تفاوت عمدتاً به عوامل انسانی و سازمانی (HOFs) نسبت داده شده است. هدف این چارچوب، حفظ قابلیت اطمینان مورد نیاز SIS در فاز عملیاتی با نگه داشتن ضریب بتا در محدوده قابل قبول است. در این روش، HOFs مرتبط با CCFs شناسایی شده و شاخص‌هایی برای نظارت بر وضعیت آن‌ها ایجاد می‌شود که شامل تعیین شرایط عملیاتی فعلی، تحلیل تأثیر آن‌ها بر ضریب بتا و اجرای اقدامات تعدیلی در صورت مشاهده انحرافات قابل توجه است (۳۷).

1. Common Cause Failures (CCFs)

بحث

مدل‌های علت‌یابی حادثه (مانند مدل پنیر سوئیسی) که بر اساس عملکرد موانع تعریف شده‌اند، کاربرد گسترده‌ای در صنایع فرایندی داشته است. اگر هر یک از موانع دارای نقصی باشد، احتمال وقوع حوادث به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. این شکاف‌ها در موانع می‌توانند تحت تأثیر طیف وسیعی از عوامل انسانی و سازمانی (HOFs) باشند، از جمله: آموزش، ارتباطات و تعمیر و نگهداری (۴۱).

در این مرور سیستماتیک روش‌های ارزیابی تأثیر HOFs بر عملکرد موانع ایمنی در صنایع فرایندی مورد مطالعه قرار گرفته است. مقالاتی که در این مطالعه مروری مورد بررسی قرار گرفتند، اهمیت عبور از تحلیل‌های صرفاً فنی و توجه به عوامل انسانی و سازمانی در عملکرد موانع ایمنی را نشان می‌دهند.

انواع موانع ایمنی و HOFs مرتبط

مطالعاتی که موانع عملیاتی را ارزیابی کرده‌اند، تأثیر عواملی مانند رویه‌ها و مستندات، صلاحیت، آموزش، ارتباطات، هماهنگی و نظارت را بر عملکرد آن‌ها سنجیده‌اند (۲۴–۲۷،۲۹–۳۳،۳۵). در این میان، مطالعات در خصوص BOP (به عنوان یک مانع فنی)، عوامل انسانی و سازمانی ذکر شده را بر اپراتور انسانی

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-08]
[DOI: 10.18502/jhsw.v15i1.21366]

دخیل در عملکرد BOP (به عنوان یک مانع عملیاتی) ارزیابی کرده‌اند (۳۲,۳۵).

در مطالعه شونبک و همکاران (۲۰۱۰)، تأثیر عواملی مانند مدیریت تعمیر و نگهداری، رویه‌ها، ارتباطات و آموزش بر سیستم‌های ایمنی مجهز به ابزار دقیق(SISs) مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این پژوهش، عاملی به نام شرایط اجبار به خطا[1] مطرح شده که بر عملکرد SISs تأثیرگذار است. این شرایط به عنوان شرایطی که افراد را مجبور می‌کند به روشی عمل کنند که در طراحی سیستم پیش‌بینی نشده، تعریف شده است (۳۶). مطالعه رحیمی و راوسند (۲۰۱۳) نیز بر SISs متمرکز بوده و با وجود آنکه در پژوهش آن‌ها مروری بر دسته‌بندی HOFs طبق مطالعات پیشین ارائه شده است، اما هیچ نوعی از HOFs را به طور مشخص برای چارچوب خود ذکر نکرده و عوامل انسانی و سازمانی را به طور کلی مورد بررسی قرار داده‌اند (۳۷).

