



Identification, Modeling, and Scenario Analysis of Key Success Factors for Smart Maintenance Management in Oil and Gas under Industry 4.0

Mohammadreza

Mohammad Ghasemi 

Department of Business Administration, Faculty of Financial Sciences, Management and Entrepreneurship, University of Kashan, Kashan, Iran.

Ali Namazian 

Department of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Kashan, Kashan, Iran.

Abstract

Maintenance constitutes major cost components in the oil and gas industries and play a vital role in maintaining production capacity and preventing accidents and unplanned damage costs. Despite the potential benefits of Industry 4.0 technologies, the development of this sector has been relatively slow, highlighting the need to identify and analyze the key success factors of Maintenance 4.0 in oil and gas industries to address existing limitations. This study was conducted in two parts: a qualitative phase (aimed at identifying key success factors) and a quantitative phase (aimed at modeling and scenario analysis). The analysis methods included thematic analysis in the qualitative section and the use of DEMATEL and Fuzzy Cognitive Mapping (FCM) in the quantitative section. The findings revealed 58 initial codes categorized into 15 key success factors. Backward scenario analysis indicated the importance of “system connectivity and integration” and “smart equipment condition monitoring,” while forward scenario analysis highlighted “system connectivity and integration,” “investment,” and “smart equipment condition monitoring” as the most influential factors. Therefore, the synergy among technical factors (data collection, transmission, and storage), organizational factors (transformational leadership, skilled workforce, and change management), and environmental factors (efficient supply chain) should be carefully considered to successfully implement Smart Maintenance in the oil and gas industry under the Industry 4.0 framework.

* Corresponding Author: a.namazian@kashanu.ac.ir

How to Cite: Mohammad Ghasemi, M., Namazian, A. (2026). Identification, Modeling, and Scenario Analysis of Key Success Factors for Smart Maintenance Management in Oil and Gas under Industry 4.0, *Industrial Management Studies*, 24(80), 219-260.

Introduction

Increasing global competition, growing production complexity, and the emergence of Industry 4.0 technologies have elevated maintenance management to a critical success factor for industrial organizations (Rojek et al., 2022; Kumar & Galar, 2018). In this context, Smart Maintenance, enabled by technologies such as the Internet of Things (IoT), artificial intelligence, and data analytics, facilitates continuous condition monitoring, early failure prediction, and informed decision-making, thereby enhancing operational efficiency, reliability, and safety (Cao et al., 2020; Jasiulewicz & Gola, 2019). The oil and gas industry, characterized by asset-intensive operations and high operational criticality, represents one of the most promising domains for the implementation of Smart Maintenance. However, challenges including high implementation costs, limited availability of reliable data, difficulties in integrating emerging technologies with legacy systems, and cybersecurity concerns continue to hinder its widespread adoption (Majstorović, 2022; Mojarad et al., 2018; Achouch et al., 2022). Accordingly, this study seeks to address the following research questions:

What are the critical success factors for Smart Maintenance Management implementation in the oil and gas industry within the Industry 4.0 paradigm?

What is the relative importance of these factors in terms of their influence and dependence?

What causal relationships exist among the identified critical success factors? And which intervention scenarios can most effectively enhance these factors and facilitate the successful implementation of Smart Maintenance Management?

Literature Review

A review of the literature indicates that research on Smart Maintenance has primarily focused on two main streams: investigating the opportunities and challenges associated with the implementation of Industry 4.0 technologies and identifying the success factors and barriers to Smart Maintenance adoption across various industries. Previous studies have confirmed the critical role of factors such as technological infrastructure, data quality, digital skills, management support, systems integration, and cybersecurity in the successful implementation of Smart Maintenance. In the oil and gas industry, research has mainly concentrated on the development of technical architectures, failure prediction models, and data-driven approaches to enhance maintenance performance. Nevertheless, existing studies have largely examined technical, managerial, or organizational dimensions separately and have paid limited attention to a comprehensive analysis of Smart Maintenance success factors within the specific context of the oil and gas industry. Furthermore, only a few studies have addressed the prioritization of these factors, the investigation of their causal relationships, and the development

of intervention scenarios for performance improvement. Therefore, a comprehensive framework for identifying, prioritizing, and analyzing the dynamics of critical success factors for Smart Maintenance in the oil and gas sector is still lacking.

Methodology

This study employed a mixed-methods (qualitative–quantitative) design with an integrated approach conducted in three phases (the first phase being qualitative and the second and third phases being quantitative). In the first phase, with the aim of identifying the critical success factors of Smart Maintenance management in the oil and gas industry, qualitative data were collected through semi-structured interviews with experts in maintenance engineering and the oil and gas sector. The data were analyzed using thematic analysis based on Braun and Clarke (2006). In the second phase, the factors identified in the previous phase were further examined through a structured questionnaire to determine their levels of influence and dependence. This analysis was conducted by integrating the DEMATEL method and Fuzzy Cognitive Mapping (FCM), where the total relation matrix (T) derived from DEMATEL was used as the input interaction matrix for the FCM model. The FCM analysis was implemented using FCMapper software, while the network visualization was performed in Pajek. In the third phase, based on the results of the second phase, forward and backward scenarios were developed to analyze the effects of interventions on the critical factors. The validity and reliability of the findings were ensured through the criteria proposed by Guba and Lincoln, along with the calculation of the Holsti reliability coefficient.

Results

The findings indicate that the successful implementation of Smart Maintenance in the oil and gas industry depends on the identification and effective management of critical success factors. In the qualitative phase, a total of 58 critical success factors were identified and classified into 15 thematic groups. The results revealed that intelligent condition monitoring, system integration and connectivity, and investment are the most central factors, exhibiting the highest level of centrality and the strongest relationships with other identified factors. In the second and third phases, the study focused on ranking the identified factors, developing a fuzzy cognitive map model, and conducting scenario analyses. Based on the proposed FCM model, among the 15 groups of critical success factors, “system needs recognition,” “appropriate organizational culture,” and “efficient supply chain” were identified as driving factors, while “change management” was classified as a receiver factor, and the remaining factors were categorized as ordinary factors. The backward scenario analysis highlighted the importance of

system integration and intelligent condition monitoring, whereas the forward scenario analysis emphasized the critical roles of system integration, investment, and intelligent condition monitoring in enhancing the effectiveness of Smart Maintenance implementation.

Discussion

The findings indicate that the critical success factors for Smart Maintenance implementation in the oil and gas industry can be categorized into three main groups: technical, organizational, and environmental, with their synergy being a fundamental requirement for success. Technical factors include digital infrastructure, data quality and integration, intelligent condition monitoring, cybersecurity, and process optimization, which collectively form the operational foundation of the system. Organizational factors play a decisive role in technology adoption and utilization, encompassing strategy, change management, organizational culture, skilled human resources, and top management support. Environmental factors are mainly related to the specific characteristics of the oil and gas industry, such as harsh operational conditions and supply chain constraints, which directly influence system effectiveness. The results show that weakness in any of these three dimensions can significantly undermine the overall system performance. Ultimately, the successful implementation of Smart Maintenance requires the simultaneous integration of technical, organizational, and environmental factors within a holistic systems-oriented approach.

Conclusion

This study aimed to identify and rank the critical success factors of Smart Maintenance in the oil and gas industry using an integrated DEMATEL and Fuzzy Cognitive Mapping (FCM) approach. In the qualitative phase, 58 factors were identified and categorized into 15 groups, among which intelligent condition monitoring, system integration, and investment exhibited the highest centrality. The FCM results indicated that “system needs recognition,” “organizational culture,” and “supply chain efficiency” act as driving factors, while “change management” functions as a receiver factor. Scenario analyses further emphasized the importance of system integration, intelligent monitoring, and investment. Overall, the findings highlight that the success of Smart Maintenance relies on the synergy of technical, organizational, and environmental factors.

Keywords: Smart Maintenance, Industry 4.0, Oil And Gas Industries, Key Success Factors, Scenario Analysis.



شناسایی، مدل سازی و تحلیل سناریو عوامل کلیدی موفقیت در مدیریت نگهداری و تعمیرات هوشمند صنایع نفت و گاز در فضای صنعت نسل ۴,۰

گروه مدیریت کسب و کار، دانشکده علوم مالی، مدیریت و کارآفرینی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

محمد رضا محمد قاسمی *

گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

علی نمازیان

چکیده

نگهداری و تعمیرات از اقلام اصلی هزینه های صنایع نفت و گاز و یک عامل مهم در حفظ توان تولید آن ها و جلوگیری از سوانح و هزینه های ناشی از خسارات پیش بینی نشده به شمار می رود. توسعه این بخش به وسیله فناوری های نسل ۴,۰ صنعت، به رقم مزایای موجود با کندی روبروست که این امر مبین لزوم شناسایی عوامل کلیدی موفقیت نگهداری و تعمیرات نسل ۴,۰ صنایع نفت و گاز و تحلیل این عوامل به منظور رفع محدودیت های موجود است. این پژوهش در ۲ بخش کیفی (باهداف شناسایی عوامل کلیدی موفقیت) و کمی (باهداف مدل سازی و تحلیل سناریو) انجام شده است. شیوه تجزیه و تحلیل در بخش اول تحلیل مضمون و در بخش دوم استفاده از روش های دیمتل و نقشه شناختی فازی است. یافته ها بیانگر ۵۸ کد اولیه است که در قالب ۱۵ عامل کلیدی دسته بندی شده اند. تحلیل سناریوهای رو به عقب بیانگر اهمیت «اتصال و یکپارچگی سیستم ها» و «پایش وضعیت تجهیزات هوشمند» و تحلیل سناریوهای رو به جلو بیانگر اهمیت «اتصال و یکپارچگی سیستم ها»، «سرمایه گذاری» و «پایش وضعیت تجهیزات هوشمند» است. لذا هم افزایی عوامل فنی (جمع آوری، انتقال و ذخیره سازی داده ها)، سازمانی (رهبری تحول آفرین، نیروی انسانی متخصص، مدیریت تغییر) و محیطی (زنجیره تأمین کارآمد) باید مورد توجه قرار گیرد.

کلیدواژه ها: نگهداری و تعمیرات هوشمند، صنعت نسل ۴,۰، صنایع نفت و گاز، عوامل کلیدی موفقیت، تحلیل سناریو.

مقدمه

امروزه تولیدکنندگان با رقابت جهانی فزاینده برای انواع استراتژی‌ها و الزامات، مانند پیش‌بینی و کاهش هزینه‌های تولید، ارائه کیفیت محصول موردنیاز مشتریان، نوآوری، کاهش اثرات زیست‌محیطی و اطمینان از عملیات ایمن مواجه هستند (Rojek et al., 2022). رویارویی با چالش‌های این فضای جدید در صنایع از جمله به عملکرد قابل اعتماد ماشین‌آلات و تجهیزات مکانیکی تولید و نحوه انجام فعالیت‌های تعمیر و نگهداری بستگی دارد (Kumar & Galar, 2018).

با روند فعلی اتوماسیون و تبادل داده در تولید فناوری‌ها، صنایع تولیدی سنتی در حال تبدیل شدن به «صنایع هوشمند» هستند که فناوری‌های سنجش و محاسباتی با تکنولوژی بالا متشکل از عناصر مختلف صنعت نسل ۴.۰ را بر روی فرآیندهای مختلف تولید، نیروی انسانی و سیستم‌های نگهداری و تعمیرات اعمال می‌کنند (Cao et al., 2020). این امر منجر به بازنگری در نحوه نگهداری و تعمیرات شده است. در این محیط جدید، دیگر انجام اقدامات پیشگیرانه کافی نیست. امروزه، چالش اصلی، پیش‌بینی شکست‌ها در مراحل اولیه و اقدام در زمان مقتضی است. توسعه اتوماسیون، ایده‌هایی برای توسعه بیشتر استراتژی‌ها و مدل‌های نگهداری و تعمیرات ایجاد نمود که منجر به تولید و سود بیشتر می‌شد. طبق پارادایم نگهداری و تعمیرات جدید در صنعت ۴.۰، روش‌ها و ابزارهای خلاقانه باید توسعه یابند. نگهداری و تعمیرات باید متناسب با نیازمندی‌های صنعت ۴.۰ تغییر کند تا به یکی از ارکان اصلی یک صنعت هوشمند تبدیل شود (Jasiulewicz & Gola, 2019).

اگرچه مفهوم صنعت نسل ۴.۰ یک دهه پیش مطرح شد، اما کارشناسان تنها در چند سال اخیر در مورد توسعه این مفهوم در صنایع نفت و گاز صحبت کرده‌اند. کارشناسان توافق دارند که توسعه صنایع نفت و گاز در فضای صنعت نسل ۴.۰، بر اساس دیجیتالی شدن و هوشمندسازی این صنعت، می‌تواند مزایای زیادی برای این شرکت‌ها به همراه داشته باشد (Majstorović, 2022).

در سال ۲۰۱۹، چشم‌انداز انرژی شرکت BP^۱ پیش‌بینی کرد که تقاضای نفت تا ۲۰ سال آینده به افزایش خود ادامه خواهد داد که ممکن است منجر به شکاف بزرگ در عرضه نفت شود. تحقیقات BP نشان می‌دهد که تا سال ۲۰۳۵، گاز طبیعی به دومین منبع سوخت تبدیل خواهد شد، بنابراین تقاضا برای سوخت فسیلی در حال افزایش است. این چشم‌انداز نگرانی‌هایی را از بابت روش‌های نگهداری و ایمنی

1. British Petroleum

ناکافی که همیشه عامل اصلی حوادث و سوانح فاجعه بار در صنایع نفت و گاز بوده است، در پی داشته است. از سوی دیگر شرکت ها به دلیل شرایط سخت عملیاتی فعالیت های اکتشاف و تولید، با چالش های سرمایه گذاری پیچیده ای مواجه هستند (Mojarad et al., 2018). با این حال، صنایع نفت و گاز همچنان در اتخاذ فناوری های جدید احتیاط می کنند. سرعت آهسته پذیرش فناوری های نو را می توان به دلایل مختلفی، اعم از موانع برای ادغام با سیستم های موجود تا امنیت سایبری برای دفاع از سیستم در برابر حملات سایبری نسبت داد؛ بنابراین علی رغم در دسترس بودن الگوریتم های نگهداری و تعمیرات پیش بینی کننده، شرکت های فعال در صنایع نفت و گاز، هنوز باید فرصت های این تغییر را با تهدیدهای موجود و نیز هزینه های سرمایه ای که برای خرید ابزار دقیق، نرم افزار و تخصص لازم نیاز دارند، معاوضه کنند. این چالش ها در مراحل اولیه توسعه تعمیر و نگهداری هوشمند، زمانی که داده های واقعی در مورد رفتار عادی و غیرعادی تجهیزات وجود ندارد یا کمیاب است و در مورد سیستم های جدید، زمانی که تجربه ای در مورد عملکرد آنها وجود ندارد، این صنایع را با شرایط عدم اطمینان در تصمیم به حرکت به سوی نگهداری و تعمیرات نسل چهارم روبرو می کند (Achouch et al., 2022).

