Ind. Manag. Persp. 2025, 15(4), 9-34; doi: 10.48308/JIMP.15.4.9

Industrial Management Perspective

Journal hompage: https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=en

Original Article

A hierarchical cause-effect analysis of risk factors in the petrochemical industry, and their assessment using the cloud model approach

Seyed Ali Moosavi Nejad Moghadam*
Hossein Safari**
Ali Bayati***

Extended Abstract

Introduction and Objectives: The petrochemical industry faces numerous risks due to its technical, economic, and environmental complexities, including financial challenges, sanctions, and social issues, which can lead to significant losses in project cost, time, quality, and scope. Effective risk management in this sector not only mitigates these losses but also plays a critical role in enhancing project efficiency and success. However, inadequate or incorrect risk management can result in project delays or reduced productivity. Thus, accurate risk identification and assessment are essential as the foundational steps in the risk management process. This study aims to provide a comprehensive framework for analyzing and evaluating risks in petrochemical projects. By focusing on mapping the hierarchical network of risk interactions and prioritizing them, the research seeks to develop a practical tool for improving risk management and preventing potential damages. The objective is to offer actionable insights for project managers to make informed decisions and manage risks effectively across various stages of the project lifecycle.

Research Methodology: This study adopts a positivist paradigm, designed as an applied and descriptive-survey research. Quantitative data were collected using structured questionnaires and credible documents from a target population comprising risk management experts and senior petrochemical managers with practical and theoretical experience in the field. A two-stage hybrid approach was employed for data analysis. In the first stage, the DEMATEL-ISM model was used to identify causal relationships between risks and construct their hierarchical structure, calculating metrics such as centrality (e.g., 4.39 for C1) and causality (e.g., 0.607 for C1) to determine the importance and causal role of each risk. In the second stage, a combination of FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) and CM-TOPSIS was applied to quantitatively assess and rank risks based on factors like severity, occurrence, and detectability. The process was validated through expert judgment in two phases to ensure accuracy and reliability. This hybrid approach provided a deeper and more multidimensional perspective compared to traditional methods like FMEA alone.

Received: Jun. 04, 2024; Revised: Aug. 24, 2024; Accepted: Aug. 05, 2025; Published Online: Aug. 09, 2025.

* Ph.D. student in Operation Management and Decision Science Department, College of Management, University of Tehran, Tehran, Iran.

** Professor of Technology and Innovation Management Department, College of Management, University of Tehran, Tehran, Iran.
Corresponding Author: hsafari@ut.ac.ir

*** Ph.D. graduate in of Technology and Innovation Management Department, College of Management, University of Tehran, Tehran, Iran.

Ind. Manag. Persp. 2025, 15(4), 9-34; doi: 10.48308/JIMP.15.4.9

Industrial Management Perspective

Journal hompage: https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=en

Original Article

Findings: The study yielded two key findings. First, DEMATEL-ISM analysis produced a hierarchical network illustrating the causal relationships among risks. This network revealed that risks such as “lack of attention to regional welfare and social issues” (C5) and “failure to document lessons learned” (C10) act as root causes, influencing higher-level risks like “financial challenges” (C1) and “equipment supply issues” (C9). Second, the FMEA-CM-TOPSIS assessment prioritized risks, identifying C1 (with a closeness coefficient of 0.758511) and C9 (CC of 0.562901) as the most critical risks requiring active management. Path analysis further showed that C5 and C10 exacerbate overall project risk by impacting intermediate factors (e.g., C1 and C9). Compared to traditional FMEA, this hybrid method offered greater precision and detail in analyzing interdependencies, enabling the identification of key vulnerabilities in the project structure.

Conclusion: By integrating DEMATEL-ISM and FMEA-CM-TOPSIS, this research presents an innovative framework for risk identification, analysis, and evaluation in petrochemical projects. The approach enhances the prioritization of critical risks and, through path analysis, enables data-driven decision-making for managers, ultimately reducing losses and boosting efficiency. Future research could explore the probability of risk occurrence using historical data and impact networks. Additionally, leveraging data mining to automate risk identification and prediction based on past industry patterns could further improve risk management processes. This study marks a significant step toward advancing risk management in the petrochemical sector, paving the way for more sophisticated future investigations.

Keywords: Petrochemical risk management, Interpretive Structural Modelling (ISM), Dematel, Failure Mode And Effects Analysis (FMEA), Cloud Model (CM).

How to Cite: Moosavi Nejad Moghadam, Seyed Ali; Safari, Hossein; Bayati, Ali (2025). A hierarchical cause-effect analysis of risk factors in the petrochemical industry, and their assessment using the cloud model approach. *Ind. Manag. Persp.*, 15(4), 9-34 *(In Persian)*.

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

چشم‌انداز مدیریت صنعتي، ۱۴۰۴، دوره ۱۵، شماره ۴، صص ۹ - ۳۴، doi: 10.48308/JIMP.15.4.9

چشم‌انداز مدیریت صنعتي

Journal hompage : https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=en

نوع مقاله: پژوهشی

تجزیه و تحلیل شبکهٔ تأثیرات سلسله‌مراتبی و ارزیابی ریسک‌های صنعت پتروشیمی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره ابری

سید علی موسوی نژاد مقدم*

حسین صفری**

علی بیاتی***

چکیده گسترده

مقدمه و اهداف: صنعت پتروشیمی به دلیل پیچیدگی‌های فنی، اقتصادی و محیطی، با ریسک‌های متعددی از جمله مشکلات مالی، تحریم‌ها، و مسائل اجتماعی مواجه است که می‌توانند به خسارات قابل‌توجهی در هزینه، زمان، کیفیت و محدوده پروژه‌ها منجر شوند. مدیریت ریسک در این صنعت، نه‌تنها به کاهش این خسارات کمک می‌کند، بلکه نقش کلیدی در ارتقاء کارایی و موفقیت پروژه‌ها ایفا می‌کند. با این حال، اجرای ناقص یا نادرست این فرآیند می‌تواند به توقف پروژه یا کاهش بهره‌وری منجر شود. از این رو، شناسایی و ارزیابی دقیق ریسک‌ها به‌عنوان گام اولیه مدیریت ریسک اهمیت دارد. هدف این پژوهش، ارائه یک چارچوب جامع برای تجزیه و تحلیل و ارزیابی ریسک‌های پروژه‌های پتروشیمی است. این مطالعه با تمرکز بر تبیین شبکه سلسله‌مراتبی تأثیرات متقابل ریسک‌ها و اولویت‌بندی آن‌ها، ابزاری کاربردی برای بهبود مدیریت ریسک و پیشگیری از خسارات احتمالی توسعه می‌دهد. پژوهشگران با این رویکرد، به دنبال ارائه راهکارهایی عملی برای مدیران پروژه هستند تا بتوانند تصمیم‌گیری‌های آگاهانه‌تری انجام دهند و ریسک‌ها را در مراحل مختلف چرخه عمر پروژه به‌طور مؤثر مدیریت کنند.

روش‌شناسی پژوهش: این تحقیق در چارچوب پارادایم اثبات‌گرایانه و با رویکرد کاربردی و توصیفی-پیمایشی طراحی شده است. داده‌های کمّی از طریق پرسشنامه‌های ساختاریافته و اسناد معتبر از جامعه آماری شامل خبرگان حوزه ریسک و مدیران ارشد پتروشیمی جمع‌آوری شد. این جامعه آماری، افرادی با تجربه عملی و نظری در مدیریت ریسک پروژه‌های پتروشیمی بودند. برای تحلیل داده‌ها، از یک رویکرد ترکیبی دو مرحله‌ای استفاده شد. در مرحله اول، مدل DEMATEL-ISM به کار رفت تا روابط علّی-معلولی بین ریسک‌ها شناسایی شده و ساختار سلسله‌مراتبی آن‌ها ترسیم گردد. این مدل با محاسبه شاخص‌هایی مانند مرکزیت (مانند ۴.۳۹ برای C1) و علیت (مانند ۰.۶۰۷ برای C1)، اهمیت و نقش علّی هر ریسک را مشخص کرد. در مرحله دوم، از ترکیب روش‌های FMEA (تحلیل حالت‌های شکست و اثرات) و CM-TOPSIS برای ارزیابی کمی ریسک‌ها و رتبه‌بندی آن‌ها بر اساس فاکتورهایی مانند شدت، وقوع و تشخیص‌پذیری استفاده شد. این فرآیند با قضاوت خبرگان در دو مرحله تأیید شد تا دقت و اعتبار نتایج تضمین شود. این روش ترکیبی نسبت به روش‌های سنتی مانند FMEA، دیدگاهی عمیق‌تر و چندوجهی‌تر ارائه داد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۱۵، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۶/۰۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۱۴، تاریخ اولین انتشار: ۱۴۰۴/۰۵/۱۸.

* دانشجوی دکتری گروه مدیریت عملیات و علوم تصمیم، دانشکدگان مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

** استاد گروه مدیریت تکنولوژی و نوآوری، دانشکدگان مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

نویسنده مسئول : hsafari@ut.ac.ir

*** دانش‌آموخته دکتری گروه مدیریت تکنولوژی و نوآوری، دانشکدگان مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۴۰۴، دوره ۱۵، شماره ۴، صص ۹ - ۳۴، doi: 10.48308/JIMP.15.4.9

چشم‌انداز مدیریت صنعتی

Journal hompage : https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=en

نوع مقاله: پژوهشی

یافته‌های پژوهش: نتایج این تحقیق به دو یافته کلیدی تقسیم می‌شود. نخست، تحلیل‌های DEMATEL-ISM یک شبکه سلسله‌مراتبی از ریسک‌ها ترسیم کرد که روابط علت و معلولی را نشان داد. این شبکه نشان داد که ریسک‌های «عدم توجه به مسائل رفاهی و اجتماعی منطقه‌ی اجرای پروژه» (C5) و «عدم ثبت آموخته‌ها» (C10) به‌عنوان عوامل ریشه‌ای عمل می‌کنند و بر ریسک‌های سطح بالا مانند «مشکلات در تأمین مالی» (C1) و «مشکل تأمین تجهیزات یدکی» (C9) تأثیر می‌گذارند. دومین یافته، ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک‌ها با FMEA-CM-TOPSIS بود که نشان داد C1 (با ضریب نزدیکی ۰.۷۵۸۵۱۱) و C9 (با ۰.۵۶۲۹۰۱CC) بالاترین اولویت را دارند. تحلیل مسیرهای انتقال ریسک نشان داد که C5 و C10 از طریق تأثیر بر عوامل میانی (مانند C1 و C9) ریسک کل پروژه را افزایش می‌دهند. این روش ترکیبی نسبت به FMEA سنتی، با ارائه جزئیات بیشتر در تحلیل روابط متقابل، دقت و کارایی بالاتری داشت و امکان شناسایی نقاط ضعف کلیدی را فراهم کرد.

نتیجه‌گیری: این پژوهش با تلفیق مدل‌های DEMATEL-ISM و FMEA-CM-TOPSIS، چارچوبی نوآورانه برای شناسایی، تحلیل و ارزیابی ریسک در پروژه‌های پتروشیمی ارائه داد. نتایج نشان داد که این رویکرد، ریسک‌های بحرانی را با دقت بیشتری اولویت‌بندی کرده و با شناسایی مسیرهای انتقال ریسک، به مدیران امکان تصمیم‌گیری هوشمندانه و مبتنی بر داده را می‌دهد. این ابزار می‌تواند در برنامه‌ریزی و اجرای پروژه‌ها برای کاهش خسارات و افزایش کارایی به کار گرفته شود. برای تحقیقات آینده، پیشنهاد می‌شود احتمال وقوع ریسک‌ها با استفاده از داده‌های تاریخی و شبکه تأثیرات تحلیل شود. همچنین، به‌کارگیری داده‌کاوی برای شناسایی خودکار و پیش‌بینی ریسک‌ها بر اساس الگوهای گذشته صنعت، می‌تواند فرآیند مدیریت ریسک را بهبود بخشد. این مطالعه گامی مهم در ارتقاء مدیریت ریسک پتروشیمی برداشته و زمینه‌ساز تحقیقات پیشرفته‌تر خواهد بود.

کلیدواژه‌ها: مدیریت ریسک پتروشیمی، مدل ساختاری تفسیری (ISM)، DEMATEL، FMEA، CM-TOPSIS، تحلیل ریسک پروژه.

استناددهی: موسوی نژاد مقدم، سید علی؛ صفری، حسین؛ بیاتی، علی (۱۴۰۴). تجزیه و تحلیل شبکهٔ تأثیرات سلسله‌مراتبی و ارزیابی ریسک‌های صنعت پتروشیمی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره ابری. چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۵(۴)، ۹-۳۴.

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

۱. مقدمه

موضوع مدیریت ریسک در سازمان و پروژه‌های کشور نیز نوپا است. کمتر سازمانی را می‌توان یافت که به‌صورت اصولی به حوزه مدیریت ریسک پرداخته باشند؛ لذا توسعه کشور که منوط به توسعه سازمان‌ها و پروژه‌های صنایع مختلف است، مستلزم توجه ویژه به مدیریت ریسک می‌باشد. مقالات مختلفی در سطح ملی و بین‌المللی در این رابطه از طرف متخصصان داخلی ارائه شده است، اما مدیریت ریسک پروژه به‌صورت عملی کماکان در مراحل ابتدایی خود قرار دارد. پروژه‌ها عموماً با مجموعه‌ای از مخاطرات روبرو هستند که عملکرد پروژه را در جهت مثبت یا منفی تحت تأثیر قرار می‌دهند، این مجموعه مخاطرات را ریسک‌های پروژه می‌نامند [۱۵]. مدیریت ریسک پروژه دربرگیرندهٔ فرآیندهای برنامه‌ریزی واکنش، اجرای واکنش و نظارت بر ریسک در یک پروژه است. اهداف مدیریت ریسک پروژه، طبق استانداردهای انجمن مدیریت پروژه آمریکا (۲۰۱۷) [۲۷]، عباتند از؛ افزایش احتمال و تأثیر ریسک‌های مثبت و کاهش احتمال و تأثیر ریسک‌های منفی به منظور بهینه‌سازی شانس موفقیت پروژه. در این پژوهش به مدیریت ریسک در پروژه‌های صنعت پتروشیمی پرداخته خواهد شد [۱۳].