مشابه با عوامل ذکرشده در مطالعات فوق، تأثیر HOFs بر موانع دیگری نیز ارزیابی شده است. تحقیقات در مورد سیستم‌های کنترل ریسک (RCSs) نشان می‌دهد که چگونه HOFs در قالب عوامل تأثیرگذار بر عملکرد (PIFs) می‌توانند بر اثربخشی RCSs تأثیر بگذارند (۳۹). لایه‌های حفاظتی مستقل انسانی نیز از دیگر موانع ایمنی بودند که به تأثیر HOFs بر آن‌ها تحت عنوان عوامل شکل‌دهنده عملکرد (PSF) پرداخته شده است (۳۸). در پژوهش دویم و گوسنز (۲۰۰۶) نیز، مطابق جدول ۱، تأثیر HOFs بر انواعی از موانع ارزیابی شده است؛ طراحی و تعمیر و نگهداری به عنوان عواملی حیاتی در عملکرد موانع سخت‌افزاری معرفی شدند. با این وجود، در مطالعه آن‌ها عوامل انسانی و سازمانی بخصوصی در ارتباط با موانع رفتاری معرفی نشده و برای کمی‌سازی تأثیر HOFs بر آن‌ها از یک پایگاه داده استفاده شده است (۲۸).

بر اساس توضیحات ارائه‌شده، پژوهش حاضر نشان می‌دهد که در مطالعات مختلف، موانع ایمنی متنوعی مورد بررسی قرار گرفته است. به عبارت دیگر، تأثیر HOFs محدود به یک نوع مانع خاص نیست. از طرف دیگر، محققان نیز بسته به نوع مانع ایمنی، عوامل انسانی و سازمانی مختلفی را در عملکرد آن ارزیابی کرده‌اند.

روش‌های ارزیابی تأثیر HOFs بر عملکرد موانع ایمنی

برای ارائه یک تحلیل ساختارمند از روش‌های ارائه‌شده، ۱۶ مقاله وارد شده به مطالعه حاضر بر اساس نوع رویکرد طبقه‌بندی شدند (مطابق جدول ۱): رویکرد ارزیابی ریسک، ارزیابی ضریب بتا، ارزیابی SIL، کمی‌سازی HEP و ارزیابی عملکرد.

نکته حائز اهمیت این است که مرز مشخصی میان مطالعات با رویکردهای گوناگون وجود ندارد. تمامی مطالعات وارد شده به پژوهش حاضر، تأثیر HOFs را بر عملکرد موانع ایمنی ارزیابی کرده‌اند و این دسته‌بندی تنها نمایانگر هدف هر مطالعه از چارچوب یا روشی است که ارائه کرده است. به عنوان نمونه، هدف چارچوب BORA ارائه روشی برای ارزیابی ریسک نشت هیدروکربن‌ها با در نظر گرفتن عوامل تأثیرگذار بر ریسک (RIFs) در تأسیسات فراساحلی است (۲۴). بنابراین، رویکرد آن از نوع ارزیابی ریسک در نظر گرفته شد، اما این مطالعه همچنان برای ادغام تأثیر موانع ایمنی در چارچوب خود، به روش‌هایی با ماهیت ارزیابی عملکرد متکی است.

روش‌ها با رویکرد ارزیابی ریسک

عوامل تأثیرگذار بر ریسک (RIFs) را می‌توان به عنوان شرایطی تعریف کرد که بر سطح ریسک مربوط به یک فعالیت یا سیستم معین تأثیر می‌گذارند (۴۲). تحقیقاتی که در مورد حوادث عمده فراساحلی مانند Piper Alpha در سال ۱۹۸۸ و Montara blowout در سال ۲۰۰۹ انجام شده، نشان داده است که عوامل غیرفنی بر توالی وقایع منجر به حادثه تأثیر قابل توجهی دارد (۴۳). بر این اساس، روش BORA با هدف ادغام عوامل انسانی و سازمانی (HOFs) در ارزیابی ریسک کمی (QRA) به طور خاص برای صنعت فراساحلی ارائه شد (۲۴). از این جهت،

1. Error-enforcing conditions

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-08]

[DOI: 10.18502/jhsw.v15i1.21366]

بیشتر روش‌های ادغام RIFs در QRA و همینطور بیشتر مطالعاتی که تأثیرگذاری HOFs را در قالب مفهوم RIFs مورد بررسی قرار داده‌اند، در صنعت نفت و گاز فراساحلی انجام شده است.

روش BORA جزو اولین مدل‌هایی است که ارزیابی‌های کیفی و کمی را با در نظر گرفتن تأثیر شرایط خاص تأسیسات فراساحلی (تحت عنوان RIFs) برای تحلیل عملکرد موانع ایمنی عملیاتی به کار می‌گیرد (۲۴–۲۷). روش‌های BORA-CIA و BIRP نیز بر همین اساس، اما با زمینه‌های کاربرد مختلفی ارائه شده‌اند (۳۳,۳۵). محدودیت اصلی روش BORA و سایر مدل‌هایی که بر اساس آن توسعه داده شده‌اند، این است که برای وزن‌دهی و نمره‌دهی RIFs به شدت به نظر خبرگان متکی هستند.