شیوه ها و تکنیک های تعمیر و نگهداری مؤثر و هوشمند، خطر خرابی های فاجعه بار را کاهش می دهند، هزینه های تعمیر و نگهداری را به حداقل و در دسترس بودن سیستم را به حداکثر می رسانند، بهره وری را افزایش می دهند و قابلیت اطمینان سیستم تولید را حفظ می کنند (Byington & Garga, 2017). از این رو هوشمندسازی نگهداری و تعمیرات به عنوان مؤثرترین راه غلبه بر چالش های ذکر شده مورد توجه متخصصان و مدیران شرکت های نفتی و گازی قرار گرفته است. این امر مبین لزوم شناسایی عوامل کلیدی موفقیت پیاده سازی تعمیرات و نگهداری نسل ۴،۰، تعیین روابط بین این عوامل و بررسی مسیرهای اثرپذیر مهم در اعمال مداخله های مناسب در عوامل کلیدی مؤثر به منظور رفع محدودیت های موجود است. از این رو انجام یک مطالعه جامع که تنها به بعد فنی موضوع توجه نداشته و ابعاد مختلف موضوع نظیر ابعاد فنی، مدیریتی، محیطی و... را بررسی، عوامل کلیدی موفقیت را شناسایی کرده و با ابزار مناسب به اولویت بندی و رتبه بندی آنها بپردازد و سناریوهای مطلوب در خصوص بهبود عوامل را ترسیم کند ضروری تلقی می شود که خلأ آن در مطالعات و پژوهش های گذشته احساس می شود. در صورت عدم پیش بینی موانع و شناخت عوامل موفقیت در هوشمندسازی صنایع نفت و گاز که سبب شکست در این زمینه می گردد، بسیاری از شاخص های اقتصادی در دنیا می تواند دستخوش تغییرات نامطلوب گردد.

همچنین شناخت زمینه‌های موفقیت و شکست در اجرای نگهداری و تعمیرات هوشمند، می‌تواند در تعیین استراتژی‌های کلی سازمان‌های مربوط و اولویت‌بندی منابع به مدیران ارشد این سازمان‌ها کمک کند (Bhatia & Kumar, 2020). پژوهش حاضر با دیدی جامع به شناسایی عوامل کلیدی موفقیت مدیریت نگهداری و تعمیرات هوشمند صنایع نفت و گاز پرداخته و با ترکیب روش‌های دیمتل و نقشه شناختی‌فازی به عنوان روشی جدید به رتبه‌بندی این عوامل می‌پردازد.

پیشینه‌ی انجام کارهای قبلی مرتبط با موضوع پژوهش

تعمیر و نگهداری ۴,۰، فلسفه یا نگرشی است که در شرایط عملیاتی تجهیزات و سیستم‌های کارخانه به وسیله کاربرد فناوری حسگر و ابزارهای تحلیلی و تکنیک‌های یادگیری ماشین، برای پیش‌بینی زمان وقوع خرابی تجهیزات و جلوگیری از وقوع خرابی‌ها به منظور بهینه‌سازی عملیات و یا فرایندهای کارخانه به کار گرفته می‌شود (Cachada et al., 2018).

با ظهور صنعت نسل ۴,۰ و گذار به سمت یک محیط صنعتی با فناوری‌های دیجیتال فراگیر، یک سؤال تحقیقاتی جامع برای حوزه نگهداری و تعمیرات مطرح شد: «نگهداری و تعمیرات در این فضای جدید چگونه تغییر خواهد کرد؟» تحقیقات مختلفی در جهان در راستای پاسخ به این پرسش انجام گرفته است. Osunsanmi و همکاران (۲۰۲۳)، در یک پژوهش تجزیه و تحلیل کتاب‌سنجی به شناسایی عوامل موفقیت حیاتی برای اجرای تعمیر و نگهداری هوشمند در یک محیط صنعتی در دوران انقلاب صنعتی چهارم پرداخته و جهت و عملکرد آینده تعمیر و نگهداری هوشمند در صنعت ساخت‌وساز را بررسی می‌کند. در این پژوهش چهار عامل اصلی موفقیت شناسایی شد.

Stefanini و همکاران (۲۰۲۲)، در پژوهش خود با ارسال پرسش‌نامه‌ای متشکل از ۱۱ بخش و ۳۱ پرسش، به تعدادی از شرکت‌های مستقر در ایتالیا و با تجزیه و تحلیل ۷۰ پرسش‌نامه، نشان دادند که ۵۴ درصد شرکت‌ها نسبت به استفاده از فناوری‌های هوشمند، علاقه دارند. با این حال، نگهداری و تعمیرات هوشمند تنها توسط ۳۷ درصد از پاسخ‌دهندگان پیاده‌سازی شده بود. این شرکت‌ها به لطف فناوری‌های صنعت نسل ۴,۰ هزینه‌های تعمیر و نگهداری را کاهش دادند. این تغییرات عمدتاً توسط شرکت‌های بزرگ واقع در شمال ایتالیا انجام شد. برای گسترش استفاده از نگهداری و تعمیرات هوشمند، سرمایه‌گذاری اولیه بالا، کمبود نیروی کار ماهر و مشکلات در ادغام فناوری‌های دیجیتال جدید با زیرساخت‌های موجود، موانع اصلی برای اجرا برشمرده شد.

Tortorella و همکاران (۲۰۲۱)، در پژوهشی با تجزیه و تحلیل نتایج مصاحبه با خبرگان نگهداری و تعمیرات هوشمند، به بررسی محرک ها و موانع پذیرش ادغام فناوری های صنعت نسل ۴،۰ در نگهداری و تعمیرات با توجه به ویژگی های یک نوآوری در نظریه انتشار نوآوری پرداختند. آن ها مزیت های این فناوری ها نسبت به روش های سنتی و نیز قابلیت آزمایش و پیاده سازی را به عنوان محرک و عدم سازگاری این فناوری ها با زیرساخت های موجود، پیچیدگی در استفاده از آن ها و عدم مشاهده پذیری دستاوردها و نتایج ادغام این فناوری ها در نگهداری و تعمیرات را به عنوان موانع برشمردند.

(Sivanuja & Sandanayake ۲۰۲۲)، در تحقیق خود که با مرور ادبیات و سپس مصاحبه با ۱۵ خبره تعمیرات و نگهداری در فضای صنعت نسل ۴ انجام شد، چالش های فناوری، سرمایه گذاری، دسترسی به داده ها، مهارت های کارکنان، یکپارچه سازی، استاندارد سازی، ارتباطات و امنیت سایبری را شناسایی کرد که بر اجرای مفهوم صنعت ۴،۰ در تعمیرات و نگهداری هوشمند تأثیر می گذارد. آن ها استراتژی هایی مانند آموزش فناوری، استخدام کارشناسان، ارتباطات تیمی و همکاری، استفاده از علم داده، ابزارهای یکپارچه سازی و رمزگذاری و پیروی از سیاست های استاندارد را برای غلبه بر چالش های ذکر شده پیشنهاد کردند.

شارما^۱ و همکاران (۲۰۲۱)، نشان دادند که پیاده سازی نگهداری و تعمیرات هوشمند نظیر استفاده از روش های یادگیری ماشینی مانند شبکه های عصبی، درخت تصمیم و SVM^۲ می تواند به پیش بینی خرابی دستگاه ها کمک کند. نویسندگان با بررسی روش های یادگیری ماشین و نقش تفسیرپذیری آن ها، به ارائه روش های نگهداری مبتنی بر شرایط برای سیستم های صنعتی پرداختند. آن ها با تأکید بر تفسیرپذیری این الگوریتم ها، به منظور فهم بهتر علت خرابی و ارائه پیشنهادها، به بررسی مزایا و معایب روش های مختلف پرداختند. نتایج نشان داد از مزایای پیاده سازی این روش ها می توان به دقت بالا، توانایی پیش بینی خرابی قبل از وقوع، افزایش عمر مفید تجهیزات، کاهش هزینه های نگهداری و تعمیرات، افزایش بهره وری و افزایش راندمان اشاره کرد. همچنین نیاز به داده های بسیار برای آموزش ماشین، نیاز به پردازشگرهای قدرتمند و حجم بالای داده ها، نیاز مبرم به مدیریت دانش و وابستگی به داده های موجود از جمله چالش های نگهداری و تعمیرات هوشمند است.

رکن الدینی و عندلیب، (۲۰۲۴)، در پژوهشی به شناسایی و تحلیل عوامل سازمانی مؤثر در پذیرش

1. Sharma

2. Support Vector Machine

فناوری‌های صنعت ۴,۰ در شرکت‌های کوچک و متوسط تولیدی استان یزد پرداختند. در این پژوهش ۱۱ عامل سازمانی تأثیرگذار از طریق مرور مبانی نظری شناسایی شده به وسیله یک پرسش‌نامه در اختیار خبرگان حوزه صنایع کوچک و متوسط تولیدی در استان یزد قرار گرفت و با اطلاعات به دست آمده روابط این عوامل بررسی شد. نتایج نشان داد که «همکاری سازمانی در فرایند اجرا»، «ظرفیت جذب» و «سرمایه اجتماعی» بالاترین ظرفیت تأثیرپذیری و ویژگی‌های «مدیریت عالی» و «دانش و تخصص دیجیتال سازی» بیشترین ظرفیت تأثیرگذاری را دارند.

پس از مطرح شدن مفهوم «نفت و گاز ۴,۰» برای اولین بار در سال ۲۰۱۸، در نمایشگاه و کنفرانس بین‌المللی نفت ابوظبی (ADIPEC^۱)؛ نگهداری و تعمیرات و نگهداری به عنوان یکی از دغدغه‌های اصلی صنعت نفت و گاز نیز در این فضای جدید مورد توجه قرار گرفته است (Liyanage & Chinedu, 2023). (Nordal & Thalji, ۲۰۲۰) در پژوهش خود یک معماری مرجع برای یک سیستم مدیریت تعمیر و نگهداری هوشمند در صنایع نفت و گاز پروژ ایجاد کردند که به قابلیت‌های تجزیه و تحلیل پیشرفته نیاز دارد. آن‌ها جمع‌آوری داده‌ها را چالش اصلی در سیستم مدیریت و نگهداری هوشمند عنوان کردند که می‌توان آن را با استفاده از ویژگی‌های کلان داده صنعت ۴,۰ حل کرد.

شکوه یار و همکاران، (۱۴۰۰) در پژوهش خود که بر اساس داده‌های موجود در سیستم CMMS^۲ یک شرکت بهره‌برداری نفت و گاز و با کمک روش‌های داده کاوی یک سیاست گذاری در خصوص پیش‌بینی رخداد خرابی برای تجهیز توربین طراحی و توسعه دادند که می‌تواند به کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات و افزایش عمر مفید تجهیز منجر شود. آن‌ها داشتن داده‌های دقیق و به موقع از وضعیت تجهیز را مهم‌ترین عامل در کارکرد مدل پیشنهادی خود دانستند.

جدول ۱ خلاصه پیشینه پژوهش‌های مرتبط با تحقیق حاضر است. از بررسی مطالعات می‌توان مشاهده کرد که در مورد عوامل کلیدی موفقیت پیاده‌سازی صنعت نسل ۴,۰ در نگهداری و تعمیرات اطلاعات مختلفی به دست آمده است که حاکی از اهمیت موضوع است. دسترسی به داده‌های دقیق و بلادرنگ، همکاری سازمانی، امنیت سایبری، آموزش و زیرساخت‌های فناوری از جمله عوامل شناخته شده‌اند.

1. Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference

2. Computerized maintenance management system

جدول ۱: مروری بر پیشینه پژوهش های مرتبط با پژوهش حاضر

نویسنده (سال)	عنوان	نتایج	نت و هوشمند	نفت و گاز	شناسایی	مدل سازی	تحلیل سناریو
Osunsanmi و همکاران (۲۰۲۳)	عوامل موفقیت بحرانی برای اجرای تعمیر و نگهداری هوشمند در دوران انقلاب صنعتی چهارم در فضای ساخت و ساز	همکاری، طراحی دوقلو دیجیتال، سیستم مدیریت انرژی و سیستم مدیریت داده غیرمتمرکز عوامل موفقیت حیاتی در اجرای نگهداری و تعمیرات هوشمند در عصر چهارم صنعت.	*	*	*		
ابراهیمی و طاهری (۲۰۲۴)	شناسایی عوامل مؤثر بر توسعه فناوری های نوین در صنعت نفت ایران	-شناسایی و مدل سازی عوامل تأثیرگذار بر توسعه فناوری های نوین در صنعت نفت ایران	*	*	*		
Stefanini و همکاران (۲۰۲۲)	صنعت ۴،۰ و نگهداری پیش بینانه هوشمند: بررسی مزایا و محدودیت ها در بافت ایتالیایی	سرمایه اولیه بالا، کمبود نیروی ماهر و مشکلات ادغام فناوری های جدید با زیرساخت موجود، موانع اصلی اجرا نگهداری و تعمیرات هوشمند	*	*	*		
Sivanuja & Sandanayake (۲۰۲۲)	استراتژی های پیاده سازی موفقیت آمیز مفهوم صنعت ۴،۰ برای نگهداری و تعمیرات پیش بینانه در مدیریت تأسیسات	چالش های: فناوری، سرمایه گذاری، دسترسی به داده ها، مهارت های کارکنان، یکپارچه سازی، استاندارد سازی، ارتباطات و امنیت سایبری، موانع اصلی در اجرای نگهداشت ۴،۰	*	*	*		
Nordal & Thalji (۲۰۲۰)	مدل سازی معماری مدیریت نگهداری و تعمیرات پیش بینانه برای برآورده کردن الزامات صنعت ۴،۰: یک مطالعه موردی	ایجاد معماری مرجع برای سیستم مدیریت تعمیر و نگهداری هوشمند در صنایع نفت و گاز نروژ - جمع آوری داده ها، رکن اصلی در سیستم	*	*	*		

نویسنده (سال)	عنوان	نتایج	نت و هوشمند	نفت و گاز	شناسایی	مدل سازی	تحلیل سناریو
Dua (۲۰۲۵)	بررسی تجربیات مدیران صنعت نفت و گاز در پذیرش انقلاب صنعتی چهارم	چالش های سرمایه اولیه، شکاف های مهارتی در نیروی کار، امنیت سایبری و پیچیدگی ادغام فناوری های جدید با سیستم های قدیمی شناسایی شدند.	*	*	*		
شکوه یار و همکاران، (۱۴۰۰)	سیاست گذاری نگهداری و تعمیرات پیشگویانه در مراکز فرآوری نفت و گاز	داده های دقیق و به موقع از وضعیت تجهیز مهم ترین عامل در کارکرد مدل پیشنهادی.	*	*	*		
Sharma و همکاران (۲۰۲۱)	نگهداری مبتنی بر شرایط با استفاده از یادگیری ماشینی و نقش تفسیرپذیری	مزایای پیاده سازی فناوری های هوشمند در نگهداری و تعمیرات: دقت بالا، توانایی پیش بینی خرابی قبل از وقوع آن، افزایش عمر مفید تجهیزات، کاهش هزینه های نگهداری و تعمیرات، افزایش بهره وری و افزایش راندمان. نیاز به داده های زیاد برای آموزش ماشین، نیاز به پردازشگرهای قدرتمند، نیاز مبرم به مدیریت دانش و وابستگی به داده های موجود از جمله معایب نگهداری و تعمیرات هوشمند	*				
رکن الدینی و عندلیب (۲۰۲۴)	تحلیل عوامل سازمانی مؤثر بر پذیرش فناوری های صنعت ۴٫۰ در شرکت های کوچک و متوسط	«همکاری سازمانی در فرایند اجرا»، «ظرفیت جذب» و «سرمایه اجتماعی» بالاترین ظرفیت تأثیرپذیری و ویژگی های «مدیریت عالی» و «دانش و تخصص دیجیتال سازی» تأثیرگذارترین عوامل پذیرش فناوری های صنعت ۴٫۰	*	*	*		
Tortorella و همکاران (۲۰۲۱)	ادغام فناوری های صنعت ۴٫۰ در رویه های نگهداری و تعمیرات پیش بینی کننده	شناسایی مزیت فناوری های نسل ۴٫۰ نسبت به روش های سنتی و نیز قابلیت آزمایش و پیاده سازی به عنوان محرک و سازگارکننده این فناوری های نوین با زیرساخت های موجود، پیچیدگی در	*	*	*		

نویسنده (سال)	عنوان	نتایج	نت و هوشمند	نفت و گاز	شناسایی	مدل سازی	تحلیل سناریو
		استفاده از آن ها و نیز شناسایی عدم مشاهده پذیری دستاوردها و نتایج ادغام فناوری های هوشمند در نگهداری و تعمیرات به عنوان موانع					
پژوهش حاضر	شناسایی، مدل سازی و تحلیل سناریو عوامل کلیدی موفقیت در مدیریت نگهداری و تعمیرات هوشمند صنایع نفت و گاز در فضای صنعت نسل ۴,۰		*	*	*	*	*

جدول ۱ بیانگر خلا تحقیقاتی از منظر عدم وجود یک پژوهش جامع است که هم به بعد فنی و پارادایم صنعت هوشمند و تغییرات نگهداری و تعمیرات در این پارادایم جدید توجه داشته و هم در فضای صنعت نفت و گاز و شرایط خاص این صنعت تمرکز کند و با این رویکرد عوامل موفقیت شناسایی آن ها رتبه بندی، مدل علی روابط این عوامل و سناریوها را ترسیم کند.