با توجه به مزیت رقابتی صنایع پتروشیمی ایران در منطقه و جهان و همچنین با توجه به سرمایه‌گذاری‌های عظیم صورت گرفته برای اجرای پروژه‌های این صنعت، مدیریت این پروژه‌ها مستلزم توجه ویژه به مباحث علمی مدیریت پروژه‌ها است. هزینه، زمان و کیفیت همواره عناصری بوده‌اند که مدیران بیشترین توجه را به آن‌ها داشته‌اند، در حالی که مدیریت ریسک که خود تأثیری شگرف بر این سه عنصر دارد، همواره مغفول مانده است. لذا برای اجرای پروژه‌ها مطابق زمان، هزینه و کیفیت باید بیشترین توجه را بر ریسک‌های پروژه نمود، چراکه عدم شناسایی و مدیریت ریسک‌ها خود باعث ایجاد تأخیر، افزایش هزینه و افت کیفیت پروژه‌ها می‌گردد.

با توجه به هستی‌شناسی پژوهش، پژوهش حاضر، یک پژوهش عام و جهان شمول می‌باشد و همچنین رابطه بین محقق و واقعیت از هم مستقل است. بنابراین بر اساس پیش فرض فلسفی و پژوهش (پارادایم)، مطالعه حاضر یک پارادایم اثبات‌گرایانه با ترکیبی از رویکرد کمی و کیفی است. طبق دیدگاه سرمد و همکاران (۱۳۹۲)، این تحقیق بر اساس هدف از نوع کاربردی و بر اساس گردآوری داده‌ها از نوع توصیفی پیمایشی می‌باشد [۳۳]. رویکرد تحقیق قیاسی و ابزار گردآوری داده‌های آن ترکیبی از پرسشنامه و اسناد و مدارک است. زمان و مکان تحقیق هم مربوط به یک بازه و سازمان خاص می‌شود.

هدف اصلی این تحقیق ارائه یک چارچوب ترکیبی جهت تحلیل روابط علت و معلولی و سطوح سلسله‌مراتب ریسک‌های منفی (تهدیدات) پروژه‌های پتروشیمی، از منظر کارفرما؛ مدیریت توسعه صنایع پتروشیمی، با استفاده از روش‌های DEMATEL-ISM و ارزیابی و اولویت‌بندی آن‌ها با استفاده از ترکیب روش‌های FMEA و MCDM است.

دستیابی به این هدف مستلزم اهداف فرعی زیر است:

- شناسایی و انتخاب ریسک‌های پروژه‌های صنعت پتروشیمی
- تحلیل روابط علت و معلولی و سلسله‌مراتبی ریسک‌ها و ترسیم شبکهٔ آن
- امتیازدهی و اولویت‌بندی ریسک‌ها بر اساس رویکرد مدرن و ترکیبی FMEA و CM-Topsis
- اولویت‌بندی ریسک‌ها بر اساس رویکرد سنتی FMEA
- مقایسهٔ رویکرد اولویت‌بندی این پژوهش با رویکرد سنتی عدد اولویت ریسک

ترکیب تکنیک‌های دیمتل و مدل ساختاری تفسیری در تحلیل شبکهٔ روابط ریسک‌های صنعت پتروشیمی و در ادامه استفاده از نتایج این تحلیل جهت اصلاح روش FMEA با استفاده از مدل ابری تاپسیس، رویکرد جدیدی برای ارزیابی ریسک است که در این تحقیق استفاده شده است. مدل ابری روشی نوین جهت ارزیابی دقیق‌تر نظرات کلامی است، که منجر به افزایش دقت تکنیک تاپسیس می‌گردد. از نتایج این نوآوری برای مطالعات ارزیابی ریسک می‌توان به تحلیل دقیق‌تر نظرات کلامی خبرگان و بررسی روابط علت و معلولی چندسطحی جهت مدیریت اثربخش ریسک استفاده نمود [۳، ۳۰، ۳۱].

در این قسمت به بیان کلیات تحقیق از جمله؛ بیان مسئله، اهداف و نوآوری پرداخته شد. در ادامه به مرور مبانی نظری و ادبیات موضوعات اصلی پژوهش می‌پردازیم و سپس، روش تحقیق معرفی و مدل ترکیبی پیشنهادی نیز ارائه می‌گردد. در قسمت تحلیل داده و یافته‌ها نتایج مدل ارائه شده تشریح می‌شود. در نهایت، نتایج جمع‌بندی شده و محدودیت‌ها و پیشنهادات ذکر می‌شود.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

مدیریت ریسک پروژه

پروژه‌ها عموماً با مجموعه‌ای از مخاطرات روبرو هستند که عملکرد پروژه را در جهت مثبت یا منفی تحت تأثیر قرار می‌دهند، این مجموعه مخاطرات را ریسک‌های پروژه می‌نامند [۱۵]. مدیریت ریسک پروژه دربرگیرندهٔ فرآیندهای برنامه‌ریزی واکنش، اجرای واکنش و نظارت بر ریسک در یک پروژه است. اهداف مدیریت ریسک پروژه عباتند از؛ افزایش احتمال و تأثیر ریسک‌های مثبت و کاهش احتمال و تأثیر ریسک‌های منفی به منظور بهینه‌سازی شانس موفقیت پروژه [۲۸].

همانطور که در راهنمای پیکرهٔ دانش مدیریت پروژه (۲۰۱۷) [۲۷] اشاره شده است، مدیریت ریسک دارای ۷ فرآیند می‌باشد که به شرح زیر می‌باشند:

- برنامه‌ریزی مدیریت ریسک: تعریف چگونگی انجام فعالیت‌های مدیریت ریسک یک پروژه
- شناسایی ریسک‌ها: شناسایی تک‌تک ریسک‌ها به همراه منشأهای ریسک کلی پروژه و مستندسازی مشخصه‌های آن‌ها
- اجرای تحلیل کیفی ریسک: فرآیند اولویت‌بندی تک‌تک ریسک‌های پروژه برای تحلیل یا اقدام بیشتر از طریق سنجش احتمال وقوع و تأثیر آن‌ها و همچنین بر اساس سایر مشخصه‌های آن‌ها
- اجرای تحلیل کمّی ریسک: فرآیند تحلیل عددی اثر ترکیبیِ تک‌تک ریسک‌های شناسایی شده و سایر منابع عدم قطعیت بر اهداف کلی پروژه.
- برنامه‌ریزی واکنش‌ها به ریسک: فرآیند تدوین گزینه‌ها، انتخاب راهبردها و توافق بر سر اقداماتی که باید به منظور پرداختن به اثر تجمعی ریسک‌های پروژه و همچنین نحوهٔ مواجهه با تک‌تک ریسک‌های پروژه، انجام شود.
- اجرای واکنش به ریسک: اجرای برنامه‌های مورد توافق واکنش به ریسک
- نظارت بر ریسک‌ها: فرآیند نظارت بر اجرای برنامه‌های مورد توافق واکنش به ریسک، پایش ریسک‌های شناسایی شده، شناسایی تحلیل ریسک‌های جدید و ارزیابی اثربخشی فرآیند ریسک در سراسر پروژه.

در فرآیند شناسایی ریسک، فهرستی از خطراتی که ممکن است بر پروژه تأثیر بگذارند ایجاد می‌شود، این فهرست اغلب گسترده خواهد بود و لازم است موارد مهم را از موارد کم اهمیت جدا شوند. این فرآیند، ارزیابی ریسک نامیده می‌شود. ارزیابی ریسک چندین هدف دارد [۷]:

- مروری از سطح کلی و الگوی ریسک پیش روی پروژه را ارائه می‌دهد.
- توجه مدیریت را بر موارد پرخطر لیست ریسک‌ها متمرکز می‌کند.
- کمک می‌کند تا تصمیم بگیرید که در چه مواردی اقدام فوری لازم است، و در کجا برنامه‌های عملیاتی باید برای فعالیت های آینده تدوین شوند.
- تخصیص منابع را برای حمایت از تصمیمات اجرایی مدیریت تسهیل می‌کند.

حال با مرور سوابق موضوع تحقیق، به بررسی پیشینه پژوهش در قالب واکاوی منابع علمی همانند مقالات معتبر چاپ شده در ژورنال‌های برتر علمی جهان، می‌پردازیم. پیشینهٔ تحقیقات در حوزهٔ پژوهش حاضر در جدول ۱ قابل مشاهده است.

جدول ۱. فهرست مطالعات پیشین

ردیف	نویسندگان (سال)	عنوان	ابزار و روش‌ها
۱	مرکز تحقیق و توسعه مدیریت پروژه (پتروشیمی) (۱۳۹۱) [۲۹]	ارزیابی ریسک‌های متداول در پروژه‌های صنعت پتروشیمی در تمامی مراحل چرخه حیات پروژه، و ارائه راهکارهای واکنش به این ریسک‌ها	• تحلیل کمی: امتیازدهی و تکنیک دلفی • تحلیل کیفی: ارزیابی بر اساس احتمال و شدت تأثیر
۲	مرادی و میرزازاده (۱۳۹۸) [۲۲]	شناسایی، ارزیابی و رتبه بندی ریسک های تولید در صنعت دارو با استفاده از روش تجزیه و تحلیل عوامل شکست (مطالعه موردی: شرکت سبحان دارو)	• حالت شکست و تجزیه و تحلیل اثرات (FMEA)
۳	علی‌کاظمی، احتشام‌راثی و علی‌حسینی (۱۳۹۹) [۴]	ارزیابی عوامل ریسک انسانی در پروژه های نفت و گاز (مطالعه موردی: شرکت نفت و گاز پارس)	• اعتباریابی لاوشه • روش تصمیم‌گیری چندمعیاره بهترین-بدترین • FMEA • روش ترکیبی تحلیل رابطه خاکستری- ویکور تحت محیط فازی • دل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه صفر و یک • رویکرد اپسیلون- محدودیت تکامل یافته
٤	رضایی‌آقمشهدی، محفوظی و رحیم‌زاده (۱٤۰۱) [۳۲]	بکارگیری رویکرد دلفی- فازی و دیمتل فازی جهت شناسایی و ارزیابی عوامل موثر بر ریسک اعتباری مشتریان حقیقی بانک ملی ایران	• دلفی فازی • DEMATEL فازی
٥	منیری، عالم تبریز و عیوق (۱٤۰۱) [۲۱]	ارزیابی ریسک پروژه‌های تعمیرات اساسی در صنایع فرایندی بالادستی نفت با استفاده از یک روش تصمیم‌گیری چندشاخصه فازی ترکیبی	• دلفی فازی • روش ترکیبی SWARA و EDAS فازی
٦	گودرزی و نظری (۱٤۰۳) [۱۲]	ارزیابی ریسک‌های بهره‌وری منابع انسانی با رویکرد ترکیبی دیمتل فازی و سیستم دینامیک (نمونه موردی: پروژه‌های بلندمرتبه سازی)	• دیمتل فازی • سیستم داینامیک • مصاحبه نیمه ساختاریافته
۷	نظری، جابری و صادق آمال‌نیک (۲۰۱۳) [۲۴]	توسعه یک مدل مدیریت ریسک برای سازمان های پروژه محور	• مصاحبه نیمه ساختاریافته • همسان‌سازی فرآیند با شرایط سازمان
۸	زگردی، نظری و رضایی‌نیک (۲۰۱٤) [۴۱]	ارزیابی ریسک پروژه با رویکرد ترکیبی با استفاده از فازی-ANP و فازی-توپسیس	• Fuzzy-ANP • Fuzzy Topsis
۹	وحدانی و همکاران (۲۰۱٥) [۳۴]	یک روش جدید FMEA با ادغام ساختار باور فازی و TOPSIS برای بهبود فرآیند ارزیابی ریسک	• FMEA • ساختار فازی • TOPSIS
۱۰	احمدی و همکاران (۲۰۲۰) [۲]	توسعه یک روش ارزیابی کمی ریسک پویا با استفاده از DEMATEL-BN فازی و شاخص‌های پیشرو.	• DEMATEL-ISM فازی • شبکهٔ بیزین
۱۱	مازومدر، سلمان و لی[1] (۲۰۲۱) [۱۹]	تجزیه و تحلیل ریسک خرابی خطوط لوله با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین مبتنی بر داده	• الگوریتم‌های یادگیری ماشینی مبتنی بر داده