ژن و همکاران (۲۰۱۸) با شناسایی این محدودیت، بیان کردند که روش BORA قادر به در نظر گرفتن عدم قطعیت موجود در ارزیابی HOFs نیست. آنها برای رفع این محدودیت، روشی مبتنی بر منطق فازی با استفاده از معیارهای امتیازدهی فازی و یک روش فازی اصلاح شده AHPرا ارائه کردند (۳۱). روش آن‌ها اگرچه روشی مبتنی بر داده برای در نظر گرفتن تغییرات و ورود داده‌های جدید در خصوص مقادیر RIFs است، اما به مانند روش BORA، ارتباط و وابستگی‌های بین RIFs را مدل‌سازی نمی‌کند.

مدل Risk_OMT که توسط وینم و همکاران (۲۰۱۲) ارائه و توسط گران و همکاران (۲۰۱۲) ارزیابی شد، یک ساختار RIF دو سطحی را در چارچوب شبکه باور بیزی (BBN) استفاده می‌کند (۲۹,۳۰). این روش امکانی را فراهم می‌کند تا نه‌تنها تأثیر مستقیم RIFs بر رویدادهای پایه، بلکه وابستگی‌های بین خود RIFs نیز مدل‌سازی شود. این موضوع سبب شده است که روش Risk_OMT برای در نظر گرفتن عدم قطعیت و روابط پیچیده بین این عوامل، عملکرد بهتری نسبت به روش‌های پیشین داشته باشد. با این وجود، این روش همچنان برای امتیازدهی و وزن‌دهی RIFs به نظر خبرگان وابسته است.

روش APPM نیز با استفاده از BBN به همراه یک سیستم امتیازدهی، ادغام RIFs را در QRA تسهیل می‌کند و ارتباط و وابستگی‌های میان عوامل مختلف را در نظر می‌گیرد. با این وجود، این روش برای برآورد احتمال شکست اجزای موانع تحت تأثیر RIFs، متکی به مفروضات و سیستمی برای امتیازدهی است که نیاز به اعتبارسنجی بیشتری دارد (۳۲).

روش ارائه شده توسط احمدی و همکاران (۲۰۲۰) برای ارزیابی ریسک حریق مخازن ذخیره اتمسفریک، با استفاده از DEMATEL فازی برای تعیین روابط علت و معلولی بین RIFs و AHP فازی برای وزن‌دهی به آن‌ها، عدم قطعیت و سوگیری احتمالی ناشی از قضاوت کارشناسان را در نظر می‌گیرد. این روش تغییرات وابسته به زمان ریسک را در نظر گرفته و امکان به‌روزرسانی سطح ریسک را با استفاده از شاخص‌های پیشرو از طریق شبکه بیزین فراهم می‌کند (۳۴). این رویکرد پویا، ارزیابی ریسک واقع‌بینانه‌تر و دقیق‌تری را نسبت به روش‌های استاتیک ارائه می‌دهد. با این وجود، اجرای این روش نیازمند توجه به در دسترس بودن و کیفیت داده‌ها برای شاخص‌های پیشرو است، چرا که می‌تواند بر اثربخشی مقادیر ریسک به‌روزشده در این روش تأثیر بگذارد.

در مجموع، انتخاب مناسب‌ترین روش برای ارزیابی تأثیر HOFs بر عملکرد موانع ایمنی با رویکرد ارزیابی ریسک، به زمینه خاص کاربرد آن و اهداف ارزیابی بستگی دارد. برای کاربردهای عملی، یک رویکرد ترکیبی که نقاط قوت روش‌های مختلف را در نظر بگیرد، مانند ادغام منطق فازی در BORA یا Risk_OMT و استفاده از مدل‌های BBN، می‌تواند راه‌حلی مناسب برای نیازهای صنایع فرایندی ارائه دهد. در نهایت، روش انتخاب شده باید با نوع صنعت، زمینه عملیاتی و داده‌های موجود سازگار باشد تا ارزیابی دقیقی از تأثیر HOFs بر عملکرد موانع ایمنی صورت پذیرد.