روش تحقیق

تحقیق حاضر از نوع تحقیقات آمیخته (کیفی - کمی) با رویکرد اکتشافی که در فاز اول جزو تحقیقات با پارادایم تفسیری و در فاز دوم اثبات گرایی بوده و به دنبال دستیابی به اهداف اصلی تحقیق که شناسایی عوامل کلیدی موفقیت مدیریت نگهداری و تعمیرات صنایع نفت و گاز در فضای صنعت ۴,۰، رتبه بندی این عوامل و تحلیل سناریوی ارتباط آن ها است. روش تحقیق آمیخته از تکنیک های جمع آوری داده ها و رویه های تحلیل کمی و کیفی در یک طرح پژوهش استفاده می کند (Saunders, 2009). فرض اساسی روش های آمیخته این است که روش های کمی و کیفی با یکدیگر درک بهتری از مسئله پژوهش فراهم می کنند (Creswell, 2012). از لحاظ جهت گیری این پژوهش می تواند علاوه بر توسعه دانش در حیطه نگهداری و تعمیرات هوشمند، به صورت عملی در محیط واقعی نیز پیاده سازی شود. پژوهش در سه فاز انجام شد:

فاز اول- شناسایی عوامل کلیدی موفقیت مدیریت نگهداری و تعمیرات صنایع نفت و گاز در فضای صنعت ۴,۰: این فاز با یک رویکرد کیفی، شناسایی عوامل کلیدی موفقیت مدیریت نگهداری

و تعمیرات صنایع نفت و گاز در فضای صنعت ۴,۰ را دنبال می‌کند. در این مرحله جامعه آماری تحقیق خبرگان صنعت نفت و گاز هستند که دارای دانش تئوری یا عملی در حوزه فناوری‌های صنعت نسل ۴,۰ باشند، حداقل ۵ سال سابقه کاری در حوزه مطروحه پژوهش را داشته باشند و دارای تحصیلات مرتبط بوده و در رده‌های کارشناسی یا مدیریتی فعالیت داشته باشند. حجم نمونه بر اساس اصل اشباع نظری مشخص شد. شیوه گردآوری داده‌ها میدانی و ابزار آن مصاحبه‌های نیمه ساختاریافته است. به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز از روش تحلیل مضمون (۲۰۰۶) Braun & Clarke استفاده شد که فرایند انجام شده در جدول ۲ قابل مشاهده است. در نهایت فهرستی از عوامل کلیدی موفقیت مدیریت نگهداری و تعمیرات صنایع نفت و گاز در فضای صنعت ۴,۰ استخراج شد که مبنای کار در فازهای بعدی قرار گرفت.

جدول ۲: خلاصه فرایند کدگذاری داده‌ها با استفاده از فرایند شش مرحله‌ای براون و کلارک

مرحله	عنوان	فرآیند انجام شده
۱	آشنایی با داده‌ها	تبدیل صوت ضبط شده مصاحبه‌ها به نوشتار، غوطه‌وری و بازخوانی مکرر و چندین باره متون، جست‌وجوی هدفمند معانی و الگوها، یادداشت‌برداری و برچسب‌گذاری متن
۲	ایجاد کدهای اولیه	شکستن داده‌ها و استخراج گزاره‌های کلامی حاوی الگوها و برچسب‌های مرحله قبل بوده و حاوی مضامینی در جهت پاسخ به سؤالات پژوهش باشند
۳	تولید تم‌ها یا مضمون‌های فرعی	کنارهم قرار دادن گزاره‌های کلامی حاوی مضمون‌های مشترک و ایجاد تم (کد)های فرعی
۴	بررسی تم‌ها / مضمون‌ها	بررسی کدها در برابر مجموعه داده‌ها و اطمینان از الگوی هماهنگی مجموعه داده‌های زیرمجموعه هر کد، تجزیه کدها به زیر کدها و یا ترکیب آن‌ها در صورت لزوم، بررسی واقعی بودن انعکاس معانی آشکار در داده‌ها و گزاره‌های کلامی در کدهای استخراج شده
۵	تعریف و نام‌گذاری تم‌ها یا مضمون‌های اصلی	کشف الگوی میان کدها و نمایندگی کدها از مفاهیم مربوط به ادبیات موضوع و مفاهیم علمی، دسته‌بندی کدهای حاوی مضمون‌های مشترک و اختصاص نام مختصر، قوی و معنادار
۶	تهیه گزارش	ارائه مجموعه‌ای از تم‌های اصلی و منطبق با ساختارهای زمینه‌ای تحقیق به همراه مجموعه سازمان‌دهی شده داده‌ها و کدهای مربوطه

فاز دوم- تعیین اثرگذاری، اثرپذیری عوامل بر یکدیگر و رتبه‌بندی آن‌ها با ادغام روش دیمتل و نقشه شناختی فازی و تعیین مدل نقشه شناختی عوامل موفقیت: فاز دوم و کمی پژوهش شامل تعیین اثرگذاری و اثرپذیری عوامل شناسایی شده است. جامعه آماری پژوهش در این مرحله همانند مرحله

اول است. شیوه نمونه گیری هدفمند و حجم نمونه برابر با ۱۱ نفر است. در این مرحله شیوه گردآوری داده ها همانند فاز قبلی بوده و ابزار آن پرسشنامه محقق ساخته می باشد. تحلیل داده ها با ادغام روش های دیمتل و نقشه شناختی فازی انجام شده است.

اگرچه هر دو روش ذکر شده درک خوبی از روابط علی و معلولی در برخورد با عوامل به دست می دهند اما نقاط ضعفی در به کارگیری هر یک وجود دارد که ادغام آن ها می تواند ضعف های موجود را به خوبی پوشش دهد. مقایسه دیمتل و نقشه شناختی فازی در جدول ۲ نشان داده شده است. می توان مشاهده کرد که روش دیمتل می تواند با مقایسه دویه دوی عوامل یک مدل پایه دقیق و پارامترهای اولیه برای مدل FCM ارائه دهد و خطاهای نشأت گرفته از ذهنی بودن نظر کارشناسان در تعیین روابط بین عوامل و نیز محاسبات گمراه کننده ریاضی در تعیین وزن تعاملات است را در تنظیم تجربی مدل FCM کاهش دهد. از طرف دیگر استنتاج پویای مدل FCM که قادر به مدیریت اطلاعات نامشخص است، محدودیت های DEMATEL را در انعکاس دقیق موقعیت های دنیای واقعی جبران می کند. ترکیب DEMATEL و FCM مزایایی مانند بهره گیری از نقاط قوت هر دو روش، کاهش کاستی های یک رویکرد واحد و بهبود دقت و کارایی تصمیم گیری را ارائه می دهد (Tang et al., 2023; Erkan, 2023).

جدول ۳: مقایسه روش های دیمتل و نقشه شناختی فازی (تانگ و همکاران، ۲۰۲۳)

روش	مزایا	محدودیت ها	شباهات	ادغام
دیمتل (DEMATEL)	۱. ترکیب عناصر سیستم را کاهش داده و روابط بین عناصر را ساده کرده است.	۱. برای پرداختن به مسائل پیچیده به تجربه و دانش متخصصان متکی است.	۱. هر دو می توانند برای مقابله با سیستم های پیچیده و اطلاعات نامشخص مورد استفاده قرار گیرند.	۱. روش DEMATEL مدل های پایه و پارامترهای اولیه دقیقی را برای مدل FCM ارائه می دهد و خطای تنظیم پارامترهای تجربی در مدل FCM را کاهش می دهد.
	۲. روابط علی کمی شده، اعتبار و قابلیت اطمینان بالایی را در تصمیم گیری و ارزیابی فراهم می کند.	۲. ممکن است هنگام مواجهه با مشکلات نامشخص، موقعیت های دنیای واقعی را به طور دقیق منعکس نکند.	۲. هر دو دارای ویژگی های گرافیکی هستند که امکان نمایش شهودی روابط	۲. استدلال پویای مدل FCM می تواند اطلاعات
	۳. از نظر گرافیکی شهودی و قابل فهم است و به تحلیلگران در درک بهتر روابط علی و تصمیم گیری	۳. ممکن است روابط علی همپوشانی رخ دهد که منجر به نتایج با دقت کمتر		

روش	مزایا	محدودیت‌ها	شبهات	ادغام
نقشه شناختی فازی (FCM)	۱. نمایش و تحلیل روابط علی در سیستم‌های پیچیده. ۲. مدیریت عدم قطعیت و اطلاعات ناقص. ۳. کمی سازی سناریوها و الزامات مختلف با تنظیم وزن‌های مدل.	۱. الگوریتم FCM سرعت همگرایی پایینی دارد و به منابع محاسباتی قابل توجهی نیاز دارد. ۲. انتخاب و تنظیم پارامتر در مدل FCM اغلب به آزمون و خطا و دانش تجربی متکی است. ۳. نتایج FCM ممکن است تحت تأثیر روش‌های مختلف عملکرد منطق فازی قرار گیرد، بنابراین نیاز به بهبود در پایداری و تکرارپذیری نتایج دارد.	علی و معلولی و فرآیندهای تصمیم‌گیری را فراهم می‌کنند. ۳. هم‌ردو انعطاف‌پذیری بالا و سازگاری قوی از خود نشان می‌دهند که آن‌ها را در حوزه‌ها و سناریوهای مختلف قابل اجرا می‌کند.	نامشخص را مدیریت کند و کاستی‌های روش DEMATEL را در انعکاس دقیق وضعیت واقعی جبران کند.

شکل ۱: گام های اجرایی پژوهش



بنا بر آنچه گفته شد، گام های اجرایی جمع آوری داده و تجزیه و تحلیل آن ها به صورت زیر است:

گام اول: شناسایی عوامل کلیدی موفقیت مدیریت نگهداری و تعمیرات هوشمند صنایع نفت و گاز در فضای صنعت ۴,۰ به وسیله مصاحبه نیمه ساختاریافته با خبرگان. عوامل شناسایی شده در این گام، عناصر تشکیل دهنده ساختار دیمتل هستند.

گام دوم: ساخت ماتریس نظرات خبرگان به منظور تعیین روابط حاکم بین عناصر شناسایی شده. مقایسه عناصر به صورت زوجی بوده و قضاوت خبرگان تنها برای ارتباطات مستقیم و علی و معلولی عناصر با یکدیگر مورد پرسش واقع می شود. اثر مستقیم عنصر i بر عنصر j را می توان به چهار سطح تقسیم کرد و از طیف لیکرت ۴، ۳، ۲، ۱، ۰ نشان داد که به ترتیب بیانگر عدم ارتباط، سطح پایین اثرگذاری، سطح متوسط اثرگذاری، سطح بالای اثرگذاری و سطح بسیار بالای اثرگذاری است.

گام سوم: ساخت ماتریس تصمیم گیری اولیه (ماتریس اولیه رابطه مستقیم) به وسیله محاسبه میانگین حسابی امتیازهای خبرگان در گام قبلی به اثر مستقیم عنصر i بر عنصر j که با حرف A نشان داده می شود.

$$A = [a_{ij}]_{n \times n} \quad a_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_{ij}^{(k)} \quad (1)$$

گام چهارم: محاسبه ماتریس اثر اولیه (ماتریس رابطه مستقیم) که با حرف D نمایش داده شده و با نرمال سازی ماتریس تصمیم گیری اولیه A ایجاد می شود. ضریب نرمال سازی (s) برابر است با معکوس بیشینه بیشترین مجموع سطری و بیشترین مجموع ستونی ماتریس تصمیم گیری اولیه. ماتریس D شدت اثرگذاری و اثرپذیری اولیه عناصر بر یکدیگر را نشان می دهد (آذر و همکاران، ۱۳۹۵)

$$D = s.A; s > 0 \quad [d_{ij}]_{n \times n} = s.[a_{ij}]_{n \times n}; s > 0, \quad ij \in \{1, 2, 3, \dots, n\} \quad (2)$$

$$s = \min \left[\frac{1}{\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n |a_{ij}|}, \frac{1}{\max_{1 \leq j \leq n} \sum_{i=1}^n |a_{ij}|} \right] \quad (3)$$

گام پنجم: ایجاد ماتریس کامل اثر مستقیم و غیرمستقیم (ماتریس ارتباطات کل). چنانچه ماتریس اثر اولیه را به توان برسانیم، نظر به خاصیت ضرب ماتریس ها، اثرات مستقیم و غیرمستقیم عناصر توأم با بازخوردهای ممکن ظهور پیدا می کند. با افزایش توان ماتریس اولیه، به یک دنباله نامتناهی از اثرات مستقیم و غیرمستقیم به شکل تصاعد هندسی دست پیدا خواهیم کرد که به دلیل کاهش پیوسته اثرهای غیرمستقیم در طول زنجیره تصاعد، به ماتریس معکوس همگرایی دارد. نحوه ی محاسبه ی تصاعد هندسی و رسیدن به ماتریس ارتباطات کل (T) به صورت زیر است:

$$T = \lim_{n \rightarrow \infty} (D + D^2 + D^3 + \dots + D^n) = \frac{D(I - D^n)}{(I - D)}; \quad \lim_{n \rightarrow \infty} (D^n) = 0 \quad (4)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{D(I - D^n)}{(I - D)} = \frac{D}{I - D} = D(I - D)^{-1}$$

گام ششم: تعیین مقدار آستانه که با نظر خبرگان تعیین می شود. پس از تعیین مقدار آستانه، به درایه هایی که کمتر از این مقدار هستند صفر اختصاص داده می شود.

گام هفتم: ورود داده ها به نرم افزار FCMapper و تحلیل آن ها به منظور استخراج اطلاعات مدل نقشه شناختی فازی عوامل کلیدی موفقیت و نمایش گرافیکی مدل ذکر شده.