1. Mazumder, Salman & Li

ردیف	نویسندگان (سال)	عنوان	ابزار و روش‌ها
۱۲	لی و زو[1] (۲۰۲۱)[۱۶]	یک رویکرد ترکیبی DEMATEL فازی و مدل ابری برای ارزیابی ریسک در صنایع فرآیندی برای بهبود قابلیت اطمینان سیستم	• DEMATEL فازی • مدل ابری
۱۳	وانگ[2] و همکاران (۲۰۲۱ a)[۳۵]	▪ ارزیابی ریسک کمی مبتنی بر FMEA-CM برای صنایع فرآیندی (مطالعه موردی: کارخانه زغال سنگ تومتانول در چین). ▪	• تجزیه و تحلیل حالت ها و اثرات شکست (FMEA) • مدل ابری
۱۴	وانگ[3] و همکاران (۲۰۲۱b)[۳۶]	▪ یک رویکرد طبقه‌بندی جدید بر اساس مدل ابر اتصال یکپارچه و تئوری بازی.	• مدل ابری • تئوری بازی
۱۵	وانگ[4] و همکاران (۲۰۲۱c)[۳۷]	▪ اندازه‌گیری و عوامل کلیدی تأثیرگذار بر مزایای اقتصادی برای تولید برق فتوولتائیک چین: یک مدل هیبریدی مبتنی بر LCOE[5].	• levelized cost of energy • DEMATEL-ISM
۱۶	کای[6] و همکاران (۲۰۲۲) [۶]	روش ارزیابی کمی ریسک فرآیند نصب تجهیزات نفت و گاز در آب‌های عمیق	• شبکهٔ بیزین فازی
۱۷	منگ[7] و همکاران (۲۰۲۲) [۲۰]	ارزیابی پویا و کمی ریسک، در شرایط عدم قطعیت در حین حفاری تحت فشار مدیریت شده در آب های عمیق	• درخت خطا - درخت رویداد • شبکهٔ بیزین پویا
۱۸	امامی و همکاران (۲۰۲۲) [۱۱]	ارزیابی کمی ریسک و کاهش ریسک فرآیند غنی‌سازی گاز اسیدی و بازسازی آمین یکپارچه با استفاده از شبیه‌سازی دینامیکی Aspen Plus	• شبیه‌سازی دینامیک Aspen Plus • روش دینامیکی HAZOP
۱۹	زو[8] و همکاران (۲۰۲۲) [۴۲]	یک روش یکپارچه برای ارزیابی پویای ریسک فوران آب های عمیق	• روش DEMATEL • روش اعداد Z
۲۰	وو[9] و همکاران (۲۰۲۳) [۳۹]	یک روش ارزیابی پویای خطر جدید برای صنعت پتروشیمی با استفاده از تجزیه و تحلیل Bow-tie و روش تجزیه و تحلیل شبکه بیزی بر اساس چارچوب پروژه ARAMIS	• روش پاپیونی (bow-tie) • شبکه بیزین
۲۱	عبادزاده و همکاران (۲۰۲۳) [۱۰]	ترکیب مدل Bow-tie و روش EFMEA برای ارزیابی خطرات زیست محیطی صنعت پتروشیمی	• Environmental Failure Mode and Effects Analysis (EFMEA) • روش پاپیونی (bow-tie)
۲۲	اَحسان[10] و همکاران (۲۰۲۳) [۱]	ارزیابی فرایند تولید در صنعت با تنوع کم و حجم بالا با ترکیب تئوری مدل ابر و رویکرد TOPSIS	• مدل ابری • Topsis

1. Xu
2. Wang
3. Wang
4. Wang
5. levelized cost of energy
6. Cai
7. Meng
8. Zhu
9. Wu
10. Ahsan

ردیف	نویسندگان (سال)	عنوان	ابزار و روش‌ها
۲۳	گوا[1] و همکاران (۲۰۲٤) [۱۴]	مسیرهای تأثیری افزایشی فناوری‌های اطلاعات برای کاهش آسیب‌پذیری زنجیره تأمین: یک رویکرد نوین DEMATEL-ISM براساس نظریه‌ی بنیادین	• DEMATEL-ISM • نظریه داده بنیاد

ضمن مرور ادبیات تحقیقات پیشین، مزیت اصلی و ضرورت اجرای روش پیشنهادی در برطرف نمودن شکاف تحقیقاتی مربوط به ناکارآمدی در مدیریت وابستگی‌های متقابل بین ریسک‌ها و کمبود چارچوب‌های جامع تصمیم‌گیری چندمعیاره در روش‌های موجود ارزیابی ریسک برای پروژه‌های صنعت پتروشیمی نهفته است. بسیاری از روش‌های سنتی ارزیابی ریسک یا بر ریسک‌های فردی به‌صورت مجزا تمرکز دارند یا از تحلیل‌های تک‌معیاره استفاده می‌کنند که این موضوع اثربخشی آن‌ها را در سیستم‌های پیچیده، که ریسک‌ها به هم وابسته و چندبعدی هستند، محدود می‌سازد. اجرای روش ترکیبی DEMATEL-ISM و CM-TOPSIS این شکاف را با ارائه تحلیلی ساختاریافته و دقیق‌تر از ریسک‌ها پر می‌کند، و این اطمنیان را می‌دهد که هم ریسک‌های مستقیم و هم غیرمستقیم در نظر گرفته شوند. به این ترتیب، اولویت‌بندی دقیق‌تر ریسک‌ها و استراتژی‌های کاهش ریسک مؤثرتر ارائه می‌شود. با پر کردن این شکاف، روش پیشنهادی ابزاری قابل اعتمادتر برای تصمیم‌گیرندگان فراهم می‌کند و فرآیند مدیریت ریسک را در واحدهای پروژه‌های صنایع پتروشیمی بهبود می‌بخشد، جایی که روش‌های سنتی در مدیریت پیچیدگی و پویایی ریسک‌ها ناکام می‌مانند.

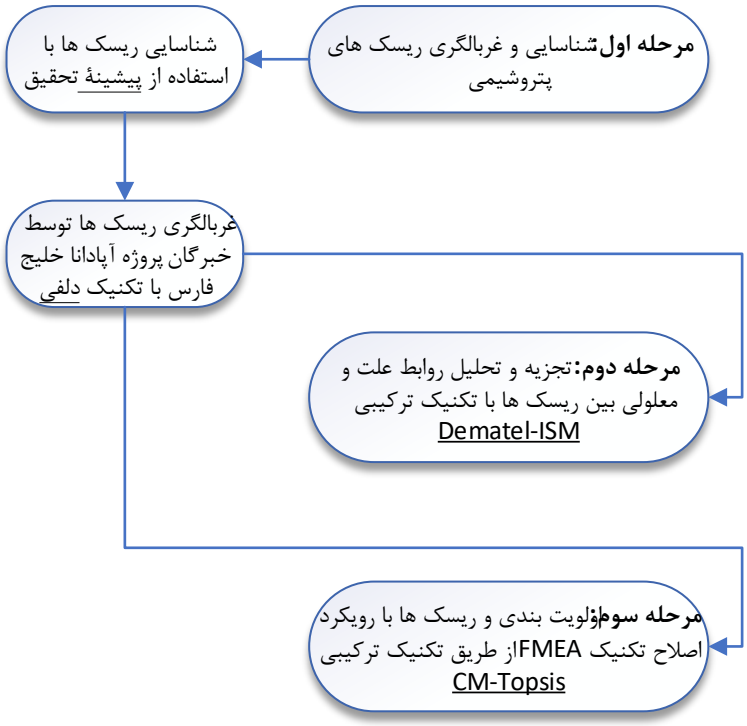
۳. روش‌شناسی پژوهش

در انجام پژوهش، به منظور کسب شناخت، باید مجموعه‌ای از گزاره‌ها (فرضیه یا سؤالات تحقیق) را تدوین کرد و سپس آن‌ها را مورد آزمون قرار داد یا پاسخ آن‌ها را فراهم نمود. این امر، فرآیند پژوهش را هدایت کرده و پژوهشگر را در شناخت یاری می‌کند. لذا به کلیه وسایل و مراحل جمع‌بندی اطلاعات و نحوه تجزیه و تحلیل منطقی آن‌ها را برای نیل به یک هدف معین، روش علمی تحقیق گوییم [۲۳]. در این بخش نوع و ماهیت تحقیق، روش جمع‌آوری داده‌ها و در پایان روش‌های تجزیه و تحلیل داده‌ها معرفی و شرح داده می‌شود.

هدف تحقیق حاضر ترکیب و اجرای مدل‌های ترسیم روابط و اولویت‌بندی است، لذا از نوع کاربردی می‌باشد. این پژوهش به دلیل تلاش جهت ترسیم و تفسیر وضعیت روابط و اولویت ریسک‌ها، از نوع توصیفی است. فلسفه این تحقیق اثبات‌گرایانه است. زیرا در راستای اجرای مدل ترکیبی، از واقعیت‌ها و مدل‌های موجود تأیید شده استفاده شده است. همچنین در راستای طراحی مدل و اعتبارسنجی آن از نظر خبرگان استفاده شده است. از این رو می‌توان گفت که انتخاب روش جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها متناسب با هدف تحقیق می‌تواند کمّی یا کیفی باشد. رویکرد تحقیق رویکردی قیاسی است. اصولاً مدل‌سازی‌های ریاضی بر اساس رویکرد قیاسی انجام می‌شوند؛ بدین صورت که از طریق بررسی مدل‌های پیشین می‌توان متغیرها و روابط ریاضی موجود در زمینه ارزیابی روابط تأثیر و اولویت‌بندی را شناسایی کرده و مفاهیم کلّی را درک نمود. استراتژی تحقیق حاضر، استراتژی مطالعه موردی است. هدف این استراتژی بررسی تجربی یک پدیده خاص در یک زمینه[2] واقعی است. این استراتژی در نقطه مقابل استراتژی آزمایشی است که در آن تحقیق در محیط کنترل شده انجام می‌شود. استراتژی این پژوهش توصیفی پیمایشی است، زیرا در این تحقیق از پرسشنامه و مصاحبه از خبرگان جهت ارزیابی ریسک‌ها استفاده شده است. ضمن اینکه ابزار جمع‌آوری داده‌ها در این استراتژی می‌تواند ترکیبی باشد مانند مصاحبه، مشاهده و تحلیل اسناد و مدارک که در این تحقیق مورد استفاده قرار می‌گیرند.

فرآیند اجرایی این پژوهش به شرح شکل ۱ شامل ۳ مرحله است؛

1. Gua
2. Context



شکل ۱. نمودار فرآیند اجرایی تحقیق

روش ترکیبی ارزیابی ریسک کمّی با استفاده از DEMATEL-ISM و CM-TOPSIS نوآوری قابل توجهی نسبت به روش‌های قبلی دارد، زیرا این روش توانایی تحلیل جامع‌تر و دقیق‌تری از ریسک‌ها در سیستم‌های پیچیده را فراهم می‌کند. در ادامه به نوآوری‌ها و مزایای این روش در مقایسه با روش‌های پیشین اشاره می‌شود.

۱- نوآوری در درک وابستگی‌ها و روابط علت و معلولی
۲- ساختاردهی سلسله‌مراتبی ریسک‌ها
۳- ترکیب با روش CM-TOPSIS برای اولویت‌بندی دقیق‌تر
۴- کاهش سوگیری و عدم قطعیت
۵- انعطاف‌پذیری و کاربرد در محیط‌های پیچیده
۶- پیشنهاد راهکارهای بهبود و کاهش ریسک بهتر:

در نهایت روش ترکیبی DEMATEL-ISM و CM-TOPSIS با ترکیب تحلیل‌های کیفی و کمّی، ساختاردهی دقیق ریسک‌ها، و ارائه اولویت‌بندی بهتر بر اساس معیارهای چندگانه، نوآوری‌های قابل توجهی را به مدیریت ریسک وارد کرده است. این روش نه تنها به درک بهتر تعاملات و وابستگی‌های بین ریسک‌ها کمک می‌کند، بلکه ابزارهای دقیقی برای ارزیابی و کاهش ریسک‌های پیچیده در محیط‌های عملیاتی پیچیده فراهم می‌آورد که در روش‌های قبلی قابل دسترس نبود.

مرحله اول: شناسایی و غربال ریسک‌های مورد مطالعه در پروژه‌های پتروشیمی

در این تحقیق از ۳۰ نفر از خبرگان حوزه صنعت پتروشیمی بر اساس سابقه کار مرتبط، سطح تحصیلات، سن، ردهٔ سازمانی کمک گرفته شد. بر این اساس ۱۲ نفر دارای سابقهٔ کاری ۱۰ تا ۲۰ سال، ۱۴ نفر با سابقهٔ ۲۰ تا ۳۰ سال و ٤ نفربا سابقهٔ بیشتر از ۳۰ سال هستند. همچنین سطح

تحصیلات ۸ نفر کارشناسی، ۱۷ نفر کارشناسی ارشد و ۵ نفر دکتری است. از منظر ردهٔ سازمانی ۸ نفر کارشناس، ۱۲ نفر کارشناس ارشد و ۱۰ نفر مدیر و معاون انتخاب شده است. تعداد افراد منتخب با سن ۳۰ تا ٤٠ سال، ٤٠ تا ٥٠ سال و بیش از ٥٠ سال، به ترتیب ۱۷، ۱۵ و ۸ نفر است. خبرگان منتخب در حوزه‌های مدیریت پروژه، مدیریت اجرایی، سفارشات داخلی، سفارشات خارجی، برق و، ابزار دقیق، پایپینگ، مکانیک، برنامه‌ریزی، HSE، تدارکات صنعت پتروشیمی فعالیت دارند.

ابتدا تمام ریسک‌های مستخرج از مطالعات پیشینهٔ تحقیق (۱۲۸ ریسک) برای ۳۰ خبرهٔ منتخب ارسال گردید تا نظرات آن‌ها را، منطبق بر جدول ۷، با استفاده از تکنیک دلفی ۱۰ ریسک برتر را جهت پیاده‌سازی مدل ارزیابی انتخاب شوند. سپس نظرات آن‌ها (۳۰ نفر) در خصوص ۱۰ ریسک منتخب در قالب پرسشنامه‌ای دیگر جمع‌آوری شد.

جدول ۲. معادل عددی ارزش‌های کلامی طیف لیکرت ۷ درجه (*Likert, 1932*)

کاملاً بااهمیت	خیلی بااهمیت	بااهمیت	متوسط	بی‌اهمیت	خیلی بی‌اهمیت	کاملاً بی‌اهمیت
۷	٦	٥	٤	۳	۲	۱

مرحله دوم: تجزیه و تحلیل تأثیرات بین ریسک‌ها و ترسیم شبکهٔ سلسله‌مراتبی آن‌ها با استفاده از روش Dematel-ISM

روش Dematel[1] یکی از تکنیک‌های مقایسات زوجی تصمیم‌گیری چندشاخصه است که فونتلا[2] و گباس[3] (۱۹۷۶) آن را پیشنهاد نمودند. این تکنیک تنها به بررسی روابط بین گزینه‌ها (شاخص‌ها) در وضعیتی می‌پردازد که روی یکدیگر اثر می‌گذارند و از یکدیگر اثر می‌پذیرند. تنها ورودی این تکنیک عبارت از ماتریس تأثیرات مستقیم است. ماتریس تأثیرات که با استفاده از نظر خبرگان تکمیل می‌گردد، نشان‌دهندهٔ روابط بین گزینه‌ها (شاخص‌ها) است. درایهٔ سطر گزینهٔ A_l و ستون گزینهٔ A_h این ماتریس بیانگر میزان تأثیر گزینهٔ A_l بر گزینهٔ A_h است. عدد صفر نشان‌دهندهٔ تأثیر نداشتن گزینهٔ سطر بر گزینهٔ ستون است و هر چه این عدد بیشتر باشد، نشان‌دهندهٔ تأثیر بیشتر است. طیف مورد استفاده را می‌توان بصورت دلخواه تشکیل داد؛ ولی عدد صفر حتماً باید عضو طیف باشد. در این تحقیق از طیف جدول ۳ استفاده شده است.