روش‌ها با رویکردهای گوناگون

روش ARAMIS رویکرد متمایزی را برای کمی‌کردن

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-08]

[DOI: 10.18502/jhsw.v15i1.21366]

اثربخشی سیستم مدیریت ایمنی و تأثیر آن بر قابلیت اطمینان موانع ایمنی ارائه می‌دهد (۲۸). بزرگترین نقطه قوت این روش، ارائه یک چارچوب عملی برای ادغام ارزیابی‌های مرتبط با مدیریت ایمنی در ارزیابی ریسک است. با این حال، ساده‌سازی‌های قابل توجهی در این روش صورت گرفته، به نحوی که رتبه‌بندی عوامل مرتبط با مدیریت ایمنی و فرهنگ ایمنی مستقیماً به قابلیت اطمینان موانع ایمنی مرتبط شده است. این ساده‌سازی، با وجود آن که نویسندگان نیز به آن اشاره کرده‌اند، سبب شده است که مسیرهای علّی پیچیده بین فرایندهای مدیریتی، خروجی‌های آن‌ها و عملکرد موانع نادیده گرفته شود. علاوه بر این، وزن‌دهی به عوامل مختلف مدیریتی بر اساس داده‌های محدودی انجام گرفته که کاربرد عملی آن برای صنایع مختلف نیاز به تحقیق و اعتبارسنجی بیشتری دارد.

سینگ و همکاران (۲۰۲۲)، یک روش مبتنی بر داده را برای ارزیابی عملکرد سیستم‌های کنترل ریسک (RCSs) معرفی کردند که توانایی استفاده از مجموعه داده‌های بزرگ جمع‌آوری‌شده توسط سازمان‌ها را دارد. این روش از داده‌های وقوع حادثه برای کمی‌کردن اثربخشی RCSs استفاده می‌کند و بینش‌های ارزشمندی را در مورد وضعیت ایمنی یک سازمان ارائه می‌دهد (۳۹). در این مطالعه، روشی شفاف برای ارزیابی عملکرد RCS با در نظر گرفتن عوامل تأثیرگذار بر عملکرد (PIFs) ارائه شده است. با این حال، این روش برای نتایج بهتر و دقیق‌تر نیاز به داده‌های گسترده‌ای دارد که ممکن است قابلیت کاربرد آن را برای اکثر سازمان‌ها محدود کند.

روش ارائه‌شده توسط ژو و همکاران (۲۰۲۰) از طریق ادغام شبیه‌سازی‌های دینامیک با تحلیل قابلیت اطمینان انسانی (HRA)، امکان ارزیابی واقع‌بینانه‌تر و دقیق‌تر اقدامات انسانی در سناریوهای حادثه را در چارچوب LOPA فراهم می‌کند (۳۸). نقطه قوت این مطالعه در استفاده از شبیه‌سازی‌های دینامیک برای تعیین زمان مجاز برای پاسخ اپراتور است که یک عامل حیاتی در ارزیابی توانایی پاسخ اپراتور انسانی است. با این وجود، روش HRA انتخابی، اگرچه برای مطالعه موردی خاص آن‌ها مناسب است، ممکن است تمام عوامل بالقوه تأثیرگذار را در بر نگیرد و جامعیت لازم را نداشته باشد.

شونبک و همکاران (۲۰۱۰) تأثیر عوامل انسانی و سازمانی را بر سطح یکپارچگی ایمنی (SIL) در سیستم‌های ایمنی مجهز به ابزار دقیق (SISs) در فاز عملیاتی مورد بررسی قرار دادند (۳۶). یکی از نقاط قوت این مطالعه، تأکید آن بر شناسایی شاخص‌های خاص و قابل اندازه‌گیری برای هر عامل تأثیرگذار بر ایمنی است که منجر به ارزیابی عینی‌تر و نظام‌مندتری در ممیزی‌ها می‌شود. با این حال، پژوهش آن‌ها در کمی‌سازی تأثیر HOFs بر SIL محدودیت دارد و مطالعات بیشتری برای درک روابط پیچیده بین این عوامل و عملکرد SIL و مدل‌سازی آن مورد نیاز است.