فاز سوم- تحلیل سناریو: در این فاز با بهره گیری از روش بامکان^۱ و همکاران (۲۰۲۱)، دو نوع سناریو طراحی می شود: سناریوهای روبه جلو و سناریوهای روبه عقب. سناریوی روبه جلو برای پیش بینی رفتار سایر عوامل در صورت تغییر در یک بعد با درجه اثربخشی بالا توسعه داده می شود. در حقیقت در این بخش، این سؤال مطرح است که در صورت بهبود در عواملی که به عنوان عوامل با بالاترین درجه اثربخشی شناخته شده اند درون سیستم چه اتفاقاتی می افتد و یا به اصطلاح، سیستم با چه تغییراتی همراه می شود. برای ترسیم سناریوی روبه جلو در ابتدا عامل اتصال و یکپارچگی سیستم ها با صفر قرار دادن آن، در سناریو ثابت می شود تا میزان اثراتی که بر کل چرخه می گذارد، مورد بررسی قرار بگیرد. این فرآیند برای عاملی که بیشترین تأثیرپذیری را داشته باشد تکرار می شود تا در نهایت با تشکیل حلقه فرآیند خاتمه یابد. در سناریوهای روبه عقب، در حقیقت هدف یافتن پاسخ این سؤال است که عاملی با تأثیرپذیری بالا از چه عوامل دیگری ناشی می شود و چگونه می توان برنامه ریزی مناسبی در جهت احیای آن ترتیب داد تا با دیدی سیستمی، امکان بهبود در آن موفقیت مدیریت نگهداری و تعمیرات هوشمند فراهم گردد. برای ترسیم سناریوهای روبه عقب، عوامل با بیشترین تأثیرپذیری انتخاب و مسیر سناریو برای بهبود این عوامل تعیین می شود. به منظور ایجاد مسیر سناریو، ابتدا تک تک عامل های ورودی به صورت جداگانه صفر گردیده اند تا به عبارتی اثر سیستمی ناشی از ثابت شدن یک عامل در کل سیستم مورد بررسی قرار گیرد. این فرآیند برای عامل های با بیشترین تأثیرگذاری بر عامل هدف، تکرار شده تا یک حلقه ایجاد و فرایند متوقف گردد.

برای سنجش صحت و استحکام یافته ها در فاز اول از معیار گوبا^۲ و لینکن^۳ استفاده شد و چهار معیار اعتبار، انتقال پذیری، اطمینان پذیری و تأیید پذیری مورد بررسی قرار گرفت. نمونه گیری تا رسیدن داده ها به حد اشباع ادامه یافت و مناسب ترین واحد معنایی انتخاب شد (تأیید معیار انتقال پذیری). اعتبار داخلی

1. Bamakan

2 Guba

3 Lincoln

تحلیل مضمون از طریق روایی صوری توسط خبرگان تحقیق ارزیابی شد. به این منظور پس از انجام مصاحبه و کدگذاری‌های مربوطه، متن مصاحبه و کدهای استخراج شده به مشارکت کنندگان ارائه و از آن‌ها خواسته شد درباره صحت و سقم آن اظهار نظر نمایند و هرگونه مغایرت و ابهام را اطلاع دهند. پس از جمع‌آوری و بازبینی نظرات، قابلیت اعتبار داده‌ها تأیید گردید (تأیید معیار اعتبار). برای اطمینان از اینکه تفسیر داده‌ها، منعکس کننده پدیده مورد مطالعه است، از بازنگری توسط شرکت کنندگان و مرور توسط افراد غیر از شرکت کنندگان تحقیق استفاده شد (تأیید معیار اطمینان‌پذیری). ضمناً با مراجعه و مقایسه مکرر کدهای احصایی از مصاحبه‌ها و اخذ مشاوره مجدد از خبرگان سعی گردید تا دقت کدهای به‌دست آمده افزایش یابد (تأیید معیار تأیید پذیری). همچنین ضریب هالستی برای عوامل کلیدی موفقیت احصایی برابر با ۰٫۹ محاسبه شد.

در فاز دوم پژوهش نظر به این که مبنای طراحی پرسشنامه یافته‌های فاز قبل است، پرسشنامه اعتبار لازم را دارد اما تأیید ۳ استاد دانشگاهی نیز در این خصوص اخذ گردید و روایی صوری بررسی شد. برای پایایی نتایج لازم است حداقل ۵۰ درصد خبرگان روی اعدادی که در مورد اهمیت هر یک از عوامل داده‌اند اتفاق نظر داشته باشند.

یافته‌ها

جامعه آماری این پژوهش در بخش کیفی خبرگان فعال و داری تجربه در حوزه مورد پژوهش در رده‌های کارشناسی و مدیریتی هستند که با توجه به هدف پژوهش، نمونه‌گیری در این پژوهش به صورت هدفمند با استفاده از تکنیک گلوله‌برفی و قضاوتی به تعداد ۱۰ نفر انجام شده است. تعیین حجم نمونه با استفاده از اصل اشباع نظری صورت گرفته است به نحوی که پس از انجام مصاحبه با نفر هشتم دیگر عامل جدیدی شناسایی نگردید و جهت حصول اطمینان از جامعیت داده‌ها فرایند مصاحبه با نفر دهم به پایان رسید. مصاحبه‌ها در بخش کیفی به صورت چهره‌به‌چهره و با پرسشنامه نیمه‌ساختاریافته انجام شد و سپس با استفاده از فرآیند کدگذاری عوامل کلیدی موفقیت مدیریت نگهداری و تعمیرات هوشمند صنایع نفت و گاز در فضای صنعت نسل ۴٫۰ شناسایی شدند. برای اطمینان از صحت کدگذاری و استخراج مفاهیم، کدهای به‌دست آمده از مصاحبه‌ها مجدداً در اختیار مصاحبه‌شوندگان قرار گرفت تا از تأیید کدهای استخراج شده توسط مصاحبه‌شوندگان اطمینان حاصل شود. هدف رسیدن به ایده اصلی مصاحبه‌شونده است.

جدول ۴: آمار توصیفی خبرگان

کد کارشناس	تحصیلات	سابقه کاری	زمینه فعالیت و مسئولیت	فاز مشارکت
P1	کارشناسی ارشد مهندسی صنایع	۱۴ سال	پشتیبانی مدیریت و برنامه ریزی انتقال گاز	۱ و ۲
P2	کارشناسی فناوری اطلاعات	۱۱ سال	کارشناس سخت افزار پالایشگاه	۱ و ۲
P3	دکتری مدیریت فناوری	۹ سال	برنامه ریزی راهبری پالایشگاه	۱ و ۲
P4	دکتری مهندسی نفت	۲۳ سال	ریاست پژوهش و توسعه فناوری شرکت توسعه نفت	۱
P5	کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک	۱۹ سال	مسئول مدیریت و برنامه ریزی شرکت انتقال نفت	۱ و ۲
P6	دکتری مهندسی مکانیک	۲۵ سال	ریاست واحد نگهداری و تعمیرات شرکت انتقال نفت	۱
P7	دکتری فناوری اطلاعات	۱۸ سال	سرپرستی واحد هوش مصنوعی پالایشگاه	۱ و ۲
P8	کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک	۲۰ سال	رئیس مرکز انتقال نفت	۱ و ۲
P9	کارشناسی ارشد مخابرات	۱۰ سال	مهندس مخابرات شرکت گاز	۱ و ۲
P10	کارشناسی ارشد مهندسی نفت	۱۱ سال	کارمند ارشد عملیات شرکت انتقال نفت	۱ و ۲
P11	کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی	۱۳ سال	سرپرست مهندسی طرح ها پالایشگاه	۲
P12	کارشناسی مهندسی شیمی	۸ سال	مهندس عملیات شرکت گاز	۲

در ادامه استخراج داده ها با بررسی متون مصاحبه ها و کد گذاری آن ها انجام شد. بر این اساس، مصاحبه که مشتمل بر شش سؤال اصلی بود، پس از ارائه توضیحات لازم به اعضای نمونه صورت گرفت. سپس متن مصاحبه های انجام شده تحلیل شد. نمونه گزاره های کلامی و عوامل کلیدی استخراج شده از آن ها در ادامه در جدول ۵ قابل مشاهده است.

جدول ۵: نمونه گزاره های کلامی و کدهای استخراج شده

کد	گزاره کلامی
انخاذ استراتژی اثربخش نگهداری و تعمیرات	ما باید بدانیم دنبال چه چیزی هستیم، می خواهیم جلوی خرابی را بگیریم یا نه تشخیص بدهیم کی قرار است اتفاق بیفتد P5
	باید فعالیت های نت را هدفمند کنیم. به جای دنبال کردن یک برنامه از پیش تعیین شده بر اساس وضعیت

کد	گزاره کلامی
	واقعی و نیاز سیستم کارکنیم. P7
استفاده از حسگرهای با کیفیت و با فرکانس بالا	کیفیت سنسورها مهم است. یک لرزش نامحسوس که حسگر ارزان حس نمی کند، می تواند نشانه اولیه یک خرابی میلیاردی باشد P10
	اگر داده ها با نویز دریافت شود یا هر دقیقه یک بار اطلاعات گرفته شود، هوش مصنوعی هم گیج می شود. P7
دقت و صحت داده ها	اگر تجهیزاتی که از آن ها داده می گیریم کالیبره نباشند اطلاعات غلط وارد سیستم می شود و مبنای تصمیم گیری می شود همین اطلاعات غلط P1
ثبات و سازگاری داده ها	اگر شرایط دستگاه تغییر نکرده باشد، خروجی سنسور هم نباید بی دلیل نوسان عجیب و غریب داشته باشد. این پایداری در دیتا خیلی مهم است P7
قابلیت ارتقاء و توسعه سیستم ها	سیستمی که امروز راه اندازی می کنیم، باید قابلیت ارتقاء داشته باشد، یعنی مثلاً بتوانیم سنسورهای جدید اضافه کنیم و با نیازهای آینده ما گسترش یابد P9
تعیین چشم انداز و استراتژی روشن	رهبری سازمان باید یک چشم انداز مشخص را تعریف کند که نت هوشمند ما قرار است در ۵ سال آینده چه تحولی ایجاد کند؟ پس آن، چشم انداز را به اهداف عملیاتی تقسیم کند. P10
	باید به نیروی انسانی گفته شود که تکنولوژی قرار نیست علیه تو استفاده شود... قرار است کمک تو باشد و سابقه خرابی ای که با آن مواجه شده ای را بگویند و راهکار بدهد P1
آموزش و توسعه مستمر مهارت های کارکنان	اپراتوری که سال ها با یک دستگاه کار کرده، تجربه عملیاتی بی نظیری دارد. وظیفه ماست که این تجربه را با آموزش مهارت های جدید دیجیتال و تحلیلی ترکیب کنیم P2
	دانش کارکنان باید به وسیله آموزش افزایش پیدا کند تا بتوانند سیستم را اداره کنند P10
تعهد رهبری ارشد به تحول دیجیتال	تا وقتی که مدیران ارشد واقعاً متعهد نشوند و باور نکنند که تحول دیجیتال لازم و حیاتی است، همه اقدامات بیهوده است. آن ها باید هم بودجه بدهند، هم پشت کار بایستند و هم موانع را برطرف کنند P6
	...سازمان و مدیران سازمان هم باید این احساس نیاز [به فناوری های نوین] را داشته باشند و حاضر باشند برای رفع آن شرایط کاری را تغییر بدهند P4
تعیین خط مشی و پایبندی به آن	وقتی یک خط مشی روشن داشته باشیم، می دانیم در شرایط مختلف چطور باید عمل کنیم. P1
حاکمیت داده	در این فضا دیگر تحلیل داده است که تصمیم ساز است نه صرفاً تجربیات و شواهد P4
	...حالا برای اینکه این سیستم هوشمند موفق بشود، باید همه، از مدیران تا اپراتورها، به این باور برسند که داده ها حقیقت را به ما نشان می دهند P9
یکپارچگی داده ها از منابع ناهمگون	...دیتاهای ما از خیلی جاها می آید، از PLC از DCS ها و یا دیتایی که کاربر وارد می کند. این ها باید ولید (Valid) بشود P1
	اگر سیستم دیتاها را ترکیب کند و چیزی که ما می خواهیم را بدهد خوب است P9

کد	گزاره کلامی
حفاظت از داده های حسگرها	بانک اطلاعاتی باید پروتکل های امن داشته باشد و مطمئن باشیم جایی اطلاعات غلط وارد سیستم نمی شود یا جایی نشت اطلاعات نداریم P1
	از داده های بانک اطلاعاتی هم باید بک آپ داشته باشیم تا اگر اتفاقی برای سیستم افتاد دچار مشکل در بازخوانی سوابق نشویم P1

بر اساس تحلیل مصاحبه ها، کدها استخراج گردید که با دسته بندی آن ها عوامل کلیدی پژوهش به دست آمد که در جدول ۶ بیان شده اند.

جدول ۶: دسته بندی کدها

ردیف	کد	عامل کلیدی (اختصار در پژوهش)
۱	اتخاذ استراتژی اثربخش نگهداری و تعمیرات، تعیین اهداف مشخص نگهداری و تعمیرات، شناسایی تجهیزات و سیستم ها، تحلیل تأثیر نگهداری و تعمیرات بر سایر فرایندها	شناخت نیازهای سیستم (M1)
۲	درک رفتار عادی و الگوهای عملکردی تجهیزات، تعیین حالات خرابی تجهیزات و نقاط آن، تحلیل علل ریشه ای خرابی ها (RCA)، تعیین شرایط کاری ایمن تجهیزات، تحلیل سوابق خرابی تجهیزات، تعریف آستانه های بحرانی و نقاط تصمیم گیری برای هر شاخص	شناخت شاخص های سلامت تجهیزات (M2)
۳	استفاده از حسگرهای با کیفیت و با فرکانس بالا، دقت و صحت داده ها، کامل بودن داده ها، ثبات و سازگاری داده ها، فیلتر داده	داده های دقیق و به موقع (M3)
۴	ذخیره مقیاس پذیر و ایمن، محاسبات لبه ای (Edge Computing)	انتقال و ذخیره سازی کارآمد داده ها (M4)
۵	پلتفرم های داده یکپارچه، اتصال کارآمد حسگرها به پلتفرم های IT، سازگاری تجهیزات موجود با فناوری های جدید، قابلیت ارتقا و توسعه سیستم ها، زیرساخت های ارتباطی کارآمد	اتصال و یکپارچگی سیستم ها (M5)
۶	انعطاف پذیری و سازگاری، تعیین چشم انداز و استراتژی روشن، ریسک پذیری کنترل شده و آزمایش، شناسایی و پیش بینی موانع موفقیت	مدیریت تغییرات (M6)
۷	دانش صنعت نسل ۴،۰ و مهارت های دیجیتال، تفسیر و تحلیل درست داده های پایش وضعیت، آموزش و توسعه مستمر مهارت های کارکنان، مدیریت دانش، دانش تخصصی در حوزه نفت و گاز	نیروی انسانی متخصص (M7)
۸	تعهد رهبری ارشد به تحول دیجیتال، تعیین چشم انداز و استراتژی روشن، تقویت روحیه همکاری و تعاملی، حاکمیت داده، شفافیت در ارائه گزارش های تحلیل شاخص های کلیدی عملکرد (KPI)	فرهنگ سازمانی مناسب (M8)
۹	تأمین تکنولوژی های سخت افزاری و نرم افزاری کارآمد، توسعه دانش صنعت ۴،۰ و مهارت های کارکنان، استفاده از ظرفیت دانش بنیان ها	سرمایه گذاری (M9)
۱۰	استفاده از حسگرهای کارآمد و متنوع، اطمینان از پایداری عملکردی حسگرها، یکپارچگی داده ها از منابع ناهمگون	پایش وضعیت تجهیزات هوشمند (M10)