جدول ۳. جدول تبدیل عبارات کلامی به معادل عددی و فازی

معادل عددی	ارزش کلامی
۰	بدون تاثیر
۱	تاثیر خیلی کم
۲	تاثیر کم
۳	تأثیر متوسط
٤	تاثیر زیاد
٥	تاثیر خیلی زیاد

مدل‌سازی ساختاری تفسیری (ISM[4]) به عنوان یکی از روش‌های طراحی سیستم‌ها، به ویژه سیستم‌های اقتصادی و اجتماعی اولین بار توسط وارفیلد[5] در سال ۱۹۷۳ در دانشگاه جوج میسون (GMU) معرفی گردیده است که بعدها توسط اندروسیج در سال ۱۹۷۷ بهبود داده شده است. مدل ISM یک فرآیند یادگیری تعاملی است که منجر به ساختاردهی مجموعه‌ای از عناصر مختلف در یک مدل نظام‌مند می‌شود. بطور

1. Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory
2. Fontela
3. Gebus
4. Interpretive Structural Modelling
5. Warfield

کلی مدل‌سازی ساختاری تفسیری روشی است که بررسی پیچیدگی سیستم را امکان‌پذیر نموده و سیستم را به گونه‌ای ساختاردهی می‌کند که به سادگی قابل درک باشد. این روش مدل‌های ذهنی غیر شفاف و مبهم از سیستم‌ها را به مدل‌های روشن و آشکار در راستای اهداف سودمند تحقیق تبدیل می‌کند.

گام‌های پیاده‌سازی مدل ترکیبی DEMATEL-ISM به شرح ذیل است (روش محاسبه در بخش تحلیل یافته‌ها اشاره می‌گردد)؛

گام ۱. محاسبه ماتریس تأثیر مستقیم اولیه C

گام ۲. نرمال‌سازی

گام ۳. تشکیل ماتریس تأثیر جامع T

گام ۴. تعیین حد آستانه

گام ۵. محاسبه الگوی تأثیرگذاری و تأثیرپذیری

گام ۶. تشکیل ماتریس دسترسی K و تعیین روابط علت و معلولی بین عوامل:

ماتریس دسترسی K، یک ماتریس باینری (صفر ویک) است که از ماتریس تأثیر جامع T استخراج می‌شود. برای تشکیل این ماتریس، ابتدا حد آستانه (α) تعیین می‌شود (معمولاً میانگین درایه‌های T). سپس، اگر مقدار $\alpha \leq T_{ij}$ باشد، $K_{ij} = 1$ قرار می‌گیرد (به معنای وجود رابطه‌ی تأثیرگذاری)، و اگر $\alpha \geq T_{ij}$ باشد، $K_{ij} = 0$ می‌گیرد (به معنای عدم وجود رابطه). این ماتریس، روابط مستقیم و غیرمستقیم بین عوامل را ساده‌سازی می‌کند و با شناسایی مجموعه‌های پیش‌نیازی (S_{ij}) و دستیابی (R_{ij}) برای هر عامل، به تعیین روابط علی-معلولی و ساختار سلسله‌مراتبی کمک می‌کند.

گام ۷. تعیین سطح هر عامل و تشکیل دیاگرام اولیه

گام ۸. ترسیم مدل شبکه سلسله مراتبی نهایی

مرحلهٔ سوم: اولویت‌بندی روش FMEA اصلاح شده با استفاده از رویکرد مدل ابری تکنیک TOPSIS

در این مرحله ابتدا نظرات خبرگان در فاکتورهای تعیین شده برای هر ریسک، در قالب روش FMEA جمع‌آوری شده و سپس با استفاده از مدل ابری تکنیک TOPSIS ریسک‌ها اولویت‌بندی می‌شوند. لذا ابتدا تکنیک FMEA و روش سنتی آن تشریح می‌شود.

تجزیه و تحلیل خطا و اثرات آن (FMEA) روشی سیستماتیک است جهت شناسایی و اولویت بندی حالات بالقوه شکست در یک محصول، فرایند و یا خدمت. یک تکنیک تحلیلی و پیش نگر است که برای شناسایی عوامل بالقوه خرابی بکار می رود. توجه این تکنیک بر بالا بردن ضریب امنیت و در نهایت افزایش رضایت مشتری از طریق کاهش خرابی ها می‌باشد. در این فرآیند جهت ارزیابی حالات خرابی سیستم، هر کدام از آن‌ها در ۳ فاکتور احتمال وقوع (Occurrence)، شدت خطر (Severity) و احتمال کشف (Detect)، مطابق جدول ۴، امتیازدهی می‌شود. در رویکرد سنتی FMEA از عدد اولویت ریسک (RPN[1]) جهت ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک‌ها استفاده می‌شود. عدد اولویت ریسک برابر حاصلضرب امتیازات در فاکتورهای ریسک است، هر چه مقدار این عدد بیشتر باشد اولویت اهمیت ریسک بیشتر است. در این پژوهش از ۴ فاکتور جهت امتیاز دهی در تکنیک FMEA استفاده شده است. فاکتورها مورد نظر عبارتند از: احتمال وقوع (O)، شدت تأثیر بر زمان و تأخیر (S_T) و شدت تأثیر بر هزینه (S_C) و قابلیت کشف و مشاهده در کنترل (D) استفاده شده است.

1. Risk Priority Number

جدول ۴. جدول امتیازبندی فاکتورهای چهارگانه *FMEA*

امتیاز	احتمال وقوع	شدت تأثیر بر زمان (و تأخیر)	شدت تأثیر بر هزینه	قابلیت کشف و مشاهده در کنترل
9	فوق‌العاده زیاد (بیش از ۵۰ درصد)	خطرناک	خطرناک	تقریباً غیرقطعی
8	خیلی زیاد (۳۵ تا ۵۰ درصد)	شدید	شدید	بعید
7	زیاد (۱۰ تا ۳۵ درصد)	زیاد	زیاد	خیلی کم
6	نسبتاً زیاد (۱ تا ۱۰ درصد)	قابل توجه	قابل توجه	کم
5	متوسط (۱ در ۴۰۰)	متوسط	متوسط	متوسط
4	نسبتاً کم (۱ در ۲٬۰۰۰)	کم	کم	نسبتاً زیاد
3	کم (۱ در ۱۵٬۰۰۰)	ناچیز	ناچیز	زیاد
2	بعید (۱ در ۱۵۰٬۰۰۰)	خیلی ناچیز	خیلی ناچیز	خیلی زیاد
1	تقریباً غیرممکن (کمتر از ۱ در ۱۵۰٬۰۰۰)	هیچ	هیچ	تقریباً قطعی

در این تحقیق برای ارزیابی ریسک‌ها از رویکرد مدل ابری تکنیک تاپسیس (CM-TOPSIS) استفاده شده است. لذا ابتدا باید مفاهیم مدل ابری تبین شوند؛ تصادفی بودن[1] و فازی بودن[2] دو مورد از مهم‌ترین عدم قطعیت‌های نهفته در شناخت بشر هستند. که در بسیاری از مفاهیم زبان‌شناختی، به طور هم‌زمان مشاهده می‌شوند. برای مثال، اصطلاحاتی مانند «تقریباً»، «شاید»، «بعضی وقت‌ها» و «معمولاً»، نه تنها مفاهیمی تصادفی هستند، بلکه به دلیل محدودهٔ ناشفاف گسترهٔ معنا، فازی نیز هستند. لذا شاید معقول‌تر آن باشد که یک مدل رسمی نمایندگی از مفاهیم، بتواند به طور هم‌زمان تصادفی بودن و فازی بودن را لحاظ کند. مدل ابری می‌تواند به طور مصنوعی، تصادفی بودن و فازی بودن مفاهیم را توصیف کند و تحول غیر قطعی میان مفهومی کیفی و ما به ازای واقعی کمّی‌اش را اجرا کند. مدل ابر نه تنها یک توزیع نرمال کلی شده است که محدودیت‌های ضعیفی دارد، بلکه این مدل می‌تواند از نقص مجموعه‌های فازی اجتناب کرده و درجهٔ عضویت یک عنصر را در قالب عددی دقیق بین صفر و یک کمّی‌سازی کند. از این رو، مدل ابر می‌تواند برای توصیف عدم قطعیت مفاهیم زبان‌شناختی، از انطباق‌پذیری بیشتری برخوردار باشد [۱۷].

مدل معمول ابری، مبتنی بر توزیع نرمال و تابع عضویت گاوس است. این مدل به واسطهٔ سه پارامتر عددی زیر، خصوصیت کمّی کلی یک مفهوم را توصیف می‌کند [۱۷ و ۳۸]:

- امید *Ex*: در واقع امید ریاضی متعلق بودن قطره‌های ابر به مفهومی در جهان است. *Ex* نماینده‌ترین و مشابه‌ترین نمونهٔ مفهوم کیفی است. *Ex* در واقع ارزش مرکزی دامنهٔ مفهوم کیفی است.
- آنتروپی *En*: واحد اندازه‌گیری عدم قطعیت مفهومی کیفی است که به واسطهٔ تصادفی بودن و فازی بودن تعیین می‌شود. از یک جهت، *En* در مقام اندازه‌گیری تصادفی بودن، میزان پراکندگی قطرات ابر را منعکس می‌کند. از جهتی دیگر، *En* اندازه‌گیری فازی بودن نیز به حساب می‌آید و از گسترهٔ جهانی نمایندگی می‌کند که از جانب مفهوم مورد پذیرش است. در واقع، *En* ابهام مفهوم کیفی را اندازه‌گیری می‌کند.
- هایپرآنتروپی *He*: درجهٔ غیر قطعیِ آنتروپی است و منعکس‌کنندهٔ درجهٔ پراکندگی قطرات ابر و تغییرات تصادفی عضویت است.

همانطور که ذکر شد در پژوهش حاضر، پس از استخراج امتیاز ریسک‌ها در فاکتورهای ارزیابی FMEA، برای اولویت‌بندی ریسک‌ها از روش ترکیبی CM-TOPSIS استفاده شده است. تکنیک TOPSIS[3] را هوانگ و یون در سال ۱۹۸۱ پیشنهاد کردند بطوریکه یکی از پرکاربردترین

1. Randomness
2. Fuzziness
3. Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

روش‌های MADM در تمام زمینه‌ها است. در این تکنیک هر مسئله به صورت یک سیستم هندسی شامل m نقطه در یک فضای n بعدی فرض می‌شود. این تکنیک بر این مفهوم استوار شده است که بهترین گزینه، نزدیک‌ترین به جواب ایده‌آل مثبت (PIS[1]) و دورترین از جواب ایده‌آل منفی (NIS[2]) است [۵].

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

در این قسمت چارچوب مدل‌های اجرا شده جهت شناسایی و ترسیم شبکه روابط تأثیرات سلسله‌مراتبی و ارزیابی ریسک‌های مطالعه‌ی موردی شرح داده می‌شود. مطابق روش‌شناسی پژوهش، مرحله به مرحله تجزیه و تحلیل صورت می‌پذیرد.

مرحله اول: شناسایی و غربالگری ریسک‌های پروژه‌های پتروشیمی

طبق بررسی تحقیقات پیشین ۱۲۸ ریسک در پروژه‌های پتروشیمی شناسایی گردید [۲۹]، سپس با توجه به محدودیت‌های دسترسی به خبرگان جهت جمع‌آوری داده‌های مقایسات زوجی و ارزیابی برای ادامهٔ تجزیه و تحلیل، ۱۰ ریسک با استفاده از تکنیک دلفی انتخاب شد.

هدف اصلی روش دلفی دستیابی به قابل اطمینان‌ترین اجماع گروهی از نظرات خبرگان بواسطه یک سری از پرسشنامه‌های متمرکز همراه با بازخورد کنترل شده می‌باشد [۸ و ۹]. براساس چارچوب نظری ارائه شده، مراحل انجام روش دلفی به صورت زیر است:

۱. انتخاب نمونه‌ای از خبرگان (نمونه‌گیری در پژوهش‌های کیفی): تعداد خبرگان متناسب هر پژوهش می‌تواند متفاوت باشد، اما در اغلب مراجع جهت معتبر بودن نتایج توصیه به حداقل ۱۰ خبره شده است. لذا از نمونه خبرگان ۳۰ نفرهٔ خود، ۱۰ نفر را انتخاب نمودیم (با توجه به اینکه کل نمونه‌ی ۳۰ نفره دارای شرایط احراز و مرتبط با حوزه‌ی مورد مطالعه بودند، ۱۰ نفر مذکور را بصورت تصادفی انتخاب کردیم).