رحیمی و راوسند (۲۰۱۳)، به طور خاص به محدودیت‌های مدل‌های سنتی فاکتور بتا در درک ماهیت پویای HOFs در فاز عملیاتی SISs پرداختند. چارچوب پیشنهادی این مطالعه بر ضرورت نظارت و مدیریت مداوم HOFs در فاز عملیاتی تأکید می‌کند. این رویکرد یک روش چند مرحله‌ای را پیشنهاد می‌کند که شامل شناسایی HOFs مرتبط، ایجاد شاخص‌هایی برای اندازه‌گیری آن‌ها و اجرای اقدامات کاهش‌دهنده بر اساس روندها و انحرافات مشاهده‌شده است (۳۷). این رویکرد، اگرچه نیازمند سرمایه‌گذاری بیشتر سازمان برای نظارت و ارزیابی مداوم HOFs است، اما یک روش پیشگیرانه و پویا برای اطمینان از عملکرد موانع ایمنی را در طول زمان ارائه می‌دهد.

مطالعات با رویکردهای گوناگون، در مجموع تأثیر قابل توجه HOFs را بر سطح ایمنی کلی نشان می‌دهند. نکته قابل توجه این است که این مطالعات از روش‌های مختلفی استفاده کرده و بر جنبه‌های متفاوتی از عملکرد موانع ایمنی متمرکز هستند. با توجه به تفاوت دیدگاه پژوهشگران در این دسته از مطالعات، در مطالعه مروری حاضر نقاط قوت و محدودیت‌های هر روش ذکر شد تا مناسب‌ترین رویکرد با توجه به زمینه خاص کاربرد آن انتخاب شود.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-08]

[DOI: 10.18502/jhsw.v15i1.21366]

دامنه کاربرد مطالعات

همانطور که پیش‌تر اشاره شد، بیشتر مطالعات بررسی‌شده در پژوهش حاضر در صنایع نفت و گاز، به ویژه تأسیسات فراساحلی، انجام شده‌اند که ماهیت پر ریسک این دسته از صنایع فرایندی را نشان می‌دهد. این مطالعات به طور خاص بر ریسک‌های مرتبط با نشت هیدروکربن‌ها (۲۴–۲۷,۲۹–۳۱) و فوران چاه در حفاری فراساحل (۳۲,۳۵) متمرکز هستند. دامنه مطالعات به تأسیسات فراساحلی محدود نشده و شامل صنایع فرایند شیمیایی و به طور خاص، سیستم راکتور ناپیوسته نیز می‌شود (۳۸). اگرچه برخی مطالعات تأثیرات HOFs را در زمینه‌های دیگر مانند صنعت فولاد نیز بررسی کرده‌اند (۳۹)، اما این موضوع نشان می‌دهد که تحقیقات بیشتری برای بررسی قابلیت اعمال این یافته‌ها و روش‌ها در دیگر صنایع فرایندی مورد نیاز است. شونبک و همکاران (۲۰۱۰) و رحیمی و راوسند (۲۰۱۳) نیز روش‌هایی را که برای ارزیابی تأثیر HOFs بر SISs ارائه دادند، به دامنه مشخصی از صنایع فرایندی محدود نکردند (۳۶,۳۷).

این مرور نظام‌مند تأثیر حیاتی عوامل انسانی و سازمانی (HOFs) را بر عملکرد موانع ایمنی نشان می‌دهد. مطالعاتی که در پژوهش حاضر مورد بررسی قرار گرفتند، نشان می‌دهند نادیده گرفتن این عوامل می‌تواند منجر به درک ناقصی از ریسک و در نتیجه، کاهش عملکرد و قابلیت اطمینان موانع ایمنی شود. در حالی که پیشرفت قابل توجهی در توسعه روش‌ها و چارچوب‌های ارزیابی و مدیریت HOFs صورت گرفته است، نیاز است تا این چارچوب‌ها برای انواع موانع ایمنی توسعه یابد و دامنه گسترده‌تری از صنایع فرایندی را شامل شوند. هچنین این روش‌ها، خصوصاً در صورتی که عوامل تأثیرگذار بر ریسک (RIFs) را بررسی می‌کنند، باید با رویکرد فازی و استفاده از شبکه بیزین (BN)، عدم قطعیت ناشی از قضاوت خبرگان و ارتباط و وابستگی‌های میان عوامل مختلف را در نظر بگیرند.