ردیف	کد	عامل کلیدی (اختصار در پژوهش)
۱۱	حفاظت از داده‌های حسگرها، استفاده از شبکه‌های ارتباطی داخلی، مدیریت دسترسی و احراز هویت	امنیت سایبری (M11)
۱۲	شناخت شاخص‌های عملکرد (KPI) نگهداری و تعمیرات، ثبت دیجیتال فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات، شبیه‌سازی و بهینه‌سازی سناریوها، ارتقا و توسعه سیستم‌ها، برنامه‌ریزی پویای تخصیص منابع	بهینه‌سازی فرایندها (M12)
۱۳	شناسایی و ارزیابی ریسک‌ها، پدافند غیرعامل	مدیریت ریسک (M13)
۱۴	مدیریت چرخه عمر قطعات، مدیریت انبار و موجودی کالا، مدیریت تأمین کنندگان با قابلیت اطمینان بالا	زنجیره تأمین کارآمد (M14)
۱۵	ایجاد داشبوردهای تعاملی، امنیت و ارگونومی در به کارگیری فناوری‌ها، رابط‌های کاربری بصری و قابل فهم	تعامل انسان و ماشین (M15)

در مرحله بعد برای سنجش ارتباط و تأثیرات میان معیارهای موردبررسی با روش دیمتل، ابتدا ماتریس اولیه که شامل هدف و معیارهایی که ارتباط میان آن‌ها مدنظر است طراحی و پرسشنامه مقایسات زوجی تنظیم گردید. برای سنجش میزان تأثیر معیارها، از خبرگان خواسته شد تا میزان تأثیر هر معیار را بر سایر معیارها با عددی از صفر تا ۴ مشخص کنند. به علت استفاده از دیدگاه چند نفر، ماتریس میانگین حسابی نظرات تشکیل شد. طیف پنج درجه تکنیک دیمتل و معادل قطعی برای عبارات کلامی به صورت زیر است:

جدول ۷. معادل‌های قطعی برای گزاره‌های کلامی در روش دیمتل

بدون تأثیر	تأثیر خیلی کم	تأثیر کم	تأثیر زیاد	تأثیر خیلی زیاد
۰	۱	۲	۳	۴

در گام بعدی ماتریس میانگین (A) محاسبه شد. این ماتریس تلفیق شده پاسخ‌های خبرگان است و درایه‌های آن طبق معادله (۱)، به وسیله میانگین حسابی محاسبه می‌شود که در آن n تعداد خبرگان و x_{ij} همان میانگین مقادیر تخصیص داده شده از جانب آن‌هاست. وزن همه خبرگان به دلیل انتخاب هدفمند آن‌ها از رده‌های مدیریتی و کارشناسی و همگن بودن تحصیلات، تخصص و مهارت‌های آن‌ها یکسان در نظر گرفته شده است. ماتریس میانگین (A) در جدول ۸ مشاهده می‌شود. در ادامه ماتریس اثر اولیه D با

نرمال‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری اولیه A طبق رابطه (۲) ایجاد می‌شود. از رابطه (۳) ضریب نرمال‌سازی S برابر است با معکوس بیشترین مجموع سطری و بیشترین مجموع ستونی ماتریس تصمیم‌گیری اولیه. ماتریس D شدت اثرگذاری و اثرپذیری اولیه عناصر بر یکدیگر را نشان می‌دهد (آذر و همکاران، ۱۳۹۵).

جدول ۸. ماتریس میانگین نظرات خبرگان (A)

عوامل	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
M1	۰,۰۰	۱,۷۵۰	۰	۱,۸۷۵	۱,۵	۲	۱,۷۵	۱,۷۵
M2	۱,۷۵۰	۰	۲,۶۲۵	۱,۷۵	۱,۳۷۵	۱	۲,۶۲۵	۰,۸۷۵
M3	۱,۵۰۰	۲,۷۵	۰	۳,۲۵	۲,۳۷۵	۰,۸۷۵	۱,۳۷۵	۰,۷۵
M4	۱,۱۲۵	۱,۷۵	۳,۳۷۵	۰	۳,۲۵	۰,۶۲۵	۰,۸۷۵	۰,۵
M5	۱,۵۰۰	۱,۷۵	۳,۳۷۵	۳,۵	۰	۱,۶۲۵	۱,۶۲۵	۱,۱۲۵
M6	۲,۰۰	۰,۸۷۵	۱	۰,۵	۱,۶۲۵	۰	۲,۵	۳
M7	۱,۸۷۵	۲,۲۵	۱,۷۵	۱,۳۷۵	۲	۲,۵	۰	۲,۷۵
M8	۲,۶۲۵	۱,۲۵	۱,۵	۱	۱,۸۷۵	۳,۵	۲,۸۷۵	۰
M9	۳,۰۰	۱,۲۵	۲,۷۵	۲,۱۲۵	۲,۶۲۵	۲,۳۷۵	۳,۱۲۵	۲,۳۷۵
M10	۱,۵۰۰	۳,۶۲۵	۳,۷۵	۲,۸۷۵	۲,۸۷۵	۰,۶۲۵	۱,۸۷۵	۱,۷۵
M11	۰,۵	۰,۸۷۵	۳,۳۷۵	۳,۲۵	۳,۱۲۵	۱,۱۲۵	۱,۵	۱
M12	۲,۰۱۲۵	۳	۲,۵	۲,۱۲۵	۲,۸۷۵	۱,۷۵	۱,۸۷۵	۱,۶۲۵
M13	۱,۶۲۵	۱,۳۷۵	۱,۲۵	۱,۵	۱,۷۵	۲,۱۲۵	۱,۵	۱,۵
M14	۰,۶۲۵	۱	۱,۳۷۵	۰,۶۲۵	۱	۱,۳۷۵	۱,۱۲۵	۰,۶۲۵
M15	۱,۵۰۰۰	۱,۶۲۵	۱,۸۷۵	۱,۶۲۵	۲,۵	۲,۵	۲,۵	۱,۷۵

جدول ۸ (ادامه). ماتریس میانگین نظرات خبرگان (A)

عوامل	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15
M1	۲,۸۷۵	۱,۳۷۵	۰,۸۷۵	۱,۸۷۵	۱,۶۲۵	۱,۱۲۵	۱
M2	۱	۳,۶۲۵	۰,۷۵	۲,۸۷۵	۲,۲۵	۱,۳۷۵	۱,۱۲۵
M3	۲,۱۲۵	۳,۵	۲,۵	۲,۶۲۵	۱,۲۵	۰,۸۷۵	۱,۷۵
M4	۲	۳,۱۲۵	۳	۱,۷۵	۱	۱,۱۲۵	۱
M5	۲,۷۵	۳,۵	۳	۲,۷۵	۱,۷۵	۱,۱۲۵	۲,۶۲۵
M6	۲,۵	۱,۱۲۵	۱,۳۷۵	۲,۱۲۵	۲,۲۵	۱,۵	۱,۶۲۵
M7	۲,۷۵	۲,۶۲۵	۱,۸۷۵	۳,۱۲۵	۱,۷۵	۱,۳۷۵	۲,۸۷۵
M8	۲,۵	۱,۶۲۵	۱,۳۷۵	۲,۵	۲	۰,۸۷۵	۲,۱۲۵
M9	۰	۲,۵	۲,۸۷۵	۲,۵	۲,۱۲۵	۱,۸۷۵	۲
M10	۲,۵	۰	۲,۶۲۵	۳,۱۲۵	۲,۱۲۵	۱,۵	۲,۶۲۵

M11	۲,۷۵	۳,۱۲۵	۰	۱,۷۵	۲,۷۵	۰,۷۵	۲
M12	۲,۲۵	۳	۱,۸۷۵	۰	۲,۲۵	۱,۵	۲,۵
M13	۲	۲,۳۷۵	۳,۲۵	۲,۳۷۵	۰	۱,۸۷۵	۱,۲۵
M14	۲	۱,۲۵	۱	۲	۲	۰	۰,۷۵
M15	۱,۵	۳	۱,۸۷۵	۲,۷۵	۱,۲۵	۱,۱۲۵	۰

در نهایت با استفاده رابطه (۴) ماتریس ارتباطات کل T به صورت جدول ۹ به دست می آید. در ماتریس ارتباطات کل، مقدار آستانه برای معناداری ارتباط بین دو عامل با کسب نظر کارشناسان ۰,۲۲ به دست آمد. مقادیر بالاتر از ۰,۲۲ در جدول ۹ به صورت پررنگ نشان داده شده اند.

جدول ۹. ماتریس ارتباطات کل (T)

عوامل	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
M1	۰,۱۲۷	۰,۱۹۷	۰,۲۳۶	۰,۲۰۲	۰,۲۳۲	۰,۲۱۲	۰,۱۸۹	۰,۱۷۰
M2	۰,۱۷۴	۰,۱۵۰	۰,۲۶۰	۰,۲۱۳	۰,۲۲۰	۰,۱۶۷	۰,۱۹۴	۰,۱۴۵
M3	۰,۱۸۳	۰,۲۴۱	۰,۲۲۰	۰,۲۷۶	۰,۲۷۲	۰,۱۸۱	۰,۱۹۷	۰,۱۵۷
M4	۰,۱۵۹	۰,۲۰۰	۰,۲۸۸	۰,۱۷۷	۰,۲۷۵	۰,۱۵۹	۰,۱۶۹	۰,۱۳۶
M5	۰,۲۰۷	۰,۲۴۲	۰,۳۴۱	۰,۳۱۳	۰,۲۴۴	۰,۲۴۰	۰,۲۳۰	۰,۱۹۰
M6	۰,۱۶۹	۰,۱۵۴	۰,۱۹۵	۰,۱۶۰	۰,۲۰۷	۰,۱۳۴	۰,۱۸۳	۰,۱۹۲
M7	۰,۲۰۷	۰,۲۳۸	۰,۲۷۸	۰,۲۳۸	۰,۲۷۷	۰,۲۴۲	۰,۱۷۵	۰,۲۱۰
M8	۰,۲۰۱	۰,۱۹۷	۰,۲۵۱	۰,۲۱۱	۰,۲۶۱	۰,۲۵۵	۰,۲۱۵	۰,۱۴۱
M9	۰,۲۱۶	۰,۲۲۴	۰,۳۱۸	۰,۲۷۲	۰,۳۰۷	۰,۲۴۹	۰,۲۶۳	۰,۲۲۰
M10	۰,۲۱۱	۰,۲۹۳	۰,۳۵۵	۰,۳۰۲	۰,۳۲۲	۰,۲۰۷	۰,۲۴۰	۰,۲۰۷
M11	۰,۱۵۸	۰,۱۹۳	۰,۲۹۱	۰,۲۷۸	۰,۲۹۲	۰,۱۸۹	۰,۲۰۱	۰,۱۶۴
M12	۰,۱۸۴	۰,۱۹۶	۰,۲۴۷	۰,۲۱۹	۰,۲۴۳	۰,۱۹۴	۰,۱۸۶	۰,۱۶۶
M13	۰,۱۷۶	۰,۱۸۹	۰,۲۳۲	۰,۲۱۳	۰,۲۳۸	۰,۲۰۵	۰,۱۸۹	۰,۱۶۸
M14	۰,۱۲۱	۰,۱۴۵	۰,۲۰۱	۰,۱۵۰	۰,۱۷۴	۰,۱۵۲	۰,۱۴۵	۰,۱۱۷
M15	۰,۱۸۱	۰,۲۰۵	۰,۲۵۹	۰,۲۲۵	۰,۲۶۷	۰,۲۲۲	۰,۲۰۹	۰,۱۸۲

جدول ۹. (ادامه): ماتریس ارتباطات کل (T)

عوامل	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15
M1	۰,۲۵۳	۰,۲۴۰	۰,۱۹۴	۰,۲۴۲	۰,۲۰۰	۰,۱۳۸	۰,۱۷۵
M2	۰,۲۰۸	۰,۳۰۰	۰,۱۹۳	۰,۲۷۲	۰,۲۱۷	۰,۱۴۵	۰,۱۸۰
M3	۰,۲۶۰	۰,۳۲۸	۰,۲۶۱	۰,۲۹۰	۰,۲۱۲	۰,۱۴۶	۰,۲۱۶
M4	۰,۲۳۹	۰,۲۹۸	۰,۲۵۸	۰,۲۴۸	۰,۱۹۰	۰,۱۴۰	۰,۱۸۲

شناسایی، مدل سازی و تحلیل سناریو عوامل کلیدی موفقیت در مدیریت نگهداری...؛ محمدقاسمی و نمازیان | ۲۴۵

عوامل	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15
M5	۰,۳۰۹	۰,۳۶۵	۰,۳۰۷	۰,۳۲۹	۰,۲۵۳	۰,۱۷۲	۰,۲۶۶
M6	۰,۲۱۷	۰,۲۱۴	۰,۱۹۱	۰,۲۱۶	۰,۱۹۴	۰,۱۳۷	۰,۱۷۸
M7	۰,۲۹۳	۰,۳۲۰	۰,۲۵۹	۰,۳۲۱	۰,۲۴۱	۰,۱۶۹	۰,۲۵۹
M8	۰,۲۶۹	۰,۲۸۵	۰,۲۴۵	۰,۲۸۴	۰,۲۳۴	۰,۱۴۶	۰,۲۲۵
M9	۰,۲۳۶	۰,۳۳۴	۰,۲۹۹	۰,۳۱۹	۰,۲۶۲	۰,۱۸۹	۰,۲۴۹
M10	۰,۳۰۷	۰,۲۸۲	۰,۳۰۱	۰,۳۴۵	۰,۲۶۸	۰,۱۸۴	۰,۲۶۹
M11	۰,۲۷۷	۰,۳۱۹	۰,۲۰۱	۰,۲۶۹	۰,۲۴۹	۰,۱۴۳	۰,۲۲۴
M12	۰,۲۴۴	۰,۲۵۲	۰,۲۱۶	۰,۱۹۹	۰,۲۱۵	۰,۱۵۱	۰,۲۰۵
M13	۰,۲۴۲	۰,۲۷۷	۰,۲۶۴	۰,۲۶۵	۰,۱۶۷	۰,۱۶۲	۰,۱۹۰
M14	۰,۱۹۸	۰,۲۱۵	۰,۱۶۸	۰,۲۱۱	۰,۲۲۷	۰,۰۸۸	۰,۱۴۱
M15	۰,۲۳۹	۰,۳۰۴	۰,۲۳۸	۰,۲۸۷	۰,۲۰۷	۰,۱۴۹	۰,۱۶۵

ماتریس به دست آمده با حفظ مقادیر بالاتر از مقدار آستانه (۰,۲۲) و حذف مقادیر کمتر از مقدار آستانه در جدول ۹، به عنوان ماتریس وزن نهایی عوامل کلیدی موفقیت FCM در نظر گرفته می شود. برای انجام مراحل نقشه شناختی فازی عوامل کلیدی موفقیت مدیریت نگهداری و تعمیرات هوشمند صنایع نفت و گاز در فضای صنعت نسل ۴,۰ از نرم افزار FCMapper استفاده شد. جدول ۱۰ نشان دهنده اطلاعات مدل نقشه شناختی فازی مربوطه است که مبنای تحلیل استاتیک برای تحلیل سناریوها می باشد.