۲. تنظیم پرسشنامه دلفی و ارسال آن برای خبرگان: ریسک‌های مستخرج از تحقیقات پیشین را در فرم پرسشنامه تنظیم نموده تا خبرگان هر ریسک را از منظر سه شاخص ذیل ارزیابی و نمره‌دهی کنند؛

- اهمیت و اولویت ریسک: هر ریسک را از جهت اهمیت و ارزش توجه کلی از منظر یک خبره در این حوزه امتیازدهی می‌شود.
- تأثیر ریسک: میزان تأثیری است ک در صورت وقوع، بر یک یا چند هدف پروژه می‌گذارد. هر ریسک می‌تواند چند مورد از اهداف پروژه، از جمله؛ زمان و هزینه را متأثر سازد. لذا تأثیر بر زمان و هزینه از فاکتورهای غربال ریسک‌ها باید باشد [۲۶].
- دسته‌بندی هرمی: در این دسته‌بندی ریسک‌های شناسایي شده بر اساس علل وقوع آن‌ها دسته بندی می‌گردند. در این راستا ریسك سازمان‌ها معمولاً به پنج دسته وسیع زیر تقسیم می‌گردد [۲۵، ۲۹]:
  - ریسك استراتژیك یا راهبردی
  - ریسك کسب و کار/مالی
  - ریسك برنامه و پروژه
  - ریسك عملیاتی
  - ریسك فن آوری

۳. گردآوری دیدگاه خبرگان و محاسبه میانگین دیدگاه آن‌ها: در سه مرحله (تکرار) این تکنیک پیاده‌سازی می‌گردد. در مرحلهٔ اول ریسک‌ها از تحقیقات پیشین شناسایی و گردآوری گردید و نیازی به پرسشنامهٔ نظرات خبرگان نبود. مرحلهٔ دوم ارسال پرسشنامه مذکور و جمع‌آوری نمرات هر ریسک در شاخص‌های مدنظر است. با ۷ درجهٔ جدول ۷ نظرات کارشناسان در قالب تکنیک دلفی در جدول ۵ ثبت شده است، که در ستون آخر میانگین درجات هر ریسک قابل مشاهده است. برای مرحلهٔ سوم که معمولاً در قالب پرسشنامه‌ای مجدداً

1. Positive Ideal Solution
2. Negative Ideal Solution

نظرات کارشناسان را در خصوص نقاط عدم توافق گردآوری می‌کنند، نمرات خبرگان را مجدد بررسی نمودیم و اختلاف معناداری در نمرات ریسک‌های مهم‌تر مشاهده نکردیم لذا به نتایج مرحلهٔ دوم اکتفا نمودیم.

جدول ۵. نظرات کارشناسان در تکنیک دلفی جهت غربالگری ریسک (با استفاده از روش دلفی)

ردیف	ریسك	اهمیت ریسک	تأثیر هزینه و زمان	دسته‌بندی هرمی	میانگین
ریسک‌های مرحله مطالعات فني، اقتصادي و مالي					
۱	نیمه‌کاره بودن واحدهاي توليدكننده‌ی محصول مورد نیاز	۴.۵۵۶	۳.۱۹۱	۳.۶۸۰	۳.۸۰۹
۲	انحصارگر در بازار محصول	۵.۶۷۹	۴.۴۰۳	۴.۷۹۲	۴.۹۵۸
⇣	⇣	⇣	⇣	⇣	⇣
۴۶	زمان‌بندی نادرست برای تأمین کالا	۴.۷۸۴	۳.۷۶۳	۳.۴۴۵	۳.۹۹۷
ریسک های اخذ لیسانس، برگزاری مناقصه و انتخاب پیمانکار					
۴۷	انحصاري بودن تكنولوژي يا وابستگي به تكنولوژي	۴.۰۴۵	۳.۱۵۰	۳.۸۹۸	۳.۶۹۸
۴۸	سابقه ناكافي تكنولوژي در دسترس در جهان	۵.۵۲۱	۴.۵۰۵	۴.۹۴۲	۴.۹۸۹
⇣	⇣	⇣	⇣	⇣	⇣
۶۰	خطاي انساني در محاسبات و عدم كنترل كافي بر روي محاسبات صورت گرفته	۴.۳۱۲	۳.۲۹۰	۳.۸۷۰	۳.۸۲۴
ریسک های مهندسی پایه و تفصیلی					
۶۱	عدم انتخاب مشاور مناسب	۵.۲۰۲	۴.۶۳۳	۴.۵۲۵	۴.۷۸۶
۶۲	نبود نظارت مناسب بر كار مشاور	۵.۲۵۳	۴.۱۲۵	۵.۱۵۱	۴.۸۴۳
⇣	⇣	⇣	⇣	⇣	⇣
۸۱	انتقال مشخصات ناقص به تأمین‌کننده	۴.۶۵۹	۳.۰۸۳	۳.۷۷۸	۳.۸۴۰
ریسک های تدارکات					
۸۲	ناتواني در پرداخت به تأمين كنندگان مالي در خارج	۳.۷۲۷	۲.۰۷۷	۲.۳۹۶	۲.۷۳۳
۸۳	مشكل تأمين تجهيزات بدبار و غير متعارف[1]	۳.۷۵۵	۲.۳۳۷	۲.۳۳۹	۲.۸۱۰
⇣	⇣	⇣	⇣	⇣	⇣
۱۱۷	آتش‌سوزی و انفجار	۴.۴۵۶	۳.۹۵۰	۴.۱۰۱	۴.۱۶۹
ریسک های پیش راه اندازی و راه اندازی					
۱۱۸	مشكل تأمين تجهيزات يدكي، مواد يا كاتاليست بدليل تحريم	۶.۹۵۹	۵.۱۷۹	۵.۹۵۹	۶.۰۳۲
۱۱۹	كاهش ميزان خدمات قابل ارائه توسط پايانه مورد نظر[2]	۳.۱۷۲	۲.۳۶۹	۲.۶۷۹	۲.۷۴۰
⇣	⇣	⇣	⇣	⇣	⇣
۱۲۸	عدم ثبت آموخته ها در حين راه اندازي يا عدم استفاده از تجربيات قبلي	۶.۴۸۶	۵.۷۲۸	۶.۱۶۳	۶.۱۲۵

با توجه به ستون میانگین نظرات، ۱۰ ریسک برتر را انتخاب کرده و در جدول ۶ به عنوان ریسک‌های نهایی که در این تحقیق تجزیه و تحلیل می‌گردند ثبت شد.

۱ - مشكلات ناشي از قوانين گمركي و يا محدوديت هاي تحريم سياسي.

۲ - به واسطه كاهش ظرفيت پايانه، قوانين جديد گمركي و ... ممكن است اين موضوع رخ دهد.

جدول ۶. ریسک‌های نهایی غربالگری شده

ردیف	ریسک	شناسه ریسک
۱	مشکلات در تأمین مالی (به دلایل مختلف)	C1
۲	افزایش نرخ بهره ریالی و ارزی	C2
۳	عدم توجه به مدیریت ذی‌نفعان در ابتدای پروژه	C3
٤	مشکلات در زمینه تعامل با تأمین‌کنندگان تکنولوژی (به دلایل مختلف، از جمله محدودیت‌های مربوط به تحریم)	C4
٥	عدم توجه به مسائل رفاهی و اجتماعی منطقه‌ی اجرای پروژه (پیش از توسعه)	C5
٦	عدم توجه به محیط احداث پروژه در طراحی مهندسی	C6
۷	عدم پیشرفت مناسب سازندگان، مطابق برنامه (در طول اجرای پروژه)	C7
۸	عدم انتخاب تیم توانمند و با تجربه، متناسب با نوع قرارداد یا اجرا	C8
۹	مشکل تأمین تجهیزات یدکی، مواد یا کاتالیست (به دلایل مختلف از جمله محدودیت‌های مربوط به تحریم)	C9
۱۰	عدم ثبت آموخته‌ها در حین پروژه	C10

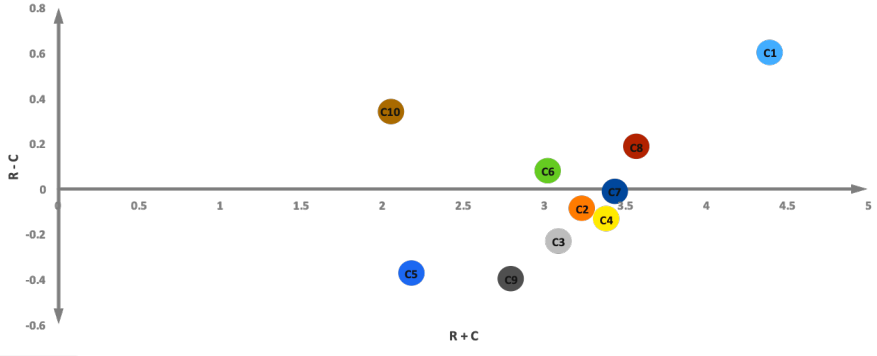
مرحلهٔ دوم: ترسیم شبکهٔ روابط علت و معلول و سلسله‌مراتبی، با استفاده از روش ترکیبی Dematel-ISM

در این مرحله ابتدا با استفاده از تکنیک ترکیبی Demtael-ISM شبکه روابط علت و معلول ریسک‌های پروژه‌های پتروشیمی را بدست می‌آوریم. طبق گام‌های ذکر شده در روش، پس از محاسبه ماتریس تأثیر مستقیم، با استفاده از ماتریس روابط کل و حد آستانه پارامترهای الگوی تأثیرگذاری و تأثیرپذیری ریسک‌ها در جدول ۷ ثبت گردیده است.

جدول ۷. پارامترهای روابط علت و معلولی ریسک‌ها

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
درجهٔ‌تأثیرگذاری	۲.۵	۱.۵۷	۱.۴۳	۱.۶۲	۰.۹۰	۱.۵۵	۱.۷۱	۱.۸۷	.۱	۱.۱۹
درجهٔ تأثیرپذیری	۱.۸۹	۱.۶۶	۱.۶۹	۱.۷۵	۱.۲۷	۱.۴۱	۱.۷۲	۱.۶۹	۱.۵۹	۰.۸۵
مرکزیت	۴.۳۹	۳.۲۳	۳.۰۹	۳.۳۸	۲.۱۷	۳.۰۲	۳.۴۳	۳.۵۷	۲.۷۹	۲.۰۵
علّیت	۰.۶۰۷	−۰.۰۸	−۰.۲۲	−۰.۱۳	−۰.۳۷	۰.۰۸۳	−۰.۰۰	۰.۱۸۸	−۰.۳۶	۰.۳۴

با توجه به پارامترهای جدول ۷، نمودار علّی روابط ریسک‌ها را می‌توان در نمودار شکل ۲ مشاهده نمود.



شکل ۲. نمودار علّی ریسک‌ها

در نمودار علی شکل ۲، محور عمودی نشان‌دهندهٔ قدت تأثیرگذاری است، اعداد مثبت آن عوامل علّت و اعداد منفی عوامل معلول را نشان می‌دهند. محور افقی نمایانگر میزان و تعداد تعامل (علت و معلولی) هر ریسک با دیگر ریسک‌ها را نشان می‌دهد.

با توجه به جدول ۷ و نمودار شکل ۲ نکاتی به شرح ذیل قابل مشاهده است:

- از منظر تأثیرگذاری: بالاترین تأثیرگذاری را ریسک C1 (۲.۵۰) و پایین‌ترین تأثیرگذاری را ریسک C5 (۰.۹۰) دارد.
- از منظر تأثیرپذیری: بالاترین تأثیرپذیری را ریسک C7 (۱.۷۲) و کمترین تأثیرپذیری را ریسک C10 (۰.۸۵) دارد.
- از منظر مرکزیت (اهمیت کلی هر عامل): ریسک C1 (۴.۳۹) بیشترین اهمیت و ریسک C5 (۲.۱۷) کمترین اهمیت را دارد.
- از منظر علّیت (نقش علت یا معلول بودن هر عامل):
  - علت‌ها: C1, C8, C10
  - معلول‌ها: C2, C3, C4, C5, C6, C7, C9

در ادامه با توجه به روش ارائه شده، به تعیین روابط سلسله‌مراتبی و سطح‌بندی عوامل ربسک می‌پردازیم. در این راستا با استفاده از ماتریس دستیابی، طبق فرمول‌های (۱) و (۲) مجموعه‌های دستیابی و پیش‌نیازی را محاسبه شده و روابط و سطح‌بندی ریسک‌ها را در جدول ۸ ثبت نمودیم.

فرمول (۱):

$$R_i = \{x_j | x_j \epsilon X \; k_{ij} = 1 \qquad j = 12 \dots n\} \quad (i = 12 \dots n)$$

فرمول (۲):

$$S_i = \{x_j | x_j \epsilon X \; k_{ji} = 1 \qquad j = 12 \dots n\} \quad (i = 12 \dots n)$$

برای محاسبه مجموعه R_i، ماتریس دسترسی K را سطر به سطر بررسی می‌کنیم. به اینصورت که در سطر عامل iام، عواملی که دارای مقدار ۱ هستند تعیین می‌کنیم و در مجموعه S_i، ماتریس دسترسی K را ستون به ستون بررسی می‌کنیم. به اینصورت که در ستون عامل iام، عواملی که دارای مقدار ۱ هستند تعیین می‌کنیم.

سپس اشتراک مجموعه‌های $R_i = R_i \cap S_i$ آن‌ها ردیف در که عواملی .می‌آوریم بدست را S_i و R_i شده است بر عوامل دیگر تأثیر می‌گذارند ولی از عاملی تأثیر نمی‌پذیرند، لذا سطح اول نمودار سلسله مراتبی را تشکیل می‌دهند.

- **معنی و مفهوم سطوح، در روش ISM:** در این روش سطح‌بندی عوامل ریسک، نشان‌دهنده‌ی جایگاه هر ریسک در زنجیره‌ی تأثیرگذاری و تأثیرپذیری است. عوامل در سطح اول (بالاترین سطح) معمولاً ریسک‌هایی هستند که به عنوان پیامدهای نهایی ظاهر می‌شوند و تحت تأثیر سایر ریسک‌ها قرار دارند، اما خودشان تأثیر چندانی بر عوامل دیگر ندارند (مانند ریسک‌هایی که به عنوان نتایج مستقیم پروژه ظاهر می‌شوند). عوامل در سطوح میانی، نقش واسطه‌ای دارند؛ یعنی هم تحت تأثیر ریسک‌های ریشه‌ای قرار می‌گیرند و هم بر ریسک‌های سطح بالاتر اثر می‌گذارند (مانند ریسک‌هایی که در میانه زنجیره انتقال قرار دارند). در نهایت، عوامل در سطح پایین (پایین‌ترین سطح) به عنوان ریسک‌های ریشه‌ای یا محرک شناخته می‌شوند که بیشترین تأثیرگذاری را بر سایر ریسک‌ها دارند و کمترین تأثیرپذیری را از آن‌ها دریافت می‌کنند (مانند C_5: عدم توجه به مسائل رفاهی و C_{10}: عدم ثبت آموخته‌ها). این ساختار سلسله‌مراتبی به درک بهتر روابط علّی-معلولی بین ریسک‌ها کمک می‌کند و امکان اولویت‌بندی اقدامات پیشگیرانه را فراهم می‌سازد. تمرکز بر مدیریت ریسک ریشه‌ای در سطوح پایین می‌تواند از وقوع ریسک‌های سطح بالاتر جلوگیری کند.