در ارتباط با محدودیت‌های مطالعه، گفتنی است که تفاوت‌های زیادی در نگرش مقالات نسبت به نحوه اثرگذاری HOFs وجود داشت؛ به این صورت که محققان مختلف با دیدگاه‌های متفاوتی تأثیر HOFs را بر عملکرد موانع ایمنی سنجیده بودند. با این وجود، تلاش شد تا با دسته‌بندی مطالعات بر اساس رویکرد آن‌ها، ناهمگونی میان مقالات به حداقل برسد.

نتیجه‌گیری

در این مرور سیستماتیک، ضمن برجسته‌شدن نقش حیاتی عوامل انسانی و سازمانی (HOFs)، روش‌ها و چارچوب‌هایی که تأثیر این عوامل را بر عملکرد موانع ایمنی در صنایع فرایندی ارزیابی کرده‌اند، مورد بررسی قرار گرفت و نقاط مثبت و منفی آن‌ها بیان شد. «آنالیز ریسک عملیاتی و مانع» یا «BORA» به عنوان چارچوب غالب در میان مطالعات شناسایی شد. در نظر گرفتن عدم قطعیت ناشی از قضاوت کارشناسان در وزن‌دهی HOFs و وابستگی متقابل بین این عوامل، به عنوان مواردی شناسایی شدند که در توسعه روش‌ها و چارچوب‌های مذکور حائز اهمیت است. از این جهت، ادغام منطق فازی و شبکه‌های بیزین برای در نظر گرفتن این موارد، مطابق با مطالعات بررسی‌شده، پیشنهاد شد. همچنین بیان شد که ارزیابی و نظارت مداوم HOFs در فاز عملیاتی موانع ایمنی برای اطمینان از اثربخشی طولانی‌مدت آن‌ها ضروری است. یکی از مشاهدات مهم در پژوهش مروری حاضر این است که تأثیر HOFs محدود به انواع خاصی از موانع نیست. این موضوع ضرورت توسعه رویکردهای جامعی را که می‌توانند تأثیر طیف گسترده‌ای از عوامل را بر انواع مختلف موانع ارزیابی کنند، نشان می‌دهد. علاوه بر آن، بسیاری از مقالات بررسی‌شده بر صنایع خاصی، به ویژه صنعت نفت و گاز فراساحلی، متمرکز بودند. بنابراین، پژوهش‌های آینده باید دامنه کاربرد این روش‌ها را گسترش داده تا قابلیت تعمیم‌پذیری و ارزش عملیاتی آن‌ها افزایش یابد. در مجموع، تحلیل مطالعات نشان دادند که نادیده‌گرفتن HOFs می‌تواند منجر به درک ناقصی از عملکرد موانع ایمنی شده و

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-08]

[DOI: 10.18502/jhsw.v15i1.21366]

در نتیجه، از اثربخشی روش‌های مدیریت ریسک در صنایع فرایندی کاسته شود. مطالعات آینده باید توسعه روش‌های یکپارچه‌ای را برای ارزیابی تأثیر HOFs در اولویت قرار دهند که نقاط قوت رویکردهای مختلف را ترکیب کرده و محدودیت‌های آنها را برطرف کند.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان‌نامه در مقطع کارشناسی ارشد با کد اخلاق IR.TUMS.SPH.REC.1402.134 می‌باشد که با حمایت دانشگاه علوم پزشکی تهران اجرا شده است.