جدول ۱۰. اطلاعات مدل نقشه شناختی فازی

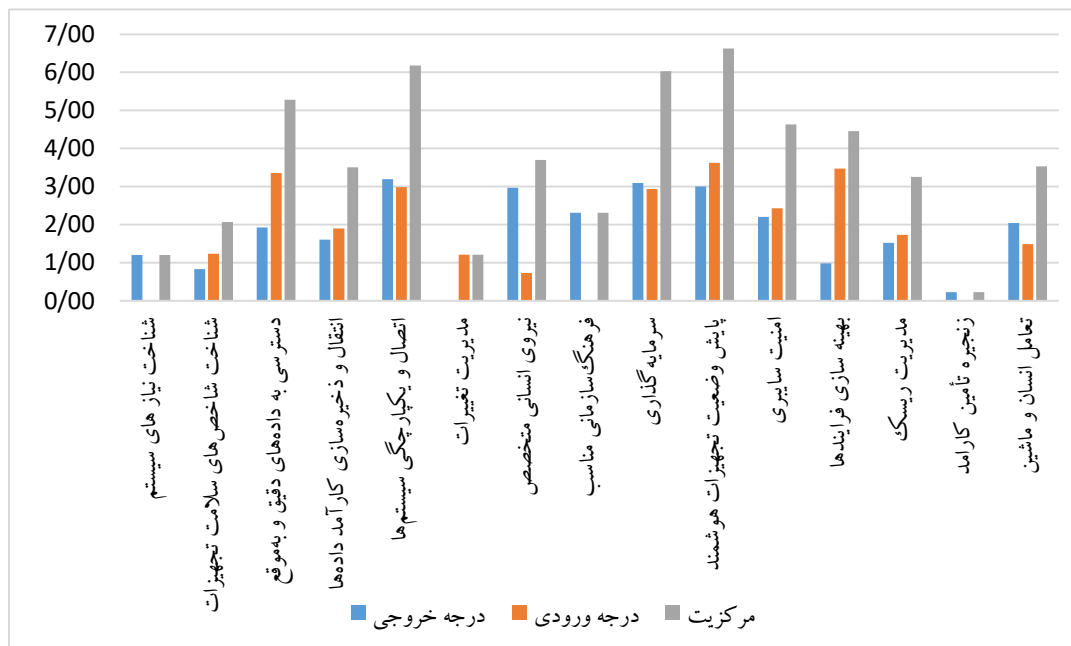
شاخص ها					
ردیف	عامل موفقیت	خروجی	ورودی	مرکزیت	نوع
۱	شناخت نیازهای سیستم	۱,۲	۰,۰۰	۱,۲۰	پیشران
۲	شناخت شاخص های سلامت تجهیزات	۰,۸۳	۱,۲۴	۲,۰۷	عادی
۳	دسترسی به داده های دقیق و به موقع	۱,۹۳	۳,۳۶	۵,۲۸	عادی
۴	انتقال و ذخیره سازی کارآمد داده ها	۱,۶۱	۱,۹۰	۳,۵۱	عادی
۵	اتصال و یکپارچگی سیستم ها	۳,۱۹	۲,۹۹	۶,۱۸	عادی
۶	مدیریت تغییرات	۰,۰۰	۱,۲۱	۱,۲۱	دریافت کننده
۷	نیروی انسانی متخصص	۲,۹۷	۰,۷۳	۳,۷۰	عادی
۸	فرهنگ سازمانی مناسب	۲,۳۱	۰,۰۰	۲,۳۱	پیشران
۹	سرمایه گذاری	۳,۱۰	۲,۹۳	۶,۰۳	عادی
۱۰	پایش وضعیت تجهیزات هوشمند	۳,۰۰	۳,۶۲	۶,۶۲	عادی

شاخص‌ها					
ردیف	عامل موفقیت	خروجی	ورودی	مرکزیت	نوع
۱۱	امنیت سایبری	۲,۲۰	۲,۴۳	۴,۶۳	عادی
۱۲	بهینه‌سازی فرایندها	۰,۹۹	۳,۴۷	۴,۴۶	عادی
۱۳	مدیریت ریسک	۱,۵۲	۱,۷۴	۳,۲۵	عادی
۱۴	زنجیره تأمین کارآمد	۰,۲۳	۰,۰۰۰	۰,۲۳	پیشران
۱۵	تعامل انسان و ماشین	۲,۰۴	۱,۴۹	۳,۵۳	عادی

بر اساس یافته‌های به‌دست آمده از جدول ۱۰، عوامل شماره ۵ (اتصال و یکپارچگی سیستم‌ها)، شماره ۹ (سرمایه‌گذاری) و شماره ۱۰ (پایش وضعیت تجهیزات هوشمند) دارای بیشترین درجه خروجی می‌باشند. درجه خروجی نشان‌دهنده میزان تأثیرگذاری عوامل بر یکدیگر است. بر همین اساس، عوامل شماره ۱۰ (پایش وضعیت تجهیزات هوشمند)، شماره ۱۲ (بهینه‌سازی فرایندها) و شماره ۳ (دسترسی به داده‌های دقیق و به‌موقع) دارای بیشترین درجه ورودی می‌باشند. درجه ورودی نشان‌دهنده میزان تأثیرپذیری عوامل از یکدیگر است.

شکل ۲. نتایج تحلیل FCM عوامل کلیدی موفقیت نگهداری و تعمیرات هوشمند صنایع نفت و گاز در فضای

صنعت نسل ۴، منبع: یافته‌های پژوهش



شناخت نیازهای سیستم: این عامل به درک دقیق از این موضوع اشاره دارد که سیستم نگهداری و تعمیرات هوشمند باید به چه اهدافی دست یابد و چه الزاماتی دارد. شامل اتخاذ استراتژی اثربخش نگهداری و تعمیرات، تعیین اهداف مشخص (مثل کاهش خرابی‌های ناگهانی یا افزایش عمر تجهیزات)، شناسایی تجهیزات و سیستم‌های حیاتی و تحلیل تأثیر نگهداری و تعمیرات بر سایر فرآیندهای سازمانی است. بدون شناخت صحیح نیازها، پیاده‌سازی فناوری‌ها بدون جهت‌گیری مشخص خواهد بود.

عملکردی تجهیزات، تعیین حالات خرابی و نقاط بحرانی آنها، تحلیل علل ریشه‌ای خرابی‌ها (RCA)، تعیین شرایط کاری ایمن، تحلیل سوابق خرابی و تعریف آستانه‌های بحرانی و نقاط تصمیم‌گیری برای هر شاخص اشاره دارد. عملاً یعنی «چگونه بفهمیم یک تجهیز در حال نزدیک شدن به خرابی است؟» این دانش پایه‌ای برای هر سیستم پایش هوشمند است.

داده‌های دقیق و به‌موقع: یکی از مهم‌ترین عوامل، کیفیت داده‌های ورودی است. این عامل شامل استفاده از حسگرهای با کیفیت و با فرکانس نمونه‌برداری بالا، دقت و صحت داده‌ها (عدم وجود خطای سیستماتیک)، کامل بودن داده‌ها (بدون نقص)، ثبات و سازگاری داده‌ها (عدم نوسان بی‌دلیل) و فیلتر کردن نویزهای مزاحم است. داده‌های اشتباه یا تأخیری، مبنای تصمیم‌گیری‌های اشتباه خواهند بود.

انتقال و ذخیره‌سازی کارآمد داده‌ها: صرف داشتن داده خوب کافی نیست؛ باید بتوان آن را به‌موقع به محل پردازش منتقل و به شکلی ایمن و مقیاس‌پذیر ذخیره کرد. این عامل شامل ذخیره‌سازی مقیاس‌پذیر و ایمن (برای حجم عظیم داده‌ها) و محاسبات لبه‌ای برای پردازش داده نزدیک به منبع تولید (کاهش تأخیر و بار شبکه) است.

اتصال و یکپارچگی سیستم‌ها: این عامل به‌عنوان یکی از تأثیرگذارترین عوامل شناسایی شده است. این عامل به وجود پلتفرم‌های داده یکپارچه، اتصال کارآمد حسگرها به پلتفرم‌های فناوری اطلاعات (IT)، سازگاری تجهیزات قدیمی با فناوری‌های جدید، قابلیت ارتقا و توسعه سیستم‌ها در آینده و وجود زیرساخت‌های ارتباطی کارآمد (شبکه‌های پایدار) اشاره دارد. بدون این یکپارچگی، سیستم به مجموعه‌ای از جزایر جدا از هم تبدیل می‌شود.

پایش وضعیت تجهیزات هوشمند: این عامل خروجی نهایی زنجیره جمع‌آوری و پردازش داده است. شامل استفاده از حسگرهای کارآمد و متنوع (ارتعاش، دما، فشار و...)، اطمینان از پایداری عملکردی حسگرها (کالیبراسیون و عملکرد بدون وقفه) و یکپارچگی داده‌ها از منابع ناهمگون (PLC، DCS، ورودی کاربر) برای ایجاد یک تصویر جامع از وضعیت لحظه‌ای و پیش‌رونده تجهیزات است.

امنیت سایبری: با افزایش اتصال سیستم‌ها، خطر حملات سایبری و نشت داده‌ها افزایش می‌یابد. این عامل شامل حفاظت از داده‌های حسگرها (رمزنگاری)، استفاده از شبکه‌های ارتباطی داخلی و ایزوله و مدیریت دسترسی و احراز هویت کاربران برای جلوگیری از ورود داده‌های مخرب یا غلط به سیستم است.

بهینه سازی فرایندها: داده ها و پایش ها زمانی ارزشمندند که منجر به بهبود فرآیندها شوند. این عامل شامل شناخت شاخص های کلیدی عملکرد (KPI) نگهداری و تعمیرات، ثبت دیجیتال تمام فعالیت ها، شبیه سازی و بهینه سازی سناریوهای مختلف، ارتقا و توسعه سیستم ها بر اساس بازخورد داده ها و برنامه ریزی پویا برای تخصیص منابع (نیروی انسانی، قطعات یدکی) است.

تعامل انسان و ماشین (M15): فناوری پیچیده باید برای کاربر نهایی قابل درک و استفاده باشد. این عامل شامل ایجاد داشبوردهای تعاملی و بصری، رعایت اصول امنیت و ارگونومی در به کارگیری فناوری ها و طراحی رابط های کاربری ساده و قابل فهم برای اپراتورها و مدیران است تا بتوانند به راحتی از خروجی سیستم های هوشمند استفاده کنند.

مدیریت تغییرات: پیاده سازی نگهداری هوشمند یک تحول اساسی است، نه یک ارتقای ساده فنی. این عامل شامل انعطاف پذیری و سازگاری سازمان با شرایط جدید، تعیین چشم انداز و استراتژی روشن، ریسک پذیری کنترل شده و انجام آزمایش های اولیه و شناسایی و پیش بینی موانع موفقیت برای کاهش مقاومت در برابر تغییر در بین کارکنان و ذی نفعان است.

نیروی انسانی متخصص: فناوری بدون انسان ماهر بی فایده است. این عامل شامل دانش صنعت ۴،۰ و مهارت های دیجیتال، توانایی تفسیر و تحلیل درست داده های پایش وضعیت، آموزش و توسعه مستمر مهارت های کارکنان، مدیریت دانش (حفظ تجارب پیشکسوتان) و دانش تخصصی در حوزه نفت و گاز است. ترکیب تجربه سنتی با مهارت های جدید دیجیتال کلیدی است.

فرهنگ سازمانی مناسب: فرهنگی که از تحول دیجیتال حمایت کند، ضروری است. این عامل شامل تعهد رهبری ارشد به تحول دیجیتال، تعیین چشم انداز و استراتژی روشن (تقویت روحیه همکاری و تعامل بین بخش ها (IT، عملیات، نگهداری)، حاکمیت داده (پذیرش این اصل که داده ها مبنای تصمیم گیری هستند) و شفافیت در ارائه گزارش های شاخص های کلیدی عملکرد (KPI) است.

سرمایه گذاری: بدون تأمین مالی کافی، هیچ یک از عوامل دیگر محقق نمی شوند. این عامل شامل تأمین تکنولوژی های سخت افزاری و نرم افزاری کارآمد، توسعه دانش صنعت ۴،۰ و مهارت های کارکنان (از طریق دوره های آموزشی) و استفاده از ظرفیت شرکت های دانش بنیان داخلی برای کاهش وابستگی و هزینه ها است.

مدیریت ریسک: هر تحولی با ریسک هایی همراه است. این عامل شامل شناسایی و ارزیابی جامع

ریسک‌های احتمالی (فنی، مالی، عملیاتی، امنیتی) و طراحی و اجرای برنامه‌های پدافند غیرعامل برای کاهش اثرات سوء ناشی از خرابی‌های احتمالی، حملات سایبری یا بلایای طبیعی است.

زنجیره تأمین کارآمد: سیستم نگهداری هوشمند زمانی می‌تواند اثربخش باشد که قطعات یدکی و ملزومات مورد نیاز در زمان مناسب در دسترس باشند. این عامل شامل مدیریت چرخه عمر قطعات (از خرید تا بازیافت)، مدیریت هوشمند انبار و موجودی کالا بر اساس پیش‌بینی‌های سیستم پایش وضعیت و مدیریت تأمین کنندگان با قابلیت اطمینان بالا برای جلوگیری از اختلال در زنجیره تأمین است.

در گام انتهایی پژوهش، به منظور طراحی سناریو، اقدام به انتخاب متغیرهای هدف گردید. متغیرهای هدف در این پژوهش سه عامل با بالاترین درجه اثرگذاری و سه عامل با بالاترین درجه اثرپذیری می‌باشد. برای عوامل انتخاب شده با بالاترین درجه اثرپذیری سه سناریو، به صورت سناریو رو به عقب و برای عوامل با بالاترین درجه اثرگذاری نیز سه سناریو به صورت سناریو روبه جلو شکل گرفت. این سناریوها با هدف بهبود تفهیم در مورد توالی عوامل مؤثر و در نهایت بهبود عملکرد آن‌ها طراحی شده‌اند. در سناریوهای روبه عقب در این بخش، در حقیقت هدف یافتن پاسخ این سؤال است که عاملی با تأثیرپذیری بالا از چه عوامل دیگری ناشی می‌شود و چگونه می‌توان برنامه‌ریزی مناسبی در جهت احیای آن ترتیب داد تا با دیدی سیستمی نسبت تصمیم سازی بهتر برای فعالین حوزه نفت و گاز، امکان بهبود در آن موفقیت مدیریت نگهداری و تعمیرات هوشمند، فراهم گردد. در سناریوی روبه جلو نیز هدف یافتن پاسخ این سؤال است که با شکل‌گیری مناسب یک عامل با تأثیرگذاری بالا در درون سیستم، چه عواملی تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

برای ترسیم سناریوهای روبه عقب، طبق شکل ۳ عوامل شماره ۱۰ (پایش وضعیت تجهیزات هوشمند)، شماره ۱۲ (بهینه‌سازی فراینده) و شماره ۳ (دسترسی به داده‌های دقیق و به موقع) انتخاب و مسیر سناریو برای بهبود این عوامل تعیین شد. به منظور ایجاد مسیر سناریو، ابتدا تک‌تک عامل‌های ورودی به صورت جداگانه صفر گردیده‌اند تا به عبارتی اثر سیستمی ناشی از ثابت شدن یک عامل در کل سیستم مورد بررسی قرار بگیرد.