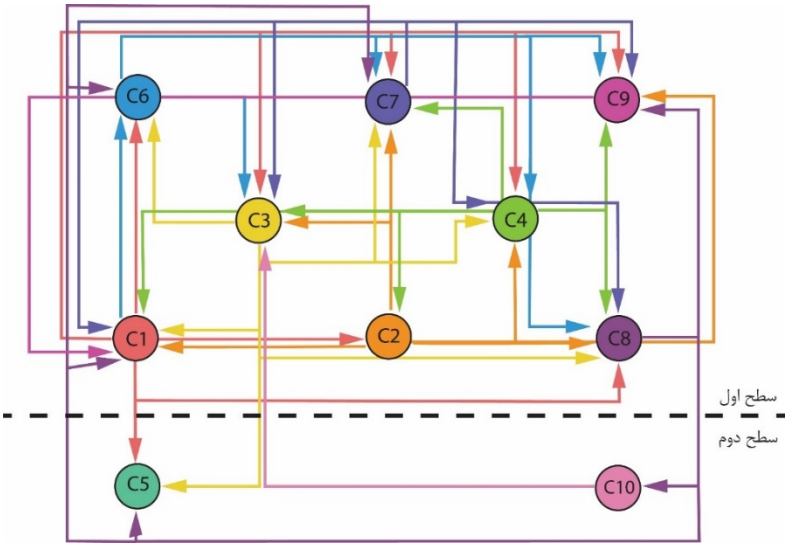
پس از تعیین سطح اول، عوامل تعیین شده در این سطح را از ماتریس دسترسی K حذف کرده و مجدد اشتراک مجموعه‌های $R_i = R_i \cap S_i$ آن‌ها ردیف در که عواملی و می‌آوریم بدست را S_i و R_i شده باشد را به عنوان عوامل سطح دوم تعیین می‌کنیم. بعد از حذف این عوامل از ماتریس دسترسی K مراحل قبل را ادامه می‌دهیم و عوامل هر سطح را بدست می‌آوریم.

جدول ۸. روابط و سطح‌بندی ابعاد

ریسک	مجموعه دستیابی (R_i)	مجموعه پیش‌نیازی (S_i)	مجموعه مشترک ($R_i \cap S_i$)	سطح اول (اگر $R_i \cap S_i = R_i$)
C1	C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9	C1, C2, C3, C4, C6, C7, C8, C9	C1, C2, C3, C4, C6, C7, C8, C9	C1, C2, C3, C4, C6, C7, C8, C9
C2	C1, C3, C4, C7, C8, C9	C1, C4, C7, C8	C1, C4, C7, C8	C1, C4, C7, C8
C3	C1, C4, C5, C6, C7, C8	C1, C2, C4, C6, C7, C8, C10	C1, C4, C6, C7, C8	C1, C4, C6, C7, C8
C4	C1, C2, C3, C7, C8, C9	C1, C2, C3, C6, C7, C8	C1, C2, C3, C7, C8	C1, C2, C3, C7, C8
C5	–	C1, C3, C8	–	–
C6	C1, C3, C4, C7, C8, C9	C1, C3, C8	C1, C3, C8	C1, C3, C8
C7	C1, C2, C3, C4, C8, C9	C1, C2, C3, C4, C6, C8, C9	C1, C2, C3, C4, C8, C9	C1, C2, C3, C4, C8, C9
C8	C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C9	C1, C2, C3, C4, C6, C7	C1, C2, C3, C4, C6, C7	C1, C2, C3, C4, C6, C7
C9	C1, C7	C1, C2, C4, C6, C7, C8	C1, C7	C1, C7
C10	C3	–	–	–

در نتیجه ریسک‌های C1, C2, C3, C4, C6, C7, C8, C9 در سطح اول و ریسک‌های C5, C10 در سطح دوم سلسله‌مراتب شبکه قرار می‌گیرند.

در نهایت از نظر خبرگان در جهت اصلاح و تأیید روابط تأثیرگذاری ریسک‌ها استفاده شد تا در شکل ۳ نمودار شبکهٔ نهایی ترسیم گردد.



شکل ۳. نمودار شبکهٔ نهایی تأثیرات سلسله‌مراتبی ریسک‌ها

مرکزیت نشان‌دهنده اهمیت کلی هر عامل است. می‌توانیم این مقادیر را با رتبه‌بندی CM-TOPSIS مقایسه کنیم تا وزن نسبی هر عامل را در تحلیل ریسک تأیید کنیم.

C1 (مرکزیت ۴.۳۹، رتبه ۱ در CM-TOPSIS) و C9 (مرکزیت ۲.۷۹، رتبه ۲ در CM-TOPSIS) بالاترین اولویت را دارند، که با مرکزیت بالا در DEMATEL-ISM سازگار است.

C5 (مرکزیت ۲.۱۷، رتبه ۱۰ در CM-TOPSIS) کمترین اهمیت را دارد، که با مرکزیت پایین آن هم‌راستاست.

مرحلهٔ سوم: اولویت‌بندی با ترکیب رویکردهای ابری FMEA و TOPSIS

در مرحله اول، DEMATEL با شناسایی روابط علت و معلولی بین ریسک‌ها و ایجاد یک ماتریس تأثیر، مشخص می‌کند که کدام ریسک‌ها اثرگذارتر هستند. سپس ISM این روابط را در قالب یک ساختار سلسله‌مراتبی تنظیم می‌کند و ریسک‌ها را بر اساس تأثیراتشان طبقه‌بندی می‌کند. در مرحله دوم، جدا از مرحله اول، با هدف اولویت‌بندی دقیق‌تر از روش ترکیبی CM-TOPSIS استفاده کردیم تا ریسک‌ها را بر اساس چندین معیار مانند شدت و احتمال اولویت‌بندی کنیم. به این ترتیب، تکنیک ترکیبی CM-TOPSIS در کنار روش DEMATEL-ISM، ریسک‌هایی که تأثیر بیشتری دارند را با اولویت بالاتری رتبه‌بندی می‌کند و تصمیم‌گیری دقیق‌تری ارائه می‌دهد.

در مرحلهٔ دوم با بکارگیری مدل ابری، روش‌های FMEA و TOPSIS (از گروه روش‌های MCDM) ترکیب کرده تا به اولویت‌بندی نهایی ریسک‌های پروژه‌های پتروشیمی برسیم.

ابتدا از طریق پرسشنامه‌ی FMEA، نظرات ۳۰ کارشناس خبره، در شاخص‌های این مدل؛ احتمال وقوع (O)، شدت تأثیر بر زمان و تأخیر (S_T)، شدت تأثیر بر هزینه (S_C) و قابلیت کشف و مشاهده (D)، برای ریسک‌های غربال شده جمع‌آوری گردید. سپس امتیازات جمع‌آوری شده برای هر ریسک در هر فاکتور را با استفاده از فرمول ۳ بصورت اعداد مدل ابری با مدل $CM = (Ex\ En\ He)$ بدست آورده و در جدول ۹ ثبت کردیم.

فرمول (۳) [۱۸]:

$$\tilde{y}_0 = (X_{\min} + 3En_0,\ En_1/0.618,\ He_1/0.618),$$
$$\tilde{y}_1 = (Ex_2 - 0.382(Ex_2 - Ex_0),\ En_2/0.618,\ He_2/0.618),$$
$$\tilde{y}_2 = (Ex_3 - 0.382(Ex_3 - Ex_0),\ En_3/0.618,\ He_3/0.618),$$
$$\tilde{y}_3 = (Ex_4 - 0.382(Ex_4 - Ex_0),\ En_4/0.618,\ He_4/0.618),$$
$$\tilde{y}_4 = \left(\frac{X_{\min} + X_{\max}}{2},\ 0.382\frac{X_{\max} - X_{\min}}{3(g+2)},\ He_3\right)\ (g = 8),$$
$$\tilde{y}_5 = (Ex_4 + 0.382(Ex_8 - Ex_4),\ En_4/0.618,\ He_4/0.618),$$
$$\tilde{y}_6 = (Ex_5 + 0.382(Ex_8 - Ex_5),\ En_5/0.618,\ He_5/0.618),$$
$$\tilde{y}_7 = (Ex_6 + 0.382(Ex_8 - Ex_6),\ En_6/0.618,\ He_6/0.618),$$
$$\tilde{y}_8 = (X_{\max} - 3En_8,\ En_7/0.618,\ He_7/0.618).$$

جدول ۹. ماتریس یکپارچهٔ مدل ابری *FMEA*، به تفکیک ٤ فاکتور ریسک

ریسک‌ها	احتمال وقوع			شدت تأثیر بر زمان			شدت تأثیر بر هزینه			قابلیت کشف و مشاهده		
	Ex	En	He	Ex	En	He	Ex	En	He	Ex	En	He
C1	۸٫۷۱٤	۰٫٤۹۲	۰٫۲۲٦	۸٫۷۱٤	۰٫۸۷۰	۰٫٦۳٤	۸٫۰۰۰	۰٫٦۲۷	۰٫۷۰٤	۲٫٤۲۹	۱٫۰۸۷	۱٫۳٤۸
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
C10	٥٫۱٤۳	۱٫٥۷۹	۰٫٦۳٤	٥٫۷۱٤	۰٫۹۲۱	۰٫٥٥۸	٦٫۱٤۳	۱٫۳٤۹	۱٫۱٦۰	٤٫٤۲۹	۲٫۱٤۲	۰٫۹۰۳

برای استفاده از تکنیک TOPSIS در مدل ابری باید از فرمول (۴) که توسط ونگ و همکاران (۲۰۲۱) برای محاسبه فاصله ابری (Cloud Distance) بین دو عدد ابری $\tilde{y}_2 = (Ex_2\ En_2\ He_2)$ و $\tilde{y}_1 = (Ex_1\ En_1\ He_1)$ ارائه شد، استفاده کنیم [۳۵]:

❖ فرمول (۴):

$$D(\tilde{y}_1\ \tilde{y}_2) = \left| Ex_1\left(1 - \frac{En_1^2 + He_1^2}{En_1^2 + He_1^2 + En_2^2 + He_2^2}\right) - Ex_2\left(1 - \frac{En_2^2 + He_2^2}{En_1^2 + He_1^2 + En_2^2 + He_2^2}\right)\right|$$

در ادامه با استفاده از تکنیک TOPSIS پارامترهای جداکنندهٔ مثبت (d_i^+)، جداکنندهٔ منفی (d_i^-) را برای ۱۰ گزینه (ریسک) در ٤ شاخص (فاکتورهای FMEA) با استفاده از فرمول ٤ محاسبه کردیم که در جدول ۱۰ قابل مشاهده است.

جدول ۱۰. جدول پارامترهای روش CM-TOPSIS

ریسک‌ها	احتمال وقوع			شدت تأثیر بر زمان			شدت تأثیر بر هزینه			قابلیت کشف و مشاهده		
	Ex	En	He	Ex	En	He	Ex	En	He	Ex	En	He
+CM	۸.۷۱۴	۰.۴۹۲	۰.۲۲۶	۸.۷۱۴	۰.۷۸۰	۰.۴۱۱	۸.۰۰۰	۰.۵۶۹	۰.۴۵۶	۴.۴۲۹	۰.۸۷۰	۰.۴۴۳
-CM	۴.۵۷۱	۲.۴۷۵	۱.۴۰۵	۴.۷۱۴	۱.۵۷۹	۱.۲۳۰	۴.۵۷۱	۱.۵۰۹	۱.۱۶۰	۲.۴۲۹	۲.۲۳۸	۱.۳۴۸

ریسک	D^+	D^-	D^+	D^-	D^+	D^-	D^+	D^-
C1	۰.۰۰۰	۸.۲۴۹	۱.۷۱۴	۵.۷۰۳	۲.۰۱۱	۵.۵۲۴	۲.۷۷۶	۰.۹۴۶
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
C10	۷.۴۳۹	۲.۵۸۳	۲.۹۱۹	۳.۳۷۶	۵.۹۶۷	۱.۱۴۶	۳.۱۰۲	۱.۳۹۹

پس از محاسبهٔ مجموع جداکننده‌های مثبت و منفی برای هر گزینه (ریسک)، اندازهٔ نزدیکی نسبی (CC) طبق رابطه ۱۸ محاسبه گردیده و ریسک‌ها را در جدول ۱۱ به ترتیب صعودی اندازهٔ نزدیکی نسبی (CC) ریسک‌ها را رتبه‌بندی نمودیم.