REFERENCES

1. Szymanek A. "Defence-in-Depth" Strategy in Transport Risk Management. In 2010. p. 51–8.
2. Sklet S. Safety barriers: Definition, classification, and performance. J Loss Prev Process Ind. 2006 Sep;19(5):494–506.
3. Liu Y. Safety barriers: Research advances and new thoughts on theory, engineering and management. Vol. 67, Journal of Loss Prevention in the Process Industries. Elsevier Ltd; 2020.
4. CCPS. Layer of Protection Analysis: Simplified Process Risk Assessment. New York: American Institute of Chemical Engineers-Center of Chemical Process Safety; 2001.
5. Reason J, Hollnagel E, Engineering JPJ of C, 2006 undefined. Revisiting the Swiss cheese model of accidents. eurocontrol.intJ Reason, E Hollnagel, J PariesJournal of Clinical Engineering, 2006•eurocontrol.int [Internet]. 2006 [cited 2024 Aug 28]; Available from: https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/library/017_Swiss_Cheese_Model.pdf
6. Zhen X, Vinnem JE, Yang X, Huang Y. Quantitative risk modelling in the offshore petroleum industry: integration of human and organizational factors. Vol. 15, Ships and Offshore Structures. Taylor and Francis Ltd.; 2020. p. 1–18.
7. CEP WA, 2016 undefined. Predict incidents with process safety performance indicators. aiche.org [Internet]. 2016 [cited 2024 Aug 29]; Available from: https://www.aiche.org/sites/default/files/cep/20160222.pdf
8. Directive C. 96/82/EC of 9 December 1996 on the control of major-accident hazards involving dangerous substances. Official Journal of the European Communities, L. 1997;10(13):0013–33.
9. PSA P. Regulations relating to management in the petroleum activities (the Management regulations). 2001 [cited 2024 Aug 26]; Available from: https://www.havtil.no/contentassets/b26c9bec2a1b42f98d34180eb82ab8c6/before-2011/styringsforskriften-2010_e.pdf
10. IEC:61508. (1998). Part 1–7 Functional safety of electrical/electronic/ programmable electronic safety-related systems. Geneva: International Electrotechnical Commission.
11. IEC:61511. (2002). Functional safety—Safety instrumented systems for the process industry sector. Geneva: International Electrotechnical Commission.
12. ISO:13702. (1999). Petroleum and natural gas industries—Control and mitigation of fires and explosions on offshore production installations—Requirements and guidelines. Geneva: International Organization for Standardization.
13. Yuan S, Yang M, Reniers G, Chen C, Wu J. Safety barriers in the chemical process industries: A state-of-the-art review on their classification, assessment, and management. Saf Sci. 2022 Apr 1;148.
14. Sobral J, Guedes Soares C. Assessment of the adequacy of safety barriers to hazards. Saf Sci. 2019 Apr 1;114:40–8.
15. Yuan S, Reniers G, Yang M. Dynamic-risk-informed safety barrier management: An application to cost-effective barrier optimization based on data from multiple sources. J Loss Prev Process Ind. 2023 Jul 1;83.
16. Yuan S, Reniers G, Yang M, Bai Y. Cost-effective maintenance of safety and security barriers in the chemical process industries via genetic algorithm. Process Safety and Environmental Protection. 2023 Feb 1;170:356–71.
17. Ahmad M, Pontiggia M. Modified swiss cheese model to analyse the accidents. Chem Eng Trans. 2015;43:1237–42.
18. Qiao W, Huang E, Guo H, Liu Y, Ma X. Barriers Involved in the Safety Management Systems: A Systematic Review of Literature. Vol. 19, International Journal of Environmental

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-08]

[DOI: 10.18502/jhsw.v15i1.21366]