جهت ترسیم توالی در سناریوی روبه عقب اول، ابتدا عامل شماره ۱۰ یا «پایش وضعیت تجهیزات هوشمند» با بیشترین میزان تأثیرپذیری انتخاب گردید و به همه عوامل تأثیرگذار بر آن به صورت جدا صفر داده شد و تغییرات حاصل بر روی عامل ذکر شده مورد بررسی قرار گرفت. با در نظر گرفتن

قدرمطلق تغییرات به وجود آمده، عامل شماره ۵ (اتصال و یکپارچگی سیستم‌ها) به عنوان عاملی که بیشترین تأثیرگذاری را بر عامل پایش وضعیت تجهیزات هوشمند دارد، مورد شناسایی قرار گرفت. حال مطابق مرحله قبل، با محور قراردادن عامل شماره ۵ (اتصال و یکپارچگی سیستم‌ها) اقدام به ایجاد ادامه مسیر سناریو و تکرار فرایند شده است. با در نظر گرفتن قدرمطلق تغییرات به وجود آمده، عامل شماره ۱۰ (پایش وضعیت تجهیزات هوشمند) به عنوان عاملی که بیشترین تأثیرگذاری را بر اتصال و یکپارچگی سیستم‌ها دارد، مورد شناسایی قرار گرفت. با توجه به اینکه در این بخش، عامل پایش وضعیت تجهیزات هوشمند به عنوان عاملی که بیشترین تأثیرگذاری را بر اتصال و یکپارچگی سیستم‌ها دارد مجدداً در چرخه سناریو دارد شناسایی شد و این عامل در مرحله قبلی وجود داشته و به اصطلاح حلقه تشکیل گردیده است، ادامه فرایند سناریو نویسی متوقف می گردد.

جدول ۱۱. محاسبات اولین سناریو رو به عقب عوامل کلیدی موفقیت مدیریت نگهداری و تعمیرات هوشمند

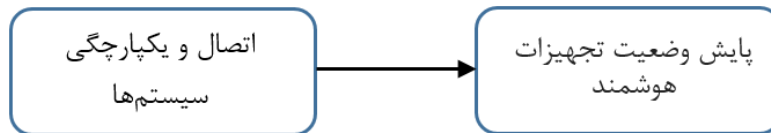
صنایع نفت و گاز در فضای صنعت نسل ۴،۰

میزان تأثیر	عامل متأثر	عامل مؤثر	میزان تأثیر	عامل متأثر	عامل مؤثر
-۰,۰۰۴۳۱۸۶۸	اتصال و یکپارچگی سیستم‌ها	۱	-۰,۰۰۲۵۵۵۸۴	پایش وضعیت تجهیزات هوشمند	۱
-۰,۰۰۸۲۷۰۶۳		۳	-۰,۰۰۴۴۳۸۹۸		۲
-۰,۰۰۷۸۰۸۸۴		۴	۰,۰۰۵۹۹۱۵۳		۳
-۰,۰۰۷۲۶۵۸۳		۷	-۰,۰۰۴۸۸۸۰۶		۴
-۰,۰۰۵۲۰۳۶۳		۸	-۰,۰۰۷۴۰۴۴۳		۵
-۰,۰۰۱۰۳۴۰۱۳		۹	-۰,۰۰۵۰۱۷۶۵		۷
-۰,۰۰۱۱۱۰۹۳۳		۱۰	-۰,۰۰۳۲۷۸۸۰		۸
-۰,۰۰۹۰۴۶۰۵		۱۱	۰,۰۰۶۷۴۱۸۶		۹
-۰,۰۰۷۰۲۳۹۸		۱۲	-۰,۰۰۵۷۳۹۴۷		۱۱
-۰,۰۰۶۵۰۱۱۵		۱۳	-۰,۰۰۴۱۸۴۲۳		۱۲
-۰,۰۰۷۳۴۸۷۲		۱۵	-۰,۰۰۴۳۸۳۷۹		۱۳
			-۰,۰۰۴۸۵۸۲۱		۱۵

شکل ۴ نشان دهنده مسیر سناریوی روبه عقب اول است. اتصال و یکپارچگی سیستم‌ها یک عامل کلیدی مهم در سیستم نگهداری و تعمیرات هوشمند است که با افزایش قابلیت‌های سیستم در جمع آوری، انتقال و تجزیه و تحلیل داده‌ها پایش و وضعیت تجهیزات هوشمند را ارتقا و نتیجتاً موفقیت سیستم مدیریت

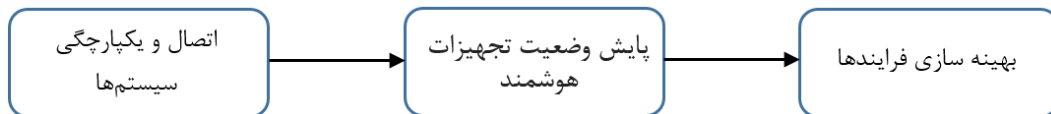
نگهداری و تعمیرات هوشمند را بهبود می‌بخشد.

شکل ۴. مسیر سناریو رو به عقب اول عوامل کلیدی موفقیت مدیریت نگهداری و تعمیرات هوشمند صنایع نفت و گاز در فضای صنعت نسل ۰.۴

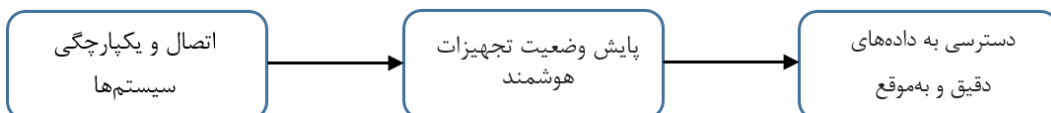


فرآیند ذکر شده برای ترسیم توالی سناریوی روبه‌عقب دوم با محور قراردادن عامل بهینه‌سازی فرایندها تکرار گردید. سناریو رو به عقب اول جزئی از سناریو رو به عقب دوم است که می‌تواند با تأثیر بر روی بهینه‌سازی فرآیندها امکان موفقیت سیستم را افزایش دهد.

شکل ۵. مسیر سناریو رو به عقب دوم عوامل کلیدی موفقیت مدیریت نگهداری و تعمیرات هوشمند صنایع نفت و گاز در فضای صنعت نسل ۴.۰



شکل ۶. مسیر سناریو رو به عقب سوم عوامل کلیدی موفقیت مدیریت نگهداری و تعمیرات هوشمند صنایع نفت و گاز در فضای صنعت نسل ۴.۰



در ادامه پژوهش، اقدام به طراحی سناریوی روبه‌جلو گردید. سناریوی روبه‌جلو برای پیش‌بینی رفتار سایر عوامل در صورت تغییر در یک بعد با درجه اثربخشی بالا توسعه داده می‌شود. در حقیقت در این بخش، این سؤال مطرح است که در صورت بهبود در عوامل شماره ۵ (اتصال و یکپارچگی سیستم‌ها)، شماره ۹ (سرمایه‌گذاری) و شماره ۱۰ (پایش وضعیت تجهیزات هوشمند) - که به‌عنوان عوامل با بالاترین درجه اثربخشی شناخته شده‌اند - درون سیستم چه اتفاقاتی می‌افتد و یا به‌اصطلاح، سیستم با چه تغییراتی همراه می‌شود. برای ترسیم اولین سناریوی روبه‌جلو در ابتدا عامل اتصال و یکپارچگی سیستم‌ها با صفر قراردادن آن، در سناریو ثابت می‌شود تا میزان اثراتی که بر کل چرخه می‌گذارد، مورد بررسی قرار گیرد. نتایج

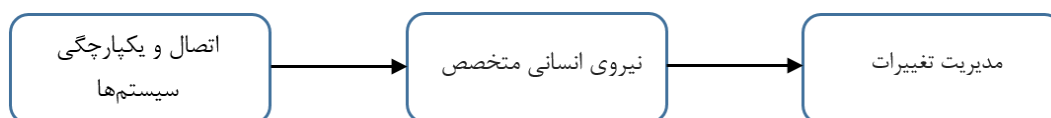
بیانگر آن است که بیشترین تغییر در عامل نیروی انسانی متخصص صورت پذیرفته است. حال مطابق مرحله قبل، با محور قرار دادن عامل نیروی انسانی متخصص، اقدام به ایجاد ادامه مسیر سناریو شده است. مشاهده گردید که عامل مدیریت تغییرات بیشترین تأثیر را از عامل نیروی انسانی متخصص می پذیرد. از آنجایی که عامل مدیریت تغییرات بر هیچ عامل دیگری تأثیرگذار نیست و به عنوان یک عامل دریافت کننده در سیستم شناسایی شده است، فرایند متوقف گردید. شکل ۷ نمایانگر مسیر اولین سناریوی روبه جلو است.

جدول ۱۲. محاسبات اولین سناریو روبه جلو عوامل کلیدی موفقیت مدیریت نگهداری و تعمیرات هوشمند صنایع نفت و گاز در فضای صنعت نسل ۴،۰

عامل متاثر	عامل مؤثر	میزان تأثیر	عامل متاثر	عامل مؤثر	میزان تأثیر	عامل متاثر	عامل مؤثر
۲	اتصال و یکپارچگی سیستم ها	۰,۰۳۱۷۲۰۵۲	نیروی انسانی متخصص	۲	۰,۰۲۴۸۵۸۷۴	تأثیر	میزان تأثیر
۳		۰,۰۰۸۵۰۳۶۸		۳	۰,۰۰۵۳۹۰۲۸		
۴		۰,۰۲۳۸۰۳۳۰		۴	۰,۰۱۴۱۷۳۱۸		
۶		۰,۰۳۶۰۳۲۴۶		۵	۰,۰۰۷۲۶۵۸۳		
۷		۰,۰۴۳۰۵۳۶۹		۶	۰,۰۲۸۹۹۱۵۶		
۹		۰,۰۱۱۰۴۳۰۱		۹	۰,۰۰۸۱۲۷۷۸		
۱۰		۰,۰۰۷۴۰۴۴۳		۱۰	۰,۰۰۵۰۱۷۶۵		
۱۱		۰,۰۱۶۰۳۵۰۷		۱۱	۰,۰۱۰۵۵۹۲۵		
۱۲		۰,۰۰۷۵۶۰۷۲		۱۲	۰,۰۰۵۷۱۸۷۸		
۱۳		۰,۰۲۴۴۸۵۵۳		۱۳	۰,۰۱۸۳۹۸۴۰		
۱۵		۰,۰۳۰۲۳۷۲۳		۱۵	۰,۰۲۳۲۹۸۳۷		

شکل ۷. مسیر سناریو رو به جلو اول عوامل کلیدی موفقیت مدیریت نگهداری و تعمیرات هوشمند صنایع نفت و

گاز در فضای صنعت نسل ۴،۰



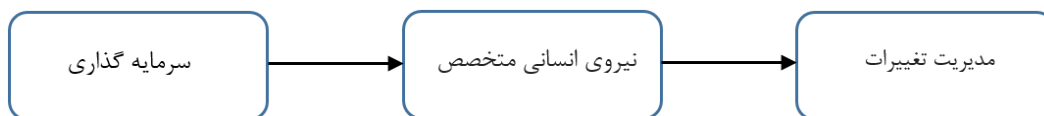
اتصال و یکپارچگی سیستم ها، نیروی انسانی متخصص را با ابزارها و داده های جدید توانمند ساخته و

باتکیه بر داده‌های صحیح و بادقت، نقش تحلیل‌گری و تصمیم‌سازی نیروی انسانی را پررنگ‌تر می‌کند. این دیدگاه جدید، نیروی انسانی متخصص را به موتور محرک و حامی اصلی مدیریت تغییرات تبدیل می‌کند؛ چراکه آن‌ها با درک عمیق‌تر نیازها و قابلیت‌های فناوری‌های نسل ۴,۰، سازمان را به سمت پذیرش و اجرای موفقیت‌آمیز تحولات هدایت می‌کنند.

دومین سناریوی روبه‌جلو بیانگر آن است که سرمایه‌گذاری مناسب بر نیروی انسانی (مانند آموزش مهارت‌های دیجیتال و صنعت ۴,۰) مستقیماً باعث ارتقاء توانمندی‌ها و دانش آن‌ها می‌شود. سپس، این نیروی انسانی متخصص که اکنون مجهز به مهارت‌های لازم و درک عمیق‌تری از فناوری‌های نوین است، به عنصری کلیدی در مدیریت تغییرات تبدیل می‌شود؛ زیرا با اطمینان و اثربخشی بیشتری می‌توانند فرآیندهای تحول را هدایت کرده، مقاومت‌ها را کاهش دهند و نوآوری را در سازمان ترویج دهند.

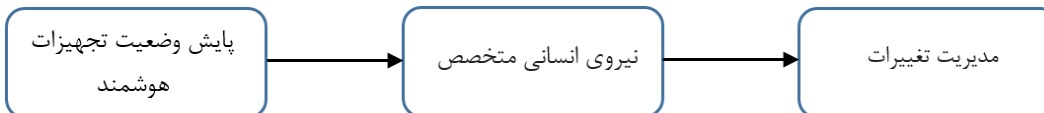
شکل ۸. مسیر سناریو روبه‌جلو دوم عوامل کلیدی موفقیت مدیریت نگهداری و تعمیرات هوشمند صنایع نفت و

گاز در فضای صنعت نسل ۴,۰



شکل ۹. مسیر سناریو روبه‌جلو سوم عوامل کلیدی موفقیت مدیریت نگهداری و تعمیرات هوشمند صنایع نفت و گاز در

فضای صنعت نسل ۴,۰



بحث و نتیجه‌گیری

مدیریت نگهداری و تعمیرات هوشمند با تکیه بر فناوری‌های صنعت نسل ۴,۰ تأثیر زیادی در حفظ قابلیت اطمینان سیستم و توان تولید صنایع نفت و گاز دارد. از این رو لازم است تا عوامل کلیدی موفقیت مدیریت نگهداری و تعمیرات هوشمند صنایع نفت و گاز در فضای صنعت نسل ۴,۰ شناسایی گردد. در این پژوهش برای شناسایی عوامل کلیدی موفقیت از مصاحبه نیمه ساختاریافته و تحلیل مضمون استفاده شد. نتایج این فاز بیانگر ۵۸ کد اولیه است که در قالب ۱۵ عامل کلیدی موفقیت گروه‌بندی شدند. از عوامل شناسایی شده تعدادی از آن‌ها در مقالات مرتبط با مدیریت نگهداری و تعمیرات هوشمند مشاهده گردید.

به‌عنوان مثال سرمایه‌گذاری، نیروی انسانی متخصص و اتصال و یکپارچگی سیستم‌ها در پژوهش Stefanini و همکاران (۲۰۲۲) و دسترسی به داده‌های دقیق و به‌موقع در پژوهش (Nordal & Thalji ۲۰۲۰) ملاحظه گردید. در فاز بعدی پژوهش به‌منظور تحلیل بیشتر و رتبه‌بندی عوامل شناسایی شده از روش‌های دیمتل و نقشه شناختی فازی استفاده شد. نتایج بیانگر آن بود که عوامل پایش وضعیت تجهیزات هوشمند، اتصال و یکپارچگی سیستم‌ها و سرمایه‌گذاری دارای بیشترین درجه مرکزیت و بالاترین شدت ارتباط با سایر عوامل موفقیت استخراج شده در پژوهش هستند. نتایج تحلیل سناریوهای روبه‌عقب بیانگر اهمیت «اتصال و یکپارچگی سیستم‌ها» و «پایش وضعیت تجهیزات هوشمند» است و تحلیل سناریوهای روبه‌جلو بیانگر اهمیت «اتصال و یکپارچگی سیستم‌ها»، «سرمایه‌گذاری» و «پایش وضعیت تجهیزات هوشمند» است. موفقیت در پیاده‌سازی مدیریت نگهداری و تعمیرات هوشمند در صنایع نفت و گاز که در فضای صنعت نسل چهارم تبلور می‌یابد، فراتر از یک انتخاب فناورانه صرف است؛ این موفقیت یک تحول جامع سیستمی است که بقا و رقابت‌پذیری سازمان را در دوران مدرن تضمین می‌کند. عوامل کلیدی موفقیت شناسایی شده در این پژوهش را می‌توان به سه دسته کلی فنی، سازمانی و محیطی تقسیم‌بندی کرد که دستیابی به موفقیت مدیریت نگهداری و تعمیرات هوشمند صنایع نفت و گاز، به‌شدت به هم‌افزایی بی‌وقفه و ارتباطات ارگانیک میان این سه دسته عوامل کلیدی وابسته است.