جدول ۱۱. جدول اولویت‌بندی ریسک‌ها با روش CM-TOPSIS

رتبه	CC	$\sum D^-$	$\sum D^+$	ریسک	شناسه
۱	۰.۷۶	۲۰.۴۲۲	۶.۵۰۲	مشکلات در تأمین مالی (به دلایل مختلف)	**C1**
۵	۰.۳۹	۱۱.۸۰	۱۸.۱۷	افزایش نرخ بهره ریالی و ارزی	**C2**
۹	۰.۲۱	۵.۷۷	۲۱.۵۰	عدم توجه به مدیریت ذی‌نفعان در ابتدای پروژه	**C3**
۳	۰.۴۷	۱۴.۰۰	۱۵.۶۳	مشکلات در زمینه تعامل با تأمین‌کنندگان تکنولوژی (به دلایل مختلف، از جمله محدودیت‌های مربوط به تحریم)	**C4**
۱۰	۰.۲۰	۵.۵۶	۲۱.۸۶	عدم توجه به مسائل رفاهی و اجتماعی منطقه‌ی اجرای پروژه (پیش از توسعه)	**C5**
۷	۰.۳۴	۹.۷۵	۱۸.۷۰	عدم توجه به محیط احداث پروژه در طراحی مهندسی	**C6**
۶	۰.۳۷	۱۰.۸۲	۱۸.۰۲	عدم پیشرفت مناسب سازندگان، مطابق برنامه (در طول اجرای پروژه)	**C7**
۴	۰.۴۱	۱۲.۱۱	۱۷.۱۷	عدم انتخاب تیم توانمند و با تجربه، متناسب با نوع قرارداد یا اجرا	**C8**
۲	۰.۵۶	۱۴.۴۷	۱۱.۲۳	مشکل تأمین تجهیزات یدکی، مواد یا کاتالیست (به دلایل مختلف از جمله محدودیت‌های مربوط به تحریم)	**C9**
۸	۰.۳۰	۸.۵۰	۱۹.۴۳	عدم ثبت آموخته‌ها در حین پروژه	**C10**

رویکرد DEMATEL-ISM برای شناسایی عوامل ریسک، محاسبه مرکزیت و علیت و ایجاد ساختار سلسله‌مراتبی به کار می‌رود. این اطلاعات برای درک اهمیت و روابط علّی-معلولی عوامل استفاده می‌شود. CM-TOPSIS برای کمی‌سازی و رتبه‌بندی ریسک‌ها استفاده می‌گردد. نتایج CM-TOPSIS با استفاده از مرکزیت و ساختار سلسله‌مراتبی DEMATEL-ISM تحلیل می‌شوند تا مسیرهای انتقال ریسک شناسایی شوند.
نتایج DEMATEL-ISM نشان داد که C1 (مشکلات تأمین مالی) با مرکزیت ۴.۳۹ و علیت ۰.۶۰۷ بالاترین اهمیت را دارد، در حالی که C5 (عدم توجه به مسائل رفاهی) با مرکزیت ۲.۱۷ کمترین اهمیت را دارد. ساختار سلسله‌مراتبی نشان داد که C5 و C10 عوامل ریشه‌ای هستند. نتایج CM-TOPSIS نیز نشان داد که C1 (۰.۷۶) و C9 (۰.۵۶) بالاترین ریسک را دارند. با استفاده از DEMATEL-ISM، مسیرهای انتقال

ریسک برای C1 شامل C1 ⟶ C5 و C1 ⟶ C10، و برای C9 شامل C9 ⟶ C10 بودند، که نشان‌دهنده نقش عوامل ریشه‌ای در افزایش ریسک است.

مرحلهٔ چهارم. اولویت‌بندی ریسک با استفاده از روش سنتی FMEA

در این مرحله جهت مقایسهٔ روش مطالعهٔ حاضر با روش سنتی، عدد اولویت ریسک‌ها (RPN) را بر اساس داده‌های گردآوری شده از پرسشنامهٔ FMEA که در مرحلهٔ قبل اشاره گردید، محاسبه و طبق آن اولویت‌بندی صورت گرفته است. برای این منظور ابتدا میانگین امتیازاتی که ۳۰ خبره در پرسشنامه ثبت نمودند بدست آوردیم (شایان ذکر است که میانگین امتیازات، طبق فرمول ۵، همان شاخص Ex مدل مرحلهٔ قبل است)، سپس جهت کاربرد دقیق‌تر عدد اولویت ریسک (RPN)، فاکتورهای ارزیابی را با استفاده از ادغام (میانگین) فاکتورهای شدت تأثیر، به ۳ فاکتور تقلیل داده و در جدول ۱۲ ثبت نمودیم.

❖ فرمول (۵) [۴۰]:

$$Ex = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i$$

$$En = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \times \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} |X_i - Ex|$$

$$He = \sqrt{\left|\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n} (X_i - Ex)^2 - En^2\right|}$$

جدول ۱۲. میانگین امتیازات *FMEA* در ۳ فاکتور

ریسک	احتمال وقوع	شدت تأثیر	کشف و مشاهده
C1	۸.۷۱۴	۸.۳۵۷	۲.۴۲۹
↓	↓	↓	↓
C10	۵.۱۴۳	۵.۹۲۹	۴.۴۲۹

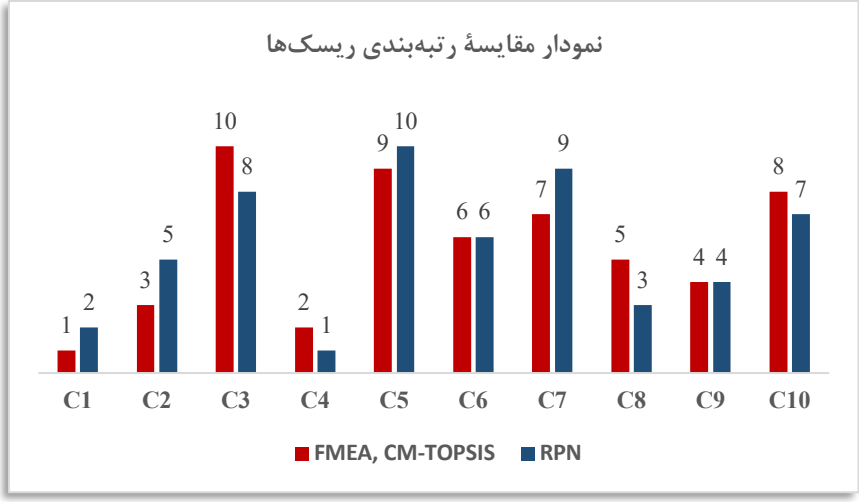
در نهایت عدد اولویت‌بندی ریسک را که برابر حاصل‌ضرب امتیازات احتمال وقوع، شدت تأثیر و قابلیت مشاهده و کنترل است، در جدول ۱۳ برای هر ریسک بدست آورده و به ترتیب نزولی این عدد، ریسک‌ها را اولویت‌بندی نمودیم.

جدول ۱۳. محاسبه عدد اولویت ریسک (*RPN*) و اولویت‌بندی

ریسک	احتمال وقوع	شدت تأثیر	کشف و مشاهده	RPN	رتبه
C1	۸.۷۱	۸.۳۶	۲.۴۳	۱۷۶.۸۶	۲
C2	۶.۸۶	۷.۰۷	۲.۸۶	۱۳۸.۵۴	۵
C3	۵.۷۱	۵.۴۳	۴.۱۴	۱۲۸.۵۱	۸
C4	۸.۲۹	۷.۱۴	۳.۱۴	۱۸۶.۰۱	۱
C5	۴.۵۷	۴.۶۴	۴.۴۳	۹۴.۰۰	۱۰
C6	۵.۷۱	۵.۷۹	۴.۱۴	۱۳۶.۹۷	۶
C7	۶.۱۴	۷.۴۳	۲.۴۳	۱۱۰.۸۲	۹
C8	۵.۴۳	۷.۴۸	۳.۷۱	۱۵۰.۸۶	۳
C9	۵.۸۶	۶.۳۶	۳.۸۶	۱۴۳.۶۲	۴
C10	۵.۱۴	۵.۹۳	۴.۴۳	۱۳۵.۰۳	۷

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در نهایت اولویت‌بندی ریسک‌ها را در دو رویکرد CM-TOPSIS و FMEA (روش RPN) مقایسه نموده و نتیجهٔ آن را در نمودار شکل ۴ منعکس نمودیم:



شکل ۴. نمودار مقایسهٔ اولویت‌بندی در روش *FMEA* سنتی و روش پژوهش حاضر

همانطور که مشاهده می‌کنید ترکیب اصلاحی تکنیک‌های FMEA و CM-TOPSIS منجر به افزایش اولویت ۳ ریسک و کاهش اولویت ۵ ریسک گردیده است. اولویت‌های ۲ ریسک «مشکل تأمین تجهیزات یدکی، مواد یا کاتالیست (به دلایل مختلف از جمله محدودیت‌های مربوط به تحریم)» و «عدم توجه به محیط احداث پروژه در طراحی مهندسی» نیز به ترتیب در رتبه‌های ٤ و ٦ ثابت باقی مانده‌اند. ریسک‌هایی که در نتایج روش این پژوهش در مقایسه با روش سنتی RPN در اولویت بالاتر قرار گرفته‌اند این موارد بوده است؛ «مشکلات در تأمین مالی»، «عدم پیشرفت مناسب سازندگان مطابق برنامه» و «مشکل تأمین تجهیزات یدکی، مواد یا کاتالیست».

جهت درک بهتر اولویت‌ها، مرکزیت در Dematel-ISM را با رتبه و اولویت در CM-Topsis مقایسه می‌شوند. مرکزیت به اهمیت کلی ریسک در شبکه روابط بین ریسک‌ها اشاره دارد و از مجموع تأثیرگذاری و تأثیرپذیری آن محاسبه می‌شود. در این مقایسه بررسی می‌شود که آیا ریسک‌هایی که در Dematel-ISM مرکزیت بالایی دارند در رتبه‌بندی CM-Topsis نیز اولویت بالایی دارند یا خیر. ممکن است تفاوت‌هایی وجود داشته باشد، مثلاً ریسکی با مرکزیت بالا ممکن است به دلیل تأثیر بر سایر ریسک‌ها مهم باشد، در حالیکه از منظر روش CM-Topsis اولویت کمتری داشته باشد، زیرا این روش بر معیارهای مستقیم مثل شدت و احتمال تمرکز دارد. برای نتیجه‌گیری می‌توانی داده‌های جدول ۱۴ را بررسی کرد.

جدول ۱۴. مقایسه مرکزیت، حاصل روش *Dematel-ISM* و اولویت‌بندی، حاصل روش *CM-Topsis*

مرکزیت	رتبه	CC	ریسک	شناسه
۴.۳۹	۱	۰.۷۶	مشکلات در تأمین مالی (به دلایل مختلف)	C1
۳.۲۳	۵	۰.۳۹	افزایش نرخ بهره ریالی و ارزی	C2
۳.۰۹	۹	۰.۲۱	عدم توجه به مدیریت ذی‌نفعان در ابتدای پروژه	C3
۳.۳۸	۳	۰.۴۷	مشکلات در زمینه تعامل با تأمین‌کنندگان تکنولوژی (به دلایل مختلف، از جمله محدودیت‌های مربوط به تحریم)	C4
۲.۱۷	۱۰	۰.۲۰	عدم توجه به مسائل رفاهی و اجتماعی منطقه‌ی اجرای پروژه (پیش از توسعه)	C5
۳.۰۲	۷	۰.۳۴	عدم توجه به محیط احداث پروژه در طراحی مهندسی	C6
۳.۴۳	۶	۰.۳۷	عدم پیشرفت مناسب سازندگان، مطابق برنامه (در طول اجرای پروژه)	C7
۳.۵۷	۴	۰.۴۱	عدم انتخاب تیم توانمند و با تجربه، متناسب با نوع قرارداد یا اجرا	C8
۲.۷۹	۲	۰.۵۶	مشکل تأمین تجهیزات یدکی، مواد یا کاتالیست (به دلایل مختلف از جمله محدودیت‌های مربوط به تحریم)	C9
۲.۰۵	۸	۰.۳۰	عدم ثبت آموخته‌ها در حین پروژه	C10

مقایسه نتایج:

- ریسک C1 هم مرکزیت بالایی دارد (۴.۳۹) و هم رتبه‌ی با اولویت بالا، که این نشان‌دهنده سازگاری است.
- ریسک C9 دارای مرکزیت کمتری است (۲.۷۹)، اما رتبه ۲ را در روش CM-Topsis دارد، یعنی در شبکه‌ی روابط اهمیت دارد، ولی از نظر معیارهای CM-Topsis دارای اهمیت کمتری است.
- ریسک C8 مرکزیت بالایی دارد (۳.۵۷)، ولی رتبه ۴ است، یعنی همانند ریسک C9 در شبکه‌ی روابط اهمیت بالایی دارد ولی از منظر معیارهای اولویت‌بندی رتبه‌ی پایین‌تری می‌گیرد.

این مقایسه به ما کمک می‌کند دید جامع‌تری به شرح ذیل، نسبت به مدیریت ریسک پروژه‌ی خود داشته باشیم:

- ریسک‌هایی که مرکزیت بالایی دارند ولی اولویت آن‌ها پایین است، این دسته ریسک‌ها ممکن است به دلیل تأثیر بر سایر ریسک‌ها مهم باشند، حتی اگر مستقیماً بحرانی نباشد (مانند ریسک؛ «***عدم انتخاب تیم توانمند و با تجربه، متناسب با نوع قرارداد یا اجرا***»).
- ریسک‌هایی که مرکزیت و اولویت کمتری دارند، اما در ساختار سلسله‌مراتبی Dematel-ISM به عنوان عوامل ریشه‌ای (سطح دوم) شناسایی شدند، نشان می‌دهند که مدیریت آن‌ها می‌تواند از وقوع ریسک‌های سطح بالاتر جلوگیری کند (مانند ریسک‌های؛ «***عدم توجه به مسائل رفاهی و اجتماعی منطقه‌ی اجرای پروژه (پیش از توسعه)***» و «***عدم ثبت آموخته‌ها در حین پروژه***»).