Research and Public Health. MDPI; 2022.
19. Cai B, Liu Y, Zhang Y, Fan Q, Liu Z, Tian X. A dynamic Bayesian networks modeling of human factors on offshore blowouts. J Loss Prev Process Ind. 2013 Jul 1;26(4):639–49.
20. Reason J. Managing the risks of organizational accidents. Managing the Risks of Organizational Accidents [Internet]. 2016 Jan 1 [cited 2024 Aug 26];1–252. Available from: https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.4324/9781315543543/managing-risks-organizational-accidents-james-reason
21. Addressing Human Factors in Bow Tie Analysis. In: Bow Ties in Risk Management. Wiley; 2018. p. 69–87.
22. Hannes, K., 2011. Chapter 4: critical appraisal of qualitative research. Supplementary Guidance for Inclusion of Qualitative Research in Cochrane Systematic Reviews of Interventions 1 (August), 1–15.
23. Petticrew M, Roberts H. Systematic Reviews in the Social Sciences. Wiley; 2006.
24. Aven T, Sklet S, Vinnem JE. Barrier and operational risk analysis of hydrocarbon releases (BORA-Release) Part I. Method description. J Hazard Mater. 2006 Sep 21;137(2):681–91.
25. Sklet S, Vinnem JE, Aven T. Barrier and operational risk analysis of hydrocarbon releases (BORA-Release). Part II: Results from a case study. J Hazard Mater. 2006 Sep 21;137(2):692–708.
26. Sklet S. Hydrocarbon releases on oil and gas production platforms: Release scenarios and safety barriers. J Loss Prev Process Ind. 2006 Sep;19(5):481–93.
27. Vinnem JE, Seljelid J, Haugen S, Sklet S, Aven T. Generalized methodology for operational risk analysis of offshore installations. Proc Inst Mech Eng O J Risk Reliab. 2009 Mar 1;223(1):87–97.
28. Duijm NJ, Goossens L. Quantifying the influence of safety management on the reliability of safety barriers. J Hazard Mater. 2006 Mar 31;130(3 SPEC. ISS.):284–92.
29. Vinnem JE, Bye R, Gran BA, Kongsvik T, Nyheim OM, Okstad EH, et al. Risk modelling of maintenance work on major process equipment on offshore petroleum installations. J Loss Prev Process Ind. 2012 Mar;25(2):274–92.
30. Gran BA, Bye R, Nyheim OM, Okstad EH, Seljelid J, Sklet S, et al. Evaluation of the Risk OMT model for maintenance work on major offshore process equipment. J Loss Prev Process Ind. 2012 May;25(3):582–93.
31. Zhen X, Vinnem JE, Peng C, Huang Y. Quantitative risk modelling of maintenance work on major offshore process equipment. J Loss Prev Process Ind. 2018 Nov 1;56:430–43.
32. Perez P, Tan H. Accident Precursor Probabilistic Method (APPM) for modeling and assessing risk of offshore drilling blowouts – A theoretical micro-scale application. Saf Sci. 2018 Jun 1;105:238–54.
33. Bourareche M, Nait Said R, Zidani F, Ouazraoui N. Improving barrier and operational risk analysis (BORA) using criticality importance analysis case study: oil and gas separator. World Journal of Engineering. 2020 Apr 3;17(2):267–82.
34. 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 Oct 1;142:15–44.
35. Li C, Jin Y, Guan Z, Dang Z, Jin J, Zhang B. New quantitative risk prediction method of deepwater blowout: Case study of Macondo well accident. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects. 2021;
36. Schönbeck M, Rausand M, Rouvroye J. Human and organisational factors in the operational phase of safety instrumented systems: A new approach. Saf Sci. 2010 Mar;48(3):310–8.
37. Rahimi M, Rausand M. Monitoring human and organizational factors influencing common-cause failures of safety-instrumented system during the operational phase. Reliab Eng Syst Saf. 2013;120:10–7.
38. Zhu C, Qi M, Jiang J. Quantifying human error probability in independent protection layers for a batch reactor system using dynamic simulations. Process Safety and Environmental Protection. 2020 Jan 1;133:243–58.
39. Singh K, Maiti J, Roychowdhury S. A data-driven penalty-reward methodology for performance assessment of risk control systems. J Loss Prev Process Ind. 2022 Jul 1;77.
40. Seljelid J, Haugen S, Sklet S, Vinnem JE. Operational risk analysis—total analysis of physical and non-physical barriers. BORA handbook; 2007.
41. Gonyora M, Ventura-Medina E. Investigating the relationship between human and organisational factors, maintenance, and accidents. The case of chemical process

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-08]

[DOI: 10.18502/jhsw.v15i1.21366]

industry in South Africa. Saf Sci. 2024 Aug 1;176.

42. Rosness R. Risk Influence Analysis A methodology for identification and assessment of risk reduction strategies. Reliab Eng Syst Saf. 1998 May 1;60(2):153–64.

43. Zhen X, Vinnem JE. Prioritization of critical risk influencing factors in quantitative risk analyses for offshore petroleum installations. Proc Inst Mech Eng O J Risk Reliab. 2021 Feb 1;235(1):63–79.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-07-08]

[DOI: 10.18502/jhsw.v15i1.21366]