عوامل فنی هسته اصلی این تحول را تشکیل می‌دهند. این عوامل زیربنای تولید، انتقال و تحلیل داده‌های حیاتی از وضعیت تجهیزات هستند که پایه و اساس هر تصمیم‌گیری هوشمندانه‌ای را فراهم می‌کنند. از این رو، مدیران صنایع نفت و گاز باید یکپارچگی و کیفیت داده را محور اصلی قرار دهند؛ به‌جای اتخاذ ابزارهای منفرد و جزیره‌ای، بر پیاده‌سازی پلتفرم‌های داده یکپارچه تمرکز کنند که از حسگرهای باکیفیت و با فرکانس بالا تغذیه می‌شوند. این رویکرد، دقت، کامل بودن و امنیت داده‌ها را در تمامی مراحل جمع‌آوری، انتقال و ذخیره‌سازی تضمین می‌کند. همچنین، مدرن‌سازی زیرساخت‌های ارتباطی و پردازشی از طریق سرمایه‌گذاری در شبکه‌های پایدار و راه‌حل‌های ذخیره‌سازی مقیاس‌پذیر، همراه با یک رویکرد جامع امنیت سایبری برای محافظت از داده‌های حسگرها و سیستم‌های پایش، حیاتی است. درنهایت، برای بهره‌برداری حداکثری از این داده‌ها، ضروری است تجربه کاربری را بهبود بخشید؛ با طراحی داشبوردهای تعاملی و ارگونومیک، تعامل انسان با ماشین را تسهیل کرد تا نیروی انسانی بتواند به‌آسانی داده‌ها را تفسیر، شاخص‌های سلامت تجهیزات را درک و از سیستم بهره‌برداری کند.

عوامل سازمانی بستری حیاتی را فراهم می‌آورند که در آن فناوری‌های نوین می‌توانند به شکل مؤثر پذیرفته، پیاده‌سازی و بهره‌برداری شوند. این عوامل شامل رهبری، فرهنگ سازمانی، نیروی انسانی متخصص، فرآیندهای بهینه و ظرفیت مدیریت تغییرات است. مدیران باید نقش رهبری تحول‌آفرین را ایفا کنند؛ با تعهد کامل به تحول دیجیتال، چشم‌اندازی روشن برای نگهداری و تعمیرات هوشمند تعریف کرده، استراتژی‌های اثربخش را اتخاذ نمایند و منابع لازم را تخصیص دهند تا تغییرات با کمترین مقاومت مواجه شوند. سرمایه‌گذاری مستمر در توانمندسازی نیروی انسانی از طریق آموزش مهارت‌های دیجیتال، تحلیل داده‌ها، تفسیر نتایج پایش وضعیت و دانش تخصصی صنعت نسل چهارم برای تمامی پرسنل فنی و مدیریتی ضروری است. هم‌زمان، سیستم‌های مدیریت دانش را برای حفظ و انتقال تجربه تقویت کنند. فرهنگ سازمانی باید داده‌محور و مشارکتی باشد؛ با ترویج شفافیت در ارائه اطلاعات و نتایج (KPI ها)، تقویت روحیه همکاری بین بخش‌های مختلف (IT، عملیات، نگهداری و تعمیرات) و ایجاد فضایی برای ریسک‌پذیری کنترل‌شده و نوآوری، حاکمیت داده به بهترین شکل صورت می‌پذیرد. همچنین، تغییرات باید با تدوین برنامه‌های مدون برای شناسایی و پیش‌بینی موانع موفقیت، کاهش مقاومت در برابر تغییر و هدایت سازمان به سمت پذیرش فناوری‌های جدید توسط کارکنان و ذی‌نفعان هدایت شود. درنهایت، فرایندهای عملیاتی باید بهینه‌سازی شوند؛ یعنی با استفاده از داده‌های هوشمند، فرایندهای نگهداری و تعمیرات به صورت پویا بازبینی شود، از شبیه‌سازی برای سناریوسازی بهره گرفته شود و تخصیص منابع به صورت پویا انجام پذیرد. مدیریت ریسک نیز باید از طریق شناسایی و ارزیابی جامع ریسک‌ها، همراه با برنامه‌های پدافند غیرعامل، به صورت یکپارچه در فرایندهای سازمانی گنجانده شود.

و درنهایت، عوامل محیطی، به‌ویژه زنجیره تأمین کارآمد، نقش حمایتی و حیاتی در پایداری و اثربخشی عملیات نگهداری و تعمیرات ایفا می‌کنند. مدیران باید زنجیره تأمین را هوشمند و مقاوم سازند؛ روابط استراتژیک با تأمین‌کنندگان با قابلیت اطمینان بالا ایجاد کنند. از فناوری برای پیش‌بینی دقیق نیاز به قطعات یدکی (با توجه به داده‌های پایش وضعیت)، مدیریت بهینه انبار و موجودی کالا و بهینه‌سازی چرخه عمر قطعات استفاده کنند تا پایداری عملیات و زمان در دسترس بودن تجهیزات تضمین شود و ریسک‌های خارجی کاهش یابند.

به‌طور خلاصه، مدیریت نگهداری و تعمیرات هوشمند در صنایع نفت و گاز، یک اکوسیستم پیچیده است که در آن ضعف در هر یک از این حوزه‌ها می‌تواند تمامی سرمایه‌گذاری‌ها و تلاش‌ها را بی‌ثمر

سازد. موفقیت زمانی حاصل می شود که مدیران با دید جامع، بر تقویت ارتباط و هم افزایی میان عوامل یادشده تمرکز کنند. این رویکرد یکپارچه، کلید بهره وری حداکثری، ایمنی و پایداری در یکی از حیاتی ترین صنایع جهان است.

صنایع نفت و گاز به دلیل ماهیت دارایی محور و عملیات پیچیده کاندیدای خوبی برای بهره مندی از نگهداری و تعمیرات هوشمند هستند. اما انتقال به این مدل هوشمند با چالش های متعددی روبرو است و لذا به همین دلیل شناسایی، طبقه بندی و ارائه راهکارهای مواجهه با چالش های هوشمندسازی مدیریت نگهداری و تعمیرات صنایع نفت و گاز مسیر مطالعات آتی قابل توجهی را می گشاید. همچنین با توجه به نقش پررنگ نیروی انسانی متخصص در موفقیت سیستم نگهداری و تعمیرات، لازم است تا شایستگی های نیروی انسانی در این زمینه موردبررسی و تحقیق قرار گیرد.

تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه تعارض منافع ندارند.

ORCID

Mohammadreza Mohammadghasemi
Ali Namazian



<http://orcid.org/0009-0004-3296-7897>



<http://orcid.org/0000-0001-5957-0620>

منابع

۱. آذر، عادل؛ خسروانی، فرزانه؛ جلالی، رضا (۱۳۹۵). تحقیق در عملیات نرم، رویکردی در عملیات نرم، رویکردهای ساختاری مسئله. چاپ دوم، تهران: انتشارات مدیریت صنعتی
۲. ابراهیمی، عباس؛ طاهری، فاطمه. (۲۰۲۴). شناسایی عوامل مؤثر بر توسعه فناوری‌های نوین در صنعت نفت ایران. چشم‌انداز حسابداری و مدیریت، ۷(۹۶)، ۲۶-۴۴.
۳. رکن‌الدینی، سید علیرضا؛ عندلیب اردکانی، داود. (۱۴۰۳). تحلیل عوامل سازمانی مؤثر بر پذیرش فناوری‌های صنعت ۴.۰ در شرکت‌های کوچک و متوسط. چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۴(۲)، ۸۵-۱۱۲.
۴. شکوه یار، سجاد؛ حقیقت منفرد، جلال؛ سربی، سامان. (۱۴۰۰). سیاست‌گذاری نگهداری و تعمیرات پیشگویانه در مراکز فرآوری نفت و گاز. فصلنامه مطالعات مدیریت راهبردی، ۱۲(۴۸)، ۶۵-۸۳.

References

5. Bamakan, S. M. H., Malekinejad, P., Ziaieian, M., & Motavali, A. (2021). Bullwhip effect reduction map for COVID-19 vaccine supply chain. *Sustainable Operations and Computers*, 2, 139-148. doi: <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2021.07.001>
6. Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative research in psychology*, 3(2), 77-101. doi: <https://doi.org/10.1191/1478088706qp0630a>
7. Bhatia, M. S., & Kumar, S. (2020). Critical success factors of industry 4.0 in automotive manufacturing industry. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 69(5), 2439-2453.
8. BP. (2017). Energy outlook 2017. Retrieved from <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/energy-outlook-2017/bp-energy-outlook-2017.pdf>
9. Byington, C. S., & Garga, A. K. (2017). Data fusion for developing predictive diagnostics for electromechanical systems. In *Handbook of Multisensor Data Fusion* (pp. 721-758). CRC Press.
10. Cachada, A., Barbosa, J., Leitão, P., Gcraldcs, C. A., Deusdado, L., Costa, J., ... & Romero, L. (2018, September). Maintenance 4.0: Intelligent and predictive maintenance system architecture. In *2018 IEEE 23rd international conference on emerging technologies and factory automation (ETFA)* (Vol. 1, pp. 139-146). IEEE. doi: 10.1109/ETFA.2018.8502489
11. Creswell, J. W. (2012). Educational research: Planning, conducting, and evaluating quantitative and qualitative research (4th ed.). Boston, MA: Pearson.
12. Dhaliwal, D. S. (1986). The use of AI in maintaining and operating complex engineering systems. *Expert systems and Optimisation in Process Control*, A. Mamdani and JE Pstachion, eds, 28-33.

13. Dua, S. (2025). Exploring the experiences of oil and gas industry executives in embracing industry 4.0: Insights, challenges, and strategies. *Computers & Industrial Engineering*, 208, 111377. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2025.111377>
14. Erkan, E. F. (2023). An integrated Fuzzy DEMATEL and Fuzzy Cognitive Maps approach for the assessing of the Industry 4.0 Model. *Journal of Engineering Research*, 11(2B). doi: <https://doi.org/10.36909/jer.12303>
15. Guba, E. G., & Lincoln, Y. S. (1982). Epistemological and methodological bases of naturalistic inquiry. *Ectj*, 30(4), 233-252.
16. Kahn, H., & Wiener, A. (1967). *The Year 2000; a framework for speculation on the next thirty-three years*. Macmillan, 431 pages
17. Kumar, U., & Galar, D. (2018). Maintenance in the era of industry 4.0: issues and challenges. *Quality, IT and business operations: modeling and optimization*, 231-250. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-10-5577-5_19
18. Liyanage, K., & Chinedu, O. An Industry 4.0 Maturity and Readiness for Condition-Based Maintenance in O&G Companies: a Delphi Study-Based Approach for Development and Validation. *6th European Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Lisbon, Portugal, 18-20 July 2023
19. Mojarad, A. A. S., Atashbari, V., & Tantau, A. (2018, March). Challenges for sustainable development strategies in oil and gas industries. In *Proceedings of the International Conference on Business Excellence* (Vol. 12, No. 1, pp. 626-638). Sciendo. doi: 10.2478/picbe-2018-0056
20. Nordal, H., & El- Thalji, I. (2021). Modeling a predictive maintenance management architecture to meet industry 4.0 requirements: A case study. *Systems Engineering*, 24(1), 34-50. doi: <https://doi.org/10.1002/sys.21565>
21. Osunsanmi, T. O., Okafor, C. C., & Aigbavboa, C. O. (2023). Critical success factors for implementing smart maintenance in the fourth industrial revolution era: a bibliometric analysis within the built environment. *Journal of Facilities Management*, (ahead-of-print). doi: <https://doi.org/10.1108/ECAM-08-2024-1043>
22. Rojek, I., Jasiulewicz-Kaczmarek, M., Piechowski, M., & Mikołajewski, D. (2023). An artificial intelligence approach for improving maintenance to supervise machine failures and support their repair. *Applied Sciences*, 13(8), 4971. doi: <https://doi.org/10.3390/app13084971>
23. Sivanuja, T., & Sandanayake, Y. G. (2022). Strategies to Successfully Implement Industry 4.0 Concept for Predictive Maintenance in Facilities Management. *FARU Journal*, 9(2). doi: 10.4038/faruj.v9i2.165
24. Stefanini, R., Tancredi, G. P. C., Vignali, G., & Monica, L. (2022). Industry 4.0 and intelligent predictive maintenance: a survey about the advantages and constraints in the Italian context. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 29(5), 37-49. doi: <https://doi.org/10.1108/JQME-12-2021-0096>
25. Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2009). *Research methods for business students* (5th ed.). London: Prentice Hall.

26. Tang, S., Zhu, K., & Guo, P. (2023). Research on quantitative assessment and dynamic reasoning method for emergency response capability in prefabricated construction safety. *Buildings*, 13(9), 2311. doi: <https://doi.org/10.3390/buildings13092311>
27. Tortorella, G. L., Fogliatto, F. S., Cauchick-Miguel, P. A., Kurnia, S., & Jurburg, D. (2021). Integration of industry 4.0 technologies into total productive maintenance practices. *International Journal of Production Economics*, 240, 108224.

References [In Persian]

1. Azar, A., Khosravani, F., & Jalali, R. (2016). *Soft operations research: A structural approach to problem-solving* (2nd ed.). Tehran: Industrial Management Institute Press. [in Persian]
2. Ebrahimi, A., & Taheri, F. (2024). Identification of factors influencing the development of new technologies in Iran's oil industry. *Accounting and Management Perspective*, 7(96), 26–44. [in Persian]. https://www.jamv.ir/article_213404.html
3. Rokneddini, S. A., & Andalib Ardakani, D. (2024). Analysis of organizational factors affecting the adoption of Industry 4.0 technologies in small and medium-sized enterprises. *Industrial Management Perspective*, 14(2), 85–112. <https://doi.org/10.48308/JIMP.14.2.85> [in Persian]
4. Shokoohyar, S., Haghighat Monfared, J., & Sarbi, S. (2021). Policy-making for predictive maintenance in oil and gas processing centers. *Strategic Management Studies Quarterly*, 12(48), 65–83. <https://doi.org/20.1001.1.22286853.1400.12.48.13.3> [in Persian]

استناد به این مقاله: محمدقاسمی، محمدرضا، نمازیان، علی. (۱۴۰۵). شناسایی، مدل‌سازی و تحلیل سناریو عوامل کلیدی موفقیت در مدیریت نگهداری و تعمیرات هوشمند صنایع نفت و گاز در فضای صنعت نسل ۴، ۰، مدیریت صنعتی، ۲۴(۸۰)، ۶۵–۸۳. DOI: 10.22054/jims.2026.89475.3002



Industrial Management Studies is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.