برخلاف روش‌های سنتی که معمولاً ریسک‌ها را بر اساس عوامل منفرد مانند احتمال یا تأثیر رتبه‌بندی می‌کردند، رویکرد پیشنهادی چندین جنبه را به‌طور همزمان در نظر می‌گیرد و ریسک‌ها را به‌صورت سیستماتیک و بر اساس تأثیر آن‌ها بر کل سیستم رتبه‌بندی می‌کند. در این تحقیق رتبه‌بندی‌های به‌دست‌آمده را با روش‌های سنتی مقایسه نمودیم و اختلافات موجود در اولویت‌بندی را نشان دادیم. طبق نظر برخی از خبرگان پژوهش، اولویت‌بندی جدید نسبت به نتایج و اولویت‌های واقعی ریسک‌ها نیز نزدیک‌تر بوده است، به‌طوری که ریسک‌های تأثیرگذارتر (که منجر به بروز سایر ریسک‌ها می‌شوند) اولویت بالاتری پیدا کردند. این رویکرد سلسله‌مراتبی و چندمعیاره نشان می‌دهد که روش پیشنهادی نه تنها ریسک‌ها را دقیق‌تر شناسایی می‌کند، بلکه اولویت‌بندی صحیح‌تری از این ریسک‌ها ارائه می‌دهد، که منجر به تصمیم‌گیری بهتر برای کاهش ریسک‌ها می‌شود.

با استفاده از نتایج این پژوهش مدیران و کارشناسان صنعت پتروشیمی می‌توانند از جنبه‌های شفاف‌تر و با زاویه دید بازتر به ۱۰ ریسک منتخب در پژوهش توجه کنند تا با بهترین رویکرد بهینه به برنامه‌ریزی پیش‌بینی و واکنش به آن‌ها بپردازند، و در نتیجه کمترین خسارات به سیستم وارد

شود و از فرصت‌های موجود بیشترین بهره را بتوان برد. همچنین مدل ترکیبی تحلیل‌های روابط تأثیر، سطوح سلسله‌مراتب و اولویت‌بندی این پژوهش، در میان مدل‌های مورد استفاده جهت تحلیل و ارزیابی ریسک، بخصوص در صنعت پتروشیمی، ترکیبی نوین به حساب می‌آید که در دیگر تحقیقات کمتر مشاهده شده است. در حالیکه می‌تواند منجر به وسعت تحلیل و بهبود ارزیابی‌های سنتی شده و در فرآیند مدیریت ریسک کمک کرده تا بهینه و کارآمدتر اجرا شود.

به عنوان محدودیت‌های تحقیق حاضر می‌توان به این موارد اشاره نمود؛ در مرحلهٔ اول تحقیق، برای تجزیه و تحلیل تأثیرات از اعداد قطعی استفاده شده است، که برای دقت بیشتر تبدیل ارزش‌های کلامی به منطق ریاضی بهتر است از رویکردهای فازی استفاده شود. با توجه به وقت و پاسخ‌دهی محدود کارشناسان و مدیران صنعت پتروشیمی در جهت پاسخ به پرسشنامه باید تعداد ریسک محدودی انتخاب می‌شد، لذا تنها ۱۰ ریسک جهت مقایسات زوجی و امتیازدهی FMEA انتخاب و ارزیابی شد. جهت ارزیابی و مشاهده بهتر دقت مدل ترکیبی تحقیق حاضر بهتر است از تعداد ریسک بیشتری بهره ببریم.

در پایان در جهت بهبود و توسعه موضوع و مدل تحقیق حاضر چند پیشنهاد به شرح زیر ارائه می‌گردد:

برای کاهش ریسک C1 (مشکلات تأمین مالی، رتبه ۱)، پیشنهاد می‌شود که برنامه‌ریزی مالی بهبود یابد. با توجه به تأثیر C5 (عدم توجه به مسائل رفاهی) و C10 (عدم ثبت آموخته‌ها) از DEMATEL-ISM، باید مسائل رفاهی منطقه و ثبت آموخته‌ها مورد توجه قرار گیرند. برای C9 (مشکل تأمین تجهیزات، رتبه ۲)، تأمین زنجیره تأمین باید تقویت شود و با توجه به نقش C10، ثبت آموخته‌ها برای مدیریت بهتر تحریم‌ها بهبود یابد.

۱- جهت ارزیابی دقیق‌تر و تبدیل نزدیک به واقعیت ارزش‌های کلامی به ریاضی، در تجزیه و تحلیل ماتریس تأثیر مستقیم می‌توان از رویکرد فازی بهره برد.

۲- استفاده از شبکه بیزین جهت محاسبه احتمال وقوع

۳- استفاده از روش‌های داده‌کاوی جهت استفاده از داده‌های گذشته و بدون دخالت قضاوت انسان؛ یعنی به جای پرسشنامه و نظر خبرگان از داده‌کاوی اطلاعات گذشته بتوان ریسک‌ها را ارزیابی نمود، البته باید دقت داشت که قضاوت خبرگان را نباید بطور کلی حذف نمود و در نهایت نتیجهٔ تحلیل خودکار را خبرگان باید اصلاح کنند.

٤- استفاده از مدل ترکیبی تحقیق حاضر در حوزه‌های دیگر، جهت ارزیابی کارایی و صحت نتایج آن

تعارض منافع. برای ارائه مطالب و نگارش این مقاله هیچ‌گونه کمک مالی از هیچ فرد، نهاد و سازمانی دریافت نشده است و نتایج و دستاوردهای این مقاله به نفع یا ضرر سازمان یا فردی خاص نخواهد بود. حضور نویسندگان در این پژوهش به‌عنوان شاهدی بی‌طرف ولی متخصص بوده است و نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافعی ندارند.

منابع

1. Ahsan, F., Naseem, A., Ahmad, Y., & Sajjad, Z. (2023). Evaluation of manufacturing process in low variety high volume industry with the coupling of cloud model theory and TOPSIS approach. *Quality Engineering, 35*(2), 222-237.
2. Ahmadi, O., Mortazavi, S. B., Mahabadi, H. A., & Hosseinpouri, M. (2020). Development of a dynamic quantitative risk assessment methodology using fuzzy DEMATEL-BN and leading indicators. *Process Safety and Environmental Protection, 142*, 15–44.
3. Akyuz, E., & Celik, E. (2015). A fuzzy DEMATEL method to evaluate critical operational hazards during the gas freeing process in crude oil tankers. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 38*, 243–253.
4. Ali-Kazemi, M., Ehtesham-Rathi, R., & Ali-Hosseini, M. (2020). Assessment of human risk factors in oil and gas projects: A case study of Pars Oil and Gas Company. *Energy Policy and Planning Research Journal, 6*(1), 28.
5. Asgarizadeh, E., & Mohammadi Balani, A. (2019). *Multicriteria decision-making techniques*. Tehran: University of Tehran Press.
6. Cai, B., Zhao, L., Liu, Y., Zhang, Y., Li, W., Shao, X., & Liu, Y. (2022). Quantitative risk assessment methodology of installation process for deepwater oil and gas equipment. *Journal of Cleaner Production, 341*, 130835.

7. Cooper, D. F. (2005). *Project risk management guidelines: Managing risk in large projects and complex procurements*. London: Wiley.
8. Dalkey, N., & Helmer, O. (1963). An experimental application of the Delphi method to the use of experts. *Management Science, 9*(3), 458–467.
9. Delbecq, A. L., Van de Ven, A. H., & Gustafson, D. H. (1975). *Group techniques for program planning: A guide to nominal group and Delphi processes*. Scott, Foresman.
10. Ebadzadeh, F., Monavari, S. M., Jozi, S. A., Robati, M., & Rahimi, R. (2023). Combining the Bow-tie model and EFMEA method for environmental risk assessment in the petrochemical industry. *International Journal of Environmental Science and Technology, 20*(2), 1357-1368.
11. Emami, M., Hejazi, B., Karimi, M., & Mousavi, S. A. (2022). Quantitative risk assessment and risk reduction of integrated acid gas enrichment and amine regeneration process using Aspen Plus dynamic simulation. *Results in Engineering, 100566*.
12. Goodarzi, N., & Nazari, A. (2024). Evaluation of human resource productivity risks, fuzzy DEMATEL and system dynamics approach (case study: High-rise building projects). *Journal of Industrial Management Perspective, 14*(3), 141-168. https://doi.org/10.48308/jimp.14.3.141
13. Project Management Institute. (2008). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® guide)* (Vol. 11, pp. 7-8).
14. Guo, X., Yang, Z., Sun, J., & Zhang, Y. (2024). Impact pathways of emerging ITs to mitigate supply chain vulnerability: A novel DEMATEL-ISM approach based on grounded theory. *Expert Systems with Applications, 239*, 122398.
15. Khodadlikhoo, S. (2011). Quantitative analysis of the impact of risks on time and cost of activities among them (Master's thesis, School of Civil Engineering, University of Tehran).
16. Li, J., & Xu, K. (2021). A combined fuzzy DEMATEL and cloud model approach for risk assessment in process industries to improve system reliability. *Quality and Reliability Engineering International, 37*(3), 2110–2133.
17. Li, D., Liu, C., & Gan, W. (2009). A new cognitive model: Cloud model. *International Journal of Intelligent Systems, 24*(3), 357-375.
18. Liu, H. C., Wang, L. E., Li, Z., & Hu, Y. P. (2018). Improving risk evaluation in FMEA with cloud model and hierarchical TOPSIS method. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 27*(1), 84-95.
19. Mazumder, R. K., Salman, A. M., & Li, Y. (2021). Failure risk analysis of pipelines using data-driven machine learning algorithms. *Structural Safety, 89*, 102047.
20. Meng, X., Zhu, J., Chen, G., Shi, J., Li, T., & Song, G. (2022). Dynamic and quantitative risk assessment under uncertainty during deepwater managed pressure drilling. *Journal of Cleaner Production, 334*, 130249.
21. Moniri, M. R., Alam Tabriz, A., & Ivoq, A. (2022). Risk assessment of major repair projects in upstream oil process industries using a combined fuzzy multicriteria decision-making method. *Industrial Management Perspective Journal, 12*(46), 135-173.
22. Moradi, M., & Mirzazadeh, M. (2019). Identification, assessment, and ranking of production risks in the pharmaceutical industry using failure mode analysis method: A case study of Subhan Daru Company. *Healthcare Management Quarterly, 10*(31), 10.
23. Nabavi, B. (1997). *Introduction to research methods in social sciences*. Tehran: Farvardin Publishing.
24. Nazari, A., Jaberi, M., & Sadegh Amal Nik, M. (2013). Developing a risk management model for project-based organizations. *Advances in Industrial Engineering, 47*(1), 93-104. https://doi.org/10.22059/jieng.2013.35513
25. Okoli, C., & Pawlowski, S. D. (2004). The Delphi method as a research tool: An example, design considerations and applications. *Information & Management, 42*(1), 15-29.
26. Planning and Strategic Supervision Bureau. (2008). *Risk management in projects* (Publication No. 659). Tehran: Publications of the Planning and Strategic Supervision Bureau.
27. Project Management Institute. (2017). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® guide)* (6th ed.). Project Management Institute.
28. Project Management Institute (PMI), Project Management Standards Collection (translated by Project Management Research and Development Center, Petrochemical). (2013). Tehran: Mehreban Publishing.
29. Project Management Research and Development Center (Petrochemical). (2012). Identification of common risks in petrochemical projects at all stages of the project life cycle and proposing reaction strategies. Internal organizational research report. Petrochemical Industry Development Management Company.
30. Razini, R., Azar, A., & Mohammadi, M. (2013). A performance measurement model for agile organizations: A structural-interpretive modeling approach. *Industrial Management Perspective Journal, 3*(4), 87-109.
31. Renjith, V. R., Madhu, G., Nayagam, V. L. G., & Bhasi, A. B. (2010). Two-dimensional fuzzy fault tree analysis for chlorine release from a chlor-alkali industry using expert elicitation. *Journal of Hazardous Materials, 183*, 103–110.

32. Rezaei-Aghmashhadi, M., Mahfoozi, G., & Rahimzadeh, F. (2022). Applying Delphi-Fuzzy and Fuzzy DEMATEL approaches to identify and assess the factors affecting the credit risk of individual clients in Bank Melli Iran. *Financial Engineering and Securities Quarterly, 13*(51), 27.
33. Sarmad, Z., Bazargan, A., & Hejazi, E. (2013). *Research methods in behavioral sciences*. Tehran: Agah Publishing.
34. Vahdani, B., Salimi, M., & Charkhchian, M. (2015). A new FMEA method by integrating fuzzy belief structure and TOPSIS to improve risk evaluation process. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*.
35. Wang, L., Yan, F., Wang, F., & Li, Z. (2021a). FMEA-CM based quantitative risk assessment for process industries—A case study of coal-to-methanol plant in China. *Process Safety and Environmental Protection, 149*, 299–311.
36. Wang, M., Wang, Y., Shen, F., & Jin, J. (2021b). A novel classification approach based on integrated connection cloud model and game theory. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 93*, 105540.
37. Wang, Y., Gao, M., Wang, J., Wang, S., Liu, Y., Zhu, J., & Tan, Z. (2021c). Measurement and key influencing factors of the economic benefits for China's photovoltaic power generation: A LCOE-based hybrid model. *Renewable Energy, 169*, 935–952.
38. Wang, J. Q., Peng, J. J., Zhang, H. Y., Liu, T., & Chen, X. H. (2015). An uncertain linguistic multi-criteria group decision-making method based on a cloud model. *Group Decision and Negotiation, 24*(1), 171-192.
39. Wu, X., Huang, H., Xie, J., Lu, M., Wang, S., Li, W., & Sun, X. (2023). A novel dynamic risk assessment method for the petrochemical industry using bow-tie analysis and Bayesian network analysis method based on the methodological framework of ARAMIS project. *Reliability Engineering & System Safety, 237*, 109397.
40. Yan, F., Li, Z. J., Dong, L. J., Huang, R., Cao, R. H., Ge, J., & Xu, K. L. (2021). Cloud model-clustering analysis based evaluation for ventilation system of underground metal mine in alpine region. *Journal of Central South University, 28*(3), 796-815.
41. Zegordi, S., Nazari, A., & Rezaee Nik, E. (2014). Project risk assessment by a hybrid approach using fuzzy-ANP and fuzzy-TOPSIS. *Sharif Journal of Industrial Engineering & Management, 29-1*(2), 3-14.
42. Zhu, J., Chen, G., Yin, Z., Khan, F., & Meng, X. (2022). An integrated methodology for dynamic risk evaluation of deepwater blowouts. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 74*, 104647.